



Bitlis Eren Üniversitesi  
**Fen Bilimleri Dergisi**

Bitlis Eren University  
**Journal of Science**

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

Cilt / Volume: 8

Sayı / Number: 1

Yıl / Year: 2019

**Yazışma Adresi**

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

[fbe@beu.edu.tr](mailto:fbe@beu.edu.tr)  
<http://dergipark.gov.tr/bitlisfen>

**Yayın Kurulu / Editorial Board**

<b>Sahibi / Owner</b>	Prof. Dr. Erdal Necip YARDIM
<b>Sorumlu Müdür / Director</b>	Doç. Dr. Fatih Ahmet ÇELİK
<b>Baş Editör / Editor in Chief</b>	Doç. Dr. Fatih Ahmet ÇELİK
<b>Yardımcı Editörler / Associate Editors</b>	Doç. Dr. Yunus Levent EKİNCİ Dr. Öğr. Üyesi Kubilay TOYRAN Dr. Öğr. Üyesi Serhat Berat EFE
<b>Dizgi / Typographic</b>	Dr. Öğr. Üyesi Kubilay TOYRAN Bilgisayar İşletmeni Ahmet UĞUR

**Danışma Kurulu / Advisory Board**

Prof. Dr. Ahmet BEYARSLAN	Bitlis Eren Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi
Prof. Dr. Hakan ÇOBAN	Bitlis Eren Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık F.
Prof. Dr. Sabir RÜSTEMLİ	Bitlis Eren Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık F.
Prof. Dr. İsa SIDIR	Bitlis Eren Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi
Prof. Dr. Mehmet Cihan AYDIN	Bitlis Eren Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık F.
Prof. Dr. Zeki ARGUNHAN	Bitlis Eren Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık F.
Doç. Dr. Fatih Çağlar ÇELİKEZEN	Bitlis Eren Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi
Doç. Dr. Murat AYGÜN	Bitlis Eren Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi
Doç. Dr. Serkan ÖZEL	Bitlis Eren Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık F.
Doç. Dr. Şükran KONCA	Bitlis Eren Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi
Doç. Dr. Yunus Levent EKİNCİ	Bitlis Eren Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi
Dr. Öğr. Üyesi Ayşe METİN KARAKAŞ	Bitlis Eren Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi
Dr. Öğr. Üyesi Cihan ÖNEN	Bitlis Eren Üniversitesi Sağlık Yüksek Okulu
Dr. Öğr. Üyesi Kubilay TOYRAN	Bitlis Eren Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi
Dr. Öğr. Üyesi Seda OĞUR	Bitlis Eren Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık F.
Dr. Öğr. Üyesi Serhat Berat EFE	Bitlis Eren Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık F.
Dr. Öğr. Üyesi Sinan Mehmet TURP	Bitlis Eren Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık F.
Dr. Öğr. Üyesi Musa ÇIBUK	Bitlis Eren Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık F.

**Hakem Kurulu / Reviewer Board**

Prof. Dr. Erkan GÜMÜŞ	Akdeniz Üniversitesi
Prof. Dr. Fazıl ŞEN	Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi
Prof. Dr. Ceyhan BULUTAY	İhsan Doğramacı Bilkent Üniversitesi
Prof. Dr. Ahmet Akın ÜNAL	Max-Born-Institut Berlin
Prof. Dr. İsa SIDIR	Bitlis Eren Üniversitesi
Prof. Dr. Aysun ERGENE	Kırıkkale Üniversitesi
Prof. Dr. Hanifi ÇANAKCI	Gaziantep Üniversitesi
Prof. Dr. Ayşenur UĞURLU	Hacettepe Üniversitesi
Prof. Dr. Cengiz YILDIZ	Fırat Üniversitesi
Prof. Dr. Ahmet ALKAN	Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi
Prof. Dr. Işıl VAR ÖNGEL	Çukurova Üniversitesi
Doç. Dr. Orhan Taner CAN	Bursa Teknik Üniversitesi
Doç. Dr. Recep ERÖZ	Düzce Üniversitesi
Doç. Dr. Serpil HALICI	Pamukkale Üniversitesi
Doç. Dr. Ali AKGÜL	Siirt Üniversitesi
Doç. Dr. Fatih Çağlar ÇELİKEZEN	Bitlis Eren Üniversitesi
Doç. Dr. Celalettin GÖZÜAÇIK	Iğdır Üniversitesi
Doç. Dr. Murat KURŞAT	Bitlis Eren Üniversitesi
Doç. Dr. Tarık DANIŞMAN	Kırıkkale Üniversitesi
Doç. Dr. Şükrü HAYTA	Bitlis Eren Üniversitesi
Doç. Dr. Rıdvan POLAT	Bingöl Üniversitesi
Doç. Dr. Ayşe Dilek ÖZŞAHİN KİREÇCİ	Bitlis Eren Üniversitesi
Doç. Dr. Ertuğrul KANKAYA	Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi
Doç. Dr. Serkan ÖZEL	Bitlis Eren Üniversitesi
Doç. Dr. Edip AVŞAR	Bitlis Eren Üniversitesi
Doç. Dr. Ömer KAYGILI	Fırat Üniversitesi
Doç. Dr. Hakan SEPET	Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Şenol MERT	Düzce Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Ayşe ERKUŞ	Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Ayla ÜNVER ALÇAY	İstanbul Aydın Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Erdiç AVAROĞLU	Mersin Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Faruk ORAL	Bitlis Eren Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Kamil VARINCA	Adıyaman Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Oğuz ATA	Altınbaş Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Erhan AKBAL	Fırat Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Zafer Ömer ÖZDEMİR	Sağlık Bilimleri Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Eyüp YETER	Gaziantep Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi İbrahim KOÇ	Bitlis Eren Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Dilara BAŞAT DERELİ	Bitlis Eren Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Serap ÇELİK	Gaziantep Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Musa ÇIBUK	Bitlis Eren Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Fethi Ahmet YÜKSEL	İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Dr. Öğr. Üyesi Esra TUNÇ GÖRMÜŞ	Karadeniz Teknik Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Ümit BUDAK	Bitlis Eren Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Zafer CÖMERT	Bitlis Eren Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Halil YETGİN	Bitlis Eren Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Kubilay DEMİR	Bitlis Eren Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Abdulrezzak BAKIŞ	Bitlis Eren Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Şükrü Şenol PARUĞ	Kastamonu Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Hüseyin GÜRBÜZ	Batman Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Ebru YÜCE BABACAN	Munzur Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Oğuz Ayhan KİREÇCİ	Bitlis Eren Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Yelda AYGAR KÜÇÜKEVCİLİOĞLU	Ankara Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Ahmet DAŞDEMİR	Kastamonu Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Kesran AKIN	Bitlis Eren Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Zehra Tuğba MURATHAN	Ardahan Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Ferhat DEMİRAY	Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi
Dr. Duygu AĞAOĞULLARI	İstanbul Teknik Üniversitesi
Öğr. Gör. Erdiñ VURAL	Aydın Adnan Menderes Üniversitesi
Öğr. Gör. Hakan AÇIKGÖZ	Kilis 7 Aralık Üniversitesi
Öğr. Gör. Gamze GÜNDÜZ MERİÇ	Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi
Öğr. Gör. Kenan SAKA	Bursa Uludağ Üniversitesi
Öğr. Gör. Zeynep GÖRÇEK	Bitlis Eren Üniversitesi
Öğr. Gör. Recep YETİŞ	Bitlis Eren Üniversitesi
Araş. Gör. Leyle GAZİĞİL	Bitlis Eren Üniversitesi

## **Dergi Hakkında / About Journal**

Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, mühendislik ve temel bilimler alanlarındaki gelişmeleri ve yenilikleri takip etmek, meslek kuruluşlarının, araştırmacıların ve bireylerin ulusal ve uluslararası gelişimlerine katkıda bulunmak ve bu alanlarda elektronik bir kaynak oluşturmak amacıyla yayımlanmaktadır. Derginin yazım dili Türkçe veya İngilizcedir. Fen Bilimleri Dergisi, Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri 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 iki defa *(Haziran, Aralık)* yayımlanmaktadır. **Dergimiz Tübitak-Ulakbim Mühendislik ve Temel Bilimler Veri Tabanı Dergi Listesinde taranmaktadır.**

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

1. **Malatya'daki Gökkuşuğu Alabalığı (*Oncorhynchus mykiss*) Kuluçkahanelerinin Yapısal, Biyolojik ve Teknik Yönden İncelenmesi** 1-10  
*Investigation of the Structural, Biological and Technical Aspects of Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*) Hatcheries in Malatya Province*  
M. Karabulut, K. Köprücü
2. **4'-Metil-3-Fenilakrilofenon Bileşiğinin Moleküler ve Kristal Yapı Analizi** 11-18  
*Molecular and Crystal Structure Analysis of 4'-Methyl-3-Phenylacrylophenone Compound*  
H. İnaç, N. Kahveci Yağcı
3. **BiTeI Kristalinde Spin-Yörünge Yarılmasının Gerinim ile Değişimi** 19-25  
*Variation of Spin-Orbit Splitting with Strain in BiTeI Crystal*  
S. Güler-Kılıç, Ç. Kılıç
4. **Bioinformatical Analyses of cinnamyl alcohol dehydrogenase (CAD) proteins from higher plant species** 26-38  
*Yüksek Bitki Türlerindeki Sinamil alkol dehidrogenaz (CAD) Proteinlerinin Biyoinformatiksel Analizi*  
E. Filiz, F. Kurt
5. **Farklı Besin Tiplerinin *Ephestia kuehniella* Zeller (Lepidoptera: Pyralidae)'nın Total Lipit ve Total Yağ Asidi Yüzdelerine Etkileri** 39-45  
*The Effects of Different Nutrients on *Ephestia kuehniella* Zeller (Lepidoptera: Pyralidae)'s Total Lipid and Total Fatty Acid Percentages*  
E. Sönmez, Ö. Özcan, Y. Koç
6. **Gaussian (s,t)-Pell and Pell-Lucas Sequences and Their Matrix Representations** 46-59  
*Gauss (s,t)-Pell ve Pell-Lucas Dizileri ve Matris Gösterimleri*  
N. Karaaslan, T. Yağmur
7. **Some Exact Solutions of Caudrey-Dodd-Gibbon (CDG) Equation and Dodd-Bullough-Mikhailov Equation** 60-65  
*Caudrey-Dodd-Gibbon (CDG) Denklemi ve Dodd-Bullough-Mikhailov Denklemi'nin Bazı Kesin Çözümleri*  
Ü. İç
8. ***Centaurea fenzlii* Reichardt Özütünün Antioksidan Özellikleri ve Enzim İnhibisyon Etkisinin Belirlenmesi** 66-73  
*The Determination of Antioxidant Properties and Enzyme Inhibition Effect of *Centaurea fenzlii* Reichardt Extract*  
Ü. Yırtıcı
9. **A New Host-Plant for Larvae of *Hellula undalis* (Fabricius, 1781) in Turkey (Lepidoptera: Crambidae)** 74-77  
**Hellula undalis* (Fabricius, 1781) Larvaları İçin Türkiye'den Yeni Bir Konukçu Bitki (Lepidoptera: Crambidae)*  
K. Akın, E. Seven
10. **The Lipide-Soluble Vitamin Contents of Some *Lathyrus* L. Species** 78-83  
*Bazı *Lathyrus* L. Türlerinin Yağda Çözünen Vitamin İçerikleri*  
M. Bahşi, İ. Emre, H. Genç, A. Şahin, Ö. Yılmaz

11. **The Determination of Lipide- Soluble Vitamin Contents of Some *Astragalus* Taxa by Using HPLC** 84-89  
*Bazı Astragalus Türlerinin HPLC Kullanılarak Yağda Çözünen Vitamin İçeriklerinin Belirlenmesi*  
M. Bahşi, M. Kurşat, İ. Emre, Ö. Yılmaz
12. **Van Balığında (*Alburnus tarichi* Güldenstädt, 1814) Üreme Göçü Sırasında Oksidatif Stresin Araştırılması** 90-97  
*Investigation of Oxidative Stress in Van Fish (*Alburnus tarichi* Güldenstädt, 1814) During Reproductive Migration*  
A.R. Oğuz, N Özok, A.H. Omar, Z. Alkan, A.N. Kıracçakalı

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

13. **Yanma Odası Elemanları Bor Kaplı Bir Dizel Motorun Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub> Kaplı Egzoz Borusu Üzerine Etkisi** 98-108  
*The Effect of a Diesel Engine with Boron Coating on Combustion Chamber Elements on a Exhaust Pipe with Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub> Coating*  
S. Şap, H. Hazar, E. Şap
14. **Tarihi Yığma Yapıların Malzeme Karakteristiklerinin Hasarsız Yöntemlerle Belirlenmesi: Diyarbakır Ulu Camii Örneği** 109-117  
*Determination of Material Properties of Historical Masonry Structures by Nondestructive Tests: Diyarbakır Grand Mosque Case*  
H.S. Aksoy, M. Karaton
15. **CrN Kaplanmış AISI 52100 Çeliğinin Atmosfer ve Vakum ortamlarında Aşınma Davranışının İncelenmesi** 118-131  
*Investigation of Wear Behavior of CrN Coated AISI 52100 Steel under Atmospheric and Vacuum Environment*  
L. Kara
16. **Eysel Organik Atıklar ve Sığır Gübresi Karışımlarından Biyogaz Üretiminin İncelenmesi** 132-142  
*Investigation of Biogas Production from Domestic Organic Waste and Cattle Manure Mixtures*  
H. Şenol, Ü. Açikel
17. **İki Bacaklı Bir Robotun Yapay Sinir Ağı Desteği ile Denge Sağlaması** 143-157  
*Balancing a Two- Legged Robot with the aid of Artificial Neural Network*  
A.B. Tatar, B. Taşar, A.K. Tanyıldızı
18. **Emotiv Epoc ile Durağan Hal Görsel Uyarılmış Potansiyel Temelli Beyin Bilgisayar Arayüzü Uygulaması** 158-166  
*Implementation of Steady State Visual Evoked Potential based Brain Computer Interface with Emotiv EPOC*  
A.T. Sözer, C.B. Fidan
19. **Yaylalardaki Arazi Kullanım Değişiminin Coğrafi Bilgi Sistemi İle Analizi: Giresun Örneği** 167-175  
*Analysis of Land Use Change of Highlands with Geographic Information System: The Case of Giresun*  
V. Başer
20. **Complex Network Analysis Approach to Examining Undergraduate Program Preferences** 176-186  
*Yükseköğretim Programı Tercihlerinin İncelenmesinde Karmaşık Ağ Analizi Yaklaşımı*  
V. Tunalı, E. Güvenoğlu
21. **Yüksek Sıcaklık Uygulamalarında Kullanılmak Üzere Kimyasal İşlemden Geçirilmiş Hibrit Jüt - Keten Doğal Kompozitlerin Geliştirilmesi** 187-196  
*Development of Chemically Treated Hybrid Jute - Flax Natural Composites for Elevated Temperature Applications*  
M.F. Öktem, B. Altıntop

22. **Bursa İli Tarımsal Pestisit Kullanımının Değerlendirilmesi** 197-205  
*Evaluation of Agricultural Pesticide Usage in Bursa City*  
A. Katip
23. **Plazma Sprey Yöntemiyle AISI 304 Paslanmaz Çelik Üzerinde Üretilen  $Ti_3SiC_2$  MAX Fazlı Kaplamanın Karakterizasyonu** 206-213  
*Characterization of  $Ti_3SiC_2$  MAX Phase Coating Produced on AISI 304 Stainless Steel by Plasma Spray Method*  
S. Islak, C. Özorak, Ö. Eski
24. **Biyodizel Yan Ürünü Olan Gliserolden Üretilen Katalizör ile Yakıt Katkı Maddesi Bütil Levulinat Sentezi** 214-226  
*Synthesis of Fuel Additive Butyl Levulinate by Biodiesel Byproduct Glycerol Derived Catalyst*  
D. Ünlü
25. **Production and Characterization of Al-SiC Composites Prepared by Mechanical Milling and Pressureless Sintering** 227-233  
*Mekanik Öğütme ve Basıncsız Sinterleme ile Al-SiC Kompozitlerin Üretimi ve Karakterizasyonu*  
İ. Şimşek, D. Şimşek, D. Özyürek
26. **Embedding Data Crypted With Extended Shifting Polybius Square Supporting Turkish Character Set** 234-242  
*Türkçe Karakter Destekli Genişletilmiş Kayan Polybius Karesi ile Şifrelenmiş Veriyi Gömme*  
H.B. Macit, A. Koyun, M.E. Yüksel
27. **Van İli Güneş ve Hidroelektrik Enerji Potansiyelleri ve İl Ekonomisine Katkıları** 243-250  
*The Potential of Solar and Hydroelectric Energy in Van Province and Its Contribution to the Economy of the Province*  
A. Yaman, A. Yakın, R. Behçet
28. **Enhancement of heat transfer using twisted tape insert in a plain tube** 251-260  
*Düz tüp içerisinde burulmuş şerit kullanarak ısı geçişinin iyileştirilmesi*  
T.T. Göksu, İ.H. Yılmaz
29. **İnsan Hareketleri Tabanlı Gerçek Rasgele Sayı Üretimi** 261-269  
*True Random Number Generation Based on Human Movements*  
Y. Genç, S.A. Tuncer
30. **İstanbul'un Bazı Semtlerinde Yaşayan Bireylerin Gıda Güvenliği ve Hijyen Konusundaki Bilgi ve Tutumları** 270-286  
*Knowledge and Attitudes of Individuals Living in Some Districts of Istanbul about Food Safety and Hygiene*  
S. Oğur, N. Erkan
31. **Bafa Gölü Sularında Element Konsantrasyonlarının Belirlenmesi ve Su Kalitesi Açısından Değerlendirilmesi** 287-297  
*The Determination of Elements Concentrations in the Bafa Lake and the Evaluation of Water Quality*  
M. Kara
32. **Üç boyutlu bir arama yüzeyi için mobil robotların yol planlaması** 298-307  
*Three dimensional searching surface path planning of mobile robots*  
G. Ozmen Koca, S. Doğan
33. **Dizel Bir Motorda  $Al_2O_3$  İlaveli  $Cr_2O_3$  Termal Bariyer Kaplamaların Egzoz Emisyonlarına Etkisi** 308-318  
*The Effect of  $Al_2O_3$  Added  $Cr_2O_3$  Thermal Barrier Coatings on Exhaust Emissions at a Diesel Engine*  
E. Vural, S. Özel

---

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

---

34. **Atıksuların Arıtılmasında Elektrokoagülasyon Uygulamaları** 319-334  
*Electrocoagulation Applications in Wastewater Treatment*  
Z. Yılmaz, M.B. Karagözoğlu

---

**Düzeltilme / Correction**

---

35. **Bitkilerde Enzimatik ve Enzimatik Olmayan Antioksidanlar** 335  
*Enzymatic and Non-Enzymatic Antioxidants in Plants*  
O.A. Kireççi



---

*Araştırma Makalesi / Research Article*

---

**Malatya'daki Gökkuşluğu Alabalığı (*Oncorhynchus mykiss*)  
Kuluçkahanelerinin Yapısal, Biyolojik ve Teknik Yönden İncelenmesi**

Murat KARABULUT, Kenan KÖPRÜCÜ\*

*Fırat Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi, 23119 Elazığ, Türkiye*

---

**Öz**

Bu çalışmada, Malatya'daki gökkuşluğu alabalığı (*Oncorhynchus mykiss*) kuluçkahanelerinin yapısal, biyolojik ve teknik yönleri araştırılmıştır. Gerçek zamanlı olarak işletmelerdeki yetkili kişi ve çalışanlarla yüz yüze yapılan anket çalışmalarıyla veriler elde edilmiştir. Sonuçlara göre, Malatya'daki aktif olarak çalışan yavru gökkuşluğu alabalığı kuluçkahanelerinin 5 adeti küçük (<2 milyon adet yavru balık/yıl), 3 adeti orta (2-10 milyon adet yavru balık/yıl) ve 2 adeti ise büyük (>10 milyon adet yavru balık/yıl) kapasitelidir. Bu işletmelerin yönetim yapısı %50 şirket-ortaklık, %40 şahıs-aile ve %10 kooperatif şeklindedir. Küçük, orta ve büyük ölçekli işletmelerin toplam kapasite içerisindeki payları sırasıyla %4.18, %44.15 ve %51.68 olarak bulunmuştur. Bu kuluçkahanelerin projelendirilmiş toplam kapasitesinin yıllık 52 994 292 adet yavru balık olduğu belirlenmiştir. Bununla birlikte işletmelere ait yavru balık üretim miktarı yıllık toplam 21 514 292 adettir. Bu kuluçkahanelerdeki ortalama kapasite kullanım oranı %40.6'dır. Küçük, orta ve büyük ölçekli işletmeler için bu oran sırasıyla %59.85, %42.22 ve %38.34'dır ( $p<0,05$ ). Küçük (%76.7) ve orta kapasiteli (%70.2) işletmeler, büyük kapasiteli işletmelere (%63.61) göre daha yüksek üretim verimliliğine sahiptir ( $p<0,05$ ). Bu işletmelere ait ortalama üretim verimliliği ise %74.44 olarak bulunmuştur. Mevcut işletmelerin yapısal, biyolojik ve teknik özelliklerindeki farklılıklar bunların kapasite kullanım oranını ve üretim verimliliğini doğrudan etkilemektedir.

**Anahtar kelimeler:** Malatya, Gökkuşluğu alabalığı, Kuluçkahane, Analiz.

---

**Investigation of the Structural, Biological and Technical Aspects of  
Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*) Hatcheries in Malatya Province**

---

**Abstract**

In this study, the structural, biological and technical aspects of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) hatcheries in Malatya Province were investigated. The raw data of the survey work to be done face to face with the authorized persons and employees in the company has been obtained in real time. According to the results, it was determined that the rainbow trout hatcheries actively working in Malatya Province are five small-sized (<2 million fry fish/year), three medium-sized (2-10 million fry fish/year) and two large-sized (>10 million fry fish/year) capacity. The management structure of these companies was 50% company-partnership, 40% person-family business and 10% cooperative. The proportions in the total capacity of the small-scale, medium-scale and large-scale enterprises was found as 4.18%, 44.15% and 51.68%, respectively. Total projected capacity of these hatcheries was determined as 52 994 292 number fry fish/year. However, the amount of fry rainbow trout production belong to these enterprises was found as 21 514 292 number fry fish/year. Average capacity usage rate of the hatcheries in Malatya Province was determined as 40.6%. This rate for the small, medium and large-scale hatcheries was calculated as 59.85%, 42.22% and 38.34%, respectively ( $p<0.05$ ). The large (76.7%) and medium (70.2) scale enterprises have significantly higher ( $p<0.05$ ) production efficiency than the small capacity enterprises (63.61%). Mean production efficiency value for this enterprises was found as 74.44%. Differences in the structural, biological and technical characteristics of existing enterprises directly affect their capacity usage rate and production efficiency.

**Keywords:** Malatya, Rainbow trout, Hatchery, Analysis.

---

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

Geliş Tarihi: 24.07.2018, Kabul Tarihi: 31.10.2018

## 1. Giriş

Balık kuluçkahanelerinin en önemli amacı, en yüksek oranda ve kalitede yumurta ve yavru balığı en düşük maliyetle üretmektir. Bu durum ise balık kuluçkahanelerinin yapısal sorunlarının belirlenmesi ve çözümlenmesi, anaç stok yönetimi, kuluçkahane ve yavru yönetimi gibi temel üretim ve yetiştiricilik konularına hakim olmakla, teknolojik ve bilimsel uygulamalarla sağlanabilir. Balık kuluçkahanelerinin yapısal özelliklerinin tasarımı, yapımı, biyolojik ve teknik uygulamaların doğru yönetilmesi işletmelerin teknik ve ekonomik sürdürülebilirliği açısından önemlidir [1, 2]. Ülkemizde bu konu üzerine yapılmış bazı çalışmalar mevcuttur [3-6]. Yetiştiricilik yolu ile yeterli miktarda ve kalitede balık üretilebilmesi yine yeterli sayı ve kalitede yavru balık üretimiyle mümkündür [7]. Malatya ili, su kaynakları bakımından zengin olması ve su ürünleri üretimine uygun bir yapı göstermesi nedeniyle, balık yetiştiriciliği hızlı bir artış göstermektedir. Özellikle Darende, Doğanşehir, Kale ve Arguvan ilçelerinde gökkuşuğu alabalığı (*Oncorhynchus mykiss*) üreten işletmeler yoğunlaşmaktadır. Bu ilde 2016 yılında, alabalık yetiştiriciliği yapan tesis sayısı 73 adet olup, bunların projelendirilmiş toplam kapasitesi 12228 ton/yıl, gerçekleştirilen üretim miktarı ise 3500 ton/yıl'dır. Bölgedeki su kaynaklarının yeterince kullanılması halinde bu miktarın hızla artabileceği öngörülmektedir [8]. Bu nedenle çalışmada, Malatya'daki gökkuşuğu alabalığı kuluçkahanelerinin yapısal, biyolojik ve teknik özellikleri araştırılarak güçlü ve zayıf yönlerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

Araştırmanın ana materyalini, Malatya'daki mevcut olan gökkuşuğu alabalığı kuluçkahaneleri (toplam 10 adet) oluşturmuştur. Malatya'nın Doğanşehir (5 adet) ve Darende (5 adet) ilçelerindeki bu işletmeler yavru balık üretim kapasitelerine göre [8]; yıllık 2 milyon adetten az üretim yapanlar küçük kapasiteli (5 adet), 2-10 milyon adet arasında üretim yapanlar orta kapasiteli (3 adet), 10 milyondan fazla üretim yapanlar ise büyük kapasiteli işletmeler (2 adet) olarak sınıflandırılmıştır. Mevcut işletmelerin yapısal, biyolojik ve teknik özelliklerine ilişkin soruları içeren bir anket hazırlanmıştır [2-4, 6, 9]. Anket (Ek-1), tam sayım yöntemiyle mevcut işletmelerde uygulanmıştır. Alınan bilgilerin yerinde tespiti ve değerlendirilmesi için, 15/01/2016 tarihinden itibaren 1 yıl süresince belirli aralıklarla işletmelere en az 3 kez gidilerek yüz yüze yapılan anket çalışmalarıyla veriler elde edilmiştir. Ayrıca, konu ile ilgili istatistik verilerden, çeşitli araştırmaya sonuçlarından, Gıda, Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı Malatya İl Müdürlüğü kayıtlarından da faydalanılmıştır.

### 2.1. Yapısal parametreler

#### 2.1.1. Kuruluş yerinin özellikleri

İşletmenin alanı, en yakın yerleşim merkezine olan mesafesi, yol ve arazi durumu, işletmenin yapısı ve faaliyet durumu incelenmiştir [1].

#### 2.1.2. Su kaynağı, havuz, malzeme ve ekipmanların özellikleri

Kuluçkahanedeki kullanılan suyun; kaynağı, işletmeye uzaklığı, alınış şekli, kapasite artırmak için yeterliliği, sıcaklığı, çözünmüş oksijen ve pH düzeyleri tespit edilmiştir. Suyu ilgili yaşanan sorunlar da belirlenmiştir [6]. Suyun sıcaklığı 1 °C taksimatlı termometre, çözünmüş oksijen miktarı (mg/L) portatif oksijen metre ve pH düzeyi ise portatif pH metre kullanılarak ölçülmüştür.

İşletmede kullanılan havuzlar; yapı, şekli ve kullanım alanlarına göre incelenmiştir. Çökeltme ve dinlendirme havuzlarının mevcut olup olmadığı tespit edilmiştir. Ayrıca kuluçka dolap ve teknelerinin özellikleri incelenmiştir [2].

### 2.1.3. Projelendirilmiş kapasite, kapasite kullanım oranı ve üretim verimliliği

Küçük, orta ve büyük ölçekli işletmelerin proje ve fiili kapasiteleri incelenmiş, kapasite kullanım oranları belirlenmiştir. Ayrıca, mevcut işletmelerin kapasitelerine ve yönetim yapılarına göre verimlilikleri de analiz edilmiştir [3, 6].

### 2.1.4. Personel durumu

İşletmelerde kullanılan aile, daimi ve geçici işgücü; cinsiyet, yaş ve çalışma süreleri dikkate alınarak toplam adam iş gününe çevrilmiştir. Sonra 300 iş gününe bölünerek adam-yıl işçi birimi olarak hesaplanmıştır [10]. İşletmelerdeki işgücü adam-yıl olarak standardize edilmiştir. Aile işgücü potansiyelinin belirlenmesinde Erkek İşgücü Birimi (EİB) esas alınmıştır. EİB, ergin (15-49 yaş arası) bir erkek işçinin günde ortalama 10 saat çalışmasıyla ortaya koyduğu işgücü olarak ifade edilmiştir [11].

### 2.2. Biyolojik ve teknik parametreler

Anaç balıkların sayısı, ağırlıkları, yaşı, yumurta miktarı (adet yumurta/kg balık ağırlığı), yumurta çapı ve temin edildikleri yerlerle ilgili veriler incelenmiştir. Anaç balıklarda birim ağırlık başına düşen yumurta miktarı “Gravimetrik Yöntem” ile belirlenmiştir [7]. Döllenen yumurtaların çapı ise mm taksimatlı kumpas kullanılarak ölçülmüştür.

Sağım zamanı ve yöntemi, anestezi uygulamasının yapılıp yapılmadığı, yumurtadan çıkış, gözlenme, besin kesesini tüketim süreleri, kuluçkalamada meydana gelen kayıplar, mevsim dışı yumurta alınıp alınmadığı, dişileştirme-erkekleştirme işleminin yapılıp yapılmadığı ve kuluçkalama randımanı belirlenmiştir [1, 12].

Anaç ve yavru balıkların beslenmesinde kullanılan yemin markası, cinsi, günlük yem ihtiyacının nasıl belirlendiği, yemin verilmiş şekli ve sıklığı araştırılmıştır. Ayrıca, hangi dönemde hastalıkların arttığı, hastalık durumunda alınan tedbirler ve başvuru yerler, havuzların bakım periyodu ve kullanılan koruyucu maddeler de incelenmiştir [6].

### 2.3. Verilerin analizi

İstatistiksel analizler bilgisayar paket programı (SPSS 23.0)’nda ANOVA ve Duncan testleri kullanılarak yapılmıştır. İstatistiksel önem derecesi %5 olarak değerlendirilmiştir.

## 3. Bulgular ve Tartışma

### 3.1. İşletmelerin yapısal analizi

#### 3.1.1. Kuruluş yeri, yol ve arazi özellikleri

Malatya’daki yavru gökkuşuğu alabalığı üreten işletmelerin %70’inin en yakın yerleşim merkezine uzaklığının 20 km’den az, %30’unun ise 20-50 km mesafede olduğu tespit edilmiştir (Tablo 1).

**Tablo 1.** Malatya’daki gökkuşuğu alabalığı kuluçkahanelerinin kuruluş yeri özellikleri

İşletme kapasitesi (milyon adet yavru balık/yıl)	İşletme sayısı (adet)	En yakın yerleşim birimine uzaklığı (km)			Girdi temin merkezine uzaklığı (km)		
		0-20	20-50	50+	0-20	20-50	50+
Küçük (<2)	5	3	2	-	-	3	2
Orta (2-10)	3	2	1	-	2	1	-
Büyük (>10)	2	2	-	-	2	-	-
İl geneli	10	%70	%30	-	%40	%40	%20

Kuluçkahanelerin %40’ının girdi temin merkezine 20 km’den yakın, %40’ının 20-50 km ve %20’sinin ise 50 km’den daha uzak mesafede olduğu belirlenmiştir. Marmara Bölgesi’nde yapılmış olan bir çalışmada; alabalık işletmelerinin %96.4’ünün en yakın yerleşim birimine uzaklığının 20 km’den

daha az, %3,6'sının 20-50 km arasında değişen bir mesafede olduğu bildirilmiştir [1]. Karadeniz Bölgesi'ndeki alabalık işletmelerinin %96.1'inin herhangi bir yerleşim merkezine uzaklığının 20 km'den az, %33.9'unun ise 50 km'den daha fazla mesafede olduğu rapor edilmiştir [12]. Akdeniz Bölgesi'nde yapılan bir çalışmada alabalık işletmelerinin %88'inin herhangi bir yerleşim birimine uzaklığının 20 km'den daha az, %2'sinin 51 km'den fazla, %10'unun ise 21-50 km arasında değişen bir mesafede olduğu tespit edilmiştir [13]. Türkiye genelindeki gökkuşuğu alabalığı işletmelerinin %80'i en yakın yerleşim merkezine 20 km'den daha az bir uzaklıkta olup, %20'si 20-50 km arasındadır [1]. Malatya'daki balık kuluçkahanelerinden en yakın yerleşim merkezine uzaklığı 20 km'den daha az olanların oranı (%70); Marmara (%96.4) [1], Karadeniz (%96.1) [12] ve Akdeniz (%88) [13] Bölgeleri ile Türkiye geneli (%80) [1] için bildirilen oranlardan daha düşük bulunmuştur. Yemin temin edildiği merkezlerin işletmelere uzak oluşu nakliye giderlerini ve dolayısıyla üretim maliyetini artırmaktadır [1].

Malatya'daki yavru gökkuşuğu alabalığı üreten işletmelerin %60'ının asfalt, %30'unun toprak ve %10'unun ise stabilize yola sahip olduğu belirlenmiştir (Tablo 2). Bunların %50'sinin vadi arasında, %40'ının açık arazide ve %10'unun dağ eteğinde kurulduğu görülmüştür.

**Tablo 2.** Malatya'daki gökkuşuğu alabalığı kuluçkahanelerinin yol ve arazi durumu

İşletme kapasitesi (milyon adet yavru balık/yıl)	İşletme sayısı (adet)	Yol durumu			Arazi durumu		
		Asfalt	Stabilize	Toprak	Vadi arası	Dağ eteği	Açık arazi
Küçük (<2)	5	3	1	1	3	1	1
Orta (2-10)	3	1	-	2	2	-	1
Büyük (>10)	2	2	-	-	-	-	2
İl geneli	10	%60	%10	%30	%50	%10	%40

Samsun'daki alabalık işletmelerinin; %20'si vadi arasında, %40'ı dağ eteğinde ve %40'ı ise açık arazide kurulmuştur [4]. Akdeniz Bölgesi'ndeki alabalık işletmelerinin; %68.2'si asfalt, %21.7'si stabilize ve %10.1'i toprak yola sahiptir [13]. Erzurum'daki alabalık işletmelerinin; %81'i vadi arasında, %14.2'si dağ eteğinde ve %4.8'i açık arazidedir [14]. Belirtilen çalışmalarda işletmelerin arazideki konumları genellikle buldukları bölgenin coğrafik yapısıyla ve su kaynağına yakınlığıyla doğrudan ilişkilidir.

### 3.1.2. İşletmelerde kullanılan su, havuz, alet ve ekipmanlar

Kuluçkahanelerde kullanılan suyun sıcaklığının 10-13 °C, çözünmüş oksijen düzeyinin 6.5-9 mg/L ve pH değerinin ise 7-8 aralığında değiştiği tespit edilmiştir (Tablo 3). İşletmelerin %80'inin kaynak suyunu, %20'sinin ise akarsuyu kullandığı saptanmıştır. Gümüş ve Şahin [15], Antalya ilindeki yavru gökkuşuğu alabalığı üreten kuluçkahanelerin %91.4'ünün kaynak suyu kullandığını ve mevcut işletmelerin %45.8'inde kullanılan suyun sıcaklığının 10 °C'nin altında olduğunu bildirmişlerdir. Mevcut durum gökkuşuğu alabalığı kuluçkahanelerinde ağırlıklı bir şekilde kaynak suyu kullanıldığını göstermektedir.

**Tablo 3.** Kuluçkahanelerde kullanılan suya ait sıcaklık, çözünmüş oksijen ve pH değerleri

İşletme kapasitesi (milyon adet yavru balık/yıl)	İşletme sayısı (adet)	Sıcaklık (°C)	Çözünmüş oksijen (mg/L)	pH
Küçük (<2)	5	12.00±1.00 <sup>c</sup>	8.00±1.00 <sup>b</sup>	7.75±0.25
Orta (2-10)	3	11.00±0.50 <sup>b</sup>	7.75±1.25 <sup>b</sup>	7.50±0.50
Büyük (>10)	2	10.50±0.50 <sup>a</sup>	7.00±0.50 <sup>a</sup>	7.50±0.50

\* Aynı sütundaki farklı harflerle (a, b, c) gösterilen değerler arasındaki farklılıklar önemlidir (p<0,05)

Malatya'daki işletmelerde genellikle dikdörtgen şeklinde, betondan yapılmış olan yavru ve anaç balık havuzlarının mevcut olduğu görülmüştür. Yavru balıklar için kullanılan fiberglas teknelerin yuvarlak veya dikdörtgen şeklinde olduğu belirlenmiştir. Üretimde yaygın olarak dikey kuluçka dolabı kullanılmakla birlikte, tekne tipi kuluçkalama araçlarından da yararlandığı tespit edilmiştir. Gümüş ve Şahin [15]'e göre, Antalya'daki gökkuşuğu alabalığı kuluçkahanelerinin %68.6'sı yumurta inkübasyonunda dikey kuluçka dolabı kullanılmaktadır. Bu durum, döllenmiş balık yumurtalarının

kuluçkalanması işlemlerinde ülkemizdeki alt yapının nispeten güçlü olduğunu, mevcut alanın ve suyun en verimli şekilde değerlendirilmesine imkan sağlayan donanımların kullanıldığını göstermektedir.

### 3.1.3. İşletme alanı

Malatya'daki yavru gökkuşuğu alabalığı üreten küçük, orta ve büyük ölçekli işletmelerin sırasıyla 64 000, 27 700 ve 23 000 m<sup>2</sup> toplam alana sahip olduğu belirlenmiştir. Bu işletmelerde kuluçkahaneye ayrılan ortalama alanın sırasıyla; 500, 650 ve 600 m<sup>2</sup>, kuluçkahanelerin toplam alan içerisindeki oranlarının ise sırasıyla; %0.78, %2.34 ve %2.60 olduğu hesaplanmıştır (p<0,05). İşletmelerin üretken alanının toplam alan içerisindeki ortalama payının %1.52 olduğu tespit edilmiştir (Tablo 4). Bu oran mevcut işletmelerin toplam ve üretken alanlarını verimli bir şekilde kullanmadığını göstermiştir.

**Tablo 4.** Malatya'daki gökkuşuğu alabalığı kuluçkahanelerinin alan kullanım oranları

İşletme kapasitesi (milyon adet yavru balık/yıl)	İşletme sayısı (adet)	Toplam alan (m <sup>2</sup> )	Kuluçkahane alanı (m <sup>2</sup> )	Alan kullanım oranı* (%)
Küçük (<2)	5	64 000 <sup>c</sup>	500 <sup>a</sup>	0.78 <sup>a</sup>
Orta (2-10)	3	27 700 <sup>b</sup>	650 <sup>c</sup>	2.34 <sup>b</sup>
Büyük (>10)	2	23 000 <sup>a</sup>	600 <sup>b</sup>	2.60 <sup>c</sup>
İl geneli	10	114 700	1 750	1.52

\*Aynı sütundaki farklı harflerle (a, b, c) gösterilen değerler arasındaki farklılıklar önemlidir (p<0,05)

### 3.1.4. Kapasite kullanım oranı

Malatya'daki yavru gökkuşuğu alabalığı üreten işletmelerin ortalama kapasite kullanım oranının %40.6 olduğu, bu oranın küçük (%59.85), orta (%42.22) ve büyük (%38.34) ölçekli işletmelerde istatistiksel olarak önemli (p<0,05) farklılıklar gösterdiği (Tablo 5) tespit edilmiştir. Küçük işletmelerin, orta ve büyük ölçekli olanlara göre daha yüksek kapasite kullanım oranına sahip olduğu belirlenmiştir (p<0,05).

**Tablo 5.** Malatya'daki alabalık kuluçkahanelerinin kapasite kullanım oranları

İşletme kapasitesi (milyon adet yavru balık/yıl)	İşletme sayısı		Proje kapasitesi		Kullanılan kapasite (adet yavru balık/yıl)	Kapasite kullanım oranı* (%)
	adet	%	adet yavru balık/yıl	%		
Küçük (<2)	5	50	1 494 292	2.8	894 292	59.85 <sup>c</sup>
Orta (2-10)	3	30	22 500 000	42.5	9 500 000	42.22 <sup>b</sup>
Büyük (>10)	2	20	29 000 000	54.7	11 120 000	38.34 <sup>a</sup>
İl geneli	10	100	52 994 292	100	21 514 292	40.60

\*Aynı sütundaki farklı harflerle (a, b, c) gösterilen değerler arasındaki farklılıklar önemlidir (p<0,05)

Bu sonuçlar, Malatya'daki mevcut işletmelere ait kapasite kullanım oranlarının çok düşük olduğunu, projelendirilmiş üretim kapasitelerine ulaşamadığını göstermiştir. Bunun nedeni; işletmelerin gerçek üretim kapasitelerinin projelendirme safhasında doğru hesaplanmamasına veya alt yapı eksikliğine, teknik ve mali yetersizliklere bağlanmıştır.

### 3.1.5. Üretim miktarına göre işletmelerin verimliliği

İşletmelerin üretim miktarına göre verimliliği incelendiğinde (Tablo 6); en yüksek verimliliğe büyük ölçekli işletmelerin sahip olduğu (%76.7), bunu orta (%70.2) ve küçük (%63.61) ölçekli olanların takip ettiği görülmüştür (p<0,05). Mevcut işletmelerin ortalama üretim verimliliğinin ise %74.44 olduğu hesaplanmıştır. Bu oran, mevcut işletmelerin üretim verimliliğinin düşük olduğunu göstermiştir. Bunun nedeni; işletmelerin kuluçkahane yönetimi hakkında yetersiz bilgiye sahip olmasına, biyoteknolojik uygulamaların yapılmamasına, yumurtaların döllemesi ve yavru balıkların büyütülmesi aşamalarından meydana gelen kayıpların fazla olmasına, yeterli donanıma sahip kalifiye elamanların çalıştırılmamasına, sermaye ve alt yapı yetersizliğine bağlanmıştır.

**Tablo 6.** Malatya'daki alabalık kuluçkahanelerinin üretim miktarına göre verimliliği

İşletme kapasitesi (milyon adet yavru balık/yıl)	İşletme sayısı (adet)	Üretimde kullanılan yumurta miktarı (adet yumurta/yıl)	Yavru balık üretimi (adet yavru balık/yıl)	Üretim verimliliği* (%)
Küçük (<2)	5	1 450 000 <sup>a</sup>	894 292 <sup>a</sup>	63.61 <sup>a</sup>
Orta (2-10)	3	12 950 000 <sup>b</sup>	9 500 000 <sup>b</sup>	70.20 <sup>b</sup>
Büyük (>10)	2	14 500 000 <sup>c</sup>	11 120 000 <sup>c</sup>	76.70 <sup>c</sup>
İl geneli	10	28 900 000	21 514 292	74.44

\*Aynı sütundaki farklı harflerle (a, b, c) gösterilen değerler arasındaki farklılıklar önemlidir (p<0,05)

### 3.1.6. Yönetim yapısına göre işletmelerin verimliliği

Mevcut işletmelerin %50'sinin yapısının şirket-ortaklık şeklinde olduğu belirlenmiştir. Bunların yavru balık üretim kapasitelerinin yıllık 29 220 000 adet, toplam kapasite içerisindeki payının ise %55.13 olduğu tespit edilmiştir. Şahıs-aile işletmelerinin oranı %40 olarak hesaplanmıştır. Bunların yavru balık üretim kapasitelerinin yıllık 23 174 292 adet, toplam kapasite içerisindeki payının ise %43.72 olduğu belirlenmiştir. İşletmelerin %10'unun yapısının kooperatif şeklinde olduğu görülmüştür. Bunların yavru balık üretim kapasitelerinin yıllık 600 000 adet ve toplam kapasite içerisindeki payının ise %1.15 olduğu hesaplanmıştır (Tablo 7). Şirket-ortaklık işletmelerinin en yüksek verimlilik oranına (%50.79) sahip olduğu görülmüştür. Bunu sırasıyla kooperatif (%50) ve şahıs-aile (%27.5) işletmelerinin takip ettiği saptanmıştır (p<0,05).

**Tablo 7.** Malatya'daki alabalık kuluçkahanelerinin yönetim yapısına göre verimliliği

İşletmenin yönetim yapısı	İşletme sayısı		Proje kapasitesi (yavru balık)		Kullanılan kapasite (adet yavru balık/yıl)	Üretim verimliliği* (%)
	adet	%	adet/yıl	%		
Şirket-ortaklık	5	50	29 220 000 <sup>c</sup>	55.13 <sup>c</sup>	14 840 000 <sup>c</sup>	50.79 <sup>b</sup>
Şahıs-aile	4	40	23 174 292 <sup>b</sup>	43.72 <sup>b</sup>	6 374 292 <sup>b</sup>	27.50 <sup>a</sup>
Kooperatif	1	10	600 000 <sup>a</sup>	1.15 <sup>a</sup>	300 000 <sup>a</sup>	50.00 <sup>b</sup>

\*Aynı sütundaki farklı harflerle (a, b, c) gösterilen değerler arasındaki farklılıklar önemlidir (p<0,05)

Marmara Bölgesi'ndeki alabalık işletmelerinin; %74.5'i şahıs, %21.5'i şirket, %2'si kooperatif ve %2'si kamu işletmesidir [3]. Antalya'daki alabalık işletmelerinin; %62.4'ü şahıs-aile, %34.4'ü şirket-ortaklık ve %3.2'si ise kamu işletmesi şeklindedir [5, 16]. Marmara Bölgesi ve Antalya'daki alabalık işletmelerinin çoğunluğu şahıs-aile işletmeleri iken, Malatya'dakilerin önemli bölümünü şirket-ortaklık işletmeleri (%50) oluşturmuştur.

### 3.1.7. Personel durumu

Malatya'daki gökkuşağı alabalığı kuluçkahanelerinde toplam 21 kişinin istihdam edildiği belirlenmiştir. Bu işletmelerin %40'ında 1, %30'unda 2 ve %20'sinde ise 3 kişinin çalıştırıldığı tespit edilmiştir. Marmara Bölgesi'ndeki alabalık işletmelerinin %52.9'unda 1-3 arasında işçi çalıştırıldığı bildirilmiştir [17]. Balık kuluçkahanelerinde yüksek işgücüne ihtiyaç duyulmaktadır. İşletmelerin kapasitesi arttıkça çalışan personele olan ihtiyaç da artmıştır.

Malatya'daki yavru alabalık üreten işletmelerde çalışan personelin mesleki tecrübesi incelendiğinde; çalışma süresi 1-5 yıl arasında olanların %28.6, 6-10 yıl olanların %42.85, 11-15 yıl olanların %23.8, 16 yıl ve üzeri olanların ise %4.75 oranında olduğu görülmüştür. Antalya'daki alabalık işletmelerinde çalışanların; %46.6'sı 10 yıldan az, %39.7'si 11-20 yıl arasında, %13.7'si 21 yıldan fazla mesleki tecrübeye sahiptir [5]. Elazığ'daki alabalık işletmelerinde çalışan personelin; %54.17'sinin mesleki tecrübesi 1-5 yıl, %28.86'sının 6-10 yıl, %13.95'inin 11-15 yıl, %3.01'inin ise 16 yıl veya üzerindedir [6]. Genel olarak mevcut işletmelerde çalışan personelin mesleki tecrübelerinin düşük olduğu görülmektedir.

Personelin mesleki niteliği ve yaş durumu incelendiğinde; Malatya'daki alabalık kuluçkahanelerinde çalışanların %14.28'inin mühendis ve %85.72'sinin ise vasıfsız işçilerden oluştuğu görülmüştür. Bu işletmelerde çalışan teknik eleman bulunmamaktadır. Mevcut personelin tamamı erkek

olup, bunların büyük çoğunluğu 15-49 yaş aralığındadır. Antalya'daki alabalık işletmelerinde çalışan personelin; %60.2'si işçi, %32.9'u işveren (aile bireyi) ve %6.9'u mühendis olup, bunların %91.8'i erkek, %8.2'si kadınlardan oluşmaktadır [5]. Marmara Bölgesi'ndeki alabalık işletmelerinde çalışan personelin; %31.1'inin aile bireylerinden, %33.8'inin vasıfsız işçilerden, %25.6'sının eğitilmiş işçilerden, %6.1'inin mühendislerden ve %3.4'ünün teknik elemanlardan oluşmaktadır. Bunların %86.5'i erkek, %13.5'i ise kadındır. Personelin yaşları 19-70 arasında değişmekte olup, %29.1'i 30-39 yaş, %23'ü 39-49 yaş aralığındadır [17]. Belirtilen işletmelerde çalışan personelin cinsiyet ve yaş dağılım oranları coğrafik bölgelere göre değişiklik göstermektedir. Balık yetiştiriciliği kaba iş gücüne dayalı olduğundan genellikle erkekler tarafından tercih edilmektedir. Bu durum, mevcut işletmelerde çalışan kadın personel oranının düşük seviyede olmasını açıklamaktadır.

### 3.2. İşletmelerin biyolojik ve teknik analizi

Malatya'daki yavru gökkuşuğu alabalığı üreten kuluçkahanelerin tamamında elle sağım işlemi yapıldığı ve yumurtaların döllenenmesinde kuru yöntemin uygulandığı tespit edilmiştir. Küçük işletmeler Kasım-Aralık aylarında, orta ve büyük ölçekli işletmeler ise Kasım-Şubat aylarında sağım işlemini gerçekleştirmektedir. Küçük işletmelerin %60'ı, orta işletmelerin %67'si ve büyük işletmelerin %50'si sağımdan sonra balıklarda yumurta kontrolü yapmaktadır (Tablo 8). Küçük ölçekli olan 2 adet kuluçkahane hariç, diğerlerinin tümünde sağım işlemi öncesinde balıklara anestezi uygulanmaktadır. Anestezik madde olarak MS222, benzocaine, fenossietenol, karanfil yağı gibi maddeler kullanılmaktadır. Mevcut işletmelerde üretilen balıklarda dişileştirme veya erkekleştirme gibi biyoteknolojik uygulamalar yapılmamaktadır. Kuluçkahanelerde döllenen yumurtaların gözlenme süresi 14-17 gün, açılma süresi 28-32 gün arasında değişmekte olup, ortalama kuluçka randımanı %85 düzeyindedir. İşletmelerin tamamı yavru balık üretiminde kendi bünyesinde bulunan anaç balıkları kullanmaktadır. Anaç balıkların ağırlığı 1-6 kg, yaşı ise 2-6 yaş arasında değişmektedir. Dişi anaç balıklardan kg ağırlık başına 1000-3000 adet arasında yumurta (3-5 mm çapında) alınmaktadır.

Gümüş ve Şahin [15]'e göre, Antalya'daki gökkuşuğu alabalığı üreticilerinin %61.4'ü yumurta ve yavru balık ihtiyacını kendi işletmelerinde üretim yaparak karşılarken, %25'i üretim ile birlikte satın alma ve %13.6'sı ise sadece satın alarak ihtiyacını karşılamaktadır. İşletmelerin %54.3'ünde yumurta gözlenme ve açılım oranı %80'den daha düşüktür.

**Tablo 8.** Malatya'daki gökkuşuğu alabalığı kuluçkahanelerinin sağım özellikleri

İşletme kapasitesi (milyon adet yavru balık/yıl)	İşletme sayısı (adet)	Sağım zamanı	Sağım şekli	Yumurta kontrolü (%)	Anestezi uygulaması (%)	Yumurtayı dölleme şekli
Küçük (<2)	5	Kasım-Aralık	Elle	60 <sup>b</sup>	40 <sup>a</sup>	Kuru yöntem
Orta (2-10)	3	Kasım-Şubat	Elle	67 <sup>c</sup>	100 <sup>b</sup>	Kuru yöntem
Büyük (>10)	2	Kasım-Şubat	Elle	50 <sup>a</sup>	100 <sup>b</sup>	Kuru yöntem

\*Aynı sütundaki farklı harflerle (a, b, c) gösterilen değerler arasındaki farklılıklar önemlidir (p<0,05)

Malatyadaki işletmelerde üretilen yavru balıklar 1-7 g ve 7-50 g ağırlığında iken hastalık görülmektedir. Bu hastalıklardan meydana gelen kayıplar bazı işletmelerde %80'lere ulaşmaktadır. Ortaya çıkan hastalıklara karşı alınan önlemler kulaktan dolma ve eski usuldür. Hastalık etkenlerinin araştırılması ve koruyucu tedbirlerin alınması işletmelerin verimliliği ve karlılığı açısından büyük önem taşımaktadır. Tedavi amacıyla yapılan işlemler yetersizdir. Bu nedenle, balık hastalıkları konusunda uzmanlaşmış birimlerin desteğine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu durum ülkemizin diğer bölgeleri için de benzerlik göstermektedir. Gümüş ve Şahin [15]'e göre, Antalya'daki gökkuşuğu alabalığı işletmelerinde hastalık görülme durumu %70 ile 0.3-5 g ağırlığındaki balıklarda en yüksek orandadır. İşletmelerin %76.9'unda yavru balıkların yaşama oranı %80'den daha düşüktür. Antalya'daki işletmelerin %48'i hastalık problemini kendisi çözümlenmeye çalışmaktadır.

Malatya'daki mevcut işletmelerin tümünde karma yem kullanılmaktadır. İşletmelerin çoğu "Su Ürünleri Kooperatifinden" alabalık yemi temin etmektedir. Genellikle yemin fiyatı, temin edebilirliği bu tercihte rol oynamaktadır. Diğer işletmelerde kullanılan yemlerin performansı veya bu yemlerden kaynaklanan sorunlar da yem tercihinde dikkate alınmaktadır. İşletmelerin %80'i iki farklı firmaya ait yemi kullanmakta, %20'si ise çeşitli markalara ait yemleri değerlendirmektedir. İşletmelerin tamamında

yemleme elle yapılmaktadır. Balıklara verilen yem miktarı ve öğün sayısı su sıcaklığı ve balık büyüklüğüne göre ayarlanmaktadır.

#### 4. Sonuç ve Öneriler

Malatya'daki yavru gökkuşağı alabalığı üreten işletmelerde tam sayım yöntemiyle yapılan anket sonuçlarına göre; mevcut işletmelerin arazideki konumları bölgenin coğrafik yapısıyla ve su kaynağına yakınlığıyla doğrudan ilişkilidir. Yemin temin edildiği merkezlerin işletmelere uzak oluşu nakliye giderlerini ve dolayısıyla üretim maliyetini artırmaktadır. Bu işletmelerde toplam ve üretken alanların verimli bir şekilde kullanılmadığı, kapasite kullanım oranlarının çok düşük olduğu ve projelendirilmiş üretim kapasitelerine ulaşamadığı görülmüştür. İşletmelerde hastalık nedeniyle büyük kayıplar meydana gelmektedir. Tedavi amacıyla yapılan işlemler yetersizdir. Hastalık etkenlerinin araştırılması ve koruyucu tedbirlerin alınması işletmelerin verimliliği ve karlılığı açısından büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle, balık hastalıkları konusunda uzmanlaşmış birimlerin desteğine ihtiyaç duyulmaktadır. Mevcut işletmeler genelde küçük aile tipi işletmeleridir. Bunların büyük bölümü maddi imkânsızlıklardan dolayı uygun olmayan şartlarda üretim yapmaktadır. Ekonomik durumu iyi olan işletmeler ise yeterli teknolojiyi kullanacak yetişmiş elaman istihdam etmediklerinden dolayı, olması gereken üretim verimliliğine sahip değildir. Bununla birlikte, küçük (%76.7) ve orta ölçekli (%70.2) işletmelerin üretim verimliliği, büyük kapasiteli olanlara (%63.61) göre daha yüksektir. Malatya'daki yavru gökkuşağı alabalığı üretiminin ve kalitesinin artırılabilmesi için; bazı işletmeler teşvik edilerek sadece yavru balık üretimine yönlendirilmelidir. Yavru balık üreticilerinin örgütlenmesi ve teknolojik alt yapılarının geliştirilebilmesi için bölgedeki hibe fonlarından faydalanmaları sağlanmalıdır.

#### Teşekkür

Bu çalışma, Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (FÜBAP) Koordinasyon Birimi tarafından desteklenen proje (SÜF.14.07) kapsamında gerçekleştirilmiş olup, birinci yazarın yüksek lisans tezinden özetlenmiştir.

#### Kaynaklar

- [1] Rad F., Köksal G. 2001. Türkiye'deki Gökkuşağı Alabalığı (*Oncorhynchus mykiss*) İşletmelerinin Yapısal ve Biyo-Teknik Analizi, Turkish Journal of Veterinary & Animal Sciences, 25: 567-575.
- [2] Karataş M., Sayılı M., Koç B. 2008. Sivas İli Gökkuşağı Alabalığı İşletmelerinin Yapısal ve Ekonomik Analizi, Biyoloji Bilimleri Araştırma Dergisi (BİBAD), 1 (2): 55-61.
- [3] Yıldız M., Doğan K., Ener E. 2008. Marmara Bölgesi Gökkuşağı Alabalığı (*Oncorhynchus mykiss*) İşletmelerinin Yapısal, Teknolojik ve Verimlilik Analizleri, İstanbul Üniversitesi Su Ürünleri Dergisi, 23: 1-16.
- [4] Aydın O., Sayılı M. 2009. Samsun İlindeki Alabalık İşletmelerinin Yapısal ve Ekonomik Analizi, Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 26 (2): 97-107.
- [5] Gümüş E., Şahin N.M., İkiz R., Yılmaz S. 2013. Antalya İlindeki Gökkuşağı Alabalığı (*Oncorhynchus mykiss*) İşletmelerinde Çalışanların Sosyo-Ekonomik Yapılarının İncelenmesi, Ege Üniversitesi Su Ürünleri Dergisi, 30 (4): 161-166.
- [6] Aydoğdu S. 2015. Elazığ Yöresinde Gökkuşağı Alabalığı (*Oncorhynchus mykiss*) Yetiştiriciliği Yapan Farklı Kapasitedeki İşletmelerin Yapısal, Teknolojik, Verimlilik ve Çalışmalarının Sosyo-Ekonomik Analizleri, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora tezi, 152s, Elazığ.
- [7] Bromage N., Jones J., Randall C., Thrush M., Davies B., Springate J., Duston J., Barker G. 1992. Broodstock Management, Fecundity, Egg Quality and Timing of Egg Production in the Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*), Aquaculture, 100: 141-166.
- [8] Anonim 2017. Su Ürünleri İstatistikleri, Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı, <https://www.tarim.gov.tr/sgb/Belgeler/SagMenuVeriler/BSGM.pdf>
- [9] Aydın A. 2012. Doğu Anadolu ve Akdeniz Bölgelerindeki Alabalık İşletmelerinin Karşılaştırmalı Yapısal ve Ekonomik Analizi, Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 16 (1): 135-158.
- [10] Aras A. 1988. *Tarım Muhasebesi*, Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları No: 486, İzmir.



- [11] Açıl F., Demirci R. 1984. *Tarım Ekonomisi Dersleri*, Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları No: 880, Ders Kitabı No: 245, 372s, Ankara.
- [12] Yıldız M., Şener E. 2003. Karadeniz Bölgesi'ndeki Gökkuşığı Alabalığı (*Oncorhynchus mykiss*) ve Deniz Levreği (*Dicentrarchus labrax*) Yetiştiriciliği Yapan İşletmelerin Yapısal Analizi ve Biyo-Teknolojik Özellikleri, İstanbul Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi, 29 (2): 241-252.
- [13] Emre Y., Diler İ., Sevgili H., Oskay D.A., Sayın C. 2007. Akdeniz Bölgesi'ndeki Alabalık İşletmelerinin Yapısal Özelliklerinin İncelenmesi (2002-2003), Türk Sucul Yaşam Dergisi, 3-5 (5-8): 476-489.
- [14] Kocaman E.M., Aydın A., Ayık Ö. 2002. Erzurum'da Faaliyet Gösteren Alabalık İşletmelerinin Yapısal ve Ekonomik Analizi, Journal of Fisheries & Aquatic Sciences, 19 (3-4): 319-327.
- [15] Gümüş E., Şahin N.M. 2015. Antalya İlindeki Gökkuşığı Alabalığı (*Oncorhynchus mykiss*) İşletmelerinin Kuluçka Faaliyetlerinin Analizi, Biyoloji Bilimleri Araştırma Dergisi (BİBAD), 8 (2): 44-50.
- [16] Gümüş E., Şahin N.M., Üstündağ E., Atalay M.A. 2016. Antalya İlindeki Alabalık İşletmelerinin Yapısal Özelliklerin İncelenmesi, Biyoloji Bilimleri Araştırma Dergisi (BİBAD), 9 (1): 33-39.
- [17] Doğan K., Yıldız M. 2008. Marmara Bölgesi Gökkuşığı Alabalığı (*Oncorhynchus mykiss*) İşletmelerinde Çalışanların Sosyo-Ekonomik Analizi, İstanbul Üniversitesi Su Ürünleri Dergisi, 23: 17-27.

## EK-1: ANKET FORMU

### Yapısal özellikler

Tesisin adı:  
Sahibinin adı:  
Adresi ve mevki:  
Telefon: Faks: İlçe: İl:  
Kuluçkahanenin yetiştiricilik belge numarası:  
Kuruluş yılı:  
Kuluçkahanenin yerleşim merkezine uzaklığı (km): İlçe: İl:  
Yol Durumu (km): Asfalt () Stabilize () Toprak ()  
Kuluçkahanenin kurulmuş olduğu arazinin durumu: Vadi arası () Dağ eteği () Açık arazi ()  
Arazinin mülkiyet durumu: Özel mülk () Şahıstan kiralama () Devletten kiralama () diğer ()  
Arazi kira ise kira süresi (Yıl) ve ücreti (TL):  
Arazinin alanı (m<sup>2</sup>):  
Kuluçkahane alanı (m<sup>2</sup>):  
Tesiste kullanılan su kaynağı: Yeraltı suyu () Kaynak suyu () Akarsu () Göl-gölet () Diğer ()  
Suyun: Çözünmüş O<sub>2</sub> ( mg/L), pH, sıcaklık (°C) ve debi (L/sn) değerleri.  
Suyun kuluçkahaneye mesafesi:  
Suyun kuluçkahaneye alınış şekli: Boru () Kanal ()  
Suyun tesise yeterliliği:  
Tesisin kapasitesini arttırmak için uygunluğu:  
Periyodik olarak su analizleri yapılıyor mu?  
Yıl içerisinde su ile ilgili karşılaşılan problemler: Bulanıklık () Miktar azalması () Diğer ()  
Havuzların ana yapı malzemesi: Beton () Toprak () Plastik () Metal ()  
Kuluçka dolabı sayısı ve özelliği:  
Kuluçka teknesi sayısı ve özelliği: Beton () Fiberglas ()  
İşletmenin yapısı: Şahıs () Şirket-Ortaklık () Kooperatif () Kamu kuruluşu () Diğer ()  
Projelendirilmiş kapasite:  
Üretim (fiili) kapasitesi:  
Kapasite kullanım oranı:  
Mevcut havuzların yapısal özellikleri: Beton () Toprak ()  
Havuzların niteliği: Yavru () Damızlık () Dinlendirme () Çökeltme ()  
Havuzların şekli, genişliği (m), eni (m) ve derinliği (m)  
İşletmedeki çalışan personel sayısı:  
Personelin yaş durumu:  
Personelin cinsiyeti:  
Personelin öğrenim durumu:  
Personelin görevi:  
Personelin iş tecrübesi (yıl):  
İşletmedeki iş gücü: Aile iş gücü () Devamlı iş gücü () Geçici iş gücü ()

### Biyolojik ve teknik özellikler

Dişi ve erkek anaç balıkların sayısı, yaşı, ağırlık ve boy değerleri:  
Anaç balıkların temin şekli:  
Anaç balıklarda sağım sayısı:  
Sağım zamanı:  
Sağım şekli:  
Anaç balıklardan alınan yumurtanın sayısı (adet) ve çapı:  
Üretimde kullanılan toplam yumurta sayısı (adet):  
Yumurtaları dölleme şekli:  
Kuluçkalama aracı:  
Döllenen yumurtanın gözlenme ve açılma süreleri (gün):  
Ortalama kuluçka randımanı (%):  
Sağım sonrası anaçlarda yumurta kontrolü yapılıyor mu?  
Sağım öncesi anestezi uygulaması yapılıyor mu?  
Anestezik madde ve kullanım oranı:

---

*Araştırma Makalesi / Research Article*

---

## 4'-Metil-3-Fenilakrilofenon Bileşiğinin Moleküler ve Kristal Yapı Analizi

Hasan İNAÇ<sup>\*1</sup>, Nermin KAHVECİ YAĞCI<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Kırıkkale Üniversitesi, Eğitim Fakültesi, Matematik ve Fen Bilimleri Eğitimi Bölümü, Kırıkkale

<sup>2</sup>Kırıkkale Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, Kırıkkale

---

### Öz

Bileşiğin kristal yapısı (C<sub>16</sub>H<sub>14</sub>O) 296 K'de tayin edildi. Tek kristal bileşiğin yapısı tek kristal X-ışını kırınımı yöntemi kullanılarak belirlendi. Kristal yapının birim hücre parametreleri a=14.9921(9) Å, b=9.8460(4) Å, c=17.5570(11) Å, α=90°, β=105.721(5)°, γ=90° ve Z=8'dir. Bileşik monoklinik yapıda kristalleşmiş olup uzay grubu C 2/c'dir. Kristal yapıda moleküller arası C-H... O hidrojen bağları, (Bu C-H... O hidrojen bağları zayıf etkileşimli bağlardır) molekülleri üç boyutlu bir ağa bağlar. Bu zayıf etkileşimler, moleküllerin sentrosimetrik dimerik yapı oluşturmaya neden olur.

**Anahtar kelimeler:** Metilfenil, Fenilakrilofenon, Kristal Yapı, Sentrosimetrik Dimer.

---

## Molecular and Crystal Structure Analysis of 4'-Methyl-3-Phenylacrylophenone Compound

### Abstract

The crystal structure of the compound, (C<sub>16</sub>H<sub>14</sub>O), was determined at 296 K. The structure of the single crystal compound was determined using a single crystal X-ray diffraction method. The unit cell parameters of the crystal structure are a=14.9921(9) Å, b=9.8460(4) Å, c=17.5570(11) Å, α=90°, β=105.721(5)°, γ=90° and Z=8. The compound crystallizes in monoclinic space group C 2/c. In the crystal structure, intermolecular C-H...O hydrogen bonds link the molecules into a three-dimensional network. These weak interactions cause the molecules to form a centrosymmetric dimeric structure.

**Keywords:** Methylphenyl, Phenylacrylophenone, Crystal Structure, Centrosymmetric Dimer.

---

### 1. Giriş

Dünya Sağlık Örgütü'nün 2014 tarihli bir raporuna göre Tüberküloz en önemli hastalıklardan biridir [1]. Maalesef tüberküloza karşı geliştirilen çok az ilaç vardır [2-3]. Bu nedenle etkili yeni antimikrobik bileşiklerin sentezi son derece önemli hale gelmiştir. Kalsinler, türevleri kolay üretilen kimyasal bileşiklerdir. Kalkonlar ve sentetik türevleri; anti-inflamatuvar, antihistaminik, antioksidan, antitüberküloz, antiülser ve antifungal gibi kapsamlı farmakolojik özelliklere sahiptir [4].

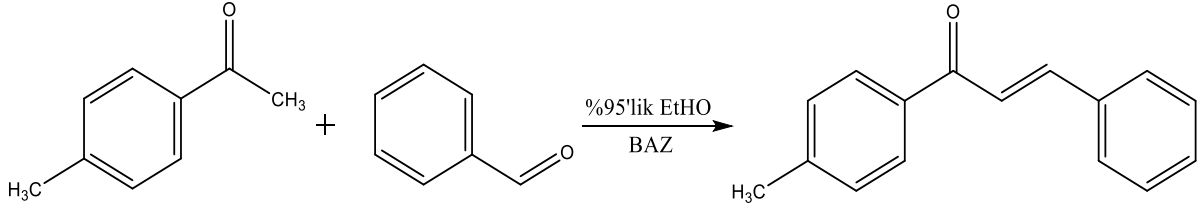
Bu çalışmada, bir kalkon türevi ve kısa adı "4'-Metilkalkon" (4'-Methylchalcone) olan "4'-Metil-3-Fenilakrilofenon" (C<sub>16</sub>H<sub>14</sub>O) bileşiği sentezlendi. Çalışmamızda elde ettiğimiz bileşiğe benzer diğer çalışmalara literatürden ulaşmak mümkündür (4,4'-Dimetilkalkon [5-6-7] ve kalkon [8]). Elde ettiğimiz bileşiğin tek kristali elde edilip tek kristal X-ışınları difraktometresinde verileri toplanarak bileşiğin kristal yapısı çözülmüştür. Çalışmamızda kullandığımız C<sub>16</sub>H<sub>14</sub>O bileşiğinin kimyasal diyagramı Şekil 1'de görülmektedir. Bileşik den elde edilen tek kristal, STOE IPDS II tek kristal X-ışını kırınım metresine takılarak kırınım verileri toplandı. Bu veriler kullanılarak tek kristal yapı çözümü için yazılmış ShelxT bilgisayar programı ile kristalin yapısı çözüldü. Kristalin yapısının geometrik

---

\* Sorumlu yazar: [hinac@kku.edu.tr](mailto:hinac@kku.edu.tr)

Geliş Tarihi: 08.08.2018, Kabul Tarihi: 04.01.2019

özellikleri Tablo 1’de, Ortep şekli Şekil 2’de ve bileşiğin moleküllerini bir arada tutarak katı yapıyı oluşturan hidrojen bağları verileri Tablo 2’de verildi.



Şekil 1. Bileşiğin kimyasal diyagramı

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. 4'-Metil-3-Fenilakrilofenon Bileşiğinin Sentezi

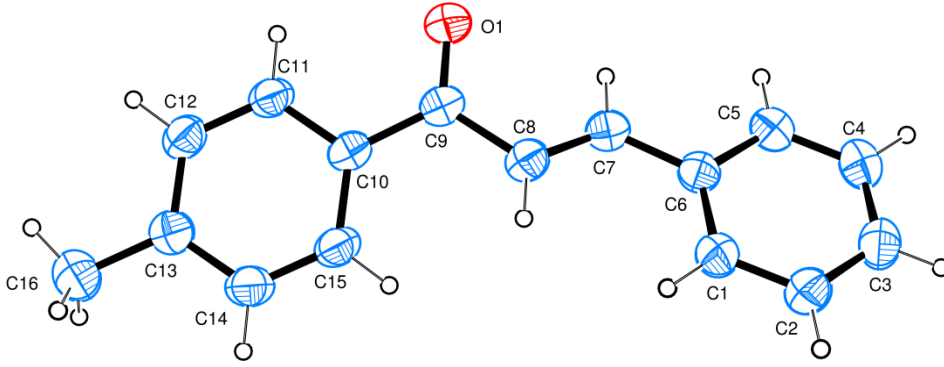
% 95 etanol (10 mL) içindeki 4'-metilasetofenon (1.6 mL, 0.014 mol) çözültisine (% 10, 10 mL), benzaldehid (1.4 mL, 0.012 mol) ilave edildi. Karışım 6 dakika oda sıcaklığında karıştırıldı ve sonra su (10 mL) ilave edildi. Karışım vakumlu filtrasyondan geçirildi. Sıcak etanolden yavaşça soğutulularak renksiz (şeffaf) kristaller elde edildi. Bu kristallerden verisi toplanmak üzere örnek bir kristal seçildi.

### 2.2. X-Işını Kristalografisi

STOE IPDS-II (Stoe Imaging Plate Diffraction System-II) difraktometresinde elde edilen veriler kullanılarak, X-RED isimli bilgisayar programı yardımı ile yapı çözümü için gerekli olan dosya oluşturuldu [9]. Kristalin yapısını çözmek için WinGX ([10]) paket programı içinde SHELXT ([11]) yapı çözüm programı kullanıldı. Yapı arıtımı için en-küçük kareler yöntemi SHELXL ([11]) programı kullanılarak gerçekleştirildi. Elde edilen sonuçların yayına hazırlanma aşamasında ORTEP-3 ([11]) çizim ve PLATON ([12]) hesaplama programları kullanıldı. Arıtım esnasında hidrojen atomları geometrik olarak (aromatik halka hidrojenleri için bağ uzunluğu 0,93 Å, metil hidrojenleri için bağ uzunluğu 0,96 Å) yerleştirilmiştir.

## 3. Bulgular ve Tartışma

Literatüre göre, Şekil 1’de kimyasal açık formülü görülen [4'-Metil-3-Fenilakrilofenon Bileşiği, (C<sub>16</sub>H<sub>14</sub>O)] ve daha önce tek kristali elde edilip yapısı çözülmemiş olan bu yapı için elde edilen kristalin yapısı çözüldü. Bu çalışmada, Şekil 1’de kimyasal açık formülü görülen [4'-Metil-3-Fenilakrilofenon (C<sub>16</sub>H<sub>14</sub>O)] bileşiğin tek kristali elde edildi. Seçilen tek kristalin şiddet verileri X ışını difraktometresi ile toplandı ve elde edilen veriler kristalografide kullanılan bilgisayar programları aracılığı ile incelenerek kristalin yapısı çözüldü. Kristalin yapısının çözülmesi ile elde edilen Ortep şekli yapının çözümünden elde edilen atomik koordinatlar ve atomik yerdeğiştirme parametreleri kullanılarak oluşturulmuş ve Şekil 2’de verilmektedir. Şekildeki tüm yerleşim elipsoitleri %30 olasılıkla çizilmiştir. Bileşiğin kristalografik verileri ve arıtım ayrıntıları Tablo 1’de verilmiştir. Bileşiğin tek kristalinin monoklinik C 2/c uzay grubunda kristallendiği, birim hücrelerinde sekiz molekül bulunduğu saptanmıştır. Kristal yapı herhangi bir çözücü molekül içermemektedir ve morfolojik yapısı prizma şeklinde ve renksiz (şeffaf)’dir.



Şekil 2. Bileşiğin atomlarının numaralandırılmış çizimi

Moleküler yapı; bir metilvinilbenzen grubu ile bir benzen halkasının keton grubunun karbon atomları üzerinden birleşmesi ile meydana gelmiştir. Molekülün iki benzen halkası arasındaki açı değeri  $26.995(8)^\circ$  olup molekülün düzlemsel yapıda olmadığını göstermektedir. Bu açı değeri literatürdeki benzer çalışmalarla uyum içerisindedir ( $25.864(7)^\circ$ , [5] ve  $28.324(9)^\circ$ , [7]). Benzer olarak O1—C9—C8—C7 torsiyon açısı  $-17.8(2)^\circ$  değerinde olup, Treadwell [7]'in yapmış olduğu çalışmada aynı torsiyon açısı  $16,3(3)^\circ$  dir.

Tablo 1. Bileşiğin kristalografik verileri

<b>Kristal Verileri</b>	
Moleküler Formül	(C <sub>16</sub> H <sub>14</sub> O)
Formül Ağırlığı (akb)	222.27
Kristal sistemi, uzay grubu	Monoklinik, C 2/c
Sıcaklık (K)	296
a, b, c (Å)	14.9921(9), 9.8460 (4), 17.5570 (11)
$\beta$ (°)	105.721 (5)
V (Å <sup>3</sup> )	2494.7 (2)
Z	8
X-ışını tipi	Mo K $\alpha$
$\mu$ soğurma katsayısı (mm <sup>-1</sup> )	0.07
Kristal boyutları (mm)	0.50 × 0.39 × 0.25
<b>Veri Toplama</b>	
Difraktometre	STOE IPDS 2
Veri toplama sıcaklığı (K)	296
Soğurma Düzeltmesi	Integration
$\theta_{\min}$ , $\theta_{\max}$	2.41°, 26.50°
Ölçülen yansıma, bağımsız yansıma, gözlenen [I > 2 $\sigma$ (I)] yansıma	27623, 2589, 1776
T <sub>min</sub> , T <sub>max</sub>	0.9686, 0.9887
R <sub>int</sub>	0.040
(sin $\theta/\lambda$ ) <sub>max</sub> (Å <sup>-1</sup> )	0.628
<b>Aritım</b>	
R[F <sup>2</sup> > 2 $\sigma$ (F <sup>2</sup> )], wR(F <sup>2</sup> ), S	0.043, 0.111, 1.06
$\Delta\rho_{\max}$ , $\Delta\rho_{\min}$ (e Å <sup>-3</sup> )	0.10, -0.12
Hidrojen atomları	Geometriye göre yerleştirildi
Yansıma sayısı	2589
Parametre sayısı	155

Bu bileşikteki moleküllerin kristal yapıyı oluşturabilmesi için molekülleri birbirine bağlayan istiflenmeyi oluşturan bir adet moleküller arası C5—H5···O1 H-bağ geometrisi Tablo 2’de ve H-bağları ile oluşan sentrosimetrik dimerik yapı Şekil 3’te gösterilmiştir.

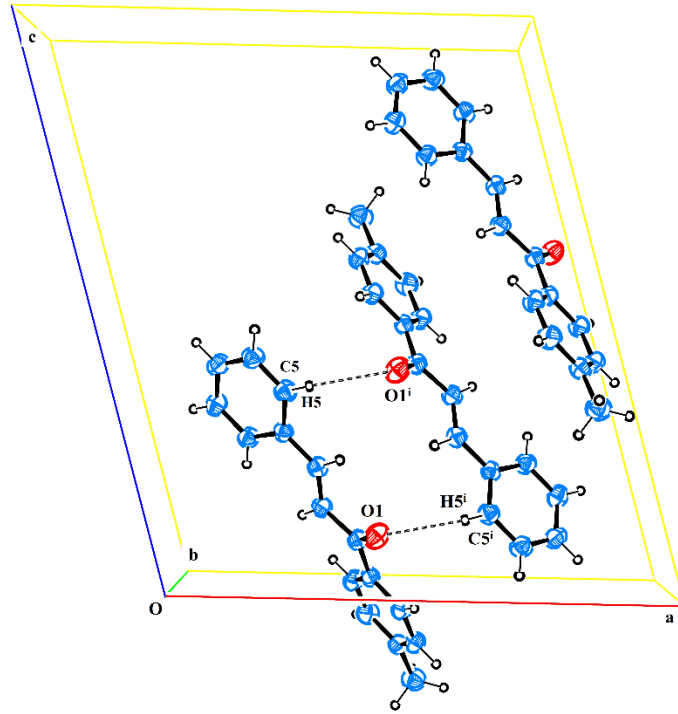
Çalışmamızda Benzen halkalarının düzlemsellikten sapma değerinin C1-C6 benzen halkası için bulunan maksimum değer C3 atomunda 0.0067 Å, C10-C15 benzen halkası için bulunan maksimum değer C12 atomunda 0.0040 Å olduğu tespit edildi. Benzen halkalarından; C1-C6 halkası için düzlemsellikten ortalama sapma 0.0048 Å ve C10-C15 benzen halkası için 0.0024 Å değerinde elde edildi. Ayrıca moleküler yapıya ait seçilen bazı bağ uzunlukları, bağ ve torsiyon açıları Tablo 3’te verilmiştir.

**Tablo 2.** Hidrojen bağ geometrisi (Å, °)

D—H···A	D—H	D···A	H···A	D—H···A
C5—H5···O1 <sup>i</sup>	0.93	3.37.15(19)	2.60	140.7
Simetri kodu: (i) -x, y, -z+3/2.				

**Tablo 3.** Seçilmiş bazı geometrik veriler (Å, °)

C6—C7	1.459 (2)	C9—C10	1.484 (2)
C9—O1	1.2279 (17)	C8—C7	1.321 (2)
C9—C8	1.474 (2)	C13—C16	1.506 (2)
O1—C9—C8	119.63 (14)	C11—C10—C9	119.39 (13)
O1—C9—C10	120.16 (12)	C15—C10—C9	123.48 (13)
O1—C9—C10—C11	-4.0 (2)	C8—C9—C10—C11	176.13 (12)



**Şekil 3.** Bileşiğin C—H···O hidrojen bağlarıyla yaptığı paket yapının b eksenine paralel olarak çizimi. Kesikli çizgiler hidrojen bağlarını göstermektedir (simetri kodu i: -x, y, -z+3/2).

#### 4. Sonuç ve Öneriler

Bileşiğin moleküler yapısı bir metilvinilbenzen grubu ile bir benzen halkasının keton grubunun karbon atomları üzerinden birleşmesi ile meydana gelmiştir. Moleküler yapının düzlemselliği hem benzen halkaları ve hem de tüm molekül için ayrı ayrı araştırılmıştır. Benzen halkalarında düzlemsellikten en çok sapan atomların, C1-C6 benzen halkasında bulunan C3 atomu için maksimum değer 0.0067 Å ve C10-C15 benzen halkasında bulunan C12 atomu için maksimum değer 0.0040 Å olduğu gözlenmiştir. Benzen halkalarından; C1-C6 halkası için düzlemsellikten ortalama sapma 0.0048 Å ve C10-C15 benzen halkası için düzlemsellikten ortalama sapma 0.0024 Å değerinde elde edilmiştir. Oldukça küçük bu sapma değerleri ile her iki benzen halkasının da düzlemsel olduğu söylenebilir. Düzlemsel yapıda olmayan molekülün, O1—C9—C8—C7 torsiyon açısı  $-17.8(2)^\circ$  dir. Treadwell [7]'in yapmış olduğu benzer bir çalışmada aynı torsiyon açısı  $16,3(3)^\circ$  olarak verilmiştir. Moleküler yapıdaki iki benzen halkası da aynı düzlemde değildir. İki benzen halka düzlemi arasındaki dihedral açı  $26.995(8)^\circ$  dir. Bu açı değeri literatürdeki benzer iki çalışmada [7,8] sırasıyla  $25.864(7)^\circ$ ,  $28.324(9)^\circ$  lik değerleriyle, çalışmamızla uyum içindedir.

Kristal yapı C-H...O tipi zayıf hidrojen bağlarının yanı sıra van der Waals etkileşimleri ile kararlı haldedir. Tablo 2'de geometrisi tanımlanan C-H...O etkileşimleri ile moleküller sentrosimetrik dimerler oluşturacak biçimde bağlanarak kristal yapı içinde Şekil 3'te görüldüğü gibi istiflenmiştir. Ayrıca çalışmamızda elde edilen kristalografik verilerin literatürle uyum içinde olduğu görülmüştür [13-15]. Bu bileşiğin kristal yapısının diğer verileri ekte verilen tablolardan görülebilir.

#### Kaynaklar

- [1] Kapata P.C., Kapata N., Klinkenberg E., Grobusch M.P, Cobelens F. 2017. The prevalence of HIV among adults with pulmonary TB at a population level in Zambia, BMC infectious diseases, 17(1).
- [2] Magiorakos A.P., Srinivasan A., Carey R.B., Carmeli Y., Falagas M.E., Giske C.E., Harbarth S., Hindler J.F., Kahlmeter G., Olsson B. 2012. Multidrug-resistant, extensively drug-resistant and pandrug-resistant bacteria: an international expert proposal for interim standard definitions for acquired resistance, Clinical Microbiology and Infection, 18: 268-281.
- [3] Tiwari R., Moraski G.C., Krchnak V., Miller P.A., Martinez M.C., Herrero E., Oliver A.G., Miller M.J. 2013. Thiolates chemically induce redox activation of BTZ043 and related potent nitroaromatic anti-tuberculosis agents. Journal of the American Chemical Society, 135: 3539-3549.
- [4] Mahapatra D.K., Bharti S.K., Asati V. 2015. Chalcone scaffolds as anti-infective agents: Structural and molecular target perspectives. European Journal Medicinal Chemistry, 11: 496-524.
- [5] Rabinovich D., Shakked Z. 1974. Optical Induction in Chiral Crystals. I. The Crystal and Molecular Structures of 4,4'-Dimethylchalcone, Acta Crystallographica Section B., B30: 2829-2834.
- [6] Toda F., Tanaka K., Kato M. 1998. Stereoselective photodimerisation of chalcones in the molten state, J. Chem. Soc., Perkin Trans. 1, pp. 1315-1318.
- [7] Treadwell E.M. 2006. 4-Methylchalcone. Acta Crystallographica Section E, E62: o5899-o5900.
- [8] Rabinovich D. 1970. Topochemistry. Part XXX. Crystal and molecular structures of chalcone, Journal of the Chemical Society. (B), pp. 11-16.
- [9] Stoe C. 2002. X-Area (Version 1.18) ve X-Red32 (Version 1.04), Stoe ve Cie, Darmstadt, Germany.
- [10] Farrugia L.J. 2012. WinGX and ORTEP for Windows: an update, Journal Applied Crystallography, 45: 849-854.
- [11] Sheldrick G.M. 2015. SHELXT - Integrated space group and crystal structure determination, Acta Crystallographica Section A, A71, 3-8.
- [12] Spek A.L. 2009. Structure validation in chemical crystallography, Acta Crystallographica Section D, D65: 148-155.
- [13] Raghavendra S., Chidankumar C.S., Jayarama A., Dharmaprakash S.M. 2015. 1-[4-(methylsulfanyl) phenyl]-3-(4-nitrophenyl) prop-2-en-1-one: A reverse saturable absorption based optical limiter, Materials Chemistry and Physics, 149: 487-494.
- [14] Ekbote A., Patil P.S., Maidur S.R., Chia T.S., Quah C.K. 2017. Structure and nonlinear optical properties of (E)-1-(4-aminophenyl)-3-(3-chlorophenyl) prop-2-en-1-one: A promising new D-p-

A-p-D type chalcone derivative crystal for nonlinear optical devices, Journal of Molecular Structure, 1129: 239-247.

- [15] Zainuri D.A., Arshad S., Khalib N.C., Razak I.A., Pillai R., Sulaiman S.F., Hashim N.S., Ooi K.L., Armakovic S., Armakovic S.J., Panicker C.Y., Alsenoy C.V. 2017. Synthesis, XRD crystal structure, spectroscopic characterization (FT-IR, <sup>1</sup>H and <sup>13</sup>C NMR), DFT studies, chemical reactivity and bond dissociation energy studies using molecular dynamics simulations and evaluation of antimicrobial and antioxidant activities of a novel chalcone derivative, (E)-1-(4-bromophenyl)-3-(4-iodophenyl)prop-2-en-1-one. Journal of Molecular Structure, 1128: 520-533.

## Ekler

### Ek A. Kesirsel atomik koordinatlar ve izotropik yerdeğiştirme parametreleri (Å<sup>2</sup>)

	x	y	z	$U_{iso}^*/U_{eq}$
C6	0.19464 (9)	0.32531 (14)	0.71966 (8)	0.0674 (4)
C9	0.10330 (9)	0.34044 (15)	0.90388 (8)	0.0711 (4)
C10	0.09865 (8)	0.25343 (13)	0.97171 (8)	0.0663 (3)
C8	0.15733 (10)	0.29643 (15)	0.84956 (9)	0.0751 (4)
H8	0.201641	0.228635	0.865607	0.090*
C15	0.13559 (10)	0.12317 (15)	0.98379 (9)	0.0804 (4)
H15	0.167341	0.088638	0.949301	0.096*
O1	0.06199 (8)	0.44943 (11)	0.89262 (7)	0.0936 (4)
C7	0.14436 (10)	0.35088 (15)	0.77865 (9)	0.0726 (4)
H7	0.096675	0.414160	0.764389	0.087*
C11	0.05224 (10)	0.30004 (15)	1.02482 (9)	0.0759 (4)
H11	0.026481	0.386615	1.018399	0.091*
C5	0.16803 (10)	0.39391 (16)	0.64791 (9)	0.0792 (4)
H5	0.117655	0.452743	0.637961	0.095*
C12	0.04349 (10)	0.22101 (16)	1.08677 (9)	0.0794 (4)
H12	0.012489	0.255566	1.121795	0.095*
C13	0.07980 (10)	0.09093 (16)	1.09829 (9)	0.0761 (4)
C1	0.26942 (10)	0.23740 (15)	0.73209 (9)	0.0778 (4)
H1	0.287970	0.189175	0.779296	0.093*
C3	0.28960 (12)	0.29079 (18)	0.60522 (10)	0.0889 (5)
H3	0.321997	0.280192	0.567316	0.107*
C4	0.21511 (12)	0.37616 (18)	0.59127 (10)	0.0899 (5)
H4	0.196119	0.422416	0.543408	0.108*
C14	0.12605 (11)	0.04453 (16)	1.04573 (10)	0.0857 (4)
H14	0.151521	-0.042223	1.052251	0.103*
C16	0.06832 (13)	0.00394 (19)	1.16558 (10)	0.1017 (5)
H16A	0.066802	-0.090015	1.150669	0.153*
H16B	0.011443	0.027242	1.177586	0.153*
H16C	0.119403	0.019154	1.211370	0.153*
C2	0.31663 (11)	0.22045 (17)	0.67550 (10)	0.0869 (4)
H2	0.366850	0.161401	0.684775	0.104*



**Ek B.** Atomik yer değiştirme parametreleri ( $\text{Å}^2$ )

	$U^{11}$	$U^{22}$	$U^{33}$	$U^{12}$	$U^{13}$	$U^{23}$
C6	0.0678 (8)	0.0633 (8)	0.0698 (8)	-0.0068 (6)	0.0161 (6)	-0.0041 (6)
C9	0.0673 (8)	0.0684 (9)	0.0768 (9)	0.0024 (7)	0.0184 (6)	-0.0099 (7)
C10	0.0615 (7)	0.0660 (8)	0.0698 (8)	0.0025 (6)	0.0152 (6)	-0.0121 (7)
C8	0.0730 (8)	0.0778 (9)	0.0741 (9)	0.0062 (7)	0.0192 (7)	-0.0053 (7)
C15	0.0848 (9)	0.0764 (10)	0.0834 (10)	0.0161 (7)	0.0286 (8)	-0.0087 (8)
O1	0.1091 (8)	0.0761 (7)	0.1067 (8)	0.0206 (6)	0.0481 (7)	0.0062 (6)
C7	0.0696 (8)	0.0682 (8)	0.0785 (9)	0.0017 (6)	0.0176 (7)	-0.0040 (7)
C11	0.0791 (9)	0.0696 (9)	0.0801 (10)	0.0132 (7)	0.0235 (7)	-0.0063 (7)
C5	0.0798 (9)	0.0759 (10)	0.0798 (10)	0.0001 (7)	0.0181 (8)	0.0075 (8)
C12	0.0791 (9)	0.0844 (10)	0.0787 (10)	0.0092 (8)	0.0280 (7)	-0.0069 (8)
C13	0.0720 (8)	0.0778 (9)	0.0744 (9)	-0.0002 (7)	0.0130 (7)	-0.0024 (7)
C1	0.0804 (9)	0.0778 (9)	0.0765 (9)	0.0044 (7)	0.0234 (7)	0.0063 (7)
C3	0.0956 (11)	0.0966 (12)	0.0818 (11)	-0.0115 (9)	0.0365 (9)	-0.0042 (9)
C4	0.0971 (11)	0.0944 (12)	0.0779 (10)	-0.0084 (9)	0.0235 (9)	0.0113 (8)
C14	0.0945 (11)	0.0697 (10)	0.0922 (11)	0.0155 (8)	0.0239 (9)	-0.0015 (8)
C16	0.1111 (13)	0.0988 (12)	0.0944 (12)	-0.0035 (10)	0.0267 (10)	0.0116 (10)
C2	0.0857 (9)	0.0864 (10)	0.0949 (11)	0.0062 (8)	0.0351 (8)	-0.0005 (9)

**Ek C. Geometrik parametreler (Å,°)**

C6—C1	1.386 (2)	C15—C14	1.374 (2)
C6—C5	1.3892 (19)	C11—C12	1.372 (2)
C6—C7	1.459 (2)	C5—C4	1.378 (2)
C9—O1	1.2279 (17)	C12—C13	1.385 (2)
C9—C8	1.474 (2)	C13—C14	1.374 (2)
C9—C10	1.484 (2)	C13—C16	1.506 (2)
C10—C11	1.3842 (18)	C1—C2	1.377 (2)
C10—C15	1.3904 (19)	C3—C4	1.366 (2)
C8—C7	1.321 (2)	C3—C2	1.377 (2)
C1—C6—C5	117.88 (14)	C12—C11—C10	121.29 (14)
C1—C6—C7	123.21 (14)	C4—C5—C6	121.03 (15)
C5—C6—C7	118.90 (13)	C11—C12—C13	121.47 (14)
O1—C9—C8	119.63 (14)	C14—C13—C12	117.34 (14)
O1—C9—C10	120.16 (12)	C14—C13—C16	121.56 (15)
C8—C9—C10	120.21 (13)	C12—C13—C16	121.10 (15)
C11—C10—C15	117.08 (14)	C2—C1—C6	120.93 (15)
C11—C10—C9	119.39 (13)	C4—C3—C2	119.88 (16)
C15—C10—C9	123.48 (13)	C3—C4—C5	120.17 (16)
C7—C8—C9	121.62 (14)	C15—C14—C13	121.61 (15)
C14—C15—C10	121.20 (14)	C3—C2—C1	120.10 (16)
C8—C7—C6	128.82 (14)		
O1—C9—C10—C11	-4.0 (2)	C7—C6—C5—C4	178.08 (14)
C8—C9—C10—C11	176.13 (12)	C10—C11—C12—C13	-0.7 (2)
O1—C9—C10—C15	173.30 (14)	C11—C12—C13—C14	0.8 (2)
C8—C9—C10—C15	-6.6 (2)	C11—C12—C13—C16	-178.85 (14)
O1—C9—C8—C7	-17.8 (2)	C5—C6—C1—C2	1.0 (2)
C10—C9—C8—C7	162.09 (13)	C7—C6—C1—C2	-177.67 (14)
C11—C10—C15—C14	0.1 (2)	C2—C3—C4—C5	1.2 (2)
C9—C10—C15—C14	-177.23 (14)	C6—C5—C4—C3	-0.4 (2)
C9—C8—C7—C6	176.22 (13)	C10—C15—C14—C13	0.0 (2)
C1—C6—C7—C8	-2.1 (2)	C12—C13—C14—C15	-0.4 (2)
C5—C6—C7—C8	179.27 (14)	C16—C13—C14—C15	179.20 (15)
C15—C10—C11—C12	0.2 (2)	C4—C3—C2—C1	-0.8 (2)
C9—C10—C11—C12	177.70 (12)	C6—C1—C2—C3	-0.3 (2)
C1—C6—C5—C4	-0.7 (2)		

---

*Araştırma Makalesi / Research Article*

---

## **BiTeI Kristalinde Spin-Yörünge Yarılmasının Gerinim ile Değişimi**

SümeYra GÜLER-KILIÇ\*, Çetin KILIÇ

*Gebze Teknik Üniversitesi, Fizik Bölümü, Kocaeli*

---

### **Öz**

BiTeI kristalinin elektronik bant yapısında, güçlü spin-yörünge etkileşmesi Rashba tipi spin ayrışmasına yol açmaktadır. Bu nedenle, dar bant aralıklı bir yarıiletken olan BiTeI potansiyel bir spintronik malzeme olarak ilgi çekmektedir. Bu makalede, BiTeI'deki Rashba tipi spin yarılmalarının gerinim ile nasıl değiştiği incelenmiştir. Bu amaçla, yoğunluk fonksiyonel teorisi çerçevesinde kristal yapısı optimizasyonları ve bant yapısı hesaplamaları gerçekleştirilmiştir. Bu hesaplamaların sonuçları, BiTeI'deki Rashba tipi spin yarılmasının gerinim ile kontrol edilebileceğini göstermektedir. Bu, BiTeI kristalinde gerinimin spin-yörünge etkileşimini arttırdığı (kristal sıkıştırıldığında) ya da azalttığı (kristal genişletildiğinde) bulgusu ile açıklanmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Spintronik yarıiletkenler, BiTeI, Rashba tipi spin yarılması, Spin-yörünge etkileşimi, İlk-prinsip hesaplamalar.

---

## **Variation of Spin-Orbit Splitting with Strain in BiTeI Crystal**

---

### **Abstract**

In the electronic band structure of the BiTeI crystal, strong spin-orbit interaction leads to Rashba-type spin splitting. For this reason, BiTeI, a narrow band gap semiconductor, attracts attention as a potential spintronic material. In this article, it is examined how Rashba type spin splitting in BiTeI varies with strain. For this purpose, crystal structure optimizations and band structure calculations have been performed within the framework of density functional theory. The results of these calculations show that Rashba type splitting in BiTeI can be controlled with strain. This is explained by the finding that strain in the BiTeI crystal make the spin-orbit interaction increase (when the crystal compressed) or decrease (when the crystal dilated).

**Keywords:** Spintronic semiconductors, BiTeI, Rashba type spin splitting, Spin-orbit interaction, First-principles calculations.

---

### **1. Giriş**

2011 yılında elektronik bant yapısında devasa Rashba tipi spin yarılmaları gözlemlendiğinden [1] beri dar bant aralıklı BiTeI yarıiletkeni, potansiyel bir spintronik malzeme olarak, büyük ilgi görmektedir. Rashba tipi yarılmalar yarıiletken elektronlarının spin polarizasyonunun harici elektrik alanlarla kontrol edilmesine olanak sağladığı [2, 3] için BiTeI'nin spintronik cihazlarda kullanımı cazip görülmektedir. BiTeI basınç altında topolojik faz geçişi göstermesi [4-10] ve termoelektrik özellikleri [11-13] ile de dikkat toplamaktadır.

Rashba etkisinin ilk olarak incelendiği sistem iki-boyutlu (2B) elektron gazıdır [14]. Bu etkinin tezahürü, güçlü spin-yörünge etkileşmesinin varlığına ve evirme simetrisinin yokluğuna bağlıdır. Ağır eleman içeren düşük-boyutlu bir yarıiletken için bu şartların sağlanması nispeten kolaydır. Bununla beraber, Rashba etkisinin belirgin bir şekilde ortaya çıktığı üç-boyutlu (3B) kristallerin sayısı son derece azdır. Çünkü 3B bir kristalde Rashba tipi yarılmaların oluşması istisnai ve nadirdir. BiTeI kristalinin yoğun ilgi çekmesinin arkasında bu vardır.

---

\*Sorumlu yazar: [sumeyra@gtu.edu.tr](mailto:sumeyra@gtu.edu.tr)

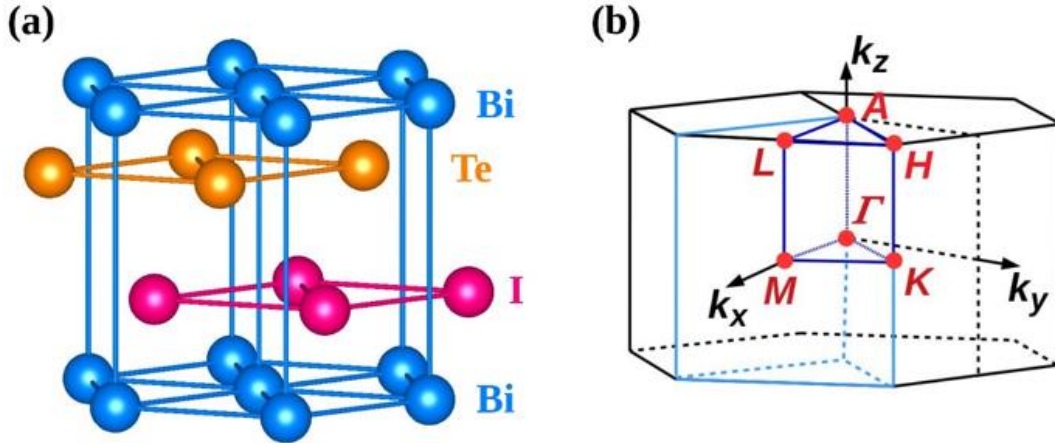
Geliş Tarihi: 10.09.2018, Kabul Tarihi: 19.11.2018

BiTeI yarıiletkeninin spin-ayrışmış Rashba bantlarına ait ölçüm [1,15-17] ve hesaplama [18-23] sonuçlarını rapor eden çok sayıda yayın çıkmaktadır. Katmanlı bir yapıya sahip olan BiTeI kristalini, ilk-prensip hesaplamaları gerçekleştirerek, incelediğimiz önceki bir yayınumuzda [22], BiTeI bant yapısında oluşan Rashba tipi yarılmaların kökeni araştırılmıştır: BiTeI katmanlarının arasındaki bölgelerde içsel bir 2B elektron gazının olduğu açığa çıkarılmıştır. Bununla beraber, BiTeI katmanlarının kompozisyonunun birli olması ve bizmut, tellür ve iyot atomlarının elektronegatiflik değerlerinin uygun düşmesi sayesinde, zikredilen içsel 2B elektron gazının maruz kaldığı asimetrik bir içsel elektrik alanın da var olduğu anlaşılmıştır. Bu asimetrik içsel elektrik alan, ağır eleman bizmutun varlığında spin-yörünge etkileşmesini belirleyerek, elektronik durumların spin eş-enerjiliğini ortadan kaldırmakta ve Rashba tipi yarılmaları netice vermektedir.

Rashba tipi spin yarılmaları, geleneksel olarak, e.g. [24], Rashba-Bychkov dispersiyon bağıntısı [14] kullanılarak karakterize edilmektedir. Aşağıda izah edildiği gibi, bu bağıntıya Rashba parametresi  $\alpha$  ve elektronun etkin kütlesi  $m^*$  girmektedir. Bu makalede BiTeI kristalindeki spin-yörünge yarılmalarını betimleyen bu parametrelerin ( $\alpha$  ve  $m^*$ ) gerinim ile nasıl değiştiği ele alınmaktadır. Bu amaçla BiTeI kristalinin birim hücre hacminin muhtelif değerleri için, yoğunluk fonksiyonel teorisi çerçevesinde, kristal yapısı optimizasyonları ve bant yapısı hesaplamaları gerçekleştirilmiştir. Hacim değerleri kristalin hem genleşme hem de sıkışma durumlarını kapsayacak şekilde seçilmiştir. Böylece, Rashba parametrelerinin hacim (kristal genleştiğinde) ve basınç (kristal sıkıştırıldığında) ile gösterdiği değişim incelenmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

BiTeI katmanlı trigonal bir yapıda kristalleşir; bu yapı, Şekil 1(a)'da gösterilmiştir. Bizmut, tellür ve iyot atomlarından oluşan ardışık birli katmanlar, bu katmanlara dik bir eksen boyunca dizilirdirler; tellür ve iyot katmanlarının arasında *van der Waals aralığı* olarak isimlendirilen vakum bölgesi bulunmaktadır. BiTeI kristalinin uzay grubu, evirme simetrisini içermeyen,  $P3m1$  (No. 156) grubudur. Bu uzay grubuna ait Brillouin bölgesi Şekil 1(b)'de verilmiştir. Elektronik durumların momentum ( $k$ ) eksenini boyunca Rashba tipi spin ayrışmaları Brillouin bölgesinin H-A ve A-L çizgilerinde olmaktadır. Bu nedenle, aşağıda verilen bant yapısı grafikleri H-A ve A-L çizgileri üzerindeki  $k$  değerleri kullanılarak çizilmiştir.



Şekil 1. BiTeI kristalinin atomik yapısı (a), Brillouin bölgesi (b)

Kristal yapısı optimizasyonları ve bant yapısı hesaplamaları, yoğunluk fonksiyonel teorisi çerçevesinde, Vienna *ab initio* simülasyon paketi (VASP) [25] kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Spin-yörünge etkileşimi VASP kolinear-olmayan modda [26, 27] çalıştırılarak, hiçbir ayarlanabilir parametre kullanılmaksızın, hesaba katılmıştır. Değiş-tokuş-iletişim fonksiyoneli olarak Perdew-Burke-Ernzerhof (PBE) fonksiyoneli [28] kullanılmıştır. Önceki bir yayınumuzda [22] van der Waals dispersiyon etkileşiminin hesaba katılmasının gerekli olduğu açığa çıkmıştır. Bu nedenle, PBE fonksiyoneline ilaveten yarı-ampirik bir dispersiyon potansiyeli [29] kullanılmıştır. Hesaplamalarda izdüşümsel ilaveli-dalga (PAW) yöntemi [30, 31] kullanılmış; tellür ve iyot için 5s ve 5p durumları ve

bizmut için  $6s$  ve  $6p$  durumları değerlik durumları olarak değerlendirilmiştir. Elektronik durumlar, düzlem dalga baz setleri kullanılarak temsil edilmiştir; kinetik enerjinin kesim değeri  $325$  eV'dir.

Yukarıda belirtildiği gibi gerek deneysel gerekse ilk-prensip hesaplama yöntemleri ile elde edilen, spin-ayrışmış Rashba bantlarının incelenmesinde,

$$\epsilon_{\pm}(k) = \frac{\hbar^2}{2m^*} k^2 \pm \alpha k \quad (1)$$

ifadesiyle verilen Rashba-Bychkov dispersiyon bağıntısı [14] yarar sağlamaktadır. Burada,  $\alpha$  ve  $m^*$ , sıra ile, *Rashba parametresi* ve etkin kütle göstermektedir. Spin yarıma enerjisi  $k$ 'da lineerdir ve  $\alpha$  ile doğru orantılıdır:  $\Delta\epsilon(k) = \epsilon_+(k) - \epsilon_-(k) = 2\alpha k$ . Bant enerjisi  $\epsilon_{\pm}(k)$ 'nin minimum değeri aldığı  $k$  değeri *momentum ofseti* olarak adlandırılır ve

$$k_0 = \frac{m^* \alpha}{\hbar^2} \quad (2)$$

ifadesiyle verilir. Spin yarılmasının enerjik bir ölçütü olarak,

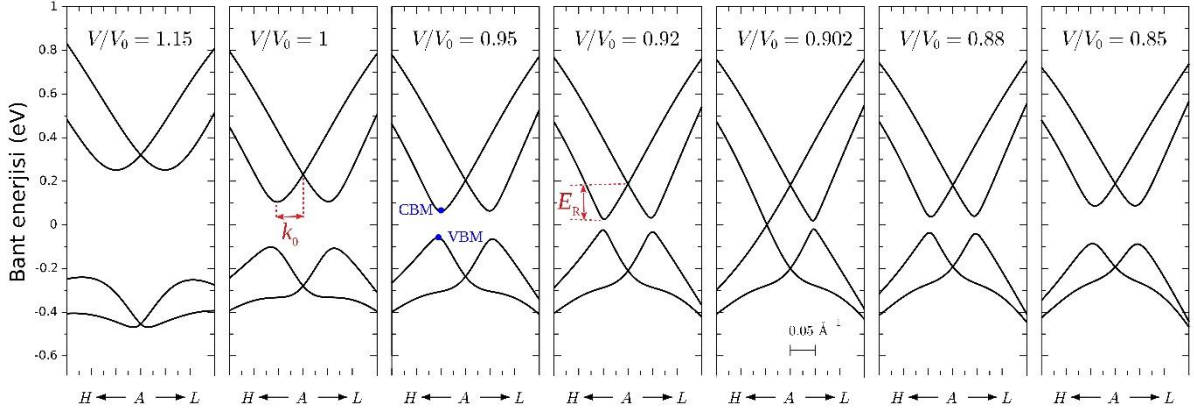
$$E_R = \frac{\alpha k_0}{2} \quad (3)$$

ifadesiyle verilen *Rashba enerjisi* kullanılmaktadır. Aşağıda Şekil 2'de gösterildiği gibi, bant yapısı grafiklerinden,  $k_0$  ve  $E_R$ 'nin değerleri doğrudan elde edilmektedir. Bu değerler Eşitlik (2) ve (3)'e yerleştirilerek ve bu eşitlikler  $\alpha$  ve  $m^*$  için çözümlenerek, Rashba parametresi ve etkin kütle elde edilmektedir.

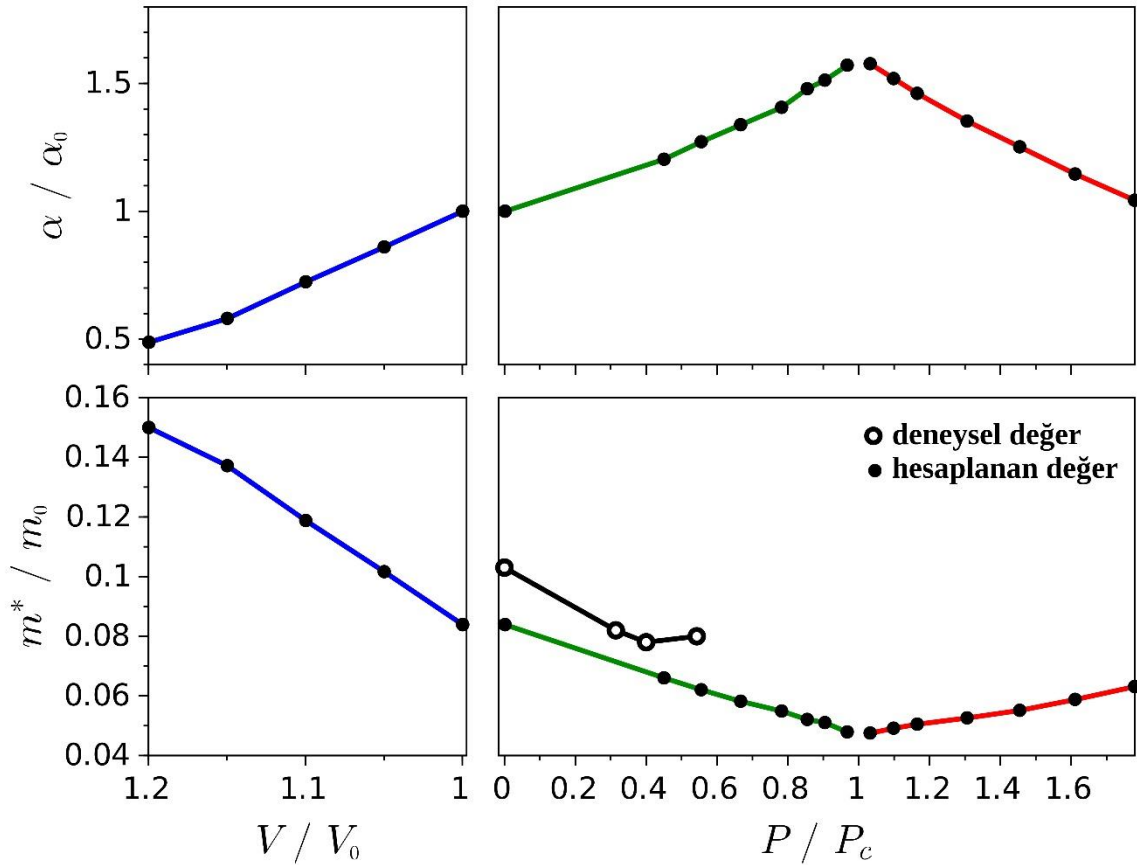
BiTeI'nin birim hücre hacmi  $V$ 'nin muhtelif değerleri için kristal yapısı optimizasyonları gerçekleştirilerek, önceki bir yayınlamamızda [22] detaylı olarak anlatıldığı gibi, BiTeI kristalinin durum denklemi türetilmiştir. Böylece basınç-hacim  $P - V$  denklemi elde edilmiştir. Aşağıda  $V$ 'nin *denge* değeri, yani  $P = 0$  için aldığı değer,  $V_0$  olarak gösterilmiştir. Gerinim ölçütü olarak, hacim oranı  $V/V_0$  kullanılmıştır. Bu oranın birden büyük ve küçük olması, sıra ile, kristalin genişmesi ve sıkıştırılması anlamına gelmektedir. Her hacim değeri için, bant yapısı hesaplamaları yapılarak, Rashba parametrelerinin muhtelif hacim değerlerine karşılık gelen değerleri elde edilmiştir. Böylece, Rashba parametresi ve etkin kütle hacim  $V$  (kristal genişliğinde) ve basınç  $P$  (kristal sıkıştırıldığında) ile nasıl değiştiği belirlenmiştir.

### 3. Bulgular ve Tartışma

BiTeI kristalinin muhtelif hacim  $V$  değerleri için elde edilen elektronik bant yapısı grafikleri Şekil 2'de verilmiştir; en düşük (yüksek) enerjiye sahip olan iki iletim (değerlik) bandı çizilmiştir. Hem iletim hem de değerlik bantlarının momentum ekseninde birbirinden ayrışması spin-yörünge etkileşmesinden kaynaklanmaktadır. Hacim oranı  $V/V_0$  değiştiğinde hem bant aralık enerjisi hem de bantların şekli (dispersiyonu) değişim göstermektedir. Bant aralığı enerjisinin basınç ile gösterdiği değişim önceki bir yayınlamamızda [10] detaylı olarak ele alınmıştır. Özetle, basıncın kritik bir değerine ( $P_c$ ) kadar bant aralığı küçülmekte;  $P = P_c$  olduğunda bant aralığı tamamen kapanmakta ve BiTeI yarı metale dönüşmektedir. Basınç artarken kritik basınç  $P_c$  değeri geçildiğinde ise, bant aralığı tekrar açılmaktadır. Buna, kristal genişlerken ( $V/V_0 > 1$ ) bant aralığının artma eğiliminde olduğu ilave edilmelidir.



**Şekil 2.** BiTeI kristalinin, hacim oranı  $V/V_0$ 'nın muhtelif değerleri için, elektronik bant yapısı grafikleri; sadece dört bant (en düşük enerjiye sahip iki iletim bandı ve en yüksek enerjiye sahip iki değerlik bandı) çizilmiştir. Değerlik bandı maksimumu, sıra ile VBM ve CBM olarak işaretlenmiş; Rashba enerjisi ( $E_R$ ) ve momentum ofseti ( $k_0$ ) gösterilmiştir.



**Şekil 3.** BiTeI kristali için Rashba parametresi  $\alpha$  ve etkin kütle  $m^*$ 'nin hacim oranı  $V/V_0$  ve basınç oranı  $P/P_c$  ile değişimi;  $m_0$  serbest elektron kütlelerini,  $\alpha_0$  Rashba parametresinin  $V = V_0$  için değerini göstermektedir. Deneysel değerleri şu kaynaklardan alınmıştır: [1], [32].

Şekil 2'de hacim oranı  $V/V_0$ 'nın muhtelif değerleri için bant dispersiyonun farklı olması, momentum ofseti, Rashba enerjisi ve etkin kütlelerin gerinim ile değiştiğinin bir göstergesidir. Bu, BiTeI yarıiletkeninin elektronik yapısına spin-yörünge etkileşmesinden gelen katkının gerinim ile kontrol edilebileceğini göstermektedir. Rashba Hamiltoniyeninde spin-yörünge etkileşiminin katkısını  $\alpha$

parametresinin değeri belirlemektedir. Bu nedenle, Rashba parametresi  $\alpha$ 'nın gerinim ile nasıl değiştiği incelenmiştir. Şekil 3'ün üst panellerinde  $\alpha/\alpha_0$  oranı, hacim oranı  $V/V_0$ 'ye (sol panel) ve basınç oranı  $P/P_c$ 'ye (sağ panel) göre çizilmiştir;  $\alpha_0$  Rashba parametresinin  $V = V_0$  için aldığı değeri göstermektedir. Şekil 3'ün alt panellerinde ise  $m^*/m_0$  oranı aynı gerinim ölçütlerine göre çizilmiştir;  $m_0$  serbest elektron kütlesini göstermektedir. Şekil 3'de mavi, yeşil ve kırmızı çizgilerle birleştirilen noktalar üç farklı duruma tekabül etmektedir: (i) Kristal genişirken,  $\alpha/\alpha_0$  ( $m^*/m_0$ ) oranı  $V/V_0$  ile yaklaşık olarak doğru orantılı bir şekilde azalmaktadır (artmaktadır). Bu durumda, BiTeI katmanları arasındaki van der Waals aralığı büyüdüğü için spin-yörünge etkileşimi zayıflamakta ve yarıiletken elektronları “ağır”laşmaktadır. (ii) Kristal sıkıştırılırken, basınç kritik değerden küçük ise,  $\alpha/\alpha_0$  ( $m^*/m_0$ ) oranı  $P/P_c$  ile yaklaşık olarak doğru orantılı bir şekilde artmaktadır (azalmaktadır). Bu durumda, spin-yörünge etkileşimi güçlenmekte ve yarıiletken elektronları “hafif”lemektedir. Hesaplanan  $m^*/m_0$  değerlerinin deneysel [1,32] değerlerle oldukça uyumlu olduğu belirtilmelidir. (iii) Kristal sıkıştırılırken, basınç kritik değerinden büyük ise,  $\alpha/\alpha_0$  ( $m^*/m_0$ ) oranı  $P/P_c$  ile yaklaşık olarak doğru orantılı bir şekilde azalmaktadır (artmaktadır). Bu bulgular, BiTeI yarıiletkeninde spin-yörünge etkileşim şiddetinin gerinim ile kontrol edilebileceğini göstermektedir.

#### 4. Sonuç ve Öneriler

Bu makalede, yoğunluk fonksiyonel teorisi çerçevesinde ilk-prensip hesaplamaları gerçekleştirilerek BiTeI yarıiletkeninde elektronik bant dispersiyonunun ve Rashba tipi spin yarılmasının gerinim ile nasıl değiştiği araştırılmıştır. BiTeI kristalinde gerinimin spin-yörünge etkileşmesinin şiddetini değiştirdiği bulunmuştur: Kristal sıkıştırılırken spin-yörünge etkileşimi artmakta, kristal genişirken ise azalmaktadır. Bu, BiTeI yarıiletkenindeki Rashba tipi spin yarılmasının gerinim ile gösterdiği değişimi açıklamaktadır. Bu bulgular, BiTeI yarıiletkeninin spintronik özelliklerinin gerinim ile kontrol edilebileceğini göstermektedir.

#### Teşekkür

Nümerik hesaplamalar TÜBİTAK ULAKBİM TRUBA kaynaklarında gerçekleştirilmiştir.

#### Kaynaklar

- [1] Ishizaka K., Bahramy M.S., Murakawa H., Sakano M., Shimojima T., Sonobe T., Koizumi K., Shin S., Miyahara H., Kimura A., Miyamoto K., Okuda T., Namatame H., Taniguchi M., Arita R., Nagaosa N., Kobayashi K., Murakami Y., Kumai R., Kaneko Y., Onose Y., Tokura Y. 2011. Giant Rashba-type Spin Splitting in Bulk BiTeI, *Nature Mater.*, 10: 521-526.
- [2] Hoffmann A., Bader S.D. 2015. Opportunities at the Frontiers of Spintronics, *Phys. Rev. Applied*, 4 (047001): 1-18.
- [3] Silsbee R. H. 2004. Spin–Orbit Induced Coupling of Charge Current and Spin Polarization, *J. Phys.: Condens. Matter*, 16: R179-R207.
- [4] Bahramy M.S., Yang B.J., Arita R., Nagaosa N. 2012. Emergence of Non-Centrosymmetric Topological Insulating Phase in BiTeI under Pressure, *Nature Commun.*, 3 (679): 1-7.
- [5] Xi X., Ma C., Liu Z., Chen Z., Ku W., Berger H., Martin C., Tanner D. B., Carr G. L. 2013. Signatures of a Pressure-Induced Topological Quantum Phase Transition in BiTeI, *Phys. Rev. Lett.*, 11 (155701): 1-5.
- [6] Tran M.K., Levallois J., Lerch P., Teyssier J., Kuzmenko A.B., Autès G., Yazyev O.V., Ubal dini A., Giannini E., van der Marel D., Akrap A. 2014. Infrared- and Raman-Spectroscopy Measurements of a Transition in the Crystal Structure and a Closing of the Energy Gap of BiTeI under Pressure, *Phys. Rev. Lett.*, 112 (047402): 1-5.
- [7] Liu J., Vanderbilt D. 2014. Weyl Semimetals from Noncentrosymmetric Topological Insulators, *Phys. Rev. B*, 90 (155316): 1-10.

- [8] Ideue T., Checkelsky J.G., Bahramy M.S., Murakawa H., Kaneko Y., Nagaosa N., Tokura Y. 2014. Pressure Variation of Rashba Spin Splitting Toward Topological Transition in the Polar Semiconductor BiTeI, *Phys. Rev. B*, 90 (161107): 1-5.
- [9] Park J., Jin K.-H., Jo Y. J., Choi E. S., Kang W., Kampert E., Rhyee J.-S., Jhi S.-H., Kim J. S. 2015. Quantum Oscillation Signatures of Pressure-induced Topological Phase Transition in BiTeI, *Sci. Rep.*, 5 (15973): 1-8.
- [10] Güler-Kılıç S., Kılıç Ç. 2016. Pressure Dependence of the Band-Gap Energy in BiTeI, *Phys. Rev. B*, 94 (165203): 1-7.
- [11] Kulbachinskii V.A., Kytin V.G., Lavrukhina Z.V., Kuznetsov A.N., Shevelkov A.V. 2010. Galvanomagnetic and Thermoelectric Properties of BiTeBr and BiTeI Single Crystals and their Electronic Structure, *Semiconductors*, 44 (12): 1548-1553.
- [12] Wu L., Yang J., Chi M., Wang S., Wei P., Zhang W., Chen L., Yang J. 2015. Enhanced Thermoelectric Performance in Cu-Intercalated BiTeI by Compensation Weakening Induced Mobility Improvement, *Sci. Rep.*, 5 (14319): 1-12.
- [13] Wu L., Yang J., Zhang T., Wang S., Wei P., Zhang W., Chen L., Yang J. 2016. Enhanced Thermoelectric Performance in the Rashba Semiconductor BiTeI Through Band Gap Engineering, *J. Phys.: Condens. Matter*, 28 (085801): 1-7.
- [14] Bychkov Y.A., Rashba E.I. 1984. Properties of a 2D Electron Gas with Lifted Spectral Degeneracy, *JETP Lett.*, 39 (2): 78-81.
- [15] Landolt G., Eremeev S.V., Koroteev Y.M., Slomski B., Muff S., Neupert T., Kobayashi M., Strocov V.N., Schmitt T., Aliev Z.S., Babanly M.B., Amiraslanov I.R., Chulkov E.V., Osterwalder J., Dil J.H. 2012. Disentanglement of Surface and Bulk Rashba Spin Splittings in Noncentrosymmetric BiTeI, *Phys. Rev. Lett.*, 109 (116403): 1-5.
- [16] Sakano M., Miyawaki J., Chainani A., Takata Y., Sonobe T., Shimojima T., Oura M., Shin S., Bahramy M.S., Arita R., Nagaosa N., Murakawa H., Kaneko Y., Tokura Y., Ishizaka K. 2012. Three-Dimensional Bulk Band Dispersion in Polar BiTeI with Giant Rashba-Type Spin Splitting, *Phys. Rev. B*, 86 (085204): 1-5.
- [17] Kanou M., Sasagawa T. 2013. Crystal Growth and Electronic Properties of a 3D Rashba Material, BiTeI, with Adjusted Carrier Concentrations, *J. Phys.: Condensed Matter*, 25 (135801): 1-6.
- [18] Bahramy M.S., Arita R., Nagaosa N. 2011. Origin of Giant Bulk Rashba Splitting: Application to BiTeI, *Phys. Rev. B*, 84 (041202): 1-4.
- [19] Fu H. 2013. Tunability of Giant Rashba Spin Splitting in BiTeI, *Phys. Rev. B*, 87 (075139): 1-6.
- [20] Rusinov I.P., Nechaev I.A., Eremeev S.V., Friedrich C., Blügel S., Chulkov E.V. 2013. Many-Body Effects on the Rashba-Type Spin Splitting in Bulk Bismuth Tellurohalides, *Phys. Rev. B*, 87 (205103): 1-5.
- [21] Zhu Z., Cheng Y., Schwingenschlögl U. 2013. Orbital-Dependent Rashba Coupling in Bulk BiTeCl and BiTeI, *New J. Phys.*, 15 (023010): 1-8.
- [22] Güler-Kılıç S., Kılıç Ç. 2015. Crystal and Electronic Structure of BiTeI, AuTeI, and PdTeI Compounds: A Dispersion-Corrected Density-Functional Study, *Phys. Rev. B*, 91 (245204): 1-12.
- [23] Schwalbe S., Wirnata R., Starke R., Schober G.A.H., Kortus J. 2016. Ab Initio Electronic Structure and Optical Conductivity of Bismuth Tellurohalides, *Phys. Rev. B*, 94 (205130): 1-7.
- [24] Ast C.R., Pacilé D., Moreschini L., Falub M.C., Papagno M., Kern K., Grioni M., Henk J., Ernst A., Ostanin S., Bruno P. 2007. Giant Spin Splitting Through Surface Alloying, *Phys. Rev. Lett.*, 98 (186807): 1-5.
- [25] Kresse G., Furthmüller J. 1996. Efficient Iterative Schemes for Ab Initio Total-Energy Calculations Using a Plane-Wave Basis Set, *Phys. Rev. B*, 54 (16): 11169-11186.
- [26] Hobbs D., Kresse G., Hafner J. 2000. Fully Unconstrained Noncollinear Magnetism within the Projector Augmented-Wave Method, *Phys. Rev. B*, 62 (17): 11556-11570.
- [27] Steiner S., Khmelevskiy S., Marsmann M., Kresse G. 2016. Calculation of the Magnetic Anisotropy with Projected-Augmented-Wave Methodology and the Case Study of Disordered Fe<sub>1-x</sub>Co<sub>x</sub> Alloys, *Phys. Rev. B*, 93 (224425): 1-6.
- [28] Perdew J.P., Burke K., Ernzerhof M. 1996. Generalized Gradient Approximation Made Simple, *Phys. Rev. Lett.*, 77 (18): 3865-3868.
- [29] Grimme S. 2006. Semiempirical GGA-Type Density Functional Constructed with a Long-Range Dispersion Correction, *J. Comput. Chem.*, 27 (15): 1787-1799.



- [30] Blöchl P.E. 1994. Projector Augmented-Wave Method, Phys. Rev. B, 50 (24): 17953-17979.
- [31] Kresse G., Joubert J. 1999. From Ultrasoft Pseudopotentials to the Projector Augmented-Wave Method, Phys. Rev. B, 59 (3): 1758-1775.
- [32] VanGennep D., Maiti S., Graf D., Tozer S.W., Martin C., Berger H., Maslov D.L., Hamlin J.J. 2014. Pressure Tuning the Fermi Level Through the Dirac Point of Giant Rashba Semiconductor BiTeI, J. Phys.: Condens. Matter, 26 (342202): 1-7.

---

*Araştırma Makalesi / Research Article*

---

## **Bioinformatical Analyses of cinnamyl alcohol dehydrogenase (CAD) proteins from higher plant species**

Ertuğrul FİLİZ<sup>1</sup>, Fırat KURT<sup>\*2</sup>

<sup>1</sup>Duzce University, Cilimli Vocational School, Department of Crop and Animal Production, 81750, Duzce, Turkey

<sup>2</sup>Mus Alparslan University, Faculty of Applied Sciences, Department of Plant Production Technologies, Mus, Turkey

---

### **Abstract**

Cinnamyl alcohol dehydrogenase (CAD) (EC 1.1.1.195) is an enzyme functioning in the reduction of various phenylpropenyl aldehyde derivatives which are precursors in lignin and lignan production. Species-specific CAD genes have been extensively identified in recent years. In this study, we used bioinformatics tools to characterize and classify plant CADs. The amino acid and nucleotide sequences of 16 CADs from different plant species were used to compare their physiological properties, phylogeny, and conserved motifs. For this purpose, sequence, phylogenetical, structural analyses of proteins were conducted using various servers. All plant CADs had the characteristic alcohol dehydrogenase (PF08240) and zinc-binding dehydrogenase domains (PF00107). According to the physicochemical analysis, it was revealed that the most of plant CADs (81.25%) were in acidic character. Sequence length (aa) and molecular weight (kDa) of CAD proteins were found in range of 356 -367 and 38.6-40.5 respectively. The highest sequence similarities were found between *Sorghum bicolor* and *Zea mays* (95.3%), *Panicum virgatum* and *Sorghum bicolor* (90.9%), and *Oryza sativa* and *Zea mays* (87.1%) respectively. Plant CADs showed divergent exon-intron structures in which exon numbers were ranged from two to six. Four monocot species (*S. bicolor*, *P. virgatum*, *Z. mays*, and *O. sativa*) have four exons, whereas *Brachypodium distachyon* contains only two exons. Phylogenetic analysis revealed that the CAD proteins mainly divided into two groups. The highest bootstrap values were found as follows: *Fragaria vesca-Prunus persica* clade (100%), *Glycine max-Medicago truncatula* (81%), and *S. bicolor-Z. mays* (72%). The 3D structures of plant CADs showed that *Oryza* and *Vitis* had the most divergent structures when compared to the other plant species. Eventually, the data represented here contribute to studies aiming at evaluating the plant CADs extensively and at identifying new CAD genes in other plants.

**Keywords:** 3D structure, Cinnamyl alcohol dehydrogenase (CADs), comparative phylogenetics, *in silico* analysis

---

## **Yüksek Bitki Türlerindeki Sinamil alkol dehidrogenaz (CAD) Proteinlerinin Biyoformatiksel Analizi**

### **Öz**

Sinamil alkol dehidrogenaz (CAD) (EC 1.1.1.195) lignin ve lignin üretimindeki öncül çeşitli fenil propenil aldehit türevlerinin indirgenmesinde görev alan bir enzimdir. Türlerle özgü olan CAD genleri, son yıllarda önemli derecede tanımlanmıştır. Bu çalışmada CAD genlerinin (enzim veya proteinlerinin) biyoformatik araçlar kullanılarak karakterize edilip, sınıflandırılması amaçlanmıştır. 16 farklı bitki türünden elde edilen CAD nükleotit ve amino asit dizileri fizyolojik özellikler, filogenetik ve korunmuş motif bölgelerinin karşılaştırılması için kullanılmıştır. Bu amaçla CAD proteinlerinin sekans, filojenik ve yapısal analizleri çeşitli sunucular yardımıyla yapılmıştır. Bütün incelenen CAD dizilerinin alkol dehidrogenaz (PF08240) ve çinko bağlayıcı dehidrogenaz domainlerine sahip oldukları gözlenmiştir (PF00107). Fizyokimyasal analiz sonuçlarına göre, CAD'lerin önemli bir kısmının (%81,25'i) asidik karakterde olduğu gözlenmiştir. Bu proteinlerin amino asit uzunlukları (aa) ve moleküler ağırlıklarının (kDa) 356 -367 ve 38,6-40,5 arasında sırasıyla değişmekte olduğu belirlenmiştir. Dizi benzerlikleri en yüksek *Sorghum bicolor* ile *Zea mays* (%95,3), *Panicum virgatum* ile *Sorghum bicolor* (%90,9) ve *Oryza sativa*

---

\*Sorumlu yazar: [f.kurt@alparslan.edu.tr](mailto:f.kurt@alparslan.edu.tr)

Geliş Tarihi: 22.09.2018, Kabul Tarihi: 05.02.2019

ile *Zea mays* (% 87,1) arasında bulunmuştur. İncelenen *CAD* genlerinin intron ve ekzon yapıları birbirlerinden farklılık göstermiş olduğu ve ekzon sayılarının iki ve altı arasında değiştiği belirlenmiştir. Çalışmadaki tek çenekli türler olan *S. bicolor*, *P. virgatum*, *Z. mays*, ve *O. sativa*'nın dört ekzona sahip olduğu; *Brachypodium distachyon*'un ise sadece iki ekzona sahip olduğu gözlenmiştir. Filogenetik analiz neticesinde *CAD* proteinlerinin sadece iki ana gruba ayrıldığı saptanmış; en yüksek bootstrap değerleri sırasıyla şu şekilde bulunmuştur: *Fragaria vesca-Prunus persica* grubu (%100), *Glycine max-Medicago truncatula* (%81), and *S. bicolor-Z. mays* (%72). İncelenen *CAD*'lerin 3 boyutlu analizlerine göre, *Oryza* ve *Vitis* *CAD*'leri, araştırmadaki diğer bitki *CAD*'lerinden en fazla ayrılma göstermiştir. Son olarak bu çalışmadaki veriler, farklı bitkilerdeki *CAD* genleri veya proteinlerinin tanımlanması ve değerlendirilmesini amaçlayan yeni çalışmalara katkı sağlayacaktır.

**Keywords:** 3 boyutlu yapı, Sinamil Alkol Dehidrogenaz (*CAD*'ler), karşılaştırmalı filogenetik, bilgisayar simülasyonlu analiz.

## 1. Introduction

Lignin, the polymer of subunit monolignols, including p-coumaryl, coniferyl, and sinapyl alcohols, is the structural component of cell wall in vascular plants, supporting mechanical resistance against hydrophobicity, plant growth, development, and responses to environmental stresses [1, 2]. The cinnamyl alcohol dehydrogenase is used in the reduction of cinnamaldehydes into cinnamyl alcohols in the last step of monolignol biosynthesis in the cell wall before oxidative polymerization [3, 4].

*CAD* exhibits different features between gymnosperms and angiosperms. Gymnosperm *CAD* is encoded by single gene with highly characteristic for coniferyl aldehyde, whereas angiosperm *CAD* is encoded by multiple genes having crucial affinity for coniferyl and sinapyl aldehydes [5]. The *CAD* genes display nearly 80% and 70% nucleotide sequence identity in all published angiosperm and angiosperms & gymnosperms sequences [6].

*CAD* and *CAD-like* genes have been reported in many plant genomes, including *Populus trichocarpa*, [7] *Oryza sativa*, [8] *Eucalyptus globules*, [9] *Arabidopsis thaliana* [10], wheat [5], sorghum, [11] maize, [12] *Picea abies*, [13] and *Lolium perenne* [14]. Nonetheless, in *Arabidopsis*, 9 *CAD* genes were identified in *CAD* multigene families. Among the *AtCAD* genes, only *AtCAD1*, *AtCAD4* and *AtCAD5* were found to be related with lignin biosynthesis [3, 15, 39]. The anatomical parts of *AtCAD4* and *AtCAD5* differs; as *AtCAD4* is primarily expressed in leaves and flowers, *AtCAD5* expression particularly higher in roots [38]. In the rice genome, 12 distinct genes showed higher similarity to *CAD* genes [8]. It was reported that *AtCAD4* and 5 were phylogenetically grouped in the same clad with *bona fide* *ZmCAD2* (maize), *OsCAD2* (rice), *SbCAD2* (sorghum) and *BdCAD5* (*Brachypodium*). *BdCAD5* and *BdCAD3* had similar tertiary structures with *AtCAD5*; however, in terms of kinetic parameters, *BdCAD5* was more involved in lignin biosynthesis [40]. In wheat, a total of 11 wheat *CAD* sequences were identified within 6 groups based on the phylogenetic analysis. *TaCAD1* is very similar to the other *bona fide CADs* in lignin synthesis owing to resemblance of amino acid sequence and three-dimensional structure [5]. As for *TaCAD12*, it was suggested to involve in plant defense system against *Rhizoctonia cerealis* [39]. Presence of 15 *PoptrCAD* genes were reported in poplar [7].

Based on gene structure analysis, three patterns were detected and 14 of the 15 *CAD* genes distributed on duplicated regions. Also, *CAD* gene expressions exhibited different patterns. In sorghum, 14 *CAD-like* genes at seven different loci were identified. Phylogenetic analysis showed that *SbCAD* genes clustered into four groups. *SbCAD2* groups were similar to *bona fide CADs* from other species [11]. Jun et al. [41] reported that *SbCAD2* and *SbCAD4* have high structural and functional resemblance with *AtCAD5*. Consequently, in this study we performed *in silico* analysis of cinnamyl alcohol dehydrogenase nucleotide and protein sequences from higher plant species to characterize and classify *CAD* genes. For this purpose, we also include comparative motif and gene structure, physiochemical, and phylogenetic analyses.

## 2. Materials and methods

### 2.1. Sequence database searches

CAD protein sequences were collected from NCBI protein database (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/protein>) by using BLASTP program. The CAD sequences of nine *Arabidopsis* [15] and 12 *Oryza* [8] were retrieved from TAIR (<http://www.tair.org>) and TIGR (<http://www.tigr.org>), respectively and they were used as queries. The sequences were selected as predicted proteins if their E-value satisfied smaller than  $e^{-10}$ . Also, all candidate sequences were analyzed in the Pfam database [16] to detect alcohol dehydrogenase (PF08240) and zinc-binding dehydrogenase (PF00107) domains. Thus, 16 higher plant species (*Arabidopsis thaliana*, *Brachypodium distachyon*, *Sorghum bicolor*, *Panicum virgatum*, *Zea mays*, *Oryza sativa indica*, *Solanum lycopersicum*, *Glycine max*, *Citrus sinensis*, *Vitis vinifera*, *Fragaria vesca*, *Prunus persica*, *Cucumis sativus*, *Ricinus communis*, *Medicago truncatula*, and *Populus trichocarpa*) were used to analyze CAD protein sequences. The nucleotide sequences of plant CAD proteins were obtained from the Joint Genome Institute (JGI) (<http://www.phytozome.net>).

### 2.2. Prediction of conserved motifs and gene structures of CADs

Physicochemical data were generated from the Expasy's ProtParam server [17] including sequence length, molecular weight, and theoretical isoelectric point ( $pI$ ) values. Conserved motifs of CAD proteins were identified by using MEME suite ([http://meme.sdsc.edu/meme4\\_4\\_0/intro.html](http://meme.sdsc.edu/meme4_4_0/intro.html)) [18]. The following parameters were adopted: the optimum motif width was set to  $\geq 6$  and  $\leq 50$ ; the maximum number was set to identify 15 motifs. The sub-cellular distribution and potential N-glycosylation sites of the CAD proteins were predicted by using TargetP 1.1 (<http://www.cbs.dtu.dk/services/Target/>) [19] and NetNGlyc 1.0 Server (<http://www.cbs.dtu.dk/services/NetNGlyc/>). A structural figure of CAD genes, including exon and intron numbers, was determined using the Gene Structure Display Server (GSDS) (<http://gsds.cbi.pku.edu.cn/>) [20]. All CAD protein sequences were aligned with the ClustalW multiple sequence alignment tool. Full protein sequences were taken to display the consensus sequence analysis. Weblogo 3 program was used to compare the conserved motifs of the species [21, 22]. Interacting partners of *Arabidopsis* CAD and its co-expressed genes were predicted using String 9.1 software (<http://string-db.org/>) [23].

### 2.3. Secondary and tertiary structures analysis

Secondary and tertiary structures of CAD proteins were predicted by using a web-based tool, PSIPRED v2.5 (<http://bioinf.cs.ucl.ac.uk/psipred/>) and BioSerf (<http://bioinf.cs.ucl.ac.uk/psipred/?bioserf=1>) [24, 25]. The tertiary structures of the most divergent CADs were compared to analyze the structural and possible functional differences. Swiss-PdbViewer (DeepView v4.1) program was used to design the CAD protein models (<https://swissmodel.expasy.org/>) [26]. The stereochemical qualities of the modeled proteins were evaluated by RAMPAGE server [27].

### 2.4. Phylogenetic analysis

Amino acid sequences of the CAD proteins were aligned using Clustal W [28]. Phylogenetic analysis were performed by MEGA 5.1 program [29] using a neighbour-joining (NJ) tree method, based on the multiple sequence alignment with following parameters: Poisson correction, pair-wise deletion, and bootstrap analysis with 1000 replicates.

## 3. Results and discussion

### 3.1. Physicochemical analysis

We used totally 16 CAD protein sequences from 16 different plant species for *in silico* comparative analysis (Table 1). Physicochemical analysis showed that many CAD proteins (81.25%) were in acidic

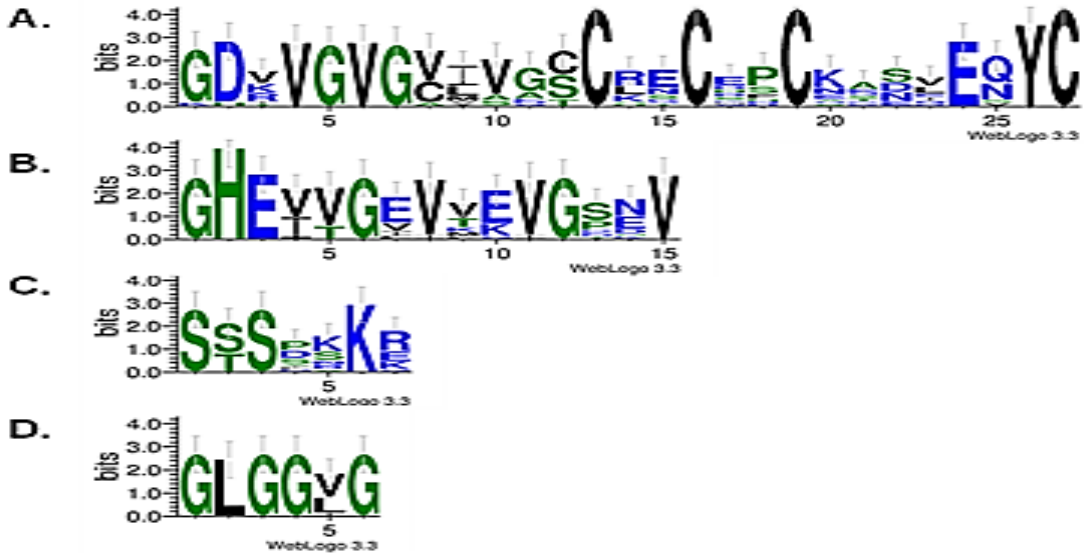
character ( $pI \leq 7$ ), while only three proteins belonging to *S. lycopersicum*, *G. max*, and *P. persica* had in basic character ( $pI \geq 7$ ). The average molecular weights and sequence lengths of CADs were calculated as 39.10 kDa and 361 amino acids, respectively. Previous studies are in agreement with our findings, including *Cameliasinensis* [30], strawberry [31], *Eucalyptus globules* [9] and *Pyrus bretschneideri* [38]. Sub-cellular localizations were predicted and only three of 16 CAD proteins were found to be resided in mitochondria (*S. bicolor*, and *Z.mays*), and chloroplast (*M. truncatula*).

N-linked glycosylation cause a basic post-translational modification over proteins with formation of a covalent bounding on asparagine residues owing to oligosaccharide attachment in the polypeptide chains. The N-X-S/T consensus sequence is known as a general recognition element [32]. In our study, nine plants contained putative N- glycosylation sites (Table 1) suggesting that these sites may regulate protein structures of CADs with relation to various metabolic or physiological conditions. Pfam analyses revealed that all plant CADs had alcohol dehydrogenase GroES-like (PF08240) and zinc-binding dehydrogenase domains (PF00107) (Figure 1, Figure 2).

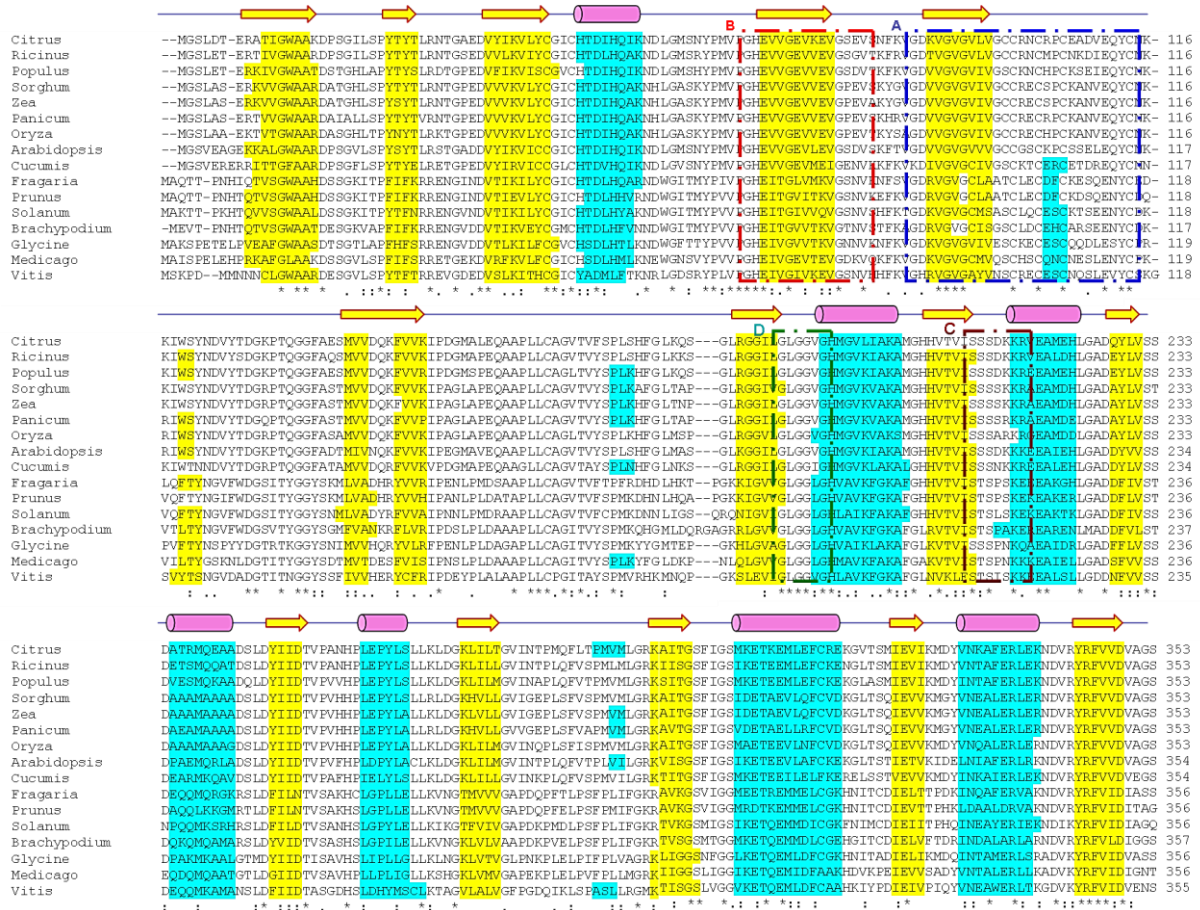
**Table 1.** Characteristics of CADs in higher plant species, including ORF length, exon and intron number, Pfam family, protein sequence length, molecular weight, predicted subcellular localizations, and N-glycosylation sites.

Species	Accession Num.	ORF length (bp)	Exon Num.	Pfam family	Seq. length (aa)	M. wt. (Da)	pI	SL	N-glycosylation sites
<i>B. distachyon</i>	XP_003581549	1098	5	Alcohol dehydrogenase	361	39.14	6.15	-	6 NHTQ, 82 NVST
<i>S.bicolor</i>	BAJ09366	1086	2	Alcohol dehydrogenase	365	38.65	5.84	M	-
<i>P. virgatum</i>	ACX50973	1098	4	Alcohol dehydrogenase	364	38.69	5.84	-	-
<i>Z. mays</i>	CAA74070	1104	4	Alcohol dehydrogenase	367	38.74	5.95	M	-
<i>O.s. indica</i>	ABB04029	1104	4	Alcohol dehydrogenase	363	38.64	5.94	-	26 NYTL
<i>S. lycopersicum</i>	XP_004233212	1092	4	GroES-like domain	360	39.56	8.2	-	83 NVSH, 258 NHSL
<i>G. max</i>	AEI54337	1083	5	GroES-like domain	360	39.02	7.09	-	320 NITA
<i>C. sinensis</i>	ABM67695	1083	5	GroES-like domain	357	38.93	5.88	-	-
<i>V. vinifera</i>	XP_002273147	1074	5	GroES-like domain	357	38.97	6.01	-	108 NQSL
<i>F. vesca</i>	XP_004291336	1074	6	GroES-like domain	370	40.54	6.16	-	86 NFSV, 271 NGTM, 320 NITC
<i>P. persica</i>	EMJ23293	1122	6	GroES-like domain	361	39.30	7.24	-	7 NHTQ, 271 NGTM, 320 NITC
<i>C. sativus</i>	XP_004166963	1086	6	GroES-like domain	356	39.28	5.91	-	179 NKSG
<i>R. communis</i>	EEF43600	1071	5	GroES-like domain	357	38.84	5.75	-	-
<i>A. thaliana</i>	NP_188576	1074	5	GroES-like domain	365	39.10	5.33	-	-
<i>M. truncatula</i>	AET03358	1083	5	GroES-like domain	360	38.65	6.16	C	110 NESL
<i>P. trichocarpa</i>	EEE87830	1074	5	GroES-like domain	357	38.96	5.76	-	-

M: Mitochondria, C: Chloroplast



**Figure 1.** Comparison of critical domains of CAD proteins among 16 plant species. Logo analysis represents Zinc binding domain-Zn2 (A), Zinc binding domain-Zn1 (B), coenzyme specific domain (C), and NADPH binding domain (D).



**Figure 2.** Alignment of 16 CAD proteins belonging to different plant species. Identical residues were labeled with asterisks (\*); similar alternate residues with (:); and dissimilar alternate residues with (.).

$\alpha$ -helix and  $\beta$ -sheet structures were predicted according to PSIPRED program and sequences represent those motifs were labeled with magenta and yellow, respectively. Lines indicated in the upside position shows the predicted loop regions. It gives evident that some CAD proteins' secondary structure differ among others which can affect their three dimensional structures and hence their conformations. Critical domains on CADs were shown into dashed frames: Zinc binding domain-Zn2 (A), Zinc binding domain-Zn1 (B), coenzyme specific domain (C), and NADPH binding domain (D) (Also, for the logo analysis, see in Figure 1).

### 3.2. The conserved motifs and sequence divergence of plant CADs

Conserved motif analysis of 16 plant CADs revealed that a total of 15 motifs were detected (Table 2 and Figure 3). The motif 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, and 9 were observed in all CADs. The motif 10 was only absent in *P. persica*, while motif 8 was not present in both *B. distachyon* and *S. lycopersicum*. The motif 12 (3 members), motif 13 (9 members), and motif 14 (2 members) were located in the first position. Interestingly, motif 15 was only observed in *Brachypodium* and *Solanum*, whereas motif 14 was only found in *Glycine* and *Medicago*. These unique motifs (motif 12, 13, 14, and 15) in CADs may be related to domain binding structures and be specific to these plants.

Based on the sequence identity matrix data (data not shown), the highest identity values were found among the monocot (grass) species; *Sorghum*, *Panicum*, *Zea*, and *Oryza*. The highest identity was observed between *Sorghum-Zea* (95.3%) followed by *Panicum-Sorghum* (90.9%), and *Oryza-Zea* (87.1%), respectively. It can be thought that CAD genes are well conserved in monocots. Surprisingly, *Brachypodium* had no higher similarity with the other monocots and this species had the highest identity with *Citrus* (27.7%) followed by *Arabidopsis* (26.8%), and *Vitis* (21.8%), respectively. In the *Brachypodium* genome, pseudo CAD genes may cause this identity. *ArabidopsisCAD* (*AtCAD4*), *bona fide* CAD, is related to lignin biosynthesis [10] and showed the highest identity with *CucumisCAD* (70.1%) suggesting that *CucumisCAD* gene may take part in lignifications. In dicots, the highest identity value was found between *Citrus* and *Ricinus* (86.2%), followed by *Populus-Ricinus* (84.8%), and *Prunus-Fragaria* (81.8%) respectively.

### 3.3. Predicted secondary and tertiary structure analysis of plant CADs

To compare the secondary and tertiary structures of plant CADs, the amino acid sequences were aligned to each other and possible critical domains were shown. Recent reports indicate that CAD proteins are composed of four critical domains: structural zinc binding domain-2 (Zn2), catalytic zinc binding domain-1 (Zn1), coenzyme specific domain, and NADPH binding domain. In this study, four critical domains were shown in the secondary and tertiary structure analysis (Figure 1 and Figure 5). NADPH binding domain, comprised of GLGGLG residues in TaCAD12, was reported to bond with pyrophosphate group of NADP [39].

Also, some CAD proteins' secondary structures differ affecting their three dimensional structures and hence their conformations. According to the Ramachandran plot obtained with the RAMPAGE server, 89.1% and 88.7% residues in favoured region, 9.2% and 8.7% in allowed region, and 1.7% and 2.6% in outlier region in *Oryza* and *Vitis*, respectively, indicating that the 3D models were reliable and good quality.

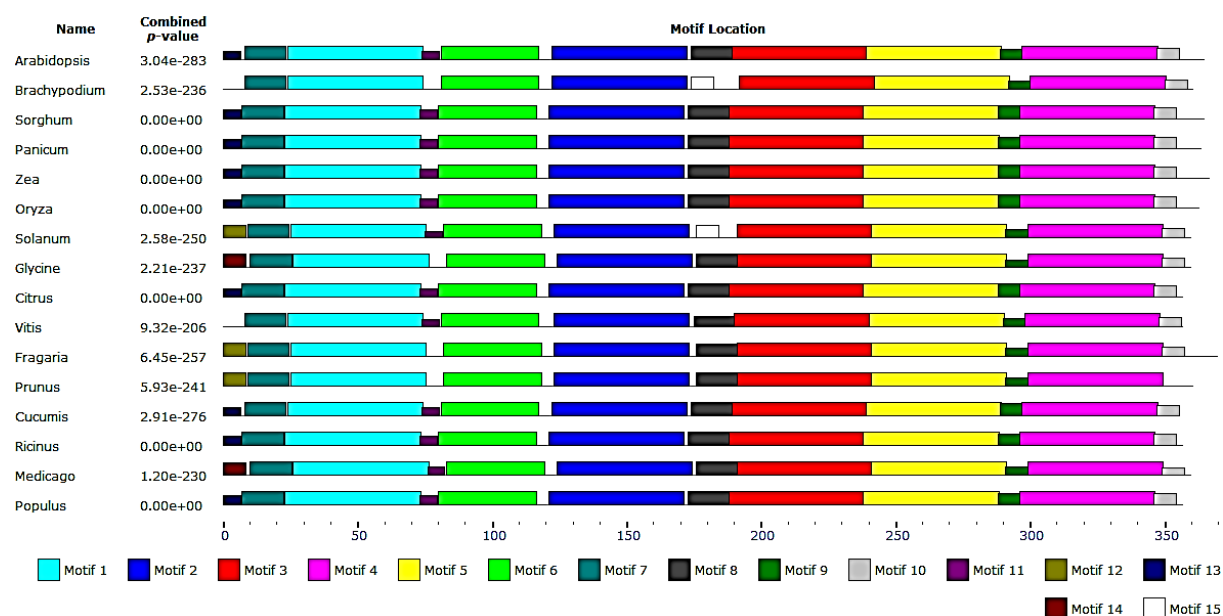
It is important to note that the secondary structure of zinc binding domain-Zn2 (Figure 4) was variable among plant CADs. For instance, half of the plant CADs was composed of only single  $\beta$ -sheet structure while the remaining plant CADs included  $\beta$ -sheet with an additional  $\alpha$ -helix structure (Figure 1). Since this domain is very critical for the enzyme activity, the conformational alteration of CAD proteins may affect the enzyme activity positively, or *vice versa*. Also, in the phylogenetic analysis of CAD proteins, except the *C. sativus*, plants with an additional  $\alpha$ -helix structure were grouped into the same clade (Figure 8). The similar domain organizations can make the plant CADs functionally identical.

As it was stated in Figure 2, the most divergent CAD genes were found between *O. sativa* and *V. vinifera*. To compare the tertiary structures of those CADs, we modeled their three dimensional configurations (Figure 4A and 4B). It was observed that *V. vinifera* CAD (*VvCAD*) has a complete  $\alpha$ -helix (Helix-A) structure between the two main dimeric structures where may serve as a catalytic site.

Instead, *O. sativa* (*OsCAD*) has a fragmented  $\alpha$ -helix (Helix-A) structure and this critical structural difference may cause functional differentiation between the plant CADs. Also, the models exhibited that an additional  $\beta$ -sheet structure was resided in the Zn-binding motif of *OsCAD* protein. However, *VvCAD* did not (Figure 5). This may affect the enzyme-substrate interaction and consequently the enzymes' activity. Moreover, six residues (Gly68, His69, Glu70, Gly73, Gly79, and Val82) were found to be interacting with Zn ion (Figure 5). Although the residues were exactly similar between the *VvCAD* and *OsCAD*, their locations were found to be slightly different that may be the consequence of one-base insertion or deletion in the grapevine CAD protein, or *vice versa*.

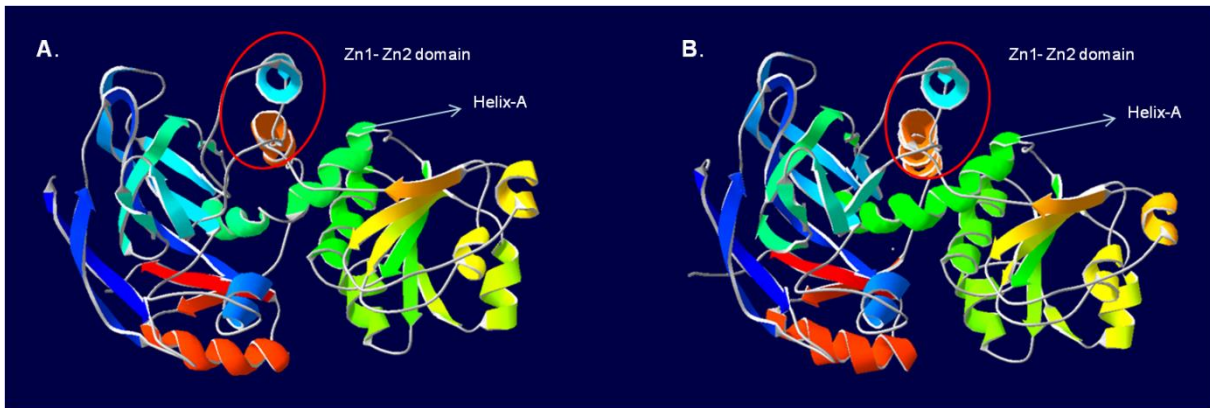
**Table 2.** The most conserved protein motifs in CAD protein sequences of different plant species

Motif	Width	Protein sequences
1	50	PYTYTRRNTGPEVDTIKVLVYCGICHTDIHQAKNDWGMSPMPVPGHEIV
2	50	NDVYWDGRPTQGGFASMMVVDQRFVVRIPDNMPPEQAAPLLCAGVTVY
3	50	LGGVGHMAVKFAKAMGHHVTVISSPKKREEAMEHLGADDYLVSSDQQ
4	50	GSFIGSMKETQEMLEFCKEHNITCQIEVIKMDYINEAWERLERNDVRYRF
5	50	QAAADSLDYIIDTVPAAHHPLEPYLSLLKLDGKLILMGVINQPLQFPSPML
6	36	NVSKFKVGDVRVGVGCIVGCCRECEPCKQNQEYCNK
7	15	RTVFGWAARDPSGHL
8	15	HFGLTQPGLRGGILG
9	8	MLGRKAIT
10	8	VIDVAGSN
11	6	EVVEVG
12	8	MAQTTPNH
13	6	MGSLES
14	8	MAKSPETE
15	8	QNGMGDQR

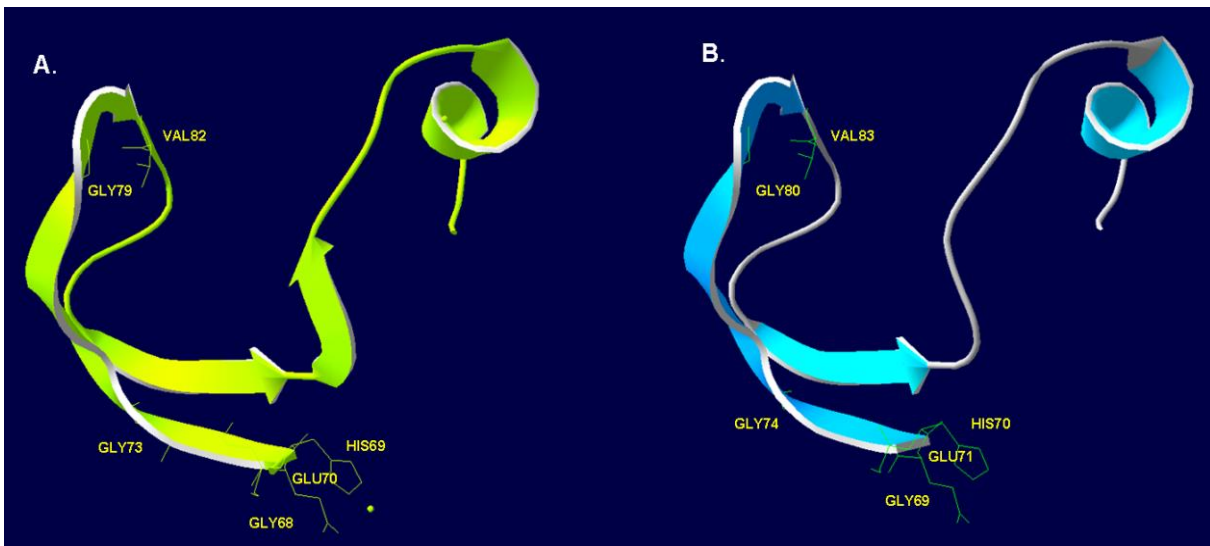


**Figure 3.** Schematic representation of conserved motifs of plant CADs by MEME server





**Figure 4.** Tertiary structures of CAD proteins in *O. sativa* (A) and *V. vinifera* (B) having the most divergent secondary structures among the 16 CAD proteins. The predicted CAD models were obtained using the BioSerf automated homology and *de-novo* modeling server. N-terminal (blue) and C-terminal (red) residues were labeled according to rainbow color mode. Also, a partial  $\alpha$ -helix structure can be clearly observable on *OsCAD* protein (A) and a complete  $\alpha$ -helix (Helix-A) structure in *VvCAD*

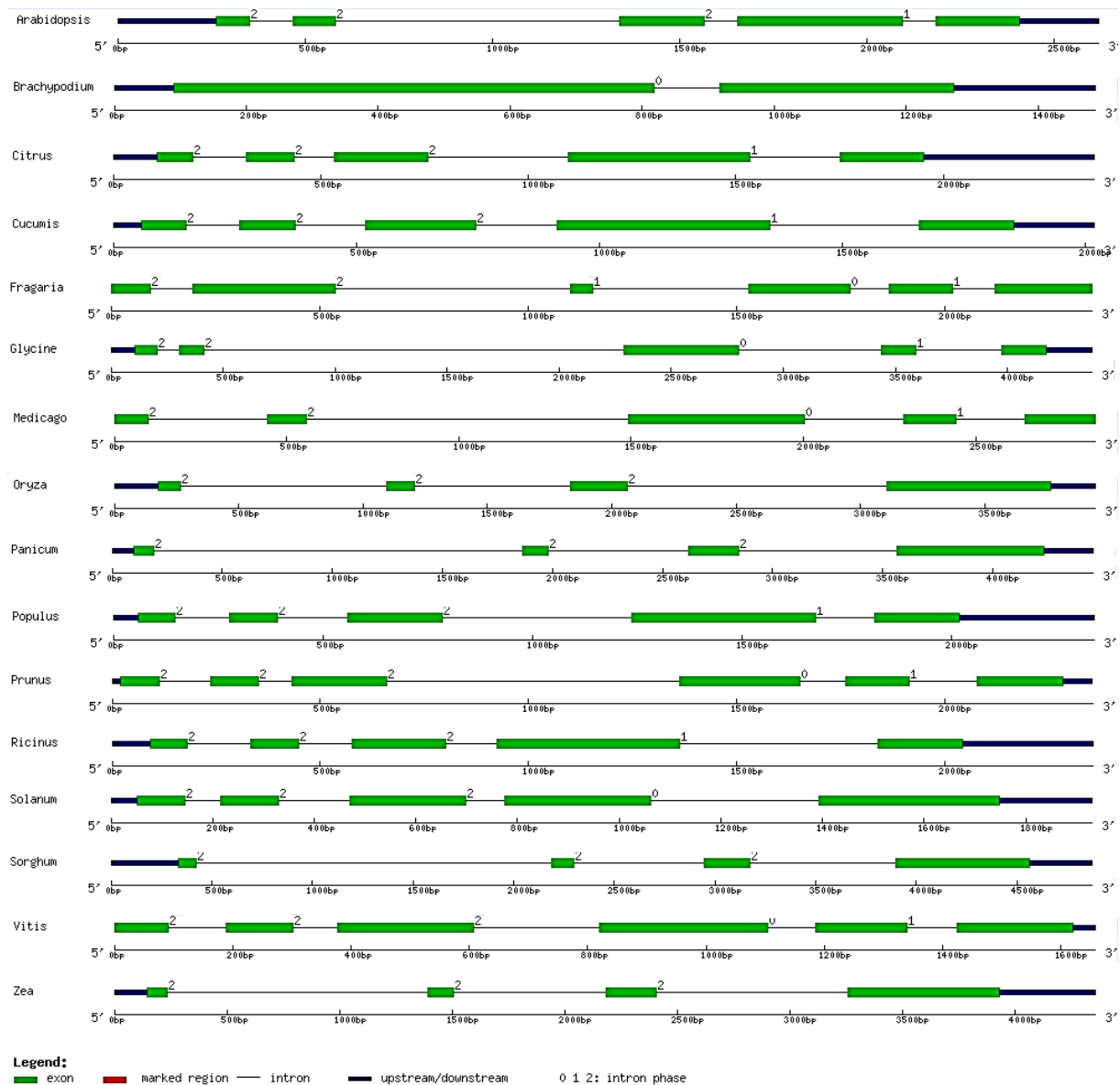


**Figure 5.** Representation of rice (*O. sativa*) (A) and grapevine (*V. vinifera*) (B) Zn-binding motif structures.

Prositate patterns of the CAD proteins were searched for the zinc-binding alcohol dehydrogenase enzyme (PS00059) and the corresponding 6 residues interacting with Zn ions were determined (Gly68, His69, Glu70, Gly73, Gly79, and Val82 for *OsCAD*). Also, it is clearly observable that an additional  $\beta$ -sheet structure was available in *OsCAD* motif (A) which may affect the enzyme-substrate interaction and the enzymes' activity

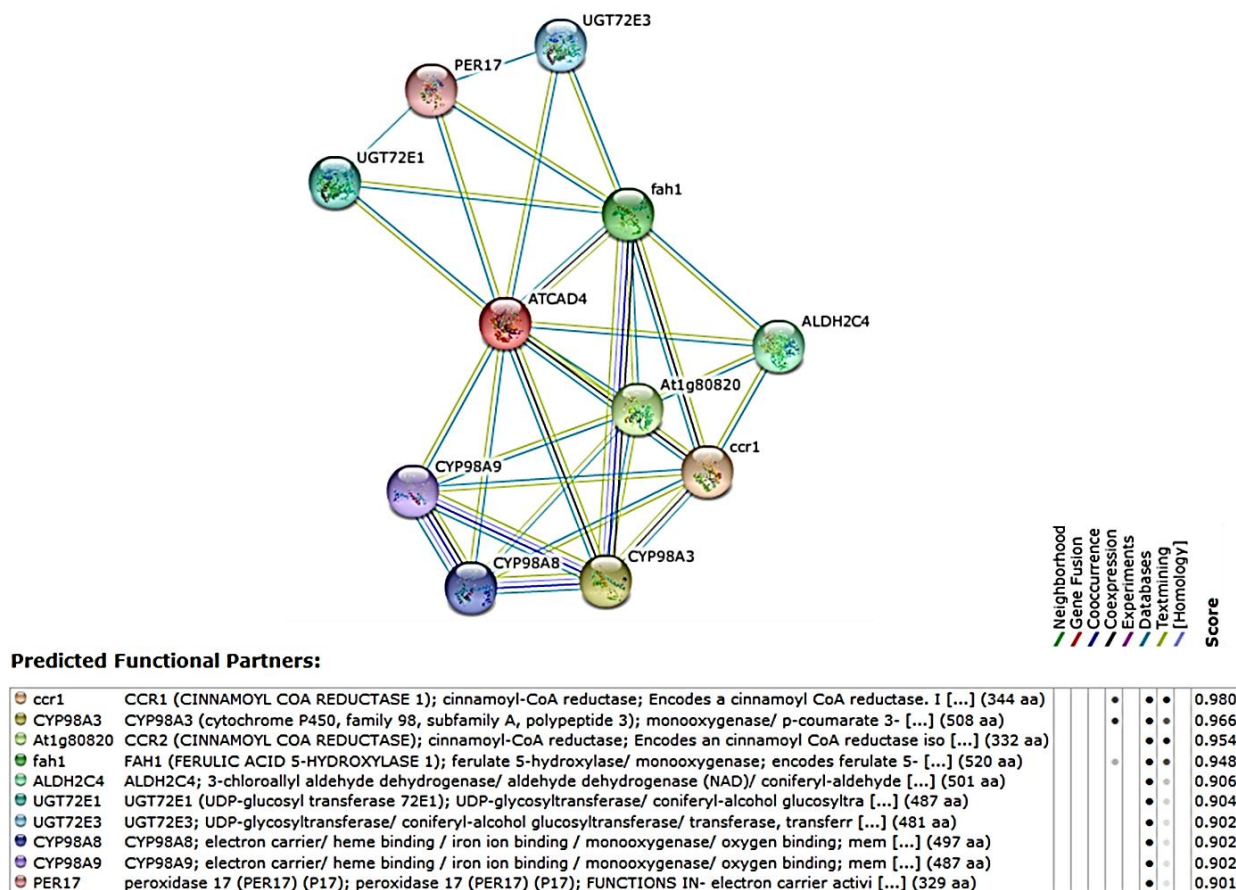
### 3.4. The Gene structure and phylogenetic analysis of plant CADs

The ORF length of plant CADs were ranged between 1071 bp (*C. sativus*) and 1122 bp (*F. vesca*) (Table 1). There were no intronless CAD genes. Exon numbers were varied in range of two and six (Figure 6). The exon numbers was found two (one member), four (four members), five (eight members), and six (three members). All monocots had four exons, except *Brachypodium* (2 exons). Exon-intron structure analysis of *OsCAD* genes revealed that *OsCADs* had two, four, five, and six exons [8]. *BrachypodiumCADs* were similar to *OsCAD8A, B, C, and D* with two exons. In this study, plant CADs exhibited various gene structures with diverse exon-intron numbers. Divergences in exon-intron structure have been observed in duplication events. Structural divergences may generate new protein domain with new biochemical functions [33]. Collectively, CADs in plants may be subjected to gene duplication that causes divergence in their numbers and structures.



**Figure 6.** Gene structure of plant CAD genes. Exons and introns are depicted by green filled boxes and single lines, respectively. Intron phases 0, 1 and 2 are indicated by numbers 0, 1 and 2 in the figure. UTRs are displayed by thick blue lines at the two ends

The interacting partners of *Arabidopsis* CAD (*AtCAD4*) was predicted using String server and several annotated proteins were found, including cinnamoyl-coA reductase 1 (CCR1), cytochrome P450, cinnamoyl-coA reductase 2 (CCR2), ferulic acid 5-hydroxylase 1 (FAH1), 3-chloroallyl aldehyde dehydrogenase, UDP-glycosyltransferase, peroxidase 17 (PER17) (Figure 7). Cinnamoyl-CoA reductase is a key enzyme in lignin biosynthesis and the cinnamoyl-CoA esters are converted into monolignols by two enzymes with cinnamoyl-CoA reductase (CCR) and cinnamyl alcohol dehydrogenase (CAD) [34]. Ferulate 5-hydroxylase belongs to cytochrome P450-dependent monooxygenase in phenylpropanoid metabolisms and plays important roles in sinapic acid and syringyl lignin biosynthesis [15]. Peroxidases (class III plant peroxidases, EC 1.11.1.7) are the major enzymes involved in the process of monolignol assembly in lignin biosynthesis [35].



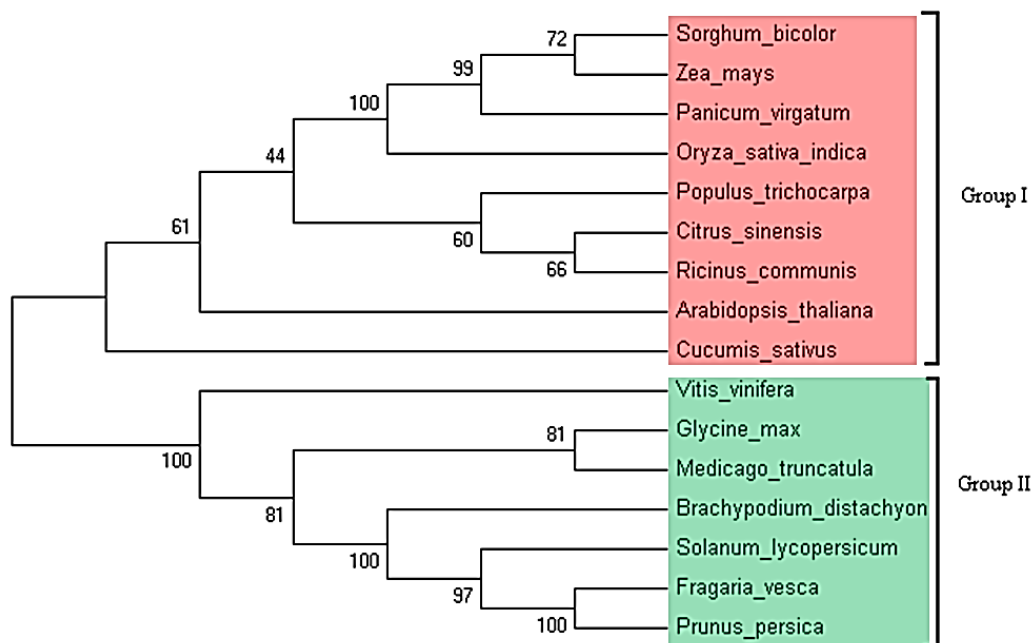
**Figure 7.** *In-silico* prediction of interacting partners for CAD gene of Arabidopsis by using STRING 9.1. The box shows list with putative interacting partners of barley *MoCo sulfurase* gene. STRING automatically highlighted the corresponding nodes in the network and the interactions contain direct (physical) and indirect (functional) associations [23]

Phylogenetic analysis of plant CADs revealed that plant CADs were divided into two main groups (Figure 8). The group I had nine species, while group II were composed of seven species. The most of monocots (4 of 5 species, except *Brachypodium*) was belonged to group I. The highest bootstrap value (100%) was found between *Fragaria* and *Prunus* (in *Rosaceae* family) followed by *Glycine-Medicago* (in *Fabaceae* family) (81%) and *Sorghum-Zea* (in *Poaceae* family) (72%). These clades with the highest bootstrap values share the same gene pool due to their belongingness to the same family. Thus, they have similar genetic background and those clades may be related to functional conservation of CAD genes.

It is noteworthy that the monocot *Brachypodium* clustered in group II with *Solanum*, *Fragaria*, and *Prunus* with the highest bootstrap value (100%). This close relationship may be related to similar physiological roles. *Oryza* clustered to *Panicum*, *Zea*, and *Sorghum* clade with the 100% bootstrap value accordingly. The previous studies showed that the monocot CADs were grouped together [7, 8, 11]. This data is consistent with our findings and it may prove that CADs were conserved well in monocots.

In this study, some sequences from various species grouped close to each other in phylogenetic tree. Gene duplication may play critical role for diversification [36]. The copy number variation and changes in gene family size affects genetic variations among closely related species and individuals [37]. Gene duplication events in CADs may result new catalytic functions that can create similar protein sequences.

In conclusion, CAD genes play significant role in various metabolic pathways such as lignification, pathogen defense, growth, and abiotic and biotic stress mechanism [39]. Consequently, the results presented here support to understand CAD genes functions in various biological processes in plants and to contribute to *in silico* and experimental studies about CADs involvement to these processes.



**Figure 8.** Phylogenetic tree of CAD protein sequences in higher plant species. Sequence alignment was performed using ClustalX and phylogenetic tree was drawn by Neighbour Joining method with MEGA 5.1

## References

- [1] Lange B.M., Lapierre C., Sandermann, J.H. 1995 Elicitor-Induced Spruce Stress Lignin. Structural Similarity to Early Developmental Lignins, *Plant Physiol.*, 108: 1277-1287.
- [2] Tronchet M., Balagué C, Kroj T., Jouanin L., Roby D. 2010. Cinnamyl Alcohol Dehydrogenases-C and D, Key Enzymes In Lignin Biosynthesis, Play An Essential Role In Disease Resistance in *Arabidopsis*, *Molecular Plant Pathology*, 11: 83-92.
- [3] Sibout R., Eudes A., Mouille G., Pollet B., Lapierre C., Jouanin L., Se'guin A. 2005. Cinnamyl Alcohol Dehydrogenase-C and -D are the Primary Genes Involved in Lignin Biosynthesis in the Floral Stem of *Arabidopsis*, *The Plant Cell*, 17: 2059-2076.
- [4] Santos W.D., Ferrarese M.L.L., Ferrarese-Filho O. 2006. High Performance Liquid Chromatography Method for the Determination of Cinnamyl Alcohol Dehydrogenase Activity in Soybean Roots, *Plant Physiology and Biochemistry*, 44: 511-515.
- [5] Ma Q.H. 2010. Functional analysis of a Cinnamyl Alcohol Dehydrogenase Involved In Lignin Biosynthesis in Wheat, *Journal of Experimental Botany*, 61: 2735-2744.
- [6] Li X., Ma D., Chen J., Pu G., Ji Y., Lei C., Du Z., Liu B., Ye H., Wang H. 2012. Biochemical Characterization and Identification of a Cinnamyl Alcohol Dehydrogenase from *Artemisia annua*, *Plant Science*, 193-194: 85-95.
- [7] Barakat A., Bagniewska-Zadworna A., Choi A., Plakkat U., DiLoreto D.S., Yellanki P., Carlson J.E. 2009. The Cinnamyl Alcohol Dehydrogenase Gene Family In *Populus*: Phylogeny, Organization, and Expression, *BMC Plant Biology*, 9: 26.
- [8] Tobias C.M., Chow E.K. 2005. Structure of the cinnamyl-alcohol dehydrogenase gene family in rice and promoter activity of a member associated with lignification. *Planta*, 220: 678-688.
- [9] De Melis L.E., Whiteman P.H., Stevenson T.W. 1999. Isolation and characterisation of a cDNA clone encoding cinnamyl alcohol dehydrogenase in *Eucalyptus globulus* Labill. *Plant Science*, 143: 173-182.
- [10] Kim S.J., Kim M.R., Bedgar D.L., Moinuddin S.G.A., Cardenas C.L., Davin L.B., Kang C., Lewis N.G. 2004. Functional reclassification of the putative cinnamyl alcohol dehydrogenase multigene family in *Arabidopsis*. *PNAS*, 101: 1455-1460.

- [11] Saballos A., Ejeta G., Sanchez E., Kang C., Vermerris W. 2009. A Genome-Wide Analysis of the Cinnamyl Alcohol Dehydrogenase Family in Sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] identifies SbCAD2 as the Brown midrib6 Gene. *Genetics*, 181:783-795.
- [12] Halpin C.K., Holt J., Chojecki D., Oliver B., Chabbert B., Monties B., Edwards K., Barakate A., Foxon G.A. 1998. Brown-midribmaize (bm1): A Mutation Affecting the Cinnamyl Alcohol Dehydrogenase Gene, *Plant J.*, 14: 545-553.
- [13] Schubert R., Sperisen C., Müller-Starck G. La Scala S., Ernst D., Sandermann Jr. H., Hager K.P. 1998. The Cinnamyl Alcohol Dehydrogenase Gene Structure in *Picea abies* (L.) Karst.: Genomic Sequences, Southern Hybridization, Genetic Analysis and Phylogenetic Relationships, *Trees*, 12: 453-463.
- [14] Lynch D., Lidgett A., McInnes R., Huxley H., Jones E., Mahoney N., Spangenberg G. 2002. Isolation and Characterisation of Three Cinnamyl Alcohol Dehydrogenase Homologue cDNAs from Perennial Ryegrass (*Lolium perenne* L.). *J. Plant Physiol*, 159: 653-660.
- [15] Kim Y.J., Kim D.G., Lee S.H., Lee I. 2006. Wound-Induced Expression of the *ferulate 5-hydroxylase* gene in *Camptotheca acuminata*. *Biochimica et Biophysica Acta*, 1760: 182-190.
- [16] Sonnhammer E.L., Eddy S.R., Durbin R. 1997. Pfam: A Comprehensive Database of Protein Domain Families Based on Seed Alignments. *Proteins*, 28: 405-420.
- [17] Gasteiger E. 2005. Protein Identification and Analysis Tools on the Expasy Server. In: John M. Walker ed, *The Proteomics Protocols Handbook*, Humana Press, 571-607.
- [18] Timothy L., Mikael Bodén B., Buske FA., Frith M., Grant C.E., Clementi L., Ren J., Li W.W., Noble W.S. 2009. MEME SUITE: Tools for Motif Discovery and Searching, *Nucleic Acids Research*, 37: 202-208.
- [19] Emanuelsson O., Nielsen H., Brunak S., Heijne G. 2000. Predicting Subcellular Localization of Proteins Based on Their N-Terminal Amino Acid Sequence. *J. Mol. Biol.*, 300: 1005-1016.
- [20] Guo A.Y., Zhu Q.H., Chen X., Luo J.C. 2007. GSDS: A Gene Structure Display Server. *Yi Chuan* 29 (8):1023-1026.
- [21] Schneider T.D., Stephens R.M. 1990. Sequence Logos: A New Way to Display Consensus Sequences. *Nucleic Acids Res.*, 18: 6097-6100.
- [22] Crooks G.E., Hon G., Chandonia J.M., Brenner S.E. 2004. WebLogo: A sequence logo Generator. *Genome Research*, 14: 1188-1190.
- [23] Franceschini A., Szklarczyk D., Frankild S., Kuhn M., Simonovic M., Roth A., Lin J., Minguez P., Bork P., von Mering C., Jensen L.J., 2013. STRING V9.1: Protein-Protein Interaction Networks, with Increased Coverage and Integration, *Nuc Acid Res* 41: 1. doi-10.1093/nar/gks1094.
- [24] McGuffin L.J., Bryson K., Jones D.T. 2000. The PSIPRED Protein Structure Prediction Server. *Bioinformatics*, 16 (4): 404-405.
- [25] Buchan D.W., Ward S.M., Lobley A.E., Nugent T.C., Bryson K., Jones D.T. 2010. Protein Annotation and Modelling Servers at University College London, *Nucl. Acids Res.*, 38 Suppl, W563-W568.
- [26] Guex N., Peitsch M.C., Schwede T. 2009. Automated Comparative Protein Structure Modeling with SWISS-MODEL and Swiss-PdbViewer: A historical perspective, *Electrophoresis*, 30: S162-S173.
- [27] Lovell S.C., Davis I.W., Arendallp W.B. 3rd, de Bakker P.I., Word J.M., Prisant M.G., Richardson J.S., Richardson D.C. 2003. Structure Validation by C $\alpha$  Geometry:  $\phi$ ,  $\psi$  and C $\beta$  Deviation, *Proteins*, 50: 437-450.
- [28] Thompson J.D., Higgins D.G., Gibson T.J. 1994. CLUSTAL W: Improving the Sensitivity of Progressive Multiple Sequence Alignment Through Sequence Weighting, Position-Specific Gap Penalties and Weight Matrix Choice. *Nucleic Acids Res*, 22:4673-4680.
- [29] Tamura K., Peterson D., Peterson N., Stecher G., Nei M., Kumar S. 2011. MEGA5: Molecular Evolutionary Genetics Analysis Using Maximum Likelihood, Evolutionary Distance, and Maximum Parsimony Methods. *Molecular Biology and Evolution*, 28: 2731-2739.
- [30] Deng W.W., Zhang M., Wu J.Q., Jiang Z.Z., Tang L., Li Y.Y., Wei C.L., Jiang C.J., Wan X.C. 2013. Molecular Cloning, Functional Analysis of Three Cinnamyl Alcohol Dehydrogenase (CAD) Genes in The Leaves of Tea Plant, *Camellia sinensis*. *Journal of Plant Physiology*, 170: 272-282.
- [31] Blanco-Portales R., Medina-Escobar N., Lopez-Raez J.A., Gonzalez-Reyes J.A., Villalba J.M., Moyano E, Caballero J.L., Munoz-Blanco J. 2002. Clone, Expression and Immunolocalization

- Pattern of a Cinnamyl Dehydrogenase Gene from Strawberry (*Fragaria ananassa* cv. Chandler), *J Exp Bot.*, 375:1723-34.
- [32] Schwarz F., Aebi M. 2011. Mechanisms and Principles of N-Linked Protein Glycosylation. *Current Opinion in Structural Biology*, 21: 576-582.
- [33] Xu G., Guo C., Shan H., Kong H. 2011. Divergence of Duplicate Genes in Exon–Intron Structure. *PNAS*, doi/10.1073/pnas.1109047109.
- [34] Boerjan W., Ralph J., Baucher M. 2003. Lignin Biosynthesis, *Annu Rev Plant Biol.*, 54: 519-46.
- [35] Herrero J., Esteban-Carrasco A., Zapata J.M. 2013. Looking for *Arabidopsis thaliana* Peroxidases Involved in Lignin Biosynthesis. *Plant Physiol. Bioch.*, 67: 77-86.
- [36] Lawton-Rauh A. 2003. Evolutionary Dynamics of Duplicated Genes in Plants. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 29: 396-409.
- [37] Lynch M. 2007. *The Origins of Genome Architecture*. Sinauer, Sunderland.
- [38] Cheng X., Li M., Li D., Zhang J., Jin Q., Sheng L., Cai Y., Lin Y. 2017. Characterization and Analysis of CCR and CAD Gene Families at the Whole-Genome Level for Lignin Synthesis of Stone Cells in Pear (*Pyrus bretschneideri*) Fruit, *Biology open*, 6 (11): 1602-1613.
- [39] Rong W., Luo M., Shan T., Wei X., Du L., Xu H., Zhang Z. 2016. A Wheat Cinnamyl Alcohol Dehydrogenase TaCAD12 Contributes to Host Resistance to the Sharp Eyespot Disease. *Frontiers in Plant Science*, 7: 1723.
- [40] Bukh C., Nord-Larsen P.H., Rasmussen S.K. 2012. Phylogeny and Structure of the Cinnamyl Alcohol Dehydrogenase Gene family in *Brachypodium distachyon*. *J Exp Bot.*, 63 (17): 6223-36.
- [41] Jun S.Y., Walker A.M., Kim H., Ralph J., Vererris W., Sattler S.E., Kang C. 2017. The Enzyme Activity and Substrate Specificity of Two Major Cinnamyl Alcohol Dehydrogenases in Sorghum (*Sorghum bicolor*), SbCAD2 and SbCAD4. *Plant Physiol.*, 174 (4): 2128-2145.

---

*Araştırma Makalesi / Research Article*

---

## Farklı Besin Tiplerinin *Ephestia kuehniella* Zeller (Lepidoptera: Pyralidae)'nın Total Lipit ve Total Yağ Asidi Yüzdelerine Etkileri

Evrım SÖNMEZ<sup>\*1</sup>, Özgür ÖZCAN<sup>2</sup>, Yeşim KOÇ<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Sinop Üniversitesi, Eğitim Fakültesi, Matematik ve Fen Bilimleri Eğitimi Bölümü- Sinop  
<sup>2</sup>SASKİ Genel Müdürlüğü, Su Arıtma Dairesi Başkanlığı, Selahattin Ereren İçme Suyu Arıtma Tesisi,  
Aşağı Çınık Beldesi- SAMSUN

---

### Öz

Denemelerde değirmen güvesi *Ephestia kuehniella* kullanıldı. Denemeler 28°C, 65±5 sıcaklık ve nem şartlarında ve devamlı karanlık koşullarda yapıldı. Besin olarak buğday unu, mısır unu, rüşeym katkılı un ve rüşeym kullanıldı. Belirtilen besinlerde yetiştirilen larva, pup ve ergin dişi ile erkeklerden 3'er tekrar olmak üzere 40 birey alındı. Toplamda her bir deneme için 120 birey kullanıldı. Toplam lipit ve toplam yağ asitlerinin özütlenmesinde Folch vd. [8]'nin geliştirdikleri yöntem uygulandı. Denemeler sonucunda en ağır larva mısır ununda, pup rüşeym katkılı unda, dişi buğday ununda, erkek ise rüşeymde yetiştirilenlerde bulundu. Total lipit larvada en fazla buğday ununda, pup, dişi ve erkekte mısır ununda yetiştirilenlerde tespit edildi. Total yağ asidi ise larva ve pupta en fazla mısır ununda, dişi ve erkekte ise rüşeym katkılı unda yetiştirilenlerde bulundu. Değerler arasındaki farklar genellikle istatistiksel olarak anlamlı değildi.

**Anahtar kelimeler:** *Ephestia kuehniella*, mısır unu, rüşeym, total yağ asidi, total lipit.

---

## The Effects of Different Nutrients on *Ephestia kuehniella* Zeller (Lepidoptera: Pyralidae)'s Total Lipid and Total Fatty Acid Percentages

---

### Abstract

Mill moth *E. kuehniella* was used in trials. The trials were conducted under continuous dark with a temperature of 28°C and 65±5 temperature and humidity conditions. Wheat flour, corn flour, wheat germ added wheat flour and wheat germ were used as nutrient. In each trail, 40 individuals and 3 different repeated measurements were made and the analyses. Totaly 120 individuals were used for the trials. Folch et al. [8] method was used to find out the total lipid and total acid percentages of the samples. As a result of the experiments, the heaviest larvae was found in corn flour. Pup was found in wheat germ added wheat flour. Female was found in wheat flour. Male was found in wheat germ. In larval stage, the highest total lipid percentage was found in larvae reared in wheat flour. In pupal period was found corn flour in females and males. In larval and pupal stage, the highest total fatty acid percentage were found in corn flour. Female and male were found in wheat germ added flour. Differences between findings were generally statistically different.

**Keywords:** *Ephestia kuehniella*, cornflour, wheatgerm, total fatty acid, total lipid.

---

### 1. Giriş

*Ephestia kuehniella* depolanmış buğdayın zararlısı olarak da bilinir ve halk arasındaki adı değirmen güvesidir. Depolanmış unlarda ürün kalitesini önemli derecede bozar. *E. kuehniella* ayrıca tahıl, kepek, ekmek, iç badem, yer fıstığı, kuru meyve, bisküvi ve palamut meyvelerinde de zararlıdır [1]. Bu böcekle ilgili biyolojik mücadele çalışmalarında biyolojisinin iyi bilinmesi ve çok iyi çalışılmış olması gerekmektedir. Zararının gelişmesinde ve hayatta kalmasında besin çeşidi çok önemli olan faktörlerden

---

\*Sorumlu yazar: [esonmez@sinop.edu.tr](mailto:esonmez@sinop.edu.tr)

Geliş Tarihi: 26.09.2018, Kabul Tarihi: 29.01.2019

birisidir. Böceklerde besin, gelişim hızı, farklı gelişim evrelerinin ve erginlerin ağırlığı, verim ve ömür uzunluğu gibi birçok faaliyeti etkiler. Örneğin *Callosobruchus maculatus* (Coleoptera: Bruchidae) ile yapılan çalışmada düşük kaliteli besinlerle beslenen larvaların, yüksek kaliteli besinlerle beslenen larvalara göre erginleştikleri zaman daha küçük yumurtalar bıraktıkları ve daha kısa ömür uzunluklarına sahip oldukları tespit edilmiştir [2]. Hayvanlardaki yağ asitleri türe, gelişim evresine, çevresel şartlara, beslenme durumuna ve üreme aktivitesine bağlı olarak miktar ve çeşit bakımından değişebilmektedir. *C. maculatus*'un uçabilen formunun normal formdan yaklaşık iki kat fazla total lipit içerdiği, uçuş sırasında lipit miktarının arttığı ve yağ asidi çeşitlerinin her iki eşeyde benzer olduğu tespit edilmiştir [3]. Taşkın [4] *Galleria mellonella* ile yaptığı ve 5 farklı besin kullandığı bir çalışmada, toplam lipit ve yağ asidi yüzdesinin gliserinli mısır unu ile beslenen grupta diğer gruptakilere göre daha yüksek olduğunu bulmuştur. Aktümsek vd. [5] yine *G. mellonella*'nın larva ve pupunun yağ asidi bileşimini inceledikleri bir çalışmada doymuş yağ asitleri yüzdesi ve doymamış yağ asitleri yüzdesinin pup evresinde larval evrelere göre daha yüksek olduğunu bulmuşlardır. Nurulloğlu [6] *Achroia grisella* ile yaptığı bir çalışmada ise doymamış yağ asitleri yüzdesinin larval evrede pup evresine göre, aşırı doymamış yağ asitleri yüzdesinin ise pup evresinde larval evredesine oranla daha yüksek olduğunu bulmuştur. Evans [7], *Tenebrio molitor*'da metamorfoz süresince toplam karbohidrat miktarının düzenli olarak azaldığını, lipit ve yağ asidi miktarının ise metamorfozun başlangıcındaki miktarlarına göre çok az değişiklik gösterdiğini saptamıştır.

Literatürde *E. kuehniella*'nın yağ asidi içeriği ile ilgili çalışmalara rastlanmış fakat buğday unu, mısır unu, rüşeym katkılı un ve rüşeymin besin olarak verildiği bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu çalışmadaki amaç farklı besinlerle beslenen, farklı gelişim evrelerindeki *E. kuehniella*'nın toplam lipit ve yağ asidi yüzdelerini araştırmaktır.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Deney Gruplarının Oluşturulması

Denemelerin çekirdeğini Ondokuz Mayıs Üniversitesi Biyoloji Bölümü laboratuvarında bulunan ve en az beş jenerasyon yetiştirilmiş olan *E. kuehniella* oluşturdu. Denemeler 28°C, 65±5 sıcaklık ve nem şartlarında ve devamlı karanlık koşullarda yapıldı. Denemelere buğday unu (300 mg), mısır unu (300 mg), rüşeym katkılı un (300 mg) ve rüşeym (300 mg) unlarının 500 cc'lik kavanozlara konması ile başlandı. Kavanozlara 10 dişi 10 erkek ergin konuldu ve erginler ölünceye kadar kavanozlar bahsedilen laboratuvar şartlarında bekletildi. Bırakılan yumurtalar larva olmaya başladıktan sonra son evre larvalarından 3 deneme olacak şekilde 40'ar tane larva alındı ve direkt olarak -80 °C'de analizler yapılmaya kadar bekletildi. Aynı şekilde 40'ar tane larva daha alındı ve ayrı petri kaplarına (9 × 3 cm) yerleştirildi ve pup olması beklendi. Dişi ve erkek erginler için de aynı süreç takip edildi. İstenilen evreye gelen denemelerin hepsi analizler yapılmaya kadar -80°C derin dondurucuda (Profilo, 1060) bekletildi.

### 2.2. Örneklerin Özütleme

Her bir deneme için larva, pup, ergin erkek ve dişilerin yağ ağırlıkları alındı. Buğday unu, mısır unu, rüşeym katkılı un ve rüşeymde yetişmiş olan larva, pup ve ergin dişi ile erkeklerden 3'er tekrar olmak üzere 40 birey alındı. Total lipit için 40'ar tane birey, içinde 5 ml kloroform-metanol (2:1;v/v) çözeltinin bulunduğu tüplerde homojenizatörde (Pro 200) 35.000 r.p.m., 5 dakika homojenize edildi. Homojenat filtre kâğıdında (Whatman No: 40) süzülme ve çözücü N<sub>2</sub> gazı altında uçuruldu. Sabit tartıma gelinceye kadar desikatörde (Silica jel ile) bekletildi. Bulunan değerler birey sayısına bölünerek birey başına düşen ağırlıklar saptandı. Toplam lipit ve toplam yağ asitlerinin özütlenmesinde Folch ve vd. [8]'nin geliştirdikleri yöntem uygulandı.

### 2.3. Verilerin Analizi

Verilerin istatistiksel analizleri SPSS for Windows (ver.21) software paket programı kullanılarak yapıldı. Grupların karşılaştırılmasında nonparametrik analiz Kruskal-Wallis H testi kullanıldı. Bu testten



elde edilen sonuçların önemli olması durumunda ortalamalar “Mann-Whitney U Testi” kullanılarak değerlendirildi. Sonuçların değerlendirilmesinde  $\alpha=0.05$  güven sınırı esas alındı.

### 3. Bulgular ve Tartışma

Farklı besin tiplerinin *E. kuehniella*'nın larva, pup, dişi ve erkek ağırlıklarına etkisi Tablo 1 ve Şekil 1'de verildi. Tablo 1'den de görüleceği gibi en ağır larva mısır ununda yetiştirilenlerde, en ağır pup ruşeym katkılı ununda yetiştirilenlerde, en ağır dişi buğday ununda yetiştirilenlerde ve en ağır erkek ruşeymde yetiştirilenlerde bulundu. Pup evresinde yaş ağırlık besin tipine göre değişim göstermezken, larva ve ergin dönemde besin tipinin etkisinin anlamlı olduğu tespit edildi (Man-Whitney U,  $p \leq 0.05$ ). Şekil 1'e bakıldığında her bir besin grubunda en ağır safhanın larva safhası olduğu, sadece ruşeym ile beslenen grupta larva ve pup arasında ağırlık farkının önemsiz olduğu görüldü. Dişi ve erkek ağırlıkları karşılaştırıldığında ise buğday unu, mısır unu ve ruşeym katkılı ununda yetiştirilenler arasındaki değerler istatistiksel olarak anlamlıydı (Şekil 1) ( $p \leq 0.05$ ).

**Tablo 1.** *E. kuehniella*'nın larva, pup, dişi ve erkek yaş ağırlıklarına besin tipinin etkisi  
<sup>1</sup>Ortalama±S.D. (mg)

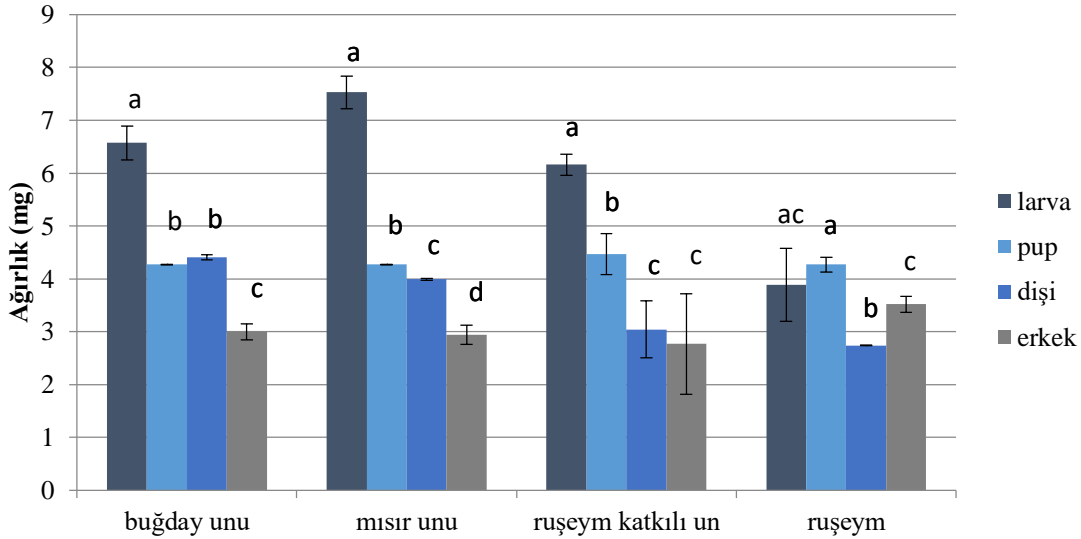
Besin Tipi	Larva	Pup	Dişi	Erkek
Buğday Unu	6.57±0.32a	4.27±0.01a	4.41±0.05a	3.00±0.15a
Mısır Unu	7.53±0.31b	4.27±0.01a	3.99±0.02b	2.94±0.18a
Ruşeym Katkılı Un	6.16±0.20c	4.47±0.39a	3.04±0.54c	2.77±0.95ab
Ruşeym	3.89±0.69d	4.27±0.14a	2.74±0.01c	3.52±0.15b

<sup>1</sup>Her bir denemede 40 birey kullanılan 3 tekrarın ortalamasıdır.

Aynı sütunda aynı küçük harfle gösterilmiş değerler arasındaki fark istatistiksel olarak önemsizdir ( $p > 0.05$ )

S. D.: Standart Sapma

mg: miligram



**Şekil 1.** Farklı besin tiplerinin *E. kuehniella*'nın larva, pup, dişi ve erkek ağırlıklarına (mg) etkisi (gelişim evreleri her bir besin türü için ayrı ayrı karşılaştırılmıştır)

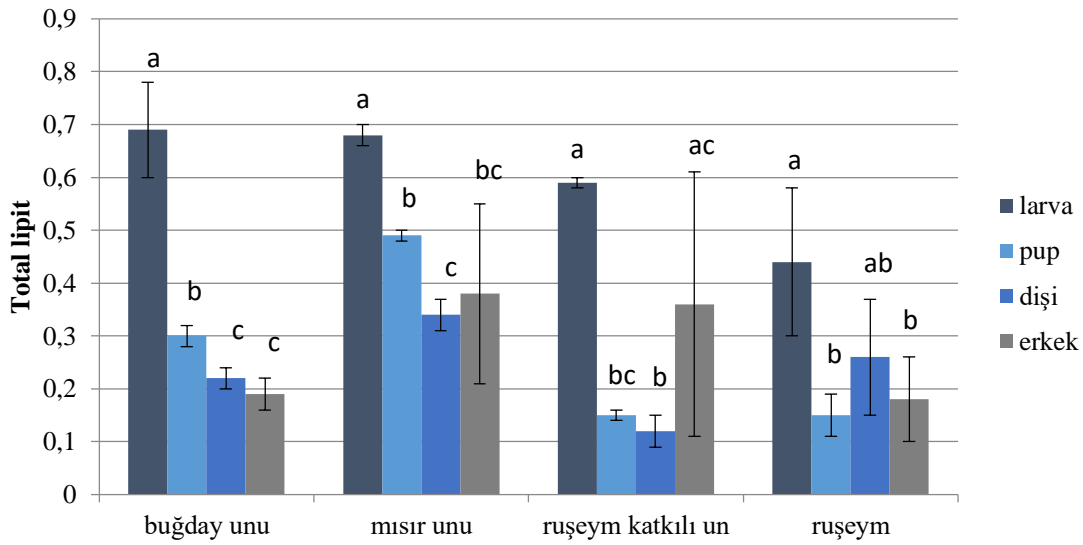
Farklı besin tiplerinin *E. kuehniella*'nın larva, pup, dişi ve erkeklerin total lipit yüzdesine etkisi Tablo 2 ve Şekil 2'de verildi. Tablo 2'den de görüldüğü gibi larval evrede en fazla total lipit yüzdesi buğday ununda yetiştirilenlerde, pup evresinde ise dişi ve erkekte mısır ununda yetiştirilenlerde elde edildi. Şekil 2'ye bakıldığında her bir besin grubunda, larva safhasının diğer gelişim safhalarından daha

yüksek miktarda lipit içerdiği gözlemlendi. Dişi ve erkekler arasında ise sadece rüşeym katkılı ununda yetiştirilmiş olanlar arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlıydı (Şekil 2) ( $p \leq 0.05$ ).

**Tablo 2.** *E. kuehniella*'nın larva, pup, dişi ve erkeklerin total lipit (%) yüzdelerine besin tipinin etkisi  
<sup>1</sup>Ortalama±S.D.

Besin Tipi	Larva	Pup	Dişi	Erkek
Buğday Unu	0.69±0.09ab	0.30±0.02a	0.22±0.02a	0.19±0.03a
Mısır Unu	0.68±0.02a	0.49±0.01b	0.34±0.03b	0.38±0.17b
Rüşeym Katkılı Un	0.59±0.01b	0.15±0.01c	0.12±0.03c	0.36±0.25ab
Rüşeym	0.44±0.14c	0.15±0.04c	0.26±0.11b	0.18±0.08ab

Tablo açıklamaları Tablo 1'deki gibidir.



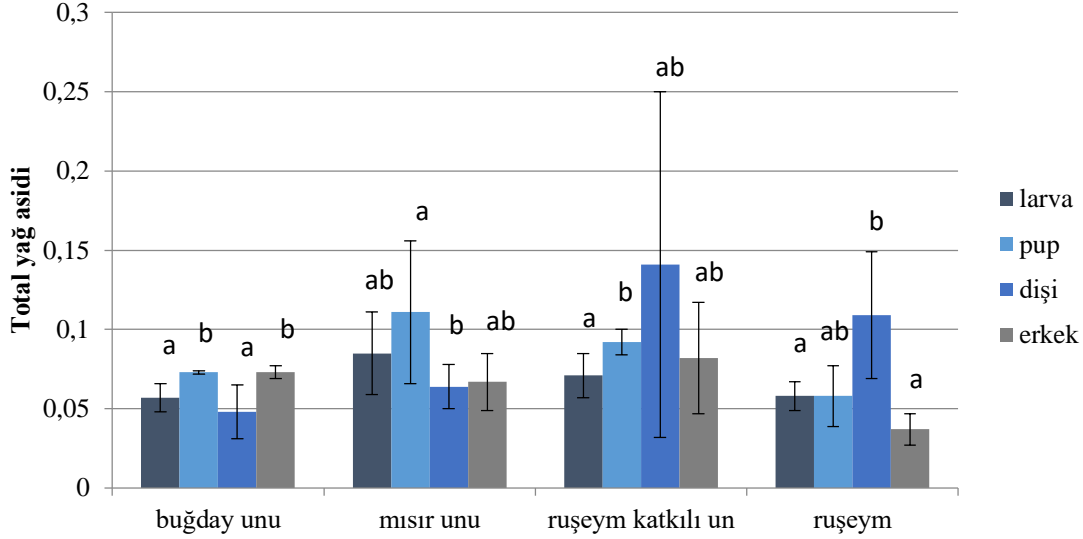
**Şekil 2.** Farklı besin tiplerinin *E. kuehniella*'nın larva, pup, dişi ve erkeklerin total lipit (%) yüzdelerine etkisi

Farklı besin tiplerinin *E. kuehniella*'nın larva, pup, dişi ve erkeklerin total yağ asidi yüzdesine etkisi Tablo 3 ve Şekil 3'de verildi. Verilere göre en fazla total yağ asidi yüzdesi larva ve pupta mısır ununda yetiştirilenlerde, dişi ve erkekte ise rüşeym katkılı ununda yetiştirilenlerde elde edildi. Şekil 3'de görüldüğü gibi besin tipine göre gelişim safhaları karşılaştırıldığında, rüşeym katkılı un ve rüşeym ile beslenen grupta en fazla yağ asidi içeren grubun ergin dişi olduğu belirlendi. Genel olarak bakıldığında gelişim safhaları arasındaki total yağ asidi yüzdesinin çok büyük bir değişim göstermediği tespit edildi. Dişi ve erkekler karşılaştırıldığında ise buğday unu ve rüşeymde yetiştirilmiş olanlardaki farklar istatistiksel olarak anlamlıydı (Şekil 3) ( $p \leq 0.05$ ).

**Tablo 3.** *E. kuehniella*'nın larva, pup, dişi ve erkeklerin total yağ asidi (%) yüzdelerine besin tipinin etkisi  
<sup>1</sup>Ortalama±S.D.

Total Yağ Asidi	Larva	Pup	Dişi	Erkek
Buğday Unu	0.057±0.009a	0.073±0.001a	0.048±0.017a	0.073±0.004a
Mısır Unu	0.085±0.026a	0.111±0.045bc	0.064±0.014ac	0.067±0.018a
Rüşeym Katkılı Un	0.071±0.014a	0.092±0.008c	0.141±0.109b	0.082±0.035a
Rüşeym	0.058±0.009a	0.058±0.019ab	0.109±0.040bc	0.037±0.010b

Tablo açıklamaları Tablo 1'deki gibidir.



**Şekil 3.** Farklı besin tiplerinin *E. kuehniella*'nın larva, pup, dişi ve erkeklerin total yağ asidi (%) yüzdelere etkisi

Besinin ergin öncesi gelişime, ağırlığa, karbonhidrat, glikojen, protein, amino asit, total lipit, total yağ asidi ve yağ asidi çeşitlerine etkisi ile ilgili birçok araştırma mevcuttur. *E. kuehniella* ile yapılan bir çalışmada hemolenf lipitlerinin prepupal evrede oldukça yüksek olduğu görülmüşken, erken larval evrede ise oldukça düşük olduğu bulunmuştur [9]. Bir böceğin sahip olduğu lipit ve yağ asidi miktarı böceğin ergin öncesi gelişim evresine, ergin döneminde üreme açısından aktif olup olmamasına ve yaşına bağlıdır. Aksoy vd. [10] *Sesamia nonagrioides* ile yaptıkları bir çalışmada larva döneminde vücut yapısında biriken karbohidrat, protein ve lipit miktarının daha sonraki dönemlerde değiştiğini; pupalarda azaldığını, ergin evrede ise arttığını belirlemişlerdir.

*Bombyx mori* [11] ile yapılan bir çalışmada larva, pupa ve erginlerinin total yağ asidi yüzdelere birinci larval evreden itibaren artış görülmüş ve ergin dönemin en fazla total yağ asidi yüzdesine sahip olduğu tespit edilmiştir. Subramanyam ve Cutkomp [12] yine *P. interpunctella* ile yaptıkları bir çalışmada ise son larval evrede erkeklerin çok fazla miktarlarda total lipit içerdiğini tespit etmişlerdir. Kalyoncu ve Özge [13] *P. interpunctella* larva, pup ve erginlerinin yağ asidi bileşimlerini incelemişlerdir. Yağ asidi yüzdelere gelişim evrelerine göre farklılıklar belirlenmiştir. Doymuş yağ asidi yüzdesi larval evrede en yüksek iken, aşırı doymamış yağ asidi yüzdesi ise pup evresinde en yüksek olarak tespit edilmiştir.

Çalışmamızda en ağır larva mısır ununda, pup ruşeym katkılı unda, en ağır dişi buğday ununda, en ağır erkek ise ruşeymde yetiştirilenlerde bulundu. Mısır ununda karbohidrat oranı çok yüksek ve protein oranının ise çok düşük olmasından dolayı en ağır larva mısır ununda tespit edilmiş olabilir. En fazla total lipit içeriği pup, dişi ve erkekte mısır ununda tespit edildi. En fazla total yağ asidi içeriği ise larva ve pupta mısır ununda, dişi ve erkekte ise ruşeym katkılı unda yetiştirilenlerde tespit edildi. Holometabol böceklerde özellikle ergin öncesi evrelerde kullanılan besin tipi, gelişim süresinde, metamorfozda ve ergin evrede etkili olur. Çalışmamızda özellikle larva ve pup aşamalarında genellikle en ağır ve en yüksek total lipit ile total yağ asidinin mısır ununda çıkması bu böceğin ergin öncesi gelişim aşamalarında, metamorfoz sırasında çok yüksek miktarlarda karbohidrat ihtiyacının olmasından ve bunu da mısır unundan karşılamasından kaynaklanabilir. Özellikle tüm evrelerde total lipit miktarı larva grubu hariç en fazla mısır ununda yetiştirilenlerde bulundu ve elde edilen değerler arasındaki farklar istatistiksel olarak anlamlıydı.

Genel olarak bakıldığında çalışmamızda en az total lipit içeriği ruşeym ve buğday ununda yetiştirilenlerde bulunmuşken, en fazla yağ asidi içeriği ruşeym katkılı unda bulunmuştur. Ruşeymin yüksek miktarlarda karbohidrat, protein ve yağ asidi içeriğine sahip olduğu bilinmektedir.

Böcek gelişimi ve fizyolojisiyle ilgili araştırmalarda besin türünün metabolik aktiviteyi değiştirerek gelişim hızını etkilediği ve buna bağlı olarak fekundite, ömür uzunluğu, içerdiği madde miktarı gibi birçok faaliyeti değiştirebildiği tespit edilmiştir [14]. Üstüner vd. [15] *P. interpunctella* ile yaptıkları bir çalışmada böceği farklı besinlerde yetiştirmişler (findık, yerfıstığı, ceviz, badem ve polen), besin çeşidine göre larvalarda total yağ asidi ve total lipit yüzdelere farklılıklar tespit etmişlerdir.

Taşkın ve Aksoylar [16] *Itopectis melanocephala* ile yaptıkları bir çalışmada total lipit ve total yağ asidi yüzdelarının ergin öncesi dönemde oldukça fazla olduğunu, bu değerin ergin oldukları döneme doğru ise azaldığını tespit etmişlerdir. Bu durum ergin dönemde gerçekleşen üreme faaliyetlerinden dolayı böceklerin ihtiyacının değışmesi, dişilerde yumurta üretiminde, erkeklerde üreme için enerji gereksiniminin karşılanmasında total lipit ve yağ asitlerinin tercih sebebi olmasından da kaynaklanabilir.

#### 4. Sonuç ve Öneriler

Besin içerisindeki bileşenler bazen böceklerin yağ asidi kompozisyonunu da etkiler. Böcekler metabolik ihtiyaçları için gerekli olan yağların bir kısmını besinde bulunan karbohidratlardan sentezleyerek karşılarlar. Böcekler ergin öncesi gelişim aşamalarında besin depolayabilirler ve ergin öncesi evredeki besinler oldukça önemlidir [17, 18].

Sonuç olarak buğday unu, mısır unu, rüşeym katkılı un ve rüşeym ile beslenen *E. kuehniella*'nın yağ ağırlığı, total lipit ve total yağ asidi miktarları arasında farklılıklar bulundu. Bu farklılıklar böceğin gelişim evrelerine, dişi veya erkek olup olmamasına ve bu evrelerdeki metabolik ihtiyaçlarına göre değışebilir. Çalışmamız sonucunda mısır ununda yetiştirilen larva ve pup gibi gelişim aşamalarında total lipit ve total yağ asidi oranının yüksek çıkmasından dolayı, konak parazitoit ilişkilerini ele alan fizyolojik çalışmalarda mısır unu katkılı besinlerde yetiştirilmesi tavsiye edilir. Bunun yanında erginlerde total yağ asidi yüzdesinin rüşeym katkılı unda fazla çıkması nedeniyle yapılacak fizyolojik çalışmalarda rüşeym katkılı unda alternatif olabilir.

#### Kaynaklar

- [1] Erakay S. 1974. Ege Bölgesinde Un ve Undan Mamül Maddelerde Bulunan Zararlı Böcekler Üzerinde Araştırmalar. İstiklal Matbaası, İzmir, Teknik bülten, 23: 34-35.
- [2] Gonzalez-Teuber M., Segovia R., Gianoli E. 2008. Effects of Maternal Diet and Host Quality on Oviposition Patterns and Offspring Performance in a Seed Beetle (Coleoptera: Bruchidae). *Naturwissenschaften*, 95 (7): 609-615.
- [3] Nwanze K.F., Maskarinec J.K., Hopkins T.L. 1976. Lipid Composition of the Normal and Flight Forms of Adult Cowpea Weevils, *Callosobruchus maculatus*. *Journal of Insect Physiology*, 22 (6): 897-899.
- [4] Taşkın D. 2010. Besinin *Galleria mellonella* (L.) (Lepidoptera: Pyralidae) Pupalarının Toplam Lipit ve Toplam Yağ Asidi Yüzdelarına Etkisi. *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 12 (2): 50-54.
- [5] Aktümsek A., Nurulloğlu Z.Ü., Kalyoncu L. 2000. *Galleria mellonella* (L.) (Lepidoptera: Pyralidae) Larva ve Pupunun Yağ Asidi Bileşimi. *Selçuk Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Fen Dergisi*, 17: 29-32.
- [6] Nurulloğlu Z.Ü. 2003. *Achroia grisella* (Lepidoptera: Pyralidae) Larva ve Pupunun Yağ Asidi Bileşimi. *S.Ü. Fen-Edebiyat Fakültesi Fen Dergisi*, 21: 75-78.
- [7] Evans A.C. 1934. On the Chemical Changes Associated with Metamorphosis in a Beetle (*Tenebriomolitor* L.). *Journal of Experimental Biology*, 11: 397-401.
- [8] Folch J., Lees M., Stanley S.G.H. 1956. A Simple Method for the Isolation and Purification of Total Lipids from Animal Tissues. *The Journal of Biological Chemistry*, 226: 497-509.
- [9] Gussin A.E.S. 1967. Lipid Metabolism in the Mediterranean Meal Moth *Ephestia kuehniella* Zeller During Its Life Cycle. *Indiana Academy of Science*, 311-318
- [10] Aksoy H.A., Bahadıroğlu C., Toroğlu S. 2015. Mısır Koçan Kurdu, *Sesamia nonagrioides* Lefebvre (Lepidoptera: Noctuidae)'in Farklı Gelişim Evrelerinde Toplam Protein, Karbohidrat ve Lipit Miktarı Üzerine Araştırma. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 3: 125-131.
- [11] Nakasone S., Ito T. 1967. Fatty Acid Composition of the Silkworm, *Bombyx mori* L. *Journal of Insect Physiology*, 13: 1237-1246.
- [12] Subramanyam B., Cutkomp L.K. 1987. Total Lipid and Fatty Acid Composition in Male and Female Larvae of Indian-Meal Moth and Almond Moth (Lepidoptera: Pyralidae). *The Great Lakes Entomologist*, 20 (2): 99-102.
- [13] Kalyoncu L., Özge S. 2014. *Plodia interpunctella* (Hubner) (Lepidoptera: Pyralidae)'nın Farklı Gelişim Evrelerinin Yağ Asidi Bileşimi. *Selçuk Üniversitesi Fen Fakültesi Fen Dergisi*, 38: 10-18.

- [14] El Atta H.A. 2000. Effect of Diet and Seed Pretreatment on the Biology of *Bruchidius uberatus* (Coleoptera: Bruchidae). *Silva Fennica* 34 (4): 431-435.
- [15] Üstüner P., Kalyoncu L., Aktümsek A. 2010. Besinin *Plodia interpunctella* (Hubner) (Lepidoptera: Pyralidae) Larva ve Pupunun Toplam Lipid, Yağ Asidi Oranlarına ve Yağ Asidi Bileşimine Etkileri. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Dergisi (E-Dergi)*, 5 (1): 29-37.
- [16] Taşkın D., Aksoylar M.Y. 2011. *Itopectis melanocephala* (Gravenhorst, 1829) (Hymenoptera: Ichneumonidae)'nın Ergin Öncesi Dönemleri ile Erginlerinin Total Lipid ve Total Yağ Asidi Yüzdeleri. *Türkiye Entomoloji Dergisi*, 35 (4): 641-649.
- [17] Perez-Mendoza J., Hagstrum D.W., Dover B.A., Hopkins T.L., Baker J.E. 1999. Flight Response, Body Weight and Lipid Content of *Rhyzopertha dominica* (F) Coleoptera: Bostrichidae) as Influenced by Strain, Season and Phenotype. *Journal of Stored Products Research*, 35: 183-196.
- [18] Guerra A.A., Robacker D.C. 1989. Effects of Sex, Age and Diet on the Triacylglycerol Fatty Acid Composition of Subtropical Boll Weevils, *Anthonomus grandis* Boheman (Coleoptera: Curculionidae). *Journal of Agricultural Food and Chemistry*, 37: 796-799

---

*Araştırma Makalesi / Research Article*

---

## **Gaussian $(s, t)$ -Pell and Pell-Lucas Sequences and Their Matrix Representations**

Nusret KARAASLAN<sup>\*1</sup>, Tülay YAĞMUR<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Aksaray University, Department of Mathematics, Aksaray

<sup>2</sup>Aksaray University, Program of Occupational Health and Safety, Aksaray

---

### **Abstract**

In this study, the Gaussian  $(s, t)$ -Pell and Pell-Lucas sequences are defined. Moreover, by using these sequences, the Gaussian  $(s, t)$ -Pell and Pell-Lucas matrix sequences are defined. Furthermore, generating functions, Binet's formulas and some summation formulas of these sequences are given. Finally, some relationships between Gaussian  $(s, t)$ -Pell and Pell-Lucas matrix sequences are obtained.

**Keywords:**  $(s, t)$ -Pell sequence, Gaussian Pell sequence, Gaussian  $(s, t)$ -Pell sequence, Gaussian  $(s, t)$ -Pell matrix sequence.

---

## **Gauss $(s, t)$ -Pell ve Pell-Lucas Dizileri ve Matris Gösterimleri**

---

### **Öz**

Bu çalışmada, Gauss  $(s, t)$ -Pell ve Pell-Lucas dizileri tanımlanmıştır. Dahası, bu dizileri kullanarak Gauss  $(s, t)$ -Pell ve Pell-Lucas matris dizileri tanımlanmıştır. Ayrıca, bu dizilerin üreteç fonksiyonları, Binet formülleri ve bazı toplam formülleri verilmiştir. Son olarak, Gauss  $(s, t)$ -Pell ve Pell-Lucas matris dizileri arasında bazı ilişkiler elde edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:**  $(s, t)$ -Pell dizisi, Gauss Pell dizisi, Gauss  $(s, t)$ -Pell dizisi, Gauss  $(s, t)$ -Pell matris dizisi.

---

### **1. Introduction**

In recent years, we have seen so many studies on the different number sequences such as Fibonacci, Lucas, Pell, Pell-Lucas, modified Pell sequences. We refer the reader to [1,6,9,14,16,19,20]. For  $n \geq 2$ , the well-known Fibonacci  $\{F_n\}$ , Lucas  $\{L_n\}$ , Pell  $\{P_n\}$ , Pell-Lucas  $\{Q_n\}$  and modified Pell  $\{q_n\}$  sequences are defined as  $F_n = F_{n-1} + F_{n-2}$ ,  $L_n = L_{n-1} + L_{n-2}$ ,  $P_n = 2P_{n-1} + P_{n-2}$ ,  $Q_n = 2Q_{n-1} + Q_{n-2}$  and  $q_n = 2q_{n-1} + q_{n-2}$  where  $F_0 = 0$ ,  $F_1 = 1$ ,  $L_0 = 2$ ,  $L_1 = 1$ ,  $P_0 = 0$ ,  $P_1 = 1$ ,  $Q_0 = 2$ ,  $Q_1 = 2$  and  $q_0 = 1$ ,  $q_1 = 1$ , respectively.

In [4,5,8], two-parameters generalizations of the Fibonacci and Pell sequences are given. In [4,5], Civciv and Türkmen introduced  $(s, t)$ -Fibonacci  $\{F_n(s, t)\}_{n=0}^{\infty}$  and  $(s, t)$ -Lucas  $\{L_n(s, t)\}_{n=0}^{\infty}$  sequences by using Fibonacci and Lucas sequences. On the other hand, the matrix sequences that concern this special number sequences have taken so much interest [4,5,8]. In [8], Güleç and Taşkara introduced  $(s, t)$ -Pell  $\{MP_n(s, t)\}_{n \in \mathbb{N}}$  and  $(s, t)$ -Pell-Lucas  $\{MQ_n(s, t)\}_{n \in \mathbb{N}}$  matrix sequences by using  $(s, t)$ -Pell and  $(s, t)$ -Pell-Lucas sequences. They showed some properties of these matrix sequences using essentially a matrix approach in [4,5,8].

Moreover, many authors studied on Gaussian Fibonacci, Lucas, Pell, Pell-Lucas and modified Pell sequences. We refer the reader to [2,3,7,10,12,13,15,18,21]. Halıcı and Öz [10] introduced the Gaussian Pell and Gaussian Pell-Lucas numbers respectively by

---

\*Sorumlu yazar: [nusret5301@gmail.com](mailto:nusret5301@gmail.com)

Geliş Tarihi: 13.10.2018, Kabul Tarihi: 05.02.2019

$$GP_0 = i, \quad GP_1 = 1; \quad GP_n = 2GP_{n-1} + GP_{n-2},$$

$$GQ_0 = 2 - 2i, \quad GQ_1 = 2 + 2i; \quad GQ_n = 2GQ_{n-1} + GQ_{n-2}.$$

The authors also studied Gaussian Pell polynomials and their some properties in [11]. In addition, Yağmur and Karaaslan [21] defined the Gaussian modified Pell numbers by

$$Gq_0 = 1 - i, \quad Gq_1 = 1 + i; \quad Gq_n = 2Gq_{n-1} + Gq_{n-2}.$$

Also, they studied their properties in the same paper. In addition, Catarino and Campos [3] studied the Gaussian modified Pell numbers. Moreover, in [17], Pektaş gave the definition of  $(s, t)$ -Gaussian Fibonacci and  $(s, t)$ -Gaussian-Lucas numbers and then presented their matrix representations.

In this study, we firstly define Gaussian  $(s, t)$ -Pell and Pell-Lucas sequences. Then, by using these sequences, we also define Gaussian  $(s, t)$ -Pell and Pell-Lucas matrix sequences. In the last of the study, we investigate the relationships between Gaussian  $(s, t)$ -Pell and Pell-Lucas matrix sequences.

## 2. The Gaussian $(s, t)$ -Pell and Pell-Lucas Sequences

In this section, we first give the definitions of the Gaussian  $(s, t)$ -Pell and Pell-Lucas sequences, and then we obtain Binet's formulas, generating functions and sum formulas for these sequences.

Firstly, we give the fundamental definitions and properties for these sequences.

**Definition 2.1.** Let  $s$  and  $t$  be any real numbers satisfying that  $s > 0$ ,  $t \neq 0$  and  $s^2 + t > 0$ . By the aid of the reference [10], let us define the Gaussian  $(s, t)$ -Pell sequence  $\{GP_n(s, t)\}_{n \in \mathbb{N}}$  is defined recursively by

$$GP_n(s, t) = 2sGP_{n-1}(s, t) + tGP_{n-2}(s, t), \quad n \geq 2,$$

with initial values  $GP_0(s, t) = i$  and  $GP_1(s, t) = 1$ .

One can see that

$$GP_n(s, t) = P_n(s, t) + itP_{n-1}(s, t)$$

where  $P_n(s, t)$  is the  $n$ th  $(s, t)$ -Pell number.

Particular case of Gaussian  $(s, t)$ -Pell sequence is:

- If  $s = \frac{1}{2}$  and  $t = 1$ , the classical Gaussian Fibonacci sequence is obtained in [2, 15].
- If  $s = 1$  and  $t = 1$ , the classical Gaussian Pell sequence is obtained in [10].

**Definition 2.2.** Let  $s$  and  $t$  be any real numbers satisfying that  $s > 0$ ,  $t \neq 0$  and  $s^2 + t > 0$ . By the aid of the reference [10], let us define the Gaussian  $(s, t)$ -Pell-Lucas sequence  $\{GQ_n(s, t)\}_{n \in \mathbb{N}}$  is defined recursively by

$$GQ_n(s, t) = 2sGQ_{n-1}(s, t) + tGQ_{n-2}(s, t), \quad n \geq 2,$$

with initial values  $GQ_0(s, t) = 2 - 2is$  and  $GQ_1(s, t) = 2s + 2it$ .

Also, it can be seen that

$$GQ_n(s, t) = Q_n(s, t) + itQ_{n-1}(s, t)$$

where  $Q_n(s, t)$  is the  $n$ th  $(s, t)$ -Pell-Lucas number.

Particular case of Gaussian  $(s, t)$ -Pell-Lucas sequence is:

- If  $s = \frac{1}{2}$  and  $t = 1$ , the classical Gaussian Lucas sequence is obtained in [15].
- If  $s = 1$  and  $t = 1$ , the classical Gaussian Pell-Lucas sequence is obtained in [10].

In this paper, we only present the proofs of the results given for the Gaussian  $(s, t)$ -Pell sequence, because those for the Gaussian  $(s, t)$ -Pell-Lucas sequence are similar.

Now, we give the generating functions for these sequences by the following theorem.

**Theorem 2.1.** *The generating functions for the Gaussian  $(s, t)$ -Pell and Pell-Lucas sequences are*

$$f(x) = \frac{x + i(1 - 2sx)}{1 - 2sx - tx^2},$$

$$h(x) = \frac{(2 - 2sx) + i(4s^2x + 2tx - 2s)}{1 - 2sx - tx^2}$$

respectively.

**Proof.** Let  $f(x)$  be the generating function of the Gaussian  $(s, t)$ -Pell sequence  $\{GP_n(s, t)\}$ . Then, we can write

$$f(x) = \sum_{i=0}^{\infty} GP_i(s, t)x^i = GP_0(s, t) + GP_1(s, t)x + GP_2(s, t)x^2 + \dots + GP_n(s, t)x^n + \dots$$

Also, we can write by the recursive relations

$$f(x)(1 - 2sx - tx^2) = GP_0(s, t) + [GP_1(s, t) - 2sGP_0(s, t)]x.$$

Thus, we obtain

$$f(x) = \frac{x + i(1 - 2sx)}{1 - 2sx - tx^2}$$

which is desired. ■

It must be noted that for  $s = t = 1$ , these functions generalise the formulas in the reference [10]. That is

$$f(x) = \frac{x + i(1 - 2x)}{1 - 2x - x^2},$$

$$g(x) = \frac{(2 - 2x) + i(6x - 2)}{1 - 2x - x^2}$$

respectively.

**Theorem 2.2.** *Let  $\alpha = s + \sqrt{s^2 + t}$  and  $\beta = s - \sqrt{s^2 + t}$  be the roots of the equation  $x^2 - 2sx - t = 0$ . The Binet's formulas for  $n$ th Gaussian  $(s, t)$ -Pell and Pell-Lucas number are*

$$GP_n(s, t) = \frac{\alpha^n - \beta^n}{\alpha - \beta} + i \frac{\alpha\beta^n - \beta\alpha^n}{\alpha - \beta} \quad n \geq 0$$

and

$$GQ_n(s, t) = (\alpha^n + \beta^n) - i(\alpha\beta^n + \beta\alpha^n) \quad n \geq 0,$$

respectively.



**Proof.** We know that the general solution for the recurrence relation is given by

$$GP_n(s, t) = c\alpha^n + d\beta^n$$

for some coefficients  $c$  and  $d$ .

Using the initial values  $GP_0(s, t) = i$  and  $GP_1(s, t) = 1$ ,

$$c = \frac{1-i(s-\sqrt{s^2+t})}{2\sqrt{s^2+t}}, d = \frac{-1+i(s+\sqrt{s^2+t})}{2\sqrt{s^2+t}}$$

can be written.

Hence, the Binet's formula for  $GP_n(s, t)$  is obtained as

$$GP_n(s, t) = \frac{\alpha^n - \beta^n}{\alpha - \beta} + i \frac{\alpha\beta^n - \beta\alpha^n}{\alpha - \beta}.$$

So, the proof is completed. ■

**Theorem 2.3.** For  $2s + t \neq 1$ , the sums of the Gaussian  $(s, t)$ -Pell and -Pell-Lucas sequences are given as

$$(i) \sum_{i=1}^n GP_i(s, t) = \frac{1}{2s + t - 1} [GP_{n+1}(s, t) + tGP_n(s, t) - 1 - it],$$

$$(ii) \sum_{i=1}^n GQ_i(s, t) = \frac{1}{2s + t - 1} [GQ_{n+1}(s, t) + tGQ_n(s, t) - 2(s + t) + 2it(s - 1)].$$

**Proof.** By the definition of Gaussian  $(s, t)$ -Pell sequence recurrence relation, we have

$$GP_{i-1}(s, t) = \frac{1}{2s} GP_i(s, t) - \frac{t}{2s} GP_{i-2}(s, t).$$

From this equation

$$GP_1(s, t) = \frac{1}{2s} GP_2(s, t) - \frac{t}{2s} GP_0(s, t),$$

$$GP_2(s, t) = \frac{1}{2s} GP_3(s, t) - \frac{t}{2s} GP_1(s, t),$$

$$GP_3(s, t) = \frac{1}{2s} GP_4(s, t) - \frac{t}{2s} GP_2(s, t),$$

⋮

$$GP_n(s, t) = \frac{1}{2s} GP_{n+1}(s, t) - \frac{t}{2s} GP_{n-1}(s, t)$$

can be written.

Then, we have

$$\sum_{i=1}^n GP_i(s, t) = \frac{1}{2s} \sum_{i=2}^{n+1} GP_i(s, t) - \frac{t}{2s} \sum_{i=0}^{n-1} GP_i(s, t).$$

After necessary calculations we get

$$\sum_{i=1}^n GP_i(s, t) = \frac{1}{2s + t - 1} [GP_{n+1}(s, t) + tGP_n(s, t) - 1 - it].$$

So, the proof is completed. ■

**Theorem 2.4.** Let  $X$  be odd indexed Gaussian  $(s, t)$ -Pell numbers and  $Y$  be even indexed Gaussian  $(s, t)$ -Pell numbers. Then the following equalities hold:

$$X = \sum_{i=1}^n GP_{2i-1}(s, t) = \frac{(1-t)[GP_{2n+1}(s, t) - 1] + 2st[GP_{2n}(s, t) - i]}{4s^2 - (1-t)^2},$$

$$Y = \sum_{i=1}^n GP_{2i}(s, t) = \frac{GP_{2n+2}(s, t) - t^2GP_{2n}(s, t) - 2s + it(t-1)}{4s^2 - (1-t)^2}.$$

**Proof.** Terms of odd index of  $GP_n(s, t)$  are

$$GP_1(s, t) = 2sGP_0(s, t) - tGP_{-1}(s, t),$$

$$GP_3(s, t) = 2sGP_2(s, t) - tGP_1(s, t),$$

$$GP_5(s, t) = 2sGP_4(s, t) - tGP_3(s, t),$$

$$\vdots$$

$$GP_{2n-1}(s, t) = 2sGP_{2n-2}(s, t) - tGP_{2n-3}(s, t).$$

Then, we obtain

$$X = \frac{2sY + 1 - GP_{2n+1}(s, t)}{1 - t}. \quad (1)$$

Similarly, terms of even index of  $GP_n(s, t)$  are

$$GP_2(s, t) = 2sGP_1(s, t) - tGP_0(s, t),$$

$$GP_4(s, t) = 2sGP_3(s, t) - tGP_2(s, t),$$

$$GP_6(s, t) = 2sGP_5(s, t) - tGP_4(s, t),$$

$$\vdots$$

$$GP_{2n}(s, t) = 2sGP_{2n-1}(s, t) - tGP_{2n-2}(s, t).$$

Then, we get

$$Y = \frac{2sX - tGP_{2n}(s, t) + it}{1 - t}. \quad (2)$$

By considering Eq. (1) and (2), we obtain

$$X = \sum_{i=1}^n GP_{2i-1}(s, t) = \frac{(1-t)[GP_{2n+1}(s, t) - 1] + 2st[GP_{2n}(s, t) - i]}{4s^2 - (1-t)^2},$$

$$Y = \sum_{i=1}^n GP_{2i}(s, t) = \frac{GP_{2n+2}(s, t) - t^2GP_{2n}(s, t) - 2s + it(t-1)}{4s^2 - (1-t)^2}.$$

■

**Theorem 2.5.** Let  $X$  be odd indexed Gaussian  $(s, t)$ -Pell-Lucas numbers and  $Y$  be even indexed Gaussian  $(s, t)$ -Pell-Lucas numbers. Then the following equalities hold:

$$X = \sum_{i=1}^n GQ_{2i-1}(s, t) = \frac{(1-t)[GQ_{2n+1}(s, t) - 2s - 2it] + 2st[GQ_{2n}(s, t) - 2 + 2is]}{4s^2 - (1-t)^2},$$

$$Y = \sum_{i=1}^n GQ_{2i}(s, t) = \frac{GQ_{2n+2}(s, t) - t^2GQ_{2n}(s, t) - 2(2s^2 + t + ist) + t^2(2 - 2is)}{4s^2 - (1-t)^2}.$$

**Proof.** This theorem is easily obtained by proceeding as in the proof of Theorem 2.4. ■

We now investigate some identities of the Gaussian  $(s, t)$ -Pell and Pell-Lucas sequences.

**Theorem 2.6.** Let  $n \geq 0$  and  $n \geq r$ . Then Catalan's identity for the Gaussian  $(s, t)$ -Pell and Pell-Lucas is

$$(i) GP_{n-r}(s, t)GP_{n+r}(s, t) - GP_n^2(s, t) = \frac{(t+1-2is)(-t)^{n-r}[4(-t)^r - (\alpha^r + \beta^r)^2]}{4(s^2+t)},$$

$$(ii) GQ_{n-r}(s, t)GQ_{n+r}(s, t) - GQ_n^2(s, t) = (t + 1 - 2is)(-t)^{n-r}[(\alpha^r + \beta^r)^2 - 4(-t)^r].$$

**Proof.** Let  $A = 1 - \beta i$  and  $B = 1 - \alpha i$ . Then, using Theorem 2.2, we can write

$$GP_{n-r}(s, t)GP_{n+r}(s, t) - GP_n^2(s, t) = \left(\frac{A\alpha^{n-r} - B\beta^{n-r}}{\alpha - \beta}\right)\left(\frac{A\alpha^{n+r} - B\beta^{n+r}}{\alpha - \beta}\right) - \left(\frac{A\alpha^n - B\beta^n}{\alpha - \beta}\right)^2.$$

After necessary calculations, we get

$$GP_{n-r}(s, t)GP_{n+r}(s, t) - GP_n^2(s, t) = \frac{AB\alpha^{n-r}\beta^{n-r}(2\alpha^r\beta^r - \alpha^{2r} - \beta^{2r})}{(\alpha - \beta)^2}.$$

Hence, from  $AB = t + 1 - 2is$ , we have

$$GP_{n-r}(s, t)GP_{n+r}(s, t) - GP_n^2(s, t) = \frac{(t + 1 - 2is)(-t)^{n-r}[4(-t)^r - (\alpha^r + \beta^r)^2]}{4(s^2 + t)},$$

as required. ■

By setting  $r = 1$  in Theorem 2.6, we obtain the following corollary which is Cassini's identity of the Gaussian  $(s, t)$ -Pell and Pell-Lucas sequences.

**Corollary 2.1.** For positive integer  $n$ , we have

$$(i) GP_{n-1}(s, t)GP_{n+1}(s, t) - GP_n^2(s, t) = -(t + 1 - 2is)(-t)^{n-1},$$

$$(ii) GQ_{n-1}(s, t)GQ_{n+1}(s, t) - GQ_n^2(s, t) = 4(s^2 + t)(t + 1 - 2is)(-t)^{n-1}.$$

In the rest of paper, the Gaussian  $(s, t)$ -Pell and Pell-Lucas sequences will be denoted by  $GP_n$  and  $GQ_n$  instead of  $GP_n(s, t)$  and  $GQ_n(s, t)$ , respectively.

### 3. The Matrix Representations For The Gaussian $(s, t)$ -Pell and Pell-Lucas Sequences

In this section, we give the definitions of the Gaussian  $(s, t)$ -Pell and Pell-Lucas matrix sequences. Then, we obtain Binet's formulas, generating functions and sum formulas for these matrix sequences. We also investigate their properties.

**Definition 3.1.** Let  $s$  and  $t$  be any real numbers satisfying that  $s > 0$ ,  $t \neq 0$  and  $s^2 + t > 0$ . The Gaussian  $(s, t)$ -Pell matrix sequence  $\{MGP_n(s, t)\}_{n \in \mathbb{N}}$  is defined recursively by

$$MGP_n(s, t) = 2sMGP_{n-1}(s, t) + tMGP_{n-2}(s, t) \quad n \geq 2$$

with initial values  $MGP_0(s, t) = \begin{pmatrix} 1 & i \\ it & 1 - 2is \end{pmatrix}$  and  $MGP_1(s, t) = \begin{pmatrix} 2s + it & 1 \\ t & it \end{pmatrix}$ .

Also, it is easily seen that

$$MGP_n(s, t) = MP_n(s, t) + itMP_{n-1}(s, t)$$

where  $MP_n(s, t)$  is the  $n$ th  $(s, t)$ -Pell matrix sequence.

**Definition 3.2.** Let  $s$  and  $t$  be any real numbers satisfying that  $s > 0$ ,  $t \neq 0$  and  $s^2 + t > 0$ . The Gaussian  $(s, t)$ -Pell-Lucas matrix sequence  $\{MGQ_n(s, t)\}_{n \in \mathbb{N}}$  is defined recursively by

$$MGQ_n(s, t) = 2sMGQ_{n-1}(s, t) + tMGQ_{n-2}(s, t) \quad n \geq 2$$

with initial values  $MGQ_0(s, t) = \begin{pmatrix} 2s + 2it & 2 - 2is \\ 2t - 2ist & -2s + 4is^2 + 2it \end{pmatrix}$  and

$$MGQ_1(s, t) = \begin{pmatrix} 4s^2 + 2t + 2ist & 2s + 2it \\ 2st + 2it^2 & 2t - 2ist \end{pmatrix}.$$

Also, it is easily seen that

$$MGQ_n(s, t) = MQ_n(s, t) + itMQ_{n-1}(s, t)$$

where  $MQ_n(s, t)$  is the  $n$ th  $(s, t)$ -Pell-Lucas matrix sequence.

In the rest of paper, the Gaussian  $(s, t)$ -Pell and Pell-Lucas matrix sequences will be denoted by  $MGP_n$  and  $MGQ_n$  instead of  $MGP_n(s, t)$  and  $MGQ_n(s, t)$ , respectively.

**Theorem 3.1.** Let  $n \geq 0$ . We have

$$(i) MGP_n = \begin{pmatrix} GP_{n+1} & GP_n \\ tGP_n & tGP_{n-1} \end{pmatrix},$$

$$(ii) MGQ_n = \begin{pmatrix} GQ_{n+1} & GQ_n \\ tGQ_n & tGQ_{n-1} \end{pmatrix}.$$

**Proof.** By induction on  $n$  we can prove the theorem. For  $n = 0$ , we get

$$MGP_0 = \begin{pmatrix} GP_1 & GP_0 \\ tGP_0 & tGP_{-1} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & i \\ it & 1 - 2is \end{pmatrix}.$$

Now, assume that the theorem holds for  $n = k$ , that is

$$MGP_k = \begin{pmatrix} GP_{k+1} & GP_k \\ tGP_k & tGP_{k-1} \end{pmatrix}.$$

Then, for  $n = k + 1$ , we obtain

$$\begin{aligned} MGP_{k+1} &= 2sMGP_k + tMGP_{k-1} \\ &= 2s \begin{pmatrix} GP_{k+1} & GP_k \\ tGP_k & tGP_{k-1} \end{pmatrix} + t \begin{pmatrix} GP_k & GP_{k-1} \\ tGP_{k-1} & tGP_{k-2} \end{pmatrix} \\ &= \begin{pmatrix} 2sGP_{k+1} + tGP_k & 2sGP_k + tGP_{k-1} \\ 2stGP_k + t^2GP_{k-1} & 2stGP_{k-1} + t^2GP_{k-2} \end{pmatrix} \\ &= \begin{pmatrix} GP_{k+2} & GP_{k+1} \\ tGP_{k+1} & tGP_k \end{pmatrix}. \end{aligned}$$

So, we obtain the desired result. ■

**Theorem 3.2.** For  $n \geq 0$ , we have

$$(i) \quad MGP_n = \left( \frac{MGP_1 - \beta MGP_0}{\alpha - \beta} \right) \alpha^n - \left( \frac{MGP_1 - \alpha MGP_0}{\alpha - \beta} \right) \beta^n,$$

$$(ii) \quad MGQ_n = \left( \frac{MGQ_1 - \beta MGQ_0}{\alpha - \beta} \right) \alpha^n - \left( \frac{MGQ_1 - \alpha MGQ_0}{\alpha - \beta} \right) \beta^n.$$

**Proof.** We know that the general solution for the recurrence relation

$$MGP_n = c\alpha^n + d\beta^n$$

for some coefficients  $c$  and  $d$ .

Then, using the initial conditions imply that  $MGP_0 = c + d$  and  $MGP_1 = c\alpha + d\beta$ . Solving the system, we get

$$c = \frac{MGP_1 - \beta MGP_0}{\alpha - \beta} \quad \text{and} \quad d = -\frac{MGP_1 - \alpha MGP_0}{\alpha - \beta}.$$

Thus, the Binet's formula for  $MGP_n$  is obtained as

$$MGP_n = \left( \frac{MGP_1 - \beta MGP_0}{\alpha - \beta} \right) \alpha^n - \left( \frac{MGP_1 - \alpha MGP_0}{\alpha - \beta} \right) \beta^n.$$

So, the proof is completed. ■

**Theorem 3.3.** The generating functions for the Gaussian  $(s, t)$ -Pell and Pell-Lucas matrix sequences are

$$g(x) = \frac{1}{1 - 2sx - tx^2} \left[ \begin{pmatrix} 1 & i \\ it & 1 - 2is \end{pmatrix} + x \begin{pmatrix} it & 1 - 2is \\ t - 2ist & -2s + i(4s^2 + t) \end{pmatrix} \right],$$

$$n(x) = \frac{1}{1 - 2sx - tx^2} \left[ \begin{pmatrix} 2s + 2it & 2 - 2is \\ 2t - 2ist & -2s + 2it + 4is^2 \end{pmatrix} + x \begin{pmatrix} 2t - 2sti & -2s + 2it + 4is^2 \\ -2st + 2it^2 + 4is^2t & 4s^2 + 2t - 6ist - 8is^3 \end{pmatrix} \right]$$

respectively.

**Proof.** Let  $g(x)$  be the generating function of the Gaussian  $(s, t)$ -Pell sequence  $\{MGP_n\}$ . Then we can write

$$g(x) = \sum_{i=0}^{\infty} MGP_i x^i = MGP_0 + MGP_1 x + MGP_2 x^2 + \dots + MGP_n x^n + \dots$$

Also, we can write by the recursive relations

$$g(x)(1 - 2sx - tx^2) = MGP_0 + [MGP_1 - 2sMGP_0]x.$$

Thus, we obtain

$$g(x) = \frac{1}{1 - 2sx - tx^2} \left[ \begin{pmatrix} 1 & i \\ it & 1 - 2is \end{pmatrix} + x \begin{pmatrix} it & 1 - 2is \\ t - 2ist & -2s + i(4s^2 + t) \end{pmatrix} \right].$$

The proof is completed. ■

**Theorem 3.4.** For  $2s + t \neq 1$ , the sums of the Gaussian  $(s, t)$ -Pell and Pell-Lucas matrix sequences are given as

$$(i) \sum_{i=1}^n MGP_i = \frac{1}{2s + t - 1} [MGP_{n+1} + tMGP_n - MGP_2 + (2s - 1)MGP_1],$$

$$(ii) \sum_{i=1}^n MGQ_i = \frac{1}{2s + t - 1} [MGQ_{n+1} + tMGQ_n - MGQ_2 + (2s - 1)MGQ_1].$$

**Proof.** By the definition of Gaussian  $(s, t)$ -Pell matrix sequence recurrence relation, we have

$$-tMGP_{i-2} = -MGP_i + 2sMGP_{i-1}.$$

From this equation

$$-tMGP_1 = -MGP_3 + 2sMGP_2,$$

$$-tMGP_2 = -MGP_4 + 2sMGP_3,$$

$$-tMGP_3 = -MGP_5 + 2sMGP_4,$$

⋮

$$-tMGP_n = -MGP_{n+2} + 2sMGP_{n+1}$$

can be written.

Then, we have

$$-t \sum_{i=1}^n MGP_i = (2s - 1)(MGP_3 + MGP_4 + \dots + MGP_{n+1}) - MGP_{n+2} + 2sMGP_2.$$

After necessary calculations we get

$$\sum_{i=1}^n MGP_i = \frac{1}{2s+t-1} [MGP_{n+1} + tMGP_n - MGP_2 + (2s-1)MGP_1].$$

So, the proof is completed. ■

**Theorem 3.5.** For  $2s + t \neq 1$ , we have

$$(i) \sum_{k=1}^n MGP_k = \frac{1}{2s+t-1} \begin{pmatrix} GP_{n+2} + tGP_{n+1} - 2s - t - it & GP_{n+1} + tGP_n - 1 - it \\ tGP_{n+1} + t^2GP_n - t - it^2 & tGP_n + t^2GP_{n-1} - t + it(2s-1) \end{pmatrix},$$

$$(ii) \sum_{k=1}^n MGQ_k = \frac{1}{2s+t-1} \begin{pmatrix} GQ_{n+2} + tGQ_{n+1} - 2(2s^2 + st + t) - i(t^2 + 2st) & GQ_{n+1} + tGQ_n - 2(s+t) + 2it(s-1) \\ tGQ_{n+1} + t^2GQ_n - 2t(s+t) + 2it^2(s-1) & tGQ_n + t^2GQ_{n-1} + 2t(s-1) - 2it(2s^2 - s + t) \end{pmatrix}.$$

**Proof.** From the Theorem 3.1, we have

$$\sum_{k=1}^n MGP_k = \sum_{k=1}^n \begin{pmatrix} GP_{k+1} & GP_k \\ tGP_k & tGP_{k-1} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sum_{k=1}^n GP_{k+1} & \sum_{k=1}^n GP_k \\ \sum_{k=1}^n tGP_k & \sum_{k=1}^n tGP_{k-1} \end{pmatrix}.$$

Then, by using the Theorem 2.3 we obtain

$$\sum_{k=1}^n MGP_k = \frac{1}{2s+t-1} \begin{pmatrix} GP_{n+2} + tGP_{n+1} - 2s - t - it & GP_{n+1} + tGP_n - 1 - it \\ tGP_{n+1} + t^2GP_n - t - it^2 & tGP_n + t^2GP_{n-1} - t + it(2s-1) \end{pmatrix}.$$

This completes the proof. ■

**Theorem 3.6.** Let  $X, Y$  be odd indexed Gaussian  $(s, t)$ -Pell and Pell-Lucas numbers and  $Z, T$  be even indexed Gaussian  $(s, t)$ -Pell and Pell-Lucas numbers. Then the following equalities hold:

$$X = \sum_{i=1}^n MGP_{2i-1} = \frac{(1-t)[MGP_{2n+1} - MGP_1] + 2st[MGP_{2n} - MGP_0]}{4s^2 - (1-t)^2},$$

$$Y = \sum_{i=1}^n MGQ_{2i-1} = \frac{(1-t)[MGQ_{2n+1} - MGQ_1] + 2st[MGQ_{2n} - MGQ_0]}{4s^2 - (1-t)^2},$$

$$Z = \sum_{i=1}^n MGP_{2i} = \frac{MGP_{2n+2} - t^2MGP_{2n} - MGP_2 + t^2MGP_0}{4s^2 - (1-t)^2},$$

$$T = \sum_{i=1}^n MGQ_{2i} = \frac{MGQ_{2n+2} - t^2MGQ_{2n} - MGQ_2 + t^2MGQ_0}{4s^2 - (1-t)^2}.$$

**Proof.** This theorem is easily obtained by proceeding as in the proof of Theorem 2.4. ■

**Theorem 3.7.** Let us consider,  $s^2 + t > 0, s > 0$  and  $t \neq 0$ . We get

$$(i) \sum_{k=0}^n \frac{MGP_k}{x^k} = \frac{1}{x^2-2sx-t} (xMGP_1 + (x^2 - 2sx)MGP_0) - \frac{1}{x^n(x^2-2sx-t)} (xMGP_{n+1} + tMGP_n),$$

$$(ii) \sum_{k=0}^n \frac{MGQ_k}{x^k} = \frac{1}{x^2-2sx-t} (xMGQ_1 + (x^2 - 2sx)MGQ_0) - \frac{1}{x^n(x^2-2sx-t)} (xMGQ_{n+1} + tMGQ_n).$$

**Proof.** From Theorem 3.2, we get

$$\sum_{k=0}^n \frac{MGP_k}{x^k} = \left( \frac{MGP_1 - \beta MGP_0}{\alpha - \beta} \right) \sum_{k=0}^n \left( \frac{\alpha}{x} \right)^k - \left( \frac{MGP_1 - \alpha MGP_0}{\alpha - \beta} \right) \sum_{k=0}^n \left( \frac{\beta}{x} \right)^k.$$

By considering the definition of a geometric sequence, we have

$$\begin{aligned} \sum_{k=0}^n \frac{MGP_k}{x^k} &= \left( \frac{MGP_1 - \beta MGP_0}{\alpha - \beta} \right) \left( \frac{x^{n+1} - \alpha^{n+1}}{x^{n+1} \left( \frac{x - \alpha}{x} \right)} \right) - \left( \frac{MGP_1 - \alpha MGP_0}{\alpha - \beta} \right) \left( \frac{x^{n+1} - \beta^{n+1}}{x^{n+1} \left( \frac{x - \beta}{x} \right)} \right) \\ &= \frac{1}{x^n(x^2 - 2sx - t)} \left[ \left( \frac{MGP_1 - \beta MGP_0}{\alpha - \beta} \right) (x^{n+1} - \alpha^{n+1})(x - \beta) - \left( \frac{MGP_1 - \alpha MGP_0}{\alpha - \beta} \right) (x^{n+1} - \beta^{n+1})(x - \alpha) \right] \\ &= \frac{1}{x^n(x^2 - 2sx - t)} \left[ \left( \frac{MGP_1 - \beta MGP_0}{\alpha - \beta} \right) (x^{n+2} - x^{n+1}\beta - x\alpha^{n+1} + \alpha^{n+1}\beta) \right. \\ &\quad \left. - \left( \frac{MGP_1 - \alpha MGP_0}{\alpha - \beta} \right) (x^{n+2} - x^{n+1}\alpha - x\beta^{n+1} + \beta^{n+1}\alpha) \right]. \end{aligned}$$

Since  $\alpha + \beta = 2s, \alpha\beta = -t$  and also by using the Binet's formula of Gaussian  $(s, t)$ -Pell matrix sequence, we get

$$\sum_{k=0}^n \frac{MGP_k}{x^k} = \frac{1}{x^n(x^2 - 2sx - t)} [x^{n+2}MGP_0 - x^{n+1}(2sMGP_0 - MGP_1) - xMGP_{n+1} - tMGP_n].$$

After necessary calculations we obtain

$$\sum_{k=0}^n \frac{MGP_k}{x^k} = \frac{1}{x^2 - 2sx - t} (xMGP_1 + (x^2 - 2sx)MGP_0) - \frac{1}{x^n(x^2 - 2sx - t)} (xMGP_{n+1} + tMGP_n).$$

■

**Theorem 3.8.** For  $j > m$ , we get

$$(i) \sum_{i=0}^n MGP_{mi+j} = \frac{MGP_{mn+m+j+(-t)^m MGP_{j-m} - (-t)^m MGP_{mn+j} - MGP_j}}{\alpha^m + \beta^m - (-t)^{m-1}},$$

$$(ii) \sum_{i=0}^n MGQ_{mi+j} = \frac{MGQ_{mn+m+j+(-t)^m MGQ_{j-m} - (-t)^m MGQ_{mn+j} - MGQ_j}}{\alpha^m + \beta^m - (-t)^{m-1}}.$$

**Proof.** Let us consider  $A = \frac{MGP_1 - \beta MGP_0}{\alpha - \beta}$  and  $B = \frac{MGP_1 - \alpha MGP_0}{\alpha - \beta}$ . After, we write

$$\sum_{i=0}^n MGP_{mi+j} = \sum_{i=0}^n \frac{A\alpha^{mi+j} - B\beta^{mi+j}}{\alpha - \beta}$$



$$\begin{aligned}
 &= \frac{1}{\alpha - \beta} (A\alpha^j \sum_{i=0}^n \alpha^{mi} - B\beta^j \sum_{i=0}^n \beta^{mi}) \\
 &= \frac{1}{\alpha - \beta} \left[ A\alpha^j \left( \frac{1 - \alpha^{mn+m}}{1 - \alpha^m} \right) - B\beta^j \left( \frac{1 - \beta^{mn+m}}{1 - \beta^m} \right) \right].
 \end{aligned}$$

After necessary calculations we obtain

$$\sum_{i=0}^n MGP_{mi+j} = \frac{MGP_{mn+m+j} + (-t)^m MGP_{j-m} - (-t)^m MGP_{mn+j} - MGP_j}{\alpha^m + \beta^m - (-t)^m - 1}.$$

So, the proof is completed. ■

By using the matrix representation in the following theorem, we have given some equations for these newly defined numbers.

**Theorem 3.9.** For  $m, n \geq 0$ , we get

- (i)  $MGP_m MGP_n = MGP_n MGP_m$ ,
- (ii)  $MGQ_m MGQ_n = MGQ_n MGQ_m$ ,
- (iii)  $MGP_m MGP_{n+1} = MGP_{m+1} MGP_n$ ,
- (iv)  $MGQ_m MGQ_{n+1} = MGQ_{m+1} MGQ_n$ .

**Proof.**  $MGQ_m MGQ_n = (MQ_m + itMQ_{m-1})(MQ_n + itMQ_{n-1})$

$$= MQ_m MQ_n + itMQ_m MQ_{n-1} + itMQ_{m-1} MQ_n - t^2 MQ_{m-1} MQ_{n-1}$$

Since  $MQ_m MQ_{n+1} = MQ_{m+1} MQ_n$  (see [8, Theorem 13]) and  $MQ_m MQ_n = MQ_n MQ_m$  (see [8, Proposition 9]) where  $MQ_n$  is the  $n$ th Pell-Lucas matrix, we have

$$\begin{aligned}
 MGQ_m MGQ_n &= MQ_n MQ_m + itMQ_n MQ_{m-1} + itMQ_{n-1} MQ_m - t^2 MQ_{n-1} MQ_{m-1} \\
 &= (MQ_n + itMQ_{n-1})(MQ_m + itMQ_{m-1}) \\
 &= MGQ_n MGQ_m.
 \end{aligned}$$

The proof is completed. ■

**Theorem 3.10. (Catalan’s Identity)** For  $n \geq 0$  and  $n \geq r$ , the following results hold.

- (i)  $MGP_{n-r} MGP_{n+r} = MGP_n^2$ ,
- (ii)  $MGQ_{n-r} MGQ_{n+r} = MGQ_n^2$ .

**Proof.** Let  $A = MGP_1 - \beta MGP_0$  and  $B = MGP_1 - \alpha MGP_0$ . Then, using Theorem 3.2, we can write

$$MGP_{n-r} MGP_{n+r} - MGP_n^2 = \left( \frac{A\alpha^{n-r} - B\beta^{n-r}}{\alpha - \beta} \right) \left( \frac{A\alpha^{n+r} - B\beta^{n+r}}{\alpha - \beta} \right) - \left( \frac{A\alpha^n - B\beta^n}{\alpha - \beta} \right)^2.$$

After necessary calculations, we get

$$MGP_{n-r}MGP_{n+r} - MGP_n^2 = \frac{AB\alpha^{n-r}\beta^{n-r}(2\alpha^r\beta^r - \alpha^{2r} - \beta^{2r})}{(\alpha - \beta)^2}.$$

Hence, from  $AB = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}$ , we have  $MGP_{n-r}MGP_{n+r} = MGP_n^2$ , as required.

This completes the proof. ■

**Theorem 3.11.** For  $n \geq 0$ , following equalities are valid:

(i)  $MGQ_n = 2sMGP_n + 2tMGP_{n-1}$ ,

(ii)  $MGQ_n = MGP_{n+1} + tMGP_{n-1}$ .

**Proof.**

(i)  $2sMGP_n + 2tMGP_{n-1} = 2s(MP_n + itMP_{n-1}) + 2t(MP_{n-1} + itMP_{n-2})$   
 $= 2sMP_n + 2tMP_{n-1} + it(2sMP_{n-1} + 2tMP_{n-2}).$

Since  $MQ_n = 2sMP_n + 2tMP_{n-1}$  (see [8, Theorem 10]), we have

$$2sMGP_n + 2tMGP_{n-1} = MQ_n + itMQ_{n-1}$$

$$= MGQ_n.$$

(ii)  $MGP_{n+1} + tMGP_{n-1} = (MP_{n+1} + itMP_{n-1}) + t(MP_{n-1} + itMP_{n-2})$   
 $= (MP_{n+1} + tMP_{n-1}) + it(MP_n + tMP_{n-1}).$

Since  $MQ_n = MP_{n+1} + tMP_{n-1}$  (see [8, Theorem 10]), we get

$$MGP_{n+1} + tMGP_{n-1} = MQ_n + itMQ_{n-1}$$

$$= MGQ_n.$$

■

#### 4. Conclusion

We firstly introduce the Gaussian  $(s, t)$ -Pell and Pell-Lucas sequences. By using these sequences, we define Gaussian  $(s, t)$ -Pell and Pell-Lucas matrix sequences. We also give some results, such as Binet's formulas, generating functions and summation formulas for these sequences. Moreover, we obtain some relationships between these matrix sequences.

#### References

- [1] Benjamin A.T., Plott S.S., Sellers J.A. 2008. Tiling Proofs of Recent Sum Identities Involving Pell Numbers, *Annals of Combinatorics*, 12 : 271-278.
- [2] Berzsenyi G. 1977. Gaussian Fibonacci Numbers, *Fibonacci Quarterly*, 15 (3): 233-236.
- [3] Catarino P., Campos H. 2018. A Note on Gaussian Modified Pell Numbers, *Journal of Information & Optimization Sciences*, 39 (6): 1363-1371.
- [4] Civciv H., Türkmen R. 2008. Notes on the  $(s, t)$ -Lucas and Lucas Matrix Sequences, *Ars Combinatoria*, 89 : 271-285.

- [5] Civciv H., Türkmen R. 2008. On the  $(s, t)$ -Fibonacci and Fibonacci Matrix Sequences, *Ars Combinatoria*, 87: 161–173.
- [6] Daşdemir A. 2011. On the Pell, Pell-Lucas and modified Pell Numbers By Matrix Method, *Applied Mathematical Sciences*, 5 (64): 3173-3181.
- [7] Good J.J. 1981. Complex Fibonacci and Lucas Numbers, Continued Fractions, and the Square Root of the Golden Ratio, *Fibonacci Quarterly*, 31 (1): 7-20.
- [8] Gulec H.H., Taskara N. 2012. On the  $(s,t)$ -Pell and  $(s,t)$ -Pell-Lucas Sequences and Their Matrix Representations, *Applied Mathematics Letters*, 25 (10): 1554-1559.
- [9] Halıcı S., Daşdemir A. 2010. On Some Relationships Among Pell, Pell-Lucas and modified Pell Sequences, *Fen Bilimleri Dergisi*, 1 (1): 141-145.
- [10] Halıcı S., Öz S. 2016. On Some Gaussian Pell and Pell-Lucas Numbers, *Ordu Univ. Science and Technology Journal*, 6 (1): 8-18.
- [11] Halıcı S., Öz S. 2018. On Gaussian Pell Polynomials and Their Some Properties, *Palestine Journal of Mathematics*, 7 (1): 251-256.
- [12] Harman C.J. 1981. Complex Fibonacci Numbers, *Fibonacci Quarterly*, 19 (1): 82-86.
- [13] Horadam A.F. 1963. Complex Fibonacci Numbers and Fibonacci Quaternions, *American Math. Monthly*, 70: 289-291.
- [14] Horadam A.F. 1971. Pell Identities, *Fibonacci Quarterly*, 9 (3): 245-263.
- [15] Jordan J.H. 1965. Gaussian Fibonacci and Lucas Numbers, *Fibonacci Quarterly*, 3: 315-318.
- [16] Koshy T. 2001. *Fibonacci and Lucas Numbers with Applications*, John Wiley and Sons Inc., 672p. NY.
- [17] Pektaş P. 2015.  $(s, t)$ -Gauss Fibonacci ve Lucas Sayılarının Kombinatorial Özellikleri Üzerine. Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek lisans tezi, 53s, Denizli.
- [18] Pethe S., Horadam A.F. 1986. Generalized Gaussian Fibonacci Numbers, *Bull. Austral. Math. Soc.*, 33 (1): 37-48.
- [19] Stakhov A., Rozin B. 2006. Theory of Binet Formulas for Fibonacci and Lucas p-numbers, *Solitons & Fractals*, 27 (5): 1162-1177.
- [20] Taskara N., Uslu K., Guleç H.H. 2010. On the Properties of Lucas Numbers With Binomial Coefficients, *Applied Mathematics Letters*, 23 (1): 68-72.
- [21] Yagmur T., Karaaslan N. 2018. Gaussian Modified Pell Sequence and Gaussian Modified Pell Polynomial Sequence, *Aksaray J. Sci. Eng.*, 2 (1): 63-72.

---

*Araştırma Makalesi / Research Article*

---

## **Some Exact Solutions of Caudrey-Dodd-Gibbon (CDG) Equation and Dodd-Bullough-Mikhailov Equation**

Ünal İÇ\*

*Firat University, Mathematics and Science Education Department, Elazığ, TURKEY*

---

### **Abstract**

Nonlinear partial differential equations have an important place in applied mathematics and physics. Many analytical methods have been found in literature. Using these methods, partial differential equations are transformed into ordinary differential equations. These nonlinear partial differential equations are solved with the help of ordinary differential equations. In this paper, we implemented an improved tanh function Method for some exact solutions of Caudrey-Dodd-Gibbon (CDG) Equation and Dodd-Bullough-Mikhailov Equation.

**Keywords:** Caudrey-Dodd-Gibbon (CDG) Equation, Dodd-Bullough-Mikhailov Equation, improved tanh function method, exact solutions.

---

## **Caudrey-Dodd-Gibbon (CDG) Denklemi ve Dodd-Bullough-Mikhailov Denklemi'nin Bazı Kesin Çözümleri**

---

### **Öz**

Uygulamalı matematik ve fizikte doğrusal olmayan kısmi diferansiyel denklemler önemli bir yere sahiptir. Literatürde birçok analitik yöntem bulunmuştur. Bu yöntemleri kullanarak, kısmi diferansiyel denklemler, adi diferansiyel denklemlere dönüştürülür. Bu doğrusal olmayan kısmi diferansiyel denklemler, adi diferansiyel denklemlerin yardımıyla çözülmüştür. Bu çalışmada, Caudrey-Dodd-Gibbon (CDG) Denklemi ve Dodd-Bullough-Mikhailov Denklemi'nin kesin çözümleri için geliştirilmiş tanh fonksiyon metodu sunulmuştur.

**Anahtar kelimeler:** Caudrey-Dodd-Gibbon (CDG) Denklemi, Dodd-Bullough-Mikhailov Denklemi, geliştirilmiş tanh fonksiyon metodu, tam çözümler.

---

### **1. Introduction**

Nonlinear partial differential equations (NPDEs) have an important place in applied mathematics and physics [1,2]. Many analytical methods have been found in literature [3-11]. Besides these methods, there are many methods which reach to solution by using an auxiliary equation. Using these methods, partial differential equations are transformed into ordinary differential equations. These nonlinear partial differential equations are solved with the help of ordinary differential equations. These methods are given in [12-25].

In this study, we implemented improved tanh function Method for finding the exact solutions of Caudrey-Dodd-Gibbon (CDG) Equation and Dodd-Bullough-Mikhailov Equation.

### **2. Analysis of Method**

Let's introduce the method briefly. Consider a general partial differential equation of four variables,

$$\varphi(v, v_t, v_x \dots) = 0. \quad (1)$$

---

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

Geliş Tarihi: 09.11.2018, Kabul Tarihi:06.02.2019

Using the wave variable  $(x, t) = v(\phi)$ ,  $\phi = k(x - wt)$ , here  $k$  and  $w$  are constants. The equation (3) turns into an ordinary differential equation,

$$\phi'(v', v'', v''', \dots) = 0 \tag{2}$$

With this conversion, we obtain a nonlinear ordinary differential equation for  $v(\phi)$ . We can express the solution of equation (2) as below,

$$v(\phi) = \sum_{i=0}^M a_i F^i(\phi), \tag{3}$$

here  $n$  is a positive integer and is found as the result of balancing the highest order linear term and the highest order nonlinear term found in the equation.

If we write these solutions in equation (2), we obtain a system of algebraic equations for  $F(\phi), F^2(\phi), \dots, F^i(\phi)$ , after, if the coefficients of  $F(\phi), F^2(\phi), \dots, F^i(\phi)$  are equal to zero, we can find the constants  $k, w, a_0, a_1, \dots, a_n$ .

The basic step of the method is to make full use of the Riccati equation satisfying the tanh function and  $F(\phi)$  solutions. The Riccati equation required in this method is given below

$$F'(\phi) = A + BF(\phi) + CF^2(\phi) \tag{4}$$

here,  $F'(\phi) = \frac{dF(\phi)}{d\phi}$  and  $A, B$  and  $C$  are constants. The authors expressed the solutions of this equation [15].

**Example 1.**

We consider the Caudrey-Dodd-Gibbon (CDG) Equation,

$$v_t + v_{xxxxx} + 30vv_{xxx} + 30v_x v_{xx} + 180v^2 v_x = 0. \tag{5}$$

Using the wave variable  $v(x, t) = v(z)$ ,  $z = k(x - wt)$  Eq. (5) becomes

$$-wv' + k^4 v^{(5)} + 30k^2 v v''' + 30k^2 v' v'' + 180v^2 v' = 0, \tag{6}$$

when balancing  $v' v'' v v'''$  with  $v^{(5)}$  then  $M = 2$  gives. The solution is as follows,

$$v = a_0 + a_1 F + a_2 F^2. \tag{7}$$

If the solution (7) is substituted in equation (6), a system of algebraic equations for  $k, w, a_0, a_1, a_2$  are obtained. The obtained systems of algebraic equations are as follows

$$\begin{aligned} AB^4 k^4 a_1 + 22A^2 B^2 C k^4 a_1 + 16A^3 C^2 k^4 a_1 - A w a_1 + 30AB^2 k^2 a_0 a_1 + 60A^2 C k^2 a_0 a_1 + \\ 180A a_0^2 a_1 + 30A^2 B k^2 a_1^2 + 30A^2 B^3 k^4 a_2 + 120A^3 B C k^4 a_2 + 180A^2 B k^2 a_0 a_2 + 60A^3 k^2 a_1 a_2 = 0, \\ B^5 k^4 a_1 + 52AB^3 C k^4 a_1 + 136A^2 B C^2 k^4 a_1 - B w a_1 + 30B^3 k^2 a_0 a_1 + 240ABC k^2 a_0 a_1 + \\ 180B a_0^2 a_1 + 90AB^2 k^2 a_1^2 + 120A^2 C k^2 a_1^2 + 360A a_0 a_1^2 + 62AB^4 k^4 a_2 + 584A^2 B^2 C k^4 a_2 + \\ 272A^3 C^2 k^4 a_2 - 2A w a_2 + 420AB^2 k^2 a_0 a_2 + 480A^2 C k^2 a_0 a_2 + 360A a_0^2 a_2 + 480A^2 B k^2 a_1 a_2 + \\ 120A^3 k^2 a_2^2 = 0. \end{aligned} \tag{8}$$

If this system is solved, the coefficients are found as

$$B = 0, a_1 = 0, a_0 = a_0, A \neq 0, C \neq 0, a_2 = \frac{3ca_0}{2A}, k = \frac{i\sqrt{a_2}}{\sqrt{2C}}, k \neq 0, w = 9a_0^2, \tag{9}$$

with the help of the Mathematica program. After these operations, The solutions of equation (5) for (9) are as follows:

**Solution 1.**

$$\begin{aligned} v_1 &= a_0 - \frac{3}{2}a_0(\operatorname{Coth}[-i\sqrt{-3a_0}x + 9ia_0^2\sqrt{-3a_0}t] \pm \operatorname{Cosech}[-i\sqrt{-3a_0}x + 9ia_0^2\sqrt{-3a_0}t])^2 \\ v_2 &= a_0 - \frac{3}{2}a_0(\operatorname{Tanh}[-i\sqrt{-3a_0}x + 9ia_0^2\sqrt{-3a_0}t] \pm i\operatorname{Sech}[-i\sqrt{-3a_0}x + 9ia_0^2\sqrt{-3a_0}t])^2. \end{aligned} \quad (10)$$

**Solution 2.**

$$\begin{aligned} v_3 &= a_0 + \frac{3}{2}a_0(\operatorname{Sec}[i\sqrt{3a_0}x - 9ia_0^2\sqrt{3a_0}t] \pm \operatorname{Tan}[i\sqrt{3a_0}x - 9ia_0^2\sqrt{3a_0}t])^2 \\ v_4 &= a_0 + \frac{3}{2}a_0(\operatorname{Cosec}[i\sqrt{3a_0}x - 9ia_0^2\sqrt{3a_0}t] \pm \operatorname{Cot}[i\sqrt{3a_0}x - 9ia_0^2\sqrt{3a_0}t])^2 \\ v_5 &= a_0 + \frac{3}{2}a_0(\operatorname{Cosec}[-i\sqrt{3a_0}x + 9ia_0^2\sqrt{3a_0}t] \pm \operatorname{Cot}[-i\sqrt{3a_0}x + 9ia_0^2\sqrt{3a_0}t])^2 \\ v_6 &= a_0 + \frac{3}{2}a_0(\operatorname{Sec}[-i\sqrt{3a_0}x + 9ia_0^2\sqrt{3a_0}t] \pm \operatorname{Cot}[-i\sqrt{3a_0}x + 9ia_0^2\sqrt{3a_0}t])^2. \end{aligned} \quad (11)$$

**Solution 3.**

$$\begin{aligned} v_7 &= a_0 - \frac{3}{2}a_0\left(\operatorname{Tanh}\left[\frac{-i\sqrt{-3a_0}}{2}x + \frac{9ia_0^2\sqrt{-3a_0}}{2}t\right]\right)^2 \\ v_8 &= a_0 - \frac{3}{2}a_0\left(\operatorname{Coth}\left[\frac{-i\sqrt{-3a_0}}{2}x + \frac{9ia_0^2\sqrt{-3a_0}}{2}t\right]\right)^2. \end{aligned} \quad (12)$$

**Solution 4.**

$$v_9 = a_0 + \frac{3}{2}a_0\left(\operatorname{Tan}\left[\frac{i\sqrt{3a_0}}{2}x - \frac{9ia_0^2\sqrt{3a_0}}{2}t\right]\right)^2. \quad (13)$$

**Solution 5.**

$$v_{10} = a_0 + \frac{3}{2}a_0\left(\operatorname{Cot}\left[\frac{-i\sqrt{3a_0}}{2}x + \frac{9ia_0^2\sqrt{3a_0}}{2}t\right]\right)^2. \quad (14)$$

**Example 2.**

Consider Dodd-Bullough-Mikhailov Equation,

$$u_{tt} - u_{xx} + e^u + e^{-2u} = 0. \quad (15)$$

If we make transformation  $u = \ln v$ . Using the wave variable  $v(x, t) = v(z)$ ,  $z = k(x - wt)$  then Eq. (15) becomes

$$(k^2w^2 - k^2)vv'' + (-k^2w^2 + k^2)(v')^2 + v^3 + 1 = 0, \quad (16)$$

when balancing  $vv''$  with  $v^3$  then  $M = 2$  gives. The solution is given by

$$u = a_0 + a_1F + a_2F^2. \quad (17)$$

Substituting (17), into Eq. (16), yields a set of algebraic equations for  $k, w, a_0, a_1, a_2$  these systems are finding as

$$\begin{aligned}
 1 + a_0^3 - ABk^2 a_0 a_1 + ABk^2 w^2 a_0 a_1 + A^2 k^2 a_1^2 - A^2 k^2 w^2 a_1^2 - 2A^2 k^2 a_0 a_2 + 2A^2 k^2 w^2 a_0 a_2 = 0, \\
 -B^2 k^2 a_0 a_1 - 2ACk^2 a_0 a_1 + B^2 k^2 w^2 a_0 a_1 + 2ACk^2 w^2 a_0 a_1 + 3a_0^2 a_1 + ABk^2 a_1^2 - ABk^2 w^2 a_1^2 - \\
 6ABk^2 a_0 a_2 + 6ABk^2 w^2 a_0 a_2 + 2A^2 k^2 a_1 a_2 - 2A^2 k^2 w^2 a_1 a_2 = 0,
 \end{aligned}
 \tag{18}$$

if this system is solved, the coefficients are found as

$$B = 0, a_1 = 0, a_0 = \frac{1}{2}, A \neq 0, C \neq 0, a_2 = \frac{3Ca_0}{A}, k = k, w = \frac{\sqrt{2ACK^2 - 3a_0}}{\sqrt{2}\sqrt{A}\sqrt{C}k},
 \tag{19}$$

with the help of the Mathematica program. After these operations, The solutions of equation (15) for (19) are as follows:

**Solution 1.**

$$\begin{aligned}
 u_1 &= \text{Ln} \left\{ \frac{1}{2} - \frac{3}{2} \left( \text{Coth} [kx + (i\sqrt{-k^2 - 3})t] \pm \text{Cosech} [kx + (i\sqrt{-k^2 - 3})t] \right)^2 \right\} \\
 u_2 &= \text{Ln} \left\{ \frac{1}{2} - \frac{3}{2} \left( \text{Tanh} [kx + (i\sqrt{-k^2 - 3})t] \pm i\text{Sech} [kx + (i\sqrt{-k^2 - 3})t] \right)^2 \right\}.
 \end{aligned}
 \tag{20}$$

**Solution 2.**

$$\begin{aligned}
 u_3 &= \text{Ln} \left\{ \frac{1}{2} + \frac{3}{2} \left( \text{Sec} [kx - (\sqrt{k^2 - 3})t] \pm \text{Tan} [kx - (\sqrt{k^2 - 3})t] \right)^2 \right\} \\
 u_4 &= \text{Ln} \left\{ \frac{1}{2} + \frac{3}{2} \left( \text{Cosec} [kx - (\sqrt{k^2 - 3})t] \pm \text{Cot} [kx - (\sqrt{k^2 - 3})t] \right)^2 \right\} \\
 u_5 &= \text{Ln} \left\{ \frac{1}{2} + \frac{3}{2} \left( \text{Cosec} [kx + (\sqrt{k^2 - 3})t] \pm \text{Cot} [kx + (\sqrt{k^2 - 3})t] \right)^2 \right\} \\
 u_6 &= \text{Ln} \left\{ \frac{1}{2} + \frac{3}{2} \left( \text{Sec} [kx + (\sqrt{k^2 - 3})t] \pm \text{Tan} [kx + (\sqrt{k^2 - 3})t] \right)^2 \right\}.
 \end{aligned}
 \tag{21}$$

**Solution 3.**

$$\begin{aligned}
 u_7 &= \text{Ln} \left\{ \frac{1}{2} - \frac{3}{2} \left( \text{Tanh} \left[ kx + \left( \frac{i\sqrt{-4k^2 - 3}}{2} \right) t \right] \right)^2 \right\} \\
 u_8 &= \text{Ln} \left\{ \frac{1}{2} - \frac{3}{2} \left( \text{Coth} \left[ kx + \left( \frac{i\sqrt{-4k^2 - 3}}{2} \right) t \right] \right)^2 \right\}.
 \end{aligned}
 \tag{22}$$

**Solution 4.**

$$u_9 = \text{Ln} \left\{ \frac{1}{2} + \frac{3}{2} \left( \text{Tan} \left[ kx - \left( \frac{\sqrt{4k^2 - 3}}{2} \right) t \right] \right)^2 \right\}.
 \tag{23}$$

**Solution5.**

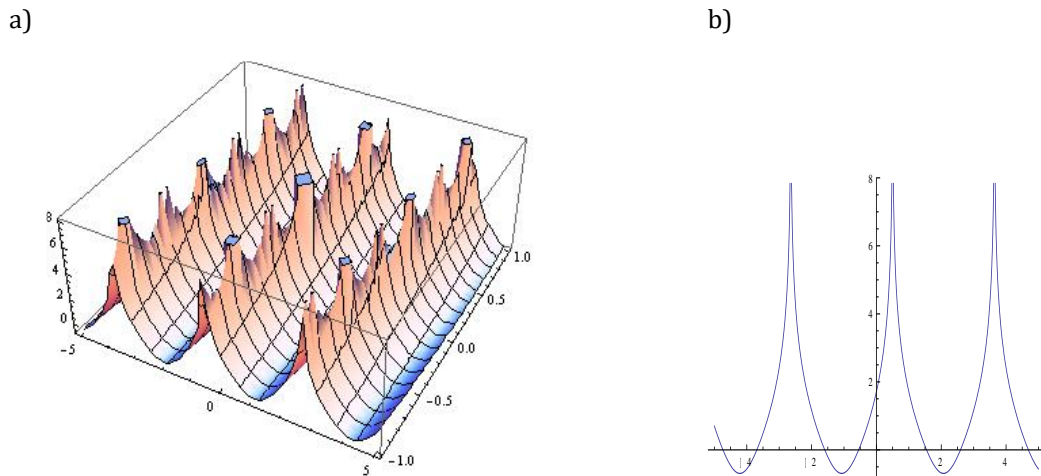
$$u_{10} = \text{Ln} \left\{ \frac{1}{2} + \frac{3}{2} \left( \text{Cot} \left[ kx + \left( \frac{\sqrt{4k^2 - 3}}{2} \right) t \right] \right)^2 \right\}.
 \tag{24}$$

**3. Conclusion**

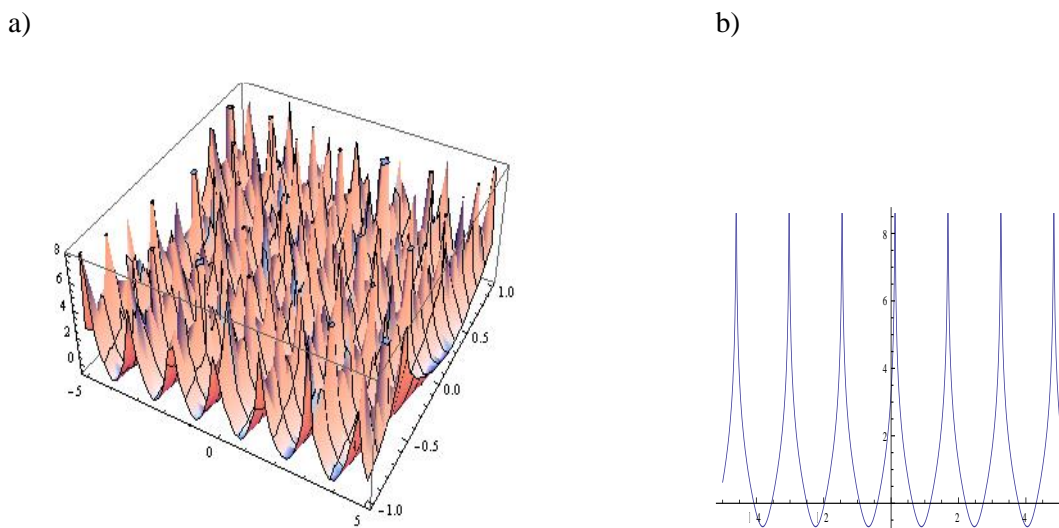
We used the improved tanh function method to find the exact solutions of Caudrey-Dodd-Gibbon (CDG) Equation and Dodd-Bullough-Mikhailov Equation. This method has been successfully applied to solve some nonlinear wave equations and can be used to many other nonlinear equations or coupled ones.

#### 4. Explanations and Graphical Presentments of the Found Solutions

The graphs of some of the solutions of Equation (15) are as follows



**Figure 1.** a) The 3D surfaces of Eq.(21-b)for the value  $k=2$  within the interval  $-5 \leq x \leq 5, -1 \leq t \leq 1$   
 b) The 2D surfaces of Eq.(21-b)for the values  $k=2, t=1$  within the interval  $-5 \leq x \leq 5$



**Figure 2.** a) The 3D surfaces of Eq.(23)for the value  $k=2$  within the interval  $-5 \leq x \leq 5, -1 \leq t \leq 1$   
 b) The 2D surfaces of Eq.(23)for the values  $k=2, t=1$  within the interval  $-5 \leq x \leq 5$

#### References

- [1] Debnath L. 1997. *Nonlinear Partial Differential Equations for Scientist and Engineers*, Birkhauser, Boston, MA.
- [2] Wazwaz A. M. 2002. *Partial Differential Equations: Methods and Applications*, Balkema, Rotterdam.
- [3] Shang Y. 2007. Backlund transformation, Lax pairs and explicit exact solutions for the shallow water waves equation, *Appl. Math. Comput.*, 187: 1286-1297.
- [4] Bock T.L., Kruskal M.D. 1979. A two-parameter Miura transformation of the Benjamin-Ono equation, *Phys. Lett. A* 74: 173-176.
- [5] Matveev V.B., Salle M.A. 1991. *Darboux Transformations and Solitons*, Springer, Berlin.



- [6] Abourabia A. M., El Horbaty M. M. 2006. On solitary wave solutions for the two-dimensional nonlinear modified Kortweg-de Vries-Burger equation, *Chaos Solitons Fractals*, 29: 354-364.
- [7] Malfliet W. 1992. Solitary wave solutions of nonlinear wave equations, *Am. J. Phys.* 60: 650-654. Chuntao Y. 1996. A simple transformation for nonlinear waves, *Phys. Lett. A* 224: 77-84.
- [8] Cariello F., Tabor M. 1989. Painleve expansions for nonintegrable evolution equations, *Physica D* 39: 77-94.
- [9] Fan E. 2000. Two new application of the homogeneous balance method, *Phys. Lett. A* 265: 353-357.
- [10] Clarkson P. A. 1989. New similarity solutions for the modified boussinesq equation, *J. Phys. A: Math. Gen.* 22: 2355-2367.
- [11] Malfliet W. 1996. The Tanh method Wavv Equation, *Physica Scripta*, 60: 563-568.
- [12] Fan E. 2000. Extended tanh-function method and its applications to nonlinear equations, *Phys. Lett. A* 277: 212-218.
- [13] Elwakil S. A., El-labany S. K., Zahran M. A., Sabry R. 2002. Modified extended tanh-function method for solving nonlinear partial differential equations, *Phys. Lett. A* 299: 179-188.
- [14] Chen H., Zhang H. 2004. New multiple soliton solutions to the general Burgers-Fisher equation and the Kuramoto-Sivashinsky equation, *Chaos Soliton Fract* 19: 71-76.
- [15] Fu Z., Liu, S., Zhao Q. 2001. New Jacobi elliptic function expansion and new periodic solutions of nonlinear wave equations, *Phys. Lett. A* 290: 72-76.
- [16] Shen S., Pan Z. 2003. A note on the Jacobi elliptic function expansion method, *Phys. Lett. A* 308: 143-148.
- [17] Chen H. T., Hong-Qing, Z. 2004. New double periodic and multiple soliton solutions of the generalized (2+1)-dimensional Boussinesq equation, *Chaos Soliton Fract*, 20: 765-769.
- [18] Chen Y., Wang Q., Li B. 2004. Jacobi elliptic function rational expansion method with symbolic computation to construct new doubly periodic solutions of nonlinear evolution equations, *Z. Naturforsch., A* 59: 529-536.
- [19] Chen Y., Yan Z. 2006. The Weierstrass elliptic function expansion method and its applications in nonlinear wave equations, *Chaos Soliton Fract* 29: 948-964.
- [20] Wang M., Li X., Zhang J. 2008. The  $\left(\frac{G'}{G}\right)$ -expansion method and travelling wave solutions of nonlinear evolutions equations in mathematical physics, *Phys. Lett. A*, 372: 417-423.
- [21] Guo S., Zhou Y. 2010. The extended  $\left(\frac{G'}{G}\right)$ -expansion method and its applications to the Whitham-Broer-Kaup-like equations and coupled Hirota-Satsuma KdV equations, *Appl. Math. Comput.*, 215: 3214-3221.
- [22] Lü H. L., Liu X. Q., Niu, L. 2010. A generalized  $\left(\frac{G'}{G}\right)$ -expansion method and its applications to nonlinear evolution equations, *Appl. Math. Comput.*, 215: 3811-3816.
- [23] Li L., Li E., Wang M. 2010. The  $\left(\frac{G'}{G}, \frac{1}{G}\right)$ -expansion method and its application to travelling wave solutions of the Zakharov equations, *Appl. Math-A J. Chin.*, U 25: 454-462.
- [24] Manafian J. 2016. Optical soliton solutions for Schrödinger type nonlinear evolution equations by the  $\tan\left(\frac{\theta(\varphi)}{2}\right)$  – expansion Method, *Optik* 127: 4222-4245.
- [25] Don E. 2001. *Schaum's Outline of Theory and Problems of Mathematica*, McGraw-Hill.
- [26] Koyunbakan H., Bulut N. 2005. Existence of the transformation operator by the decomposition method. *Appl. Anal.* 84: 713-719.

---

*Araştırma Makalesi / Research Article*

---

## ***Centaurea fenzlii* Reichardt Özüünün Antioksidan Özellikleri ve Enzim İnhibisyon Etkisinin Belirlenmesi**

Ümit YIRTICI\*

*Kırıkkale Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri MYO, Tıbbi Hizmetler ve Teknikler Bölümü, 71450, Kırıkkale*

---

### **Öz**

Bu çalışmada *Centaurea fenzlii* Reichardt bitkisinin antioksidan özellikleri ve çeşitli enzimler üzerine inhibe edici etkisi araştırıldı. Bu amaçla çiçeklenme döneminde toplanan *Centaurea fenzlii* Reichardt'ın toprak üstü kısımları farklı polariteye sahip çözücülerde maserasyon yöntemi kullanılarak çözüldü ve ekstraları elde edildi. Çalışmalara metanol ekstresi ile devam edildi. Metanol ekstresinin toplam fenolik ve flavonoid içerikleri sırasıyla, 16,72 mg GAE/g ka ve 173,16 mg KAE/g ka olarak belirlendi. Antioksidan kapasiteleri demir indirgeyici gücü (FRAP) için 0,256 mmol TE/g ka, bakır indirgeyici gücü (CUPRAC) için 0,878 mmol TE/g ka, ABTS için 0,354 mmol TE/g ka ve DPPH için 0,661 mmol TE/g ka olarak saptandı. Ayrıca, ekstralarının kolinesteraz,  $\alpha$ -amilaz,  $\alpha$ -glukozidaz ve tirozinaz enzimlerine karşı inhibe edici etkileri de belirlendi. Enzim inhibisyon etkisi sırasıyla,  $\alpha$ -Glukozidaz için 0,331 mmol AKE/g ka,  $\alpha$ -Amilaz için 0,354 mmol AKE/g ka, AChE için 0,367 mmol GAE/g ka, BChE için 0,878 mmol GAE/g ka ve Tirozinaz için mmol 0,256 KE/g ka olarak bulundu.

**Anahtar kelimeler:** *Centaurea fenzlii* Reichardt, Antioksidan, Enzim İnhibisyonu.

---

## **The Determination of Antioxidant Properties and Enzyme Inhibition Effect of *Centaurea fenzlii* Reichardt Extract**

### **Abstract**

In this study, antioxidant properties of *Centaurea fenzlii* Reichardt plant and its inhibitory effect on various enzymes were investigated. For this purpose, aerial parts of *Centaurea fenzlii* Reichardt which collected during flowering time were solved in solvents having different polarity by maceration method and extracts were obtained. The study was continued with methanol extract. Total phenolic and flavonoid contents of the methanol extract were determined as 16.72 mg GAE/g ka and 173.16 mg KAE/g ka respectively. Antioxidant capacity was determined as iron reducing power (FRAP) to 0.256 mmol TE/g ka, copper reducing power (CUPRAC) to 0.878 mmol TE/g ka, ABTS to 0.354 mmol TE/g ka and DPPH to 0.661 mmol TE/g. Additionally, enzyme inhibiting effect of extracts were also determined against to cholinesterase,  $\alpha$ -amylase, tyrosinase and  $\alpha$ -glucosidase inhibition. Enzyme inhibitory effects were found for  $\alpha$ -glucosidase 0.331 mmol AKE/g ka,  $\alpha$ -amylase 0.354 mmol AKE/g ka, AChE to 0.367 mmol GAE/g ka, BChE to 0.878 mmol GAE/g ka and tyrosinase for mmol 0.256 KE/g ka respectively.

**Keywords:** *Centaurea fenzlii* Reichardt, Antioxidant, Enzyme Inhibition.

---

### **1. Giriş**

Türkiye'deki en büyük üçüncü cins olan *Centaurea*'nın 217 türü vardır ve endemizm oranı yaklaşık %68'dir [1]. *Centaurea* türleri bazı ülkelerde ve Türkiye'de geleneksel olarak apseler, mide ve baş ağrısı, astım, hemoroid, inflamatuvar, ürogenital, endokrin hastalıkları, gastrointestinal semptomlar, kardiyovasküler hastalıklar, parazitik, mikrobiyal enfeksiyonlar gibi çeşitli rahatsızlıkları tedavi etmek için kullanılmaktadır [2-9]. *Centaurea* ile ilgili yapılan bazı çalışmalarda antimikrobiyal, antifungal,

---

\* Sorumlu yazar: [umityirtici@kku.edu.tr](mailto:umityirtici@kku.edu.tr)

Geliş Tarihi: 16.11.2018, Kabul Tarihi: 23.01.2019

antiplasmodiyal [8, 10], antiülserojenik [11], antiviral [12], sitotoksik ve apoptotik [13] etkileri belirlenmiştir.

Son yıllarda Alzheimer, Tip II diyabet, Melazma gibi hastalıkları tedavi edici yeni ajanlar bulunmasına yönelik çalışmalar artmıştır. Alzheimer hastalığının 2040 yılında yaklaşık 81,1 milyon insanın etkileyeceği beklenmektedir [14]. Bu hastalığının tedavisinde beyindeki asetilkolin seviyesinin azaltılması, dolayısıyla asetilkolin parçalanmasından sorumlu enzimler olan asetil ve bütiril kolinesterazların inhibisyonu hedeflenmektedir [15].

Tip II diyabetin Alzheimer hastalığına yakalanma riskini artırır. Bu nedenle, hiperglisemiyi kontrol etmede önemli olan  $\alpha$ -amilaz ve  $\alpha$ -glukosidazın inhibisyonu ile ilgili çalışmalar önemlidir [16]. Ayrıca Tip II diyabet ciltte hiperpigmentasyona neden olabilir ve tirozinazın inhibisyonu hiperpigmentasyonun önlenmesini sağlayabilir [17].

Bu çalışmada endemik *C. fenzlii* bitkisinin antioksidan kapasitesi, enzim inhibisyonu üzerine etkisi araştırılmıştır. Literatürde, *C. fenzlii* bitkisinin Tip II diyabet, Alzheimer hastalığı ve hiperpigmentasyon ile ilgili enzimlere karşı inhibe edici etkisini araştıran bir çalışmaya rastlanmamıştır.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Bitkilerin toplanması ve ekstre edilmesi

*C. fenzlii* Reichardt, Muş-Elazığ yolu 7. km, 1270 m yükseklikten toplanmış ve Kırıkkale Üniversitesi Herbaryumunda bir örneği (ADO 3) alınmıştır. Bitki toplandıktan hemen sonra oda sıcaklığında, kuru ve karanlık bir odada hava ile kurutulmuş ve öğütülmüştür.

Öğütülmüş bitki örnekleri sırasıyla hekzan, metanol ile 3×24 saat olacak şekilde oda sıcaklığında tutularak ekstre edilmiştir. Çözücüler ekstrelerden rotary-evaporatör kullanılarak uçurulmuştur. Metanol ekstrelerinden elde edilen bileşiklerin daha yüksek biyoaktiviteye sahip olmaları nedeniyle çalışmalara metanol ekstresi ile devam edilmiştir [18].

### 2.2. Toplam Fenolik ve Flavonoid içeriğinin belirlenmesi

Toplam fenolik içerik 96 kuyucuklu mikrolakada Folin Ciocalteau metodu modifiye edilerek spektrofotometrik olarak ölçülmüştür [19]. Kuyucuklara 187,5  $\mu$ L distile su, 25  $\mu$ L metanol ekstresi, 12,5  $\mu$ L Folin Ciocalteau reaktifi (1:9 oranında seyreltilmiş) eklenip karıştırılmıştır. 6 dakika sonra %20'lik 25  $\mu$ L Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> uygulanan örnekler 60 dakika karanlıkta oda sıcaklığında bekletilip 760 nm'de okunmuştur. Standart olarak Gallik asit kullanılmıştır. Ekstrenin fenolik içeriği g kuru ağırlık (ka) başına düşen mg Gallik asit (mg GAE/g ka) şeklinde ifade edilmiştir.

Toplam flavonoid içerik bazı değişiklikler yapılarak spektrofotometrik olarak 96 kuyucuklu mikrolakada AlCl<sub>3</sub> yöntemine göre ölçülmüştür [20]. Kuyucuklara 100  $\mu$ L ultra saf su, ardından 10  $\mu$ L NaNO<sub>2</sub> ve metanol ekstresinin 25  $\mu$ L'si eklenerek oda sıcaklığında 5 dakika beklemeye bırakılmıştır. Daha sonra 15  $\mu$ L %10 AlCl<sub>3</sub> eklenmiş ve 6 dakika oda sıcaklığında karanlıkta bekletildikten sonra 1 M 100  $\mu$ L NaOH ve 50  $\mu$ L ultra saf su eklenmiştir. Absorbans, mikrolaka okuyucusunda 510 nm'de köre karşı ölçülmüştür. Standart olarak Kateşin kullanılmıştır. Değerler mg Kateşin eşdeğeri (KAE) g kuru ağırlık olarak ifade edilmiştir (mg KAE/g ka).

### 2.3. Antioksidan Kapasitesinin Belirlenmesi

*C. fenzlii* metanol ekstresinin antioksidan kapasitesinin belirlenmesi amacıyla, radikal süpürücü etkisi (DPPH ve ABTS) ve indirgeyici güç etkisi (CUPRAC ve FRAP) ölçülmüştür. Radikal süpürücü etkinin belirlenmesi amacıyla, 96 kuyucuklu plakalara 10  $\mu$ L metanol ekstresi ve 190  $\mu$ L DPPH (%0,004) solüsyonu eklendikten sonra örnekler 30 dakika, karanlıkta ve oda sıcaklığında bekletilmiştir. 517 nm'de mikrolaka okuyucuda okunmuştur. Standart olarak Troloks kullanılmıştır. Değerler mmol Troloks eşdeğeri (TE) g kuru ağırlık olarak ifade edilmiştir (mmol TE/g ka) [21].

ABTS testi birkaç değişiklik yapılarak mikrolaka yöntemi ile ölçülmüştür [22]. ABTS<sup>•+</sup> çözeltisi, oda sıcaklığında 16 saat boyunca 2,45 mmol/L potasyum persülfat ile 7 mmol/L 2,2'-azinobis (3-etilbenzotiazolin-6-sülfonik asit) diamonyum tuzunun reaksiyona sokulmasıyla hazırlanmıştır. Elde edilen çözelti daha sonra etanol ile 1:50 oranında ve 734 nm'de 0.70±0.02 absorbans olacak şekilde

seyreltilmiştir. Kuyucuklara 10 µL bitki ekstresi ve 190 µL ABTS radikal solüsyonu eklendikten sonra 6 dakika oda sıcaklığında bekletilmiştir. Absorbans, mikropilaka okuyucusunda 734 nm’de köre karşı ölçülmüştür. Standart olarak Troloks kullanılmıştır. Değerler mmol Troloks eşdeğeri (TE) g kuru ağırlık olarak ifade edilmiştir (mmol TE/g ka) [20].

Metanol ekstrenin bakır indirgeyici gücü birkaç küçük değişiklik yapılarak spektrofotometrik olarak 96 kuyucuklu plakada ölçülmüştür [23]. Öncelikle CUPRAC reaktifi; 10 mM CuCl<sub>2</sub>, 7.5 mM neokuproin, 1 M NH<sub>4</sub>Ac (pH 7) tamponu 1:1:1 olacak şekilde taze olarak hazırlanmıştır. Kuyucuklara 175 µL CUPRAC reaktifi ve 25 µL bitki metanol ekstresi eklendikten sonra örnekler oda sıcaklığında 30 dakika bekletilmiş ve 450 nm’ de okunmuştur. Standart olarak Troloks kullanılmıştır. Ekstrenin CUPRAC aktivitesi mmol Troloks eşdeğeri (TE) g kuru ağırlık olarak ifade edilmiştir (mmol TE/g ka). Metanol ekstresinin demir indirgeyici gücünü ölçmek için öncelikle FRAP reaktifi; 300 mM asetat tamponu (pH 3.6), 20 mM FeCl<sub>3</sub>·6H<sub>2</sub>O ve 10 mM TPTZ, 10:1:1 oranında olacak şekilde taze olarak hazırlanmıştır. Kuyucuklara 12,5 µL metanol ekstresi ve 312,5 µL FRAP reaktifi eklendikten sonra örnekler oda sıcaklığında 10 dakika bekletilmiş ve 593 nm’ de okunmuştur. Standart olarak Troloks kullanılmıştır. Değerler mmol Troloks eşdeğeri (TE) g kuru ağırlık olarak ifade edilmiştir (mmol TE/g ka) [24].

#### 2.4. Enzim İnhibisyon Tayini

Kolinesteraz inhibisyonun tayini için, 96 kuyucuklu plakaya 50 µL metanol ekstresi, 125 µL 5,5-ditio-bis(2-nitrobenzoik) asit (DTNB) ve Tris-HCl (pH 8.0) tamponunda hazırlanmış 25 µL asetilkolinesteraz (AChE) veya butilkolinesteraz (BChE) solüsyonu eklenip örnekler 25 °C’de 15 dakika inkübe edilmiştir. Kuyucuklara 25 µL asetilkolin iodyd (ATCI) veya butilkolin klorid (BTCl) solüsyonunun eklenmesiyle reaksiyon başlatılmıştır. Kör olarak enzimsiz örnekler kullanılmıştır. Örnekler ve kör 10 dakika ve 25 °C tutulduktan sonra 405 nm’de okunmuştur. Ekstrenin kolinesteraz inhibisyon aktivitesi, g kuru ağırlık başına mmol Galantamin olarak ifade edilmiştir (mmol GAE/g ka) [25].

α-Amilaz inhibisyonunun tayini için, 96 kuyucuklu plakaya 25 µL metanol ekstresi, sodyum fosfat tamponunda (pH 6.9) hazırlanmış 50 µL α-amilaz solüsyonu eklenip örnekler 37 °C’de 10 dakika inkübe edilmiştir. Kuyucuklara 50 µL nişasta solüsyonunun eklenmesiyle reaksiyon başlatılmıştır. Kör olarak enzimsiz örnekler kullanılmıştır. Örnekler ve kör 10 dakika ve 37 °C’de inkübe edilmiştir. Reaksiyon 25 µL 1M HCl eklenerek durdurulmuş ve 100 µL potasyum iodyd solüsyonu eklenmiştir. Örnekler ve kör 630 nm’de okunmuştur. Ekstrenin α-amilaz inhibisyon etkisi, g kuru ağırlık başına mmol Akarboz olarak ifade edilmiştir (mmol AKE/g ka) [25].

α-Glukozidaz inhibisyonunun tayini için, 96 kuyucuklu plakaya 50 µL metanol ekstresi, 50 µL glutation, fosfat tamponunda (pH 6.8) hazırlanmış 50 µL α-glukozidaz solüsyonu ve 50 µL 4-N-trofenil-α-D-glucopiranosid (PNPG) eklenip örnekler 37 °C’de 15 dakika inkübe edilmiştir. Kör olarak enzimsiz örnekler kullanılmıştır. Reaksiyon 50 µL 0.2 M sodyum karbonat eklenerek durdurulmuştur, örnekler ve kör 400 nm’de okunmuştur. Ekstrelerin α-glukozidaz inhibisyon etkisi, g kuru ağırlık başına mmol Akarboz olarak ifade edilmiştir (mmol AKE/g ka) [25].

Tirozinaz inhibisyonunun tayini için, 96 kuyucuklu plakaya 25 µL metanol ekstresi, 100 µL fosfat tamponu (pH 6.8) ve 40 µL tirozinaz solüsyonu eklenip örnekler 25 °C’de 15 dakika inkübe edilmiştir. Kuyucuklara 40 µL L-DOPA solüsyonunun eklenmesiyle reaksiyon başlatılmıştır. Kör olarak enzimsiz örnekler kullanılmıştır. Örnekler ve kör 10 dakika ve 25 °C tutulduktan sonra 492 nm’de okunmuştur. Ekstrelerin tirozinaz inhibisyon aktivitesi, g kuru ağırlık başına mmol kojik asit olarak ifade edilmiştir (mmol KE/g ka) [25].

#### 2.5. İstatistiksel Analiz

Çalışmada tüm deneyler üç tekrar olacak şekilde yapılmıştır. Çalışmaya ait tanımlayıcı istatistik verileri (Ortalama±Standart Sapma (*Ort.±S*)) tablolar halinde gösterilmiştir.

### 3. Bulgular ve Tartışma

*C. fenzlii* metanol ekstresinin toplam fenolik ve flavonoid içeriği tayin edilmiştir (Tablo 1).

**Tablo 1.** *C. fenzlii* metanol ekstresinin toplam fenolik ve flavonoid içeriği

Yöntem	Metanol Ekstresi (Ort.±S)
Toplam fenolik içerik (mg GAE/g ka)	16.72±0,01
Toplam flavonoid içerik (mg KAE/g ka)	173,16±0,01

*C. fenzlii* metanol ekstresi için toplam fenolik içerik 16,72 mg GAE/g ka olarak bulunmuştur. *Centaurea* cinsine ait diğer türlerle yapılan çalışmalarda farklı sonuçlar elde edilmiştir [26-28]. Bu sonuçlar *Centaurea* türlerindeki toplam fenolik içeriğin değişkenlikler gösterebileceğini ortaya koymaktadır. Toplam fenolik içerik antioksidan aktivite için önemlidir. Çünkü fenolik içerik arttıkça ekstrenin, reaktif serbest radikalleri veya primer oksidanları gidebilmesi o kadar güçlü olur ve insan sağlığı için önemli hale gelir [18].

Toplam flavonoid içerik ise 173,16 mg KAE/g ka şeklinde bulunmuştur. *C. fenzlii* bitkisinden elde edilen toplam flavonoid içerik benzer ve farklı standartlar kullanılan çalışmalara göre daha yüksek tespit edilmiştir [9, 10, 28]. Chigayo ve arkadaşları flavonoidlerin hastalıklarla mücadele önemli olduklarını ve yapılarına bağlı olarak da antioksidan olarak kullanılabileceklerini, fenolik bileşiklerle birleştiklerinde ise yüksek antioksidan aktivite gösterebileceklerini bildirilmişlerdir [18]. Bu yüzden yüksek flavonoid içerik farmasötik açıdan önemlidir.

Bu çalışmada *C. fenzlii* metanol ekstresinin antioksidan kapasitesi DPPH, ABTS, FRAP, CUPRAC testleri kullanılarak belirlenmiştir (Tablo 2).

**Tablo 2.** *C. fenzlii* metanol ekstresinin radikal giderici ve indirgeyici gücü

Yöntem (mmol TE/g ka)	Metanol Ekstresi (Ort.±S)
DPPH	0,661±0,01
ABTS	0,354±0,02
CUPRAC	0,878±0,08
FRAP	0,256±0,03

DPPH testi radikal giderme aktivitesini ölçmek için yaygın olarak kullanılan bir antioksidan testtir [29]. *C. fenzlii* için DPPH radikal giderme aktivitesi 0,661 mmol TE/g ka olarak bulunmuştur. Elde edilen bu sonuç DPPH radikal giderme aktivitesi araştırılan birçok *Centaurea* türüne göre yüksektir [28, 30]. DPPH radikali giderme aktivitesinin fenolik içerikle ilişkisi olduğu söyleyen birçok çalışma bulunmaktadır [29, 31, 32].

ABTS testi de yine antioksidan aktivitesini belirlemek için yaygın olarak kullanılan başka bir testtir. *C. fenzlii* metanol ekstresi için ABTS radikal giderme aktivitesi 0,345 mmol TE/g ka olarak bulunmuştur.

Bu değer farklı *Centaurea* türleri ile ilgili bazı çalışmalara göre daha düşük bulunmuştur [4, 33]. Genel olarak ABTS testinin, hidrofilik, lipofilik ve pigment oranı yüksek antioksidan bileşiklere uygulandığında DPPH testine göre üstün olduğu kabul edilmektedir [34]. Bu yüzden metanol ekstresinde bu tür antioksidan bileşiklerin daha az bulunduğu söylenebilir.

Metanol ekstresinin indirgenme gücünü belirlemek için CUPRAC ve FRAP yöntemleri yapılmıştır. FRAP yöntemi, çalışılan örneğin ferrik tripiridiltriiazini ( $Fe^{+3}$ -TPTZ) ferröz tripiridiltriiazine ( $Fe^{+2}$ -TPTZ) indirgeme potansiyelini ölçerken, CUPRAC, kuprik-neokuprinin ( $Cu^{+2}$ -Neokuprin) kupröz-neokuprine ( $Cu^{+1}$ -Neokuprin) indirgeme potansiyelini ölçer. *C. fenzlii* için CUPRAC değeri 0,878 mmol TE/g ka., FRAP değeri 0,256 mmol TE/g ka olarak bulunmuştur. Çalışan türün hem demir hem de bakır indirgeme gücü açısından etkin olduğu söylenebilir [28, 30, 35]. FRAP testi, fizyolojik pH' dan uzak asidik bir pH 3.6'da yapılırken, CUPRAC testi pH 7.0' da gerçekleştirilir ve fizyolojik koşullara daha uygundur [36].

*C. fenzlii* metanol ekstresinin 4 farklı enzime karşı inhibe edici etkisi belirlenmiştir (Tablo 3).

**Tablo 3.** *C. fenzlii* metanol ekstresinin enzimleri inhibe edici aktivitesi

Yöntem	Metanol Ekstresi (Ort.±S)
$\alpha$ -Glukozidaz (mmol AKE/g ka)	0,331±0,01
$\alpha$ -Amilaz (mmol AKE/g ka)	0,354±0,06
AChE (mmol GAE/g ka)	0,367±0,02
BChE (mmol GAE/g ka)	0,878±0,01
Tirozinaz (mmol KE/g ka)	0,256±0,00

Asetilkolin bilişsel işlevlerde, özellikle bellekte rol oynar. AChE, bir nörotransmitter olan asetilkolini parçalayan bir enzimdir. Kolinerjik nöronların dejenerasyonu asetilkolinin azalması ile karakterize edilir ve alzheimer hastalığı ile ilişkilidir [37]. AChE inhibitörleri, asetilkolinin hidrolizini önler, böylece beyindeki seviyesini artırır. BChE, beyinde sinirsel iletimde görev yapan bir başka kolinesteraz enzimidir. Alzheimer hastalığının geç evresinde BChE aktivitesinin %40-90 arasında arttığı belirlenmiştir [38]. Aynı zamanda senil plak oluşumunun ilk evresinde beta-amiloid agregasyonunda yüksek düzeyde BChE aktivitesi bildirilmiştir [39]. BChE inhibisyonu, beta-amiloid protein seviyelerini düşürdüğü ve farelerde öğrenme performansını artırdığı gösterilmiştir [40]. *C. fenzlii* metanol ekstresinin AChE için inhibe edici etkisi 0,367 mmol GAE/g ka, BChE için inhibe edici etkisi ise 1,496 mmol GAE/g ka olarak bulunmuştur. Elde edilen sonuçlar diğer *Centaurea* cinsine ait yapılan çalışmalarla benzerlik göstermektedir [35, 41].

Diyabet kronik hiperglisemi ile karakterizedir ve tüm dünyada önemli bir sağlık problemi haline gelmiştir. Kanda sürekli yüksek glukoz seviyesi, kardiyovasküler hastalıklara, nöropatiye, retinopatiye, nefropatiye ve diğer işlev bozukluklarına yol açar. Günümüzde kullanılan hipoglisemik ilaçlar, serum glikoz seviyesini normale döndürmeyi başarmakta ancak gastrointestinal rahatsızlıklar neden olmaktadır. Bu nedenle,  $\alpha$ -Amilaz ve  $\alpha$ -Glukozidaz'ı inhibe eden ve yan etkisi olmayan etkili terapötik ajanların bulunması önemlidir [42].

*C. fenzlii* metanol ekstresinin  $\alpha$ -Amilaz için inhibe edici etkisi 0,614 mmol AKE/g ka,  $\alpha$ -Glukozidaz için inhibe edici etkisi 0,331 mmol AKE/g ka bulunmuştur. Genel olarak  $\alpha$ -Amilazı inhibe edici etkisi için çıkan sonuç literatürle benzerdir,  $\alpha$ -Glukozidazı inhibe edici etkisi ise bazı çalışmalara göre daha düşük bazı çalışmalara göre daha yüksek bulunmuştur [35, 43].

*C. fenzlii* metanol ekstresinin Tirozinaz enzimini inhibe edici etkisi 0,952 mmol KE/g ka olarak bulunmuştur. Benzer türlerle yapılan çalışmalar göre *C. fenzlii* bitkisinin tirozinaz enziminin inhibisyonunda daha etkili olduğu söylenebilir [35, 43].

Tirozinaz, UV ışığının önlenmesine yardımcı olan melanin pigmentinin üretimini katalizleyen bir enzimdir. Fazla olması hiperpigmentasyona ve Parkinson hastalığı gibi nörodejeneratif hastalıklara yol açabilir. Tirozinaz enzim inhibitörleri, cilt kanseri ve melanin birikimi ile ilişkili diğer dermatolojik hastalıkların tedavisinde kullanılabilir [44].

Oksidatif stres, diyabet tip II ve Alzheimer hastalığı dahil olmak üzere birçok hastalık için ana patolojik tetikleyici olarak kabul edilmektedir. Sonuç olarak, antioksidanlar oksidatif stres eylemini ve oluşumunu engellemek için terapötik araçlar olarak düşünülmektedir [42].

#### 4. Sonuç ve Öneriler

Bu araştırmada, endemik *C. fenzlii* metanol ekstresinin antioksidan özellikleri ve farklı enzimleri inhibe edici etkisi araştırılmıştır. *C. fenzlii* bitkisinin diğer *Centaurea* türlerine göre toplam flavonoid içeriğinin daha yüksek, fenolik içeriğinin ise araştırılan diğer türlere yakın olduğu belirlenmiştir. DPPH testi ile radikal giderme aktivitesinin, CUPRAC ve FRAP testleri ile de indirme gücü açısından daha etkin fakat ABTS radikal giderme gücü açısından ise daha az olduğu tespit edilmiştir. AChE, BChE ve  $\alpha$ -Amilazı enzimleri ile ilgili olarak diğer *Centaurea* türlerine göre benzer etkiler görülse de  $\alpha$ -Glukozidaz ve Tirozinaz enzimleri üzerine inhibe edici etkisi yüksek bulunmuştur. *C. fenzlii* bitkisinin antioksidan özelliklerinin ve farklı enzimleri inhibe edici etkisinin belirlenmesiyle ilgili ilk çalışma olması nedeniyle literatüre katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

## Teşekkür

Bu çalışma Kırıkkale Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından desteklenmiştir (2015/113 No'lu Proje).

## Kaynaklar

- [1] Bona M. 2016. *Centaurea amanosensis* (Asteraceae), a new species from Turkey. *Plant Biosystems*, 150 (5): 1083-1086.
- [2] Baharfar R., Khalilzadeh M.A., Gheibi S., Jazayeri O., Azimi R., Tajbakhsh M. 2009. Antioxidant and antibacterial activities of the methanolic extract of *Centaurea zuvandica* Sosn. *Iran JOC*, 3: 172-177.
- [3] Koca U., Suntar I.P., Keles H., Yesilada E., Akkol E.K. 2009. In vivo anti-inflammatory and wound healing activities of *Centaurea iberica* Trev. ex Spreng. *J Ethnopharmacol*, 126 (3): 551-556.
- [4] Kose Y.B., Iscan G., Goger F., Akalin G., Demirci B., Baser K.H. 2016. Chemical Composition and Biological Activity of *Centaurea baseri*: New Species from Turkey. *Chem Biodivers*, 13 (10): 1369-1379.
- [5] Akkol E.K., Arif R., Ergun F., Yesilada E. 2009. Sesquiterpene lactones with antinociceptive and antipyretic activity from two *Centaurea* species. *J Ethnopharmacol*, 122 (2): 210-215.
- [6] Aktumsek A., Zengin G., Guler G.O., Cakmak Y.S., Duran A. 2011. Screening for in vitro antioxidant properties and fatty acid profiles of five *Centaurea* L. species from Turkey flora. *Food Chem Toxicol*, 49 (11): 2914-2920.
- [7] Dumlu M.U., Gurkan E. 2006. A new active compound from *Centaurea* species. *Z Naturforsch C*, 61 (1-2): 44-46.
- [8] Karamenderes C., Khan S., Tekwani B.L., Jacob M.R., Khan I.A. 2006. Antiprotozoal and antimicrobial activities of *Centaurea* species growing in Turkey. *Pharmaceutical Biology*, 44 (7): 534-539.
- [9] Albayrak S., Atasagun B., Aksoy A. 2017. Comparison of phenolic components and biological activities of two *Centaurea* sp. obtained by three extraction techniques. *Asian Pac J Trop Med*, 10 (6): 599-606.
- [10] Ozsoy N., Kultur S., Yilmaz-Ozden T., Celik B.O., Can A., Melikoglu G. 2015. Antioxidant, Anti-Inflammatory, Acetylcholinesterase Inhibitory and Antimicrobial Activities of Turkish Endemic *Centaurea antiochia* var-Praealta. *Journal of Food Biochemistry*, 39 (6): 771-776.
- [11] Gurbuz I., Yesilada E. 2007. Evaluation of the anti-ulcerogenic effect of sesquiterpene lactones from *Centaurea solstitialis* L. ssp. *solstitialis* by using various in vivo and biochemical techniques. *J Ethnopharmacol*, 112 (2): 284-291.
- [12] Ozcelik B., Gurbuz I., Karaoglu T., Yesilada E. 2009. Antiviral and antimicrobial activities of three sesquiterpene lactones from *Centaurea solstitialis* L. ssp. *solstitialis*. *Microbiol Res*, 164 (5): 545-552.
- [13] Yirtici U., Goger F., Sarimahmut M., Ergene A. 2017. Cytotoxic and apoptotic effects of endemic *Centaurea fenzlii* Reichardt on the MCF-7 breast cancer cell line. *Turkish Journal of Biology*, 41 (2): 370-377.
- [14] Dhouafli Z., Rigacci S., Leri M., Bucciantini M., Mahjoub B., Tounsi M.S., Wannas W.A., Stefani M., Hayouni E.A. 2018. Screening for amyloid- $\beta$  aggregation inhibitor and neuronal toxicity of eight Tunisian medicinal plants. *Industrial Crops and Products*, 111: 823-833.
- [15] Li Q., Tu Y., Zhu C., Luo W., Huang W., Liu W., Li Y. 2017. Cholinesterase,  $\beta$ -amyloid aggregation inhibitory and antioxidant capacities of Chinese medicinal plants. *Industrial Crops and Products*, 108: 512-519.
- [16] Li W., Risacher S.L., Gao S., Boehm S.L., Elmendorf J.S., Saykin A.J. 2018. Type 2 diabetes mellitus and cerebrospinal fluid Alzheimer's disease biomarker amyloid beta1-42 in Alzheimer's Disease Neuroimaging Initiative participants. *Alzheimers Dement (Amst)*, 10: 94-98.
- [17] Mendes A.L., Miot H.A., Haddad V.J. 2017. Diabetes mellitus and the skin. *An Bras Dermatol*, 92 (1): 8-20.

- [18] Chigayo K., Mojapelo P.E.L., Mnyakeni-Moleele S., Misihairabgwi J.M. 2016. Phytochemical and antioxidant properties of different solvent extracts of *Kirkia wilmsii* tubers. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, 6 (12): 1037-1043.
- [19] Slinkard K., Singleton V.L. 1977. Total Phenol Analysis: Automation and Comparison with Manual Methods. *American Journal of Enology and Viticulture*, 28 (1): 49-55.
- [20] Zenão S., Aires A., Dias C., Saavedra M.J., Fernandes C. 2017. Antibacterial potential of *Urtica dioica* and *Lavandula angustifolia* extracts against methicillin resistant *Staphylococcus aureus* isolated from diabetic foot ulcers. *Journal of Herbal Medicine*, 10: 53-58.
- [21] Fitsiou E., Mitropoulou G., Spyridopoulou K., Tiptiri-Kourpeti A., Vamvakias M., Bardouki H., Panayiotidis M., Galanis A., Kourkoutas Y., Chlichlia K., Pappa A. 2016. Phytochemical Profile and Evaluation of the Biological Activities of Essential Oils Derived from the Greek Aromatic Plant Species *Ocimum basilicum*, *Mentha spicata*, *Pimpinella anisum* and *Fortunella margarita*. *Molecules*, 21 (8): 1069.
- [22] Auzanneau N., Weber P., Kosinska-Cagnazzo A., Andlauer W. 2018. Bioactive compounds and antioxidant capacity of *Lonicera caerulea* berries: Comparison of seven cultivars over three harvesting years. *Journal of Food Composition and Analysis*, 66: 81-89.
- [23] Reşat A., Güçlü K., Özyürek M., Saliha Esin K., Erça E. 2006. The cupric ion reducing antioxidant capacity and polyphenolic content of some herbal teas. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 57 (5/6): 292.
- [24] Jiménez N., Carrillo-Hormaza L., Pujol A., Álzate F., Osorio E., Lara-Guzman O. 2015. Antioxidant capacity and phenolic content of commonly used anti-inflammatory medicinal plants in Colombia. *Industrial Crops and Products*, 70: 272-279.
- [25] Sarikurkcü C., Kirkan B., Ozer M.S., Ceylan O., Atilgan N., Cengiz M., Tepe B. 2018. Chemical characterization and biological activity of *Onosma gigantea* extracts. *Industrial Crops and Products*, 115: 323-329.
- [26] Shahrbandy K. Hosseinzadeh R. 2007. In vitro Antioxidant Activity of *Polygonium hyrcanicum*, *Centaurea depressa*, *Sambucus ebutus*, *Mentha spicata* and *Phytolacca americana*. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 10 (4): 637-640.
- [27] Erol-Dayı Ö., Pekmez M., Bona M., Aras-Perk A., Arda N. 2011. Total Phenolic Contents, Antioxidant Activities Cytotoxicity of Three *Centaurea* Species: *C. calcitrapa* subsp. *calcitrapa*, *C. ptosimopappa*, *C. spicata*. *Free Radicals and Antioxidants*, 1 (2): 31-36.
- [28] Ayaz F.A., Ozcan M., Kurt A., Karayigit B., Ozogul Y., Glew R., Ozogul F. 2017. Fatty acid composition and antioxidant capacity of cypselas in *Centaurea* s.l. taxa (Asteraceae, Cardueae) from NE Anatolia. *South African Journal of Botany*, 112: 474-482.
- [29] Loganayaki N., Siddhuraju P. Manian S. 2013. Antioxidant activity and free radical scavenging capacity of phenolic extracts from *Helicteres isora* L. and *Ceiba pentandra* L. *J Food Sci Technol*, 50 (4): 687-695.
- [30] Kenny O., Smyth T.J., Walsh D., Kelleher C.T., Hewage C.M., Brunton N.P. 2014. Investigating the potential of under-utilised plants from the Asteraceae family as a source of natural antimicrobial and antioxidant extracts. *Food Chem*, 161: 79-86.
- [31] Piluzza G., Bullitta S. 2011. Correlations between phenolic content and antioxidant properties in twenty-four plant species of traditional ethnoveterinary use in the Mediterranean area. *Pharm Biol*, 49 (3): 240-247.
- [32] Sadeghi Z., Valizadeh J., Azyzian Shermeh O., Akaberi M. 2015. Antioxidant activity and total phenolic content of *Boerhavia elegans* (choisy) grown in Baluchestan, Iran. *Avicenna J Phytomed*, 5 (1): 1-9.
- [33] Erel S.B., Demir S., Nalbantsoy A., Ballar P., Khan S., Yavasoglu N.U., Karaalp C. 2014. Bioactivity screening of five *Centaurea* species and in vivo anti-inflammatory activity of *C. athoa*. *Pharm Biol*, 52 (6): 775-781.
- [34] Floegel A., Kim D.O., Chung S. J., Koo S.I., Chun O.K. 2011. Comparison of ABTS/DPPH assays to measure antioxidant capacity in popular antioxidant-rich US foods. *Journal of Food Composition and Analysis*, 24 (7): 1043-1048.
- [35] Zengin G., Bulut G., Mollica A., Nancy Picot-Allain C.M., Mahomoodally M.F. 2018. In vitro and in silico evaluation of *Centaurea saligna* (K.Koch) Wagenitz-An endemic folk medicinal plant. *Comput Biol Chem*, 73: 120-126.



- [36] Bessada S.M.P., Barreira J.C.M., Oliveira M.B.P.P. 2015. Asteraceae species with most prominent bioactivity and their potential applications: A review. *Industrial Crops and Products*, 76: 604-615.
- [37] Sarikurkcu C., Uren M.C., Tepe B., Cengiz M., Kocak M.S. 2015. *Phlomis armeniaca*: Phenolic compounds, enzyme inhibitory and antioxidant activities. *Industrial Crops and Products*, 78: 95-101.
- [38] Darvesh S. 2016. Butyrylcholinesterase as a Diagnostic and Therapeutic Target for Alzheimer's Disease. *Current Alzheimer Research*, 13 (10): 1173-1177.
- [39] Reid G.A. Darvesh S. 2015. Butyrylcholinesterase-knockout reduces brain deposition of fibrillar beta-amyloid in an Alzheimer mouse model. *Neuroscience*, 298: 424-435.
- [40] Greig N.H., Utsuki T., Ingram D.K., Wang Y., Pepeu G., Scali C., Yu Q.S., Mamczarz J., Holloway H.W., Giordano T., Chen D., Furukawa K., Sambamurti K., Brossi A., Lahiri D.K. 2005. Selective butyrylcholinesterase inhibition elevates brain acetylcholine, augments learning and lowers Alzheimer beta-amyloid peptide in rodent. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 102 (47): 17213-17218.
- [41] Aktumsek A., Zengin G., Guler G.O., Cakmak Y.S., Duran A. 2013. Antioxidant potentials and anticholinesterase activities of methanolic and aqueous extracts of three endemic *Centaurea* L. species. *Food Chem Toxicol*, 55: 290-296.
- [42] Liu S., Ai Z., Qu F., Chen Y., Ni D. 2017. Effect of steeping temperature on antioxidant and inhibitory activities of green tea extracts against alpha-amylase, alpha-glucosidase and intestinal glucose uptake. *Food Chem*, 234: 168-173.
- [43] Zengin G., Zheleva-Dimitrova D., Gevrenova R., Nedialkov P., Mocan A., Ciric A., Glamoclija J., Sokovic M., Aktumsek A., Mahomoodally M.F. 2018. Identification of phenolic components via LC-MS analysis and biological activities of two *Centaurea* species: *C. drabifolia* subsp. *drabifolia* and *C. lycopifolia*. *J Pharm Biomed Anal*, 149: 436-441.
- [44] Aghraz A., Goncalves S., Rodriguez-Solana R., Dra L.A., Di Stefano V., Dugo G., Cicero N., Larhsini M., Markouk M., Romano A. 2018. Antioxidant activity and enzymes inhibitory properties of several extracts from two Moroccan Asteraceae species. *South African Journal of Botany*, 118: 58-64.

---

*Araştırma Makalesi / Research Article*

---

## **A New Host-Plant for Larvae of *Hellula undalis* (Fabricius, 1781) in Turkey (Lepidoptera: Crambidae)**

Kesran AKIN<sup>\*1</sup>, Erdem SEVEN<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Bitlis Eren University, Faculty of Arts and Sciences, Department of Biology, 13000, Bitlis, Turkey

<sup>2</sup> Department of Gastronomy and Culinary Arts, School of Tourism and Hotel Management, Batman University, 72060 Batman, Turkey

---

### **Abstract**

In this study, *Reseda aucheri* subsp. *rotundifolia* (Kotschy ex Müll.-Arg.) (Resedaceae) has been detected the first time as a new host-plant of *Hellula undalis* (Crambidae). Information on the distribution of *H. undalis* and its known host-plants are given. Caterpillar, pupa and adult of the species and new host-plant are illustrated.

**Keywords:** *Hellula undalis*, *Reseda aucheri* subsp. *rotundifolia*, host-plant, Batman, Turkey.

---

## ***Hellula undalis* (Fabricius, 1781) Larvaları İçin Türkiye'den Yeni Bir Konukçu Bitki (Lepidoptera: Crambidae)**

---

### **Öz**

Bu çalışmada *Reseda aucheri* subsp. *rotundifolia* (Kotschy ex Müll.-Arg.) (Resedaceae) ilk kez *Hellula undalis* (Crambidae)'in yeni konukçu bitkisi olarak tespit edilmiştir. *H. undalis*'in yayılışı ve bilinen konukçu bitkileri hakkında bilgi verilmiştir. Türün tırtıl, pupa ve ergin bireyi ile yeni konukçu bitkisi resmedilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** *Hellula undalis*, *Reseda aucheri* subsp. *rotundifolia*, konukçu bitki, Batman, Türkiye.

---

### **1. Introduction**

The subfamily Glaphyriinae belongs to the family Crambidae is known with 345 species in the world [1]. In study of the phylogenetic classification of Pyraloidea by Reiger et al. [2], they mentioned Evergestinae and Noordinae were synonyms of Glaphyriinae and stated that the most distinctive features of these groups, the larvae of many of genera fed on mustard oil containing plants belonging the order of Brassicales.

*Hellula undalis* (Fabricius, 1781) is distributed in Europe, Africa, large part of Asia, Australia and Pacific Islands [3]. In Turkey, the species is known from Adana, Bitlis, Bursa, Gaziantep, Hakkâri, Hatay, İzmir, Mersin, Kahramanmaraş, Van, Şırnak and Düzce provinces [4-6]. It is generally known as a pest of crucifers, and so far known host-plants are as follows: *Armoracia rusticana*, *Brassica caulorapa*, *B. chinensis*, *B. juncea*, *B. nigra*, *B. oleracea*, *B. parachinensis*, *B. rapa*, *Coronopus* sp., *Diplotaxis* sp., *D. pendula*, *Moricandia* sp., *M. arvensis*, *M. suffruticosa*, *Raphanus* sp., *R. sativus*, *Rorippa* sp. *Sinapis alba* (Brassicaceae (Cruciferae)); *Cleome* sp., *C. arabica*, *C. gynandra*, *C. rutidosperma*, *C. viscosa*, *Polanisia* sp. (Capparaceae); *Clitoria* sp. (Fabaceae); *Hygrophila salicifolia* (Acanthaceae) [7-10].

On the biology of *H. undalis*, an important study was carried out by Yabaş and Zeren [5] in Turkey. They stated that in the field studies, the adult specimens emerged from the second half of June, the population reached the highest level in August and September, and the population decreased gradually following in October. In addition, they stated that the species has 5 generations and there are

---

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

Geliş Tarihi:05.12.2018, Kabul Tarihi: 18.01.2019

15-20 days between each generation depending on temperature and the adults of 5th generation emerge in 36 days.

*Reseda aucheri* Boiss. subspecies *rotundifolia* (Kotschy ex Müll.-Arg.) Rech. f. is known as “dicle gerdanlığı” in Turkey [11]. *R. aucheri* is distributed in Turkey, Iran, Iraq, Afghanistan, India and Pakistan [12]. It is used to remove the toxicity and sensitivity of bites of snake, insect and scorpions in Iran [13].

The aim of this study is to contribute to the host-plant and distribution of *H. undalis* from south-eastern Turkey.

## 2. Materials and Methods

The materials of the study consist of the larvae of collected by the second author on the *R. aucheri* subsp. *rotundifolia* from Batı Raman Campus of Batman University, Batman, Turkey (Figure 1), at 625 m, in 37°47'17" N, 41°03'53" E coordinates. The location is rich in herbaceous plants and, *R. aucheri* subsp. *rotundifolia* is intensively located in the habitat. During the researches in the field, a large amount of *H. undalis* larvae were found on the plants and six of these larvae were collected on 17.08.2018 for examination. After the feeding in the laboratory conditions, the larvae pupated on 23.08.2018 and, consequently, after 10 days only two adult specimens (high possibility due to hot and dry laboratory conditions, approx. 45 °C) emerged from pupas on 03.09.2018 (Figures 2-5). The adult specimens were identified by the first author. The larvae of the species were determined on the plant, over a long period of time from beginning of summer and to the nearly end of autumn, in the study region.

## 3. Results and Discussion

*H. undalis*, as mentioned above, feeds usually with plants belonging to the family of Cruciferae. Mewis et al. [8] stated that the species was sensitive to density of glucosinolate compound, which is a characteristic compound for the family of Cruciferae. They reported that this compound attracted female of *H. undalis*. Besides, Kalbfleisch [9] stated that this compound was detected in Brassicaceae and Capparidaceae and in other close families: Tovariaceae, Resedaceae, Tropaeolaceae and Limnanthaceae. On account of these, we think that most likely, the feeding of *H. undalis* with *R. aucheri* subsp. *rotundifolia* (Resedaceae), related to the compound of glucosinolate, which is noted by Mewis et al. [8] and Kalbfleisch [9].

According to the literature, members of Resedaceae family have not been reported as the host-plant for *H. undalis*. As results of this research, *R. aucheri* subsp. *rotundifolia*, belonging to Resedaceae family, is detected for the first time as a new host-plant for the species. Additionally, this study is contributed to distribution of *H. undalis* as it is discovered for the first time in Batman province.

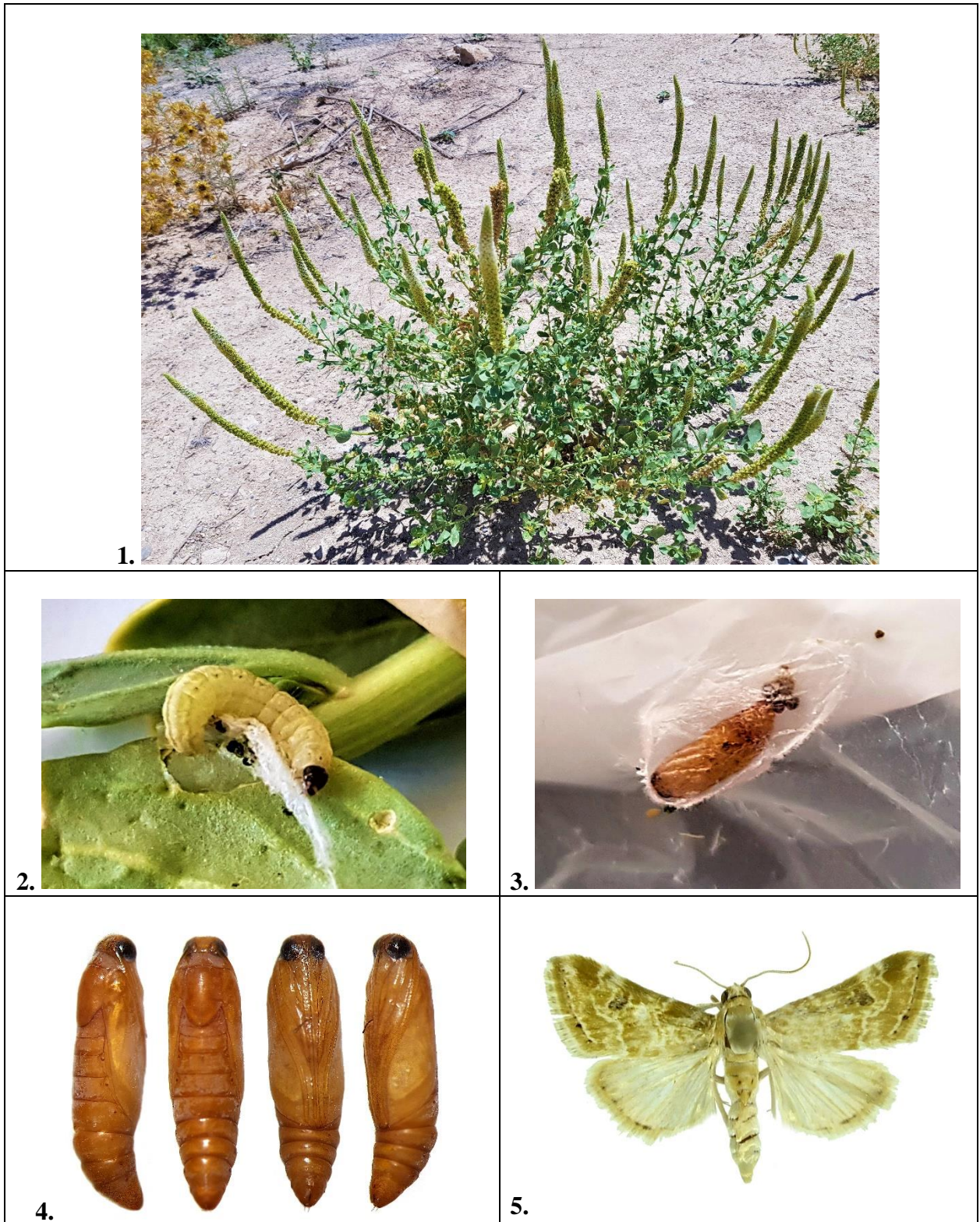
## Acknowledgements

We are grateful to Dr. Mehmet FİDAN (Siirt University, Turkey) for identification of host-plant.

## References

- [1] Nuss M., Landry B., Mally R., Vegliante F., Tränkner A., Bauer F., Hayden J., Segerer A., Schouten R., Li H., Trofimova T., Solis M.A., De Prins J., Speidel W. 2003–2017: Global Information System on Pyraloidea. www.pyraloidea.org. (Access date: 04.10.2018).
- [2] Reiger J.C., Mitter C., Solis M.A., Hayden J.E., Landry B., Nuss M., Simonsen T.J., Yen S., Zwick A., Cummings M.P. 2012. A Molecular Phylogeny for The Pyraloid Moths (Lepidoptera: Pyraloidea) and Its Implications for Higher-Level Classification, *Systematic Entomology*, 37: 635-656.
- [3] Waterhouse D.F., Norris K.R. 1989. Biological Control: Pacific Prospects- Supplement 1. ACIAR Monograph No. 12, vii + 123 p.
- [4] Koçak A.Ö., Kemal M. 2018. A synonymous and distributional list of the species of the Lepidoptera of Turkey, *Centre for Entomological Studies, Memoirs*, 8: 1-487.

- [5] Yabaş C., Zeren O. 1987. Lahana Göbekkurdu (*Hellula undalis* F.) (Lepidoptera: Pyralidae)'nun biyolojisi üzerinde araştırmalar. Türkiye I. Entomoloji Kongresi, pp229-238, 13-16 Ekim, İzmir.
- [6] Yabaş C., Zeren O. 1990. Doğu Akdeniz Bölgesinde Lahana Göbekkurdu (*Hellula undalis* Fab.) (Lep.: Pyralidae)'nun Biyoekolojisi ve Mücadelesi Üzerinde Araştırmalar. T.C. Tarım ve Köyişleri Bakanlığı, Tarımsal Araştırmalar Genel Müdürlüğü, Bitki Koruma Araştırmaları Daire Başkanlığı, Ziraî Mücadele Araştırma Yıllığı, 24-25: 30-31.
- [7] Robinson G.S., Ackery P.R., Kitching I.J., Beccaloni G.W., Hernández L.M. 2010. HOSTS - A Database of the World's Lepidopteran Hostplants. Natural History Museum, London. <http://www.nhm.ac.uk/hosts>. (Access date: 05.10.2018).
- [8] Mewis I., Ulrich Ch., Schnitzler W.H. 2002. The role of glucosinolates and their hydrolysis products in oviposition and host-plant finding by cabbage webworm, *Hellula undalis*, Entomologia Experimentalis et Applicata, 105: 129-139.
- [9] Kalbfleisch S. 2006. Integrated Pest Management of *Hellula undalis* Fabricius on Crucifers in Central Luzon, Philippines, with E, E-11, 13-hexadecadienal as Synthetic Sex Pheromone. Doctoral thesis, Technisch Universität München, 184 p.
- [10] Goff R. 2018. *Hellula undalis* (Fabricius, 1781). African Moths. <https://www.africanmoths.com/pages/CRAMBIDAE/GLAPHRYIINAE/hellula%20undalis.html>. (Access date: 08.10.2018).
- [11] Anonymous, 2018. Türkiye Bitkileri Listesi, Gerdanlık (Reseda). <http://www.bizimbitkiler.org.tr/v2/hiyerarsi.php?c=Reseda>. (Access date: 02.10.2018).
- [12] Efloras, 2018. Flora of Pakistan. [http://www.efloras.org/florataxon.aspx?flora\\_id=5&taxon\\_id=25006464](http://www.efloras.org/florataxon.aspx?flora_id=5&taxon_id=25006464). (Access date: 02.10.2018).
- [13] Safa O., Soltanipoor M.A., Rastegar S., Kazemi M., Dehkordi K.N., Ghannadi A. 2013. An ethnobotanical survey on Hormozgan province, Iran, Avicenna Journal of Phytomedicine, 3(1): 64-81.



**Figures: 1.** The host-plant, *R. aucheri* subsp. *rotundifolia*, **2-5.** Stages of *H. undalis*, **2.** Larva, **3-4.** Pupa, **5.** Adult

---

*Araştırma Makalesi / Research Article*

---

## The Lipide-Soluble Vitamin Contents of Some *Lathyrus L.* Species

Muammer BAHŞI<sup>\*1</sup>, İrfan EMRE<sup>2</sup>, Hasan GENÇ<sup>2</sup>, Ahmet ŞAHİN<sup>3</sup>, Ökkeş YILMAZ<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Firat University, Faculty of Education, Department of Primary Education, 23169, Elazığ, Turkey

<sup>2</sup>Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Faculty of Education, Department of Mathematics and Science Education, Burdur, Turkey

<sup>3</sup>Erciyes University, Faculty of Education, Department of Secondary Science and Mathematics Education, 38039, Kayseri, Turkey

<sup>4</sup>Firat University, Faculty of Science, Department of Biology, Elazığ, Turkey

---

### Abstract

In the present study, lipide-soluble vitamin contents in the seeds of the *Lathyrus L.* taxa (*Lathyrus sylvestris L.*, *Lathyrus sphaericus Retz.*; *Lathyrus pratensis L.*, *L. aphaca L. var. modestus P.H.*, *L. aphaca L. var. biflorus Post.*, *L. aphaca var. pseudoaphaca (Boiss.) P.H. Davis*, *Lathyrus odoratus L.*, *Lathyrus hierosolymitanus Boiss.*, *Lathyrus tauricola P.H. Davis*) were determined by using HPLC. Data obtained from present study showed that studied *Lathyrus* taxa have high beta-caroten content (146,5±1,73-375,0±3,35 µg/g). present study found that *Lathyrus pratensis* has the highest gamma-tocopherol content (158,9±3,65 µg/g) whilst *L. aphaca var. pseudoaphaca (Boiss.) P.H. Davis* has highest D3 vitamin content (43,2±2,18 µg/g) among studied taxa. However, it was found that the r-tocopherol, a-tocopherol, a-tocopherol acetate, retinol, retinol acetate, D2 and K1 vitamins of studied *Lathyrus* taxa were lowest.

**Keywords:** HPLC, *Lathyrus*, Lipide-soluble vitamins.

---

## Bazı *Lathyrus L.* Türlerinin Yağda Çözünen Vitamin İçerikleri

### Öz

Bu çalışmada, HPLC ile *Lathyrus L.* türlerinin (*Lathyrus sylvestris L.*, *Lathyrus sphaericus Retz.*; *Lathyrus pratensis L.*, *L. aphaca L. var. modestus P.H.*, *L. aphaca L. var. biflorus Post.*, *L. aphaca var. pseudoaphaca (Boiss.) P.H. Davis*, *Lathyrus odoratus L.*, *Lathyrus hierosolymitanus Boiss.*, *Lathyrus tauricola P.H. Davis*) tohumlarındaki yağda çözünen vitamin içerikleri belirlenmiştir. Bu çalışmadan elde edilen veriler göstermiştir ki çalışılan *Lathyrus L.* türleri yüksek beta karoten içeriğine sahiptirler (146,5±1,73-375,0±3,35 µg/g). Bu çalışmada çalışılan türler arasında *Lathyrus pratensis*'in en yüksek gamma-tokoferol içeriğine (158,9±3,65 µg/g) sahip olduğunu *L. aphaca var. pseudoaphaca (Boiss.) P.H. Davis*'in ise en yüksek D3 vitamini içeriğine (43,2±2,18 µg/g) sahip olduğu bulunmuştur. Bununla birlikte, çalışılan *Lathyrus L.* türlerinin r-tokoferol, a-tokoferol, a-tokoferol asetat, retinol, retinol asetat, D2 ve K1 vitamin içeriklerinin oldukça düşük olduğu bulunmuştur.

**Anahtar kelimeler:** HPLC, *Lathyrus*, Yağda Çözünen Vitaminler.

---

### 1. Introduction

Legumes are consumed as significant source of protein in the many regions of world particularly in the developing countries with limited consumption of animal protein [1-2]. Legumes have low in fat, and high protein, carbohydrates, and mineral contents [3-4]. Several studies demonstrated that legumes reduced cardiovascular, diabetes, cancer and obesity risks [4-6].

*Lathyrus L.* is an important grain legume which contains 187 species and distributed mainly Mediterranean, Irano-Turanian, America and East Africa regions [7-9]. *Lathyrus L.* species are used as ornamental, food and feed crops [10-11]. *Lathyrus L.* have 75 taxa and separated into 10 sections in

---

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

Geliş Tarihi:04.01.2019, Kabul Tarihi: 21.01.2019

Turkey [12-17]. *Lathyrus* and other some genus belong to *Leguminosae* have important place due to rich phytochemical compositions [9,18]. *Lathyrus* L. includes high carbohydrate, protein, mineral and phenolic content [9,19-22]. However, there were no enough studies about phytochemical content and antioxidant capacity of *Lathyrus* [9]. The goal of present study is to determined the lipide-soluble vitamin contents of *Lathyrus* L. taxa.

## 2. Materials and Methods

### 2.1. Collection of plant materials

In the present study, lipid-soluble vitamin contents in mature seeds of the *Lathyrus* taxa (*L. sphaericus*; *L. pratensis*; *L. aphaca* L. var. *modestus*; *L. aphaca* L. var. *biflorus*; *L. aphaca* var. *pseudoaphaca*; *L. odoratus*; *L. hierosolymitanus*; *L. tauricola*) were examined. Sample plants were gathered from the natural habitats and details about the materials are explained in Table 1.

**Table 1.** Localities of studied *Lathyrus* taxa

Taxa	Locality
<i>L. sphaericus</i>	Isparta, Aksu hydroelectric power plant near, 1020 m
<i>L. pratensis</i>	Konya-Beyşehir Golyaka, Kubad-ı Abad palace around, 1230 m
<i>L. aphaca</i> var. <i>modestus</i>	Isparta-Egirdir Balkiri village, 910 m
<i>L. aphaca</i> var. <i>biflorus</i>	Burdur-Bağsaray, 870 m
<i>L. aphaca</i> var. <i>pseudoaphaca</i>	Isparta-Egirdir Kovada lake near, 900m
<i>L. odoratus</i>	Muğla-Dalyan Iztuzu road, 10 m
<i>L. hierosolymitanus</i>	Muğla-Marmaris Icmeler-Bozburun road 3 rd km 450 m
<i>L. tauricola</i>	Isparta-Kovada Lake near, 900 m.

### 2.2. Extraction of plant materials

1 g seed used to determine the lipide-soluble vitamin contents. The seeds are extracted with hexane/isopropanol (3:2 v/v) [23]. Extracts were centrifuged at 10.000 g for 5 minutes and filtered. The solvent was removed on a rotary evaporator at 40°C. After that lipid-soluble vitamins were extracted based on the method of Sánchez-Machado [24] with some changes. The results were repeated three times.

### 2.3. Chromatographic analysis and quantification of lipid-soluble vitamins

Seeds were treated with acetonitrile/methanol (75/25 v/v) and were injected 50 µL to HPLC (Shimadzu, Kyoto Japan). Supelcosil TM LC18 (250 x 4.6 mm, 5 mm, Sigma, USA) column was used and acetonitrile/methanol (75/25 v/v) was used as the mobile phase. The elution was conducted at a flow-rate of 1 ml/min. The temperature of analytical column was adjusted at 40 °C. Detection was conducted at 320 nm for retinol (vitamin A) and retinol acetate, and 215 nm for δ-tocopherol, vitamin D2 and D3, α-tocopherol, α-tocopherol acetate, 235 nm for vitamin K1. Class Vp 6.1 software assisted at work up of the data [25]. The results of analysis were uttered as µg/g for samples.

## 3. Results and Discussion

The lipide-soluble vitamin contents of studied *Lathyrus* L. taxa were given Table 2.

**Table 2.** The lipide-soluble vitamin contents of studied *Lathyrus* taxa

Lipide-soluble vitamins (µg/g)										
Taxa	Beta carotene	Gamma tocopherol	R-tocopherol	D2	D3	a-tocopherol	a-tocopherol acetate	K1	Retinol	Retinol acetate
<i>L. sphaericus</i>	156,1±1,66	4,1±0,56	-	0,9±0,2	37,3±1,85	-	-	-	0,1±0,03	0,3±0,04
<i>L. pratensis</i>	209,2±2,71	158,9±3,65	-	0,7±0,01	24,0±1,19	2,6±0,09	2,4±0,03	-	-	0,3±0,02
<i>L. aphaca</i> L. var. <i>modestus</i>	151,3±3,06	74,7±2,11	-	1,5±0,5	40,3±1,24	0,8±0,04	1,7±0,04	-	0,4±0,02	0,6±0,07
<i>L. aphaca</i> L. var. <i>biflorus</i>	146,5±1,73	30,1±1,32	-	0,1±0,01	32,7±0,97	-	1,5±0,04	-	0,1±0,01	0,3±0,01
<i>L. aphaca</i> var. <i>pseudoaphaca</i>	283,0±3,12	76,0±1,23	0,2±0,03	-	43,2±2,18	0,1±0,01	2,3±0,01	0,1±0,02	0,3±0,01	0,5±0,01
<i>L. odoratus</i>	336,8±1,93	9,4±0,64	-	-	24,3±1,15	1,5±0,06	-	1,5±0,57	0,4±0,06	0,6±0,02
<i>L. hierosolymitanus</i>	353,2±2,22	63,1±1,66	0,1±0,01	-	12,8±0,41	0,2±0,02	-	-	0,2±0,02	0,4±0,02
<i>L. tauricola</i>	375,0±3,35	59,7±2,17	0,5±0,02	-	33,9±0,94	2,2±0,04	1,7±0,09	-	0,3±0,02	0,9±0,04



Present study showed that studied *Lathyrus* species have high beta-carotene content. *Lathyrus tauricola* has highest beta-carotene content (375,0±3,35 µg/g) while *Lathyrus aphaca* L. *biflorus* has lowest beta-carotene content (151,3±3,06 µg/g). The D3 content of studied *Lathyrus* species have found between 43,2±2,18 µg/g (*Lathyrus aphaca* L. *pseudoaphaca*) and 12,8±0,41 µg/g (*Lathyrus hierosolymitanus*). *Lathyrus pratensis* has high gamma tocopherol 158,9±3,65 µg/g whilst *Lathyrus sphaericus* has low gamma tocopherol content (4,1±0,56 µg/g). The a-tocopherol contents of studied *Lathyrus* taxa are between 0,2±0,02 µg/g and 2,6±0,09 µg/g. *Lathyrus sphaericus* and *Lathyrus aphaca* L. *biflorus* don't have a-tocopherol content. The studied five *Lathyrus* taxa have a-tocopherol acetate content (1,5±0,04-2,3±0,01 µg/g). The other studied taxa don't have a-tocopherol acetate content. This study demonstrated that studied *Lathyrus* taxa have lowest K1 vitamin content. Furthermore, the retinol and retinol acetate contents of studied *Lathyrus* taxa quite low.

#### 4. Conclusion

Legumes are consumed high levels especially Asia, Africa and South America [26]. Studies showed that legumes have complex carbohydrates, vitamins, fibers, polyphenols [27] and they play significant role many disease such as cancer, diabetes [9]. Tocopherols, are lipide-soluble vitamins which play important role against free radical damages in the cell [28]. Studies indicated that tocopherols inversely connected with cardiovascular disease, cancer and insulin resistance [28-30]. In this study, it was determined that *Lathyrus* taxa have low r-tocopherol, a-tocopherol and a-tocopherol acetate amounts. However, studied *Lathyrus* taxa have high gamma tocopherol content (30,1±1,32-158,9±3,65 µg/g) except for *Lathyrus sphaericus* has 4,1±0,56 µg/g and *Lathyrus odoratus* has 9,4±0,64 µg/g. On the contrary, Fernandez-Marin et al. [31] determined that of all tocopherols,  $\gamma$ -tocopherol was the most abundant isoform in all species, apart from *Vigna* and *Arachis*, where  $\delta$ -tocopherol and  $\alpha$ -tocopherol were the main isoforms, respectively. It was found that all of the legumes studied demonstrated the presence of  $\gamma$ -tocopherol in relatively high levels, with the exception of black beans study done by Wyatt et al. [32]. Similarly, Sahin et al. [33] found that *Lathyrus* taxa have high  $\delta$ -tocopherol,  $\alpha$ -tocopherol,  $\alpha$ -tocopherol acetate. They also found that vitamin D3 content of studied *Lathyrus* taxa was high [33]. However, present study vitamin D3 content of studied taxa varied from 12,8±0,41 µg/g to 43,2±2,18 µg/g.

Present findings indicated that *Lathyrus* taxa have high beta-carotene varied from 375,0±3,35 µg/g to 146,5±1,73 µg/g. *Lathyrus tauricola* has highest beta-carotene content. Chavan et al. [34] found that carotene content of *Lathyrus* is 12.17 mg/100g. Also, Korus et al. [35] showed that carotene content of *Lathyrus* is 31.5 mg/100g. However, Mamatha et al. [36] found that studied legumes including *Phaseolus*, *Vigna*, *Lens* and *Cicer* have lowest a-and b-carotene contents. On the other hand, studied *Lathyrus* taxa have lowest r-tocopherol, vitamin D2, vitamin K1, retinol and retinol acetate amounts. Similarly, Sahin et al. [33] determined that retinol, retinol acetate, vitamin D2 were trace amounts in studied taxa. However, Arslan [9] indicated that legumes include K vitamin together with vitamin B1, B2, B6, vitamin C, vitamin E.

#### References

- [1] Chavana U.D., McKenzie D.B., Amarowicz R., Shahidi F. 2003. Phytochemical components of beach pea (*Lathyrus maritimus* L.). Food Chemistry, 81: 61-71.
- [2] Kalogeropoulos N., Chiou A., Ioannou M., Karathanos V.T., Hassapidou M., Andrikopoulos N.K. 2010. Nutritional evaluation and bioactive microconstituents (phytosterols, tocopherols, polyphenols, triterpenic acids) in cooked dry legumes usually consumed in the Mediterranean countries. Food Chemistry, 121: 682-690.
- [3] Geil P.B., Anderson J.W. 1994. Nutrition and health implications of dry beans: A review. Journal of the American College of Nutrition, 13: 549-558.
- [4] Pastor-Cavada E., Juan R., Alaziz M., Vioque J. 2011. Nutritional characteristics of seed proteins in 15 *Lathyrus* species (Fabaceae) from Southern Spain. LWT - Food Science and Technology, 44: 1059-1064.
- [5] Anderson J.W., Major A.W. 2002. Pulses and lipaemia, short- and long-term effect: potential in the prevention of cardiovascular disease. British Journal of Nutrition, 88 Supl, 3: S263-S271.

- [6] Rizkalla S.W., Bellisle F., Slama, G. 2002. Health benefits of lowglycaemic index foods, such as pulses, in diabetic patients and healthy individuals. *British Journal of Nutrition*, 88: S255-S262.
- [7] Yan Z.Y., Spencer P.S., Li Z.X., Liang Y.M., Wang Y.F., Wang C.Y., Li F.M. 2006. *Lathyrus sativus* (grass pea) and its neurotoxin ODAP. *Phytochemistry*, 67: 107-121.
- [8] Shehadeh A.A. 2011. Ecogeographic, Genetic and Taxonomic Studies of the Genus *Lathyrus* L. Degree of Doctor of philosophy University of Birmingham p. 401.
- [9] Arslan M. 2017. Diversity for vitamin and amino acid content in grass pea (*Lathyrus sativus* L.). *Legume Research*, 40 (5): 803-810.
- [10] Vaz Patto M.C., Rubiales D. 2014. *Lathyrus* diversity: available resources with relevance to crop improvement *L. sativus* and *L. cicera* as case studies. *Ann. Bot.*, 113.
- [11] Maroua G., Nadia Z., Imen F., Neila T.F. 2014. Sonia, M. Molecular characterization of *Lathyrus* species using chloroplast DNAtrnH-psbA. *Biochemical Systematics and Ecology*, 57: 439-444.
- [12] Davis P.H. 1970. *Lathyrus* L. In: *Flora of Turkey and East Aegean Islands*, 3, Edinburgh University Press 328-369.
- [13] Ertekin S.A., Saya O. 1990. A new record for the flora of Turkey. *Turk J Bot*, 15 (1): 75-77.
- [14] Ertekin S.A. 1994. A new record for the flora of Turkey. *Turk J Bot*, 18 (1): 33-34.
- [15] Davis P.H., Mill R.R., Kit T. 1988. *Flora of Turkey and East Aegean Islands*, 10, University Press, 125-126, Edinburgh.
- [16] Maxted N., Goyder D.J. 1988. A new species of *Lathyrus* Sect. *Lathyrus* (Leguminosae) Papilionodeae) from Turkey. *Kew Bull.*, 43 (4): 711-714.
- [17] Guner F., Ozhatay N. 2000. *Lathyrus* L. In: *Flora of Turkey and the East Aegean Islands*. A. Guner, N. Ozhatay, T. Ekim & K.H.C. Baser (eds.), 11. University Press, 92-94, Edinburgh.
- [18] Akpınar N., Akpınar A.M., Türkoğlu Ş. 2001. Total lipid content and fatty acid composition of the seeds of some *Vicia* L. species. *Food Chemistry*, 74: 449-453.
- [19] Tamburino R., Guida V., Pacifico S., Rocco M., Zarelli A., Parente A., Maro A.D. 2012. Nutritional values and radical scavenging capacities of grass pea (*Lathyrus sativus* L.) seeds in Valle Agricola district, Italy. *Australian Journal of Crop Science*, 6 (1): 149-156.
- [20] Mondal M.M.A., Puteh A.B. 2014. Spectrum of variability in seed size and content of Protein and Odap in Grass Pea (*Lathyrus sativus* L.) Germplasm. *Legume Research*, 37 (5): 479-482.
- [21] Llorent E.J., Ortega-Barrales P., Zengin G., Mocan A., Simirgiotis M.J., Ceylan R., Uysal S., Aktumsek A. 2017. Evaluation of antioxidant potential, enzyme inhibition activity and phenolic profile of *Lathyrus cicera* and *Lathyrus digitatus*: Potential sources of bioactive compounds for the food industry. *Food Chem Toxicol.* 107(Pt B):609-619. doi: 10.1016/j.fct.2017.03.002.
- [22] Gupta P., Udupa S.M., Gupta D.S., Kumar J., Kumar S. 2018. Population structure analysis and determination of neurotoxin content in a set of grass pea (*Lathyrus sativus* L.) accessions of Bangladesh origin. *The C Rop Journal*, 6: 435-442.
- [23] Hara A, Radin N.S. 1978. Lipid extraction of tissues with a low-toxicity solvent. *Anal. Biochem.* 90 (1): 420-426.
- [24] Sanchez-Machado D.I, Lopez-Hernandez J., Paseiro-Losado P. 2002. High-performance liquid chromatographic determination of  $\alpha$ -tocopherol in macroalgae. *Journal of Chromatography A*, 976 (1): 277-284.
- [25] Yılmaz Ö., Keser S., Tuzcu M., Çetintas B. 2007. Resveratrol (trans-3,4',5-trihydroxystilbene) decreases lipid peroxidation level and protects antioxidant capacity in sera and erythrocytes of old female Wistar rats induced by the kidney carcinogen potassium bromate. *Envir. Toxicol. Pharmacol.*, 24: 79-85.
- [26] Frias M.J., Miranda M.L., Doblado R., Vidal-Valverde C. 2005. Effect of germination and fermentation on the antioxidant vitamin content and antioxidant capacity of *Lupinus albus* L. var. multolupa. *Food Chemistry*, 92: 211-220.
- [27] Oboh G. 2006. Antioxidant properties of some commonly consumed and under utilized tropical legumes. *Eur Food Res Technol.*, 224: 61-65.
- [28] Ryan E., Galvin K., O'Connor P., Maguire A.R., O'Brien N.M. 2007. Phytosterol, Squalene, Tocopherol Content and Fatty Acid Profile of Selected Seeds, Grains, and Legumes. *Plant Foods Hum Nutr.*, 62: 85-91.

- [29] Kushi L.H, Folsom A.R, Prineas R.J, Mink P.J, Wu Y, Bostick R.M. 1996. Dietary antioxidant vitamins and death from coronary heart disease in postmenopausal women. *N Engl J Med*, 330: 1029-1035.
- [30] Knekt P., Reunanen A., Jarvinen R., Seppanen R., Heliövaara M., Aromaa A. 1994. Antioxidant vitamin intake and coronary mortality in a longitudinal population study. *Am J Epidemiol*, 139: 1180-1189.
- [31] Fernandez-Marin B., Milla R., Martin-Robles N., Arc E., Kranner I., Becerril J.M., Garcia-Plazaola I. 2014. Side-effects of domestication: cultivated legume seeds contain similar tocopherols and fatty acids but less carotenoids than their wild counterparts. *BioMed Central Plant Biology*, 14,1599. DOI 10.1186/s12870-014-0385-1.
- [32] Wyatt C.J., Pe´rez-Carballido S., Me´ndez R.O. 1998.  $\alpha$ - and  $\gamma$ -tocopherol content of selected foods in the mexican diet: Effect of cooking losses. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 46: 4657-4661.
- [33] Sahin A., Emre İ., Yılmaz Ö., Genç H., Karatepe M. 2009. Vitamin and fatty acid contents in seeds of some taxa belonging to genus *Lathyrus* L. growing in Turkey. *Acta Botanica Gallica*, 156 (3): 331-339.
- [34] Chavan U.D., Shahidi F., Bal A.K., McKenzie D.B. 1999. Physico-chemical properties and nutrient composition of beach pea (*Lathyrus maritimus* L.). *Food Chem.*, 66 (1): 43-50.
- [35] Korus A., Lisiewska Z., Kmiecik W. 2002. Effect of freezing and canning on the content of selected vitamins and pigments in seeds of two grass pea (*Lathyrus sativus* L.) cultivars at the not fully mature stage. *Nahrung/Food*, 46 (4): 233-237.
- [36] Mamatha B.S., Sageetha R.K., Baskaran V. 2011. Provitamin-A and xanthophyll carotenoids in vegetables and food grains of nutritional and medicinal importance. *International Journal of Food Science and Technology*, 46: 315-323.

---

*Araştırma Makalesi / Research Article*

---

## The Determination of Lipide- Soluble Vitamin Contents of Some *Astragalus* Taxa by Using HPLC

Muammer BAŞI<sup>\*1</sup>, Murat KÜRŞAT<sup>2</sup>, İrfan EMRE<sup>1</sup>, Ökkeş YILMAZ<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Firat University, Faculty of Education, Department of Primary Education, Elazığ

<sup>2</sup> Bitlis Eren University, Faculty of Science and Arts, Department of Biology, Bitlis

<sup>3</sup> Firat University, Faculty of Science, Department of Biology, Elazığ

---

### Abstract

The goal of current study is to contribute the biochemical studies of five *Astragalus* (*Astragalus anthlloides*, *Astragalus hirsutus*, *Astragalus campylorhynchus*, *Astragalus cephalotes* var. *cephalotes*, *Astragalus odoratus*) species by determining the lipide-soluble vitamin contents based on HPLC analyse. Current study showed that *A. anthlloides* (208,95±4,09 µg/g) and *A. hirsutus* (200,9±2,8 µg/g) have high γ-tocopherol content. Also, D3 vitamin content of studied *Astragalus* species were found between 2,94±0,18 µg/g (*Astragalus odoratus*) and 12,53±,495 µg/g (*Astragalus anthlloides*). On the other hand, α-tocopherol content of *Astragalus* species have detected between 3,99±0,14 µg/g (*Astragalus campylorhynchus*) and 11,9±0,66 µg/g (*Astragalus cephalotes* var. *cephalotes*). However, it was found that *A. hirsutus* only have beta caroten content (3,55±0,43 µg/g) among studied species. On the other hand, it was found that r-tocopherol, a-tocopherol acetate, D2, K1, retinol and retinol acetate contents were lowest amounts or absent.

**Keywords:** *Astragalus*, HPLC, Lipide-Soluble Vitamins.

---

## Bazı *Astragalus* Türlerinin HPLC Kullanılarak Yağda Çözünen Vitamin İçeriklerinin Belirlenmesi

---

### Öz

Bu çalışmanın amacı, HPLC analizlerine göre lipitte çözünen vitamin içeriklerini belirleyerek beş *Astragalus* türünün (*Astragalus anthlloides*, *Astragalus hirsutus*, *Astragalus campylorhynchus*, *Astragalus cephalotes* var. *cephalotes*, *Astragalus odoratus*) biyokimyasal çalışmalarına katkıda bulunmaktır. Bu çalışma, *A. anthlloides* (208,95±4,09 µg/g) ve *A. hirsutus* (200,9±2,8 µg/g)'un yüksek γ-tocopherol içeriğine sahip olduğunu göstermiştir. Ayrıca, çalışılan *Astragalus* türlerinin D3 vitamin içerikleri 2,94±0,18 µg/g (*Astragalus odoratus*) ve 12,53±,495 µg/g (*Astragalus anthlloides*) arasında bulunmuştur. Öte yandan, *Astragalus* türlerinin α-tokoferol içerikleri 3,99±0,14 µg/g (*Astragalus campylorhynchus*) ile 11,9±0,66 µg/g (*Astragalus cephalotes* var. *cephalotes*) arasında belirlenmiştir. Bununla beraber, çalışılan türler arasında sadece *Astragalus hirsutus*'un beta karoten içeriğine (3,55±0,43 µg/g) sahip olduğu bulunmuştur. Ayrıca, r-tokoferol, a-tokoferol asetat, D2, K1, retinol ve retinol asetat içeriklerinin ya çok düşük oranlarda olduğu ya da hiç bulunmadığı bulunmuştur.

**Anahtar kelimeler:** *Astragalus*, HPLC, Yağda Çözünen Vitaminler.

---

### 1. Introduction

*Astragalus* L. is one the of biggest members of *Leguminosae* which comprises about three thousand species in the world [1-3]. Species of *Astragalus* is distributed generally around in the temperature and arid areas of the world including Northern and Southern America, Asia and Europe [4-6]. Many members of genus are herbaceous, annual, non-climbing plants [7]. Most species of genera are narrow

---

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

Geliş Tarihi:04.01.2019, Kabul Tarihi: 21.01.2019

endemics [3]. In Turkey, the genus includes four hundred taxa in 62 sections [1,8,9]. It is generally spread in the steppe areas in the of mountains in Turkey [2].

*Astragalus* is utilized traditionally as medicinal herbs since old ages [10-12]. It is used usually as herbal supplement, herbal tea and mixed with different constituents to heal the chronic bronchitis, hypertension, cough and ulcer [10,12,13]. Various studies showed that compounds of *Astragalus* have antitumor, antioxidative, antidiabetic, immune system modulatory, hepatoprotective, neuroprotective, regulations of cardiovascular, antiviral and antitumor effects [14-18]. Also, they possess therapy of adrenal glands, lung disorders and gastrointestinal system [11,19]. Several biochemical studies demonstrated that major components of *Astragalus* are polysaccharides, amino acids, vitamins, phenols, amino acids, saponins, alkaloids, sterols [20-22]. Studies about species of *Astragalus* generally are about polysaccharides, phenolics and terpenoids. It was seen that there was not enough study about lipide-soluble vitamin contents of *Astragalus* when reviewing literature. Therefore, the target of this study is specified to contribute biochemical studies of *Astragalus* by determining the lipide-soluble vitamin contents.

## 2. Materials and Methods

### 2.1. Plant Materials

Lipide-soluble vitamins compositions in seeds of the *Astragalus* L. taxa (*Astragalus anthlloides* Lam., *Astragalus leporinus* var. *hirsutus*, *Astragalus campylorhynchus*, *Astragalus cephalotes* Banks. & Podlech var. *cephalote*, *Astragalus odoratus* Lam.) were examined in this study (Table 2).

### 2.2.Extraction of Plant Materials

1 g seed was homogenised in solvent isopropanol/hexane/ (2:3 v/v) [23] and was treated at 10.000 g along five minutes. Afterwards, at 40°C, extracts were treated on a rotary evaporator. Then, samples were prepared based on the method of Sánchez-Machado [24].

**Table 1.** Localities of studied *Astragalus* taxa

Taxa	Locality
<i>A. anthlloides</i> Lam.	Elazığ, Baskil, Hasan Mountain, Elazığ, 1850 m. 2007.
<i>A. leporinus</i> var. <i>hirsutus</i>	Elazığ, Baskil, Bekci mezarası, Yamaclar, 1500-1750 m. 2007.
<i>A. campylorhynchus</i>	Elazığ, Baskil, 1410-1480 m area surrounding Bolucuk district, 2007.
<i>A. cephalotes</i> Banks. & Podlech var. <i>cephalotes</i>	Elazığ, Baskil, Kayabeyli village 1430 m, 2007.
<i>A. odoratus</i> Lam.	Elazığ, Baskil, Hasan Mountain, 1900-2000 m. 2007.

### 2.3. HPLC analysis of vitamins

All of analysis were conducted by HPLC. Seeds were dissolved in mobile phase (methanol/acetonitrile; 25/75 v/v) and were injected 50 µL. The temperature of analytical column was performed at 40 °C. Detection of retinol acetate and retinol were done at 320 nm, and the detection of D2, D3, α-tocopherol acetate, α-tocopherol, δ-tocopherol were done 215 nm for, detection of K1 was done 235 nm. Authentic external standard mixtures were used to detect the vitamins [25]. The findings obtained from analysis were represented as µg/g.

## 3. Results and Discussion

The detailed results of lipide-soluble vitamins in studied *Astragalus* taxa were given Table 2.

**Table 2.** The lipide-soluble vitamin contents of five *Astragalus* taxa

Species	Lipide-soluble vitamins (µg/g)										
	Beta-carotene	Gamma tocopherol	R-tocopherol	D2	D3	a-tocopherol	a-tocopherol acetate	K1	Retinol	Retinol acetate	
<i>A. anthilloides</i>	-	208,95±4,09	-	0,07±0,15	12,53±,495	5,67±0,26	1,26±,011	-	0,49±0,041	-	
<i>A. leporinus</i> var. <i>hirsutus</i>	3,55±0,43	-	-	-	4,48±,12	3,78±0,16	1,12±0,17	-	0,07±0,04	0,21±0,014	
<i>A. campylorhynchus</i>	-	200,9±2,8	-	-	6,44±1,12	3,99±0,14	3,41±0,27	0,07±0,02	0,3±0,02	0,07±0,018	
<i>A. cephalotes</i> var. <i>cephalotes</i>	-	-	-	-	11,48±,79	11,9±0,66	-	-	0,28±0,01	0,42±0,02	
<i>A. odoratus</i>	-	-	-	-	2,94±0,18	8,54±0,59	-	-	0,21±0,01	0,14±0,01	

In this study, it was found that *A. anthlloides* (208,95±4,09 µg/g) and *A. hirsutus* (200,9±2,8 µg/g) have high γ-tocopherol content. The other three species have not γ-tocopherol content based on present results. D3 vitamin content of studied *Astragalus* species were determined between 2,94±0,18 µg/g (*A. odoratus*) and 12,53±,495 µg/g (*A. anthlloides*). Also, α-tocopherol content of *Astragalus* species have found between 3,99±0,14 µg/g (*A. campylorhynchus*) and 11,9±0,66 µg/g (*A. cephalotes* var. *cephalotes*). However, it was found that *A. hirsutus* only have beta caroten content (3,55±0,43 µg/g) among five *Astragalus* species. Five *Astragalus* don't have r-tocopherol content in this study. The only three *Astragalus* species (*A. anthlloides*; *Astragalus leporinus* var. *hirsutus*; *A. campylorhynchus*) have a-tocopherol acetate content (1,26±,011 µg/g, 1,12±0,17 µg/g, 3,41±0,27 µg/g, respectively). On the other hand, D2, K1, retinol, retinol acetate contents of studied five *Astragalus* species found trace amounts or absent.

#### 4. Conclusions

Legumes are the most significant foods consumed by humans especially in many areas of world including Asia, Europe and Africa [26]. Several studies indicated that legumes have complex carbohydrates, vitamins, fibers, polyphenols [27]. Results from present study demonstrated that studied five *Astragalus* species have D3 vitamin content of studied *Astragalus* species were found between 2,94±0,18 µg/g and 12,53±,495 µg/g. Whereas, these study showed that *Astragalus leporinus* var. *hirsutus* have 3,55±0,43 µg/g beta-carotene content. However, E-Siong et al. [28] indicated that for most of the legumes, the major carotenoids detected were b-carotene, lutein and cryptoxanthin. Fernandez-Marin et al. [29] found that total carotenoids of legume seeds were between 01.±0.1 µg/g and 17.7.±2.2 µg/g. in another study done by E.-Siong et al. [28] it was found that carotene content of legumes were 9.2±10 mg/kg. Valdivielso et al. [30] indicated that beta-carotene content of legume species were 2.91 ± 0.148 mg/100g.

Tocopherols, are lipide-soluble vitamins which play active role the scavenging of free radicals in the cell [31]. α-tocopherol content of *Astragalus* species have found between 3,99±0,14 µg/g and 11,9±0,66 µg/g, int this study. A-tocopherol was found as main content study by Valdivielso et al. [30]. A-tocopherol contents of studied three species in present study were found 1,12±0,17 µg/g and 3,41±0,27 µg/g apart from *A. cephalotes* var. *cephalotes* and *Astragalus odoratus* which don't have a-tocopherol content. Data obtained from present work determined that *A. anthlloides* (208,95±4,09 µg/g) and *Astragalus leporinus* var. *hirsutus* (200,9±2,8 µg/g) have high gamma tocopherol content among studied five taxa. Smilarly, Wyatt et al. [32] found that γ-tocopherol was high levels. Also, Cho et al. [33] found that legumes were found to contain only γ-tocopherols (86.1–146.8 mg/kg). Fernandez-Marin et al. [29] determined that γ-tocopherol was the most abundant isoform in all legume species, except for *Vigna* and *Arachis*, where δ-tocopherol and α-tocopherol were the main isoforms, respectively. Present study indicated that studied r-tocopherol, D2, K1, retinol and retinol acetate contents of *Astragalus* species were lowest amounts or absent.

#### References

- [1] Chamberlain D.F., Mathews M.A. 1970. *Astragalus* L. In: Davis PH (ed.). *Flora of Turkey and the East Aegean Islands*, Vol. 3. UK: Edinburgh University Press, pp. 49 Edinburgh.
- [2] Duran A., Aytac Z. 2005. *Astragalus nezaketiae* (Fabaceae), a new species from Turkey, Ann. Bot. Fennici, 42: 381-385.
- [3] Martin E., Duran A., Dinc M., Erisen S. 2008. Karyotype Analyses of Four *Astragalus* L. (Fabaceae) Species From Turkey. *Phytologia*, 90 (2): 147-159.
- [4] Podlech D. 1986. Taxonomic and phytogeographical problems in *Astragalus* of the Old World and South-West Asia. *P Roy Soc Edinb B*, 89: 37-43.
- [5] Cetin O., Martin E., Duran A., Ozdemir A. 2010. Karyological study on endemic *Astragalus stereocalyx* Bornm. (Milk-vetch) in Turkey. *Biological Diversity and Conservation*, 3/3: 153-157.
- [6] Keskin C., Kacar S. 2013. Fatty acid composition of root and shoot samples of some *Astragalus* L. (Fabaceae) taxa growing in the east and southeast of Turkey. *Turk J. Biol.*, 37: 122-128.

- [7] Jaradat N.A., Zaid A.N., Abuzant A., Khalaf S., Abu-Hassan N. 2017. Phytochemical and biological properties of four *Astragalus* species commonly used in traditional Palestinian medicine. *European Journal of Integrative Medicine*, 9: 1-8.
- [8] Podlech D. 1999. New Astragali and Oxytropis from North Africa and Asia, including some new combinations and remarks on some species. *Sendtnera*, 6: 135-171.
- [9] Agar G., Bozari S., Adiguzel A., Baris O., Gulluce M., Sengul M., Sahin F. 2009. Phenotypic and genetic variation among *Astragalus* species from Turkey. *Romanian Biotechnological Letters*, 14 (2): 4267-4274.
- [10] Bellakhdar J. 1997. *La Pharmacopée Marocaine Traditionnelle*, Ibis Press, Paris, France.
- [11] Kumar S., Sefuhle N., Bouic P.J., Rosenkranz B. 2018. HPLC/LC-MS Guided Phytochemical and In vitro Screening of *Astragalus membranaceus* (Fabaceae), and Prediction of Possible Interactions with CYP2B6, *Journal of Herbal Medicine*, 14: 35-47.
- [12] Arumungam R., Kirkan B., Sarikurkcu C. 2018. Phenolic profile, antioxidant and enzyme inhibitory potential of methanolic extracts from different parts of *Astragalus ponticus* Pall. *South African Journal of Botany* in press. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2018.07.002>.
- [13] Liu Y., Liu J., Wang Y., Abozeid A., Tang Z.H. 2016. Simultaneous determination of six active metabolites in *Astragalus mongholicus* (Fisch.) Bge. Under salt stress by ultra-pressure liquid chromatography with tandem mass spectrometry, 5: 927.
- [14] Ionkova I., Shkondrov A., Krasteva I., Ionkov T. 2014. Recent progress in phytochemistry, pharmacology and biotechnology of *Astragalus* saponins. *Phytochemistry Reviews*, 13 (2): 343-374.
- [15] Bratkov V., Shkondrov A., Zdraveva P., Krasteva I. 2016. Flavonoids from the genus *Astragalus*: phytochemistry and biological activity. *Pharmacogn. Rev.*, 10: 11. <http://dx.doi.org/10.4103/0973-7847.176550>
- [16] Krasteva I., Shkondrov A., Ionkova I., Zdraveva P. 2016. Advances in phytochemistry, pharmacology and biotechnology of Bulgarian *Astragalus* species. *Phytochem. Rev*, 15 (4): 567-590.
- [17] Liu Y., Liu J., Wu K.X., Guo X.R., Tang Z.H. 2018. A rapid method for sensitive profiling of bioactive triterpene and flavonoid from *Astragalus mongholicus* and *Astragalus membranaceus* by ultra-pressure liquid chromatography with tandem mass spectrometry. *Journal of Chromatography B*, 1085: 110-118.
- [18] Shkondrov A., Krasteva I., Bucar F., Kunert O., Kondeva-Burdina M., Ionkova I. 2018. Flavonoids and saponins from two Bulgarian *Astragalus* species and their neuroprotective activity. *Phytochemistry Letters*, 26: 44-49.
- [19] Balch P. 2006. *Prescription for Nutritional Healing* (4th Ed.). Avery Penguin Putnam. ISBN 978-1-58333-236-8.
- [20] Ko J.K., Chik C.W. 2009. The protective action of radix *Astragalus membranaceus* against hapten induced colitis through modulation of cytokines. *Cytokine*, 47: 85-90.
- [21] Guo K., He X., Zhang Y., Li X., Yan Z., Pan L., Qin B. 2016. Flavonoids from aerial parts of *Astragalus hoantchy*. *Fitoterapia*, 114: 34-39.
- [22] Shang H., Chen S., Li R., Zhou H., Wu H., Song H., 2018. Influences of extraction methods on physicochemical characteristics and activities of *Astragalus cicer* L. polysaccharides. *Process Biochemistry*, 73: 220-227.
- [23] Hara A., Radin N.S. 1978. Lipid extraction of tissues with a low-toxicity solvent. *Anal. Biochem.*, 90 (1): 420-426.
- [24] Sanchez-Machado D.I., Lopez-Hernandez J., Paseiro-Losado P. 2002. High-performance liquid chromatographic determination of a-tocopherol in macroalgae. *Journal of Chromatography A*, 976 (1): 277-284.
- [25] Yılmaz O., Keser S., Tuzcu M., Cetintas B. 2007. Resveratrol (trans-3,4',5-trihydroxystilbene) decreases lipid peroxidation level and protects antioxidant capacity in sera and erythrocytes of old female Wistar rats induced by the kidney carcinogen potassium bromate. *Envir. Toxicol. Pharmacol.*, 24: 79-85.
- [26] Gumienna M., Lasik M., Czarnecki Z. 2009. Influence of plant extracts addition on the antioxidative properties of products obtained from green lentil seeds during in vitro digestion process. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 59: 295-298.



- [27] Oboh G. 2006. Antioxidant properties of some commonly consumed and under utilized tropical legumes. *Eur Food Res Technol.*, 224: 61-65.
- [28] E-Siong T., Ah-Heng G., Swan-Choo K. 1995. Carotenoid composition and content of legumes, tubers and starchy roots by HPLC. *Mal J Nutr*, 1: 63-74.
- [29] Fernandez-Marin B., Milla R., Martin-Robles N., Arc E., Kranner I., Becerril J.M., Garcia-Plazaola I. 2014. Side-effects of domestication: cultivated legume seeds contain similar tocopherols and fatty acids but less carotenoids than their wild counterparts. *BMC Plant Biology*, 14: 1599.
- [30] Valdivielso I., Bustamante M.A., Gordo J.C.R., Najera A.I., Renobales M., Barron L.J.R. 2015. Simultaneous analysis of carotenoids and tocopherols in botanical species using one step solid-liquid extraction followed by high performance liquid chromatography. *Food Chemistry*, 173: 709-717.
- [31] Ryan E., Galvin K., O'Connor P., Maguire A.R., O'Brien N.M. 2007. Phytosterol, Squalene, Tocopherol Content and Fatty Acid Profile of Selected Seeds, Grains, and Legumes. *Plant Foods Hum Nutr.*, 62: 85-91.
- [32] Wyatt C.J., Carballido S.P., Mendez R.O. 1998.  $\alpha$ - and  $\gamma$ -tocopherol Content of Selected Foods in the Mexican Diet: Effect of Cooking Losses. *J. Agric. Food Chem.*, 46: 4657-4661.
- [33] Cho Y.S., Yeum K.J., Chen C.Y., Beretta G., Tang G., Krinsky N.I., Yoon S., Lee-Kim Y.C., Blumberg J.B., Russell R.M. 2007. Phytonutrients affecting hydrophilic and lipophilic antioxidant activities in fruits, vegetables and legumes. *Journal of The Science of Food and Agriculture*, 87 (6): <https://doi.org/10.1002/jsfa.2817>.

---

*Araştırma Makalesi / Research Article*

---

## **Van Balığında (*Alburnus tarichi* Güldenstädt, 1814) Üreme Göçü Sırasında Oksidatif Stresin Araştırılması**

Ahmet Regaib OĞUZ\*, Necati ÖZOK, Aso Hemn OMAR, Zehra ALKAN  
Ayşe Nur KIRAÇÇAKALI

*Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Van*

---

### **Öz**

Van Balığı, Türkiye'nin en büyük gölüne endemik anadrom bir türdür. Balıklar, her sene üremesini gerçekleştirmek için alkali Van Gölü'nden göle dökülen tatlı sulara göç ederler. Balık bu göç sırasında açlık, tuz ve pH adaptasyonu gibi farklı stres faktörlerine maruz kalır. Bu çalışmada, Van Balığının üreme göçü öncesi ve sonrasında plazma, solungaç, karaciğer, beyin ve kas gibi dokularındaki total oksidan ve antioksidan, lipid peroksidasyon ve DNA hasarları karşılaştırıldı. Total oksidan durum (TOS) üreme öncesi gölden yakalanan balıkların karaciğer ve böbrek dokularında, total antioksidan durum (TAS) ise akarsudan yakalanan balıklarda karaciğerde, gölden yakalanan balıkların ise beyin ve böbrek dokularında yüksek olduğu bulundu ( $P<0.05$ ). Malondialdehit (MDA) seviyelerinin akarsudan örneklenen balıkların karaciğerinde gölden örneklenen balıklarda ise böbreklerinde daha fazla olduğu belirlendi ( $P<0.05$ ). DNA hasarının ise sadece tatlı sudan örneklenen balıkların karaciğerinde arttığı belirlendi. Sonuç olarak, Van Balığında üreme göçü sırasında karşılaşılan stres etkilerine karşı organların gösterdiği tepkiler belirlendi.

**Anahtar kelimeler:** Van Balığı, Oksidatif Stres, Lipid Peroksidasyon, DNA Hasarı, *Alburnus tarichi*.

---

## **Investigation of Oxidative Stress in Van Fish (*Alburnus tarichi* Güldenstädt, 1814) During Reproductive Migration**

### **Abstract**

Van Fish is an anadromous species of endemic to Turkey's largest lake. The fish migrate to the freshwater pouring from the alkaline Lake Van to the lake for the reproduction every year. Fish are exposed to different stress factors such as fasting, salt and pH adaptation during migration. In this study, total oxidant and antioxidant, lipid peroxidation and DNA damages in tissues such as gill, liver, plasma, brain and muscle were compared before and after reproductive migration. Total oxidant status (TOS) of the fish caught in the lake before reproduction, liver and kidney tissues, total antioxidant status (TAS), fish liver caught from freshwater, fish from the lake were observed to be high in the brain and kidney tissues ( $P<0.05$ ). Malondialdehyde (MDA) levels were found to be higher in the liver and kidney of the fish sampled from the freshwater and lake, respectively. ( $P<0.05$ ). DNA damage was found only in the liver of fish sampled from freshwater. As a result, the reactions of the organs against stress effects encountered during reproduction migration were determined.

**Keywords:** Van Fish, Oxidative stress, Lipid peroxidation, DNA damage, *Alburnus tarichi*.

---

### **1. Giriş**

Reaktif oksijen türleri, aerobik solunumun bir sonucu olarak canlılarda meydana gelir. Artan oksidanlar sonucunda oksidatif stres meydana gelir. Oksidatif stres hücrelerde protein, lipid, DNA ve diğer moleküllere zarar verebilir. Antioksidanlar, reaktif oksijen türlerinin oluşumunu ve bunların meydana getirdiği hasarı önlemek üzere görev yapan enzimlerdir [1-2]. Artan serbest radikaller aynı zamanda lipid peroksidasyonuna sebep olarak hücre membran işlevlerinin bozulmasına neden olur.

---

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

Geliş Tarihi: 13.01.2019, Kabul Tarihi: 21.01.2019

Sonuç olarak lipid peroksidasyonunun yıkım ürünü olan malondialdehit oluşur ve lipidlerin oksidatif hasarının belirlenmesinde indikatör olarak kullanılır. Ayrıca, artan reaktif oksijen türleri hücrelerde DNA hasarına da neden olmaktadır. 8-hidroksi-2'-deoksiguanozin (8-OHdG), oksidatif baz hasar ürünü olup DNA hasarının belirlenmesinde yoğun olarak kullanılmaktadır [3].

Balıklarda oksidatif stres, pek çok faktör tarafından etkilenir. Bunların başında sıcaklık, tuz adaptasyonu, açlık, ksenobiyotikler ve hastalıklar gelmektedir. Sıcaklık artışı bütün canlılarda metabolik aktiviteleri artırır. Artan metabolizma ile ihtiyaç duyulan oksijen miktarı da artar ve sonuç olarak total oksidan seviyesi artar. Farklı canlı gruplarında sıcaklığa bağlı olarak oksidatif stresin arttığı bildirilmiştir [4]. Balıklarda tuz adaptasyonu sırasında pek çok fizyolojik değişim gözlenmektedir. Bunlar enerji metabolizmasının artması, iyon dengesinin ayarlanması, moleküler ve hücresele değişimler ve hormonal düzenlemelerdir. Balıklarda hem deneysel olarak oluşturulan hem de doğal ortamda gerçekleşen tuz adaptasyonu sırasında da dokularında reaktif oksijen türleri oluşarak oksidatif hasara neden olmaktadır [5-6]. Uzun süreli açlık, memelilerde olduğu gibi balıklarda da özellikle enerji metabolizmasının gerçekleştiği karaciğerde oksidatif hasara neden olmuştur [7-8]. Balıklarda farklı içeriğe sahip besinlerin de karaciğerde oksidatif durum üzerine etkili olduğu bildirilmiştir. Özellikle yüksek lipid içeriğe sahip besinler katalaz ve süperoksit dismutaz gibi antioksidan enzim seviyelerini arttırmıştır [9].

Van Balığı (*Alburnus tarichi*) göl suyu sıcaklığına bağlı olarak yıl içerisinde farklı derinliklerde sürüler halinde dolaşır. Üreme mevsimi olan Nisan ve Temmuz ayları arasında göle dökülen tatlı sulara göç eder. Balık, tatlı sulara girmeden önce göl suyu ve tatlı suyun karıştığı akarsu ağzlarında bekleyerek muhtemelen adaptasyon için moleküler ve hücresele değişimleri gerçekleştirir. Yoğun sürüler halinde tatlı sulara geçen balıklar dışarıdan yem almaz. Balık, tatlı su içerisinde su yılanları, kuşlar ve insanların avlanma baskısı altındadır. Ayrıca göçün gerçekleştiği akarsuların sıcaklığı ile göl suyu arasında az da olsa farklılık vardır. İyon içeriği açısından da göl suyu tatlı sulara göre oldukça zengindir [10].

Balıklardaki oksidatif stres çalışmaları, genel olarak çevresel kirleticilerin etkilerinin belirlenmesi üzerine yoğunlaşmıştır [2, 11-12]. Balıklar için büyük öneme sahip üreme göçü sırasındaki oksidatif stres çalışmaları oldukça sınırlıdır. Bu çalışmada, bölge halkı için ucuz ve önemli bir protein kaynağı olan Van Balığının üreme göçü sırasında farklı dokularındaki oksidatif stres incelenmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

Van balıkları, Nisan ve Temmuz ayları arasında Van Gölü'nden ve göle dökülen akarsulardan (Karasu Çayı) sırasıyla uzatmalı fanyalı ağ ve serpmeye ağlarla yakalandı. Yakalanan balıklara anestezi işlemi uygulandıktan sonra çatal boy (cm) ve total ağırlık (gr) ölçümleri yapıldı. Kuyruk kısmından heparin içeren enjektörlerle kanları alınan balıklar, daha sonra disekte edilerek karaciğer, solungaç, beyin, kas ve böbrek dokuları alındı. Doku örnekleri, 0.1 mM EDTA ve % 0.1 triton X100 içeren 10 kat (v:v) Tris HCl (pH: 7.8) ile homojenize edildi. Homojenatlar 4 °C'de 30 dakika santrifüj edildi ve süpernatantlar analiz için kullanıldı.

Bu çalışma için Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Hayvan Deneyleri Yerel Etik Kurulu'ndan 25.01.2018 tarih ve 2018/01 karar sayısı ile gerekli izinler alınmıştır.

### 2.1. Total antioksidan seviyeleri (TAS) ve total oksidan seviyeleri (TOS)

Total antioksidan seviyeleri (TAS) ve total oksidan seviyeleri (TOS) hazır kitler (Rel Assay Diagnostics, Gaziantep) ile belirlendi. Ekstrakte edilen dokulara kit prosedürü uygulandı.

### 2.2. Malondialdehit (MDA) seviyelerinin belirlenmesi

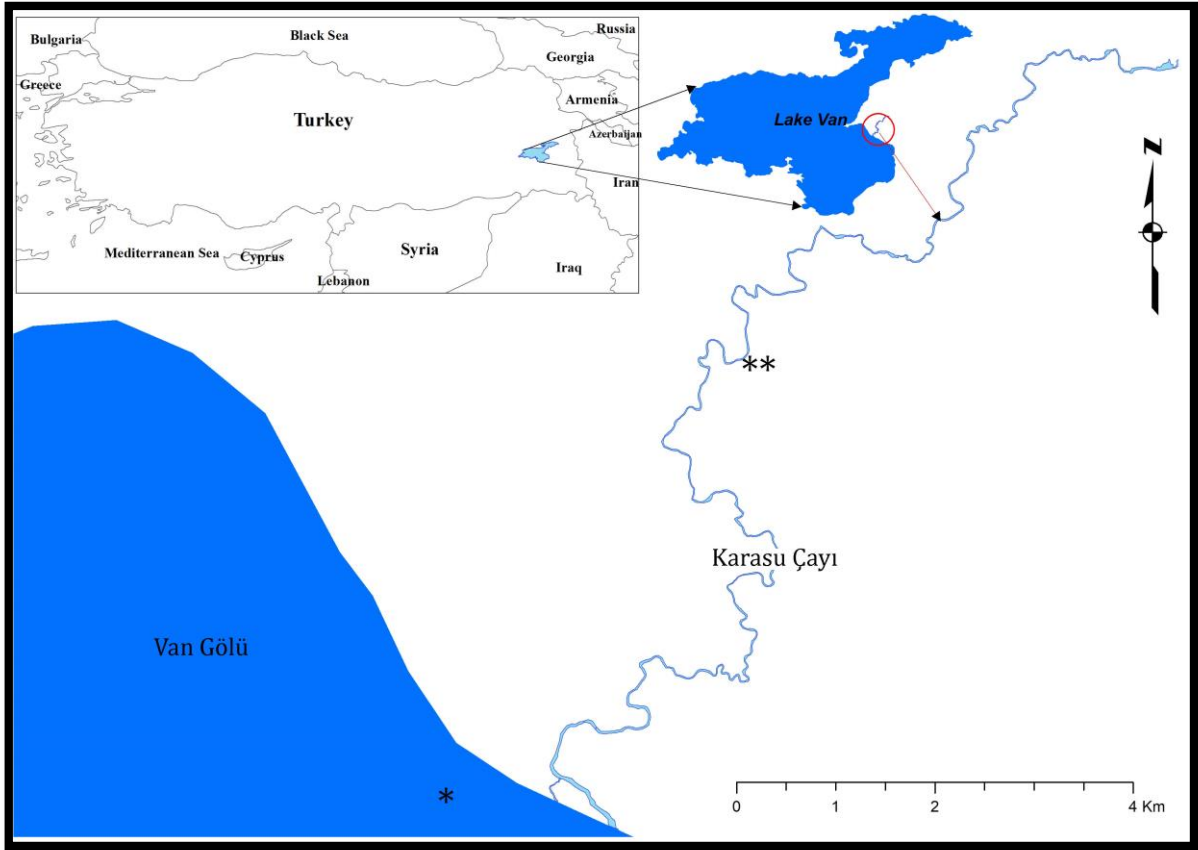
MDA konsantrasyonu Jain vd. [13]'nin spektrofotometrik metoduyla ölçüldü. Doku ekstraktından sonra 0.2 mL süpernatant, 0.8 mL fosfat tamponu (pH 7.4), 0.025 mL butile hidroksitolüen ve 0.5 mL % 30 trikloroasetik asit, efendorph tüplerine alındı ve karıştırıldı. -20 ° C'de 2 saat inkübasyondan sonra, karışım 15 dakika boyunca santrifüj edildi. Daha sonra, her bir tüpe 1 mL süpernatant alınmış ve daha sonra 75 µL 0.1 mol EDTA ve 0.25 mL % 1 tiyobarbutirik asit eklenmiştir. Tüpler 90 ° C'de 15 dakika boyunca bir su banyosunda inkübe edildi ve oda sıcaklığına soğutuldu. Tiyobarbutirik asit ile MDA'nın oluşturduğu renkli kompleksin absorbansı 532 nm dalga boyunda ölçüldü.

### 2.3 DNA hasarının belirlenmesi

Ekstrakte edilen dokulardaki DNA hasar seviyeleri hazır ELISA kit (8-Hydroxy-desoxyguanosine,8-OHdG ELISA Kit E1436 BT-Laboratory) kullanılarak belirlendi. Test sonucunda her kuyucuğun optik dansitesi, durdurma çözeltisi eklendikten sonra 30 dakika içinde 450 nm'ye ayarlanmış bir mikroploka okuyucu kullanılarak belirlendi.

### 2.4. İstatistiksel Analiz

Analizler sonucunda elde edilen değerler ortalama±standart hata olarak ifade edildi. Farklı örnekleme alanlarından ortaya çıkan değerlerin ikili karşılaştırmaları için t-test yapılarak farklılık ortaya konuldu. Değerler arasındaki fark 0.05'e göre yapıldı.



Şekil 1. Van Balığının üremesini gerçekleştirdiği Karasu Çayı. \* Van Gölü ve \*\*Karasu Çayı Örnekleme alanları.

### 3. Bulgular ve Tartışma

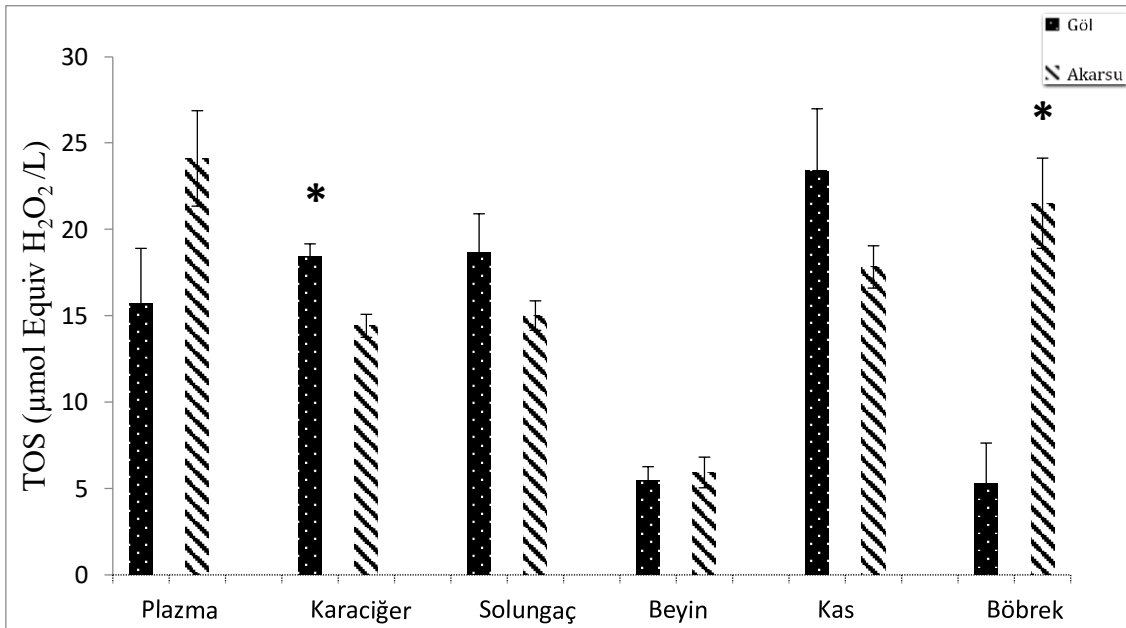
Balıkların üreme göçü öncesi göl suyu ve tatlı suların karıştığı alanlarda sürüler halinde hareket ettikleri gözlemlendi. Tatlı suya (Karasu çayı) da yine sürüler halinde göç ettikleri belirlendi (Şekil 2).

Tatlı sudan yakalanan balıkların sindirim kanalının genellikle boş veya boşa yakın olduğu gözlemlendi. Gölden yakalanan balıkların gonadlarında yumurta ve spermlerin bulunduğu; akarsulardan örneklenen balıkların ise yumurta ve spermini bıraktığı ve üremesini tamamladığı belirlendi.



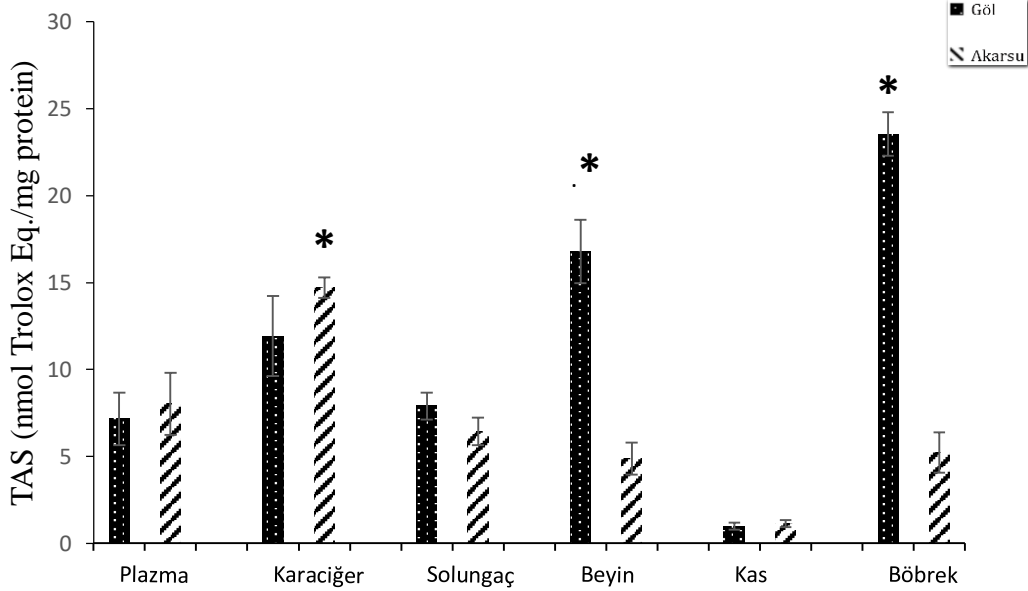
Şekil 2. Van Balığının Karasu Çayındaki üreme göçü

TOS seviyesi gölden örneklenen balıkların karaciğerinde ve akarsudan yakalanan balıkların böbreklerinde artış göstermiştir ( $P < 0.05$ ) (Şekil 3). Van Balığında üreme göçü sırasında gonad ağırlığı maksimum seviyeye ulaşır [14]. Yüksek gonadosomatik indekse sahip balıklar akarsuya girmeden önce göl ve tatlısuyun karıştığı bölgelerde zaman geçirerek adaptif değişimler geçirirler [10]. Gerekli olan enerji karaciğerden sağlanır. Tatlı suda balıkların glomerular filtrasyonu oldukça hızlıdır ve iyon kaybı minimum seviyededir. Balıklarda böbrekler tatlı sularda dilue idrar üreterek osmoregülasyonda etkin role sahiptir [15]. Bu nedenle tatlı suya adapte olan balıklarda bazal metabolizmaları tuzlu suya adapte olanlara göre yüksektir. Bu çalışmada da karaciğerde ve böbreklerde oksidanların artması beklenildiği gibidir.



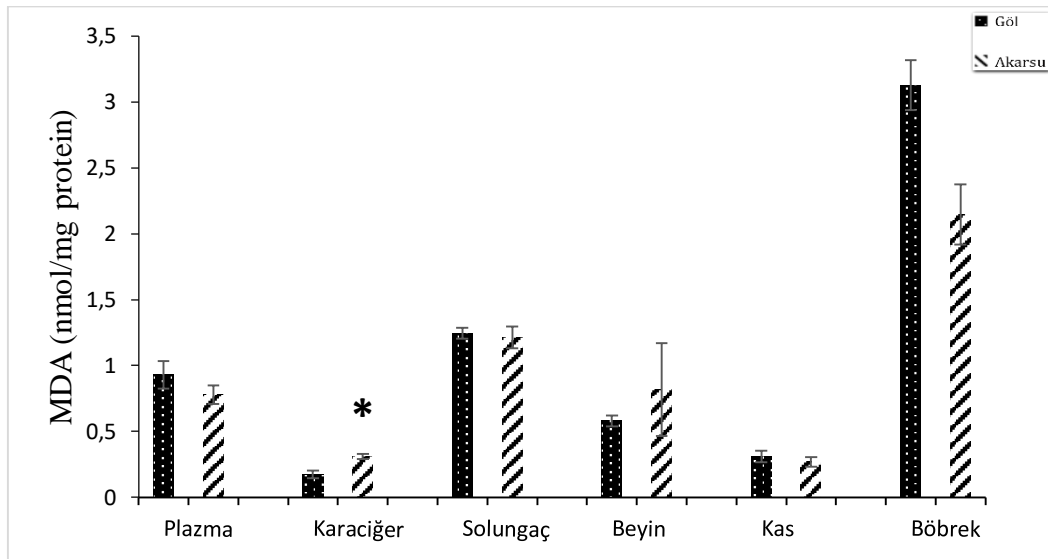
Şekil 3. Van Gölü ve tatlısu ortamlarından alınan Van Balığı dokularında total oksidan durum (TOS) seviyeleri \* istatistiksel farklılığı göstermektedir ( $P < 0.05$ ). (n:7).

Bu çalışmada, total antioksidan seviyesi karaciğerde artmış beyin ve böbrek dokularında ise azalmıştır ( $P < 0.05$ ) (Şekil 4). Daha önceki çalışmalarda balıklarda açlığın katalaz, süperoksit dismutaz, glutatyon peroksidaz seviyelerini arttırdığı bildirilmiştir [16-18]. Üreme göçü sırasında Van Balığının sindirim kanalının boş veya boşa yakın olduğu, dışarıdan besin almadığı belirlendi. Van Balıklarında açlık antioksidan enzim sentezini tetiklemiş olabilir.



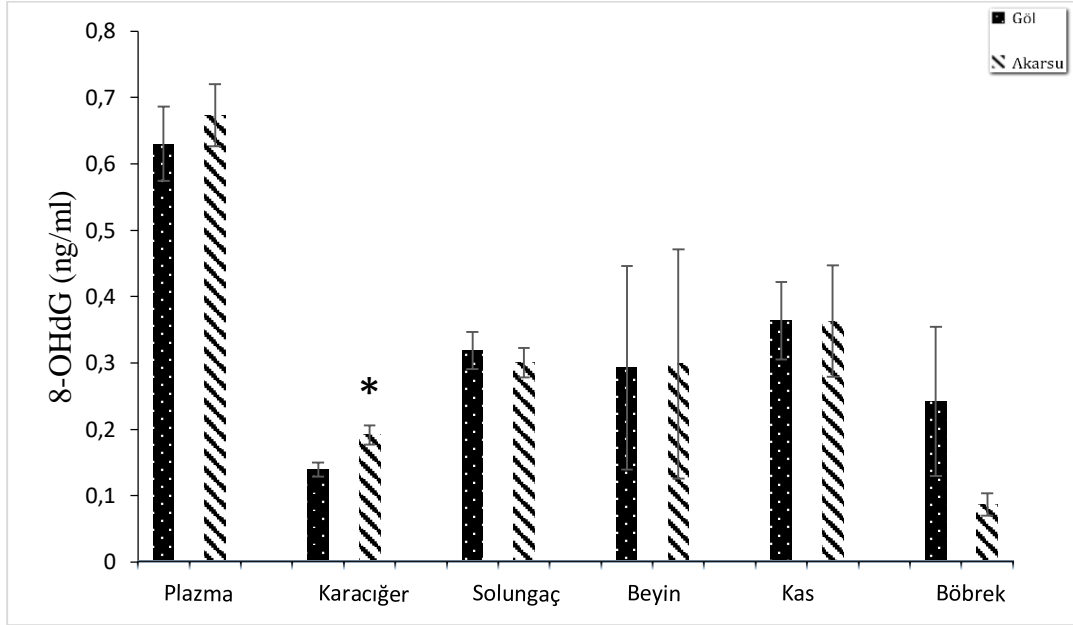
Şekil 4. Van Gölü ve tatlısu ortamlarından alınan Van Balığı dokularında total antioksidan durum (TAS) seviyeleri \* istatistiksel farklılığı göstermektedir ( $P < 0.05$ ). (n:7).

Lipid peroksidasyon, oksidatif stresin belirlenmesinde kullanışlı bir biyoindikatördür. Tatlısuya giren balıkların karaciğer MDA seviyeleri önemli oranda artış göstermiş ( $P < 0.05$ ), diğer dokularda ise bir farklılık bulunmamıştır ( $P > 0.05$ ) (Şekil 5). Üreme göçü sırasında Van Balıklarının dışarıdan besin almadığı, sindirim kanalının boş olduğu belirlenmiştir. Balıklarda açlığın karaciğerde oksidatif strese neden olduğu sonuç olarak MDA metabolitini arttırdığı pek çok çalışmada da belirtilmiştir [16, 19-20]. *Acipenser naccarii*'nin deneysel olarak artan tuz adaptasyonunda karaciğer MDA seviyesinde herhangi bir değişim bulunmamıştır [21-22]. Sonuç olarak, açlığın, karaciğer MDA seviyesi üzerine direkt etkisinin olduğu söylenebilir.



Şekil 5. Van Gölü ve tatlısu ortamlarından alınan Van Balığı dokularında malondialdehit (MDA) seviyeleri \* istatistiksel farklılığı göstermektedir ( $P < 0.05$ ). (n:7).

DNA hasarı dokulardan sadece tatlısudan örneklenen karaciğerde artış göstermiştir ( $P < 0.05$ ) (Şekil 6). Genetik materyal üzerinde meydana gelen tüm değişimler DNA hasarı olarak bilinir. Serbest radikallerde hücrelerde DNA hasarına neden olur. Bu çalışmada, serbest radikaller, antioksidan enzim sentezini ve DNA hasarını karaciğer dokusunda arttırmış olabilir [23].



Şekil 6. Van Gölü ve tatlısu ortamlarından alınan Van Balığı dokularında 8-hidroksi-2'-deoksiguanozin (8-OHdG) seviyeleri \* istatistiksel farklılığı göstermektedir ( $P < 0.05$ ). (n:7).

Solungaçlar balıklarda osmoregülasyonda rol oynayan temel dokulardandır. Bu çalışmada, solungaçların oksidatif stresten etkilenmemesi nedeni; dokunun moleküler ve hücresel adaptasyon kabiliyetinin yüksek olmasından kaynaklanmış olabilir. Van Balıklarında, daha önce yapılan çalışmalarda solungaç dokusundaki değişimler histolojik ve immünohistokimyasal olarak belirlenmiştir. Üreme göçü sırasında tatlı sulardaki klorid ve mukus hücrelerindeki değişimler ve lamellar füzyon değişimleri gözlemlenmiştir [24-25]. Bu çalışmada da balık solungaçındaki hücresel değişimler çevresel etkilerin solungaçta meydana gelebilecek oksidatif hasarın etkisini azaltmış olabilir.

Pasifik Somonunda üreme göçü sırasında en fazla etkilenen dokulardan biri kas dokusudur (beyaz kas, kırmızı kas, kalp kası) [5, 26]. Bu çalışmada ise üreme göçünün kas dokusu üzerine etkisi belirlenemedi ( $P < 0.05$ ). Pasifik Somon balığı ve diğer göç eden balıklarda uzun mesafeli göçler (1300 km) gerçekleşirken, Van Balığının üreme mesafesi ise daha kısadır (Şekil 1).

#### 4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışma sonucunda elde edilen bulgular, üreme göçünün Van Balığı'nda önemli biyokimyasal değişikliklere neden olduğunu göstermiştir. Üreme göçü sırasında artan metabolik aktivite balıkların farklı dokularında reaktif oksijen türlerinin artmasına yol açmıştır. Artan reaktif oksijen türleri, reaktif oksijen türleri ve antioksidanlar arasında dengenin bozulmasına ve oksidatif stresin oluşumuna neden olmuştur. Sonuç olarak üreme göçü sırasında en fazla etkilenen dokunun Van Balığında karaciğer olduğu belirlendi. Daha önceki çalışmalarda diğer dokularda gözlemlenen hasarın bu çalışmada daha az görülmesi, üreme göç süresinin ve üreme göç mesafesinin daha kısa olmasından kaynaklanmış olabilir.

#### Teşekkür

Bu çalışmanın yayınlanmasında beni teşvik ve motive eden biyoloji bölümü ve eczacılık fakültesi öğretim üyelerine teşekkür ederim.

## Kaynaklar

- [1] Lushchak V.I. 2011. Environmentally induced oxidative stress in aquatic animals. *Aquatic Toxicology*, 101 (1): 13-30.
- [2] Birnie-Gauvin K., Costantini D., Cooke S.J., Willmore W.G. 2017. A comparative and evolutionary approach to oxidative stress in fish: a review. *Fish and Fisheries*, 18 (5): 928-942.
- [3] Kasai H. 1997. Analysis of a form of oxidative DNA damage, 8-hydroxy-2'-deoxyguanosine, as a marker of cellular oxidative stress during carcinogenesis. *Mutation Research/Reviews in Mutation Research*, 387 (3): 147-163.
- [4] Almroth B.C., Asker N., Wassmur B., Rosengren M., Jutfelt F., Gräns A., Sundell K., Axelsson M., Sturve J. 2015. Warmer water temperature results in oxidative damage in an Antarctic fish, the bald notothen. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 468: 130-137.
- [5] Wilson S.M., Taylor J.J., Mackie T.A., Patterson D.A., Cooke S.J., Willmore W.G. 2014. Oxidative stress in Pacific salmon (*Oncorhynchus* spp.) during spawning migration. *Physiological and Biochemical Zoology*, 87 (2): 346-352.
- [6] Liu Y., Wang W.N., Wang A.L., Wang J.M., Sun R.Y. 2007. Effects of dietary vitamin E supplementation on antioxidant enzyme activities in *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931) exposed to acute salinity changes. *Aquaculture*, 265 (1-4): 351-358.
- [7] Bayir A., Sirkecioglu A.N., Bayir M., Haliloglu H.I., Kocaman E.M., Aras N.M. 2011. Metabolic responses to prolonged starvation, food restriction, and refeeding in the brown trout, *Salmo trutta*: oxidative stress and antioxidant defenses. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology*, 159 (4): 191-196.
- [8] Morales A.E., Pérez-Jiménez A., Hidalgo M.C., Abellán E., Cardenete G. 2004. Oxidative stress and antioxidant defenses after prolonged starvation in *Dentex dentex* liver. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology*, 139 (1): 153-161.
- [9] Rueda-Jasso R., Conceição L.E., Dias J., De Coen W., Gomes E., Rees J.F., Sorgeloos P. 2004. Effect of dietary non-protein energy levels on condition and oxidative status of Senegalese sole (*Solea senegalensis*) juveniles. *Aquaculture*, 231 (1-4): 417-433.
- [10] Danulat E, Selçuk B. 1992. Life history and environmental conditions of the anadromous *Chalcalburnus tarichi* (Cyprinidae) in the highly alkaline Lake Van, Eastern Anatolia, Turkey. *Arch Hydrobiol.*, 126 (1): 105–125.
- [11] Kelly K.A., Havrilla C.M., Brady T.C., Abramo K.H., Levin E.D. 1998. Oxidative stress in toxicology: established mammalian and emerging piscine model systems. *Environmental health perspectives*, 106 (7): 375-384.
- [12] Slaninova A., Smutna M., Modra H., Svobodova Z. 2009. REVIEWS Oxidative stress in fish induced by pesticides. *Neuroendocrinology Letters*, 30 (1): 2.
- [13] Jain S.K., McVie R., Duett J., Herbst J.J. 1989. Erythrocyte membrane lipid peroxidation and glycosylated hemoglobin in diabetes. *Diabetes*, 38 (12): 1539-1543.
- [14] Ünal G., Çetinkaya O., Elp M. 1999. Histological investigation of gonad development of *Chalcalburnus tarichi* (P., 1811). *Turkish Journal of Zoology*, 23 (EK1): 329-338.
- [15] Marshall W.S., Grosell M. 2006. Ion transport, osmoregulation, and acid-base balance. *The physiology of fishes*, 3: 177-230.
- [16] Pascual P., Pedrajas J.R., Toribio F., López-Barea J., Peinado J. 2003. Effect of food deprivation on oxidative stress biomarkers in fish (*Sparus aurata*). *Chemico-biological interactions*, 145 (2): 191-199.
- [17] Nam Y.K., Cho Y.S., Choi B.N., Kim K.H., Kim S.K., Kim D.S. 2005. Alteration of antioxidant enzymes at the mRNA level during short-term starvation of rockbream *Oplegnathus fasciatus*. *Fisheries Science*, 71 (6): 1385-1387.
- [18] Welker T.L., Congleton J.L. 2005. Oxidative stress in migrating spring Chinook salmon smolts of hatchery origin: changes in vitamin E and lipid peroxidation. *Transactions of the American Fisheries Society*, 134 (6): 1499-1508.
- [19] Hidalgo M.C., Exposito A., Palma J.M., de la Higuera M. 2002. Oxidative stress generated by dietary Zn-deficiency: studies in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *The international journal of biochemistry & cell biology*, 34 (2): 183-193.



- [20] Varju M., Müller T., Bokor Z., Żarski D., Mézes M., Balogh K. 2018. The effects of excessive starvation on antioxidant defence and lipid peroxidation in intensively reared, commercial-size pikeperch (*Sander lucioperca* L.). The Egyptian Journal of Aquatic Research, 44 (4): 349-352.
- [21] Martínez-Alvarez R.M., Hidalgo M.C., Domezain A., Morales A.E., García-Gallego M., Sanz A. 2002. Physiological changes of sturgeon *Acipenser naccarii* caused by increasing environmental salinity. Journal of experimental biology, 205 (23): 3699-3706.
- [22] Martínez-Álvarez R.M., Morales A.E., Sanz A. 2005. Antioxidant defenses in fish: biotic and abiotic factors. Reviews in Fish Biology and fisheries, 15 (1-2): 75-88.
- [23] Barzilai A., Yamamoto, K.I. 2004. DNA damage responses to oxidative stress. DNA Repair, 3 (8-9): 1109-1115.
- [24] Oğuz A.R. 2015. Histological changes in the gill epithelium of endemic Lake Van Fish (*Chalcalburnus tarichi*) during migration from alkaline water to freshwater, North-Western Journal of Zoology 11 (1): 51-57.
- [25] Oğuz A.R. 2013. Environmental regulation of mitochondria-rich cells in *Chalcalburnus tarichi* (Pallas, 1811) during reproductive migration. The Journal of membrane biology, 246 (3): 183-188.
- [26] Miller K.M., Schulze A.D., Ginther N., Li S., Patterson D.A., Farrell A.P., Hinch S.G. 2009. Salmon spawning migration: metabolic shifts and environmental triggers. Comparative Biochemistry and Physiology Part D: Genomics and Proteomics, 4 (2): 75-89.

---

*Araştırma Makalesi / Research Article*

---

## **Yanma Odası Elemanları Bor Kaplı Bir Dizel Motorun Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub> Kaplı Egzoz Borusu Üzerine Etkisi**

Serhat ŞAP<sup>\*1</sup>, Hanbey HAZAR<sup>2</sup>, Emine ŞAP<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Bingöl Üniversitesi, Teknik Bilimler M.Y.O., Bingöl, Türkiye

<sup>2</sup>Fırat Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Elazığ, Türkiye

---

### **Öz**

Dizel motorların maruz kaldığı durumlar göz önüne alındığında; özellikle yanma odası parçalarının üzerinde aşırı ısınma, artan basınç, düzenli olamayan ısı dirençler ve şoklar, sürtünme, aşınma ve korozyon gibi yanmanın doğasından oluşan, motor parçaları için istenmeyen şartlar hasil olmaktadır. Bu şartlar sonraki zamanlarda, motor parçaları üzerinde bozulma ve çatlaklara neden olarak malzemenin özelliğini etkilemekte ve sonucunda ise motorun çalışma kalitesinin düşmesine neden olmaktadır. Bu sebepler neticesinde oluşan niteliksiz bir yanma ise tehlikeli emisyon oluşturarak atmosferde sera gazı etkisi oluşturabilmektedir. Bu çalışmada yanma odası elemanları bor ile kaplanmış bir dizel motorun, içi ve dışı krom karbür kaplı bir egzoz borusu üzerindeki etkisi araştırılmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Bor, Krom Karbür, Dizel motor, Egzoz Emisyon.

---

## **The Effect of a Diesel Engine with Boron Coating on Combustion Chamber Elements on a Exhaust Pipe with Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub> Coating**

---

### **Abstract**

Given the situations that diesel engines are exposed to; undesirable conditions for engine parts, especially due to overheating, increased pressure, irregular thermal resistances and shocks, friction, wear and corrosion on the parts of the combustion chamber in particular. These conditions later affect the properties of the material, causing deterioration and cracks on the engine parts, resulting in a decrease in the engine operating quality. For these reasons, an unqualified combustion in the resultant can create dangerous emissions and create greenhouse gas effects in the atmosphere. In this study, the effect of a diesel engine with combustion chamber elements boron coated on an exhaust pipe coated with chromium carbide inside and outside was investigated.

**Keywords:** Boron, Chrome Carbide, Diesel engine, Exhaust Emission.

---

### **1. Giriş**

Metalik parçaların fiziksel durumlarını geliştirmek üzere farklı metotlar kullanılmaktadır. Bu metotlar genellikle yüzey modifikasyon metotları şeklinde isimlendirilmekte olup, metalik parçaya fiziksel, kimyasal, termal veya termokimyasal şekilde yapılabilmektedir [1]. Bu işlemler sonucunda parçanın doğal özellikleri değiştirilebilmekte ve iyileştirilebilmektedir. Talebe istinaden korozyon, aşınma, her çeşit deformasyona karşı mukavemetli hale ulaştırabilmekte ve kullanım süresi uzatılabilmektedir [2].

Günümüzde otomobil alıcılarının ihtiyaçları da büyük ölçüde değişmiştir. Konfor ve tasarımın yanında, yakıt tüketimi ve verimlilik alıcı ve satıcıların en önemli konularından biri haline gelmiştir. Bunun nedenlerinden biri, giderek daha da sıklaşan yakıt verimliliği standartlarıdır. Mevcut Avrupa emisyon düzenlemelerine göre, aracın yol vergisi oranları egzoz emisyonlarıyla bağlantılıdır. Ayrıca, petrol rezervlerinin sınırlı olduğu gerçeği, daha fazla yakıt tasarrufunun kaçınılmaz bir ihtiyaç olduğunu göstermektedir [3]. Araç emisyonlarından kaynaklanan gazlar atmosfere yayılarak insan sağlığını tehdit

---

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

Geliş Tarihi: 07.06.2018, Kabul Tarihi: 10.10.2018

etmektedir. Ayrıca dünyadaki araç sayısındaki hızlı artışla beraber yenilenemeyen enerji kaynakları da hızla tükenmektedir. Bu nedenle doğalgaz, kömür, petrol ve bor gibi yenilenmesi çok uzun zaman alan enerji kaynaklarını en verimli şekilde kullanabilmek ve ortaya çıkan zararlı atıkları da en az seviyeye indirebilmek için çeşitli çalışmalar yapılmaktadır.

Dizel motorlarda motor performansının ve verimliliğinin güvenilirliğini ve dayanıklılığını artırmak için seramik termal bariyerli motor kaplaması uygulanabilir [4]. Endüstrideki gelişmelerle birlikte, benzinli ve dizel motorlarda verim artırma ve egzoz gazı değerlerini azaltmak için yapılan işler hızlı bir ivme ile sürmektedir. Dizel ve benzinli bir motorda silindir içerisindeki parçaların malzeme kalitesi, motor verimi ve egzoz emisyonu gibi parametreler birbiriyle bağlantılı elemanlardır. Bu unsurların malzeme kalitesinin iyileştirilmesi, yanma performansını etkileyeceği için motor verimini, dolaylı olarak egzoz emisyon değerlerini de olumlu bir şekilde değiştirecektir [5].

Bu çalışmada kaplama metodu olarak borlama metodu ve plazma sprej metodu kullanılmıştır. Bu çalışmayla dizel bir motorda; gömlek ve supaplar bor ihtiva eden malzeme ile borlama metoduyla kaplanarak malzemelerin üst kısımlarında inter metalik, ısı taşınımı düşük bir yalıtımlı yüzey oluşturulmuştur. Piston üst kısmı ve egzoz borusu ise plazma sprej yöntemi kullanılarak krom karbür ile kaplanmıştır. Elde edilen motor ise Termal Yalıtımlı Motor olarak adlandırılmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

Yapılan bu deneysel çalışmada tek silindirli, dört zamanlı dizel bir motorun silindir gömleği, egzoz ve emme supapları bor ihtiva eden tozlarla, piston üst kısmı ise krom karbür kaplamak suretiyle motora adyabatik özellik kazandırılmıştır. Silindir gömleği, egzoz ve emme supapları katı ortam borlama metodu ile piston üst kısmı ve egzoz boruları ise plazma sprej metodu kullanılarak kaplanmıştır. Gömlek ve supaplar katı ortam borlama metodu ile yaklaşık 150 mikron kalınlıkta Fe<sub>2</sub>B, piston üst kısmı ise 300 mikron kalınlığında (CoNiCrAl Yttra + NiCrBSi) tabakası ile kaplanmıştır. Bu kaplama işlemleri neticesinde aşınma ve ısı iletim direnci fazla, sürtünme katsayısı düşük, bir tabaka oluşturulmuştur. Dizel motor adyabatik hale getirilmiş olup motorda bir termal yalıtım elde edilmiştir. Egzoz borusunun iç ve dış bölümleri plazma sprej metoduyla krom karbür ile kaplanmıştır. Bu metodun tercih edilmesinin başlıca sebeplerinden biri de asıl parçanın karakteristiklerinde hiç bir değişikliğe imkan vermemesidir. Kaplama tabakası olarak krom tabanlı yüksek tokluğa sahip krom karbür kullanılmıştır. Bu tabaka, yaklaşık 100 mikron kalınlığında uygulanmıştır ve ana parçanın olumsuz faktörlerden (pas, korozyon vb gibi) bertaraf edilmesi amaçlanmıştır. Plazma sprej metodu, metal parçaların çeşitli malzemelerle kaplanmasıyla aşınma, oksitlenme ve korozyon gibi istenmeyen durumlara karşı mukavemetinin artırılmasında kullanılan bir kaplama metodudur. Bu metotla gerçekleştirilen yüzey işlemleri ile birçok istenmeyen durum bertaraf edildiği gibi, asıl parçanın tokluğu ve kolaylıkla şekillendirilebilme karakteristikleri de korunabilmektedir. Bu sebeplerden dolayı plazma sprej metodu, metalik parçaların ve seramik malzemelerin devasa karakteristiklerinin tek bir üründe birleşmesine olanak sağlamaktadır. Kaplama üretim parametreleri ise Tablo 1’de verilmiştir.

**Tablo 1.** Plazma sprej kaplamanın üretim parametreleri

Parametreler	
Plazma Tabancasının Adı	Sulzer Metco 9 MB 80 KW
Kaplama Kalınlığı (Mikron)	100 Mikron
Bağlayıcı Toz Adı	80/20, Ni/Cr
Bağlayıcı Toz Katman Kalınlığı (Mikron)	20-30 Mikron
Argon Basıncı (Psig), (1/dk.)	75 psig
Hidrojen Basıncı (Psig), Akışı (1/dk.)	50 psig
Toz Besleme Miktarı (gr/dk.)	45-60-g/dk
Püskürtme Mesafesi (cm)	8.5-9.0 cm
Taşıyıcı Gaz (N <sub>2</sub> ) Basıncı (bar), Akışı (1/dk.)	26 bar

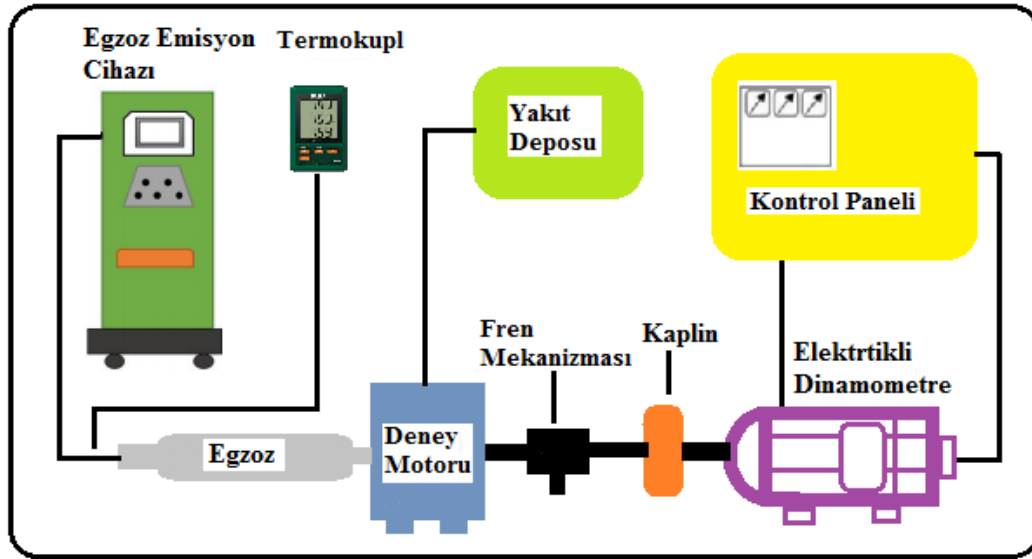
Dizel motora ait elemanların (gömlek, egzoz ve emme valfleri, pistonun tepesi) kaplanması işlemleri yapılmıştır. Deney sırasında yüzey işlemi olarak katı ortam bor kaplama ve plazma sprej kaplama metotları uygulanmıştır. Silindir gömleği ve valfler katı ortam bor kaplama metoduyla Ekabor-2 kaplama malzemesi ile, pistonun üst kısmı ise bor ihtiva eden (NiCrBSi) tozu ile plazma sprej metodu

uygulanarak kaplanmıştır. Ayrıca egzoz borusu plazma sprey yöntemi kullanılarak krom karbür ile kaplanmıştır. Kaplama işleminden sonra motor, emisyon testlerine tabi tutulmuştur. Tek silindir 6LD 400 Lombardini marka dizel motor deney motoru olarak kullanılmıştır. Bu çalışmada iki farklı egzoz kullanılmıştır. Bu egzoz borusunun ilki standart egzoz borusu (SEB), ikinci ise iç ve dış kısmı kaplı egzoz borularıdır (İDKB). Kullanılan motorun teknik özellikleri Tablo 2’de verilmiştir.

**Tablo 2.** Deneylerde kullanılan dizel motorun teknik özellikleri

Motorun markası ve tipi	6LD 400 Lombardini Dizel motor
Strok Sayısı	4
Silindir Sayısı	1
Silindir Çapı	86 mm
Silindir Hacmi	395 cm <sup>3</sup>
Strok	68 mm
Motor Gücü	6.25 / 8.5 (kW / HP)
Maksimum Tork	19.6 – 2000
Ağırlık	45 Kg
Yağlama	Tam basınçlı
Püskürtme Şekli	Direkt enjeksiyonlu tam dizel
Püskürtme Basıncı	200 kg/cm <sup>2</sup>
Soğutma Şekli	Hava soğutmalı
Devir	3600 dev/dk
Sıkıştırma Oranı	18:01
Boyutları	382 x 427 x 491 mm

Cussons P8160 model elektrikli dinamometre düzeneği üzerinde motor deneyleri yapılmıştır. Deney düzeneği; deneylerde kullanılan motor, egzoz emisyon aleti, fren tertibatı, termometre, dinamometre, yakıt tankı ve kumanda tertibatından oluşmaktadır. Şekil 1’de deney düzeneği görülmektedir.



**Şekil 1.** Motor test düzeneği şematik görünümü

Deney motoru olarak kaplanmış bir dizel motor kullanılmıştır ve egzoz emisyon deneyleri için, gerçek çalışma şartlarında yaklaşık 150 saat çalıştırılmıştır. Deney motoru deney tezgahına (bremzeye) bağlanmıştır. Bu işlemi takiben kaplı olmayan standart egzoz borusu(SEB), dış kısmı kaplı egzoz borusu (DKB) ve hem iç hem de dış kısmı kaplı (İDKB) sırayla deney motoruna monte edilmiştir. Deney motoru 1500, 1700, 1900, 2100 ve 2300 devirde 1/2 yük ile çalıştırılmış ve her devirde 10 farklı emisyon değeri tespit edilmiştir. 1500, 1700, 1900, 2100 ve 2300 devirler için 2 metre uzunluğundaki egzoz

boruları üzerinden 0.5'er metre bölüntülerle 5 değişik yerden egzoz gazı sıcaklığı değerleri (EGS) tespit edilmiştir. Benzer işlemler DKB ve İDKB içinde yinelenmiştir. Sonuçlar SEB ile kıyaslanmıştır.

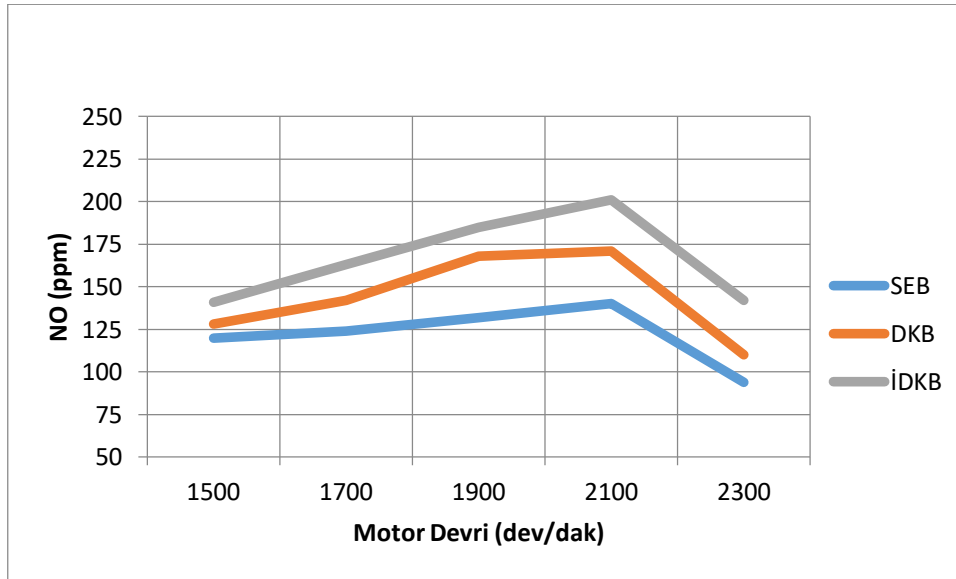
### 3. Bulgular ve Tartışma

#### 3.1. Egzoz Emisyon Değerleri

##### 3.1.1. NO<sub>x</sub> Emisyonu

Dizel motorda sıcaklık ve basınç bir önceki yanma sonucu kalan karışım, gereğinden çok oksijen, ateşleme gecikme zamanı ve tutuşma hızı azotoksit oluşumunu tetikleyen etkenlerdir [6]. Dizel motorda azot oksit gazı oluşumunda; adyabat alev sıcaklığı, sıcaklık salınım oranı ve stokiyometrik yanma da kayda değer sonuçlar görülebilmektedir. Azotoksitler genellikle 1400 °C üzerindeki sıcaklıklarda oluşur. Özellikle oksijenin fazla bulunduğu bölgelerdeki sıcaklığın yüksekliği ve bu sıcaklıkta kalma süresi oldukça etkilidir. Azotoksit oluşumu üzerinde; ortamda bulunan N<sub>2</sub> ve O<sub>2</sub> miktarları da etkili bir faktördür [7].

NO<sub>x</sub> miktarı yanma odası sıcaklığı ile doğru orantılı olarak değişir. Kaplanmış ve kaplanmamış egzoz borularının NO<sub>x</sub> emisyonu grafikleri Şekil 2'de görülmektedir. Motor devri yükseldikçe yanma şartları iyileşmekte ve yanma sonu sıcaklığı yükselmektedir. Bu sebepten azotoksit gazları 1900-2300 d/dk devir aralığında artmaktadır. Devir çok fazla yükseltirse maksimum motor devrine yaklaşan kısımlarda yanma şartlarının kötüleşmesi ortalama efektif basıncın düşmesine, yanma için kullanılan sürenin azalmasına ve azotoksit gazlarının düşük seviyelerde olmasına sebep olabilmektedir.



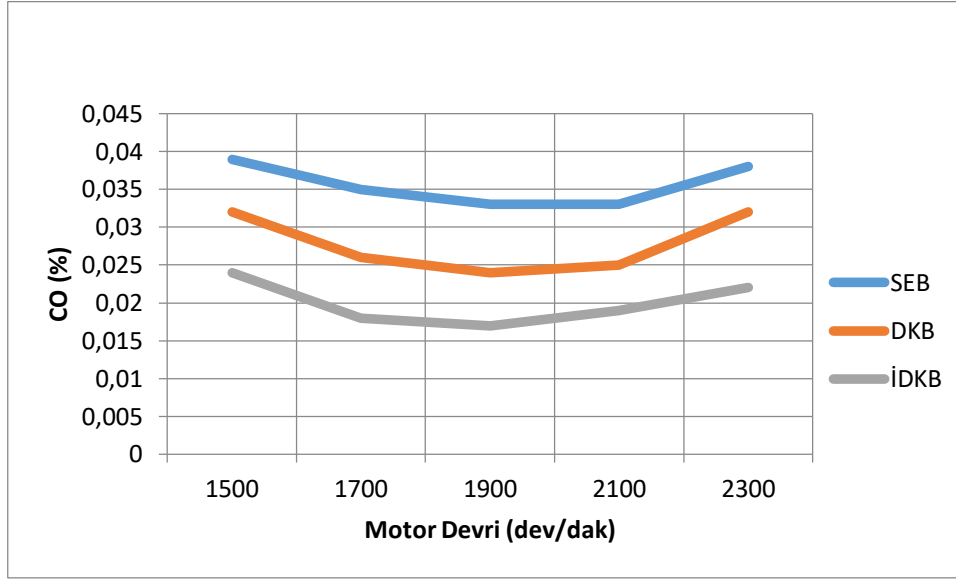
Şekil 2. NO<sub>x</sub> emisyonunun SEB, DKB ve İDKB 'deki değişimi

Şekil 2'de görüldüğü gibi 1500 devir aralığında deney motoru 1/2 yüklü olduğu sırada azotoksit gazlarının SEB değeri kaplı egzoz borusundaki değerlerden düşük çıkmıştır. 1500 ve 2100 devir arasında doğrusal bir yükseliş olduğu görülebilmektedir. 2100 devir bandında kaplı ve kaplı olmayan egzoz borusundaki azotoksit seviyesi maksimuma çıkmıştır. 2100-2300 devir bandında ise kaplı ve kaplı olmayan egzoz borularında azot oksit miktarının en düşük seviyelerde olduğu görülmektedir.

Uygulanan deneylerde kaplı borulardaki azot oksit gazı değerinin SEB' daki azotoksit gazı değerine nazaran yaklaşık % 27 daha fazla olduğu tespit edilmiştir. SEB'a göre kaplanmış boruların azot oksit emisyonunun yüksek çıkmasının uygulanan termal bariyerden olduğu düşünülmektedir. Egzoz sisteminin kaplanmasıyla egzoz hattı boyunca soğuma azalmış, doğal olarak ortamda bulunan azot ve oksijen elementleri birleşerek azotoksit gazı oluşumu devam etmiştir.

### 3.1.2. CO Emisyonu

Yaklaşık olarak hava, kütlece %21 oksijen ve %79 azottan oluşmaktadır. Yanma, yakıt içinde bulunan karbon ve hidrojenin içeriye alınan havadaki oksijen ile tepkimeye girmesi sonucu oluşan egzotermik bir durumdur. Bu durum sonucunda su, karbonmonoksit ve azotoksit gibi ürünler oluşur. Yanmanın gerçekleşebilmesi için silindir içerisine verilen hava ve yakıtın belirli oranlarda karışması gerekir. Bu ifade Stokiyometrik oran olarak adlandırılmakta ve silindir içerisinde tam yanmanın gerçekleşebilmesi için gerekli asgari hava miktarı olarak kullanılmaktadır [8]. Şekil 3'te CO emisyon değerleri görülmektedir.



Şekil 3. CO emisyonunun SEB, DKB ve İDKB 'deki değişimi

Kaplı ve kaplı olmayan egzoz borularındaki en düşük karbonmonoksit değerleri 1700 dev/dk ile 2100 dev/dk aralığında ölçülmüştür. 2100 dev/dk'dan sonraki devirlerde yanmaya yeteri kadar tutuşma süresinin olmaması, karbonmonoksit ve oksijenin reaksiyona girmesine mani olabilmektedir. Bu durum sonucunda karbonmonoksit seviyesi yükselebilmektedir. Karbonmonoksit gazının yaklaşık 2100 devir bandında yanma kalitesinin yükselmesinden ötürü düştüğü, maksimum hızlarda ise yeteri kadar yanma zamanı bulunmadığı için arttığı düşünülebilir.

Karbonmonoksit gazı tamamlanmamış yanma ürünü olduğu için eksik yanma şartlarının iyileştirilmesi karbonmonoksit gazının düşmesine katkı sağlayacaktır. Bu perspektiften değerlendirildiğinde kaplı borulardaki eksik yanma şartları iyileşecektir. Yanma için ayrılan sürenin kaplanmış boruların 2 metre olduğu düşünüldüğünde bu hat boyunca SEB'ya nazaran sıcaklığın oldukça fazla muhafaza edildiği söylenebilir. SEB'ya göre kaplanmış borularda egzoz hattı boyunca sıcaklığın fazla oluşu; daha fazla karbonmonoksit gazının, karbondioksit ve suya dönüşmesine sebep olabilmektedir.

Uygulanan deneyler neticesinde kaplanmış boruların SEB' ya nazaran karbonmonoksit gazı değeri yaklaşık % 29 daha düşük çıkmıştır. Zengin olmayan ve stokiyometrik karışımlarda egzoz emisyonları içindeki karbonmonoksit seviyesi daha düşük seyrederken, zengin karışımlarda soğuk egzoz emisyonları içinde bile oksijen yetersizliği sebebiyle aşırı seviyelerde karbonmonoksit bulunabilmektedir. Egzoz borularının seramik kaplanması ile bir termal bariyer sağlandığı ve egzoz boruları içindeki sıcaklığın yükselmesiyle birlikte karbonmonoksit seviyesinin azaldığı düşünülmektedir.

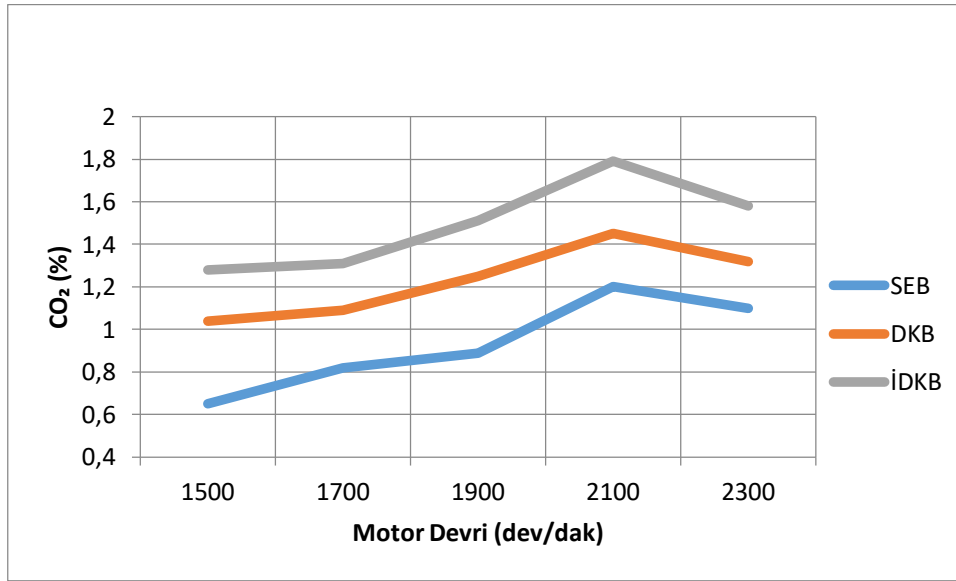
### 3.1.3. CO<sub>2</sub> Emisyonu

Karbondioksit gazı, normal yanma sırasında oluşan renksiz, kokmayan zararsız bir emisyonudur. Ancak sınır değerleri aşması halinde ozon oluşumuna ve sera etkisine sebep olabilir. Petrol kökenli bir ürün yanma sonucunda, yani bileşimindeki karbon molekülü oksidasyona uğradığında yanma neticesi olarak karbondioksit oluşmaktadır. Aynı zamanda dizel bir motorda karbondioksit emisyonu yakıtın silindir içinde nasıl verimli yandığının da bir işaretidir. Karbondioksit gazı doğrudan yanma ile alkalıdır. Düşük devirlerde çalışan bir dizel motorun yanma verimi de düşük olur. Çünkü düşük devir aralıklarında yanma odası sıcaklığı optimum şartlarda olmadığı için kötü bir yanma gerçekleşmektedir [9].

Şekil 4'te görüldüğü gibi karbondioksit gazı, 2100 dev/dk'da maksimum değerdedir. Bu durumun sebebi maksimum moment devir bandında yanma odasına alınan O<sub>2</sub> seviyesinin en yüksek orana tırmanması şeklinde düşünülebilir. En yüksek moment devir bandından sonra yakıtın karışımı zenginleşmekte ve karbondioksit oranı düşmektedir.

CO<sub>2</sub>'nin SEB'da, kaplanmış borulara göre düşük çıkması normal olarak değerlendirilmektedir. SEB'nun yüzey sıcaklığı kaplanmış borulara göre daha yüksek çıktığından dolayı CO<sub>2</sub>'nin kaplanmış borulara göre yüksek çıkması CO<sub>2</sub>'nin emisyon değeriyle ilişkilendirilmektedir ve ayrıca 200 cm'lik egzoz hattı boyunca kimyasal reaksiyonların bir sonucu olarak değerlendirilmektedir.

Yapılan deneyler sonucunda kaplanmış boruların SEB' ya göre CO<sub>2</sub> emisyon değerinde ortalama % 26'lık bir artma tespit edilmiştir. Burada termal yalıtımın CO<sub>2</sub> emisyonunu artırdığı düşünülmektedir.



Şekil 4. CO<sub>2</sub> emisyonunun SEB, DKB ve İDKB 'deki değişimi

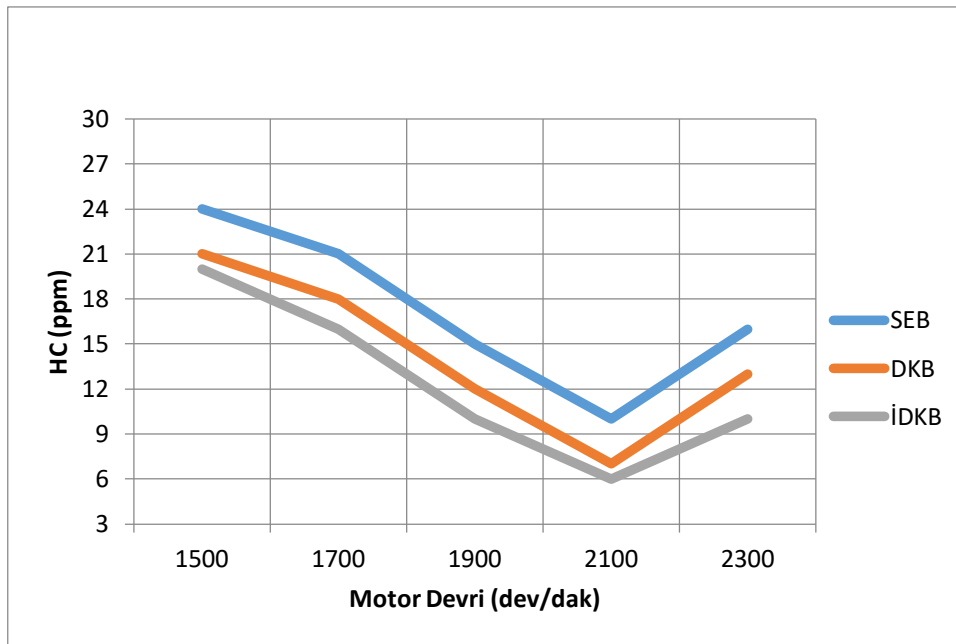
### 3.1.4. HC Emisyonu

Yakıtın bir kısmının ya da tamamının yanmaması sonucu hidrokarbon oluşur. Hidrokarbon gazları, yanma odasındaki bazı yerlerde, hava-yakıt karışım miktarının çok fakir ya da çok zengin bulunması sonucunda eksik yanma sebebiyle oluşan yakıt moleküllerinden oluşur ve ısı ile oksijenin azlığının bir fonksiyonu olarak tanımlanabilir. Dizel motorda hidrokarbon gazlarının yükselmesinin sebebi fakir karışımda hava miktarının çok yükselmesiyle yakıtın bazı yerlerde sönmeye sebep olabilir. Hava miktarının düşmesi ve yeteri kadar oksijen azlığı sonucu yakıt tam olarak yanmamakta ve hidrokarbon miktarı da yükselmektedir. Bununla beraber yakıtın silindir içerisine püskürtüldüğü esnada enjektörün ucunda kalan yakıtın damlama yapması da hidrokarbon seviyesini yükseltmektedir [10].

Şekil 5'e bakıldığında seramik kaplı egzoz borularının tüm devir bantları için hidrokarbon gazlarının kaplı olmayan egzoz borularına nazaran düşük seviyelerde çıktığı anlaşılmaktadır. Hidrokarbon gazları üzerinde baskın olan etkenlerden biri de yanma tepki sıcaklığıdır. Düşük devir

bantlarında kaplı ve kaplı olmayan egzoz boruları için hidrokarbon gazının artmasının, yanma tepki sıcaklığının düşük olmasında belirleyici faktör olduğu düşünülebilir. Yükselen devir sonucu sıcaklığın da yükselmesi, hidrokarbon gazının kaplı ve kaplı olmayan egzoz boruları için düşmesine sebep olmuştur. Ayrıca motor devir bandının artması sonucu, düşük alev yayılma hızından dolayı yakıtın tamamına yakını yanmadan dışarı atılarak hidrokarbon gazlarının seviyesi yükselmektedir.

Deney neticesinde kaplı boruların SEB' ya göre hidrokarbon gazı değerinde yaklaşık % 23'lük bir düşüş görülmektedir. Yanma fazı boyunca asıl yanma prosesine dahil olmayan hidrokarbonlar egzoz sisteminde olduğu gibi görünmezler. Alev sönmeye sonrasında yüksek sıcaklıkta yanan gazlarla karışarak yeteri kadar oksijenin bulunduğu durumlarda hızla oksitlenirler. Bu sebepten hidrokarbonlar yanmaya katılmamış yakıt karışımı ve kısmen yanmış ürünler oluştururlar. Uygulanan krom karbür kaplamanın kaplanmış borularda bu etkiyi azalttığı düşünülmektedir. Hidrokarbonlar egzoz sistemi içerisinde de oksitlenebilirler. Isı iletimi düşük bir seramik kaplama yüksek egzoz sıcaklığı oluşturabilir. Hidrokarbonların yeteri kadar bu ortamda bulunması hidrokarbon gazlarının kayda değer miktarda düşmesini sağlar. Egzoz sistemini düşük ısı iletkenlik katsayısına sahip bir seramik malzeme ile kaplamak, hidrokarbon gazlarının miktarını azaltabilir.



Şekil 5. HC emisyonunun SEB, DKB ve İDKB 'deki değişimi

### 3.1.5. Duman (İs) Yoğunluğu

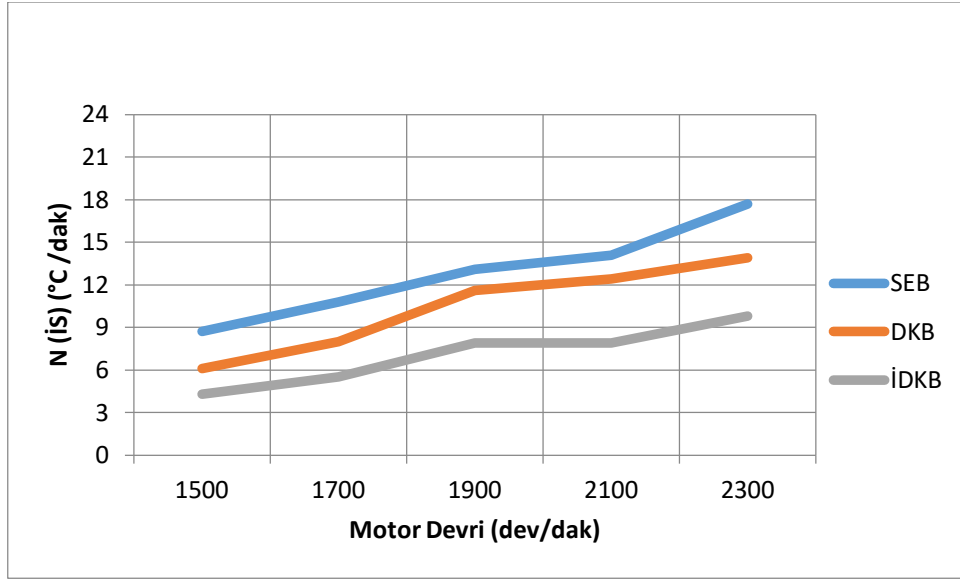
Dizel motorlarda yanma sonunda meydana gelen partiküllerin büyük bir bölümünü is oluşturmaktadır. İs yanmamış karbon parçacıkları (partikül) olarak oluşmaktadır. Bu partiküller, esas olarak yoğunlaşmış HC, kurum ve inorganik maddelerden oluşmaktadır [11]. İsin oluşması genelde dizel motorda yanma sonucu meydana gelen bir durumdur. Bu sebeple başta oluşan karbonun tamamına yakını yeniden yanmaya katılmaktadır. Ancak güç artırma hedefiyle silindire çok fazla yakıt püskürtüldüğünde, yeteri kadar oksijen bulunmadığından egzoz emisyonları içinde bir miktar da is olabilmektedir.

Şekil 6 incelendiğinde kaplı ve kaplı olmayan egzoz borularında düşük devir bantlarında duman yoğunluğunun düşük çıktığı görülmektedir. Düşük devirlerde yanma odasındaki hava hareketliliğinin ve yanma odası sıcaklığının düşük olmasından dolayı bu durum meydana gelmektedir.

Yapılan deneyler sonucunda kaplanmış borularda SEB' ya göre duman yoğunluğu değerlerinde ortalama % 32'lik bir azalma tespit edilmiştir. Plazma sprey kaplama metodunun başlıca işlevi ısı kaybını düşürerek ısı verimliliği yükseltmektir. Plazma sprey kaplama metodunun ısı yalıtım özelliği ile kaplı egzoz borusunda maksimum sıcaklığa ulaşılmıştır. Kaplı egzoz borusu içinde oluşan bu yüksek sıcaklığın is yoğunluğu üzerine pozitif bir tesir yaptığı düşünülmektedir. Uygulanmış olan kaplama



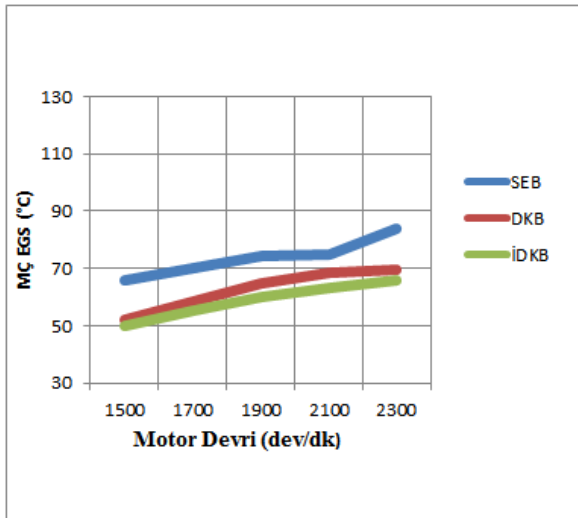
tabakasının, is oluşumu için kayda değer tesire sahip olan sıcaklık, reaksiyon zamanı ve oksijen molekülleri ile buluşma sıklığı faktörlerini iyileştirdiği söylenebilir.



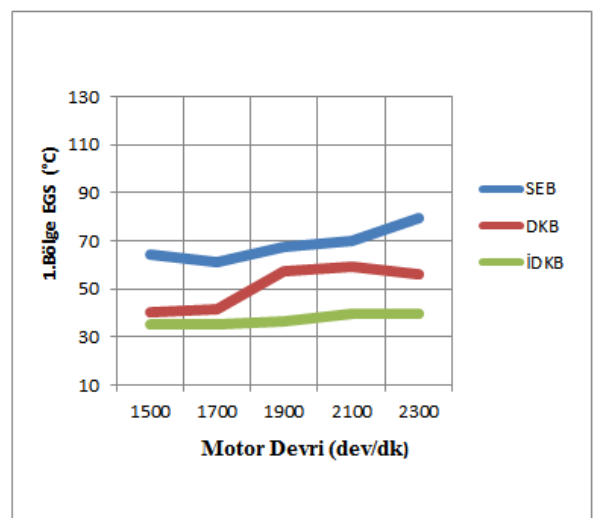
Şekil 6. Is emisyonunun SEB, DKB ve İDKB 'deki değişimi

### 3.2. Egzoz Gaz Sıcaklığı (EGS) Mukayeseleri

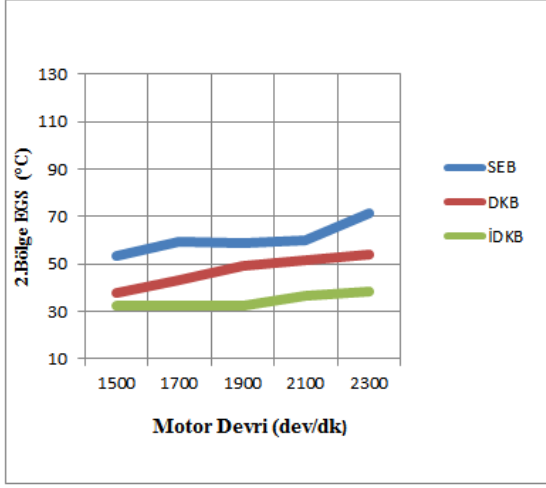
Kaplı ve kaplı olmayan egzoz borularının egzoz gaz sıcaklığı ölçümleri yapılmıştır. Egzoz gaz sıcaklığı, dizel bir motorda yük ve devir adedine bağlı olarak değişebilmektedir. Motor devri yükseldikçe silindir içerisindeki yakıt seviyesinin çoğalmasından ötürü yanma süresince oluşan ısı yükselmektedir. Bu olay EGS'nin yükselmesine neden olmaktadır. EGS ölçümü, egzoz manifolduna bağlanan kaplı ve kaplı olmayan ve kaplanmamış 2 metre uzunluğundaki egzoz borularından alınmıştır. Egzoz borularının EGS'leri, aralarında 0.5 metre uzaklıkta 5 ayrı kısımdan ölçülmüştür. 1500, 1700, 1900, 2100 ve 2300 motor devirlerindeki EGS değerleri kayıt altına alınmıştır. EGS tespit edilen kısımlar; Manifold çıkışı (MÇ) İç EGS, 1. Bölge Dış EGS, 2. Bölge Dış EGS, 3. Bölge Dış EGS ve Egzoz çıkışı (EÇ) İç EGS, olarak adlandırılmıştır. 5 Farklı bölgenin grafikleri aşağıda görülmektedir (Şekil 7, Şekil 8, Şekil 9, Şekil 10, Şekil 11).



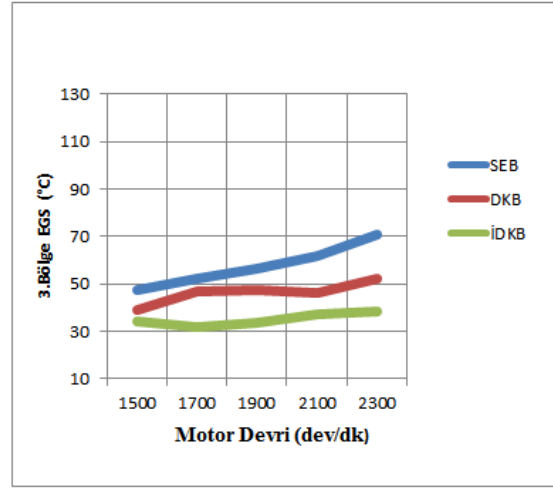
Şekil 7. MÇ EGS Grafiği



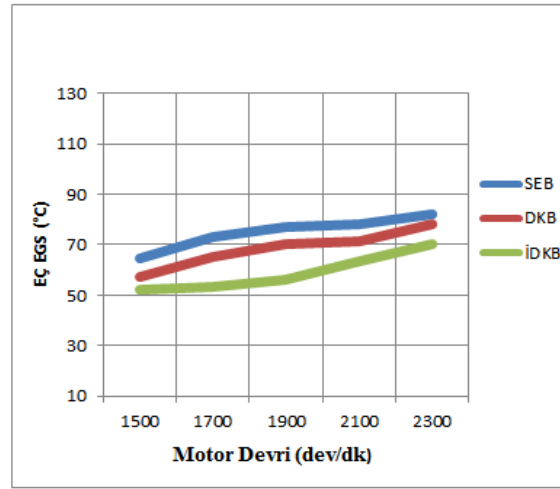
Şekil 8. 1. Bölge EGS Grafiği



Şekil 9. 2. Bölge EGS Grafiği



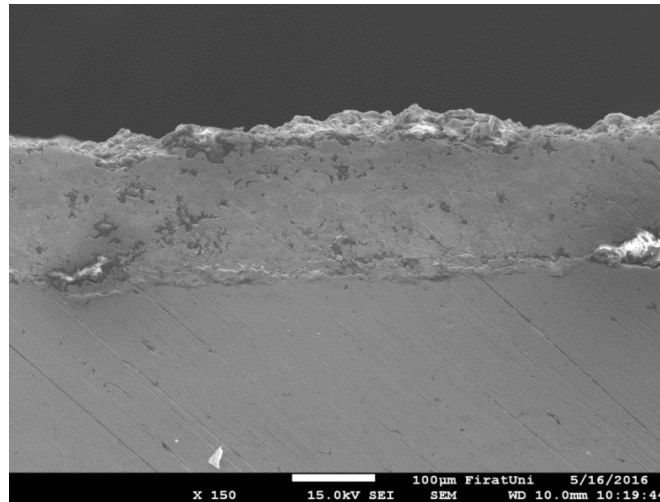
Şekil 10. 3. Bölge EGS Grafiği



Şekil 11. EÇ EGS Grafiği

### 3.3. Kaplama Tabakası

Şekil 12’de egzoz borusunun kesitinden alınan kaplama tabakasının SEM fotoğrafı görülmektedir. Şekilde görüldüğü gibi kaplama tabakasıyla ana malzeme arasında herhangi bir çatlak veya yarığın olmadığı açıkça görülmektedir.



Şekil 12. Kaplanmış egzoz borusu numunesinin kaplama tabakası SEM fotoğrafı

#### 4. Sonuçlar ve Öneriler

Bu çalışmada egzoz emisyon değerlerinin düşürülmek ve egzoz sistemini daha uzun ömürlü bir duruma getirilmek amacıyla egzoz borusu plazma sprey kaplama metodu kullanılarak krom karbür ile kaplanmıştır. Deneyler yanma odası elemanları bor kaplı bir dizel motor ile gerçekleştirilmiştir. Egzoz borularının kaplanmadan önce ve kaplandıktan sonraki emisyon ve EGS değerleri ölçülmüştür. Bu ölçümler neticesinde;

Yapılan deneylere göre kaplanmış borulardaki azotoksit gazı değerinin SEB'daki azotoksit gazı değerine nazaran yaklaşık % 27 daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Bu artışın sebebinin kaplı olan egzoz borularında termal bir yalıtımın yapılması ile sıcaklığın yükselmesi olduğu düşünülmektedir.

Deneyler sonucunda kaplanmış boruların SEB' a göre CO emisyon değeri ortalama % 29 daha düşük çıkmıştır. Egzoz borularına seramik kaplama yapılmasıyla bir termal bariyer sağlanıp egzoz boruları içindeki sıcaklık artışına paralel bir şekilde karbonmonoksit seviyesinin azaldığı düşünülmektedir.

Emisyon deneyleri neticesinde kaplanmış boruların SEB' a göre karbondioksit gaz seviyesinde yaklaşık % 26'lık bir artış belirlenmiştir. Burada kaplanmış motor ve kaplanmış egzoz borularının termal yalıtımıyla CO<sub>2</sub> emisyonunun arttığı tespit edilmiştir.

Seramik kaplama işlemi ardından yapılan deney sonucu kaplanmış boruların SEB'a göre hidrokarbon gaz seviyesinde yaklaşık % 23'lük bir düşüş tespit edilmiştir. Bu düşüşün termal yalıtımla ilgili olduğu düşünülmektedir.

Kaplanmış boruların SEB' a göre duman yoğunluğu değerlerinde ortalama % 32'lik bir azalma tespit edilmiştir. Kaplı olan egzoz borusu içinde oluşan bu yüksek sıcaklığın is yoğunluğu üzerine olumlu etki yaptığı düşünülmektedir. Seramik kaplamanın is oluşumu üzerinde kayda değer etkiye sahip olan sıcaklık, tepkime zamanı ve oksijen molekülleri ile buluşma sıklığı faktörlerini iyileştirdiği söylenebilir.

EGS deneyleri sonucunda SEB' nun sıcaklık değerleri, kaplanmış borulara göre yaklaşık % 22 daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Seramik kaplı egzoz boruları, ısı iletimi düşük olan krom karbür malzeme ile bir yalıtım tabakası oluşturularak egzoz borularında termal bir bariyer sağlanmıştır.

#### Kaynaklar

- [1] Hazar H., Şap S., Şap E. 2017. Bir dizel motorda dışı plazma sprey yöntemiyle Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub> kaplanmış egzoz borusunun incelenmesi, Türk Doğa ve Fen Dergisi, 6: 11-18.
- [2] Şap S., Hazar H. 2017. İçi ve Dışı Plazma Sprey Yöntemiyle Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub> Kaplanmış Egzoz Borusunun İncelenmesi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 29: 7-14.
- [3] Büyükkaya E., Yaşar H., Çelik V., Ekmekçi M. 1997. Effects of Thermal Barrier Coating to Exhaust Emissions of a Turbocharged Diesel Engine, International Combustion Symposium, pp. 21-23, 5, Bursa, Turkey.
- [4] Aydın H. 2013. Combined effects of thermal barrier coating and blending with diesel fuel on usability of vegetable oils in diesel engines. Applied Thermal Engineering, 51 (1-2): 623-629.
- [5] Öztürk U. 2015. Borlama Yüzey Kaplama Teknolojisinin Bir Dizel Motorun Yanma Odası Elemanlarına Uygulanması, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Syf. 2, Elazığ.
- [6] Riccardi B., Montanari R., Casadei M., Costanza G., Filacchioni G., Moriani A. 2006. Optimisation and characterisation of tungsten thick coatings on copper based alloy substrates, Journal of Nuclear Materials, 352: 29-35.
- [7] İşcan B. 2016. Application of ceramic coating for improving the usage of cottonseed oil in a diesel engine, Journal of the Energy Institute 89: 150-157.
- [8] Vedharaj S., Vallinayagam R., Yang W.M. 2014. Reduction of harmful emissions from a diesel engine fueled by kapok methyl ester using combined coating and SNCR technology, Energy Conversion and Management, 79: 581-589.
- [9] Puhana S., Vedaramana N., Rama B.V.B., Sankarnarayanan G., Jeychandran K. 2005. Mahua oil (madhuca indica seed oil) methyl ester as biodiesel-preparation and emission characteristics, Biomass and Bioenergy, 28: 87-93.

- [10] Atmanli A., Ileri E., Yuksel B. 2014. Experimental investigation of engine performance and exhaust emissions of a diesel engine fueled with diesel–n-butanol– vegetable oil blends, *Energy Convers Manage*, 81: 312-21.
- [11] Boot M., Frijters P., Luijten C., Somers B., Baert R., Donkerbroek A. 2009. Cyclic oxygenates: a new class of second-generation biofuels for diesel engines, *Energy Fuels*, 23 (4):1808-17.

---

*Araştırma Makalesi / Research Article*

---

## **Tarihi Yığma Yapıların Malzeme Karakteristiklerinin Hasarsız Yöntemlerle Belirlenmesi: Diyarbakır Ulu Camii Örneği**

Hüseyin Suha AKSOY\*, Muhammet KARATON

*Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Elazığ*

---

### **Öz**

Tarihi yığma yapılar genellikle taş ve bağlayıcı malzemelerden meydana gelmekte olup, bu malzemeler sürekli olarak birbirleri ile etkileşim halindedirler. Bu tarihi yapıların geleceğe güvenle aktarılabilmesi için bu malzemelerin mekanik özelliklerinin doğru bir şekilde belirlenmesi büyük önem arz etmektedir. Koruma ve güçlendirme çalışmalarında hasarlı ve hasarsız test yöntemleri kullanılabilir. Tarihi yapılarda genelde hasarsız yöntemlerin kullanılması tercih edilmektedir. Bu çalışmada, hasarsız yöntemlerle tarihi bir caminin yapım malzemesi olan taş ve harçın mekanik özellikleri belirlenmiştir. Bu amaçla, Schmidt test çekici ve Ultrases test cihazları kullanılmıştır. Bu cihazlar yardımıyla elde edilen ölçümler kullanılarak, dış duvar ve kolon taşlarının elastisite modülü değerleri sırasıyla 35384 ve 26129 MPa olarak belirlenmiştir. Tek eksenli basınç dayanım değerleri ise dış duvar taşları için 87.00 MPa ve kolon taşları için 52.88 MPa olarak hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre caminin dış duvarlarının masif bazalt ve kolon taşlarının ise gözenekli bazalt kullanılarak inşa edildiği sonucuna varılmıştır. Ayrıca taşıyıcı olmayan duvarlardan alınan az miktarda Horasan harç numunesi üzerinde asit kaybı deneyi yapılarak harçın granülometrisi belirlenmiştir. Bu deneyden harçtaki hacimsel kireç/agrega oranının 1/2.5 olduğu belirlenerek harçın serbest basınç dayanımı, çekme dayanımı, birim hacim ağırlığı ve elastisite modülü sırasıyla 0.759 MPa, 0.274 MPa, 1.670 t/m<sup>3</sup> ve 1845 MPa olarak hesaplanmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Tarihi yapılar, Schmidt çekici, Ultrases deneyi, Hasarsız yöntemler, Horasan harcı.

---

## **Determination of Material Properties of Historical Masonry Structures by Nondestructive Tests: Diyarbakir Grand Mosque Case**

### **Abstract**

The most of historical structures were built by using construction material as stone and mortar. These materials are always interact with each other. To protect these buildings, determination of mechanical properties of the materials is very important. In conservation and retrofitting works, destructive and nondestructive test methods can be used. Mechanical properties of historical buildings are generally obtained by using nondestructive tests. In this study, mechanical properties of stone and mortar which are constructional materials of a historical mosque are determined by using nondestructive methods. Schmidt hammer and ultrasound device are used for this purpose. By using results obtained with these test devices, elasticity modulus of the outer wall stones and column stones were determined as 35384 and 26129 MPa, respectively. Uniaxial compressive strength of outer wall stones was calculated as 87.00 MPa. This value for column stones was also determined as 52.88 MPa. According to these results, it is concluded that the outer wall of the mosque were constructed with massive basalt and columns were constructed with vesicular basalt stones. Furthermore, a small amount of Khorasan mortar samples taken from a non-load bearing walls were tested by acid loss test and granulometry of the mortar was determined. The volumetric lime/aggregate ratio in the mortar was determined as 1/2.5 by the test results. Thus, uniaxial compressive strength, tensile strength, unit weight and elasticity modulus of the mortar were calculated as 0.759 MPa, 0.274 MPa, 1.670 t/m<sup>3</sup> and 1845 MPa, respectively.

**Keywords:** Historical structures, Schmidt hammer, Ultrasound test, Nondestructive methods, Khorasan mortar.

---

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

Geliş Tarihi: 03.07.2018, Kabul Tarihi: 26.11.2018

## 1. Giriş

Medeniyetin kaynağı Anadolu, tarih boyunca dünyada eşi görülmeyen önemli eserlere sahip olmuştur. Dünyanın ilk şehirleri ve ilk üniversitesi Anadolu'da kurulmuştur. Anadolu'nun aktif deprem kuşağı içerisinde olmasına rağmen bu yapıların birçoğu günümüze kadar ayakta kalmayı başarmıştır. Ülkemizde varlığını sürdüren bu kültür mirasımızın gelecek nesillere taşınabilmesi için ihtiyaç duyulan tüm çalışmaların yapılması gerekmektedir.

Diyarbakır Ulu Camisi Anadolu'nun en eski camilerinden olup 4000 yıllık bir geçmişe sahiptir. Önce havra daha sonrada kilise olarak kullanılmıştır. 639 yılında Diyarbakır'a egemen olan müslüman araplar, şehrin merkezindeki en büyük mabet olan Martoma kilisesini camiye çevirmişlerdir. Diyarbakır Ulu Camisi'nin, değişik dönemlerde birçok kez onarım ve eklentilerle bugünkü şeklini aldığı kitabelerinden öğrenilmektedir. Bu camiyi, Büyük Selçuklu hükümdarı Melikşah 1091 yılında tamir ettirmiştir. 1114 tarihinde meydana gelen deprem ve yangında büyük hasar gören cami, 1240 yılında halkın yardımıyla onarılmıştır. Mimari olarak erken islam döneminin ünlü Şam Emeviye Camii'ne benzemektedir. Tarihi ve üstlendiği misyonuyla Diyarbakır Ulu Camisi, İslam dünyasının 5. Harem-i Şerifi olarak kabul edilmektedir [1].

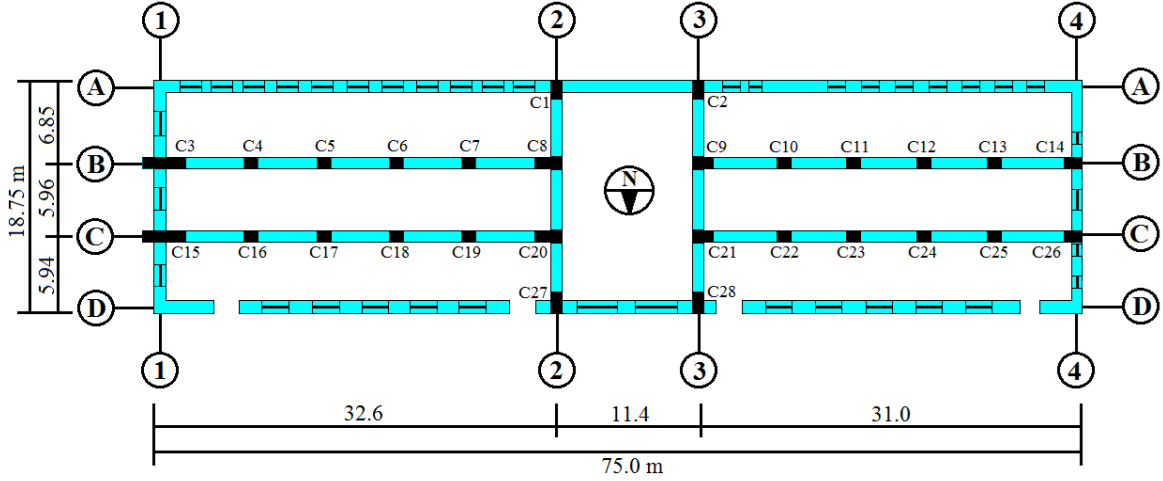
Tarihi yapıların malzeme karakteristiklerinin belirlenmesi amacıyla birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalar içerisinde, Kocaturk vd. [2]'nin yaptıkları çalışmada Ayasofya camisinin deprenselliğini belirlemek için hasarlı ve hasarsız yöntemlerle malzeme karakteristiklerini belirlemişlerdir. Bu çalışmada incelenen tarihi yapı için güçlendirme önerileri de verilmiştir. Aköz ve Yüzer [3] Küçük Ayasofya camisinin malzeme özelliklerini belirlemek için Schmidt test çekici ve ultrases deney yöntemlerini kullanmıştır. Bu deneylerin yanında yaz ve kış aylarında dış yüzeylerdeki bağıl nem oranlarını ölçmüşlerdir. Aköz ve Yüzer [4] tarihi yapılarda kullanılabilir hasarsız yöntemlerin tümünü bu çalışmada özetlemiş ve kullanılması gereken yöntem seçilirken nelere dikkat edilmesi gerektiğini belirtmişlerdir. Bu çalışmada tarihi bir yapıda, malzeme özelliklerinin belirlenmesi amacıyla Schmidt test çekici ve ultrases test aleti kullanılarak tahribatsız (hasarsız) deneyler yapılmıştır. Deneylerden elde edilen sonuçlar yardımıyla tarihi yapının inşasında kullanılan kayaçların ve harcın malzeme özellikleri belirlenmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

Bu bölümde tarihi bir yapının hasarsız yöntemlerle malzeme özelliklerinin belirlenmesi için yığma birim taş ve harç olmak üzere iki ayrı malzeme için incelenmiştir. Bu amaçla Diyarbakır ulu camisi seçilmiş ve caminin taşıyıcı elemanları üzerinde hasarsız yöntemler uygulanmıştır.

Caminin taşıyıcı yığma birimlerini oluşturan taş malzemelerin mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla Şekil 1.'deki planda görülen kolonların bazılarında TS EN 12504-2 [5] standardına göre Schmidt test çekici ve TS EN 12504-4'e [6] göre yapılan ultrases deneyleri kullanılmıştır. Yapılan gözlemlerde, kullanılan taş malzemenin bazalt taşı olduğu görülmüştür. Kolonlarda daha kolay işlenebilen gözenekli bazalt taşı kullanılmıştır. Dış duvarlarda ise daha yüksek dayanıma sahip olan masif (gözeneksiz) bazalt taşı kullanılmıştır. Gözenekli taşın yüzeyindeki gözenekler yaklaşık 1-3 mm çapında olup gözle görülebilmektedir. Çalışmada dış duvarların ve kolonların birim hacim ağırlıkları sırasıyla 2.85 ve 2.28 t/m<sup>3</sup> olarak alınmıştır [7].

Schmidt test çekici deneyleri için 0.735 Nm'lik darbe enerjisine sahip L tipi Schmidt sertlik çekici kullanılmıştır. Schmidt sertlik çekici yatay konumda tutularak kolonları oluşturan taşlara uygulanmış ve Schmidt sertlik değerleri ölçülmüştür (Şekil 2). Schmidt çekici ölçümlerinde, bir bilye, arkasında bulunan yay yardımı ile yüzeye fırlatılmaktadır. Bilye taş cismin yüzeyine çarptıktan sonra geri sıçramakta ve bu sıçrama ne kadar büyük ise sertlik o kadar yüksek değerde tespit edilmektedir [3]. Büyüksağış ve Göktan [8] Schmidt çekici kullanırken seçilecek en başarılı yöntemin Poole ve Farmer [9] tarafından önerilen deney yöntemi olduğunu belirtmişlerdir. Bu yöntemle göre aynı kayadan üç farklı noktadan ölçüm yapılmıştır. Her noktada 5 Schmidt okuması yapıldıktan sonra bu okumaların en büyükleri alınmış ve elde edilen üç değerlerin ortalaması alınarak bu kayanın Schmidt değeri olarak kabul edilmiştir.



Şekil 1. Diyarbakır ulu camisinin kat planı

Binanın 2-2, 3-3, B-B ve C-C aksları kemer-kolon sistemiyle inşa edilmiştir. Bu nedenle caminin her bölümüne rahatlıkla ulaşılabilmektedir.



Şekil 2. Schmidt Test Çekici Deneyi

Ultrases deneyinde, ses dalgaları cismin yüzeyinde boşluk bırakılmaksızın temas ettirilen bir piezoelektrik dönüştürücü (transducer) ile gönderilmektedir. Bu ses dalgaları aynı özellikteki başka bir dönüştürücü tarafından alınmaktadır. Alıcı ve verici transducer' ler arasındaki ses dalgalarının iletim süresi ve hızı ölçülerek malzemenin elastisite modülü elde edilmektedir (Şekil 3). Bu modülün elde edilmesi için hem basınç dalgası hızı ( $V_p$ ) hem de kayma dalgası hızı ( $V_s$ ) belirlenmelidir. Cismin yoğunluğu düşük ise ve/veya bünyesinde çatlaklar var ise ses dalgalarının yayılma hızları düşük olmaktadır [10]. Şekil 4.a.' de görüldüğü gibi ultrases test cihazıyla yapılan ölçümler Direkt, Yarı direkt veya indirekt olmak üzere üç şekilde yapılmaktadır.

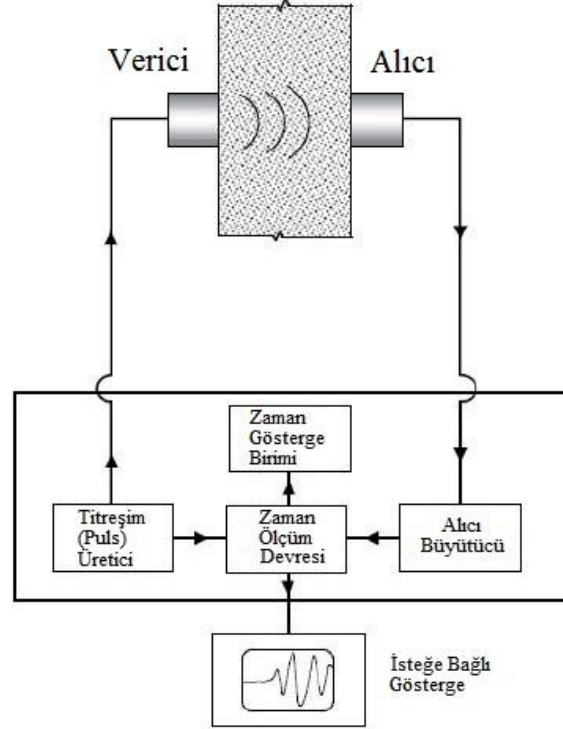
Bu çalışmada, Ultrases ölçümlerinde Proceq marka Pundit Plus ultrases cihazı kullanılmış olup ölçümler yarı direkt yöntemle elde edilmiştir (Şekil 4.a.b). Bu hız değerlerinden Poisson oranı,  $\nu$ ' nün elde edilmesi için,

$$\nu = \frac{V_p^2 - 2V_s^2}{2(V_p^2 - V_s^2)} \quad (1)$$

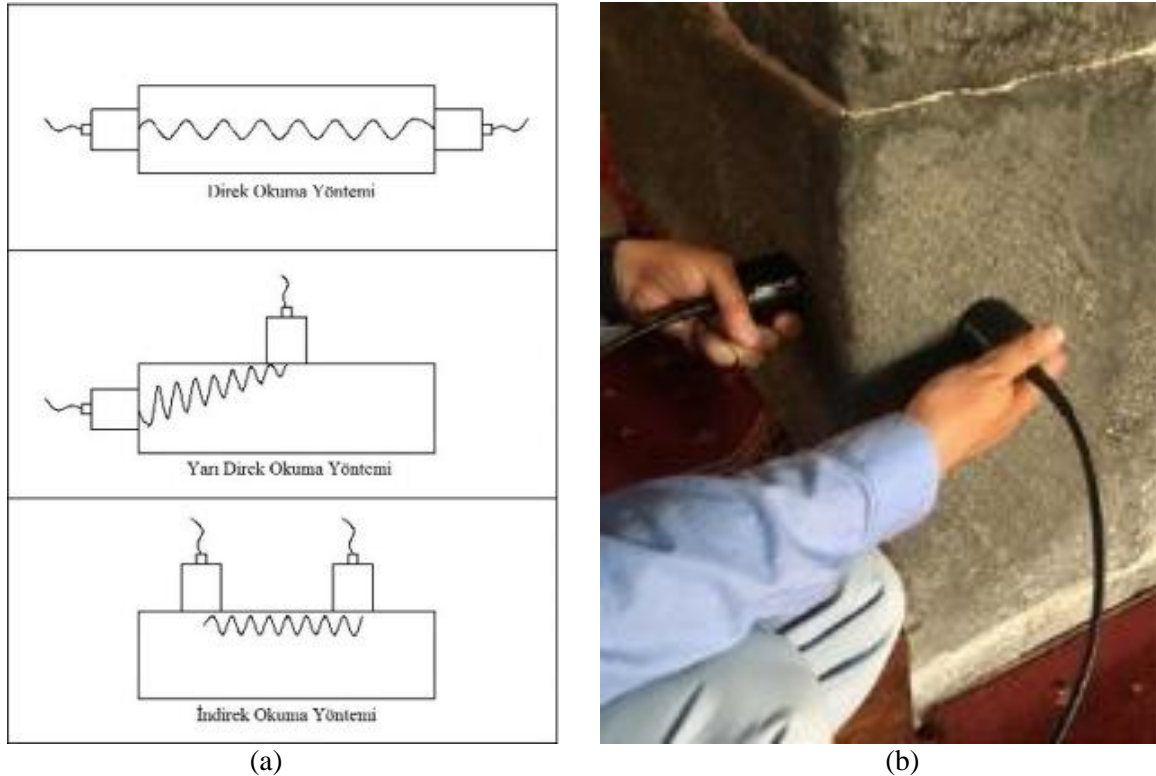
eşitliği kullanılmıştır. Aynı zamanda  $E$ , elastisite modülü değerleri ise,

$$E = \frac{3V_p^2 - 4V_s^2}{V_p^2 - V_s^2} V_s^2 \gamma \quad (2)$$

bağıntısı yardımıyla hesaplanmış [11] ve aynı tabloda elde edilen sonuçlar verilmiştir. Denklem (2)'deki  $\gamma$  ise birim hacim ağırlığını ifade etmektedir. Caminin taşıyıcı olmayan duvarlarından küçük miktarda harç numunesi alınmış ve harcın granülometrisini belirlemek için TS2518'e [12] göre sülfürik asit kaybı deneyi yapılmıştır.



Şekil 3. Ultrasonik hız devresinin şematik diyagramı [11]



Şekil 4. Ultrases cihazı ile okuma yöntemleri (a), Camide bir kolon üzerinde yapılan ultrases deneyi (b)



### 3. Bulgular ve Tartışma

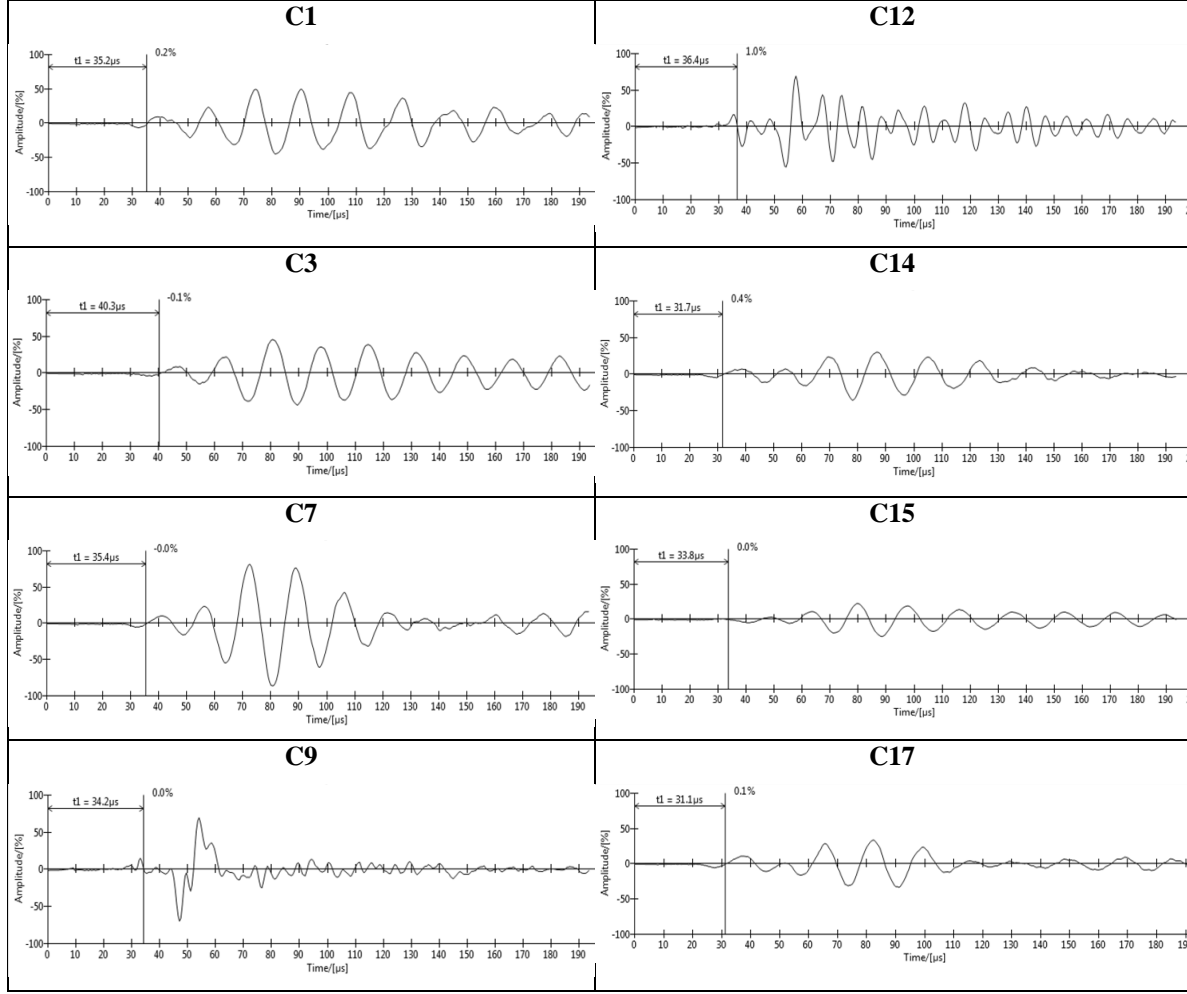
#### 3.1. Taş malzemelerin mekanik özelliklerinin belirlenmesi

Tablo 1’de söz konusu camide yapılan Schmidt test çekici ölçümleri verilmiştir. Caminin kolonları için elde edilen ortalama değer ise  $R_L=48.91$  olarak elde edilmiştir.

**Tablo 1.** Yapılan Schmidt test çekici ölçümleri

Ölçüm Yapılan Yer	R1	R2	R3	R4	R5	Maks	Ort.	Ölçüm Yapılan Yer	R1	R2	R3	R4	R5	Maks	Ort.		
	C14	34	35	43	51	49	51		50.67	C9	33	45	47	47	47	47	49.67
	45	46	50	52	49	52					36	40	44	50	51	51	
	47	43	42	52	49	49					39	40	47	51	51	51	
C14 Boşluklu	23	29	31	34	45	45	44.33	C3	33	44	46	48	21	48	50.67		
	26	27	27	37	48	48					20	37	50	55		52	52
	19	17	32	39	40	40					45	47	49	50		52	52
C17	34	47	52	52	52	52	49.67	C7	41	47	50	47	52	52	52.00		
	33	42	40	45	36	45					44	44	49	55		52	55
	38	50	52	48	52	52					26	44	45	30		49	49
C12	38	44	49	50	45	50	48.00	C1	20	26	38	41	50	50	50.67		
	30	47	48	44	51	51					39	52	52	55		46	55
	23	30	30	26	43	43					26	44	45	47		47	47
C15	41	40	52	52	45	52	48.67	C2	30	42	48	31	50	50	52.00		
	34	40	43	47	44	47					23	34	42	48		49	49
	42	38	40	43	47	47					33	46	52	57		45	57
C15 Boşluklu	17	20	38	42	43	43	41.67							Ort.	48.91		
	24	38	39	44	39	44											
	18	33	34	38	33	38											

Caminin kolonlarında yapılan ultrases ölçümlerine ait grafikler Şekil 5’ de görülmektedir. Kolonlarda yapılan ultrases deneyi sonuçlarında elde edilen hız sonuçları Tablo 2’ de görülmektedir. Bu sonuçlara göre kolonlardaki ortalama elastisite modülü 26129 kPa olarak hesaplanmıştır. Dış duvarlarda ultrases ölçümleri yapılamadığı için malzeme özelliklerinin belirlenmesi amacıyla sadece Schmidt test çekici ölçümleri kullanılmıştır. Schmidt test çekici ölçümleri ile ultrases deneyi ölçümlerinin kalibrasyonu için kolonlarda yapılan ultrases sonuçları esas alınmıştır. Schmidt çekici sonuçlarının değerlendirilmesi amacıyla daha önceden kayalar üzerinde yapılan testler yardımıyla önerilen amprik eşitliklerden faydalanılmıştır. Bu eşitlikler Yılmaz ve Sendir [13], Katz vd. [14] ile Aydın ve Basu [15]’nin önerdiği formülasyonlarla elde edilen elastisite modülü değerlerinin ortalaması dikkate alındığında 26674 kPa değeri elde edilmiştir. Bu sonuç ultrases sonucuna göre %2 daha büyük olarak hesaplanmıştır. Bu yaklaşım kabul edilerek dış duvarlar için aynı amprik ifadeler yardımıyla elastisite modülü değeri Schmidt çekici sonuçlarına göre 35384 kPa olarak elde edilmiştir (Tablo 3).



Şekil 5. Caminin kolonlarında yapılan ultrases ölçümlerine ait grafikler

Tablo 2. Kolonlardaki ultrases deney sonuçları

Kolon No	$V_s$ (m/sn)	$V_p$ (m/sn)	Poisson Oranı, $\nu$	Elastisite Modülü, $E$ (kN/m <sup>2</sup> )
C1	4323	2097	0.35	26993
C3	4059	2214	0.29	28795
C7	4323	1963	0.37	24075
C9	4526	2190	0.35	29462
C12	4091	2072	0.33	25988
C14	4101	2044	0.33	25429
C15	4371	2027	0.36	25537
C17	4194	1909	0.37	22756
<b>Ortalama</b>			<b>0.34</b>	<b>26129</b>

Bazalt taşlarının serbest basınç dayanım değerlerinin belirlenebilmesi için Kahveci [7]'nin bölgenin bazalt kayaçları üzerinde yapmış olduğu incelemeler esas alınarak Schmidt test çekici ve

Ultras ses sonuçlarından elde edilen ortalama elastisite modülü değerleri kullanılmıştır. Kayaçlar üzerinde yapılmış önceki araştırmalardan; Büyüksağış ve Goktan [8], Yılmaz ve Sendir [13], Katz vd. [14] ile Yagiz [16]'ın Schmidt test çekici sonuçları yardımı ile kayaların serbest basınç dayanımını veren bağıntıları kullanılmıştır. Tablo 4'de kolonlar ile dış duvarlar için elde edilen serbest basınç dayanım değerleri görülmektedir. Kahveci [7] yaptığı deneyler sonucunda, gözenekli ve masif bazalt taşları için bu dayanım değerlerini sırasıyla 51.76 ve 89.10 MPa olarak elde etmiştir. Tablo 4'de ise gözenekli ve masif bazalt taşları için tek eksenli basınç dayanımı değerleri sırasıyla 52.88 ve 87.00 MPa olarak hesaplanmıştır. Ultras ses sonuçları yardımıyla gözenekli ve masif bazalt taşları için basınç dayanım değerleri ise sırasıyla 56.93 ve 91.46 MPa olarak bulunmuştur (Tablo 5). Bu değerler karşılaştırıldığında Schmidt test çekici ile deney sonuçları arasında %2 civarında farklar oluşurken Ultras ses sonuçlarının %2-10 arasında değişen farklılıklar gösterdiği belirlenmiştir. Bu iki yaklaşım içerisinde en az farkın Schmidt test çekici sonuçlarından elde edildiği için masif ve gözenekli bazaltların tek eksenli basınç dayanımları sırasıyla 87.00 ve 52.88 MPa olarak seçilmiştir.

**Tablo 3.** Kolonların ve dış duvarların Schmidt çekici deney sonuçlarına göre hesaplanan elastisite modülleri

	<b>Kolonlar</b>	<b>Dış Duvarlar</b>
N (Schmidt ölçümleri)	<b>48.91</b>	<b>55.45</b>
E (MPa) [13]	44130	62820
E (MPa) [14]	21590	31810
E (MPa a) [15]	8310	11520
$E_{ortalama}$ (MPa)	<b>24674</b>	<b>35384</b>

**Tablo 4.** Kolonların ve dış duvarların Schmidt test çekici kullanılarak hesaplanan serbest basınç dayanımları

	<b>Kolonlar</b>	<b>Dış Duvarlar</b>
$\gamma$ (t/m <sup>3</sup> )	2.28	2.85
N (Schmidt ölçümleri)	<b>48.910</b>	<b>55.45</b>
$f_c$ (MPa) [17]	48.938	115.380
$f_c$ (MPa) [8]	42.123	62.897
$f_c$ (MPa) [13]	40.597	59.713
$f_c$ (MPa) [14]	67.809	107.178
$f_c$ (MPa) [16]	64.947	89.825
$f_{c\ ort}$ (MPa)	<b>52.883</b>	<b>87.000</b>

**Tablo 5.** Elastisite modülü değerleri kullanılarak hesaplanan serbest basınç değerleri

	<b>Kolonlar</b>	<b>Dış Duvarlar</b>
E (kPa)	<b>26129</b>	<b>35384</b>
$f_c$ (kPa) [13]	72.498	105.551
$f_c$ (kPa) [14]	41.359	77.371
$f_{c,ort}$ (kPa)	<b>56.929</b>	<b>91.461</b>

### 3.2. Horasan harcının mekanik özelliklerinin belirlenmesi

Yapılan asit kaybı deneyinden, harçtaki hacimsel kireç/agrega oranının 1/2.5 olduğu belirlenmiştir (Tablo 6). Karaveziroglou vd. [18] Selanikte bulunan Bizans ve Osmanlı yapılarında kullanılan harçların üzerine yaptıkları çalışmada farklı karışım oranlarında harçlar üretmiş ve bu harçların dayanımlarını belirlemişlerdir. Bu camide kullanılan harçların karışım oranlarına en yakın numuneler araştırmacıların hazırladıkları K4, K5 ve K19 numuneleridir. Söz konusu numunelerin hacimsel kireç/agrega oranları 1/3 olarak alınmıştır. Bu numuneler üzerinde yapılan test sonuçlarının ortalama değerleri dikkate alınarak, söz konusu harç için serbest basınç dayanımı, çekme dayanımı, birim hacim ağırlığı ve elastisite modülü sırasıyla 0.759 MPa, 0.274 MPa, 1.670 t/m<sup>3</sup> ve 1845 MPa olarak hesaplanmıştır.

**Tablo 6.** Asit kaybı deneyi sonuçları

Toplam Ağırlık (gr)/ Hacim (cm <sup>3</sup> )	$\frac{42.900}{25.689}$
İnce Agregata Ağırlık(gr)/ Hacim(cm <sup>3</sup> )	$\frac{1.260}{0.485}$
Kaba Agregata Ağırlık(gr)/ Hacim(cm <sup>3</sup> )	$\frac{29.830}{11.470}$
Kireç Ağırlık (gr)/ Hacim(cm <sup>3</sup> )	$\frac{10.98}{4.774}$
Asit Kaybı (%)	27.5

### 4. Sonuçlar

Bu çalışmada, hasarsız yöntemlerle tarihi bir caminin malzeme özellikleri belirlenmiştir. Hasarsız testler için Schmidt test çekici ve ultrases test cihazları kullanılmıştır. Taşıyıcı olmayan duvarlardan alınan az miktarda harç numunesi yardımıyla harcın granülometrisi belirlenmiştir. Deneylerden elde edilen sonuçlar yardımıyla tarihi yapının inşasında kullanılan taşların ve harcın malzeme özellikleri belirlenmiştir.

Kolon taşları (gözenekli bazalt) üzerinde yapılan ultrases deney sonuçları yardımıyla elastisite modülünün 26129.0 MPa olduğu belirlenmiştir. Kalibrasyon işlemi için Schmidt ölçümlerine bağlı amprik denklemler yardımıyla bu değeri veren sonuçların ortalaması kullanılmıştır. Böylece, dış duvar taşlarına (masif bazalt) ait elastisite modülü değeri 35384 MPa olarak tahmin edilmiştir. Sonraki aşamada Schmidt test çekici verileri kullanılarak taşların basınç dayanımı için masif ve gözenekli bazalt taşlarının tek eksenli basınç dayanımları amprik denklemler kullanılarak sırasıyla 87.00 ve 52.88 MPa olarak belirlenmiştir. Bu değerler bölgede masif ve gözenekli bazalt taşları üzerinde yapılan deney sonuçlarıyla karşılaştırıldığında %2 civarında farklar olduğu belirlenmiştir. Elastisite modülü değerleri kullanılarak hesaplanan serbest basınç dayanım değerleri masif ve gözenekli bazalt taşları için sırasıyla 91.46 ve 56.93 MPa olarak bulunmuştur. Bu değerler bölgede masif ve gözenekli bazalt taşları üzerinde yapılan deney sonuçlarıyla karşılaştırıldığında ise %2-10 civarında farklılıklar olduğu belirlenmiştir. Horasan harç numunesi üzerinde yapılan asit kaybı deneyi sonuçlarından harçtaki hacimsel kireç/agrega oranının 1/2.5 olduğu belirlenmiştir. Bu oran yardımıyla harcın serbest basınç dayanımı, çekme dayanımı, birim hacim ağırlığı ve elastisite modülü sırasıyla 0.759 MPa, 0.274 MPa, 1.670 t/m<sup>3</sup> ve 1845 MPa olarak tahmin edilmiştir. [1]

### Kaynaklar

- [1] Beysanoğlu Ş. 1987. *Anıt ve Kitabeleriyle Diyarbakır Tarihi*, 1. Cilt, Neyir Yayınevi, 847s, Ankara.
- [2] Kocaturk T., Erdogan Y.S., Demir C., Gokce A., Ulukaya S., Yuzer N. 2017. Investigation of existing damage mechanism and retrofitting of Skeuophylakion under seismic loads, *Engineering Structures*, 137: 125-144.
- [3] Akoz F., Yuzer N. 1970. Investigation of Material Properties of Kucuk Ayasofya Mosque-Sts Sergius And Bacchus of Istanbul, *WIT Transactions on The Built Environment*, 16: 163-169.

- [4] Aköz F., Yüzer N. 2005. Tarihi Yapılarda Malzeme Özelliklerinin Belirlenmesinde Uygulanan Yöntemler, Antalya Yöresinin İnşaat Mühendisliği Sorunları Kongresi, pp 225-235, 22-24 Eylül, Antalya.
- [5] TS EN 12504-2. 2014. Yapılarda beton deneyleri - Bölüm 2: Tahribatsız muayene - Geri sıçrama sayısının belirlenmesi, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [6] TS EN 12504-4. 2012. Beton deneyleri - Bölüm 4: Ultrasonik atımlı dalga hızının tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [7] Kahveci A.E. 2008. Diyarbakır Yöresinde Bazalt Taşının Yapı Malzemesi Olarak Kullanımının İncelenmesi Üzerine Bir Araştırma, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 131s, Isparta.
- [8] Büyüksağış I.S., Goktan R.M. 2007. The effect of Schmidt hammer type on uniaxial compressive strength prediction of rock, *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences*, 44: 299-307.
- [9] Poole R.W., Farmer L.W. 1980. Technical note: Consistency and repeatability of Schmidt hammer rebound data during field testing, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanics Abstracts*, 17: 167-171.
- [10] Postacıoğlu B. 1981. Cisimlerin Yapısı ve Özellikleri İç Yapı ve Mekanik Özellikler, Cilt 1. İTÜ Matbaası, 614s, İstanbul.
- [11] Tarun R., Naik T.R., Malhotra V.M., Popovics J.S. 2004. The Ultrasonic Pulse Velocity Method, In: V.M. Malhotra and N.J. Carino”, Edited 2004, *Handbook on Nondestructive Testing of Concrete*, *Crc Press*, 331s, New York.
- [12] TS 2518. 2013. Sertleşmiş betonda Portland çimentosu dozajının tayini için deney yöntemi, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [13] Yılmaz I., Sendir H. 2002. Correlation of Schmidt hardness with unconfined compressive strength and Young's modulus in gypsum from Sivas (Turkey), *Engineering Geology*, 66 (3): 211-219.
- [14] Katz O., Reches Z., Roegiers J.C. 2000. Evaluation of mechanical rock properties using a Schmidt Hammer, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 37 (4): 723-28.
- [15] Aydın A., Basu A. 2005. The Schmidt hammer in rock material characterization, *Engineering Geology*, 81 (1): 1-14.
- [16] Yagiz S. 2009. Predicting uniaxial compressive strength, modulus of elasticity and index properties of rocks using the Schmidt hammer. *Bulletin of engineering geology and the environment*, 68 (1): 55-63.
- [17] Kahraman S. 2001. Evaluation of simple methods for assessing the uniaxial compressive strength of rock, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 38 (7): 981-994.
- [18] Karaveziroglou M., Papayianni J., Penelis G. 1998. Mortars and grouts in restoration of Roman and Byzantine monuments. In *Compatible Materials for the protection of European Cultural Heritage*. In *PACT 56*, Technical Chamber of Commerce, pp219-245, 11-12 December, Athens.

---

*Araştırma Makalesi / Research Article*

---

## **CrN Kaplanmış AISI 52100 Çeliğinin Atmosfer ve Vakum ortamlarında Aşınma Davranışının İncelenmesi**

Levent KARA\*

*Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Erzincan*

---

### **Öz**

Bu çalışmada farklı taban malzeme bias gerilimleri uygulanarak üretilen CrN kaplamalarının morfolojik, yapısal, kimyasal ve aşınma dayanımı özellikleri incelenmiştir. Sanayide yaygın bir şekilde kullanılan AISI 52100 çeliği taban malzeme olarak seçilmiştir. Kaplama yöntemi olarak fiziksel buhar biriktirme yöntemi kullanılmıştır. Kaplamaların morfolojik özellikleri taramalı elektron mikroskobu kullanılarak incelenmiştir. Kaplamaların kristalografik yapıları X ışını difraksiyonu yöntemi kullanılarak analiz edilmiştir. Kaplamaların kimyasal bileşenleri EDS analizi ile incelenmiştir. Kaplamaların aşınma dayanımı özellikleri  $5 \times 10^{-3}$  mbar vakum ve normal atmosfer ortamlarında sabit hız, süre ve yük deney parametrelerinde disk üzeri bilye deney düzeneği kullanılarak incelenmiştir. Aşınma hacimleri temassız optik profilometre ile ölçülmüştür. Aşınma mekanizmaları aşınma izlerinden alınan SEM ve EDS analizleri ile karakterize edilmiştir. Bu çalışmada kullanılan kaplama parametreleriyle elde edilen CrN kaplamaların aşınma dayanımlarını belirlemek için yapılan deneylerden elde edilen sonuçlara göre; atmosfer şartlarında CrN kaplanmış bütün numunelerin, kaplanmamış numunelere göre daha düşük aşınma miktarına sahip olduğu gözlenmiştir. Atmosfer koşullarında en düşük aşınma miktarı, taban malzemelere 200 Volt bias uygulanan numunelerden elde edilirken, vakum ortamında en düşük aşınma miktarı taban malzemelere 100 Volt bias gerilimi uygulanan numunelerden elde edilmiştir. Atmosfer ortamında aşınma mekanizması bütün numunelerde oksidatif ve abrazyif olarak gözlemlenirken, vakum ortamında aşınma mekanizması adhezif olarak gözlenmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Fiziksel Buhar Kaplama, Vakum, Aşınma, AISI 52100.

---

## **Investigation of Wear Behavior of CrN Coated AISI 52100 Steel under Atmospheric and Vacuum Environment**

---

### **Abstract**

In this study, it has been investigated morphological, structural, chemical and wear resistance properties of CrN coatings produced by applying different bias voltages on substrate material. AISI 52100 steel which is widely used in industry was selected as a substrate material. Physical vapor deposition method was used as the deposition method. The morphological properties of the coatings were investigated using scanning electron microscopy. Crystallographic structures of the coatings were analyzed using X-ray diffraction method. The chemical components of the coatings were examined by EDS analysis. The wear resistance properties of the coatings were investigated by using a ball on-disk method at constant speed, duration and load test parameters in  $5 \times 10^{-3}$  mbar vacuum and normal atmosphere. Wear volume were measured by contactless optical profilometer. The wear mechanisms are characterized by SEM and EDS analyzes taken from wear traces. From the wear tests, it was observed that all the samples coated with CrN under atmospheric conditions had a lower amount of wear than the uncoated specimens. The lowest amount of wear in atmospheric conditions was obtained from samples subjected to 200 Volt bias to substrate materials while the lowest amount of wear in vacuum was obtained from samples subjected to 100 Volt bias voltage to substrate materials. The wear mechanism in the atmospheric environment was observed oxidatively and abrasive in all samples, while the wear mechanism in the vacuum environment was mainly adhesive.

**Keywords:** Physical Vapour, Deposition, Vacuum, Wear, AISI 52100.

---

\*Sorumlu yazar: [lkara@erzincan.edu.tr](mailto:lkara@erzincan.edu.tr)

Geliş Tarihi: 13.07.2018, Kabul Tarihi: 30.10.2018

## 1. Giriş

Makine elemanlarında meydana gelen hasarların başında aşınma gelmektedir. Eski çağlardan günümüze kadar birbiriyle eş çalışan yüzeylerde sürtünmeyi azaltmak ve aşınma dayanımını artırmak için çeşitli yöntemler kullanılmıştır. Bu yöntemlerin başında çalışma yüzeyleri arasına sıvı yağlayıcıların uygulanması gelmektedir. Ancak pek çok uygulamalarda sıvı yağlayıcıların kullanılması için ek tertibatlara gereksinim duyulması, çevre kirliliğine sebep olması, yüksek sıcaklıklarda yağın yapısının bozulması gibi nedenlerinden dolayı kullanımı istenmemektedir. Bunun yanında uzayda çalışan araçlar örneğin; jireskoplar, uydular, aktüatörler, anten sürücüler, sensör işaretleme mekanizmaları, dişililer, pompalar sanayide kullanılan endüstriyel vakum içeren kaplama cihazlarının vakum odalarındaki hareketli mekanizmaları ve taramalı elektron mikroskobu gibi ileri karakterizasyon cihazlarının çalışabilmeleri için vakum ortamlarında çalıştıklarından dolayı bu cihazların hareketli elemanlarında aşınmayı azaltmak için sıvı yağlayıcılar uçuculuklarından dolayı yağlayıcı olarak kullanılamamaktadır [1],[2]. Bahse konu olan bütün bu uygulamalarda birbiriyle eş çalışan makine elemanlarında sürtünmeyi azaltmak ve aşınma direncini artırmak için malzeme yüzeylerine ince bir film şeklinde çeşitli malzemelerin kaplanması sıvı yağlayıcıların yerine geçebilecek etkili bir yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır. Özellikle geçiş metallere nitrürlü bileşikleriyle ilgili bu kapsamda pek çok çalışma yapılmıştır. Genel itibarıyla kaplamaların özelliklerine pek çok parametre etki etmektedir. Bu parametrelerden bazıları kaplama işleminin gerçekleştirilmiş olduğu ortam basıncı, taban malzemelerin sıcaklığı ve plazmadaki iyonların taban malzemeye yönlendirilmesi için taban malzemelere uygulanan bias gerilimidir. Kaplama işleminin gerçekleştirildiği ortam basıncı arttırıldığında plazma içerisindeki iyonlar arasındaki ortalama serbest yol azalmakta ve bunun neticesinde hedef malzemenin koparılan atomların taban malzemeye ulaşımı azalmakta buda genel itibarıyla kaplama kalınlığını ve sertliğini azaltmaktadır [3]. Taban malzeme sıcaklığının arttırılmasıyla malzemenin kristal yapısının amorf halden kristal hale dönüştüğü ayrıca adezyon dayanımının da arttığı ifade edilmiştir [4]. Bias geriliminin artmasıyla da taban malzemeye yönelen iyonlar kontrol edilerek yüzeye absorbe olmuş atomların hareketliliği iyileşmekte, fazladan çekirdeklenme bölgeleri elde edilmekte ve böylece daha yoğun bir yapının oluşup kaplamaların sertlik ve aşınma direncinin arttığı rapor edilmiştir [5]. Ancak bias voltajının aşırı miktarda arttırılmasıyla bu sefer taban malzeme yüzeyine kaplanan malzeme tekrar sıçratılarak kaplama kalınlığının azalmasına sebebiyet verebilmektedir [6].

CrN esaslı kaplamalar; sahip oldukları yüksek sertlik, tokluk, aşınma ve korozyon gibi özelliklerinden dolayı pek çok endüstriyel uygulamada dikkat çeken geçiş metallere nitrürlü kaplamalarından biridir [7, 8]. CrN esaslı kaplamalar günümüze kadar pek çok kaplama yöntemi ile çeşitli taban malzeme yüzeylerine uygulanmıştır. Yapılan bir çalışmada katodik erozyon/DC manyetik alanda sıçratma tekniğiyle CrN kaplanmış numuneler kaplanmamış AISI H13 ve AISI 316 çeliklerine göre normal atmosfer şartlarında daha iyi aşınma dayanımı gösterdiği ifade edilmiştir [9]. Başka bir çalışmada ise ark iyon kaplama yöntemiyle alüminyum 2024 alaşımı üzerine CrN kaplanmış numunelerin deniz suyu ortamında yapılan aşınma deneylerinde kaplanmamış numunelere göre daha iyi bir aşınma dayanımı gösterdiği rapor edilmiştir [10]. Korozyon direncinin incelendiği diğer bir çalışmada, reaktif DC manyetik alanda sıçratma tekniği ile düşük çalışma basıncı ile üretilmiş CrN kaplamasının daha yüksek korozyon direncine sahip olduğu ifade edilmiştir [11]. Reaktif manyetik alanda sıçratma tekniğinin kullanıldığı ve hedef gücünün CrN kaplamasının özellikleri üzerine etkisinin incelendiği bir çalışmada hedef malzemeye uygulanan gücün artmasıyla kaplamaların sertliklerinin arttığı ifade edilmiştir [12]. Dengesiz manyetik alanda sıçratma tekniği kullanılarak yapılan başka bir çalışmada düşük enerjili iyon bombardımanının sertliği düşürdüğü, yüksek iyon bombardımanında yüksek kalıntı bası gerilmelerini artırdığı, sertliği artırdığı daha yoğun ve pürüzsüz bir kaplama özelliklerinin elde edilmesini sağladığını rapor edilmiştir [13]. Reaktif manyetik alanda sıçratma tekniği kullanılarak yapılan başka bir çalışmada kaplamaların tane boyutunun azalmasının sertliği artırdığı ifade edilmiştir [14]. Reaktif manyetik alanda sıçratma tekniği ile yapılan başka bir çalışmada düşük N<sub>2</sub>/Ar oranının Cr+Cr<sub>2</sub>N şeklinde ikili faz oluşturduğu ve akış oranının arttırılmasıyla Cr<sub>2</sub>N pikinin güçlendiği ve ayrıca yüksek yoğunluğa ve ince taneli yapıya sahip kaplamaların daha yüksek sertliğe sahip oldukları rapor edilmiştir [15]. Radio frekans manyetik alanda sıçratma tekniği kullanılarak azot gaz akışının etkisinin değerlendirildiği bir çalışmada en yüksek sertliğin % 12 Azot akışının olduğu kaplamada elde edildiği ifade edilmiştir [16]. Farklı aşınma deneyi parametrelerinin fiziksel buhar biriktirme tekniği kullanılarak elde edilmiş CrN kaplamasına etkilerinin incelendiği bir çalışmada özgül

aşınma hızının artan yük ve hız ile birlikte azaldığı, sürtünme katsayısının ise artan yük ve kayma hızı ile arttığı ifade edilmiştir [17].

Yapılan literatür incelemeleri sonucunda CrN kaplamalarıyla ilgili pek çok çalışma yapılmasına rağmen, vakum şartlarında ki aşınma özellikleriyle ilgili yeterince çalışma yapılmadığı gözlemlenmiştir. Bu çalışmada CrN kaplamasının vakum ortamında aşınma özellikleri incelenerek literatürde bu boşluğun giderilmesine katkıda bulunulmuştur.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Kaplama İşlemleri

Bu çalışmada fiziksel buhar biriktirme yöntemlerinden biri olan manyetik alanda sıçratma tekniği kullanılarak, farklı taban malzeme bias gerilimleriyle AISI 52100 çeliği üzerine biriktirilen CrN kaplamalarının normal atmosfer ve vakum ortamlarında sürtünme katsayısı, aşınma miktarı ve aşınma mekanizmaları araştırıldı. Kaplama tekniği olarak manyetik alanda sıçratma tekniğinin seçilmesinin nedeni daha hatasız bir yüzey elde edilmesi, kaplama hızının yüksek olması ve kaplama işleminde pek çok parametrenin kolay bir şekilde kontrol edilebilmesidir. Kaplama cihazının fotoğrafı Şekil 1’de verilmiştir.

Kaplama işlemleri öncesinde taban malzeme olarak seçilen AISI 52100 çelikleri 5mm kalınlığında 25mm çapında disk şeklinde hazırlandı. Homojen bir yüzey elde edebilmek ve muhtemel kirleri yüzeyden uzaklaştırmak için bütün numuneler sırasıyla kaba zımparalama, ince zımparalama ve parlatma işlemlerine tabi tutuldu. Bu işlemlerin ardından numuneler etil alkol havuzunda 15 dakika ultrasonik temizleme işlemine tabi tutuldu. Daha sonra numuneler hava ile kurutuldu.



Şekil 1. Manyetik alanda sıçratma sisteminin fotoğrafı

Kaplama cihazında bir adet RF (Radio Frequency) ve bir adet DC (Direct Current) güç kaynağı bağlı iki magnetron bulunmaktadır. Kaplama işlemlerinde Cr hedef malzemesi DC güç kaynağına bağlı magnetrona takılmıştır. Kaplama işlemleri öncesinde numuneler 30 dakika yüksek saflıktaki Argon gazı ile iyon temizleme işlemine tabi tutulmuştur. Kaplama işlemi 450°C’de yapılmıştır. Kaplama parametreleri Tablo 1’de verilmiştir.



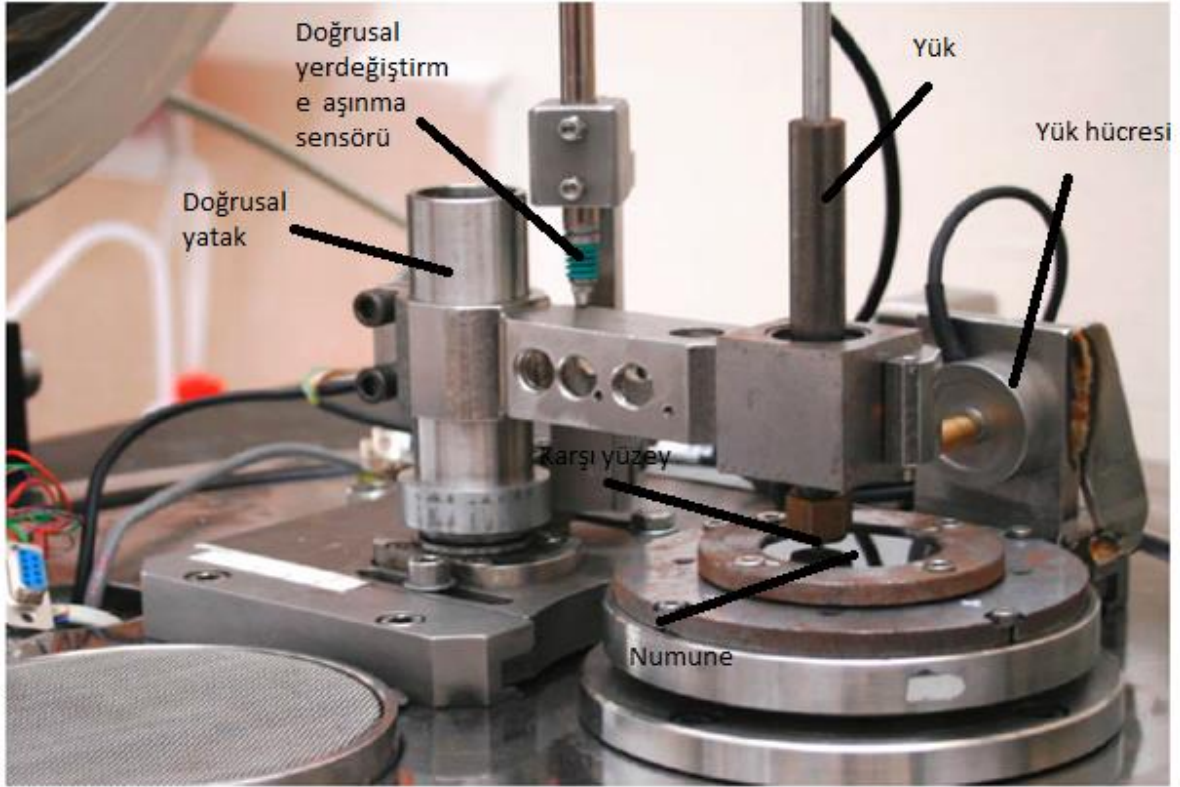
Taban malzeme yüzeylerine dış kaplama tabakasının adezyonunu artırmak ve kaplama ile taban malzeme arasındaki gerilmeleri azaltmak için 10 dakika Cr ara tabakası kaplanmıştır. CrN tabakası ise 2 saat 50 dakika kaplanmıştır.

**Tablo 1.** Kaplama işlemleri için parametreler

	Cr Hedef Gücü (Watt)	Çalışma Basıncı (mtorr)	N <sub>2</sub> Akış Hızı (sccm)	Bias voltaj (V)
CrN300	100	10	10	300
CrN200	100	10	10	200
CrN100	100	10	10	100

## 2.2. Kaplamaların analiz işlemleri

Kaplamaların yüzey morfolojileri taramalı elektron mikroskobu ile yapılmıştır. Kimyasal analizleri EDS (Energy Dispersive Spectroscopy) ile yapılmıştır. Kristolografik yapıları XRD (X Ray Diffraction) cihazı ile belirlendi. Kaplamaların normal atmosfer ve  $5 \times 10^{-3}$  mbar vakum ortamlarındaki aşınma özellikleri disk üzeri bilye deney tekniğiyle belirlendi. Aşınma deney düzeneğinin fotoğrafı Şekil 2’de verilmiştir.



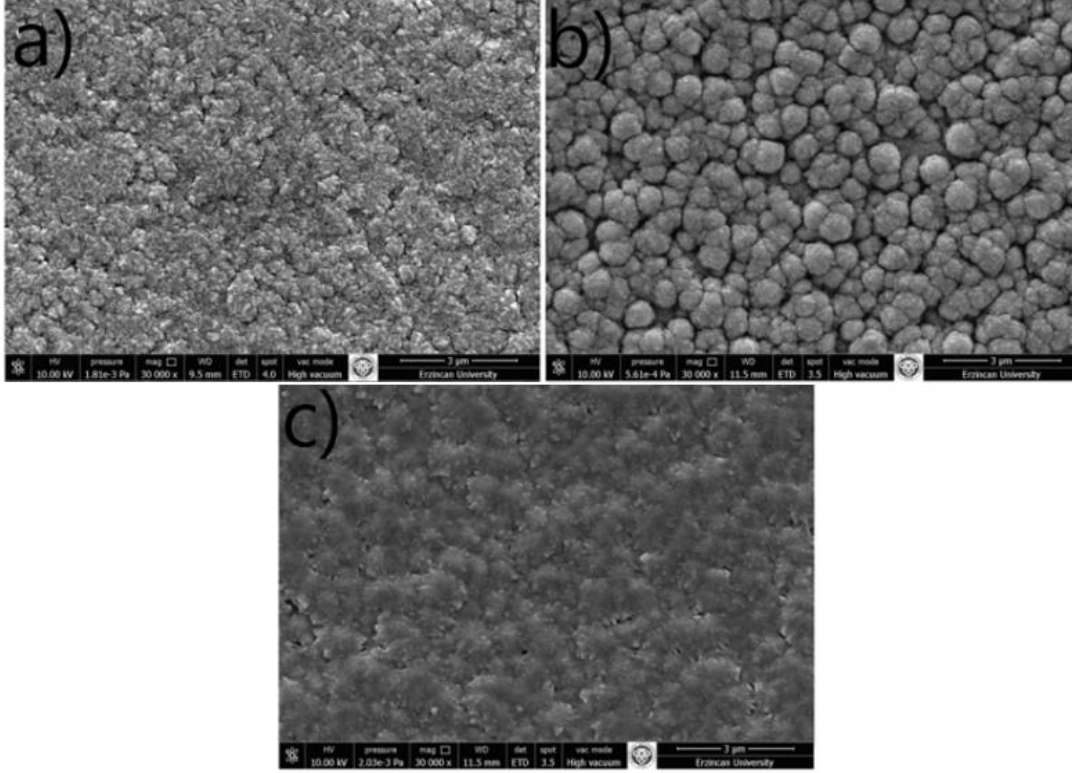
**Şekil 2.** Disk üzeri bilye aşınma düzeneği fotoğrafı

Aşınma deneylerinde kullanılan parametreler daha önceden yapılan laboratuvar deneyleri ve literatürdeki çalışmalar dikkate alınarak normal yük 2N, çevresel hız 60 mm/sn ve deney süresi 7 dakika (1600 çevrim) olarak belirlenmiştir. Aşınma deneylerinde karşı yüzey olarak Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> bilyeler kullanıldı. Aşınma hacimleri temassız optik profilometre ile ölçüldü. Aşınma yüzeyleri taramalı elektron mikroskobu ve EDS ile incelendi.

### 3. Bulgular ve Tartışma

#### 3.1. Morfolojik İncelemeler

Kaplamaların yüzey morfolojileri taramalı elektron cihazı ile gözlemlendi. Elde edilen yüzey SEM fotoğrafları Şekil 3’de verilmiştir.

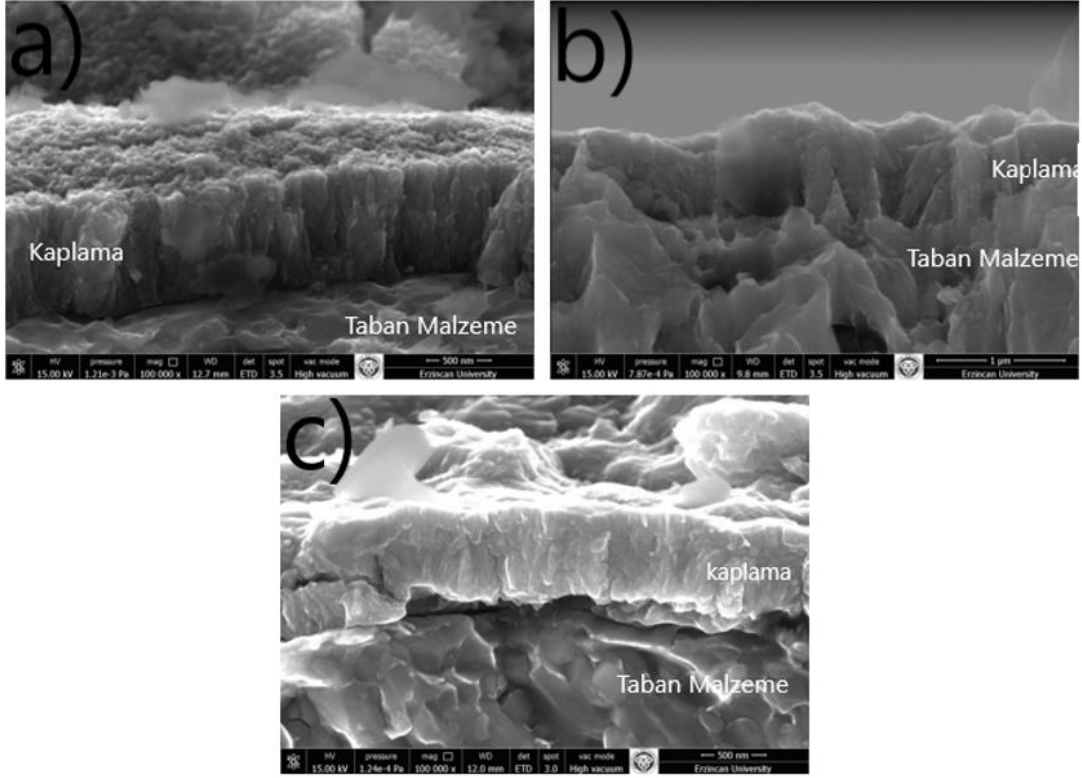


Şekil 3. Kaplamaların yüzey SEM fotoğrafları; a) CrN100, b) CrN200 ve c) CrN300

Şekil 3’den görüldüğü üzere taban malzemelere farklı biasın geriliminin uygulanması kaplamaların yüzey morfolojilerini önemli oranda değiştirmiştir. Taban malzemelere 100 V bias geriliminin uygulandığı CrN100 numunesinde gözenekli bir yapı elde edilmiştir. Bu yapının Movchan ve Demchishin ve daha sonra Thornton tarafından geliştirilen Zone 1 yapısı görünümüne benzediği düşünülmektedir [18]. Bu durumun, kaplama prosesi esnasında yüzeye ulaşan absorbe olmuş atomların çok düşük hareketliliğe sahip olmasıyla ilgili olduğu düşünülmektedir [19]. Bias voltajının 200 V’a artırıldığı CrN200 numunesinde ise artan çekirdeklenme ile taneli yapıya sahip bir morfoloji elde edilmiştir. Elde edilen bu yapının artan bias voltajı ile absorbe olmuş atomların hareketliliğinin artmasından kaynaklanabileceği düşünülmektedir [19]. Bu seviyedeki bias voltajıyla absorbe olmuş atomlar birbirleriyle difüzyon olarak kristal adalar gibi bir yapı oluşturmuşlardır. Burada absorbe atomlar sadece bir adaya difüzyon olabilmektedir. Bu nedenle CrN200 kaplamasındaki taneler ya da adalar birbirleriyle kaynaşmadığından dolayı yapı düz kolon şeklinde oluşmuştur (Şekil 4) [19]. Bias voltajının 300 V’a artırıldığı CrN300 numunesinde ise bulk difüzyonun arttığı, yoğun ve sıkı paketlenmiş zone T şekline benzeyen bir yapı elde edilmiştir [18]. Bu sonuçları kesitlerden alınan SEM fotoğrafları da doğrulamaktadır (Şekil 4).

Kaplama kesitlerinden yapılan ölçümlerden CrN100, CrN200 ve CrN300 numunelerinin kalınlıkları sırasıyla 868nm, 979nm ve 750nm olarak ölçülmüştür. Burada taban malzemelere uygulanan bias geriliminin 100V değerinden 200V değerine artırılmasıyla kaplama kalınlığının da 868nm değerinden 979nm değerine arttığı tespit edilmiştir. Bu durum artan bias voltajıyla plazmadan taban malzemeye daha fazla iyonun ulaşmasıyla ilişkili olduğu düşünülmektedir. Bias geriliminin 300V değerine artırılmasıyla bu sefer kaplama kalınlığının 750nm değerine düştüğü görülmektedir. Bu durumun ise bahse konu olan bias gerilimi değerinin plazmada bulunan iyonların oldukça yüksek enerjili

olarak taban malzeme üzerine yönlendirerek, daha önce biriken kaplamayı tekrar yerinden geriye sıçratmasıyla (re-sputtering) ilgili olduğu düşünülmektedir [20-22].

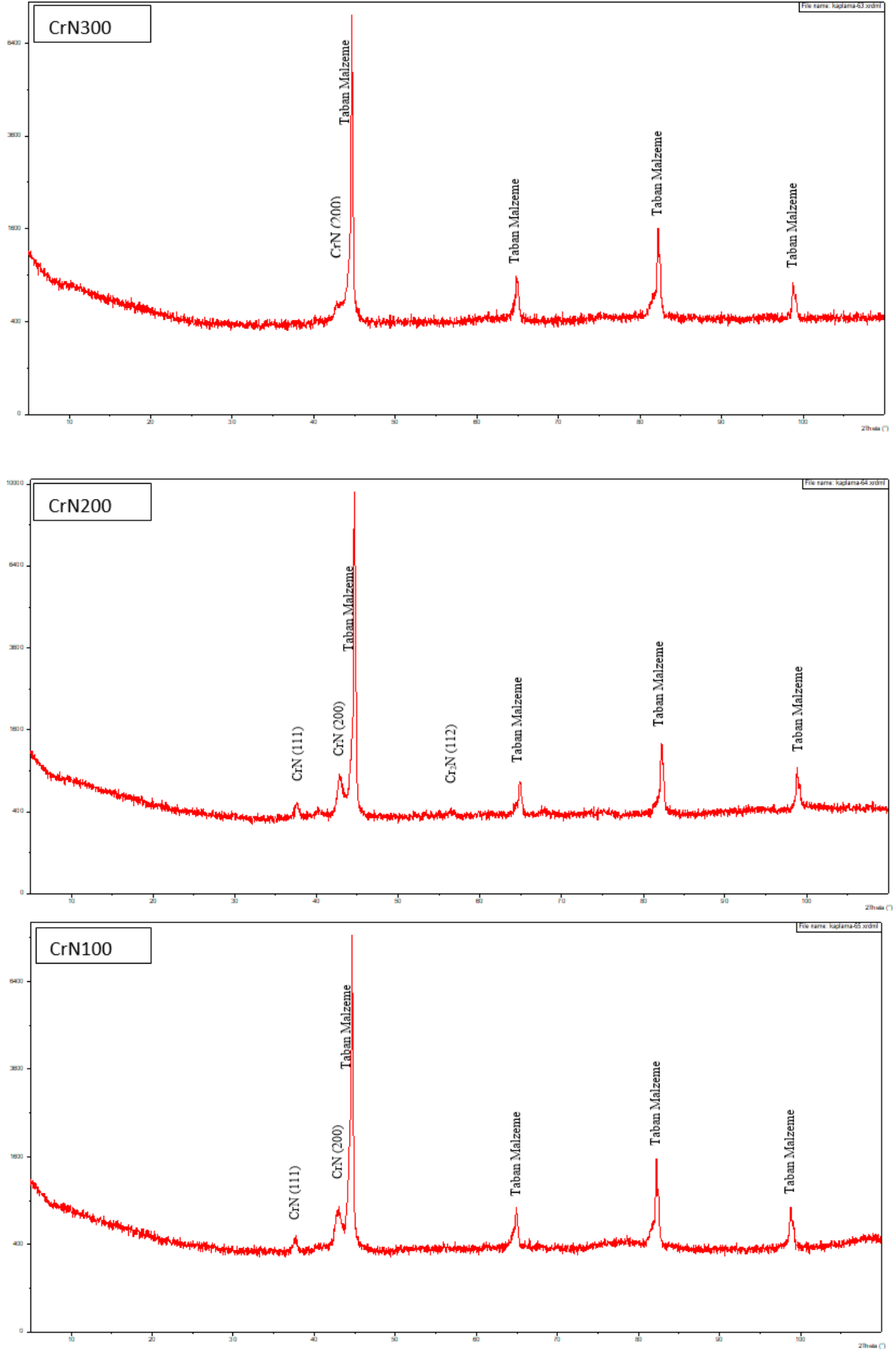


Şekil 4. Kaplamaların kesitlerinin SEM fotoğrafları; a) CrN100, b) CrN200 ve c) CrN300

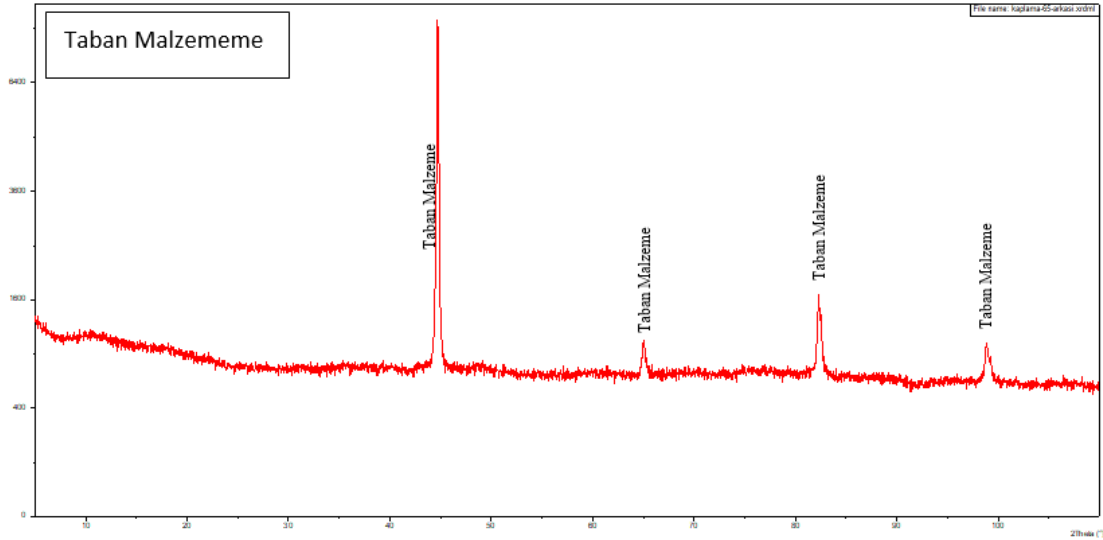
### 3.2. XRD analizleri

Taban malzemelere uygulanan farklı bias gerilimi sonucunda elde edilen kaplamaların XRD analiz sonuçları Şekil 5'te verilmiştir.

Şekil 5'ten görüldüğü üzere CrN100 numunesinde  $38^\circ$  açısında CrN(111) ve  $43^\circ$  açısında CrN(200) pikleri elde edilmiştir [15]. Taban malzemelere uygulanan biasın 100V'tan 200V'a çıkartıldığı CrN200 numunesinde bu piklere ek olarak sıçratma atomlarının enerjilerinin artmasıyla  $56-57^\circ$   $Cr_2N(112)$  piki gözlenmiştir. Ancak bu pikin şiddeti bias voltajının 300V değerine çıkartıldığı CrN300 numunesinde taneler arası difüzyonun artmasıyla azalmıştır. Taban malzemelere uygulanan bias voltajının 300V olduğu CrN300 numunesinde ise sadece CrN(200) piki elde edilmiş olup, şiddetinin ise diğer numunelere göre önemli oranda azaldığı gözlenmiştir. Bir kaplamanın kristalografik gelişimi birikme esnasında termodinamik ve kinetik mekanizmalarla ilişkili olmaktadır. Termodinamik şartlar altında CrN kaplamasının (100) düzleminde büyümesi beklenmektedir. Bunun nedeni (100) düzleminin (110) ve (111) düzlemlerinden daha düşük yüzey enerjisine sahip olmasıdır [23]. Eğer kinetik mekanizmalar baskın ise bu sefer birçok çalışmada görüldüğü üzere (111) düzlemi üzerinde büyüme olmaktadır. Bu çalışmada da taban malzemelere uygulanan bias gerilimi neticesinde CrN(111) piki CrN100 ve CrN200 numunelerinde gözlenmiştir. Ancak CrN300 numunesinde taban malzemelere uygulanan bias voltajının 300 V değerine çıkartılmasıyla enerjisi aşırı bir şekilde artan sıçratma iyonları büyüyen kaplamada tekrar geriye sıçratma, tavlama ve absorbe olmuş atomların (adatom) difüzyonunun kolaylaşmasıyla CrN(111) pikinin şiddetinin azalarak kaplamanın yarı amorf halde büyümesine neden olmuştur. Aynı mekanizma CrN(200) pikinde de etkili olduğu düşünülmektedir.



Şekil 5. CrN kaplı numunelerin ve taban malzemenin XRD pikleri



Şekil 5 (devamı). CrN kaplı numunelerin ve taban malzemenin XRD pikleri

### 3.3. Kimyasal Bileşim Analizleri

Tablo 2'ye bakıldığında Azot miktarının 100 V bias gerilimi uygulanan CrN100 numunesinde atomik olarak %15,41 olduğu ve bias voltajının 200 V'a çıkartılmasıyla beraber az miktarda arttığı görülmektedir. Bu durumun artan bias voltajı ile birlikte plazma içerisinde azot ve krom atomlarının yoğunluklarının artması ve hızlandırılmış azot atomlarının kaplama tabakası içerisine CrN bileşiğinden hariç olarak ara yer atomu olarak girmesiyle ilişkili olacağı düşünülmektedir. Bias voltajının 300 V'a arttırıldığı CrN300 numunesinde ise azot miktarının aşırı şekilde azalarak % 9 olduğu görülmektedir. Bu durumun ise taban malzemelere uygulanan yüksek bias gerilimi neticesinde enerjisi artmış argon atomlarının krom elementine göre kütlesi düşük olan azot atomlarını geriye sıçratarak (resputtering) kaplamadan uzaklaştırması neticesinde oluştuğu düşünülmektedir.

Tablo 2. AISI 52100 çeliğine kaplanmış numunelerin kimyasal bileşim sonuçları (% atom)

	N	Cr	O
CrN300	9	81	9,85
CrN200	18,69	70,36	10,95
CrN100	15,41	73,8	10,79

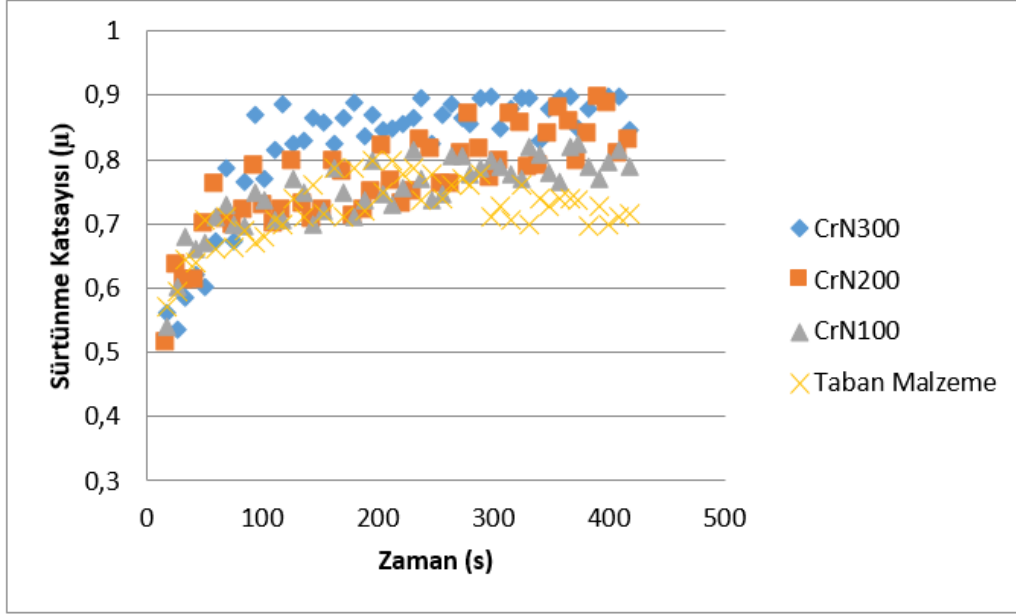
### 3.4. Aşınma Deneyleri Analizleri

Kaplama aşınma deneylerinden elde edilen sürtünme katsayısı eğrileri Şekil 6'da verilmiştir. Şekil 6'dan kaplamaların sürtünme katsayısı eğrilerine bakıldığında stabil bir davranış gösterdiği görülmektedir. Kaplamaların ortalama sürtünme katsayıları Tablo 3'te verilmiştir. Tablo 3'den genel itibarıyla kaplanmış numunelerin sürtünme katsayıları aralarında önemli miktarda fark bulunmamakla birlikte normal atmosfer koşullarında yapılan deneylerde taban malzemeye göre daha yüksek sürtünme katsayılarına sahip oldukları görülmektedir.

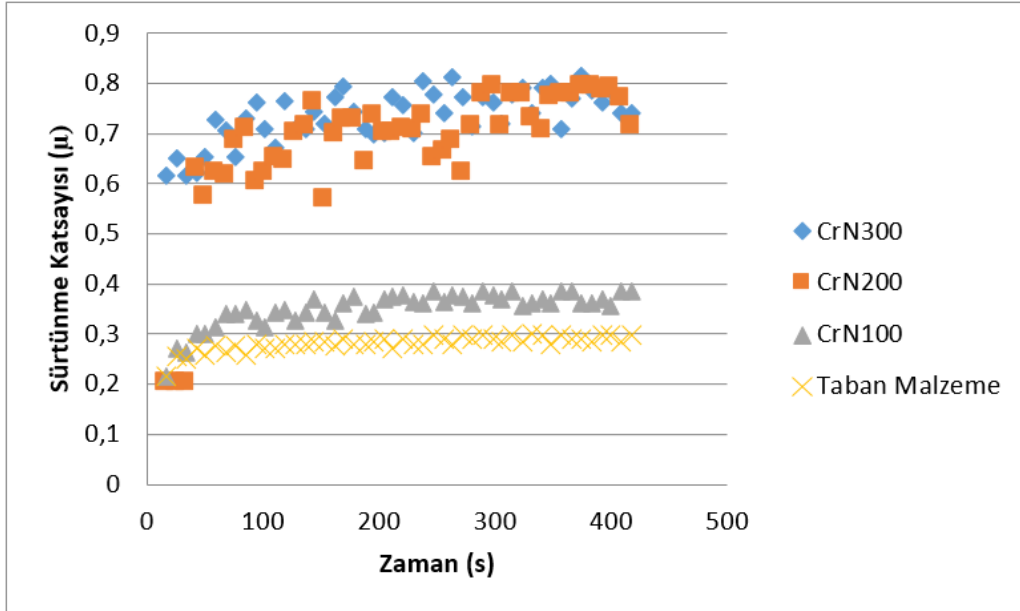
Vakum ortamında yapılan deneylerden elde edilen sürtünme katsayısı eğrileri Şekil 7'de verilmiştir. Vakum ortamında yapılan deneylerde en düşük sürtünme katsayısı CrN100 numunesinden elde edilmiştir. Aynı şartlarda deney tekrarlandığında benzer sonuçlar elde edilmiştir. CrN100 numunesinde düşük sürtünme katsayısı, kaplama ile aşındırıcı bilye arasında oluşan yağlayıcı bir tabaka ile ilgili olduğu düşünülmektedir.

Vakum şartlarında yapılan deneylerden elde edilen sürtünme katsayısı değerleri atmosfer şartlarında yapılan deneylerden elde edilen sürtünme katsayısı değerlerinden daha düşük olduğu görülmüştür (Tablo 3). Benzer sonuç literatürde yapılan çalışmalarda da elde edilmiştir [24-26]. Birbiriyle eş çalışan yüzeylerde yumuşak olan taraftan sert olan tarafa malzeme transferi olmaktadır. Bu nedenle belirli bir süre sonunda temas eden yüzeylerin karakteri değişmektedir. Bu çalışmada vakum

ortamında elde edilen sürtünme katsayısının atmosfer ortamında yapılan deneylerden elde edilen sürtünme katsayısından düşük olmasının nedeni bu durumla ilgili olduğu düşünülmektedir. Vakum ortamında deney başlangıcında CrN kaplamasıyla aşındırıcı bilye  $Si_3N_4$  arasında olan sürtünme, karşı yüzey üzerine CrN kaplamasının transfer olmasıyla artık belirli oranda CrN üzeri CrN sürtünmesine dönüşmüştür. Atmosfer ortamında ise havada bulunan oksijen sebebiyle karşı yüzeye transfer olan tabaka, Tablo 4’te verilen EDS analizlerinden de görüldüğü gibi oksit (Cr-N-O) karakterlidir. Dolayısıyla atmosfer ortamında başlangıçta  $Si_3N_4$  ile CrN arasında olan sürtünme zaman geçtikçe oksit karakterli olan transfer tabakası ile CrN arasında meydana gelen sürtünme haline dönüşmüştür. Sert bir yapıya sahip olduğu düşünülen oksit transfer tabakası da atmosfer ortamında sürtünme katsayısını artırmıştır.



Şekil 6. Atmosfer ortamında yapılan deneylerden elde edilen Sürtünme katsayısı grafiği

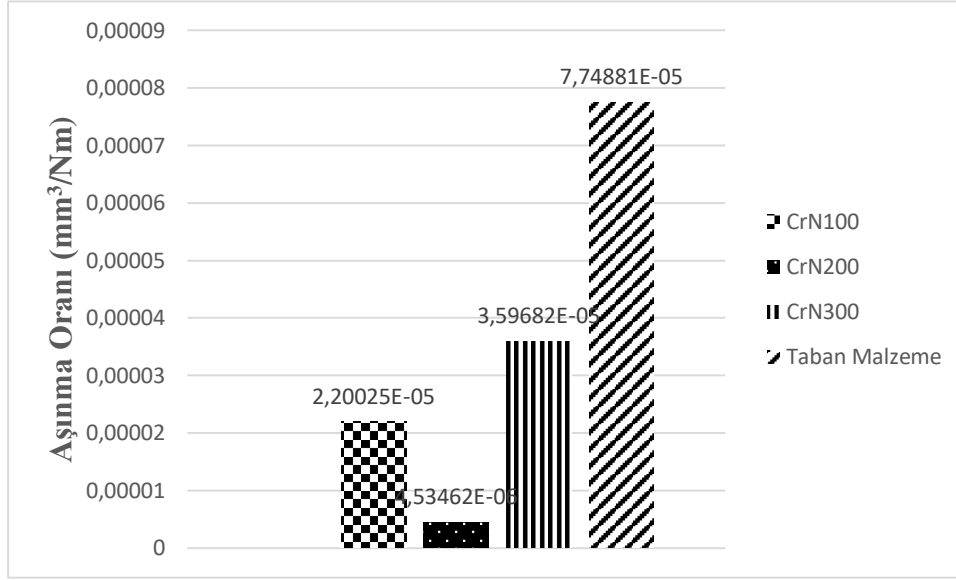


Şekil 7. Vakum ortamında yapılan deneylerden elde edilen sürtünme katsayısı eğrileri

Kaplamaların atmosfer şartlarında ve vakum şartlarında yapılan aşınma deneylerinden elde edilen aşınma miktarları sonuçları Tablo 3’te ve grafikleri Şekil 8’de verilmiştir.

**Tablo 3.** Aşınma deneyleri sonuçları

	Ortalama Sürtünme Katsayısı		Aşınma Oranı Atm $\text{mm}^3/(\text{Nm})$	Aşınma Oranı Vakum $\text{mm}^3/(\text{Nm})$
	Atm	Vakum		
<b>CrN300</b>	0,86	0,75	3,59682E-05	0,000209
<b>CrN200</b>	0,79	0,71	4,53462E-06	0,000189
<b>CrN100</b>	0,76	0,36	2,20025E-05	5,46E-06
<b>Taban malzeme</b>	0,73	0,28	7,74881E-05	3,17E-06

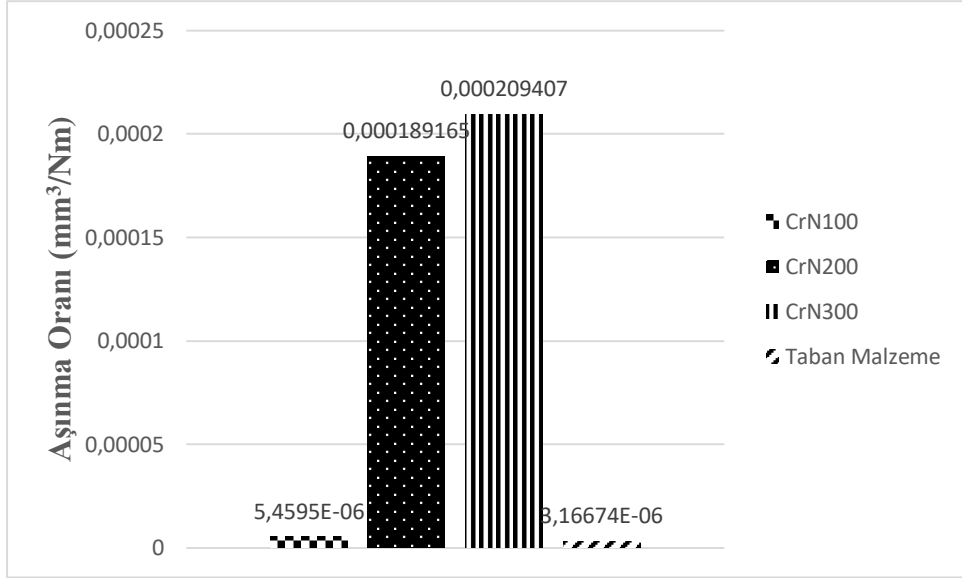
**Şekil 8.** Atmosfer şartlarında yapılan deneylerden elde edilen aşınma miktarı grafikleri.

Şekil 8'den görüldüğü üzere normal atmosfer şartlarında kaplanmış numunelerin tamamı kaplanmamış numuneden daha yüksek aşınma dayanımı göstermiştir. Kaplanmış numunelerin aşınma dayanımı sonuçları kendi içerisinde değerlendirildiğinde en düşük aşınma miktarı CrN200 numunesinde elde edilirken, en yüksek aşınma miktarı CrN300 numunesinde elde edildiği görülmektedir (Tablo 3). Taban malzemelere uygulanan bias geriliminin 100V değerinden 200 V değerine çıkartılmasıyla aşınma miktarı önemli derecede azalmıştır. Bu durumun CrN200 numunesinin sahip olduğu daha yüksek azot miktarıyla ilişkili olduğu düşünülmektedir (Tablo 2).

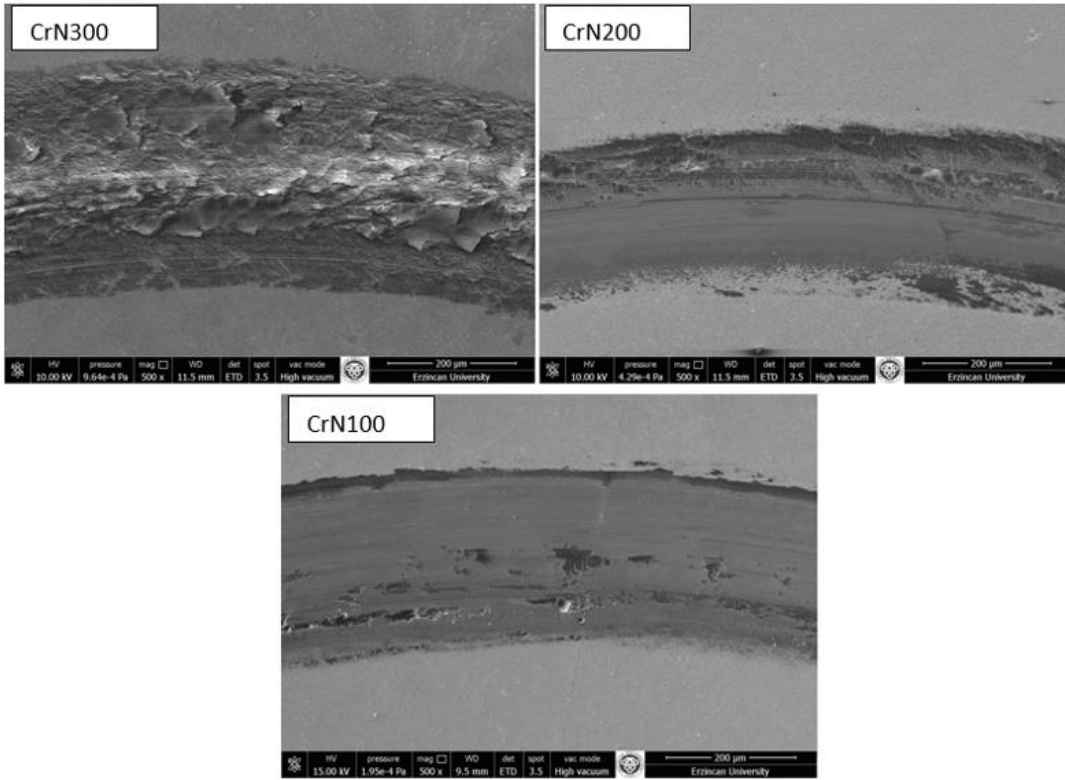
Vakum ortamında yapılan aşınma deneylerinden elde edilen aşınma miktarları Tablo 3'te ve grafikleri Şekil 9'da verilmiştir. Şekil 9'dan görüldüğü üzere kaplanmış numunelerin aşınma miktarları kaplanmamış numuneden daha yüksek çıkmıştır. Kaplanmış numuneler kendi içerisinde değerlendirildiğinde en düşük aşınma miktarı CrN100 numunesinden elde edilirken, en yüksek aşınma miktarı CrN300 numunesinden elde edildiği görülmüştür.

Genel itibariyle atmosfer şartlarında vakum şartlarına göre daha düşük aşınma miktarının elde edildiği gözlenmiştir. Bu durumun atmosfer şartlarında kaplama yüzeylerinde yağlayıcı etki yaptığı düşünülen Cr-O oksit filmi ile ilgili olduğu düşünülmektedir. Hem vakum ortamında hem de atmosfer ortamında yapılan aşınma deneylerinin aşınma yollarından alınan EDS analizlerinde görülen oksijen elementindeki fark bu sonucu doğrulamaktadır (Tablo 4, Tablo 5).

CrN kaplanmış numunelerin aşınma mekanizmaları SEM fotoğrafları ve aşınma izlerinden yapılan EDS ölçümleri ile analiz edilmiştir. Atmosfer ortamında yapılan aşınma deneylerinde elde edilen aşınma izi fotoğrafları Şekil 10'da, EDS analizleri de Tablo 4'te verilmiştir.



Şekil 9. Vakum ortamında yapılan deneylerden elde edilen aşınma miktarı grafikleri



Şekil 10. Atmosfer ortamında yapılan deneylerden elde edilen aşınma yüzeyi SEM fotoğrafları

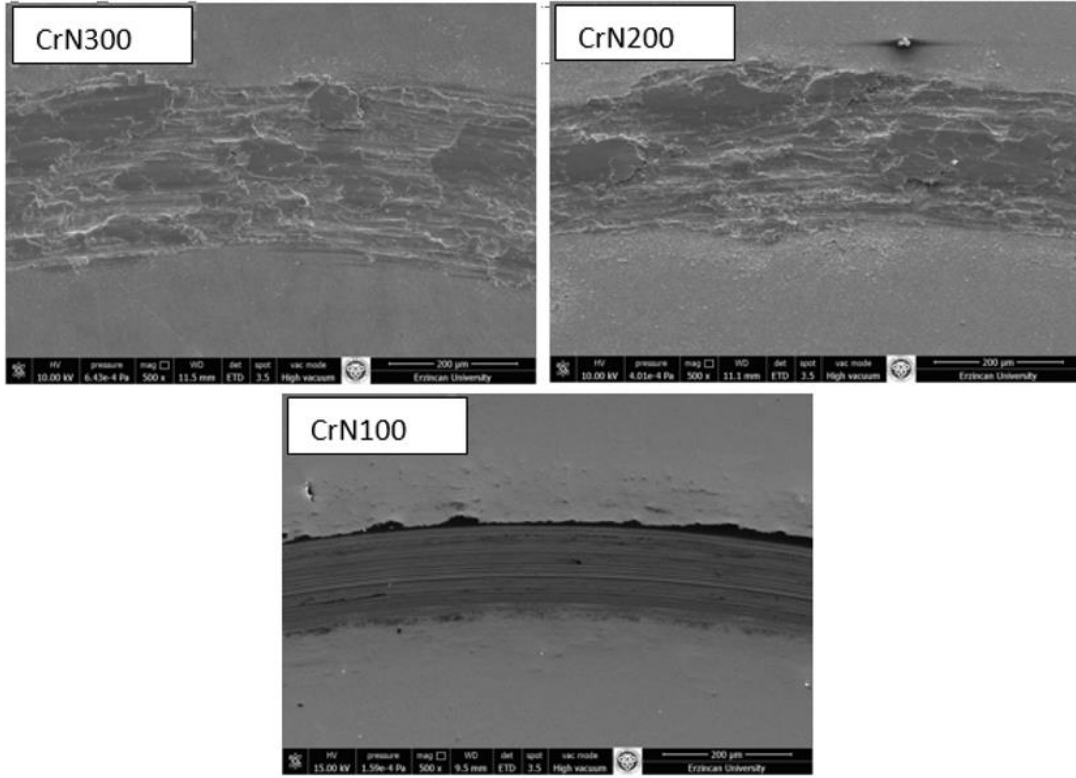
Şekil 10'da görüldüğü gibi CrN300 kaplamasında oksitadif, abrazif ve parçalı şekilde yüzeyden kalkmanın etkin olduğu görülmektedir. Oksitadif aşınma karakterini, aşınma izi içerisinde alınan EDS analizi sonuçları da doğrulanmaktadır (Tablo 4). CrN200 kaplamasında ise ince çizikler halinde bir aşınma yolu gözlenmiştir.



**Tablo 4.** Atmosfer şartlarında yapılan aşınma deneylerinde aşınma izi içerisinde yapılan EDS analizi sonuçları

	C	N	O	Si	V	Cr	Fe
CrN300	7.89	5.33	48.91	4.03	0.27	7.16	26.4
CrN200	9.2	18.15	18.91	0.61	0.25	33.98	18.9
CrN100	10.11	15.7	15.05	0.24	0.33	38.34	20.23

Vakum ortamında yapılan aşınma deneylerinden elde edilen aşınma yüzeyi SEM fotoğrafları Şekil 11’de ve EDS analizleri Tablo 5’te verilmiştir.

**Şekil 11.** Vakum ortamında yapılan aşınma deneylerinden elde edilen aşınma izi fotoğrafları

Şekil 11’den görüldüğü üzere vakum ortamında yapılan aşınma deneylerinde CrN300 ve CrN200 kaplamaları taban malzeme yüzeyinden büyük ölçüde kalkmıştır. CrN100 kaplaması ise çok az aşınmıştır. Tablo 5’de vakumda yapılan aşınma deneylerinden aşınma izi içerisinde alınan EDS analizi sonuçlarına bakıldığında CrN300 ve CrN200 numunelerinin çok az bir oksidasyona uğradığı ve CrN100 numunesinin ise daha fazla oksidasyona uğradığı görülmektedir. Buradaki oksijenin kaplama odası içerisinde kalıntı oksijenden kaynaklandığı düşünülmektedir. CrN100’de oluşan bu oksit tabakanın vakum şartlarında yağlayıcı etkiye neden olduğu düşünülmektedir. CrN200 ve CrN300 numunelerine daha fazla bias gerilimi uygulandığından bu numunelerde CrN100 numunesine göre daha fazla artıktık gerilme oluştuğu ve bu artık gerilmeler kaplamaların tokluğunu düşürerek kırılğan bir yapıya sahip olmalarını sağladığı düşünülmektedir.

**Tablo 5.** Vakum ortamında yapılan aşınma deneylerinde aşınma izi içerisinde yapılan EDS analizi sonuçları

	C	N	O	Si	V	Cr	Fe
CrN300	13.95	4.21	3.02	0.63	0.67	7.81	69.71
CrN200	15.73	5.18	4.85	0.64	0.69	12.24	60.66
CrN100	10.95	16.36	12.26	0	0.38	39.06	21

#### 4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada reaktif manyetik alanda sıçratma yöntemiyle AISI 52100 çeliği taban malzemesi üzerine değişik taban malzeme bias gerilimiyle CrN kaplamalar kaplanmıştır. Yapılan deneyler sonucunda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Taban malzemelere uygulanan bias geriliminin, kaplamaların morfolojik yapılarına önemli oranlarda etkimektedir. 100 V bias gerilimi uygulandığında boşluklu bir yapı, 200 V bias gerilimi uygulandığında taneli bir yapı ve 300V bias uygulandığında yoğun bir yapı elde edilir.

Taban malzemelere bias gerilimi uygulanmasıyla kaplamaların kristolografik yapıları değişir. 100 V bias gerilimi uygulandığında CrN(111) ve CrN(200) pikleri elde edilirken, 200 V bias gerilimi uygulandığında bu piklere ek olarak Cr<sub>2</sub>N(110) piki elde edilmiştir. Bias gerilimi 300 V değerine çıkartıldığında piklerin şiddeti zayıflamıştır. Kaplama yarı amorf hale gelmiştir.

CrN kaplamalarının normal atmosfer ortamındaki aşınma dayanımı, vakum ortamındaki aşınma dayanımından daha yüksektir.

Atmosfer ortamında en düşük aşınma miktarı taban malzemelere 200 Volt bias geriliminin uygulandığı numunelerden elde edilmiştir.

Atmosfer ortamında aşınma mekanizması abrazif ve oksitadifken, vakum ortamında adezif aşınma mekanizması daha etkindir.

#### Kaynaklar

- [1] Voevodin A.A., Zabinski J.S. 2015. Nanocomposite and nanostructured tribological materials for space applications, *Composites Science and Technology*, 65 (5): 741-748.
- [2] Gao X., Fu Y., Jiang D., Wang D., Yang J., Weng L., Hu M., Sun J. 2018. Structural, Mechanical, and Tribological Properties of WS<sub>2</sub>-Al Nanocomposite Film for Space Application, *Tribology Letters*, 66 (4): 137.
- [3] Tsai D.-C., Chang Z.-C., Kuo B.-H., Chen B.-C., Chen E.-C., Shieu F.-S. 2018. Wide variation in the structure and physical properties of reactively sputtered (TiZrHf)N coatings under different working pressures, *Journal of Alloys and Compounds*, 750: 350-359.
- [4] La J., Song M., Kim H., Lee S., Jung W. 2018. Effect of deposition temperature on microstructure, corrosion behavior and adhesion strength of Zn-Mg coatings on mild steel, *Journal of Alloys and Compounds*, 739: 1097-1103.
- [5] Hajihoseini H., Kateb M., Ingvarsson S., Gudmundsson J.T. 2018. Effect of substrate bias on properties of HiPIMS deposited vanadium nitride films, *Thin Solid Films*, 663: 126-130.
- [6] Dubey P., Martinez G., Srivastava S., Chandra R., Ramana C.V. 2017. Effect of bias induced microstructure on the mechanical properties of nanocrystalline zirconium tungsten nitride coatings, *Surface and Coatings Technology*, 313: 121-128.
- [7] Lin J., Sproul W.D., Moore J.J. 2012. Tribological behavior of thick CrN coatings deposited by modulated pulsed power magnetron sputtering, *Surface and Coatings Technology*, 206 (8): 2474-2483.
- [8] Pakala M., Lin R.Y. 1996. Reactive sputter deposition of chromium nitride coatings, *Surface and Coatings Technology*, 81 (2): 233-239.
- [9] Vite M., Moreno-Ríos M., Hernández E.A.G., Laguna-Camacho J.R. 2011. A study of the abrasive resistance of sputtered CrN coatings deposited on AISI 316 and AISI H13 steel substrates using steel particles, *Wear*, 271 (9): 1273-1279.
- [10] Zhou F., Chen K., Wang M., Xu X., Meng H., Yu M., Dai Z. 2008. Friction and wear properties of CrN coatings sliding against Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> balls in water and air, *Wear*, 265 (7): 1029-1037.
- [11] Ruden A., Restrepo-Parra E., Paladines A.U., Sequeda F. 2013. Corrosion resistance of CrN thin films produced by dc magnetron sputtering, *Applied Surface Science*, 270: 150-156.
- [12] Qi Z., Wu Z., Zhang D., Wei B., Wang J., Wang Z. 2017. Effect of sputtering power on the chemical composition, microstructure and mechanical properties of CrN<sub>x</sub> hard coatings deposited by reactive magnetron sputtering, *Vacuum*, 145: 136-143.

- [13] Hurkmans T., Lewis D.B., Paritong H., Brooks J.S., Münz W.D. 1999. Influence of ion bombardment on structure and properties of unbalanced magnetron grown CrN<sub>x</sub> coatings, *Surface and Coatings Technology*, 114 (1): 52-59.
- [14] Mayrhofer P.H., Tischler G., Mitterer C. 2001. Microstructure and mechanical/thermal properties of Cr–N coatings deposited by reactive unbalanced magnetron sputtering, *Surface and Coatings Technology* 142-144: 78-84.
- [15] Tu J.-N., Duh J.-G., Tsai S.-Y. 2000. Morphology, mechanical properties, and oxidation behavior of reactively sputtered Cr–N films, *Surface and Coatings Technology*, 133-134: 181-185.
- [16] Bertrand G., Savall C., Meunier C. 1997. Properties of reactively RF magnetron-sputtered chromium nitride coatings, *Surface and Coatings Technology*, 96 (2): 323-329.
- [17] Singh S.K., Chattopadhyaya S., Pramanik A., Kumar S. 2018. Wear behavior of chromium nitride coating in dry condition at lower sliding velocity and load, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 96 (5): 1665-1675.
- [18] Thornton J.A. 1977. High Rate Thick Film Growth, *Annual Review of Materials Science*, 7 (1): 239-260.
- [19] Mahieu S., Depla D. 2009. Reactive sputter deposition of TiN layers: modelling the growth by characterization of particle fluxes towards the substrate, *Journal of Physics D: Applied Physics*, 42 (5): 053002.
- [20] Shinmitsu T., Shi J., Hashimoto M. 2002. Effects of substrate-bias on the structure of sputter-deposited Co–Pt film, *Surface and Coatings Technology*, 151-152: 55-58.
- [21] Gilewicz A., Warcholinski B., Murzynski D. 2013. The properties of molybdenum nitride coatings obtained by cathodic arc evaporation, *Surface and Coatings Technology*, 236: 149-158.
- [22] Lee H.Y., Lee D.K., Kang D.H., Lee J.J., Joo J.H. 2005. The effect of r.f. substrate bias on the properties of carbon nitride films produced by an inductively coupled plasma chemical vapor deposition, *Surface and Coatings Technology*, 193 (1): 152-156.
- [23] Grasser S., Daniel R., Mitterer C. 2012. Microstructure modifications of CrN coatings by pulsed bias sputtering, *Surface and Coatings Technology*, 206 (22): 4666-4671.
- [24] Li F., Kang Y., Fu L., Qiao Z., Liu W., Yang J. 2016. Friction and wear behavior of nanoeutectic Fe<sub>1.87</sub>C<sub>0.13</sub> under air and vacuum conditions, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part J: Journal of Engineering Tribology*, 230 (4): 481-487.
- [25] Wu J.-s., Li J.-f., Zhang L., Qian Z.-Y. 2017. Effects of environment on dry sliding wear behavior of silver–copper based composites containing tungsten disulfide, *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 27 (10): 2202-2213.
- [26] Amirat M., Sawalem M., Zaïdi H. 2013. Influence of the Gas Environment on the Transferred Film of the Tribologic Brass (CuZn)/XC48 Steel COUPLE, *Applied Mechanics and Materials*, 367: 32-39.

---

*Araştırma Makalesi / Research Article*

---

## **Evsel Organik Atıklar ve Sığır Gübresi Karışımlarından Biyogaz Üretiminin İncelenmesi**

Halil ŞENOL<sup>\*1</sup>, Ünsal AÇIKEL<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Giresun Üniversitesi, Genetik ve Biyomühendislik Bölümü, Giresun

<sup>2</sup>Cumhuriyet Üniversitesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Sivas

---

### **Öz**

Bu çalışmada farklı organik evsel katı atıklardan (EKA) ve taze sığır gübresinden (SG) anaerobik fermantasyon ile biyogaz üretilmiştir. Rastgele seçilen organik evsel katı atıkların önce elementel analiz cihazı ile karbon (C) /azot (N) oranı belirlenmiştir. Daha sonra kuru madde ve organik uçucu madde oranı tayini yapılmıştır. Evsel atıkların C içeriği N içeriğinden fazla olması nedeniyle C/N oranı ortalama 45 olarak bulunmuştur. Sonra bu atık karışımı C/N oranları anaerobik fermantasyon için uygun aralık olan 20-35 aralığına göre ayarlanacak şekilde sığır gübresi (SG) ile karıştırılmıştır. Bu evsel atıklar: sığır gübresi kütlece karışım oranları 1:0, 2:1, 1:1, 1:2, 0:1 şeklinde 5 farklı karışım oranları oluşturulmuştur. Anaerobik fermantasyon 500 ml' lik 2 yan boyunlu kapaklı şişelerde gerçekleştirilmiştir. Bütün deneyler 3 tekerrürlü yürütülmüştür. Biyogaz oluşumu 40 °C'de gerçekleştirilmiştir. En yüksek biyogaz oluşum hızı 280 ml/g toplam katı madde olup, EKA: SG 2:1 karışım oranına sahip reaktörde gerçekleşmiştir. Anaerobik fermantasyondaki KOİ giderimleri her 7 günde bir ölçülmüştür ve toplam KOİ giderimi en fazla % 48,9 olarak kütlece 2:1 oranında karıştırılan reaktörde bulunmuştur. Çalışma sonucunda evsel katı atıkların sığır gübresi ile anaerobik fermantasyonda iyi bir karışım olabileceği kanaatine varılmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Biyogaz, Evsel katı atıklar, C/N oranı, Sığır gübresi.

---

## **Investigation of Biogas Production from Domestic Organic Waste and Cattle Manure Mixtures**

### **Abstract**

In this study, biogas was produced by anaerobic fermentation from different organic household solid wastes (HSW) and fresh cattle manure (CM). The ratio of carbon C/N in the elemental analyzer was determined first from randomly selected organic domestic solid wastes. After that, dry matter and organic matter content were determined. The average C/N ratio of domestic wastes is found to be 45 because the content of C is more than N content. Then this waste mixture was mixed with cattle manure (CM) to adjust the C/N ratios to the appropriate range of 20-35 for anaerobic fermentation. Mixed ratios of 5 different proportions were formed in the ratio of 1: 0, 2: 1, 1: 1, 1: 2, 0: 1. Anaerobic fermentation was carried out in 500 ml 2-necked bottle. All experiments were carried out in 3 layers. Biogas formation was carried out at 40 °C. The highest rate of biogas formation occurred in the reactor with the mixing ratio of DSW: CM 2: 1 as a solid of 280 ml / g total solid waste. COD removal rates in anaerobic fermentation were measured every 7 days and total COD removal was found in a 2: 1 mass ratio reactor with a maximum of 48.9%.The study concluded that domestic solid wastes could be a good mixture of cattle fermentation and anaerobic fermentation..

**Keywords:** Biogas, Household solid waste , C/N ratio, Cattle manure.

---

---

\*Sorumlu yazar: [halilsenol@yahoo.com](mailto:halilsenol@yahoo.com)

Geliş Tarihi: 16.07.2018, Kabul Tarihi: 27.12.2018

## 1. Giriş

21. yüzyıla kadar dünyamızda fosil yakıtlar kullanılmıştır. 21. Yüzyıl başladığında ise tükenbilir enerji kaynaklarının yetersiz olduğu anlaşılmıştır. Bu durum yeni enerji kaynağı arayışına yol açmıştır. Bu arayışın önemli sonuçlarından biri biyogaz enerjisi olmuştur. [1]. Bu gaz, hayvan ve bitki gibi organik atıklardan anaerobik fermantasyon yöntemi ile elde edilen, yanıcı bir gazdır. İçeriğinde, % 60-70 metan ( $CH_4$ ), % 40-30 karbondioksit ( $CO_2$ ) bulunur. Ayrıca, eser miktarlarda hidrojen gazı ( $H_2$ ), karbon monoksit ( $CO$ ), hidrojen sülfür ( $H_2S$ ) ve azot ( $N_2$ ) gazları içerir [2]. Biyogazın yoğunluğu  $1,21 \text{ kg/m}^3$ 'dür ve  $-164 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de sıvılaşır. Biyogazın enerji değeri içerisinde büyük oranda bulunan  $CH_4$  gazından kaynaklanmaktadır.  $CH_4$  gazı oranına göre biyogazın değeri de değişir. Metan gazının ısı değeri, yaklaşık  $8.900 \text{ kcal/m}^3$ 'tür. İçindeki metan gazı miktarına göre, biyogazın ısı değeri  $4.700-5.700 \text{ kcal/m}^3$  arasında değişmektedir. [3].  $CO_2$ ,  $SO_2$ ,  $CO$ , azot oksitleri, su buharı ve is biyogazın yanması sonucu ortaya çıkar.  $SO_2$ 'nin oluşma sebebi, biyogazın içindeki  $H_2S$ 'den kaynaklanmaktadır.  $1 \text{ m}^3$  biyogazdaki enerji;  $1,46 \text{ kg}$  kömür,  $0,62 \text{ litre}$  gazyağı,  $0,43 \text{ kg}$  bütan gazı,  $12,3 \text{ kg}$  tezek,  $3,47 \text{ kg}$  odun ve  $4,70 \text{ kWh}$  elektrik enerjisine eşittir. Biyogaz, metan gazının yanıcılığından dolayı doğalgaza benzemektedir [2].

Taze sığır gübresi bazı toksik bileşenleri, zararlı ot tohumlarını ve bazı hastalık etmenlerini içermektedir. Sığır gübresinin anaerobik fermantasyonda değerlendirilmesi sonucu anaerobik mikroorganizmaların oluşturduğu birtakım biyokimyasal tepkimeler sayesinde bu zararlı bileşenler etkisiz hale gelmektedir [1]. Evsel katı atıklar ise doğaya verdikleri kötü koku vb. gibi nedenlerden dolayı zararlıdır. Bu nedenle bu atıkların değerlendirilmesi çevreci bir yaklaşıma neden olmaktadır. Bunun yanında hem enerji oluşur hem de yan ürün olarak gübre üretilir [4,14].

### 1.1. Biyogaz Üretiminde Kullanılan Başlıca Organik Atıklar

Organik içerikli birçok atık madde ile biyogaz üretilebilir. Biyogaz tek çeşit atıktan üretilebileceği gibi, biyogazı birkaç atığın karışımı ile de üretmek mümkündür. Bu sebeple, biyogaz üretiminde kullanılabilen farklı organik atıkları aşağıdaki gibi sıralayabiliriz [1].

#### 1.1.1. Hayvansal Organik Atıklar

Hayvansal organik atıkların büyük kısmı hayvansal yaş gübredir. Bu gübrelerin anaerobik fermantasyonda değerlendirilmesi dışında, alternatif çözüm kaynağı çok azdır. Bu nedenle anaerobik fermantasyonda kullanımı hem organik gübre hem de biyogaz oluşturması açısından yararlıdır. Sığır, tavuk vb. hayvan dışkıları yanında, çiftlik atıkları ve hayvansal mezbaha vb. atıkları, biyogaz üretimi için gerekli organik atıklardır [5].

#### 1.1.2. Bitkisel Organik Atıklar

Enerji bitkileri ve algler gibi bitkisel atıklar, ince sap, çimen atıkları, mısır atıkları, şeker pancarı yaprakları, saman, çimen atıkları, anız gibi bitkilerin işlenmeyen bölümleri biyogaz üretimi için kullanılmaktadır. Bunların yanı sıra, orman atıkları da biyogaz üretimi için organik atık olarak kullanılmaktadır [3,6].

#### 1.1.3. Kentsel ve Endüstriyel Atıklar

Biyogaz üretiminde kâğıt, tekstil, deri, dip çamurları ve kanalizasyon, gıda endüstrisi atıkları da kullanılmaktadır. Büyük yerleşim yerleri bunun için idealdir. Fakat su arıtma tesislerindeki atıkların içerisinde anaerobik bakteriler için toksik madde oranının yüksek olmasından dolayı, oksijensiz ortamda fermantasyon gerçekleştirmek daha zordur [1].

### 1.2. Biyogazın Oluşum Aşamaları

Anaerobik işlemin üç kısmı vardır. Bu kısımlar sırasıyla hidroliz, asit oluşum ve metan oluşum aşamasıdır. Organik atıklar, son aşamada  $CO_2$  ve  $CH_4$ 'e dönüşür. Organik atıklar geç bozulan

maddelerden oluşur ve içeriğinde farklı yapılar bulunur [7]. Bu nedenle her bir organik atığın anaerobik proseslerde yıkımı farklı zaman aralıklarına sebep olmaktadır [8].

### 1.2.1. Hidroliz Aşaması

Organik maddeler içerisinde bulunan karbonhidrat, yağ ve protein mikroorganizmalar tarafından parçalanır. Parçalanma ile birlikte, protein, aminoasit, selüloz ise, şekere dönüşür. Yağ asitlerinde ise durum farklıdır ve hidroliz aşaması zaman alıcıdır. Çünkü hücre dışı enzimlerden etkilenmezler. Bu nedenle, hidroliz aşaması anaerobik fermantasyonun sürecini belirleyen aşamadır.

### 1.2.2. Asit Oluşum Aşaması

Asit oluşturan maddelerin fazla olmasıyla parçalanma gerçekleşir. Hücre için gerekli olmayan maddelerin dışarı atılması bu yolla gerçekleşir. Ortamdaki pH düşer ve asit miktarı artar. CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub> ve az miktarda hidrojen sülfür ortaya çıkar. Metan bakterileri oluşunca, 3-3,5 pH'da KOİ derişimi değişmez, ayrıca ortam pH' ı ayarlandıktan sonra, KOİ derişimi azalmaya başlar.

### 1.2.3. Metan Oluşum Aşaması

Asit parçalayan ve metan oluşturan bakteriler, çevre şartlarına göre hassas bakterilerdir. Asit oluşturabilen bakterilerin çoğalma hızını, metan bakterilerinin çoğalma hızıyla kıyaslayacak olursak, asit oluşturabilen bakterilerin çoğalma hızı çok daha yüksektir. H<sub>2</sub> ve asetat, CH<sub>4</sub> oluşumunda ortaya çıkan organik asitlerdir. Bu aşamaların sonucu olarak ise CH<sub>4</sub> ve CO<sub>2</sub> oluşur [9]. Metanojen bakteriler ışığa duyarlı bakteriler olduğu için biyogaz üretim aşamasında ışık geçirgenliği yok edilmelidir [13].

## 1.1. Mutfak atıkları

Ülkemizde kişi başı günlük yaklaşık 1,2 kg toplam katı atık düşmektedir [9-10].

**Tablo 1.** Çeşitli organik atıkların biyogaz üretim potansiyelleri [6]

Organik atık	Biyogaz miktarı (litre/kg)
Evsel atıklar	265-660
Tavuk gübresi	310-620
Sığır gübresi	90-31
Buğday samanı	0-300
Çavdar samanı	200-300
Arpa samanı	290-310
Mısır sapları ve artıkları	380-460
Sebze atıkları	330-360
Yerfıstığı kabuğu	365
Dökülmüş ağaç yaprakları	210-290

Tablo 1'de 1 kg evsel organik atıklardan elde edilen biyogaz miktarları verilmiştir. Organik atıklar oldukça yüksek biyogaz üretim potansiyeline sahiptir.

## 1.2. KOİ

Atık suların kirlilik oranlarını (evsel veya endüstriyel) belirlemek için en önemli yöntemlerden biri KOİ analizleridir. Maddenin oksitlenmesiyle biyolojik olarak parçalanma hızı olmaksızın, organik maddelerin oksitlenebilme durumunu içermektedir. Çevre kirliliğinde, KOİ çok sık dile getirilen bir unsurdur. Atık suların bünyesindeki organik maddelerin miktarını, kimyasal oksidasyonları için gerekli oksijen miktarı cinsinden belirlenebilmesi ile elde edilebilen bir metottur. Yöntem tüm organik

maddelerin, kuvvetli oksitleyicilerle asit ortamlarda oksitlenebilecekleri esasına dayanır [15]. Biyogaz üretim aşamalarında KOİ ölçümlerinin yapılması, organik maddelerin ne kadarının anaerobik mikroorganizmalar tarafından kullanıldığını gösterdiğinden, anaerobik sürecin kontrolü açısından önemlidir.

Haider vd. [17] yaptıkları bir çalışmada besin atıkları ve pirinç çeltiği atıklarını belirli oranlarda karıştırarak biyogaz elde etmişlerdir. C/N oranlarına göre karıştırılan atıkların anaerobik ortam için uygun bir karışım oluşturabileceği belirlenmiştir.

Ojolo vd. [18] yaptıkları bir çalışmada mutfak atıkları ve sığır gübrelere biyogaz üretimi çalışılmıştır. Deneyle aşu olarak kümes hayvanları gübresinden de farklı oranlarda eklenmiştir. Kümes hayvanları sığır gübresi ve mutfak atıkları karışımlarıyla karşılaştırılmalı olarak çalışılmıştır. 3 ayrı reaktörde çalışılmış ve her bir reaktör hacmi 12 L olarak belirlenmiştir. Sıcaklık olarak 30,5 °C ve fermantasyon süresi ise 40 gün sabit alınmıştır. Bu çalışmaların sonucunda toplam biyogaz üretim sığır gübresi için 0,0230 dm<sup>3</sup>/gün, kümes hayvanları gübresi için 0,0143 dm<sup>3</sup>/gün ve mutfak atıkları için 0,0318 dm<sup>3</sup>/gün olarak bulunmuştur.

Ziauddin ve Rajesh [19] yaptıkları çalışmada mutfak atıklarından biyogaz üretimi gerçekleştirilmiştir. Anaerobik fermantasyonda pH 6,4-7,8 arasında tutulmaya çalışılmıştır. Fermantasyon işleminde ortamın pH'ı 6,4' ün altına düştüğü zaman ise sodyum hidroksit (NaOH) ile 7'ye ayarlanmıştır. Bu çalışmada mutfak atıklarına aşu maddesi olarak sığır gübresi eklenmiştir ve 37 °C çalışma sıcaklığı seçilmiştir.

Malakahmad [20] yaptıkları bir çalışmada mutfak atıklarından ve lağım atıklarından biyogaz üretmeyi denemişlerdir. Farklı oranlarda mutfak atıkları ve lağım atıkları kullanılan bu çalışmada optimum karışım oranı olarak; %75 mutfak atıkları % 25 organik lağım atıkları olarak bulunmuştur. Bu çalışmada mutfak atıklarının C/N oranı 38,1 bulunmuştur.

Iqbal vd. [23] yaptıkları çalışmada sığır gübresi ve mutfak atıklarından biyogaz üretmişlerdir. Üretim için kurdukları sistemde 3 tane reaktörde çalışmışlardır. Bu reaktörlere sırasıyla mutfak atıkları (reaktör 1), mutfak atıkları ve sığır gübresi (reaktör 2) ve sığır gübresi (reaktör 3) olmak üzere 3 reaktör oluşturulmuştur. Bu sistem oda sıcaklığına yakın şartlarda (25 - 30 °C) mezofilik şartlarda yürütülmüştür. Yürütülen bu çalışmada en yüksek verimin reaktör 2' de yani mutfak atıkları ve sığır gübresi karışımından elde edildiği gözlemlenmiştir. Mutfak atıklarının çok büyük biyogaz üretim potansiyeline sahip olduğu vurgulanmıştır. Ancak mutfak atıklarından tek başına biyogaz üretiminin oldukça verimsiz olduğu ve bu verimi artırmak için diğer organik atıklarla karıştırılarak fermantasyona bırakılması gerektiği vurgulanmıştır [21]. Bu çalışmada yine mutfak atıklarının çok büyük bir biyogaz üretim verimine sahip olduğu ancak bu organik mutfak atıklarından tek başına biyogaz üretiminin verimsiz olmasının sebebi ise C/N oranının belirlenememesidir. Karışım oranlarından daha yüksek verim alınmasının sebebi ise aslında oluşturulan substrat su karışımının C/N oranının 20 ila 30 arasında bir değere sahip olduğundan kaynaklanmıştır [22].

Bu çalışmada, sığır gübresi ve evsel atıklar kullanılarak biyogaz üretilmiştir. Anaerobik fermantasyon süreci KOİ giderimi ile kontrol edilmiştir.

## 2. Materyal ve Yöntem

### 2.1. Evsel katı atık ve sığır gübresine uygulanan kuru madde ve organik madde analizleri

Kuru madde analizi, anaerobik fermantasyon işlemine başlanmadan önce nem içerdiğinden dolayı hemen hemen bütün organik atıklara yapılmalıdır. Bu sayede toplam katı oranı belirlenmiş olur. Rastgele seçilen EKA homojen olarak karıştırılmıştır. EKA ve taze SG'sine kuru madde analizi yapılmıştır. Toplanan numunelerin her biri hassas terazide 2 gram tartılıp, etüvde 105 °C'de içerisinde nem kalmayacak şekilde yaklaşık 48-72 saat boyunca kurutulmuştur. Kurutma işlemi porselen kroze ile yapılmıştır. Öncelikle porselen kroze etüvde 110 °C' de 6 saat boyunca içerisinde hiç nem kalmayacak şekilde kurutulup darası alınmıştır. Kurutulan numunelerin böylelikle % katı madde oranları belirlenmiştir. Daha sonra bu tartımı alınmış kuru numuneler ayrı ayrı porselen krozeye konularak kül fırında 550 °C'de 2,5-3 saat bekletilmiştir. Yakma işlemi tamamlandıktan sonra numuneler alınarak desikatörde soğumaya bırakılmıştır. Sonuç olarak, organik maddeler bu sıcaklıkta yanarak uçucu madde haline gelmektedir. Yandığında oluşan kül gravimetrik olarak tartılmıştır ve uçucu madde miktarı bulunmuştur [12,13].

## 2.2. Anaerobik fermantasyon süreci

Bu süreçte, her bir reaktör EKA: SG kütlece karışım oranları 1:0, 2:1, 1:1, 1:2, 0:1 oranında karıştırılarak anaerobik fermantasyon deneyleri için deney sistemi oluşturulmuştur. Buna göre 500 ml'lik 2 boyunlu şişeler kesikli çalışan bir biyoreaktör olarak kullanılmıştır. Toplamda her biri 3 tekerrürlü olmak üzere % 10 olacak şekilde 500 ml'lik 15 adet biyoreaktöre biyogaz oluşumu için kurulum yapılmıştır. Biyoreaktörlerin çıkış borusuna göre uygun silikon hortum ve bu hortumun ucuna da 100 ml'lik gaz toplama torbaları eklenmiştir. Biyoreaktörler bütün deneylerde % 80'i (yani 400 ml) substrat ve su karışımıyla doldurulup ve % 20'si boş kalmıştır. Çünkü metan bakterilerinin biyogaz üretimi için bir miktar havaya (yani azot gazına) ihtiyaç duymaktadır. Gaz kaçağını engellemek amacıyla hortumların giriş yeri ve çıkış yeri bant yardımıyla kapatılmıştır. Oksijensiz fermantasyon işlemi için her bir reaktörün pH ölçümü yapılacak ve ardından eğer pH biyogaz oluşumda metan bakterilerinin üremesi için gerekli şartlar olan 6,6 - 7,6 değerinde değilse pH bu aralıktaki gelene kadar hazırlanan 8 M NaOH ve 8 M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> tampon çözeltileri ile ayarlama yapılmıştır. Anaerobik fermantasyon için sıcaklık 40 °C'nin üzerine çıktığında daha fazla gaz üretimi olur fakat sıcaklık maliyetlidir. Daha düşük sıcaklıklarda ise biyogaz üretimi verimsiz olmaktadır. Bu nedenle literatürde optimum sıcaklık oranı 30-40 °C olarak belirlenmiştir [1]. Isıtma sıcaklığı 40°C ± 2 °C olarak seçilmiştir. Deneyler 3 katlı olmak üzere yürütülmüştür, yani her bir reaktörden eş zamanlı olmak üzere 3 adet hazırlanmıştır. Isıtma işlemi ısıtıcı manyetik karıştırıcı yardımıyla yapılmıştır. Deneyler başlamıştır ve ortalama 12 saatte bir 2-3 dakika reaktörler karıştırılmıştır. Oluşan gaz miktarı hacmi bilinen biyogaz gaz toplama torbaları sayesinde ölçülmüştür. Anaerobik süreç gaz oluşumu durana kadar devam etmiştir. Sonuç olarak her bir kuru maddenin gaz oluşum hızı ml biyogaz/g toplam katı madde olarak hesaplanmıştır. Metanojen bakteriler ışığa duyarlı bakteriler olduğu için biyogaz üretim aşamasında reaktörlerin her biri alüminyum folyo ile sarılarak reaktörlerin ışık geçirgenliği yok edilerek anaerobik fermantasyon düzeneği sağlanmıştır. Fermantasyon işlemi ortalama 70 gün sürmüştür. 70. günün sonunda anaerobik işlem bitmiştir ve oluşan biyogaz miktarı ile biyogazın içeriği % hacimsel olarak hesaplanmıştır. Şekil 1'de anaerobik fermantasyon düzeneği görülmektedir.



Şekil 1. Anaerobik fermantasyon düzeneği

Anaerobik fermantasyondaki bütün KOİ tayinleri APHA standart metotlara göre yapılmıştır [16]. Numunenin KOİ analizi 400 mg/L değerinden daha yüksek miktarlarda olduğundan açık reflux titrimetrik yöntemle yapılmıştır. KOİ analizleri sulu karışımın sadece sıvı kısmına yapılmıştır. Bu nedenle sıvı kısımda bulunan organik maddelerin anaerobik süreçte miktarını elde edebilmek açısından önemlidir.



### 3. Bulgular ve Tartışma

Tablo 2’de görüldüğü gibi elementel analiz cihazı ile taze sığır gübresi ve evsel katı atıkların C ve N oranları belirlenmiştir. Buradan da her bir atığın C/N oranları hesaplanmıştır. Ayrıca her bir atığın kuru madde oranı ve uçucu organik madde miktarı bulunmuştur.

**Tablo 2.** . EKA ve SG’nin deneylerde kullanılan bazı parametrelerin değerleri

Parametreler	SG	EKA
% C	33,5	54,45
% N	1,72	1,21
C/N	19,47	45
% kuru madde	21,0	15
% Uçucu katı madde ( % KM)	83,0	81
pH	7,2	4,3
% Nem	79	85

Tablo 3’de taze EKA: SG kütlece karışım oranlarının elementel analiz cihazından çıkan C ve N oranlarına göre C/N oranları hesaplanmıştır. Buna göre atık havuzu ve sığır gübrelere ağırlıkça karıştırılmıştır. C/N oranı anaerobik süreçlerde anaerobik bakterilerin C ve N elementlerinin tüketim hızına göre ayarlanmalıdır. C/N oranlarının ayarlanması hidroliz aşamasında inhibitör etki yapan fazla N ‘nin dengelemesi ve uçucu yağ asitlerinin birikimini dengeler. C/N değerlerinin ayarlanması biyogaz üretim verimini etkileyebilmektedir.

**Tablo 3.** Anaerobik fermentasyon için bazı EKA: SG kütlece karışımlarının C/N oranları

EKA: SG kütlece karışım oranları	Karışımın C/N oranları
1:0	45,00
2:1	36,49
1:1	32,23
1:2	27,98
0:1	19,47

Tablo 4’de standart metotlara göre yapılan analizlerden anlaşılacağı gibi organik içeriği verilmiştir. Bu analizler APHA standart metotlara göre yapılmıştır [11]. Bu Tabloya bakıldığında sığır gübresinin organik içeriğinde ham proteinin % 11,9 ve nişastanın % 12,4 olarak verilmiştir. EKA ise SG ‘ne göre protein açısından daha fakir ve lignin açısından daha zengindir. Anaerobik sindirimde en yüksek ve en hızlı karbohidratların olacağını düşünürsek bu nişasta ve ham protein değerlerinin bileşim miktarı oldukça iyidir [12]. Selüloz, hemiselüloz ve lignin tayinleri Merkezi Araştırma Laboratuvarında soxhlet ve velp cihazlarıyla yapılmıştır. Yağ asitleri sadece uçucu yağ asidi olarak (asetik asit) belirlenmiştir. Asetik asit miktarı gaz kromatografisinde kantitatif olarak analiz edilmiştir. Nişasta ve ham protein karbohidratlar tayinlerine göre kimyasal yöntemlerle belirlenmiştir.

**Tablo 4.** Taze SG ve EKA’nin içeriği

Bileşen	SG, Toplam katı madde (%)	EKA, Toplam katı madde (%)
Selüloz	24,00	27,10
Ham protein	11,90	8,69
Nişasta	12,40	14,68
Yağ asitleri	0,10	0,80
Lignin	12,10	14,50
Hemiselüloz	11,90	13,65

Tablo 5’de 5 farklı kütlece karışım oranlarının 70 gün sonunda oluşturduğu biyogaz hızları verilmiştir. Tablodan da anlaşılacağı üzere en yüksek biyogaz oluşum hızı 2:1 karışım oranı ile hazırlanan reaktöre aittir. En düşük biyogaz oluşum değeri ise ağırlıkça 1:2 olan karışım oranında gerçekleşmiştir. Bu farklı üretim hızlarının muhtemel nedenleri arasında anaerobik bakterilerin C ve N mikro besinlerini farklı hızlarda tüketilmesi vardır.

**Tablo 5.** EKA ve SG’nin farklı oranlarının biyogaz oluşum hızları

<b>EKA: SG Atığı Karışım Oranları</b>	<b>Biyogaz Üretim Miktarı (ml/g<sub>kuru Madde</sub>)</b>
1:0	262,20
2:1	280,00
1:1	245,05
1:2	210,15
0:1	225,80

Tablo 6’da 5 farklı EKA: SG atığı karışım oranlarının oluşturduğu biyogaz içeriği % hacimsel olarak verilmektedir. En yüksek metan içeriği en yüksek verim alınan reaktörde (2:1 karışım olan reaktörde) görülmektedir. En düşük metan içeriği ise hacimce % 58,1 ve % 58,3 olarak 1:0 ve 0:1 oranında karıştırılan reaktörde görülmektedir. H<sub>2</sub>S oranlarının en düşük değeri 301 ppm ve en yüksek değeri ise 444 ppm olarak bulunmuştur. Bu sonuçlar Haider vd. [17] yaptıkları biyogaz üretim çalışma sonuçlarına çok benzer bulgulara sahiptir.

**Tablo 6.** EKA ve SG’nin farklı karışım oranlarının biyogaz içeriği

<b>EKA: SG atığı karışım oranları</b>	<b>Hacimce% CH<sub>4</sub> değeri</b>	<b>Hacimce % CO<sub>2</sub> değeri</b>	<b>H<sub>2</sub>S (ppm miktarı)</b>
1:0	58,1	41,3	444
2:1	61,0	38,6	368
1:1	59,0	40,5	391
1:2	60,2	39,2	301
0:1	58,3	41,3	305

Şekil 1’de EKA: SG kütlece karışım oranı 0:1 olan reaktöre ait KOİ giderim prosesidir. Bu reaktörde yani sadece sığır gübresinin olduğu reaktörde toplam KOİ giderimi % 41,2 olarak bulunmuştur. Buda anaerobik fermentasyonda sığır gübresi içeriisinde bulunan organik maddelerin % 41,2 sinin anaerobik mikroorganizmalar tarafından yıkıldığını ifade etmektedir. Herhangi bir önışlem olmadan sığır gübresinden mezofilik şartlarda % 40 verim alınmıştır.

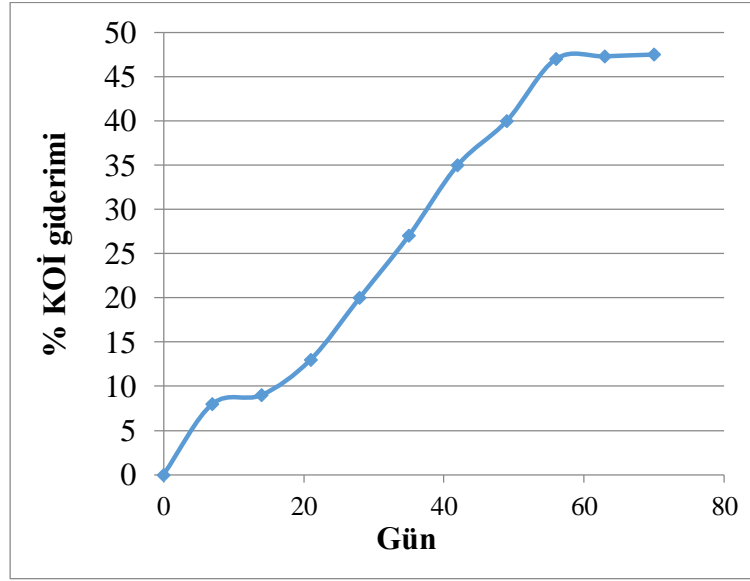
Şekil 2, EKA: SG kütlece karışım oranı 2:1 olan reaktöre ait KOİ giderim prosesidir. 70. gün sonunda toplam KOİ giderimi yaklaşık olarak % 48,9 bulunmuştur. Organik atığın içerisinde bulunan organik maddelerin neredeyse yarısı anaerobik mikroorganizmalar tarafından yıkılmıştır. Benzer şekilde Koçer vd. [1] sığır gübresi ile yapılan çalışmalarında % 40’ına yakının giderildiğinden bahsedilmiştir.

Şekil 3, EKA: SG kütlece karışım oranı 1:0 olan reaktöre ait KOİ giderim prosesidir. 70. gün sonunda toplam KOİ giderimi yaklaşık olarak % 47,5 bulunmuştur. Bu sonuç şekil 2’deki KOİ giderim sonucuna çok yakındır. EKA’ dan tek başına % 47,5 verim alınırken SG ile karıştırıldığında % 48,9 verim alınmıştır. Sığır gübresi aşılması bu reaktör için çok etkili olduğu gözlenmemiştir. Fakat sığır

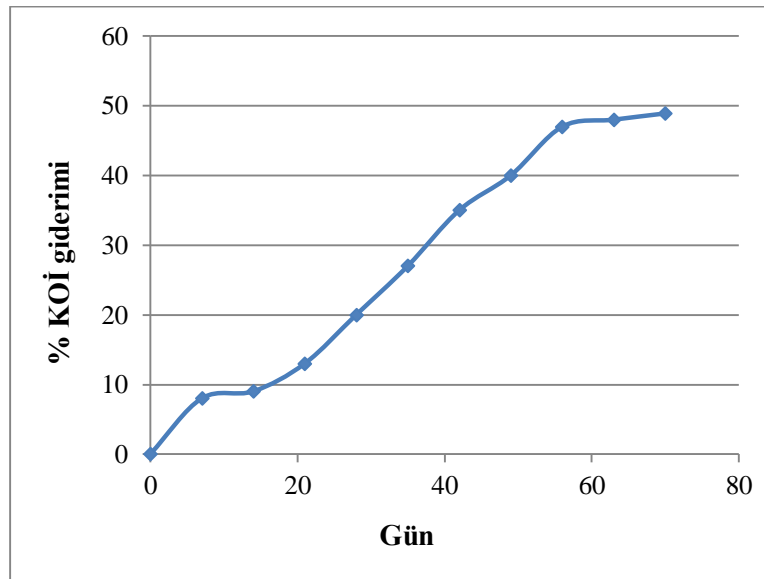
gübreli karışımının anaerobik dengeyi sağladığı ve sürecin kesintisiz şekilde devam ettiği gözlemlenmiştir.

Şekil 4, EKA: SG kütlece karışım oranı 1:2 olan reaktöre ait KOİ giderim prosesidir. 70. gün sonunda toplam KOİ giderimi yaklaşık olarak % 37,6 olarak bulunmuştur. 1:2 kütlece karışım oranına sahip olan reaktör 5 farklı karışım oranlarının en düşük verim alındığı reaktördür. Bunun muhtemel sebepleri arasında termofilik sıcaklıkta anaerobik sürecin tamamlanması vardır.

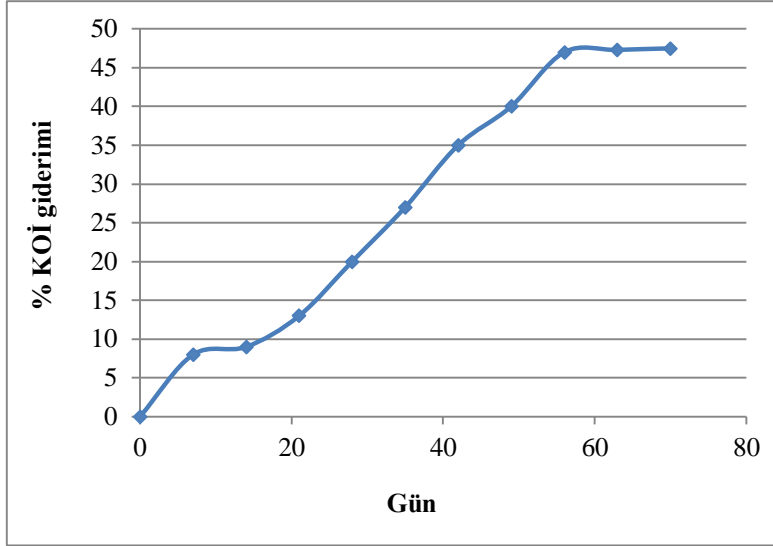
Şekil 5, EKA: SG kütlece karışım oranı 1:1 olan reaktöre ait KOİ giderim prosesidir. 70. gün sonunda toplam KOİ giderimi yaklaşık olarak % 43,7 olarak bulunmuştur. SG ile çalışılan aerobik fermantasyonda KOİ gideriminin % 40 ve üzeri olduğunda anaerobik fermantasyon sonucu üretilen biyogazın verimli olduğu anlamına gelmektedir [1]. Buda bize bu reaktör için SG ve EKA' ların uygun bir karışım oranı olduğunu ifade etmektedir.



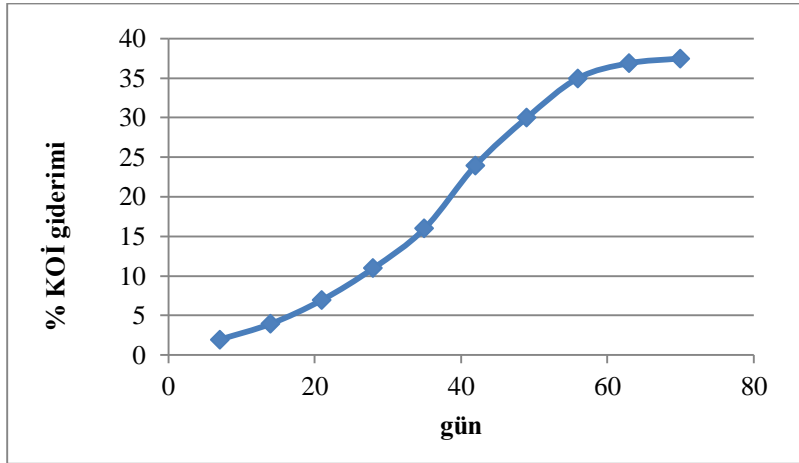
Şekil 1. 0:1 karışım oranındaki reaktör için KOİ giderimi grafiği



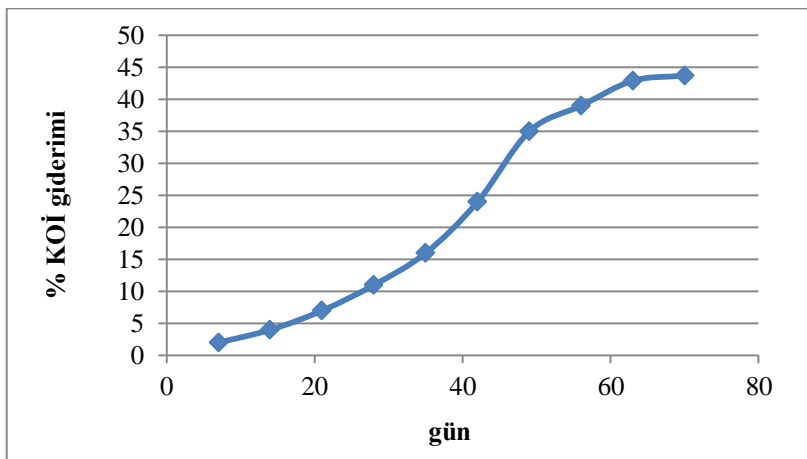
Şekil 2. 2:1 karışım oranındaki reaktör için KOİ giderimi grafiği



Şekil 3. 1:0 karışım oranındaki reaktör için KOİ giderimi grafiği



Şekil 4. 1:2 karışım oranındaki reaktör için KOİ giderimi grafiği



Şekil 5. 1:1 karışım oranındaki reaktör için KOİ giderimi grafiği

#### 4. Sonuç ve Öneriler

Sonuç olarak en yüksek metan oluşumu EKA: SG karışımı 2:1 olan reaktörde meydana gelmiştir. Bu nedenle bu atıkların mezofilik şartlarda (40 °C)'de toplam 70 gün anaerobik fermantasyon süresinin olduğu anlaşılmıştır. Yapılan anaerobik fermantasyon deneylerinde taze sığır atığı kendi içerisinde mezofilik metanojenleri barındırdığından dolayı aşılama biyogaz üretimini ve anaerobik süreci hızlandırmıştır. Bu sayede biyogaz üretimi ortalama olarak ilk 3-4. günde başlayabilmiş, 14. günden sonra ise hızlanmıştır. Toplam KOİ giderimi biyogaz üretim hızı ile doğru orantılı olarak artmıştır. Bu da anaerobik sürecin kararlılığını ifade etmektedir. Yapılan çalışmanın sonucunda EKA'dan iyi bir biyogaz üretim verimi sağlanmak isteniyorsa, C/N oranlarına göre, belirli karışımlar sağlanarak ve taze sığır gübresiyle ko-fermantasyon yapılması hem daha fazla verim alınmasını hem de atıkların bir arada bertaraf edilmesini sağlamaktadır.

#### Teşekkür

Bu çalışma Cumhuriyet Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi (CÜBAP) tarafından M-740 nolu proje kapsamında desteklenmiştir. İlgili kuruma katkılarından dolayı teşekkür etmeyi bir borç biliriz.

#### Kaynaklar

- [1] Koçar G., Eryaşar A., Ersöz Ö., Arıcı Ş., Durmuş A. 2010. *Biyogaz Teknolojileri*, Ege Üniversitesi Basımevi, İzmir.
- [2] Rodríguez-Abalde A., Flotats X., Fernández B. 2017. Optimization of the Anaerobic Co-Digestion of Pasteurized Slaughterhouse Waste, Pig Slurry and Glycerine, *Waste Management*, 61: 521-528.
- [3] Yiğit N. 2007. Peyniraltı Suyundan Sürekli Sistemde Biyogaz Üretimi İçin En Uygun Koşulların Belirlenmesi. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 113s, Ankara.
- [4] Ozcan M, Oztürk S, Oguz Y. 2015. Potential Evaluation of Biomass-Based Energy Sources for Turkey. *Engineering Science and Technology*, 18 (2015): 178-184.
- [5] Ekinci M.S. 2007. Tavuk Gübresinden Biyogaz Üretimi İçin En Uygun Koşulların Belirlenmesi. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 125s, Ankara.
- [6] Eryaşar A. 2007. Kırsal Kesime Yönelik Bir Biyogaz Sisteminin Tasarımı, Kurulumu, Testi ve Performansına Etki Eden Parametrelerin Araştırılması. Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Güneş Enerjisi Anabilim Dalı, Doktora Tezi, 302s, İzmir.
- [7] Jingqing Y., Dong L., Yongming S., Guohui W., Zhenhong Y., Feng Z., Yao W. 2013. Improved biogas production from Rice Stra by Co-Digestion Kitchen and Pig Manure, *Waste Management*, 33: 2653-2658.
- [8] Filibeli A., Büyükkamacı N., Ayol, A. 2000. *Anaerobik Arıtma*, DEÜ. Mühendislik Fakültesi Yayınları, No: 280, İzmir.
- [9] Şenol H., Elibol E.A., Açıklık Ü., Şenol M. 2017. 2016'da Türkiye'de Kanatlı Hayvanlardan Üretilebilecek Biyogaz ve Elektrik Enerji Potansiyeli. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 6 (1): 1-11.
- [10] Owen W.F., Stuckey D.C., Healey J.B., Young L.Y., McCarty P.L. 1979. Bioassay for Monitoring Biochemical Methane Potential and Anaerobic Toxicity. *Water Research*, 13: 485-492.
- [11] APHA, A. 1988. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, Washington.
- [12] Patinvoh J., Osadolor R., Chandoliasllona O., Horváth K., Taherzadeh M. 2017. Innovative Pretreatment Strategies for Biogas Production, *Bioresource Technology*, 224: 13-24.
- [13] Dianni M. 2016. İnsan ve Hayvan Sağlığı Açısından Risk Oluşturan Enterokokal Biyofilm Yapısının Doğası, *Türk Hijyen ve Deneysel Biyoloji Dergisi*, 73: 71 - 80.
- [14] İnal A., Sözüdoğru S., Erden D. 1996. Tavuk Gübresinin içeriği ve Gübre Değeri, *Tarım Bilimleri Dergisi*, 2 (3): 45 - 50.
- [15] Samsunlu A. 2005. *Çevre Mühendisliği Kimyası*, Birsen Yayınevi, İstanbul.

- [16] APHA, A. 1997. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 19th Edition, Washington, D.C.
- [17] Haider M.R., Zeshan Yousaf S, Malik R.N., Visvanathan, C. 2015. Effect of Mixing Ratio of Food Waste and Rice Husk Co-Digestion and Substrate to Inoculum Ratio on Biogas Production, *Bioresource Technology*, 190: 451-457.
- [18] Ojolo S.J., Oke SA., Animasahun B.K., Adesuyi B.K. 2007. Utilization of Poultry, Cow and Kitchen Wastes for Biogas Production: a Comparative Analysis, *Department of Mechanical Engineering University of Lagos*, 4: 223-228.
- [19] Ziauddin Z., Rajesh R. 2015. Production and Analysis of Biogas from Kitchen Waste, *International Research Journal of Engineering and Technology*, 2 (4): 622 - 632.
- [20] Malakahmad A., Ahmad Basri N., Zain S.M. 2015. The Application of an Anaerobic Baffled Reactor to Produce Biogas From Kitchen Waste. *Waste to Energy*, 84: 19-28.
- [21] Sarapatka, B. 1993. A Study of Biogas Production During Anaerobic Fermentation of Farmyard Manure, *Biomass and Bioenergy*, 5 (5): 387 - 393.
- [22] Syaichurrozi, I. 2013. Biogas production from co-digestion *Salvinia molesta* and rice straw and kinetics, *Renewable Energy*, 115:76 - 86.

---

*Araştırma Makalesi / Research Article*

---

## **İki Bacaklı Bir Robotun Yapay Sinir Ağı Desteği ile Denge Sağlaması**

Ahmet Burak TATAR\*, Beyda TAŞAR, Alper Kadir TANYILDIZI

*Fırat Üniversitesi, Mekatronik Mühendisliği, Elazığ*

---

### **Öz**

Robotlar genellikle doğadaki canlılardan esinlenerek tasarlanmaktadır. Özellikle eklem bacaklı robot çalışmalarında 4 bacaklı robotlara çok geniş yer verilmektedir. Doğada 4 bacaklı hayvanların davranışlarından esinlenerek robotlara çeşitli özellikler kazandırılmaktadır. Dört bacaklı olan birçok hayvan doğar doğmaz ayağa kalkabilme ve hatta yürüyebilme becerisine sahiptir. Bu canlıların fizyolojik gelişimleri anne karnında tamamlanmakta ve doğduktan hemen sonra kemik ve bacak kas grupları kullanılabilir duruma gelmektedir. Canlıların doğduktan sonra ayağa kalkarak dengede kalabilmesinin, bacak kaslarına beyinden iletilen nörolojik sinyallerle gerçekleştirildiği açıkça bilinen bir gerçektir. Bu bilgiler ışığında bu çalışmada, 4 bacaklı bir robotu andıran 2 bacaklı bir robotun düzlemsel kinematiği ve dinamiği elde edilerek, ayakta dengede kalabilme kabiliyetinin bir yapay sinir ağı desteği ile robota kazandırılması ele alınmıştır. Dinamik hareket için robotun düzlemsel modeli ele alınmış ve 7 eksenli hareket denklemleri elde edilmiştir. Robotun yerden kalkarak ayakta dengede kalabilmesi amaçlanmıştır. Bunun bir yapay sinir ağı yapısının kullanımı ile öğrenme sonucunda gerçekleştirilebilmesi hedeflenmiştir. Robotun eklemlerine uygulanması gereken kontrol sinyalleri için klasik PID kontrol yöntemi kullanılmıştır. Sistem cevapları grafiksel olarak elde edilmiş ve sonuçlar değerlendirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** İki Bacaklı Robot, Dinamik Model, Kinematik, Yapay Sinir Ağları.

---

## **Balancing a Two- Legged Robot with the aid of Artificial Neural Network**

---

### **Abstract**

Robots are usually designed by inspiration from living beings in nature. Particularly, 4-legged robots are widely used in joint legged robotics. It is inspired by the behaviors of 4 legged animals in nature and various characteristics are given to robots. Many animals with four legs have the ability to stand up and even new-born walking. The physiological developments of these living beings are completed in the mother's womb and soon after birth, bone and leg muscle groups become available. It is a well-known fact that living things are able to stand up after birth and remain in balance with neurological signals transmitted from the brain to the leg muscles. According to this information it is discussed in this study, to gain the ability to stay in balance with the aid of an Artificial Neural Network(ANN) by obtaining the planar kinematics and dynamics of a 2-legged robot, which resembles a 4-legged robot. For the dynamic motion, the planar model of the robot is considered and 7-axis motion equations are obtained. It is intended that staying in the balance of the robot by standing up from the ground. It is aimed to be realized as a result of learning with the use of an artificial neural network structure. Conventional PID control method has been used for control signals that should be applied to robot joints. System responses are obtained graphically and the results are evaluated.

**Keywords:** Two-legged robot, Dynamic Model, Kinematic, Artificial Neural Network.

---

### **1. Giriş**

Bacaklı robotlar, arazi düzensizlikleri ve üstün arazi hareketliliğine daha fazla uyum sağlayan tekerlekli robotlara göre birçok avantaj sunar. Bu özellik, bacaklı robotların tekerlekli mobil robotlara karşı koyamayacağı yüzeyleri çaprazlamasına imkân verir [1,2]. Ayrıca, insanlarla birlikte başarılı bir şekilde çalışabilmesi için, robotun çalışma alanı düz zeminler ve rampalarla sınırlı olmamalıdır. Merdivenlere

---

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

Geliş Tarihi: 17.07.2018, Kabul Tarihi: 20.12.2018

tırmanabilmeli, engellerin üstünden geçebilmeli ve engebeli arazilerde gezinebilmelidir [3]. Tüm bu avantajlar, bacaklı robotların mobil robotlar alanında önemli ve aktif bir araştırma alanı olmasını sağlar [4]. Bacaklı mobil robot çalışmalarında, daha hızlı hareket kabiliyetine sahip oldukları için genelde 4 bacaklı robot uygulamaları yaygındır. BigDog[5], DARPA'nın finanse ettiği, Boston Dynamics'te geliştirilmekte olan 4 bacaklı robot çalışmalarının öncülerindedir.

Günümüzde 4-bacaklı robotlar, insanoğlunun yaşamını işlevsel olarak kolaylaştıracak ve ihtiyaçları karşılayacak birçok uygulamada kullanılmaktadır. Robotlara kazandırılacak her bir özellik robotları daha yetenekli hale getirmektedir.

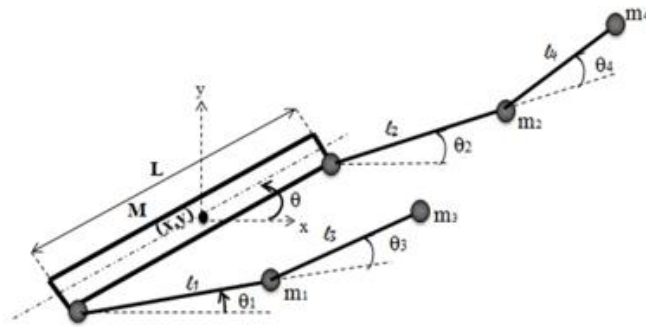
Bu çalışmada 2 bacaklı bir robota, yerden kalkarak gövdesini dengede tutabilme özelliğinin, bir YSA yardımıyla kazandırılabilmesi hedeflenmiştir. Bunun için öncelikle 2 bacaklı düzlemsel bir robotun dinamiği modellenmiş ve matematiksel ifadelerinden yararlanılmıştır. Robotun her bir bacağına ait kinematik analizler gerçekleştirilmiştir. Düz kinematik analizi gerçekleştirebilmek için Denavit-Hartenberg yöntemi [6] kullanılmıştır. Daha sonra düz kinematik denklemler kullanılarak ters kinematik analiz yapılmıştır. Kinematik analizlerden elde edilen veriler kullanılarak robotun dinamiği için hareket denklemleri elde edilmiştir. Robot gövdesinin yatayda ve düşeyde olmak üzere bağımsız öteleme hareketleri yanında, robot gövdesi ağırlık merkezinde düzleme dik eksen etrafındaki açısız dönme hareketi göz önüne alınmıştır. Robot gövdesine bağlı hareketli 2 bacak ve her bir bacağın döner eklemlere sahip 2 eksenli olduğu kabul edilmiştir.

Robot sistemini ayağı kaldırabilmek için bir yapay sinir ağ yapısı kullanılmıştır. Kullanılan yapay sinir ağının eğitiminde genetik algoritmalarından faydalanılmıştır. Yapay sinir ağına giriş olarak robotun durum değişkenleri verilmiş ve ağ çıkışında elde edilen değerler robot bacaklarındaki eklemler için referans açıları olarak belirlenmiştir. Bu referans açıları PID kontrolcü tarafından değerlendirilerek eklemler kontrol edilmiştir. Yapay sinir ağları, genetik algoritma ile eğitilirken robot gövdesinin yerden belirli bir yükseklikte tutulmasını ve gövdenin yere göre paralel kalmasını sağlayan bir amaç fonksiyonu kullanılmıştır. Yapay sinir ağı için giriş katmanında 3 hücre kullanılmıştır. Çıkış katmanında ise 4 hücre kullanılmıştır. Çıkıştaki her hücre ait olduğu eklem için referans açı değerini üretmektedir.

Sayısal çözümler ve benzetimler için Matlab paket programı kullanılmıştır. Yapay sinir ağlarının eğitiminde Matlab genetik algoritmalar araç kutusundan yararlanılmıştır.

## 2. Robotun Kinematik ve Dinamik Modeli

Bu çalışmada ele alınan 2 bacaklı robot (4 bacaklı robotun düzlemsel yarım modeli), Şekil 1'deki gibi düzlemsel 7 serbestlik dereceli olarak modellenmiştir. Burada  $x$  ve  $y$ , gövdenin yatay ve düşey eksenlerde yaptığı doğrusal hareketini,  $\theta$  ise gövdenin zemine göre yapmış olduğu açısız hareketini,  $\theta_{1-4}$  de robotun bacak eklemlerinin açısız hareketlerini ifade etmektedir.



Şekil 1. 4 Bacaklı Robotun Düzlemsel Yarım Modeli

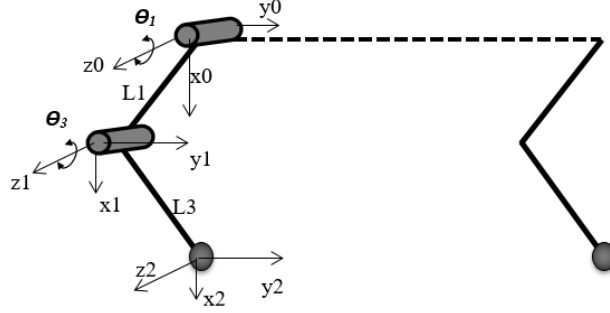
### 2.1. Kinematik Analiz

Robot sistemlerinin kinematik analizi, düz ve ters kinematik analiz olarak incelenir. Robotik sistemlerde düz kinematik, genellikle robotun uç işlevcisinin pozisyon ve oryantasyonunun hesaplanması anlamına



gelir [7]. Ters kinematik ise, robotun uç işlevcisinin yönelim ve pozisyonu bilindiğinde, eklem açılal değerlerinin belirlenmesi olarak tanımlanır [8].

Robotun tek bacağına ait kinematik analiz için Denavit-Hartenberg yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemle göre modellenen düzlemsel yarım robot modelinin bacak eksen takımlarının yerleşimi Şekil 2.'de verilmiştir



Şekil 2. Robot Bacağının Eksenel Yerleşimi

Oluşturulan eksen takımlarına göre, bu yöntemin gereği olarak bir D-H tablosu oluşturulmuştur. Tablo 1'de verilen bu değerleri doğrultusunda da her bir hareketli eksenin dönüşüm matrisi ( $A_i$ ) elde edilir.

Tablo 1. D-H Tablosu

Link	$\theta$	d	$\alpha$	a
1	$\theta_1$	0	0	$L_1$
2	$\theta_3$	0	0	$L_3$

Bu matrislerin çarpımı sonucu temel dönüşüm matrisi ( ${}^2_0T$ ) elde edilir ve bu matrisin son sütunundaki ifadeler robot bacağına göre uç konumlarını ifade etmektedir.

$${}^2_0T = A_1 A_2 \quad (1)$$

$${}^2_0T = \begin{bmatrix} \cos(\theta_1 + \theta_3) & -\sin(\theta_1 + \theta_3) & 0 & L_1 \cos \theta_1 + L_3 \cos(\theta_1 + \theta_3) \\ \sin(\theta_1 + \theta_3) & \cos(\theta_1 + \theta_3) & 0 & L_1 \sin \theta_1 + L_3 \sin(\theta_1 + \theta_3) \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$\mathbf{p}_x = L_1 \cos \theta_1 + L_3 \cos(\theta_1 + \theta_3) \quad , \quad \mathbf{p}_y = L_1 \sin \theta_1 + L_3 \sin(\theta_1 + \theta_3) \quad , \quad \mathbf{p}_z = 0 \quad (3)$$

Ters kinematik analiz için denklem (4) kullanılmıştır.

$$A_1^{-1} {}^2_0T = A_2 \quad (4)$$

Buna göre bacak eklemlerinin açılal konumlarını veren ifadeler (5) ve (6)'da gösterildiği gibidir.

$$\cos \theta_3 = \sqrt{\frac{p_x^2 + p_y^2 - 2L_3^2}{2L_3^2}} \quad , \quad \sin \theta_3 = \pm \sqrt{1 - \cos^2 \theta_3} \quad , \quad \theta_3 = \arctan\left(\frac{\sin \theta_3}{\cos \theta_3}\right) \quad (5)$$

$$\cos \theta_1 = \frac{p_x L_3 \cos \theta_3 + p_x L_3 + p_y L_3 \sin \theta_3}{p_x^2 + p_y^2}, \quad \sin \theta_1 = \pm \sqrt{1 - \cos^2 \theta_1}, \quad \theta_1 = \arctan\left(\frac{\sin \theta_1}{\cos \theta_1}\right) \quad (6)$$

Robotun diğer bacağına eklem açıları da aynı yöntemle hesaplanarak (7) ve (8)'de verilmiştir.

$$\cos \theta_4 = \frac{\sqrt{p_x^2 + p_y^2 - 2L_4^2}}{2L_4^2}, \quad \sin \theta_4 = \pm \sqrt{1 - \cos^2 \theta_4}, \quad \theta_4 = \arctan\left(\frac{\sin \theta_4}{\cos \theta_4}\right) \quad (7)$$

$$\cos \theta_2 = \frac{p_x L_4 \cos \theta_4 + p_x L_4 + p_y L_4 \sin \theta_4}{p_x^2 + p_y^2}, \quad \sin \theta_2 = \pm \sqrt{1 - \cos^2 \theta_2}, \quad \theta_2 = \arctan\left(\frac{\sin \theta_2}{\cos \theta_2}\right) \quad (8)$$

## 2.2. Dinamik Analiz

### 2.2.1. Lagrange-Euler Metodu

Ele alınan robotun hareket denklemleri için Lagrange-Euler [9] yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemle göre, modellenen sistemin kinetik ve potansiyel enerjileri göz önüne alınarak sistemin tüm hareket denklemleri oluşturulmuştur. Hareket denklemleri ile robot uzuvlarının her birinin arzu edilen hareketi gerçekleştirebilmesi için gereken tork değerleri hesaplanabilmektedir. Sistemin hareketli elemanlarının matematiksel ifadesini elde etmek için kullanılan temel denklem (9)'da verilmiştir.

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial}{\partial \dot{q}_i} L(q, \dot{q}_i) - \frac{\partial}{\partial q_i} L(q, \dot{q}_i) = \tau_i \quad (9)$$

Bu ifadede  $q_i$ ; sistemdeki hareketli elemanın sahip olduğu konumu,  $i$ ; hareketli eleman indisini belirtmektedir. Lagrange denklemini(L) elde etmek için sistemin toplam kinetik enerji ifadesinden(T), toplam potansiyel enerji ifadesinin(V) farkının alınması gerekmektedir.

$$L = T - V \quad (10)$$

$$T = \frac{1}{2} M(\dot{x}^2 + \dot{y}^2) + \frac{1}{2} I \dot{\theta}^2 + \frac{1}{2} m_1(\dot{x}_1^2 + \dot{y}_1^2) + \frac{1}{2} m_2(\dot{x}_2^2 + \dot{y}_2^2) + \frac{1}{2} m_3(\dot{x}_3^2 + \dot{y}_3^2) + \frac{1}{2} m_4(\dot{x}_4^2 + \dot{y}_4^2) \quad (11)$$

Kinetik ve potansiyel enerji ifadelerinde görülen fiziksel parametreler Tablo 2.'de işlevleriyle birlikte belirtilmiştir.

**Tablo 2.** Robotun Fiziksel Parametreleri

$M$	Robot gövdesinin kütlesi
$x$	Robot gövdesinin yatay eksenindeki konumu
$y$	Robot gövdesinin düşey eksenindeki konumu
$m_{1-4}$	Robot bacak uzuvlarının kütleleri
$x_{1-4}$	Robot bacak uzuvlarının yatay eksenindeki konumları
$y_{1-4}$	Robot bacak uzuvlarının düşey eksenindeki konumları
$I$	Gövdenin atalet momenti
$\theta$	Gövdenin zemine göre açısal konumu
$\theta_{1-4}$	Robot eklemlerinin açısal konumları
$L$	Robot gövdesinin uzunluğu
$L_{1-4}$	Bacak uzuvlarının uzunlukları

Kinetik ve potansiyel enerji denklemlerinin elde edilebilmesi için de öncelikle gövdenin ve bacakların düzlemsel konum ifadeleri (12-17)'deki gibi hesaplanmıştır.

$$x_1 = x - \frac{L}{2} \cos \theta + L_1 \cos \theta_1 \quad , \quad y_1 = y - \frac{L}{2} \sin \theta + L_1 \sin \theta_1 \quad (12)$$

$$x_2 = x + \frac{L}{2} \cos \theta + L_2 \cos \theta_2 \quad , \quad y_2 = y + \frac{L}{2} \sin \theta + L_2 \sin \theta_2 \quad (13)$$

$$x_3 = x - \frac{L}{2} \cos \theta + L_1 \cos \theta_1 + L_3 \cos(\theta_1 + \theta_3) \quad (14)$$

$$y_3 = y - \frac{L}{2} \sin \theta + L_1 \sin \theta_1 + L_3 \sin(\theta_1 + \theta_3) \quad (15)$$

$$x_4 = x + \frac{L}{2} \cos \theta + L_2 \cos \theta_2 + L_4 \cos(\theta_2 + \theta_4) \quad (16)$$

$$y_4 = y + \frac{L}{2} \sin \theta + L_2 \sin \theta_2 + L_4 \sin(\theta_2 + \theta_4) \quad (17)$$

Sistemin kinetik enerjisinin hesaplanabilmesi için, verilen bu konum ifadelerinin türevlerinin alınıp hız ifadeleri elde edilmelidir. Hız hesaplanırken aynı uzvun her iki eksenindeki konumlarının karelerinin toplamlarının  $(\dot{x}_i^2 + \dot{y}_i^2)$  alınması gerekmektedir. Bunun sonucunda da hız ifadeleri  $(V_i^2)$ , kinetik enerjinin  $(\frac{1}{2}mV^2)$  hesaplanması için elde edilmiştir. Aynı şekilde potansiyel enerji hesaplanırken  $(mgy_i)$  bacak eklemlerinin düşey eksenindeki konumları kullanılmaktadır. Gerekli tüm ara işlemlerin sonucunda genel Lagrange denklemi (18)'deki gibi hesaplanmıştır.

$$\begin{aligned} L = & \frac{1}{2}M\dot{x}^2 + \frac{1}{2}M\dot{y}^2 + \frac{1}{2}I\dot{\theta}^2 + \frac{m_1\dot{x}^2}{2} + \frac{m_1\dot{y}^2}{2} + \frac{m_1L^2\dot{\theta}^2}{8} + \frac{m_1L_1^2\dot{\theta}_1^2}{2} + \frac{m_1L\dot{x}\dot{\theta}\sin\theta}{2} - m_1\dot{x}L_1\dot{\theta}_1\sin\theta_1 \\ & - \frac{m_1L\dot{y}\dot{\theta}\cos\theta}{2} + m_1\dot{y}L_1\dot{\theta}_1\cos\theta_1 - \frac{m_1LL_1\dot{\theta}\dot{\theta}_1\cos(\theta-\theta_1)}{2} + \frac{m_2\dot{x}^2}{2} + \frac{m_2\dot{y}^2}{2} + \frac{m_2L^2\dot{\theta}^2}{8} + \frac{m_2L_2^2\dot{\theta}_2^2}{2} \\ & - \frac{m_2L\dot{x}\dot{\theta}\sin\theta}{2} - m_2\dot{x}L_2\dot{\theta}_2\sin\theta_2 + \frac{m_2L\dot{y}\dot{\theta}\cos\theta}{2} + m_2\dot{y}L_2\dot{\theta}_2\cos\theta_2 + \frac{m_2LL_2\dot{\theta}\dot{\theta}_2\cos(\theta-\theta_2)}{2} + \frac{m_3\dot{x}^2}{2} \\ & + \frac{m_3\dot{y}^2}{2} + \frac{m_3L^2\dot{\theta}^2}{8} + \frac{m_3L_1^2\dot{\theta}_1^2}{2} + \frac{m_3L_3^2(\dot{\theta}_1+\dot{\theta}_3)^2}{2} + \frac{m_3L\dot{x}\dot{\theta}\sin\theta}{2} - m_3\dot{x}L_1\dot{\theta}_1\sin\theta_1 \\ & - m_3\dot{x}L_3(\dot{\theta}_1+\dot{\theta}_3)\sin(\theta_1+\theta_3) - \frac{m_3L\dot{y}\dot{\theta}\cos\theta}{2} + m_3\dot{y}L_1\dot{\theta}_1\cos\theta_1 + m_3\dot{y}L_3(\dot{\theta}_1+\dot{\theta}_3)\cos(\theta_1+\theta_3) \\ & - \frac{m_3LL_1\dot{\theta}\dot{\theta}_1\cos(\theta-\theta_1)}{2} - \frac{m_3LL_3\dot{\theta}(\dot{\theta}_1+\dot{\theta}_3)\cos(\theta-\theta_1-\theta_3)}{2} + m_3L_1L_3\dot{\theta}_1(\dot{\theta}_1+\dot{\theta}_3)\cos\theta_3 \quad (18) \\ & + \frac{m_4\dot{x}^2}{2} + \frac{m_4\dot{y}^2}{2} + \frac{m_4L^2\dot{\theta}^2}{8} + \frac{m_4L_2^2\dot{\theta}_2^2}{2} + \frac{m_4L_4^2(\dot{\theta}_2+\dot{\theta}_4)^2}{2} - \frac{m_4L\dot{x}\dot{\theta}\sin\theta}{2} - m_4\dot{x}L_2\dot{\theta}_2\sin\theta_2 \\ & - m_4\dot{x}L_4(\dot{\theta}_2+\dot{\theta}_4)\sin(\theta_2+\theta_4) + \frac{m_4L\dot{y}\dot{\theta}\cos\theta}{2} + m_4\dot{y}L_2\dot{\theta}_2\cos\theta_2 + m_4\dot{y}L_4(\dot{\theta}_2+\dot{\theta}_4)\cos(\theta_2+\theta_4) \\ & + \frac{m_4LL_2\dot{\theta}\dot{\theta}_2\cos(\theta-\theta_2)}{2} + \frac{m_4LL_4\dot{\theta}(\dot{\theta}_2+\dot{\theta}_4)\cos(\theta-\theta_2-\theta_4)}{2} + m_4L_2L_4\dot{\theta}_2(\dot{\theta}_2+\dot{\theta}_4)\cos\theta_4 \\ & - Mgy - m_1gy + m_1g\frac{L}{2}\sin\theta - m_1gL_1\sin\theta_1 - m_2gy - m_2g\frac{L}{2}\sin\theta - m_2gL_2\sin\theta_2 - m_3gy \\ & + m_3g\frac{L}{2}\sin\theta - m_3gL_1\sin\theta_1 - m_3gL_3\sin(\theta_1+\theta_3) - m_4gy + m_4g\frac{L}{2}\sin\theta \\ & - m_4gL_2\sin\theta_2 - m_4gL_4\sin(\theta_2+\theta_4) \end{aligned}$$

Genel Lagrange ifadesi hesaplandıktan sonra, robot sisteminde tanımlı tüm hareketlerin tork denklemlerinin elde edilmesi için (9)'daki denklem kullanılmıştır. İlk olarak robotun yatay eksenindeki hareketini ifade eden hareket denklemi (19) elde edilmiştir.

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} \frac{\partial}{\partial \dot{x}} L(x, \dot{x}) - \frac{\partial}{\partial x} L(x, \dot{x}) &= \sum F_x \\ \sum F_x &= M\ddot{x} + m_1\ddot{x} + \frac{m_1L\ddot{\theta} \sin \theta}{2} + \frac{m_1L\dot{\theta}^2 \cos \theta}{2} - m_1L_1\ddot{\theta}_1 \sin \theta_1 - m_1L_1\dot{\theta}_1^2 \cos \theta_1 + m_2\ddot{x} \\ &\quad - \frac{m_2L\ddot{\theta} \sin \theta}{2} - \frac{m_2L\dot{\theta}^2 \cos \theta}{2} - m_2L_2\ddot{\theta}_2 \sin \theta_2 - m_2L_2\dot{\theta}_2^2 \cos \theta_2 + m_3\ddot{x} + \frac{m_3L\ddot{\theta} \sin \theta}{2} \\ &\quad + \frac{m_3L\dot{\theta}^2 \cos \theta}{2} - m_3L_1\ddot{\theta}_1 \sin \theta_1 - m_3L_1\dot{\theta}_1^2 \cos \theta_1 - m_3L_3(\ddot{\theta}_1 + \ddot{\theta}_3) \sin(\theta_1 + \theta_3) \\ &\quad - m_3L_3(\dot{\theta}_1 + \dot{\theta}_3)^2 \cos(\theta_1 + \theta_3) + m_4\ddot{x} - \frac{m_4L\ddot{\theta} \sin \theta}{2} - \frac{m_4L\dot{\theta}^2 \cos \theta}{2} - m_4L_2\ddot{\theta}_2 \sin \theta_2 \\ &\quad - m_4L_2\dot{\theta}_2^2 \cos \theta_2 - m_4L_4(\ddot{\theta}_2 + \ddot{\theta}_4) \sin(\theta_2 + \theta_4) - m_4L_4(\dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_4)^2 \cos(\theta_2 + \theta_4) \end{aligned} \quad (19)$$

Robotun düşey eksenindeki yer değiştirmesini ifade eden hareket denklemi de (20)'de verilmiştir.

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} \frac{\partial}{\partial \dot{y}} L(y, \dot{y}) - \frac{\partial}{\partial y} L(y, \dot{y}) &= \sum F_y \\ \sum F_y &= M\ddot{y} + m_1\ddot{y} - \frac{m_1L\ddot{\theta} \cos \theta}{2} + \frac{m_1L\dot{\theta}^2 \sin \theta}{2} + m_1L_1\ddot{\theta}_1 \cos \theta_1 - m_1L_1\dot{\theta}_1^2 \sin \theta_1 + m_2\ddot{y} \\ &\quad + \frac{m_2L\ddot{\theta} \cos \theta}{2} - \frac{m_2L\dot{\theta}^2 \sin \theta}{2} + m_2L_2\ddot{\theta}_2 \cos \theta_2 - m_2L_2\dot{\theta}_2^2 \sin \theta_2 + m_3\ddot{y} \\ &\quad - \frac{m_3L\ddot{\theta} \cos \theta}{2} \\ &\quad + \frac{m_3L\dot{\theta}^2 \sin \theta}{2} + m_3L_1\ddot{\theta}_1 \cos \theta_1 - m_3L_1\dot{\theta}_1^2 \sin \theta_1 + m_3L_3(\ddot{\theta}_1 + \ddot{\theta}_3) \cos(\theta_1 + \theta_3) \\ &\quad - m_3L_3(\dot{\theta}_1 + \dot{\theta}_3)^2 \sin(\theta_1 + \theta_3) + m_4\ddot{y} + \frac{m_4L\ddot{\theta} \cos \theta}{2} - \frac{m_4L\dot{\theta}^2 \sin \theta}{2} \\ &\quad + m_4L_2\ddot{\theta}_2 \cos \theta_2 \\ &\quad - m_4L_2\dot{\theta}_2^2 \sin \theta_2 + m_4L_4(\ddot{\theta}_2 + \ddot{\theta}_4) \cos(\theta_2 + \theta_4) - m_4L_4(\dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_4)^2 \sin(\theta_2 + \theta_4) \\ &\quad + Mg + m_1g + m_2g + m_3g + m_4g \end{aligned} \quad (20)$$

Robot gövdesinin düzlemde yaptığı açısal harekete ait dinamik denklemi (21)'de gösterilmiştir.

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} \frac{\partial}{\partial \dot{\theta}} L(\theta, \dot{\theta}) - \frac{\partial}{\partial \theta} L(\theta, \dot{\theta}) &= \tau \\ \tau &= I\ddot{\theta} + \frac{m_1L^2\ddot{\theta}}{4} + \frac{m_1L\dot{x} \sin \theta}{2} - \frac{m_1L\dot{y} \cos \theta}{2} - \frac{m_1LL_1\dot{\theta}_1 \cos(\theta - \theta_1)}{2} \\ &\quad + \frac{m_1LL_1\dot{\theta}_1(\dot{\theta} - \dot{\theta}_1) \sin(\theta - \theta_1)}{2} + \frac{m_2L^2\ddot{\theta}}{4} - \frac{m_2L\dot{x} \sin \theta}{2} + \frac{m_2L\dot{y} \cos \theta}{2} \end{aligned} \quad (21)$$

$$\begin{aligned}
& + \frac{m_2 LL_2 \ddot{\theta}_2 \cos(\theta - \theta_2)}{2} - \frac{m_2 LL_2 \dot{\theta}_2 (\dot{\theta} - \dot{\theta}_2) \sin(\theta - \theta_2)}{2} + \frac{m_3 L^2 \ddot{\theta}}{4} + \frac{m_3 L \ddot{x} \sin \theta}{2} \\
& - \frac{m_3 L \ddot{y} \cos \theta}{2} - \frac{m_3 LL_1 \dot{\theta}_1 \cos(\theta - \theta_1)}{2} + \frac{m_3 LL_3 \dot{\theta}_1 (\dot{\theta} - \dot{\theta}_1) \sin(\theta - \theta_1)}{2} \\
& - \frac{m_3 LL_3 (\ddot{\theta}_1 + \ddot{\theta}_3) \cos(\theta - \theta_1 - \theta_3)}{2} + \frac{m_4 L^2 \ddot{\theta}}{4} - \frac{m_4 L \ddot{x} \sin \theta}{2} \\
& + \frac{m_3 LL_3 (\dot{\theta}_1 + \dot{\theta}_3) (\dot{\theta} - \dot{\theta}_1 - \dot{\theta}_3) \sin(\theta - \theta_1 - \theta_3)}{2} + \frac{m_4 L \ddot{y} \cos \theta}{2} \\
& + \frac{m_4 LL_2 \ddot{\theta}_2 \cos(\theta - \theta_2)}{2} - \frac{m_4 LL_2 \dot{\theta}_2 (\dot{\theta} - \dot{\theta}_2) \sin(\theta - \theta_2)}{2} \\
& + \frac{m_4 LL_4 (\ddot{\theta}_2 + \ddot{\theta}_4) \cos(\theta - \theta_2 - \theta_4)}{2} - \frac{m_4 LL_4 (\dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_4) (\dot{\theta} - \dot{\theta}_2 - \dot{\theta}_4) \sin(\theta - \theta_2 - \theta_4)}{2} \\
& - \frac{m_1 LL_1 \dot{\theta}_1 \sin(\theta - \theta_1)}{2} + \frac{m_2 LL_2 \dot{\theta}_2 \sin(\theta - \theta_2)}{2} - \frac{m_3 LL_1 \dot{\theta}_1 \sin(\theta - \theta_1)}{2} \\
& - \frac{m_3 LL_3 \dot{\theta}_1 (\dot{\theta}_1 + \dot{\theta}_3) \sin(\theta - \theta_1 - \theta_3)}{2} + \frac{m_4 LL_4 \dot{\theta}_2 (\dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_4) \sin(\theta - \theta_2 - \theta_4)}{2} \\
& - m_1 g \frac{L}{2} \cos \theta + m_2 g \frac{L}{2} \cos \theta - m_3 g \frac{L}{2} \cos \theta + m_4 g \frac{L}{2} \cos \theta
\end{aligned}$$

Daha sonra düzlemsel olarak modellenen robotun, her biri iki serbestlik derecesine sahip iki bacağı, kalça ve diz eklemlerine etki edecek tork değerlerini bulmak için hesaplanan hareket denklemi  $\tau_1 - \tau_8$ , (EK – 1,2,3 ve 4)’te açıkça verilmiştir.

### 2.2.1. Jakobien

Gövde ve bacakların yere teması ile robota yerden gelecek tepkilerin hesap edilebilmesi için Jakobien matrislerinden yararlanılmıştır. Genel olarak Jakobien matrisi (22)’deki gibi kısmi türevler alınarak elde edilebilmektedir.

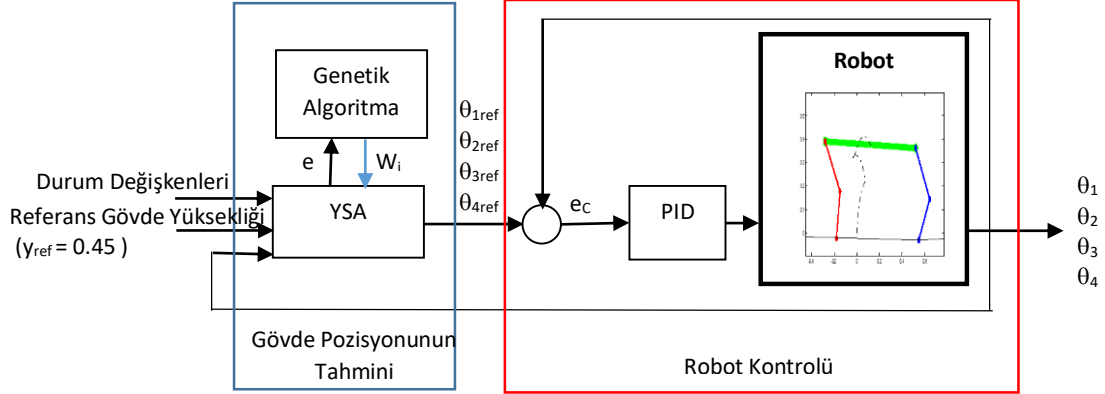
$$[J] = \begin{bmatrix} \frac{\partial x_i}{\partial x} & \frac{\partial x_i}{\partial y} & \frac{\partial x_i}{\partial \theta} & \frac{\partial x_i}{\partial \theta_1} & \frac{\partial x_i}{\partial \theta_2} & \frac{\partial x_i}{\partial \theta_3} & \frac{\partial x_i}{\partial \theta_4} \\ \frac{\partial y_i}{\partial x} & \frac{\partial y_i}{\partial y} & \frac{\partial y_i}{\partial \theta} & \frac{\partial y_i}{\partial \theta_1} & \frac{\partial y_i}{\partial \theta_2} & \frac{\partial y_i}{\partial \theta_3} & \frac{\partial y_i}{\partial \theta_4} \end{bmatrix} \quad (22)$$

Robot omuzlarının, bacak ekleminin ve bacak uç noktalarının yere teması ile, yerden etki edecek dış kuvvetlerin gövdeye etkisini hesap edebilmek için kullanılacak Jakobien matrisleri (EK 5-10)’da verilmiştir.

### 3. İki Bacaklı Robotun Kontrol Stratejisi

İki bacaklı robotun kontrol stratejisi, bir blok diyagramı olarak Şekil 3’te sunulmuştur. Kontrolün ana hedefi, robotun her iki bacağına da kaldırmaktır. Robot; sağ bacak, sol bacak ve gövde olmak üzere 3 bölümden oluşmaktadır. Robotun ayakta durması halinde, ağırlık merkezinin 0.45 cm ( $y_{ref}$ )’te olması gerektiği kinematik analizden bilinmektedir. Yapay Sinir Ağı, robotun  $y_{ref}$  ‘e göre ilk pozisyonundan kalkacak şekilde bacakların her ekleminin referans açısı değerlerini hesaplamak için kullanılmıştır.

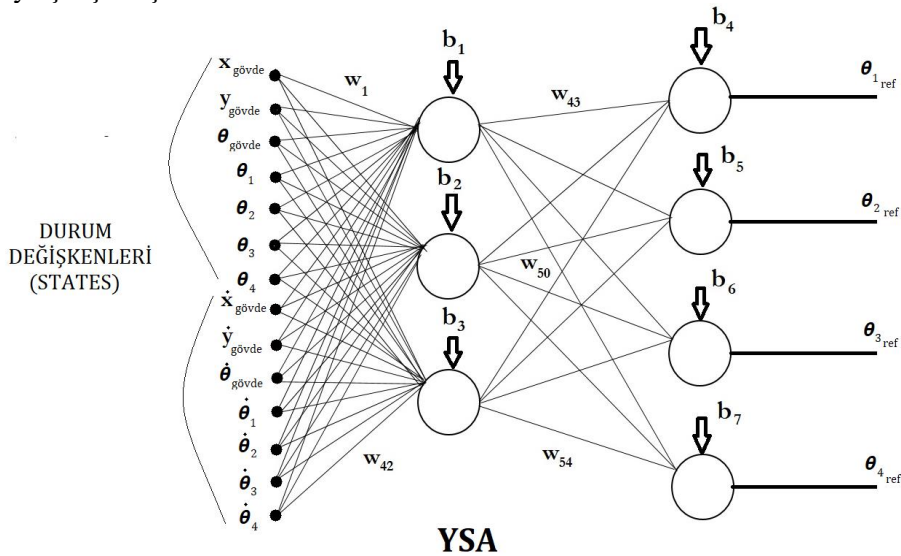
Genetik Algoritma, YSA'daki her bir katmanın nöron ağırlığını tahmin etmek için kullanılmıştır. Robot durum değişkenleri, yapay sinir ağına giriş olarak verilmiştir ve bacak eklemlerinin referans açı değerleri ağ çıkışında elde edilmiştir. Eklemlerin pozisyon hataları, referans değerleri olan  $\theta_{1ref}$ ,  $\theta_{2ref}$ ,  $\theta_{3ref}$  ve  $\theta_{4ref}$  ile anlık açısız konumları  $\theta_1$ ,  $\theta_2$ ,  $\theta_3$  ve  $\theta_4$  arasındaki fark alınarak hesaplanmaktadır. PID kontrolörü, bağlantıların belirtilen referans açılara sağlam bir şekilde ulaşmasını sağlar.



Şekil 3. Genetik Algoritma ile Eğitimin Blok Diyagramı

### 3.1. Yapay Sinir Ağı ile İki Bacaklı Robot İçin Gövde Pozisyon Tahmini

Yapay sinir ağı(YSA), nöronları birbirine bağlayan ağırlıkları değiştirmek için ağıın nöronlarını eğitmeye dayanan modern kontrol sistemleri için yaygın olarak kullanılmaktadır [12]. Yapay sinir ağları evrensel tahmin edicilerdir, yeterli gizli nöronun mevcut olması koşuluyla, doğrusal olmayan herhangi bir fonksiyonel ilişkiye rastgele bir doğrulukla yaklaşabilirler [13]. Bu çalışmada robotun yerdeyken ayağa kalkabilmesine yönelik bacakların alması gereken pozisyonu tespit edecek, eklem açılarının referans konumlarını hesap edecek bir YSA yapısı kullanılmıştır. Şekil 4'te görülen YSA yapısı 14 giriş ve 4 çıkışa sahiptir. Belirlenen amaç için (23)'teki amaç fonksiyonunu minimum yapacak biçimde YSA'nın ağırlık katsayıları belirlenmiştir. Simülasyon süresince iteratif olarak robotun durum değişkenleri YSA'nın girişlerine verilerek robotun bacak eklemlerine ait referans açısal konumlarının YSA tarafından üretilmesi sağlanmıştır. Üretilen bu referans değerlere göre PID kontrolcülerle bacaklar kontrol edilmeye çalışılmıştır.



Şekil 4. Robot İçin Kullanılan YSA Yapısı

Amaç fonksiyonunda robot gövdesinin x doğrultusundaki hedef pozisyonu ve düzlemdeki açısal hedef pozisyonu sıfır olarak alınmıştır. Robot gövdesinin y doğrultusundaki hedef pozisyonu ise 0.45 m

alınarak YSA'nın eğitimi gerçekleştirilmiştir. YSA'nın eğitiminde genetik algoritmalar tekniğinden faydalanılmıştır. Simülasyonlarla iteratif olarak, belirlenen amaç fonksiyonunu minimum yapacak biçimde genetik algoritma tarafından YSA'nın ağırlık katsayıları güncellenerek hesaplanabilmektedir. YSA'nın eğitimi tamamlandıktan sonra genetik algoritma devre dışı bırakılarak YSA'nın davranışı incelenmiştir.

Genetik algoritma, doğal seçilime dayalı optimizasyon problemlerini çözmek için bir yöntemdir. Bireysel çözümlerin popülasyonunu defalarca değiştirir. Her adımda, mevcut nüfustan anne-baba olmak için rastgele bireyleri seçer ve onları gelecek nesil çocuklarını üretmek için kullanır [14]. Simülasyonlarda kullanılan genetik algoritma için, Matlab genetik algoritmalar araç kutusundan faydalanılmış, popülasyon sayısı 40, iterasyon sayısı ise 120 olarak seçilmiştir.

$$\sum e^2 = \sum(x - x_{Hedef})^2 + \sum(y - y_{Hedef})^2 + \sum(\theta - \theta_{Hedef})^2 \quad (23)$$

### 3.2. İki Bacaklı Robotun Eklem Kontrolü İçin PID Denetleyici Tasarımı

Bu çalışmada robotun bacaklarındaki eklemlerin açısal hareketi klasik PID kontrol yöntemi ile kontrol edilmiştir. PID kontrolörler, mühendislik uygulamalarında tartışmasız en yaygın kullanılan kontrol algoritmasıdır [10,11]. Yaygın kullanım alanı bulunan PID kontrolör, sadece sistemde oluşan hatanın varlığını değil, aynı zamanda hatanın ne kadar olduğuna ve hatanın o anki artış veya azalış eğilimine ( $e_c$ ) bakarak bir çıkış sinyali vermektedir.

$$u(t) = K_p e_c(t) + K_d \frac{d e_c(t)}{d t} + K_i \int_0^t e_c(t) \cdot d t \quad (24)$$

$$e_c = \theta_{ref} - \theta, \quad d e_c = \dot{\theta}_{ref} - \dot{\theta}, \quad e_{c_i} = \int_0^t \theta_{ref}(t) - \theta(t) \quad (25)$$

Kontrol sinyalinin (24) ile gösterilen ifadesinde yer alan  $K_p$  oransal katsayıyı,  $K_d$  ise türevsel katsayıyı,  $K_i$  ise integral katsayısını ifade etmektedir. İntegral terimi, hatanın zamana göre integraliyle orantılı olan bir kontrol çıkışı verir. Bu da, kalıcı durum hatasının sıfır olmasını sağlar. Ayrıca  $e_c$  eklem konum hatasını,  $d e_c$  eklem hız hatasını,  $e_{c_i}$  de konum hatalarının toplamını temsil etmektedir. Tasarlanan PID kontrol katsayıları deneme yanılma tekniği ile belirlenerek  $K_p = 1000$ ,  $K_d = 10$ ,  $K_i = 0.01$  olarak bulunmuştur. Böylece belirlenen referans noktlara bacakların konumlanmasının PID kontrolcü ile gerçekleşmesi sağlanmıştır.

### 4. Simülasyonlar

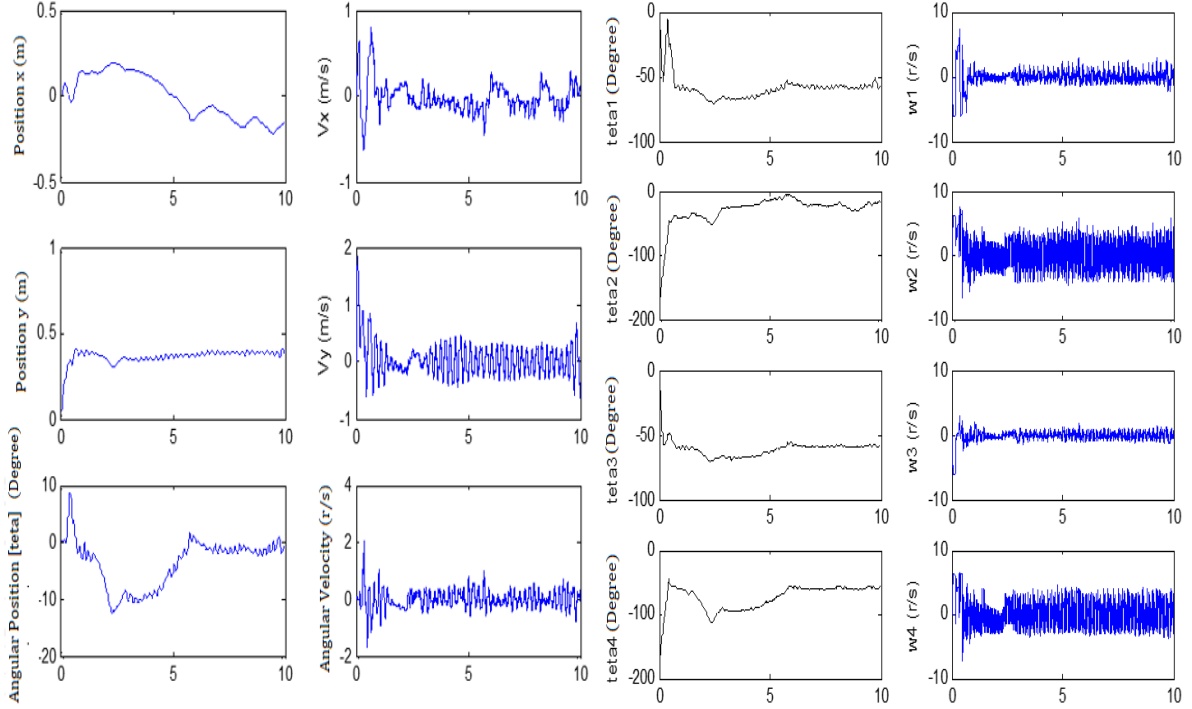
Kontrol stratejisinin başarısını kontrol etmek için bu bölümde 2 adet simülasyon senaryosu oluşturulmuştur.

İlk senaryo; robotu tamamen başlangıç yatay pozisyonundan kaldırmak.

İkinci senaryo; robot dururken x ve y ekseninde robota uygulanan kuvvetin (bozucu etkilerin) etkisi.

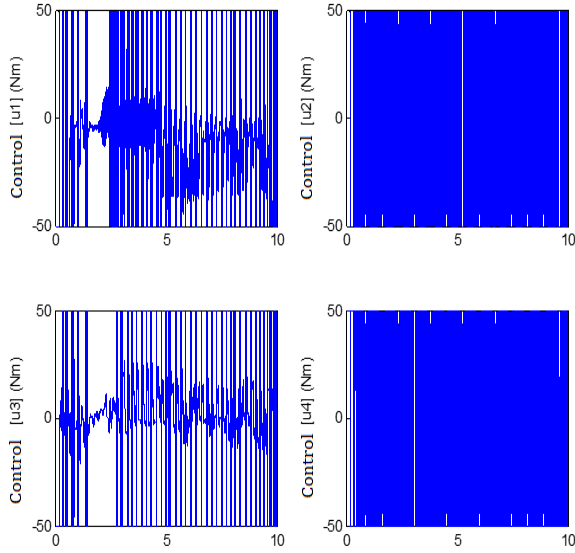
**Senaryo 1:** Sayısal simülasyonlarda, robotun başlangıç koşullarının tamamen yere yatmış ve hareketsiz olduğu varsayılmaktadır. Simülasyonun süresi 10 saniye olarak seçilmiştir. Bu süre zarfında robotun ayağı kalkması ve gövdesini yerden 0.45 metre yükseklikte sabitlemeye çalışması istenmektedir. Bu amaç için yapılan simülasyonda, PID kontrolörünün sistem tepkileri, Genetik Algoritma yoluyla eğitilmiş olan YSA tarafından üretilen referans değerlere kıyasla grafiksel olarak elde edilmiştir. Şekil 5, robotun x ve y eksenlerindeki yer değiştirme ve hızlarını, ve gövdesinin düzlemsel hareketi sırasında düzlemdeki açısal yer değiştirme ve açısal hızını belirten grafik cevaplarını göstermektedir. Şekil 6'da bacak eklemlerinin açısal yer değiştirmeleri ve açısal hızları görülmektedir. Şekil 7, bacak eklemlerine PID kontrolörü tarafından hesaplanarak uygulanan tork kontrol sinyallerinin grafiksel sonuçlarıdır.

Simülasyonlardaki eklemlere uygulanabilecek torklar 50 Nm ile sınırlandırılmıştır. Simülasyonlarda, sonucun görselleştirilmesi için Matlab paket programında yazılan algoritmalar ile bir animasyon görseli oluşturulmuştur. Şekil 8’de, robot ayağı kalkmaya çalışırken gövde üzerindeki ağırlık merkezinin izlediği yörüngeyi gösteren bir resim verilmiştir.

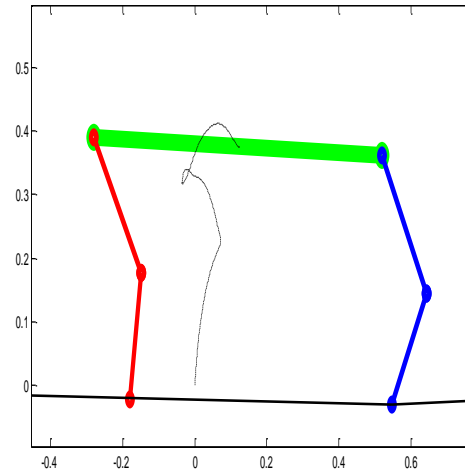


Şekil 5. Robot Gövdesinin Düzlemsel Hareketinin Sistem Cevapları

Şekil 6. Robot Bacak Eklemlerinin Sistem Cevapları



Şekil 7. Robot Bacak Eklemlerine Uygulanan Tork Kontrol Sinyalleri



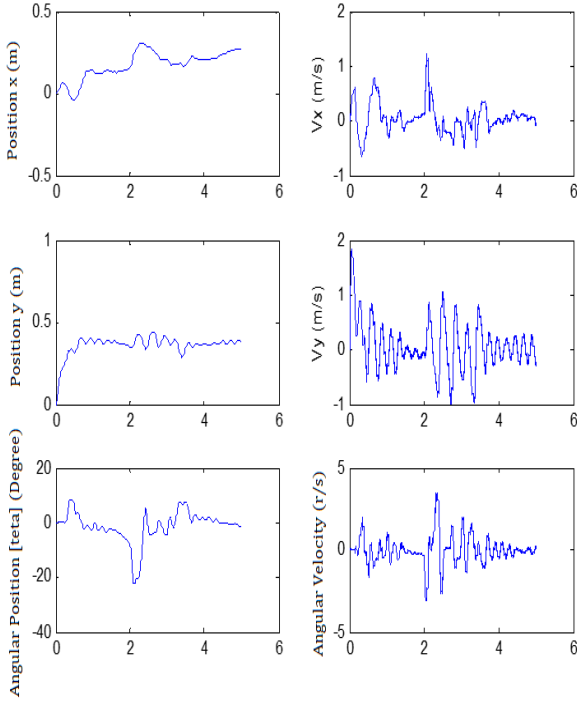
Şekil 8. Robotun Dengeye Durduğu Animasyonun Görüntüsü

Grafiksel sonuçlara bakıldığında; Şekil 5’te görüldüğü üzere, robot gövdesi yatay (x) ekseninde yaklaşık -0.2 ile 0.2 metre konumları arasında kalmıştır. Aynı zamanda düşey ekseninde (y), ağırlık merkezinin başlangıç konumu olan 0.45 m değerini yakaladığı görülmektedir. Bununla birlikte, robot gövdesinin açısal olarak başlangıç konumu olan 0°’yi yakaladığı görülür. Robot gövdesinin de yatay ve düşey eksenlerdeki hareketlerinin çizgisel hızlarının yaklaşık 1 m/sn, gövdenin açısal hızının da yaklaşık 2 rad/sn olduğu açıkça görülmektedir. Şekil 6’da, robotun belirtilen referans konumda kalabilmesi için

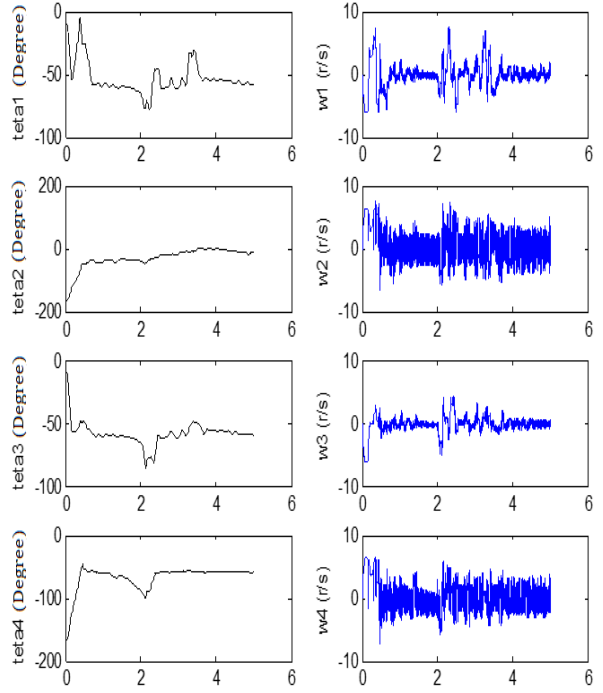


bacak eklemlerinin bulunması gereken açılal konumları yakalamaya çalışıldığı anlaşılmaktadır. Aynı şekilde robot eklemlerinin açılal hızları da verilmiştir.

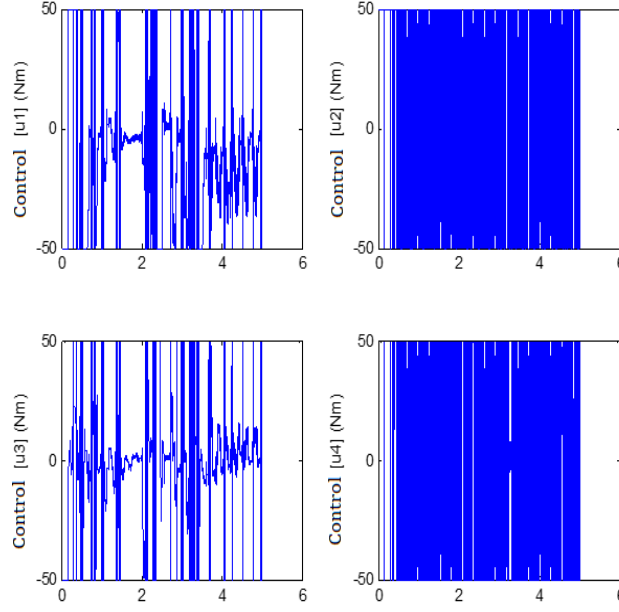
**Senaryo 2:** Robotun kararlı duruşunu test etmek için benzetimin gerçekleştirildiği sürenin 2-2.1 saniye aralığında 0.1 saniye boyunca gövdeye dışarıdan anlık bir bozucu etki ettirilmiştir. Bozucu etkiler gövdeye düzlemin x doğrultusunda 10 N büyüklüğünde kuvvet, y eksenini doğrultusunda -20 N büyüklüğünde kuvvet ve düzleme dik eksene göre -100 Nm büyüklüğünde moment olarak uygulanmıştır. Bu değerler rastgele seçilmiştir. Bu duruma göre robotun gövdesine ait sistem cevapları Şekil 9'da gösterilmiştir. Bozucu etki karşısında Şekil 10.'da robotun eklemlerine ait sistem cevapları yer almaktadır. Buna göre robot eklemlerine uygulanan kontrol sinyalleri Şekil 11'deki gibi elde edilmiştir.



**Şekil 9.** Bozucu Etki Altında Robot Gövdesinin Düzlemsel Hareketinin Sistem Cevapları



**Şekil 10.** Bozucu Etki Altında Robot Bacak Eklemlerinin Sistem Cevapları



**Şekil 11.** Bozucu Etki Altında Robot Bacak Eklemlerine Uygulanan Tork Kontrol Sinyalleri

Şekil 9’da görüldüğü gibi, robota yatay ekseninde 10 N’luk kuvvet uygulandığında yaklaşık 0.2 m gibi küçük bir değer kadar +x ekseninde hareket ettiği görülmektedir. Aynı şekilde düşey ekseninde uygulanan 20 N’luk kuvvet sonucunda robotun, kuvvetin etkisinden dolayı küçük bir salınım yapmasına rağmen istenen referans yükseklik olan 0.45 m’yi yakaladığı görülmektedir. Bununla birlikte, robot gövdesinin yaklaşık 20°’lik bir salınım yaparak, 5 sn gibi bir sürede dengeyi sağladığı açıkça görülür. Robot gövdesinin çizgisel ve açısal hızları da grafikte gösterilmiştir. Şekil 10.’da ise, robotun belirtilen referans konumunda kalabilmesi için bacak eklemlerinin bulunması gereken açısal konumları yakalamaya çalıştığı anlaşılmaktadır.

## 6. Sonuçlar

Bu çalışmada 2 bacaklı düzlemsel bir robotun dinamik modeli için 7 eksenli hareket denklemleri elde edilmiştir. Robotun yerde hareketsiz iken ayağa kalkıp gövdesini dengede tutabilmesi için bir YSA yapısı kullanılmıştır. Amaçlanan hareketin gerçekleştirilmesi için uygun bir amaç fonksiyonu oluşturulmuştur. YSA’nın eğitimi için genetik algoritmalarından faydalanılmıştır. YSA’nın hesaplanmış olduğu değerler, robotun eklemleri için referans açıları olarak kullanılmıştır. Elde edilen referans açı değerleri kullanılarak PID kontrolcü ile eklemlerin açısal hareketleri kontrol edilmiştir. Sayısal benzetimlerle sistem cevapları grafiksel olarak elde edilmiştir. Böylece robotun yerden kalkarak gövdesini dengede tutmasını sağlayacak bir YSA yapısı elde edilmiştir. Bozucu etkiler karşısında robotun gövdesini dengede tutmayı başardığı görülmüştür.

Bununla birlikte bu çalışmada yapay zekâ teknikleri kullanılarak bir robota işlevsellik kazandırılacağı ortaya konulmuştur. Robota bunun gibi farklı amaçlara yönelik birçok özellikler de kazandırılacağı açıkça görülmektedir.

## Kaynaklar

- [1] Todd D.J. 1985. Walking machines, an introduction to legged robots, Koran Page, London, 1985.
- [2] Raibert M.H., 1986. Legged robots that balance, MIT Press, Cambridge, M.A.
- [3] Fitzgerald D., Hunt T., Leiro A. 2015. HydroDog; A quadruped robot actuated by soft fluidic muscles, Worcester Polytechnic Institute Worcester, pp. 12, Massachusetts, USA.
- [4] Agarwal S., Mahapatra A., Roy S.S. 2012. Dynamics and optimal feet force distributions of a realistic four-legged robot, International Journal of Robotics and Automation(IJRA), pp. 223.
- [5] Raibert M., Blankespoor K., Nelson G., Playter R., and the BigDog Team. 2008. BigDog the rough-terrain quadruped robot, Proceedings of the 17th World Congress, The International Federation of Automatic Control, pp. 10822, Seoul, Korea.
- [6] Denavit J., Hartenberg R.S. 1955. A kinematic for lower-pair mechanisms based on matrices, ASME Jappl. Mechan., pp. 215-221.
- [7] Zhang D., Gao Z. 2012. Forward kinematics, performance analysis, and multi-objective optimization of a bio-inspired parallel manipulator, Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, 28: 484-492.
- [8] Nahangi M., Yeung J., Haas C.T., Walbridge S., West J. 2015. Automated assembly discrepancy feedback using 3D imaging and forward kinematics, Automation in Construction, 56: 36-46.
- [9] Schilling J.R. 2003. Fundamentals of robotics analysis and control, Prentice-Hall of India Private Limited, pp.204-2019, New Delhi.
- [10] Aström K.J., Hägglund T. 1995. PID controllers; theory, design and tuning, North Carolina: Instrument Society of America, pp.70.
- [11] Aström K.J., Hägglund T. 2005. Advanced PID Control, North Carolina, ISA: Instrument Society of America.
- [12] Wang S.C. 2003. Interdisciplinary computing in java programming, Artif Neural Network, Part II, pp.81-100.
- [13] Melingui A., Escande C., Benoudjit N., Merzouki R., Mbede J.B. 2014. Qualitive approach for forward kinematic modeling of a compact bionic handling assistant trunk, The International Federation of Automatic Control, Cape Town, South Africa, pp. 9353-9358.
- [14] Laboudi Z., Chikhi S. 2012. Comparison of genetic algorithm and quantum genetic algorithm, Int Arab J Inform Technol., 9 (3): 243-249.

**Ekler**

1.

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial}{\partial \dot{\theta}_1} L(\theta_1, \dot{\theta}_1) - \frac{\partial}{\partial \theta_1} L(\theta_1, \dot{\theta}_1) = \tau_1$$

$$\begin{aligned} \tau_1 = & m_1 L_1^2 \ddot{\theta}_1 - m_1 L_1 \ddot{x} \sin \theta_1 + m_1 L_1 \ddot{y} \cos \theta_1 - \frac{m_1 L L_1 \ddot{\theta} \cos(\theta - \theta_1)}{2} \\ & + \frac{m_1 L L_1 \dot{\theta}(\dot{\theta} - \dot{\theta}_1) \sin(\theta - \theta_1)}{2} + m_3 L_1^2 \ddot{\theta}_1 + m_3 L_3^2 \ddot{\theta}_3 + m_3 L_3^2 \ddot{\theta}_1 - m_3 L_1 \ddot{x} \sin \theta_1 \\ & - m_3 L_3 \ddot{x} \sin(\theta_1 + \theta_3) + m_3 L_1 \ddot{y} \cos \theta_1 + m_3 L_3 \ddot{y} \cos(\theta_1 + \theta_3) \\ & - \frac{m_3 L L_1 \ddot{\theta} \cos(\theta - \theta_1)}{2} + \frac{m_1 L L_1 \dot{\theta}(\dot{\theta} - \dot{\theta}_1) \sin(\theta - \theta_1)}{2} \\ & + \frac{m_3 L L_3 \dot{\theta}(\dot{\theta} - \dot{\theta}_1 - \dot{\theta}_3) \sin(\theta - \theta_1 - \theta_3)}{2} + 2 m_3 L_1 L_3 \ddot{\theta}_1 \cos \theta_3 \\ & - 2 m_3 L_1 L_3 \dot{\theta}_1 \dot{\theta}_3 \sin \theta_3 + m_3 L_1 L_3 \ddot{\theta}_3 \cos \theta_3 - m_3 L_1 L_3 \dot{\theta}_3^2 \sin \theta_3 \\ & + \frac{m_1 L L_1 \dot{\theta} \dot{\theta}_1 \sin(\theta - \theta_1)}{2} + \frac{m_3 L L_1 \dot{\theta} \dot{\theta}_1 \sin(\theta - \theta_1)}{2} + \frac{m_3 L L_3 \dot{\theta}(\dot{\theta}_1 + \dot{\theta}_3) \sin(\theta - \theta_1 - \theta_3)}{2} \\ & + m_1 g L_1 \cos \theta_1 + m_3 g L_1 \cos \theta_1 + m_3 g L_3 \cos(\theta_1 + \theta_3) \end{aligned}$$

2.

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial}{\partial \dot{\theta}_2} L(\theta_2, \dot{\theta}_2) - \frac{\partial}{\partial \theta_2} L(\theta_2, \dot{\theta}_2) = \tau_2$$

$$\begin{aligned} \tau_2 = & m_2 L_2^2 \ddot{\theta}_2 - m_2 L_2 \ddot{x} \sin \theta_2 + m_2 L_2 \ddot{y} \cos \theta_2 + \frac{m_2 L L_2 \ddot{\theta} \cos(\theta - \theta_2)}{2} \\ & - \frac{m_2 L L_2 \dot{\theta}(\dot{\theta} - \dot{\theta}_2) \sin(\theta - \theta_2)}{2} + m_4 L_2^2 \ddot{\theta}_2 + m_4 L_4^2 \ddot{\theta}_2 + m_4 L_2^2 \ddot{\theta}_4 - m_4 L_2 \ddot{x} \sin \theta_2 \\ & - m_4 L_4 \ddot{x} \sin(\theta_2 + \theta_4) + m_4 L_2 \ddot{y} \cos \theta_2 + m_4 L_4 \ddot{y} \cos(\theta_2 + \theta_4) \\ & + \frac{m_4 L L_2 \ddot{\theta} \cos(\theta - \theta_2)}{2} - \frac{m_4 L L_2 \dot{\theta}(\dot{\theta} - \dot{\theta}_2) \sin(\theta - \theta_2)}{2} + \frac{m_4 L L_4 \ddot{\theta} \cos(\theta - \theta_2 - \theta_4)}{2} \\ & - \frac{m_4 L L_4 \dot{\theta}(\dot{\theta} - \dot{\theta}_2 - \dot{\theta}_4) \sin(\theta - \theta_2 - \theta_4)}{2} + 2 m_4 L_2 L_4 \ddot{\theta}_2 \cos \theta_4 \\ & - 2 m_4 L_2 L_4 \dot{\theta}_2 \dot{\theta}_4 \sin \theta_4 + m_4 L_2 L_4 \ddot{\theta}_4 \cos \theta_4 - m_4 L_2 L_4 \dot{\theta}_4^2 \sin \theta_4 \\ & - \frac{m_2 L L_2 \dot{\theta} \dot{\theta}_2 \sin(\theta - \theta_2)}{2} - \frac{m_4 L L_2 \dot{\theta} \dot{\theta}_2 \sin(\theta - \theta_2)}{2} \\ & - \frac{m_4 L L_4 \dot{\theta}(\dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_4) \sin(\theta - \theta_2 - \theta_4)}{2} + m_2 g L_2 \cos \theta_2 + m_4 g L_2 \cos \theta_2 \\ & + m_4 g L_4 \cos(\theta_2 + \theta_4) \end{aligned}$$

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial}{\partial \dot{\theta}_3} L(\theta_3, \dot{\theta}_3) - \frac{\partial}{\partial \theta_3} L(\theta_3, \dot{\theta}_3) = \tau_3$$

3.

$$\begin{aligned} \tau_3 &= m_3 L_3^2 \ddot{\theta}_1 + m_3 L_3^2 \ddot{\theta}_3 - m_3 L_3 \ddot{x} \sin(\theta_1 + \theta_3) + m_3 L_3 \ddot{y} \cos(\theta_1 + \theta_3) \\ &- \frac{m_3 L L_3 \ddot{\theta} \cos(\theta - \theta_1 - \theta_3)}{2} + \frac{m_3 L L_3 \dot{\theta} (\dot{\theta} - \dot{\theta}_1 - \dot{\theta}_3) \sin(\theta - \theta_1 - \theta_3)}{2} \\ &+ m_3 L_1 L_3 \ddot{\theta}_1 \cos \theta_3 - m_3 L_1 L_3 \dot{\theta}_1 \dot{\theta}_3 \sin \theta_3 + \frac{m_3 L L_3 \dot{\theta} (\dot{\theta}_1 + \dot{\theta}_3) \sin(\theta - \theta_1 - \theta_3)}{2} \\ &+ m_3 L_1 L_3 \dot{\theta}_1 (\dot{\theta}_1 + \dot{\theta}_3) \sin \theta_3 + m_3 g L_3 \cos(\theta_1 + \theta_3) \end{aligned}$$

4.

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial}{\partial \dot{\theta}_4} L(\theta_4, \dot{\theta}_4) - \frac{\partial}{\partial \theta_4} L(\theta_4, \dot{\theta}_4) = \tau_4$$

$$\begin{aligned} \tau_4 &= m_4 L_4^2 \ddot{\theta}_2 + m_4 L_4^2 \ddot{\theta}_4 - m_4 L_4 \ddot{x} \sin(\theta_2 + \theta_4) + m_4 L_4 \ddot{y} \cos(\theta_2 + \theta_4) \\ &+ \frac{m_4 L L_4 \ddot{\theta} \cos(\theta - \theta_2 - \theta_4)}{2} - \frac{m_4 L L_4 \dot{\theta} (\dot{\theta} - \dot{\theta}_2 - \dot{\theta}_4) \sin(\theta - \theta_2 - \theta_4)}{2} \\ &+ m_4 L_2 L_4 \ddot{\theta}_2 \cos \theta_4 - m_4 L_2 L_4 \dot{\theta}_2 \dot{\theta}_4 \sin \theta_4 - \frac{m_4 L L_4 \dot{\theta} (\dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_4) \sin(\theta - \theta_2 - \theta_4)}{2} \\ &+ m_4 L_2 L_4 \dot{\theta}_2 (\dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_4) \sin \theta_4 + m_4 g L_4 \cos(\theta_2 + \theta_4) \end{aligned}$$

$$5. \quad [J_{R_{shoulder}}] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & (-L/2) \sin \theta & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & (L/2) \cos \theta & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$6. \quad [J_{L_{shoulder}}] = \begin{bmatrix} 0 & 0 & (L/2) \sin \theta & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & (-L/2) \cos \theta & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$7. \quad [J_1] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & (L/2) \sin \theta - L_1 \sin \theta_1 & -L_1 \sin \theta_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & (-L/2) \cos \theta + L_1 \cos \theta_1 & L_1 \cos \theta_1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$8. \quad [J_2] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & (-L/2) \sin \theta - L_2 \sin \theta_2 & 0 & -L_2 \sin \theta_2 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & (L/2) \cos \theta + L_2 \cos \theta_2 & 0 & L_2 \cos \theta_2 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$9. \quad [J_3] =$$

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & (L/2) \sin \theta - L_1 \sin \theta_1 - L_3 \sin(\theta_1 + \theta_3) & -L_1 \sin \theta_1 - L_3 \sin(\theta_1 + \theta_3) & 0 & -L_3 \sin(\theta_1 + \theta_3) & 0 \\ 0 & 1 & (-L/2) \cos \theta + L_1 \cos \theta_1 + L_3 \cos(\theta_1 + \theta_3) & L_1 \cos \theta_1 + L_3 \cos(\theta_1 + \theta_3) & 0 & L_3 \cos(\theta_1 + \theta_3) & 0 \end{bmatrix}$$

$$10. \quad [J_4] =$$

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & (-L/2) \sin \theta - L_2 \sin \theta_2 - L_4 \sin(\theta_2 + \theta_4) & 0 & -L_2 \sin \theta_2 - L_4 \sin(\theta_2 + \theta_4) & 0 & -L_4 \sin(\theta_2 + \theta_4) \\ 0 & 1 & (L/2) \cos \theta + L_2 \cos \theta_2 + L_4 \cos(\theta_2 + \theta_4) & 0 & L_2 \cos \theta_2 + L_4 \cos(\theta_2 + \theta_4) & 0 & L_4 \cos(\theta_2 + \theta_4) \end{bmatrix}$$

---

*Araştırma Makalesi / Research Article*

---

## **Emotiv Epoc ile Durağan Hal Görsel Uyarılmış Potansiyel Temelli Beyin Bilgisayar Arayüzü Uygulaması**

Abdullah Talha SÖZER<sup>\*1</sup>, Can Bülent FİDAN<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Karabük Üniversitesi, Elektrik–Elektronik Mühendisliği, Karabük

<sup>2</sup>Karabük Üniversitesi, Mekatronik Mühendisliği, Karabük

---

### **Öz**

Beyin Bilgisayar Arayüzü (BBA), geleneksel iletişim yöntemlerinin kullanılmasını engelleyen sinir-kas hastalıklarına sahip olan bireyler için yeni bir iletişim seçeneği sunmaktadır. Durağan hal görsel uyarılmış potansiyel (DHGUP) temelli BBA sistemleri sağladığı yüksek hız ve kullanım kolaylığı sebebi ile dikkatleri üzerine çekmektedir. Bu çalışmada Emotiv Epoc elektroensefalografi (EEG) cihazı kullanılarak DHGUP temelli BBA uygulaması gerçekleştirilmiştir. Çalışma, 5 kullanıcının katılımı ile ön hazırlık ve gerçek zamanlı deneyler olmak üzere iki adımdan oluşmaktadır. Ön hazırlık deneyleri ile gerçek zamanlı BBA sisteminde kullanılacak DHGUP tespit metodu ve EEG sinyali toplama süresinin belirlenmesi istenmiştir. Ön hazırlıkta farklı frekansa sahip 12 adet görsel uyaran kullanıcıya sıra ile sunulmakta ve 5 saniye boyunca sinyal kaydı yapılmaktadır. Ön hazırlık sinyallerinde 2 saniyelik EEG pencerelerinde %82.2 DHGUP tespit doğruluğu ve 68.8 bit/sn. bilgi aktarım hızına ulaşılmıştır. Gerçek zamanlı BBA sisteminde ise tuş takımı biçiminde tasarlanan görsel uyaran düzeneği ile kullanıcıların yalnız beyin sinyalleri ile telefon numaralarını yazmalarına imkân sağlanmıştır. Sistem 2 sn. seçim süresi ve 0.5 sn. tespit ve geri besleme süresi olmak üzere 2.5 saniyede 1 karakterin yazımına imkan sağlamaktadır. Deneylerde tasarlanan BBA ile 11 haneli telefon numarasının ortalama 40 saniyede yazdırılabildiği gösterilmiştir. Ayrıca çalışmada yüksek DHGUP tespit doğruluğu sağlayan eğitim verisi destekli bir yöntemin Emotiv Epoc ile uygulanabilirliği incelenmiştir. Yöntem, yaygın yöntemlere göre daha yüksek DHGUP tespiti sağlamamıştır. Bu makale DHGUP temelli BBA uygulaması için kılavuz niteliğini taşımaktadır.

**Anahtar kelimeler:** EEG, Beyin Bilgisayar Arayüzü, Durağan Hal Görsel Uyarılmış Potansiyel, Emotiv Epoc.

---

## **Implementation of Steady State Visual Evoked Potential based Brain Computer Interface with Emotiv EPOC**

### **Abstract**

Brain computer interface (BCI) offers a new communication pathway to individuals with neuromuscular disorders that prevent the use of traditional communication channels. The steady state visual evoked potential (SSVEP) based BCI systems take attention since it has high speed and ease of use. In this study, SSVEP based BCI implementation was performed by using Emotiv Epoc electroencephalography (EEG) device. This study consists of two steps, preliminary preparation and real-time experiments with participation of 5 subjects. In preliminary preparation stage, the SSVEP detection method and the EEG signal length that will be used in the real-time BBA were wanted to be decide. In the preliminary preparation stage, 12 visual stimuli with different frequencies are presented to the user in sequence and signal recording is performed for 5 seconds. In preparation signals, 82.2% SSVEP detection accuracy and 68.8 bits/sec. information transfer rate were reached in the 2-second EEG epochs. In the real-time BCI, the visual stimuli designed in the form of a keypad allows users to write phone numbers only with the brain signals. The system allows entering a character in 2.5 seconds, including 2 sec selection time and 0.5 sec detection and feedback time. Experiments with 5 users showed that 11-digit phone number can be entered about 40 seconds with the BCI. In addition, it was investigated the applicability of a training data supported method which provides high SSVEP detection accuracy using Emotiv Epoc. The method did not provide higher SSVEP detection accuracy than traditional methods. This article is a guideline for SSVEP-based BCI application.

**Keywords:** EEG, Brain Computer Interface, Steady State Visual Evoked Potential, Emotiv Epoc.

---

\*Sorumlu yazar: [talhasozer@karabuk.edu.tr](mailto:talhasozer@karabuk.edu.tr)

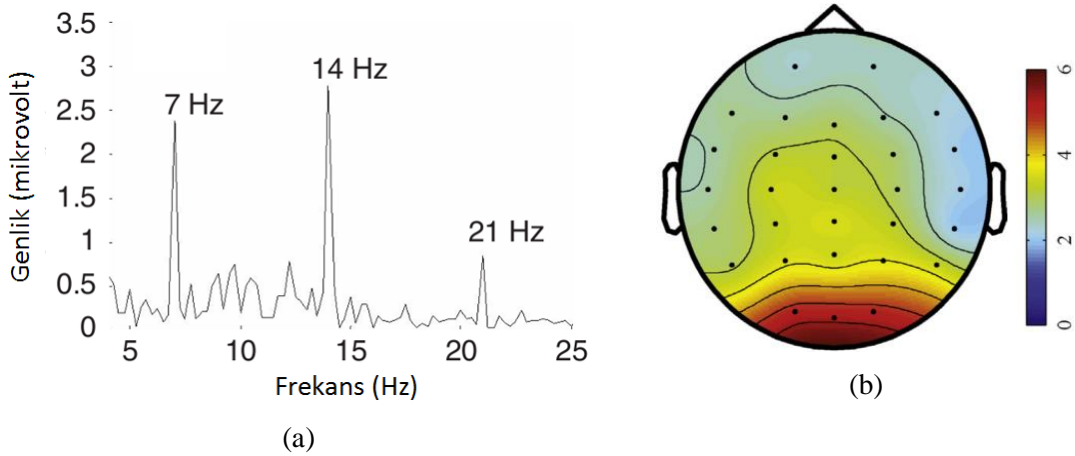
Geliş Tarihi: 18.07.2018, Kabul Tarihi: 14.11.2018

## 1. Giriş

Son yıllarda odaklanılan araştırma alanlarından biri olan beyin bilgisayar arayüzleri, çeşitli sinir – kas hastalıkları sebebi ile bazı vücut fonksiyonlarını kaybeden kişilere, bu fonksiyonların kısmen de olsa geri kazanılmasına imkân sağlayan yeni bir teknolojidir. BBA, Amyotrophic Lateral Sclerosis (ALS) gibi hastalıklar sebebi ile kaslarının kontrolünü kaybeden bireylere yalnızca beyin sinyallerini kullanarak haberleşme imkânı sunmaktadır [1-4].

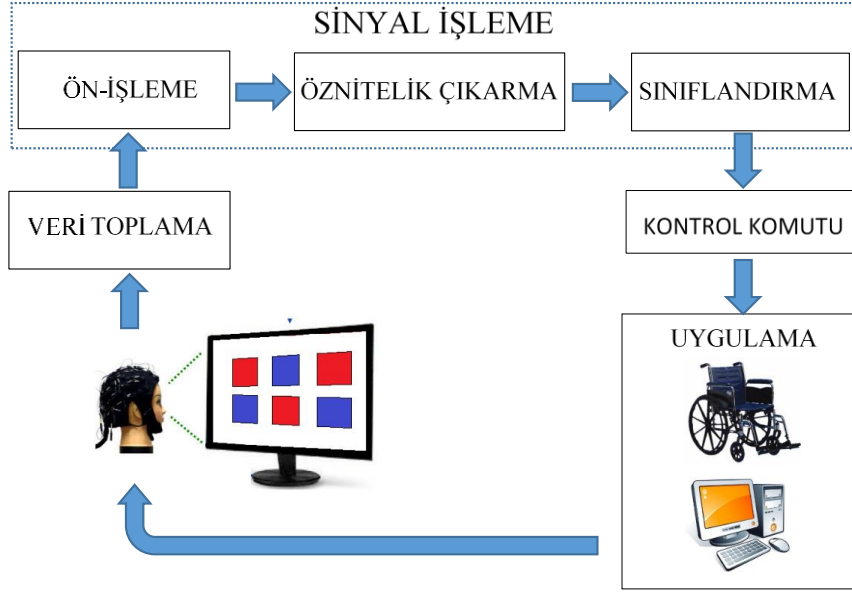
Manyetoensefalografi (MEG), Fonksiyonel Manyetik Rezonans Görüntüleme (fMRI) gibi görüntüleme yöntemleri ile beyin sinyalleri toplanabilmesine rağmen EEG yöntemi kolay uygulanabilirlik, düşük maliyet, yüksek zaman çözünürlüğü, gerçek zamanlı çalışma imkânı sunması ve noninvazif olması avantajlarından dolayı tercih edilmektedir. Yavaş Kortikal Potansiyeller (SCP), P300, Uyarılmış Potansiyeller gibi farklı sinyaller ile BBA sistemleri tasarlanabilir. Sinyal kaynağı olarak durağan hal görsel uyarılmış potansiyel kullanılarak yüksek hızlı ve eğitim gerektirmeyen BBA sistemleri gerçekleştirilebilir [5, 6].

DHGUP sinyalleri 3,5 Hz – 75 Hz frekanslarında yanıp sönen görsel uyaran sonucu oksipital bölgede ortaya çıkmaktadır. Bu sinyaller sinüzoidal dalga biçiminde sürekli ve periyodik bir sinyallerdir ve frekansları görsel uyarının frekansı ve tam katları ile eşleşmektedir. DHGUP sinyallerinin davranışı EEG sinyalinin spektrumunda rahatça görünmektedir. Şekil 1a'da 7 Hz'lik görsel uyaran esnasında elde edilen EEG sinyalinin spektrumu sunulmuştur. Görsel uyaran frekansındaki ve harmoniklerindeki bileşenler açıkça görülmektedir. Şekil 1b'de ise görsel uyarana maruz bir denekten elde edilen güç spektrumunun kafa topografisi görülmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi görsel uyaran oksipital bölge ve çevresinde güç artışına sebep olurken diğer alanlarda görsel uyarının belirgin bir etkisi gözlemlenmemektedir.



Şekil 1. a) 7 Hz'lik görsel uyaran esnasında elde edilen EEG sinyalinin spektrumu [7] b) Güç topografisi [8]

DHGUP sinyalleri ile BBA tasarımı için, kullanıcıya yanıp sönen led ışıklar veya monitörde yanıp sönen kutucuklar gibi görsel uyarılar gösterilir. Bu görsel uyarıların tamamı frekanslarının farklı olması gibi ayırt edici özellikler taşımaktadır ve BBA sistemi çıkışındaki uygulamada farklı bir komut ile ilişkilidir. Kullanıcı görsel uyarılardan birine odaklandığında, beyinde görme duyusuyla ilgili bilgilerin işlendiği oksipital bölgede, odaklanılan görsel uyarının özelliklerini yansıtan DHGUP sinyali ortaya çıkmaktadır. Bu esnada kişiden alınan EEG sinyallerine uygulanan sinyal işleme metotları ile hedef görsel uyaran tespit edilmeye çalışılır. Hedef görsel uyarının tespit edilmesi ile sistem çıkışındaki ilişkili komut (fare imleci kontrolü...) icra edilir (Şekil 2) [9].



Şekil 2. DHGUP temelli BBA sisteminin genel yapısı [10]

Bu çalışma kapsamında pratik bir EEG cihazı olan Emotiv Epoc ile Matlab ortamında DHGUP tabanlı BBA tasarlanmış ve hayata geçirilmiştir. Görsel uyarın kaynağı olarak monitörün kullanıldığı bu çalışmaya 5 denek katılmıştır. Deneyler ön hazırlık ve gerçek zamanlı olarak iki kısımdan oluşmaktadır. Ön hazırlık aşaması ile kullanıcının sisteme alışması ve gerçek zamanlı uygulamada kullanılacak olan DHGUP tespit yöntemi ve tespit süresine karar verilmesi amaçlanmıştır. Farklı DHGUP tespit yöntemleri ile değişen sinyal sürelerinde elde edilen tespit doğruluğuna dayanarak gerçek zamanlı BBA uygulamasında kullanılacak yöntem ve süreye karar verilmiştir. Gerçek zamanlı uygulamada ise tuş takımı şeklinde tasarlanmış olan görsel uyarın düzeneği ile kullanıcıların yalnız monitördeki sayılara odaklanarak telefon numaralarını yazması istenmiştir.

Bu makalede 2. bölümde EEG sinyallerinin toplanması, kullanılan görsel uyarınlar ve DHGUP tespit yöntemleri açıklanmış, 3. bölümde ön hazırlık ve gerçek zamanlı deneylerin sonuçları sunulmuş ve yorumlanmıştır. 4. bölümde ise sonuçlar ve önerilere yer verilmiştir.

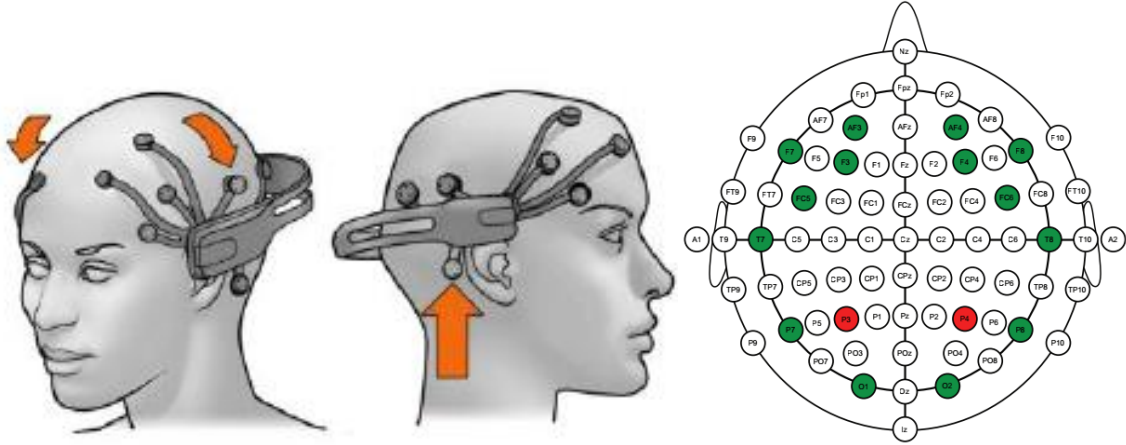
## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Veri Toplama ve Deney Düzeneği

Tasarlanan DHGUP temelli BBA sisteminde EEG sinyallerinin elde edilmesinde Emotiv Epoc cihazı kullanılmıştır. Emotiv Epoc, taşınabilir, 2'si referans olmak üzere 16 kanallı, pille çalışan, sinyalleri bluetooth haberleşme yöntemi ile bilgisayara aktaran, ucuz, tüketici seviyesinde bir EEG cihazıdır. Cihazın kullanımı herhangi bir uzmanlık gerektirmemektedir. EEG ölçümü için jelle ihtiyaç yoktur. Cihazın asıl hedefi oyun ve eğlence uygulamaları [11] olmasına rağmen BBA sistemlerinde [12] ve sinir – bilim gibi araştırma alanlarında da [13] kullanılmaktadır. Cihaz 14 bit çözünürlüğe, 128 örnek/saniye örnekleme frekansına sahiptir.

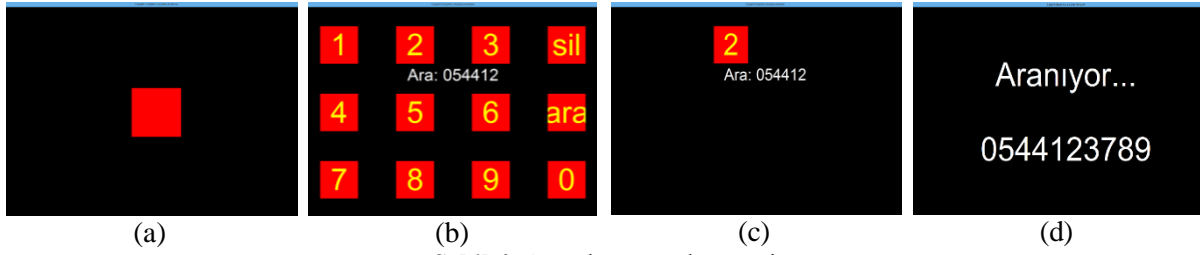
Cihazın bu artılarının yanında toplanan sinyallerin gürültülü olması ve sabit uzunluklu elektrot kolları (Şekil 3) DHGUP temelli BBA uygulamasını zorlaştırmaktadır. Cihazdaki 14 elektrottan yalnız ikisi oksipital bölge civarına düşmektedir. Ayrıca sabit uzunluklu elektrot kolları farklı boyutlardaki esnek EEG şapkalarının aksine ölçüm noktalarını kısıtlamaktadır. Farklı kafa boyutuna sahip deneklerde elektrotlar istenilen ölçüm noktalarına ulaşmamaktadır. Bu durum çalışmaları olumsuz etkilemektedir [14]. Bu olumsuzluğu kısmen azaltmak için cihaz 180 derece döndürülerek kullanılmıştır. Bu sayede AF3 F3 F4 AF4 konumları için tasarlanan 4 elektrot, oksipital bölge civarına gelmektedir.





Şekil 3. Emotiv EPOC cihazı elektrot konumları. Yeşil kanallar ölçüm elektrotlarını kırmızı kanallar referans elektrotlarını göstermektedir

Çalışmada görsel uyarın kaynağı için monitör kullanılmıştır. Görsel uyarınlar Matlab ortamında “Cogent Graphics Toolbox” kullanılarak sağlanmıştır [15]. Ön hazırlık aşaması için Şekil 4a’da görülen tek bir görsel uyarın barındıran düzeneğ kullanılmıştır. Ön hazırlık deneyleri 10 oturumdan oluşmaktadır. Her bir oturumda denekler 12 adet denemeye katılmıştır. Denemelerde uyarın sırasıyla 6.33, 5.45, 6, 6.66, 7, 7.5, 8, 8.57, 9, 9.5, 10.5 ve 11.5 Hz hızlarında yanıp sönmektedir. Denekler her bir denemede 5 saniye boyunca uyarına odaklanmıştır. Denemeler arası dinlenme süresi 1,5 saniyedir. Oturumlar arasındaki dinlenme süresi ise deneye bırakılmıştır.



Şekil 4. Görsel uyarın düzeneği

Gerçek zamanlı deneyler için ise Şekil 4b’de görülen 6.33, 5.45, 6, 6.66, 7, 7.5, 8, 8.57, 9, 9.5, 10.5 ve 11.5 Hz frekanslarına sahip 12 uyarından oluşan düzeneğ tasarlanmıştır. Şekil 4b’de görüldüğü gibi görsel uyarın düzeneği tuş seti şeklindedir. Gerçek zamanlı deneylerde kullanıcılardan istedikleri bir telefon numarasını BBA aracılığı ile yazdırmaları istenmiştir. Kullanıcı belirlenen tespit süresince uyarınlardan birine odaklanır. Ardından bu süre zarfında toplanan EEG sinyallerinden DHGUP tespiti yapılır ve ekranda 0,5 saniye süresince yalnızca tespit edilen uyarın görünmektedir (Şekil 4c). Denekler “sil” isimli uyarın ile son yazdığı numarayı silebilir. “ara” isimli görsel uyarına odaklanarak deneyi sonlandırabilir (Şekil 4d).

### 2.3. Güç Spektral Yoğunluğu Analizi ile DHGUP Tespiti

DHGUP sinyali görsel uyarının frekansında sinüzoidal bir sinyal olduğu için EEG sinyalinin spektrumu incelenerek DHGUP tespiti yapılabilir. Güç spektral yoğunluğu analizi (GSYA) ile EEG sinyalinin görsel uyarın frekanslarındaki bileşenlerinin güç değerleri elde edilir. Elde edilen güç değerleri karşılaştırılarak DHGUP tespiti yapılmaktadır.

$$f = \operatorname{argmax}_i P(f_i), \quad i = 1, 2, \dots, K \quad (1)$$

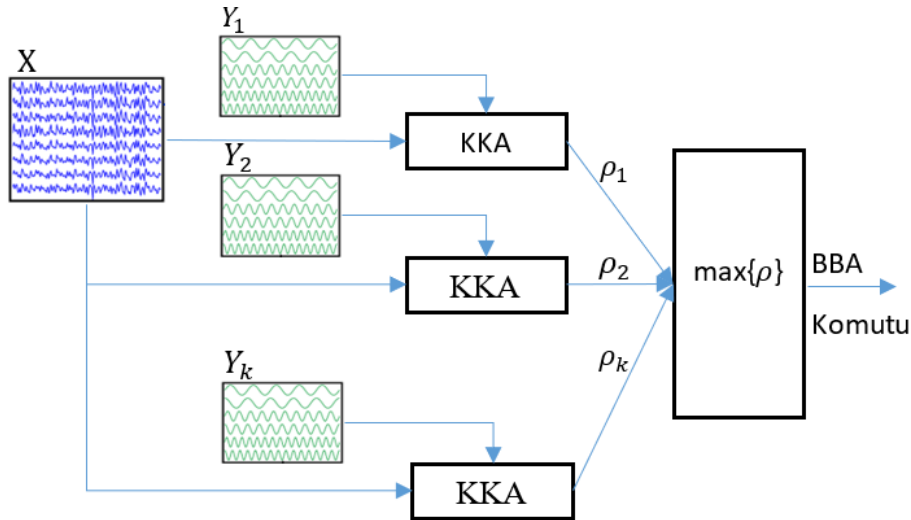
Denklem 1’de  $K$  görsel uyarın sayısı,  $P(f_i)$   $f_i$  frekansındaki güç değeri ve  $f$  odaklanılan uyarının frekansıdır. Spektrumun elde edilmesinde çoğunlukla Hızlı Fourier Dönüşümü kullanılmaktadır [16, 17].

## 2.4. Kanonik Korelasyon Analizi ile DHGUP Tespiti

DHGUP temelli BBA sistemlerinde çoklu elektrot sinyallerinden hedef uyaran tespiti Kanonik korelasyon analizi (KKA) ile yapılabilir [18, 19]. Çok boyutlu iki veri seti arasındaki ilişki KKA yöntemi ile tespit edilebilir. KKA'da 2 veri setinin  $(X, Y)$  koordinat sistemlerini en ilişkili hale getirecek ağırlık vektörleri  $(w_x, w_y)$  hesaplanır. Veri setleri  $(X, Y)$  ve hesaplanan ağırlık vektörlerinin lineer kombinasyonu ile  $(X^T w_x, Y^T w_y)$  kanonik değişkenler  $(x = X^T w_x, y = Y^T w_y)$  elde edilir. Bu kanonik değişkenler arasındaki korelasyon değeri kanonik korelasyon katsayısı olarak adlandırılır. Kanonik korelasyon katsayısı denklem 2 ile elde edilmektedir.

$$\max_{w_x, w_y} \rho(x, y) = \frac{E[xy^T]}{\sqrt{E[xx^T]E[yy^T]}} = \frac{E[w_x^T X Y^T w_y]}{\sqrt{E[w_x^T X X^T w_x]E[w_y^T Y Y^T w_y]}} \quad (2)$$

Denklem 2'de  $\rho(x, y)$  kanonik değişkenler arasındaki korelasyon katsayısıdır. DHGUP temelli BBA sistemlerinde KKA yöntemi ile çoklu kanal EEG sinyalleri ve referans sinyaller arasındaki ilişki incelenmektedir. Referans sinyaller uyaran frekansında ve harmoniklerinde sinüs ve kosinüs fonksiyonları ile oluşturulmaktadır (Denklem 3).



Şekil 5. KKA ile DHGUP tespiti

$$Y_i = \begin{bmatrix} \sin(2\pi f_i t) \\ \cos(2\pi f_i t) \\ \vdots \\ \sin(2\pi N_h f_i t) \\ \cos(2\pi N_h f_i t) \end{bmatrix}, t = \left[ \frac{1}{f_s}, \frac{2}{f_s}, \dots, \frac{N_s}{f_s} \right] \quad (3)$$

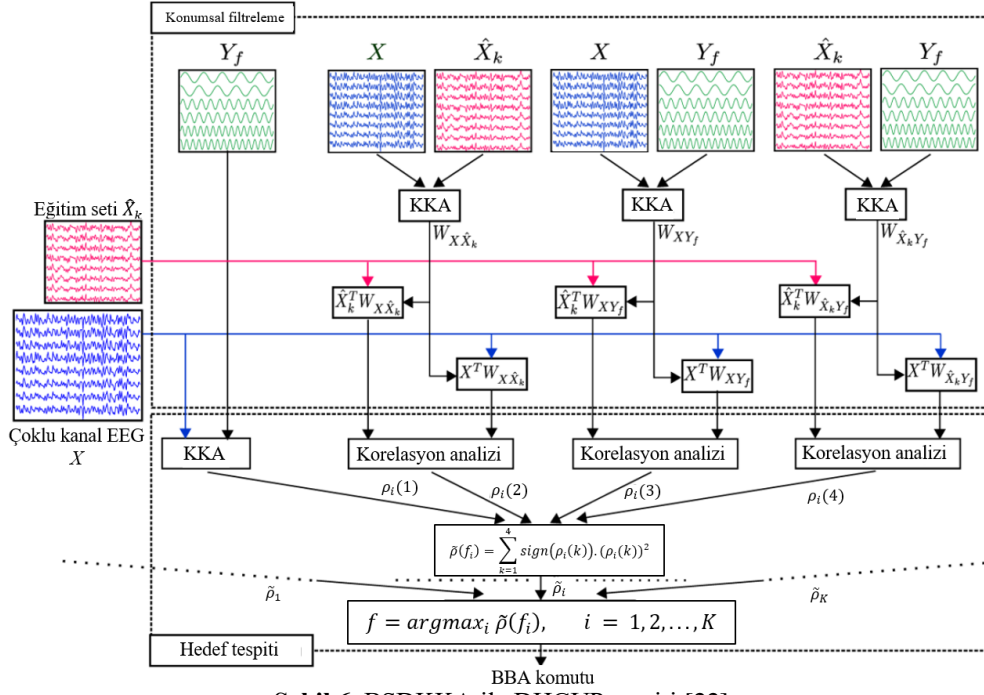
Burada  $f_i$  uyaran frekansını  $N_h$  harmonik numarasını göstermektedir. Şekil 5'de KKA yönteminin işleyişi görülmektedir. Uyaran frekanslarındaki referans sinyaller ve çoklu kanal EEG sinyalleri ile elde edilen kanonik korelasyon katsayıları karşılaştırılarak DHGUP tespiti yapılmaktadır (Denklem 4).

$$f = \operatorname{argmax}_i \rho(f_i), \quad i = 1, 2, \dots, K \quad (4)$$

## 2.5. Bireysel Şablon Destekli Kanonik Korelasyon Analizi ile DHGUP Tespiti

KKA metodu kolay uygulanabilir olması ve kısa süreli EEG sinyallerinde dahi doğru DHGUP tespiti sağlamasından dolayı farklı yaklaşımlar ile geliştirilmektedir [20, 21]. Bireysel şablon destekli kanonik

korelasyon analizinde (BŞDKKA) sinüzoidal referans sinyallerine ek olarak ön hazırlık aşaması ile elde edilen deneklerin ortalama EEG sinyali de işleme dahil edilmektedir. Şekil 6'da görüldüğü gibi, KKA yöntemi ile referans sinyaller ( $Y$ ), test sinyalleri ( $X$ ) ve bireysel şablon sinyallerden ( $\hat{X}$ ) ağırlık katsayıları hesaplanmıştır ( $W_{X\hat{X}}$ ,  $W_{XY}$ ,  $W_{\hat{X}Y}$ ). 2. adımda bu ağırlık katsayıları ile bireysel şablon sinyalleri ve test sinyalleri çarpılmaktadır. Son adımda çarpım sonucu elde edilen sinyallerin korelasyon değerlerinin toplamı ( $\tilde{\rho}$ ) kullanılarak DHGUP tespiti yapılmaktadır.



Şekil 6. BŞDKKA ile DHGUP tespiti [22]

Yöntemin matematiksel ifadesi denklem 5 ve 6'daki gibidir.

$$\rho_i = \begin{bmatrix} \rho_i(1) \\ \rho_i(2) \\ \rho_i(3) \\ \rho_i(4) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \rho(X, Y) \\ \rho(X^T W_{X\hat{X}}, \hat{X}^T W_{X\hat{X}}) \\ \rho(X^T W_{XY}, \hat{X}^T W_{XY}) \\ \rho(X^T W_{\hat{X}Y}, \hat{X}^T W_{\hat{X}Y}) \end{bmatrix} \quad i = 1, 2, \dots, K \quad (5)$$

$$\tilde{\rho}(f_i) = \sum_{k=1}^4 \text{sign}(\rho_i(k)) \cdot (\rho_i(k))^2 \quad i = 1, 2, \dots, K \quad (6)$$

Burada  $X$  test sinyalleri,  $Y$  referans sinyaller  $\hat{X}$  bireysel şablonlar ve  $\rho$  korelasyon katsayısıdır. Elde edilen toplam korelasyon katsayıları karşılaştırılarak DHGUP tespiti yapılmaktadır (Denklem 7).

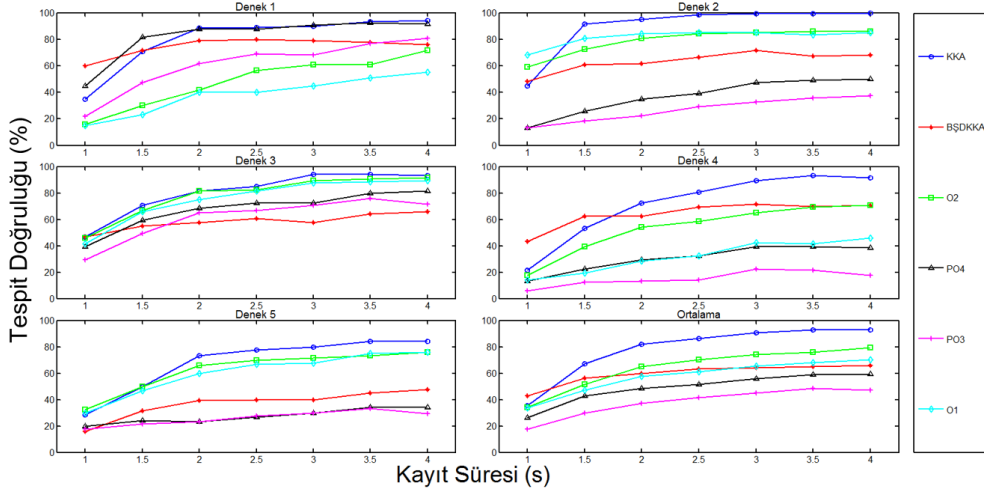
$$f = \text{argmax}_i \tilde{\rho}(f_i), \quad i = 1, 2, \dots, K \quad (7)$$

### 3. Bulgular ve Tartışma

DHGUP tabanlı BBA sisteminde kullanılacak EEG kayıt süresine ve DHGUP tespit yöntemine karar verilmesi için ön hazırlık deneyleri ile EEG sinyalleri kaydedilmiş ve analiz edilmiştir. Materyal ve Metot bölümünde bahsedildiği gibi, her bir denek için 4 kanaldan her biri 12 adet denemeden oluşan 10 oturum sonucu 480 adet 5 saniyelik EEG sinyalleri elde edilmiştir. Sinyaller 5 – 23 Hz sonsuz dürtü yanıtı (IIR) bant geçiren filtre ile filtrelenmiştir. Filtrenin sınırları görsel uyaran frekanslarının ilk ve ikinci harmoniğini kapsayacak şekilde seçilmiştir. DHGUP sinyali, göz veya vücut hareketi kaynaklı gürültülere karşı bağımsızlığı olduğu [23] için çalışmada bant geçiren filtrenin dışında ön-işleme uygulanmamıştır. Filtrelenmiş sinyallerden KKA, BŞDKKA ve GSYA yöntemleri ile DHGUP tespiti yapılmıştır. GSYA analizinde 4 kanaldan alınan sinyal ayrı ayrı değerlendirilirken, çoklu kanal yöntemi olan KKA ve BŞDKKA için 4 kanaldan alınan sinyaller beraber değerlendirilmiştir. GSYA analizinin

4 kanala ayrı ayrı uygulanması ile deneklerdeki DHGUP sinyalinin en yoğun gözlemlendiği kanal tespit edilmiştir.

5 denekten değişen sinyal uzunluklarında elde edilen tespit doğruluğu ve ortalama değerler Şekil 7’de görülmektedir.



Şekil 7. Ön hazırlık aşamasında elde edilen tespit doğruluğu

Şekil 7’de O1 O2 PO4 PO3 etiketleri ile bu kanallardan GSYA ile elde edilen tespit doğruluğu sunulmuştur. Ön hazırlık deneyleri sonuçları incelendiğinde KKA yöntemi ile daha yüksek tespit doğruluğu elde edildiği görülmektedir. Bundan dolayı gerçek zamanlı uygulamada KKA yöntemi tercih edilmiştir.

Çalışmalarda [5, 22, 24] BŞDKKA ile yüksek tespit doğruluğu elde edilmiş olmasına rağmen ön hazırlık deneylerinde sonuçların tatmin edici olmamasının sebebi bireysel şablonun tutarsızlığı olabilir. Şablon, aynı frekanstaki DHGUP bileşenine sahip sinyallerin ortalaması alınarak elde edilmektedir. Kullanışlı bir şablon elde edilebilmesi için DHGUP bileşenlerinin faz değerlerinin benzer olması gerekmektedir. Bu ise EEG kayıt sistemi ile görsel uyarın sisteminin eş zamanlı çalışması ile mümkün olmaktadır. Emotiv Epoc cihazındaki kısıtlamalar ve Matlab yazılımından kaynaklanan gecikmeler ise kullanılabilir bir şablona ulaşılmasını zorlaştırmaktadır.

Gerçek zamanlı deneylerde kullanılan kayıt süresi, bilgi aktarım hızı (BAH) değerlendirilerek belirlenmiştir. BAH birim zamanda iletilen bilgi miktarıdır. BAH terimi, BBA sistemindeki seçenek sayısına, tespit süresi ve doğruluğuna bağlıdır.

$$BAH = \frac{60}{T} \times [\log_2 N + P \log_2 P + (1 - P) \log_2 \frac{(1-P)}{(N-1)}] \quad (8)$$

Burada  $T$  tespit süresini,  $P$  tespit doğruluğunu ( $0 - 1$  arası),  $N$  seçenek sayısını ifade etmektedir. Ön hazırlık deneylerinde KKA yöntemi ile farklı tespit sürelerinde elde edilen BAH değerleri Tablo 1’de sunulmuştur.

Tablo 1. KKA ile elde edilen tespit doğruluğu ve BAH değerleri

Süre (sn.)	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5
Doğruluk (%)	13.3	35.3	67.3	82.2	86.2	90.5	92.8	92.6	92.6	92.6
BAH	2.4	24.6	61.7	68.8	60.7	56.1	50.8	44.2	39.3	35.4

Tablo 1’e göre gerçek zamanlı uygulama için yüksek BAH sağlayan tespit süresi 2 saniyedir. Bu sebeple gerçek zamanlı uygulamada 2 saniyelik EEG sinyallerinden DHGUP tespiti yapılmıştır. Tespit sonrası ekranda 0,5 saniye tespit edilen uyarın gösterildiği için kullanıcı 2,5 saniyede bir numara yazdırabilmektedir. Böylece tasarlanan BBA 24 karakter/dakika hızında çalışmaktadır. Gerçek zamanlı deneyler sonucu elde edilen sonuçlar Tablo 2’de görülmektedir. Sonuçlar incelendiğinde 1. ve 2.

deneğin hatasız olarak hedefteki numaraya ulaştığı görülmektedir. 3. denekte 2 kez, 5. denekte 3 kez ve 4. denekte 5 kez hedef doğru tespit edilememiştir.

Tablo 2. Gerçek zamanlı uygulama sonuçları (✓:ara, ←:sil).

Denekler	Hedef	Tespit Edilen	Hedef/Tespit Sayısı
Denek 1	05444637355✓	05444637355✓	12/12
Denek 2	05056324751✓	05056324751✓	12/12
Denek 3	05533144941✓	0554←-335←-144941✓	12/16
Denek 4	05075893657✓	03←-507585←-936←-←-368←-57✓	12/22
Denek 5	05075891415✓	0507←-7581←-914←-415✓	12/18

Gerçek zamanlı deneylerden elden edilen sonuçlara göre tasarlanan BBA ile kullanıcılar 11 haneli telefon numarasını ortalama 40 saniyede seçebilmiştir.

Deneyssel sonuçlarda gösterildiği gibi Emotiv Epoc ile BBA tasarlanmış olmasına rağmen cihazın oksipital bölgede yalnızca 2 elektrot olması, sabit uzunluklu elektrot kolları sebebiyle elektrotların istenen bölgeye ulaşmaması, görsel uyarın ile eş zamanlı çalışmanın zorluğu etkenlerinden dolayı DHGUP temelli BBA sistemleri için tam uygun olmadığı gözlemlenmiştir.

#### 4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada pratik ve düşük maliyetli bir EEG cihazı olan Emotiv Epoc ile DHGUP temelli BBA tasarlanmış ve hayata geçirilmiştir. Tasarlanan BBA tuş takımı biçiminde tasarlanan görsel uyarın düzeneği sayesinde kullanıcıların yalnızca beyin sinyalleri ile telefon numarası yazmalarına olanak sağlamaktadır. 5 kullanıcı ile yapılan deneylerde sistemin ortalama 40 saniyede 11 haneli bir telefon numarasını yazdırabildiği gösterilmiştir. Ayrıca çalışmada yüksek DHGUP tespit doğruluğu sağlayan eğitim verisi destekli BŞDKKA yönteminin Emotiv Epoc ile uygulanabilirliği incelenmiştir. Yöntem, daha önce bahsedilen eş zamanlı çalışma zorluğundan dolayı yaygın yöntemler olan GSY ve KKA'ya göre daha yüksek DHGUP tespiti sağlamamıştır. Görsel uyarın ile EEG cihazı arasındaki eş zamanlılık problemini aşmak için Matlab yerine farklı bir platform veya Matlab ortamında farklı bir toolbox tercih edilebilir. Bununla birlikte kullanılan cihaz, görsel uyarın tasarımı ve tespit yöntemi hakkında genel bir kanyaya varmak için daha yüksek sayıda kullanıcı ile deneylerin yapılması gerekmektedir.

#### Teşekkür

Bu çalışma Karabük Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi kapsamında desteklenmiştir (Proje No: KBÜ-BAP-14/2-DR-011).

#### Kaynaklar

- [1] Kokswijk J.V., Hulle M.V. 2010. Self adaptive BCI as service-oriented information system for patients with communication disabilities, 2010 4th International Conference on New Trends in Information Science and Service Science (NISS), 264-269, 11-13 May 2010, Gyeongju.
- [2] Santhosh J., Bhatia M., Sahu S., Anand S. 2004. Quantitative EEG analysis for assessment to "plan" a task in amyotrophic lateral sclerosis patients: a study of executive functions (planning) in ALS patients. Brain Res Cogn Brain Res, 22 (1): 59-66.
- [3] Wolpaw J.R., Birbaumer N., McFarland D.J., Pfurtscheller G., Vaughan T.M. 2002. Brain-computer interfaces for communication and control. Clinical Neurophysiology, 113 (6): 767-791. doi:10.1016/S1388-2457(02)00057-3
- [4] Sellers E.W., Vaughan T.M., Wolpaw J.R. 2010. A brain-computer interface for long-term independent home use. Amyotrophic Lateral Sclerosis, 11 (5): 449-455.
- [5] Chen X., Wang Y., Nakanishi M., Gao X., Jung T.P., Gao S. 2015. High-speed spelling with a noninvasive brain-computer interface. Proceedings of the National Academy of Sciences, 112 (44): 1-10. doi:10.1073/pnas.1508080112
- [6] Sözer A.T., Fidan C.B. 2017. Novel Detection Features for SSVEP Based BCI: Coefficient of

- Variation and Variation Speed. *BRAIN: Broad Research in Artificial Intelligence and Neuroscience*, 8 (2): 144-150.
- [7] Wang Y., Gao X., Hong B., Jia C., Gao S. 2008. Brain-Computer Interfaces Based on Visual Evoked Potentials. *IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine*, 27 (5): 64-71.
- [8] Zhang Y., Zhou G., Jin J., Wang X., Cichocki A. 2015. SSVEP recognition using common feature analysis in brain-computer interface. *Journal of Neuroscience Methods*, 244: 8-15.
- [9] Sozer A.T., Fidan C.B. 2016. Implementation of a steady state visual evoked potential based brain computer interface. In 2016 24th Signal Processing and Communication Application Conference (SIU) (pp. 1173–1176). IEEE. doi:10.1109/SIU.2016.7495954
- [10] Sözer A.T., Fidan C.B. 2018. Novel spatial filter for SSVEP-based BCI: A generated reference filter approach. *Computers in Biology and Medicine*, 96: 98-105.
- [11] Van Vliet M., Robben A., Chumerin N., Manyakov N.V., Combaz A., Van Hulle M.M. 2012. Designing a brain-computer interface controlled video-game using consumer grade EEG hardware. In 2012 ISSNIP Biosignals and Biorobotics Conference: Biosignals and Robotics for Better and Safer Living, BRC 2012 (pp. 1-6). IEEE. doi:10.1109/BRC.2012.6222186
- [13] Choi B., Jo S. 2013. A Low-Cost EEG System-Based Hybrid Brain-Computer Interface for Humanoid Robot Navigation and Recognition. *PLoS ONE*, 8(9): e74583. doi:10.1371/journal.pone.0074583.
- [14] Badcock N.A., Mousikou P., Mahajan Y., de Lissa P., Thie J., McArthur G. 2013. Validation of the Emotiv EPOC ® EEG gaming system for measuring research quality auditory ERPs. *PeerJ*, 1 (1): e38. doi:10.7717/peerj.38.
- [15] Chumerin N., Manyakov N.V., Van Vliet M., Robben A., Combaz A., Van Hulle M.M. 2013. Steady-state visual evoked potential-based computer gaming on a consumer-grade EEG device. *IEEE Transactions on Computational Intelligence and AI in Games*, 5(2): 100-110.
- [16] Cogent Graphics. 2017. Laboratory of Neurobiology. Retrieved July 1, 2017, from [http://www.vislab.ucl.ac.uk/cogent\\_graphics.php](http://www.vislab.ucl.ac.uk/cogent_graphics.php)
- [17] Hwang H.J., Lim J.H., Jung Y.J., Choi H., Lee S.W., Im C.H. 2012. Development of an SSVEP-based BCI spelling system adopting a QWERTY-style LED keyboard. *Journal of Neuroscience Methods*, 208 (1): 59-65. doi:10.1016/j.jneumeth.2012.04.011
- [18] Sanchez G., Diez P.F., Avila E., Leber E.L. 2011. Simple communication using a SSVEP-based BCI. *Journal of Physics: Conference Series*, 332 (1): 012017. doi:10.1088/1742-6596/332/1/012017.
- [19] Yan Z., Gao X., Bin G., Hong B., Gao S. 2009. A half-field stimulation pattern for SSVEP-based brain-computer interface. Conference proceedings : ... Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. Annual Conference, 2009, 6461-4. doi:10.1109/IEMBS.2009.5333544.
- [20] Lin Z., Zhang C., Wu W., Gao X. (007) Frequency recognition based on canonical correlation analysis for SSVEP-Based BCIs. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 54 (6): 1172-1176. doi:10.1109/TBME.2006.889197.
- [21] Poryzala P., Materka A. 2014. Cluster analysis of CCA coefficients for robust detection of the asynchronous SSVEPs in brain-computer interfaces. *Biomedical Signal Processing and Control*, 10 (1): 201-208.
- [22] Cao L., Ju Z., Li J., Jian R., Jiang C. 2015. Sequence detection analysis based on canonical correlation for steady-state visual evoked potential brain computer interfaces. *Journal of Neuroscience Methods*, 253: 10-17.
- [23] Nakanishi M., Wang Y., Wang Y.T., Mitsukara Y., Jung T.P. 2014. A High-Speed Brain Speller Using Steady-State Visual Evoked Potentials. *International Journal of Neural Systems*, 24 (06): 1450019. doi:10.1142/S0129065714500191.
- [24] Wu Z., Su S. 2014. A dynamic selection method for reference electrode in SSVEP-based BCI. *PLoS ONE*, 9 (8): e104248. doi:10.1371/journal.pone.0104248.
- [25] Nakanishi M., Wang Y., Wang Y.T., Jung T.P. 2015. A Comparison Study of Canonical Correlation Analysis Based Methods for Detecting Steady-State Visual Evoked Potentials. *PLoS one*, 10(10), e0140703. doi:10.1371/journal.pone.0140703

---

*Araştırma Makalesi / Research Article*

---

## **Yaylalardaki Arazi Kullanım Değişiminin Coğrafi Bilgi Sistemi İle Analizi: Giresun Örneği**

Volkan BAŞER\*

*Giresun Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Giresun*

---

### **Öz**

Türkiye’de yaylalar uzun yıllar hayvancılık ve yazlık dinlenme alanları olarak kullanılmıştır. Günümüzde ise büyük ölçüde nitelik değiştirerek rekreasyon amacıyla kullanılan birer tatil ya da dinlenme yeri olmuşlardır. Bu mekanlara artan talep arazi kullanımında değişime neden olmaya başlamıştır. Turizm anlayışındaki değişime paralel olarak, iç turizmde rekreasyon/turizm için yaylalara olan talep artışı, Doğu Karadeniz Bölgesi’ndeki bazı yaylaları turizm merkezlerine dönüştürmüş ve buralara yapılan turizm yatırımlarını arttırmıştır. Bu değişim süreci ile birlikte yaylalardaki arazi kullanımı, çevrenin görünümünde ve ekosistemlerde büyük değişikliklere yol açmıştır. Artan bu talep kaçak yapılaşmaları arttırmıştır. İmar afları ile kaçak yapıların hukuki sorunlarının kaldırılması arazi yönetimi kapsamında sıkıntıları beraberinde getirmiştir. Sürdürülebilir olmaktan çıkan yayla alanları her geçen gün doğal kaynaklarını kaybetmektedir. Çalışma Türkiye’nin Doğu Karadeniz Bölgesindeki Giresun ili (Kümbet, Bektaş ve Çıkrıkçı) yaylalarındaki arazi kullanımında meydana gelen artışı incelemektedir. Bu maksatla 1970-2018 yılları arasında yaylalara ait hava fotoğrafları ve haritalar Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) ile analiz edilmiştir. Yapılan çalışma ile arazi kullanımı ve planlamasına ilişkin sorunlar ortaya konmuş, değişimin boyutlarını irdelenmiştir. Bu bağlamda yaylaların merkezi kullanım alanlarında büyük artışların olduğu, yayla evlerinin betonarme ve çok katlı hale dönüştüğü belirlenmiştir. Buna bağlı olarak yayla yollarında büyük artışlar olmuş ve dağ ekosisteminde bozulmalar meydana gelmiştir. Ayrıca yaylaların kayıt altına alınması ve yapılaşmaların yayla imar planları dâhilinde gerçekleştirilmesi gereğine vurgular yapılmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Arazi Yönetimi, Arazi Kullanımı, Hava Fotoğrafı, CBS, Yayla, Giresun.

---

## **Analysis of Land Use Change of Highlands with Geographic Information System: The Case of Giresun**

---

### **Abstract**

Highlands in Turkey has been used for many years as livestock and summer recreation areas. Today, they have become a vacation or resting place, which is used for recreational purposes by largely changing the quality. Increasing demand for these spaces has begun to cause change in land use. Parallel to the change in tourism understanding, the increase in demand for recreation / tourism in domestic tourism has transformed some of the springs in the Eastern Black Sea Region into tourism centers and increased tourism investments made in the region. Along with this change process, the use of land in the past has led to major changes in the landscape and ecosystems. This increased demand has increased illegal construction. The removal of the legal problems of the illegal structures with zoning amnesty has brought difficulties in the scope of land management. Highland areas that are becoming sustainable lose their natural resources day by day. Working in Turkey's eastern Black Sea region of Giresun province (Kumbet, Bektaş and Çıkrıkçı) in land use springs examines the changes occurring. For this purpose, aerial photographs and maps belonging to the spring of 1970-2018 were analyzed with the Geographic Information System (GIS). In this study, problems related to land use and planning were determined and the dimensions of change were examined. In this context, it is determined that there are big increases in the central usage areas of the plateaus and the highland houses have become concrete and multi-storey. Due to this, there have been large increases in highland roads and disturbances in the mountain ecosystem. Furthermore, it was emphasized that the plateaus should be recorded and the developments should be carried out within the scope of the land development plans.

**Keywords:** Land Management, Land Use, Aerial Photography, GIS, Highland, Giresun.

---

\*Sorumlu yazar: [volkan.baser@giresun.edu.tr](mailto:volkan.baser@giresun.edu.tr)

Geliş Tarihi: 20.07.2018, Kabul Tarihi: 27.12.2018

## 1. Giriş

Araziden yararlanma ya da arazi kullanımı yerleşim alanı oluşturma, ulaşım için yararlanma, ticaret, endüstri ve tatil zamanlarını değerlendirme ve hammadde kazanma da dâhil olmak üzere araziden her türlü yararlanmayı içermektedir [1]. Arazi kullanımı çevrenin görünümünde ve ekosistemlerde daha önce görülmemiş değişikliklere yol açmaktadır. Kentsel alanlar ve buna bağlı altyapılar en hızlı büyüyen arazi tüketicileridir. Arazi kullanımı kırsal peyzajlar, tarımın yoğunlaşması, arazi terki ve ormanların sömürülmesine bağlı olarak değişmektedir.

Kıyı kesimleri ve dağlık bölgeler, yoğun turizm ve tatil faaliyetlerini karşılayabilmek için mekânsal yeniden düzenlemelere tabi tutulmaktadır. Tarım, ormancılık, ulaşım ve barınma gibi faaliyetler için arazi kullanılmakta ve bu faaliyetlere bağlı olarak toprağın doğal durumu ve işlevi değişmektedir. Arazi kullanımı kaynaklı çevre sorunları; iklim değişikliğine, biyolojik çeşitliliğin kaybına, suyun, toprağın ve havanın kirlenmesine yol açmaktadır. Arazi kullanımından kaynaklanan etkiler, doğal habitatların ve peyzajların yok olması şeklinde doğrudan olabileceği gibi, toprağın sertleşmesi ve ormansızlaşma sonucunda sel riskinin artması ile dolaylı da olabilir [2]. Bu bağlamda, özellikle son yüzyılda dünya nüfusundaki olağanüstü artış ve bu artışa bağlı olarak doğal kaynakların aşırı derecede kullanılması, onarılması güç zararları ve felaketleri beraberinde getirmiştir.

Arazi yönetimi çalışmalarında arazi kullanım türleri belirlenirken veri toplanması, verilerin analizi ve haritalanmasında uzaktan algılama ve coğrafi bilgi sistemleri (CBS), hava fotoğrafları gibi araç ve tekniklerden yararlanılmaktadır.

Arazi örtüsü (land cover), arazi kullanımı (land use) ve arazinin işlevi (land function) kavramları birbiriyle ilişkili ancak farklı anlamlar ihtiva ederler. Arazi örtüsü, arazinin yüzeyindeki bitki örtüsünü içeren toprak tabakasını, tarım ürünlerini ve insan yapılarını ifade eder. Arazi örtüsü bu yüzden doğrudan arazide ve uzaktan algılama görüntüleri ile gözlenebilir. Arazi örtüsü ile ilgili gözlem ve izleme çalışmalarında kullanılan temel araç ve teknikler: Uzaktan algılama, hava fotoğrafları ve haritalardır. Arazi kullanımı ile ilgili çalışmalarda kullanılan temel araç, teknik ve veriler ise; nüfus verileri, gözlemlerden elde edilen arazi örtüsü haritaları, peyzaj yapısının yorumlarıdır [3].

Arazinin işlevi, yalnızca arazi kullanımını ifade eden mal ve hizmetlerin sağlanması değil, aynı zamanda estetik güzellik, kültürel miras ve bioçeşitliliğin korunması gibi yararların sağlanmasını da içermektedir. Arazi örtüsü ve kullanımında yararlanılan teknikler bir alanın işlev ya da fonksiyonlarının gözlenmesi ve izlenmesi için yeterli değildir. Çünkü bir alanın işlevi arazi örtüsünde herhangi bir değişiklik olmaksızın keskin bir şekilde değişebilmektedir. Dolayısıyla, arazi işlevinin gözlenmesi ve izlenmesi çalışmalarında kullanılan temel araç ve teknikler ise, diğerlerinden farklı olarak, çevresel ve sosyo-ekonomik yapının analizi, mal ve hizmetlerin kıymetlendirilmesi ya da ölçülmesidir [3]. Arazi kullanımı değişiklikleri, insan faaliyetleri ve doğal ekolojik süreçlerden kaynaklanmaktadır [4]. Bu değişikliklerin kapsamlı bir şekilde anlaşılması için, uzun vadeli insan-çevre etkileşimleri analiz edilmelidir [5].

Yukarıda sözü edilen araç ve tekniklerin yaygın şekilde kullanılması sonucu dünyanın farklı bölgelerinde arazi örtüsü ve arazi kullanımında meydana gelen değişimleri saptamak amacıyla çok sayıda araştırma ve bu araştırmaların sonuçlarını içeren yayınlar [6-15] yapılmıştır. Çalışmalar dağlık bölgelerde arazi örtüsü ve arazi kullanımında belirli bir zaman aralığında meydana gelen değişim ve bu değişimin ekolojik, ekonomik ve sosyal etkileri ya da sonuçlarını belirleme üzerinedir.

Ülkemizde yaylalar genellikle ekonomiye katkı sağlama alanları olarak görülmektedir [16]. Dağlık alanlarda yer alan yaylalar, göçebe ve yarı göçebelilerle, köylülerin ekonomik faaliyet alanı olup, bu alanlardaki ekonomik faaliyetin temelini hayvancılık oluşturur. Bunun yanında yaylalar, kasaba ve kentlerde yaşayan insanların “rekreatyonel” amaçlar için kullandıkları, yüksek kesimlerde bulunan geçici veya dönemlik yerleşim yerleridir [17]. Sınırları içinde Giresun ilini de barındıran Doğu Karadeniz Bölgesi, doğal koşullar bakımından yüksek ve engebeli bir alan olduğundan tarımsal faaliyetler için kullanılabilecek arazi son derece sınırlıdır. Bu nedenle bölgede öteden beri hayvancılık, dolayısıyla yaylacılık önemli bir faaliyet olmuştur.

Özellikle son yıllarda Türkiye’de turizm kalıplarındaki değişime paralel olarak Doğu Karadeniz bölgesi, iç ve dış turizmdeki talep artışının yoğun olduğu bölgelerdendir. Doğu Karadeniz Bölgesi’ndeki bazı yaylalar turizm merkezlerine dönüşmüştür. Ayrıca yabancı turist talebinin yoğun olması nedeniyle bölgede turizm yatırımları planlanmakta ve hayata geçirilmektedir. Bölgede bu süreçle birlikte arazi kullanımında ve yayla işlevlerinde hızlı bir değişim başlamıştır. Bu değişime bağlı olarak hayvancılığa



dayalı geleneksel yaylacılık gerilemiştir. Bu gerileme ile bölgedeki büyükbaş ve küçükbaş hayvan sayısında azalma ve hayvansal üretimde düşüş meydana gelmiştir. Değişim Giresun ili yaylalarında da kendisini göstermektedir.

Yaylalara erişim için yeni yayla yollarının yapımı ve var olan yolların genişletilmesi plansız bir şekilde artarak devam etmektedir. Yaylalarda çoğunluğu yasal olmayan ikinci konut niteliği taşıyan evlerin inşasında ciddi artışlar olmuştur. Bölgede kitle turizmine yönelik artışlar vardır [18].

Bu araştırmanın temel amacı Doğu Karadeniz Bölgesi yaylalarında arazi kullanımı ve yayla işlevinde meydana gelen değişimin boyutlarını ve nedenlerini Giresun iline bağlı üç yayla üzerinde irdelemektir. Araştırma alanı olarak seçilen Kümbet, Bektaş ve Çıkrıkkapı yaylalarıdır. Araştırmada (1) yaylaların 1970-2008-2018 yıllarındaki hava fotoğraflarından faydalanarak arazi kullanımında meydana gelen değişiklikleri saptamak; (2) yaylaların günümüzdeki işlevini belirlemek ve yayla işlevinde geçmiş yıllara göre değişiklik varsa bu değişikliği ve nedenlerini ortaya çıkarma amaçlanmıştır.

## 2. Mera ve Yaylalarda Hukuki Statü

Yaylaların ve mera alanlarının hukuki statüsü Tablo 1’de verilmiştir. Bu kronolojik sıra mera alanlarına ilişkin tarihsel akışı oluşturmaktadır.

**Tablo 1.** Mera Kanunu Tarihçesi

Tarih	Sayı	Mevzuat
1858		Arazi Kanunname-i Hümayumu
1924	442	Köy kanunu
1930	1580	Belediyeler Kanunu
1945	4753	Çitçiyi Topraklandırma Kanunu
1956	6831	Orman Kanunu
1973	1757	Toprak ve Tarım Reformu Kanunu
1982		T.C. Anayasa
1983	2924	Orman Köylülerinin Kalkınmalarının Desteklenmesi Hakkında Kanun
1984	3083	Sulama Alanlarının Düzenlemesine Dair Tarım Reformu Kanunu
1985	3194	İmar Kanunu
1985	3202	Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü Kuruluş ve Görevleri Hakkında Kanun
1985	3155	Tarım Reformu Genel Müdürlüğü Kuruluş ve Görevi Hakkında Kanun
1987	3402	Kadastro Kanunu
1998	4342	Mera Kanunu

Bu düzenlemelerle meraların, su ve çim kaynaklarının ancak arazide ortak mülkiyet statüsüne sahip köy veya köy halkları tarafından kullanılabilmesi vurgulanmıştır. Bu arazilerin alım satımı yapılamayacağı belirtilmiştir [19]. 1998 yılında yürürlüğe giren 4342 Sayılı Mer’a Kanunu, sadece merayı kapsamayıp; yaylak, kışlak ve kamuya ait otlak ve çayırın tespit, tahdit ile köy veya belediye tüzel kişilikleri adına tahsis yapılmasını, bakım ve ıslah çalışmalarının yapılarak verimliliklerinin artırılmasını ve sürdürülmesini, kullanımlarının sürekli olarak denetlenmesini, korunmasını ve gerektiğinde kullanım amacının değiştirilmesini [20,21] içermektedir.

## 3. Çalışma Alanı

Çalışma alanı Giresun ili bağlı Kümbet, Bektaş ve Çıkrıkkapı Yaylalarını içermektedir (Şekil 4). Kümbet Yaylası, Giresun ili Dereli ilçesi sınırlarında yer almaktadır. Dereli ilçesine 26 km, Giresun’a 62 km uzaklıktadır. Yayla, 1750-1950 m yükseklikleri arasına kurulmuş, aynı adı taşıyan Kümbet köyü

(1400-1600 m) sınırları içerisinde bulunmakta olup, Uzundere köylüleri ile birlikte kullanılmaktadır. Yayla, köy statüsünde olduğundan hazine mülklerinin yanında özel mülkler de bulunmaktadır. Kümbet Turizm Merkezi, Kümbet yaylası yanısıra çevresindeki oba-yayla yerleşmelerini de içine alır. Bunlar arasında; Erenler yaylası, Can obası, Çeğerli yaylası, Tekke yaylası, Çomakkonağı obası, Yağmurca yaylası, Çeğerçukur obası, Köyveri obası, Hamurlu obası ve Elemeği obası gibi çok sayıda oba-yayla yerleşmesi yer almaktadır (Şekil 1). Kümbet yaylası, yaylacılık sezonunda bu geçici yerleşmelerin merkezini oluşturur.



Şekil 1. Kümbet yaylası

Bektaş Turizm Merkezi, Giresun'a 56 km uzaklıkta olup merkezi 2000 – 2250 m yüksekliğe yayılmıştır. Merkez Kulakkaya Yaylası, Kurttepe Mevkii, Melikli Obası Yaylası ve Alçakbel Orman İçi Piknik Alanını içine alır (Şekil 2). Yaz başlarında bile kar görülen yaylada Kurttepe mevkiinde kışın kar kayağı, yazın çim kayağı yapılabilir.

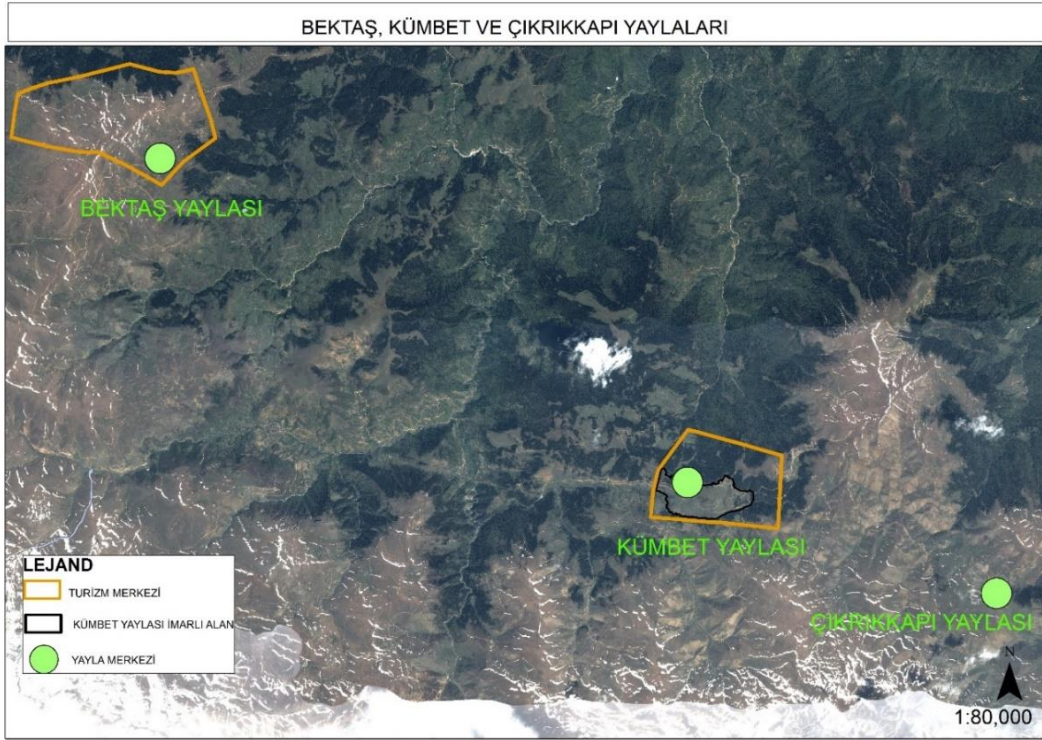


Şekil 2. Bektaş yaylası

Çıkrıkçı Yaylası, Yağıldere ve Alucra ilçe yaylalarını kapsamaktadır. Yaylada 1610 yılında inşa edildiği tahmin edilen Hacı Abdullah Duvarı, mevcuttur. 1 metre yüksekliğinde ve 6,5 kilometre uzunluğundaki duvar, Çıkrıkçı Yaylası'na geçişi sağlamaktadır. Çin seddini andıran yapı mera alanları ile yerleşim alanlarını birbirinden ayıran bir çember şeklindedir (Şekil 3).



Şekil 3. Çıkırıkkapı Yaylası ve Hacı Abdullah Duvarı



Şekil 4. Kümbet, Bektaş ve Çıkırıkkapı Yaylaları

#### 4. Materyal ve Yöntem

Araştırmada nicel ve nitel araştırma teknikleri kullanılmıştır. Arazi kullanımında meydana gelen değişimi belirlemek amacıyla 1970, 2008 ve 2018 yıllarına ait 1:25.000 ölçekli hava fotoğraflarından yararlanılmıştır. Hava fotoğraflarının ortorektifikasyon işlemleri, 1:25.000 ölçekli yükseklik verileri, kamera kalibrasyon değerleri ve 1:25.000 ölçekli raster topoğrafik paftalar kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Hava fotoğrafları, ArcGIS yazılımı kullanılarak arazi kullanımı verilerinin CBS verisi olarak üretilmesi sağlanmıştır. Bu kapsamda, 1970, 2008 ve 2018 yılları için Kümbet ve Bektaş ve Çıkırıkkapı yaylalarındaki binalar, merkez yerleşim alanı ile yollar üretilmiştir (Şekil 7, Şekil 8, Şekil 9).

## 5. Bulgular

Giresun yaylalarının arazi kullanımında (1970-2008-2018 yılları arasında) meydana gelen değişimi belirlemek için yapılan analizlerde: Yaylalar da 1970 yılında evler genellikle tastan yapılmış olup, hayvancılık faaliyetlerine uygun fonksiyonel özelliklere sahip olarak inşa edilmiştir (Şekil 5).



Şekil 5. Bektaş Yaylası'nda eski tip yayla evi

1970 yılında yaylalarda bir evin kapladığı alan yaklaşık olarak 60-70 m<sup>2</sup>'dir. Aynı yılda yayla merkezleri yerleşim alanları Kümbet Yaylası'nda 5,41 ha, Bektaş Yaylası'nda, 34,96 ha, 'dır. Bu oranlar sırası ile 2008 yılında kümbet yaylasında, 15,73 ha, Bektaş yaylasında, 50,73 ha ve çıkırıkkapı yaylasında 22,93 ha'a ulaşmaktadır (Tablo 2). Merkezi yerleşim alanları hava fotoğrafları üzerinden o yılki mevcut yapılaşma yoğunluklarına göre çizilmiştir. Veriler ArcGIS'de sayısallaştırılmış, merkezi yerleşim alanı ve yollar vektörel veri katmanları üzerinden uzunluk ve alan hesaplamaları yapılmıştır.

**Tablo 2.** Kümbet, Bektaş ve Çıkırıkkapı yaylalarında arazi kullanım değişimi (1970-2008-2018)

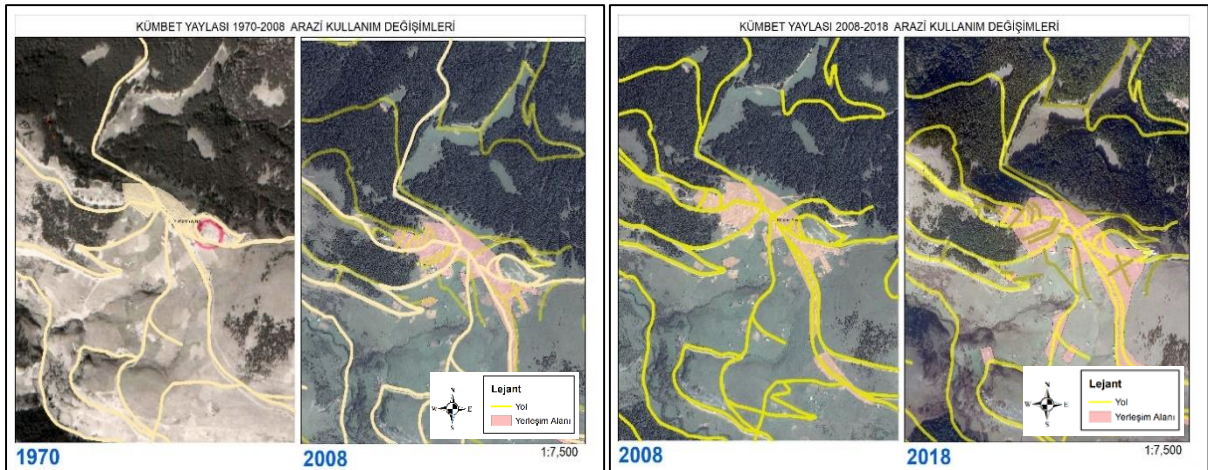
Yaylalar	Zamansal Değişim	Merkez Yerleşim Alanı (ha)	Yol (km)
Kümbet Yaylası	1970	5,41	10,69
	2008	15,73	19,63
	2018	25,50	20,86
Bektaş Yaylası	1970	34,96	11,07
	2008	50,73	17,68
	2018	63,81	20,85
Çıkırıkkapı Yaylası	1970	-	-
	2008	22,93	16,35
	2018	35,29	19,47

2018 yılında merkezi yerleşim alanı 1970 yılına göre Kümbet Yaylası'nda % 471 oranında, Bektaş Yaylası'nda merkezi yerleşim alanı % 183 oranında artış göstermiştir. 2018 yılına ait analizlere ve arazi gözlemlerine göre evlerin niteliğinde büyük bir değişim olmuştur. Eski yayla evlerinde yapı malzemesi olarak duvarlarda tas, çatı örtüsünde ise ahşap malzeme ve çinko ya da sacdan oluşan çatı örtüsü kullanılmışken, yeni yapılan evler betondan inşa edilmekle birlikte çok katlı gözlemlenmektedir. Bu evler yapım tarzı ve işlevleri bakımından geleneksel yayla evlerinin özelliklerini yansıtmamaktadır (Şekil 6).

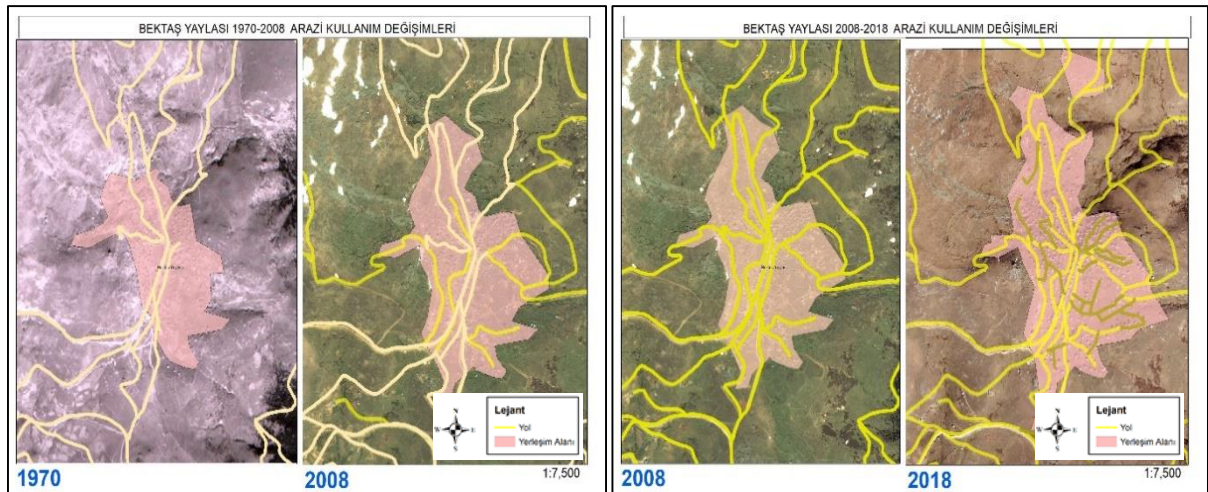


Şekil 6. Kümbet Yaylası'nda çok katlı evler

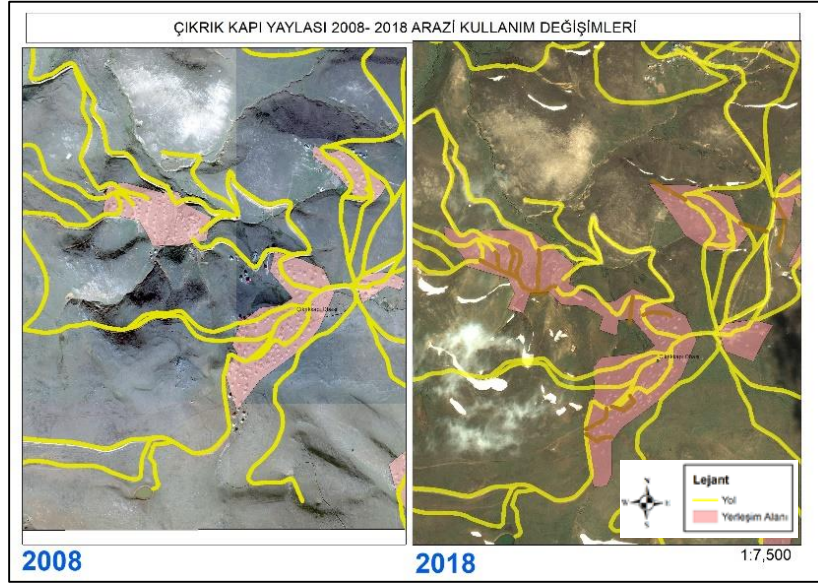
2018 yılı hava fotoğraflarının analizi ve arazi gözlemlerine göre son yıllarda yapılan evlerin büyüklüğü de geçmişe göre farklı olup, ortalama ev büyüklüğü 90-100 m<sup>2</sup> olarak hesaplanmıştır. Buna göre 1970-2018 yılları arasında Kümbet, Bektaş ve Çıkrıkkapı yaylalarında ev yapımına bağlı olarak kayıplar meydana gelmiştir (Şekil 7, Şekil 8, Şekil 9).



Şekil 7. Kümbet yaylası arazi kullanım değişimi 1970-2008 ve 2008-2018.



Şekil 8. Bektaş yaylası arazi kullanım değişimi 1970-2008 ve 2008-2018



Şekil 9. Çıkrık KAPİ yaylası arazi kullanım değişimi 2008-2018

1970 yılında Kümbet Yaylası'nda 10,69 km, Bektaş Yaylası'nda 11,07 km yol ağı tespit edilmiştir. Bu yolların bir bölümü araba yolu bir bölümü de patika yoldur. 2018 yılında üç yaylada da yol ağında artış belirlenmiştir. Buna göre Kümbet Yaylası'ndaki yol ağı 20,86 km'ye, Bektaş Yaylası'ndaki yol ağı da 20,85 km'ye, Çıkrık KAPİ yaylası ise 19,47 km'ye çıkmıştır (Tablo 2). Yol ağındaki artışın temel nedenleri, yeni yapılan evlere erişimin sağlanması, çevredeki diğer yaylalarla ulaşım bağlantısının sağlanmasıdır (Şekil 7, Şekil 8, Şekil 9).

## 6. Sonuç ve Tartışma

1970-2008-2018 yılları arasında arazi kullanımında meydana gelen değişimi belirlemek amacıyla yapılan analizler sonucunda; Kümbet Yaylası'nda 1970 yılında yayla merkez kullanım alanı 5,41 ha'dan % 471 oranında artarak 2008 yılında 15,73 ha'a, 2018 yılında ise 25,50 ha ulaştığı; Bektaş Yaylası'nda 1970 yılında 34,96 ha'dan % 183 oranında artarak 2008 yılında 50,73 ha'a, 2018 yılında ise 63,81 ha'a ulaştığı tespit edilmiştir. Benzer şekilde Somoncu vd. 2010, yapmış oldukları çalışmada Gümüşhane ili Kazıkbeli ve Alistire yaylalarının arazi kullanımında 1973-2004 yılları arasında meydana gelen değişimi Kazıkbeli yaylasında %400, Alistire yaylasında %227 oranında arttığını belirlemişlerdir. Ayrıca çalışmada Mera Kanunu'nun kapsamı ve yaylaların kullanım biçiminin yeniden değerlendirilmesinde yarar bulunacağına vurgular yapılmıştır.

Yaylalar da eski tip yayla evleri, bölgenin geleneksel kırsal mimari özelliklerini yansıtan, tek katlı, basit planlı ve doğal malzemeden yapılmış tescil edilmemiş konutlardır. Yeni yapılan evler ise eskisinden farklı olarak betondan inşa edilmiş ve bazıları çok katlıdır. Yaylalardaki arazi kullanımında meydana gelen değişimin bir başka boyutu ise yaylalardaki yol ağında meydana gelen değişimdir. 1970-2018 yılları arasında Kümbet Yaylası'nda yol ağı 20,86 km, Bektaş Yaylası'nda 20,85 km, Çıkrık KAPİ yaylasında ise 19,47 km'ye ulaşmıştır. Konut yapımı ve yol ağının geliştirilmesine bağlı olarak yaylaların kullanım alanlarında kayıplar ortaya çıkmış olup dağ ekosistemi bu durumdan zarar görmüştür. Bu durum mera alanlarında azalmalara neden olmuştur. Ayrıca bölgede yabancı turist talebinin yoğun olması nedeniyle turizm yatırımları artmıştır. Bu süreç arazi kullanımında ve yayla işlevlerinde hızlı bir değişim yapmıştır. Değişime bağlı olarak hayvancılığa dayalı geleneksel yaylacılık gerilemiştir. Bu gerileme ise bölgedeki büyükbaş ve küçükbaş hayvan sayısının azalmasına ve hayvansal üretimin düşmesine yol açmıştır.

Sonuç olarak, çalışma mer'a alanlarının kayıt altına alınması gerekliliğini bir kez daha ortaya koymaktadır. Mera Kanunu tam olarak uygulanmalı ve yaylalarda kanunda öngörülenin dışında yapılaşma ve diğer uygulamalara kesinlikle izin verilmemelidir. Bununla birlikte günümüzde rekreasyonel talepler artmıştır. Yaylalar bu amaçlar için kullanılabilir. Bu nedenle ki yayla alanlarına ilişkin oluşturulacak imar planları çözüm için önemli kriterlerden biri olacaktır.

**Kaynaklar**

- [1] Çepel N. 1996. *Çevre Koruma ve Ekoloji Terimleri Sözlüğü*, TEMA Vakfı Yayınları, İstanbul.
- [2] European Environment Agency. 2010. *Land use*. <https://www.eea.europa.eu/themes/landuse> (Erişim Tarihi: 02.05.2018)
- [3] Verburg P.H., Steeg J., Veldkamp A., Willemen L. 2009. From land cover change to land function dynamics: A major challenge to improve land characterization, *Journal of Environmental Management*, 90: 1327-1335.
- [4] Petit C.C., Lambin E.F. 2002. Impact of data integration technique on historical landuse/land-cover change: Comparing historical maps with remote sensing data in the Belgian Ardennes. *Landscape Ecology*, 17: 117-132.
- [5] Ramankutty N., Foley J.A. 1999. Estimating historical changes in global land cover: croplands from 1700 to 1992. *Global Biogeochemical Cycles*, 13 (4): 997-1027.
- [6] Kindu M., Schneider T., Döllner M., Teketay D., Knoke T. 2018. Scenario modelling of land use/land cover changes in Munessa-Shashemene landscape of the Ethiopian highlands. *Science of The Total Environment*, 622: 534-546.
- [7] Minta M., Kibret K., Thorne P., Nigussie T., Nigatu L. 2018. Land use and land cover dynamics in Dendi-Jeldu hilly-mountainous areas in the central Ethiopian highlands. *Geoderma*, 314: 27-36.
- [8] Kassawmar T., Eckert S., Hurni K., Zeleke G., Hurni H. 2018. Reducing landscape heterogeneity for improved land use and land cover (LULC) classification across the large and complex Ethiopian highlands. *Geocarto international*, 33 (1): 53-69.
- [9] Tolessa T., Senbeta F., Kidane M. 2017. The impact of land use/land cover change on ecosystem services in the central highlands of Ethiopia. *Ecosystem services*, 23: 47-54.
- [10] Li A., Lei G., Cao X., Zhao W., Deng W., Koirala H.L. 2017. Land Cover Change and Its Driving Forces in Nepal Since 1990. *In Land Cover Change and Its Eco-environmental Responses in Nepal*, pp. 41-65.
- [11] Rai R., Zhang Y., Paudel B., Li S., Khanal N.R. 2017. A synthesis of studies on land use and land cover dynamics during 1930–2015 in Bangladesh. *Sustainability*, 9 (10): 1866.
- [12] Duhamel C. 2012. Land use, Land cover, including their classification. *Encyclopedia of life support system*.
- [13] Alemayehu F., Taha N., Nyssen J., Girma A., Zenebe A., Behailu M., Deckers S., Poesen J. 2009. The impacts of watershed management on land use and land cover dynamics in Eastern Tigray (Ethiopia), *Resources, Conservation and Recycling*, 53: 192-198.
- [14] Chemini C., Rizzoli A. 2003. Land use change and biodiversity conservation in the Alps, *J. Mt. Ecol.*, 7: 1-7.
- [15] Coelho C.O.A., Carvalho T.M.M., Ferreira A.J.D. 1999. *Land-use changes in Portuguese mountain areas: past, present and future*, Edited by Price, M., *Global Change in Mountains, USA*, 123-124.
- [16] Başbüyük A., Yazıcı H., Ertürk M. 2001. Eğriçimen Yaylasında (Koyulhisar-Sivas) Rekreatif Yayılcılık, *Türk Coğrafya Dergisi*, 36: 31-48.
- [17] Somuncu M. 2007. Kırsal ve Kentsel Alanlardaki Sosyoekonomik Değişime Bağlı Olarak Türkiye Yaylalarının Fonksiyonlarındaki Farklılaşma, *ICANAS 38. Uluslararası Asya ve Kuzey Afrika Çalışmaları Kongresi*, pp778, Ankara.
- [18] Somuncu M. 2010. The Dilemma in Turkish highlands: preservation of natural and cultural heritage and tourism development – A case study of the Eastern Black Sea Region, *Proceedings of the 2nd International Conference on Heritage and Sustainable Development*, 1: 431-440.
- [19] Yalçınalp E. 2005. Trabzon'da Bazı Turizm Merkezleri Ölçeğinde Yayla Turizminin Ekoturizm Kapsamında İncelenmesi, *KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Trabzon*
- [20] Aldağ E. 2011. Mer'a Kanunu ve Uygulanması, Balıkesir.
- [21] Resmi Gazete, 1998. 4342 Sayılı Mer'a Kanunu, <http://www.resmigazete.gov.tr/arsiv/23272.pdf> (Erişim Tarihi: 02.05.2018).

---

*Araştırma Makalesi / Research Article*

---

## Complex Network Analysis Approach to Examining Undergraduate Program Preferences

Volkan TUNALI<sup>\*1</sup>, Erdal GÜVENOĞLU<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Maltepe University, Department of Software Engineering, Istanbul

<sup>2</sup>Maltepe University, Department of Computer Engineering, Istanbul

---

### Abstract

In this study, we analyzed undergraduate program preferences of students by using complex network analysis techniques. We collected program preferences data from the YokAtlas portal provided by the Council of Higher Education using a web crawler we developed. We constructed a kind of co-occurrence network we called co-preference network of 622 nodes and 6,136 edges from the collected raw data. We performed a comprehensive exploratory complex network analysis on the co-preference network using Cytoscape and NodeXL tools. Using several node centrality measures, we identified the most popular programs that students frequently preferred together with other programs. In addition, we observed the clusters of programs embedded in the network using several network community detection methods. Finally, we performed a structure analysis to compare our network to a corresponding random network, and we showed that our network had the common characteristic properties that many real-world networks exhibit.

**Keywords:** Network Science, Complex Network Analysis, Higher Education, Undergraduate Program.

---

## Yükseköğretim Programı Tercihlerinin İncelenmesinde Karmaşık Ağ Analizi Yaklaşımı

### Öz

Bu çalışmada, karmaşık ağ analizi teknikleri kullanarak, öğrencilerin yükseköğretim programı tercihlerini analiz ettik. Program tercihleri verisini, kendi geliştirdiğimiz bir web sayfası tarama aracı kullanarak, Yükseköğretim Kurulu tarafından sağlanan YökAtlas portalından topladık. Toplanan ham veriden 622 düğüm ve 6.136 kenara sahip, birlikte tercih edilme ağı olarak adlandırdığımız bir çeşit birliktelik ağı oluşturduk. Cytoscape ve NodeXL araçlarını kullanarak, bu ağ üzerinde keşif türünden kapsamlı bir karmaşık ağ analizi gerçekleştirdik. Çeşitli düğüm merkezilik ölçütleri kullanarak, öğrencilerin diğer programlarla birlikte sıklıkla tercih ettiği en popüler programları tespit ettik. Ayrıca, çeşitli topluluk tespiti yöntemleri kullanarak, ağ içerisinde yerleşik program kümelerini gözlemledik. Son olarak, ağımızı, karşılık gelen rasgele ağ ile karşılaştırmak amacıyla bir yapı analizi gerçekleştirdik ve ağımızın çoğu gerçek hayat ağının sergilediği ortak karakteristik özelliklere sahip olduğunu gösterdik.

**Anahtar kelimeler:** Ağ Bilimi, Karmaşık Ağ Analizi, Yükseköğretim, Yükseköğretim Programı.

---

### 1. Introduction

In Turkey, the higher education system requires that students take a series of university entrance exams and specify their undergraduate program preferences after their exam grades are announced. The whole process called the Student Selection and Placement System (Öğrenci Seçme ve Yerleştirme Sistemi – ÖSYS) is administered by the Center for Measurement, Selection and Placement (Ölçme, Seçme ve Yerleştirme Merkezi – ÖSYM) which selects and places students in available programs, considering their performance on the university entrance exams and their undergraduate program preferences [1].

---

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

Geliş Tarihi: 26.07.2018, Kabul Tarihi: 14.11.2018



There are several studies conducted on university and undergraduate program selection of students in the literature. These studies mostly focused on identifying the factors that affected the decisions of prospective students, such as interest in the program, tuition and availability of funding, geographic location, and campus facilities [2-4]. Similar studies were also conducted for specifically Turkish universities. Ağaoğlu and Yurtkoru [5] evaluated program preference criteria of students with respect to study areas, academic units, education type, language of instruction, and gender. Özgüven [6] estimated private university preference rankings by analytic hierarchy process using several criteria.

In this study, we aim to analyze undergraduate program preferences of students by means of complex network analysis techniques. Rather than analyzing the influential factors in deciding the undergraduate programs, we investigate the associations between the programs preferred together. One plausible approach to analyzing such relationships is to use the classical Association Rule Mining from Data Mining techniques. However, this type of analysis usually generates many rules depending on the thresholds like minimum support and minimum confidence, and it becomes difficult to interpret the rules to gain valuable insights. Besides, from many single rules, it is hard to reach the larger structure and patterns. Therefore, in our research, we use complex network analysis tools and techniques to explore and analyze the program preferences of students. Complex network analysis makes it possible to analyze the data in terms of the global structure of connected entities as well as in terms of local individual entities. In addition, complex network visualization techniques enable us to analyze the data and perceive the patterns visually. This study in general takes an exploratory approach to answer the following research questions:

What are the most central and important (in other words, the most co-preferred) programs?

Are there any structural patterns in undergraduate program preferences of students, or instead, do these preferences happen to be random? Can we understand the phenomenon by analyzing the co-preference network? If any patterns are observed, do they reflect the attitude and the way of thinking of prospective university students in general?

Do the co-preference network we construct have similar structural properties observed in most real-world networks?

This paper is organized as follows. In Section 2, we give the details of the material and the method we used for the analysis. In Section 3, we present and discuss our findings. Finally, we conclude the paper and give some directions for future research in Section 4.

## 2. Material and Method

Our research methodology consists of four distinct phases: data collection, data cleansing, network modeling and construction, and complex network analysis. Details of each phase are given under their respective sub-sections in this section.

### 2.1. Data Collection

Data for this study are collected from the Higher Education Program Atlas (Yükseköğretim Program Atlası) web portal (abbreviated as YokAtlas), which is provided by the Council of Higher Education (Yükseköğretim Kurulu – YÖK) to help prospective university students make university and undergraduate program preferences consciously [7]. In this portal, very comprehensive and detailed statistics about each undergraduate program by the years 2015, 2016, and 2017 under 31 different headings are accessible via a very user-friendly web interface, such as several preference statistics of the program, other universities and programs that the students enrolled in the program preferred together, and university entrance exam grades and ranks of the students enrolled in the program.

For this study, we made use only of the statistical data of the programs that the students enrolled in a program in 2017 preferred together. For example, Table 1 shows the list of programs (and their preference counts) that were preferred together by the students enrolled in Maltepe University, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Software Engineering (English) (Full Scholarship) program in 2017. For each one of total 23,245 undergraduate programs offered by 207 universities, this list was crawled and saved into a text file by a Python program we developed. Specifically, we made use of Selenium [8] to obtain the contents of the necessary web pages, and lxml [9] to extract the tabular data from the web pages crawled. After collecting the preferences data in text file format, the data were

inserted into a relational database for further easy querying and processing. In the program preferences table, there were 765,712 data rows (roughly 33 preferences per program).

**Table 1.** Sample data crawled from YokAtlas

Program Name (Original)	Program Name (in English)	Preference Count
Bilgisayar Mühendisliği	Computer Engineering	27
Elektrik-Elektronik Mühendisliği	Electrical-Electronic Engineering	9
Yazılım Mühendisliği	Software Engineering	7
Endüstri Mühendisliği	Industrial Engineering	6
Fizyoterapi ve Rehabilitasyon(Fakülte)	Physical Therapy and Rehab. (Faculty)	4
Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği	Electronics and Communication Eng.	2
Kontrol ve Otomasyon Mühendisliği	Control and Automation Engineering	2
Elektrik Mühendisliği	Electrical Engineering	1

## 2.2. Data Cleansing

Since the collected data were not readily available for network modeling and analysis as they contained several problems, we first needed to perform several data cleansing operations on the data. In Turkish higher education, there are several variants of most undergraduate programs depending on the language of instruction and the scholarship opportunities. For example, there were eight variants of Medicine program with two different language options (Turkish and English) and four different scholarship options (100%, 50%, 25% scholarship, and no scholarship) at Maltepe University. Nevertheless, the preferences data provided by YokAtlas lacked these details; that is, only the bare profession names were supplied instead of full program names. Therefore, we needed to normalize the names of the 23,245 programs in order to make them compatible with the preferences data. For this normalization, program language and other similar options that appeared in program names within brackets were all removed. We also made a similar normalization for the preferred program names as they sometimes contained similar distinguishing elements inside brackets. In addition, we saw that the same program name was recorded with different capitalizations, which would cause problems during the analysis phase as we needed unique names. Thus, we transformed such program names to a single common one. Furthermore, there were several program names in the preferences data like “Kıbrıs”, “KKTC”, and “Yabancı” that were not correct undergraduate program names at all. Then, we omitted these names from our unique program names list, and the number of valid undergraduate program names were 631. However, nine of them were not preferred with any other program together, therefore, we removed them from the final list. Finally, we obtained 622 distinct undergraduate program names (actually profession names) and 72,571 co-preference data rows.

## 2.3. Network Modeling and Construction

A very common way of network construction is to use the co-occurrence of events in any domain. In this work, we used the data of undergraduate programs preferred together by university students during the program selection. We called this type of data “program co-preference data”. Once we obtained the program co-preference data, it was a straightforward process to construct the “co-preference network”. Each undergraduate program was represented by a distinct node in the network. Due to the nature of the data YokAtlas provided, if a student enrolled in program A had preferred program B, then a directed edge was created between the corresponding nodes in the network from A to B. Therefore, the relationships between some programs were expected to be reciprocal; that is, if there is a directed edge from A to B, then there is also another directed edge from B to A. Furthermore, we ignored the edge weights because most complex network analysis methods do not use the weights (unless the weights represent a meaningful distance value in the network of interest).

Using the above network construction method, we constructed the co-preference network of 622 nodes and 72,571 directed edges. 27,633 node pairs had reciprocal edges and 17,305 node pairs had only single-direction edges. Since the network was highly dense (undirected density was  $d=0.233$ ), visualization of it did not reveal the underlying structural patterns easily. Besides, we considered most edges as noise that prevented the conceivable analysis of structural properties of the network. Then, we

followed a sort of filtering approach that permitted a better analysis. Instead of using all co-preferred programs, we selected top 10 most co-preferred programs (in descending order of preference count) for each program, and then constructed a new network with the same method.

The new network had 622 nodes and 6,136 directed edges. 516 node pairs had reciprocal edges and 5,104 node pairs had only single-direction edges.

## 2.4. Complex Network Analysis

Complex Network Analysis is a set of techniques that study the statistics, the structure and the function of large and complex networks where nodes represent any kind of entities, and edges represent any kind of relationships between the entities [10]. It is based on theories and methods from several disciplines including mathematics, physics, computer science, statistics, and sociology. A network analysis study usually involves the following steps after a network representation of the complex phenomenon is obtained. First, the network data is visualized and patterns are searched for visually. Then, the structural analysis is performed to understand the general characteristics of the network as a whole. For example, structural measures like degree distribution of nodes, clustering coefficient, average path length, and diameter give us important information about the network. Third, centrality analysis is employed, where structurally the most central and important nodes are identified using appropriate centrality measures like degree, closeness, betweenness, and eigenvector centrality. A final analysis called community analysis is performed to reveal the transitive relationships between nodes to detect the clusters or dense groups in the network [11].

In this study, we used Cytoscape 3.6.1 [12] and NodeXL Basic 1.0 [13] to visualize and analyze the undergraduate program co-preference network. Cytoscape is a general-purpose, open-source software environment specifically developed for the large scale integration of molecular interaction network data. However, it can be used to analyze any type of network owing to its extensive analysis capabilities and plugin-based extensibility. NodeXL Basic is a free, open-source template for Microsoft Excel 2007 and later versions that integrates the ease of use of Excel with powerful network analysis and visualization capabilities.

## 3. Results and Discussion

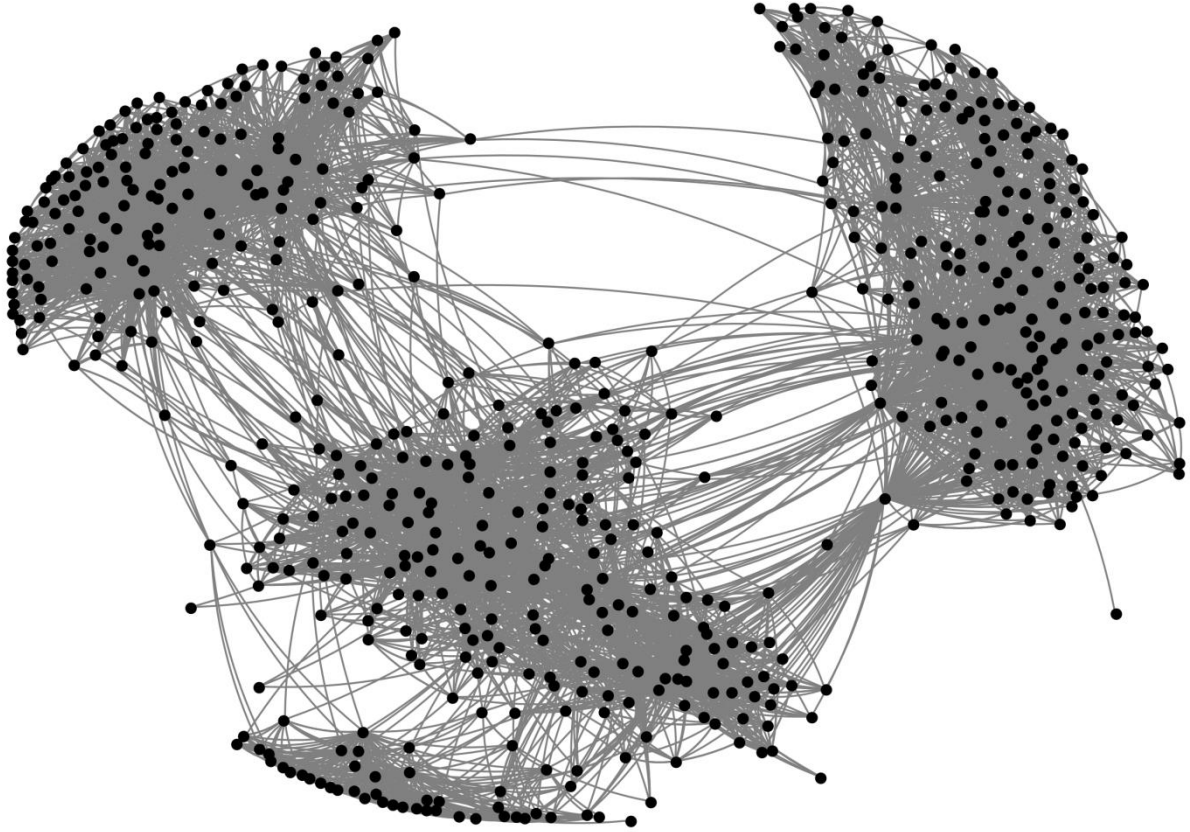
Using the above mentioned network analysis tools, we analyzed the co-preference network in four distinct phases. First, we visualized the network to see its general structure and layout. Then, we performed structural network analysis. Next, centralities of the nodes were analyzed. Finally, we tried to reveal the community structures embedded in the network.

### 3.1. Visual Network Analysis

The very first step of any complex network analysis usually involves the visualization of the network using an appropriate layout algorithm that enables one to see the organization of the nodes and their relationships with each other as clearly as possible. For this reason, we visualized the network using Fruchterman-Reingold layout algorithm available in NodeXL [14]. Fruchterman-Reingold is a fast and effective layout algorithm that distributes the nodes in such a way that the edges intersect minimally to provide a clear view of the network. The visualization of the network is shown in Figure 1. The figure clearly reveals without any further effort that there are three big and one relatively small clusters. A detailed analysis of these cluster formations are given in Section 3.4.

### 3.2. Structural Network Analysis

We obtained the general structural measures of the network using Cytoscape, such as density, clustering coefficient, diameter, centralization, and characteristic path length. All these measures are presented in Table 2.



**Figure 1.** Visualization of the network

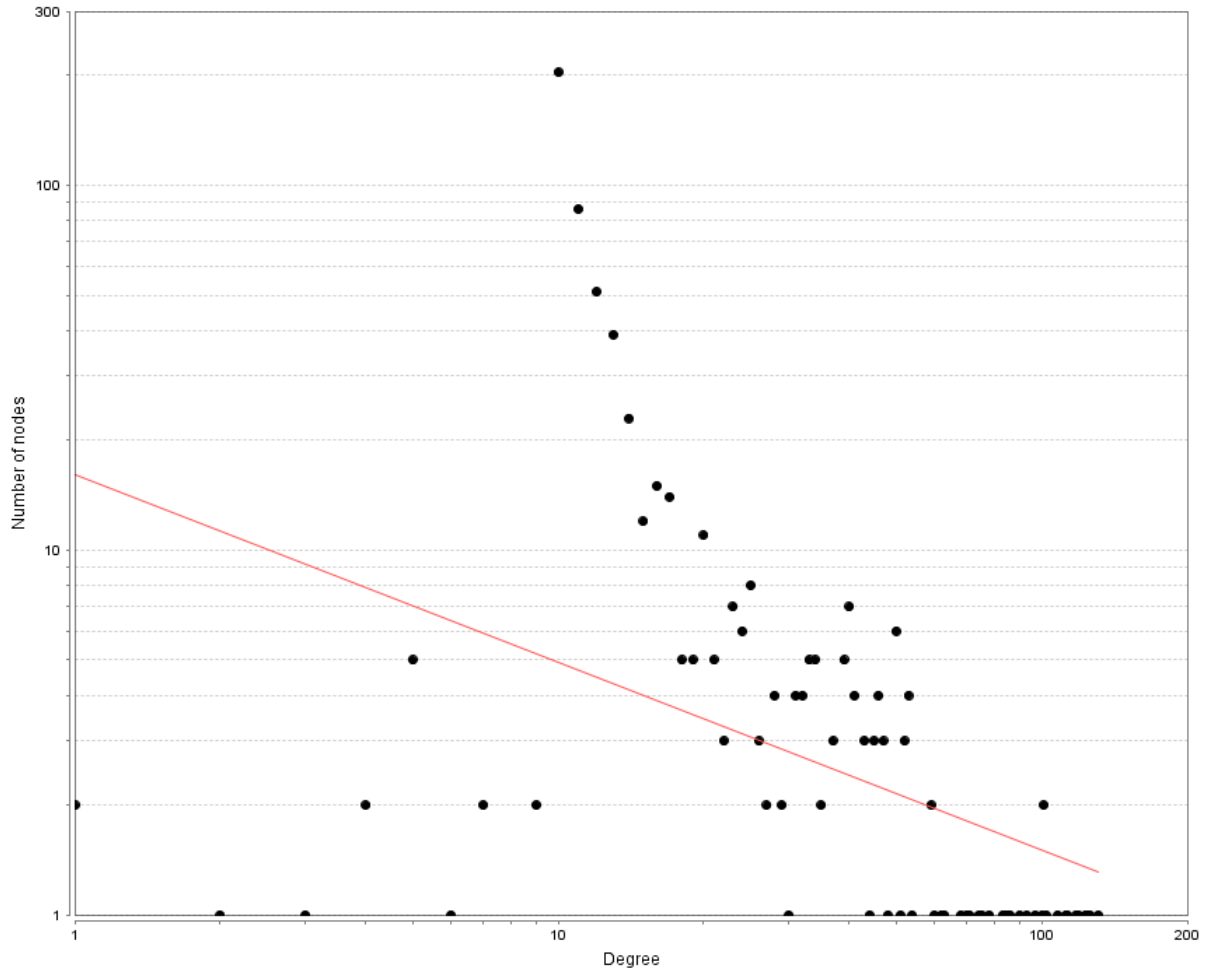
**Table 2.** Structural measures of the network

Measure Name	Value
Nodes	622
Edges	6,136
Clustering coefficient	0.543
Characteristic path length	3.019
Density	0.029
Connected components	1
Diameter	6
Radius	3
Average number of neighbors	18.071
Centralization	0.170

We also obtained the degree distribution chart shown in Figure 2. Degree distribution suggests that the network exhibits a degree distribution close to the Power Law distribution, which is the distribution usually observed in most real-world networks regardless of the type and size of the network [11]. This distribution indicates that most of the nodes have a relatively low degree (number of neighbors) while a few nodes have a very high degree. High number of neighbors (or degree) can be attributed to the popularity of the node (the corresponding undergraduate program).

In order to check whether the network structure was a result of a random process or rather there was a natural force or process that generated the network which was far from random, we applied a further empirical analysis. In this analysis, we created 10 different Erdős-Rényi [15] random graphs with the same number of nodes and edges as our co-preference network using the network randomizer plugin in Cytoscape. Then, we compared the structural analysis results of this corresponding random graphs to the results of our network. On the average, the random graphs had a clustering coefficient of 0.031 and a characteristic path length of 2.487. In addition, the random graphs had a degree distribution different

from the Power Law distribution. These findings were in line with the general expectation. It is a well-known fact that random networks do not exhibit the high clustering of real-world networks. Clustering coefficient 0.543 of our network was very much higher than the clustering coefficient 0.031 of the corresponding random graphs. Short characteristic path length is also a common behavior of both real-world and random networks. Therefore, it was very normal that we observed close characteristic path lengths of 3.019 and 2.487. Finally, the random graphs had a Poisson degree distribution as expected as a result of random edge addition between nodes. According to these three characteristic properties, our co-preference network was said to be far from randomness. This is not surprising because students do not make program choices randomly from the list of all undergraduate programs offered by the universities. Instead, they mostly prefer similar or related undergraduate programs together according to their likely future professions along with several other criteria.



**Figure 2.** Degree distribution of the network

### 3.3. Centrality Analysis

In this phase of the analysis, we calculated degree, closeness, betweenness, and eigenvector centralities of the nodes in the network using NodeXL. These are the most commonly used centrality measures that usually give useful insights about the relative importance of nodes in the network. The higher the centrality value, the more central a node is. Top 20 programs are ranked by their degree, closeness, betweenness, and eigenvector centralities in Table 3, 4, 5, and 6 respectively.

While different centrality measures compute the importance of nodes from different perspectives, we often see that their results support each other, which was also the case in our analysis. We see that all top 10 programs in Table 4 (betweenness centrality ranking) except “Worker’s Health And Job Safety” appear in all other centrality tables. These programs are emphasized in the tables with boldface font. We can interpret these findings that these were the most co-preferred programs in 2017.

Table 3 (degree centrality ranking) displays a blend of these nine programs with the most popular engineering programs in Turkey. Table 6 (eigenvector centrality ranking) shows a similar result by placing these engineering programs at the top of the list. These programs are emphasized in the tables with italic font. This result is reasonable because eigenvector centrality calculation also depends on the degrees of the nodes but it gives more importance to the nodes whose neighbors have also higher degrees. We can infer that these engineering programs were very popular among students and that the students choosing these programs also chose other popular programs together.

**Table 3.** Top 20 programs by their degree centralities

Rank	Program Name (Original)	Program Name (in English)	Degree
1	<b>Halkla İlişkiler ve Tanıtım</b>	<b>Public Relations and Publicity</b>	123
2	<b>Okul Öncesi Öğretmenliği</b>	<b>Preschool Teaching</b>	116
3	<b>İşletme</b>	<b>Business Administration</b>	115
4	<i>Bilgisayar Mühendisliği</i>	<i>Computer Engineering</i>	115
5	<b>Hemşirelik</b>	<b>Nursing</b>	110
6	<b>Bankacılık ve Sigortacılık</b>	<b>Banking and Insurance</b>	110
7	<i>Elektrik-Elektronik Mühendisliği</i>	<i>Electric-Electronic Engineering</i>	103
8	<b>Çocuk Gelişimi</b>	<b>Child Development</b>	102
9	<i>Makine Mühendisliği</i>	<i>Mechanical Engineering</i>	99
10	<b>İlahiyat</b>	<b>Theology</b>	93
11	<b>Adalet</b>	<b>Jurisprudence</b>	92
12	<i>İnşaat Mühendisliği</i>	<i>Civil Engineering</i>	92
13	<i>Endüstri Mühendisliği</i>	<i>Industrial Engineering</i>	91
14	Büro Yönetimi ve Yönetici Asistanlığı	Office Management and Executive As.	87
15	İktisat	Economics	85
16	<b>Tıbbi Dokümantasyon ve Sekr.</b>	<b>Medical Documentation and Secr.</b>	81
17	Muhasebe ve Vergi Uygulamaları	Accounting and Taxation	79
18	Siyaset Bilimi ve Kamu Yönetimi	Political Science and Public Adminis.	77
19	Uluslararası İlişkiler	International Relations	77
20	İş Sağlığı ve Güvenliği	Worker's Health And Job Safety	75

**Table 4.** Top 20 programs by their betweenness centralities

Rank	Program Name (Original)	Program Name (in English)	Betweenness
1	<b>Hemşirelik</b>	<b>Nursing</b>	28,319.01
2	İş Sağlığı ve Güvenliği	Worker's Health And Job Safety	21,306.84
3	<b>Halkla İlişkiler ve Tanıtım</b>	<b>Public Relations and Publicity</b>	20,746.26
4	<b>Okul Öncesi Öğretmenliği</b>	<b>Preschool Teaching</b>	19,129.26
5	<b>İlahiyat</b>	<b>Theology</b>	17,082.51
6	<b>Çocuk Gelişimi</b>	<b>Child Development</b>	15,757.27
7	<b>Bankacılık ve Sigortacılık</b>	<b>Banking and Insurance</b>	12,863.82
8	<b>İşletme</b>	<b>Business Administration</b>	10,854.83
9	<b>Adalet</b>	<b>Jurisprudence</b>	6,800.76
10	<b>Tıbbi Dokümantasyon ve Sekreterlik</b>	<b>Medical Documentation and Secr.</b>	6,702.67
11	<i>Bilgisayar Mühendisliği</i>	<i>Computer Engineering</i>	6,209.62
12	İlk ve Acil Yardım	First and Emergency Aid	5,895.35
13	Maliye	Public Finance	5,361.08
14	Grafik Tasarımı	Graphic Design	5,115.28
15	İktisat	Economics	5,076.25
16	<i>Endüstri Mühendisliği</i>	<i>Industrial Engineering</i>	5,070.34
17	Turizm ve Otel İşletmeciliği	Tourism and Hotel Management	4,451.93
18	Sınıf Öğretmenliği	Primary School Education	4,451.69
19	Muhasebe ve Vergi Uygulamaları	Accounting and Taxation	4,376.92
20	Endüstri Ürünleri Tasarımı	Industrial Product Design	4,236.66

**Table 5.** Top 20 programs by their closeness centralities

Rank	Program Name (Original)	Program Name (in English)	Closeness
1	Okul Öncesi Öğretmenliği	Preschool Teaching	0.000743
2	İlahiyat	Theology	0.000734
3	Çocuk Gelişimi	Child Development	0.000708
4	Sınıf Öğretmenliği	Primary School Education	0.000700
5	Halkla İlişkiler ve Tanıtım	Public Relations and Publicity	0.000688
6	Hemşirelik	Nursing	0.000687
7	Bankacılık ve Sigortacılık	Banking and Insurance	0.000686
8	Adalet	Jurisprudence	0.000684
9	İşletme	Business Administration	0.000680
10	İş Sağlığı ve Güvenliği	Worker's Health And Job Safety	0.000678
11	Tıbbi Dokümantasyon ve Sekr.	Medical Documentation and Secr.	0.000677
12	Maliye	Public Finance	0.000671
13	Sağlık Yönetimi	Healthcare Management	0.000663
14	Bankacılık ve Finans	Banking and Finance	0.000656
15	Özel Eğitim Öğretmenliği	Special Education Teaching	0.000654
16	Otel Yöneticiliği	Hotel Management	0.000653
17	İktisat	Economics	0.000650
18	Sosyal Hizmetler	Social Services	0.000646
19	Rehberlik ve Psikolojik Danışmanlık	Guidance and Psychological Counseling	0.000646
20	Grafik Tasarımı	Graphic Design	0.000644

**Table 6.** Top 20 programs by their eigenvector centralities

Rank	Program Name (Original)	Program Name (in English)	Eigenvector
1	Bilgisayar Mühendisliği	Computer Engineering	0.010240
2	Elektrik-Elektronik Mühendisliği	Electric-Electronic Engineering	0.009405
3	Hemşirelik	Nursing	0.009083
4	Makine Mühendisliği	Mechanical Engineering	0.008937
5	İnşaat Mühendisliği	Civil Engineering	0.008730
6	Endüstri Mühendisliği	Industrial Engineering	0.008383
7	Halkla İlişkiler ve Tanıtım	Public Relations and Publicity	0.008378
8	Çocuk Gelişimi	Child Development	0.007316
9	Bankacılık ve Sigortacılık	Banking and Insurance	0.007124
10	Okul Öncesi Öğretmenliği	Preschool Teaching	0.006950
11	Adalet	Jurisprudence	0.006554
12	Büro Yönetimi ve Yönetici Asistanlığı	Office Management and Executive As.	0.006271
13	İlahiyat	Theology	0.006071
14	İşletme	Business Administration	0.005965
15	Mimarlık	Architecture	0.005811
16	Tıbbi Dokümantasyon ve Sekr.	Medical Documentation and Secr.	0.005798
17	Matematik	Mathematics	0.005160
18	Muhasebe ve Vergi Uygulamaları	Accounting and Taxation	0.005155
19	Diş Hekimliği	Dentistry	0.004809
20	Siyaset Bilimi ve Kamu Yönetimi	Political Science and Public Adminis.	0.004691

### 3.4. Community Analysis

In this final phase of the complex network analysis, we used NodeXL to detect the clusters or dense groups of nodes in the network. First, we applied Clauset-Newman-Moore clustering method [16] and found three large and one relatively small clusters that we could easily distinguish when we visualized the network as seen in Figure 1. Then, we applied Wakita-Tsurumi method [17] and found eight clusters of different sizes. These clusters are shown in Figure 3 where nodes in distinct clusters appear with

distinct colors. In this study, a cluster is a collection of programs that were preferred together highly often by the students. Table 7 gives the properties of the clusters found.

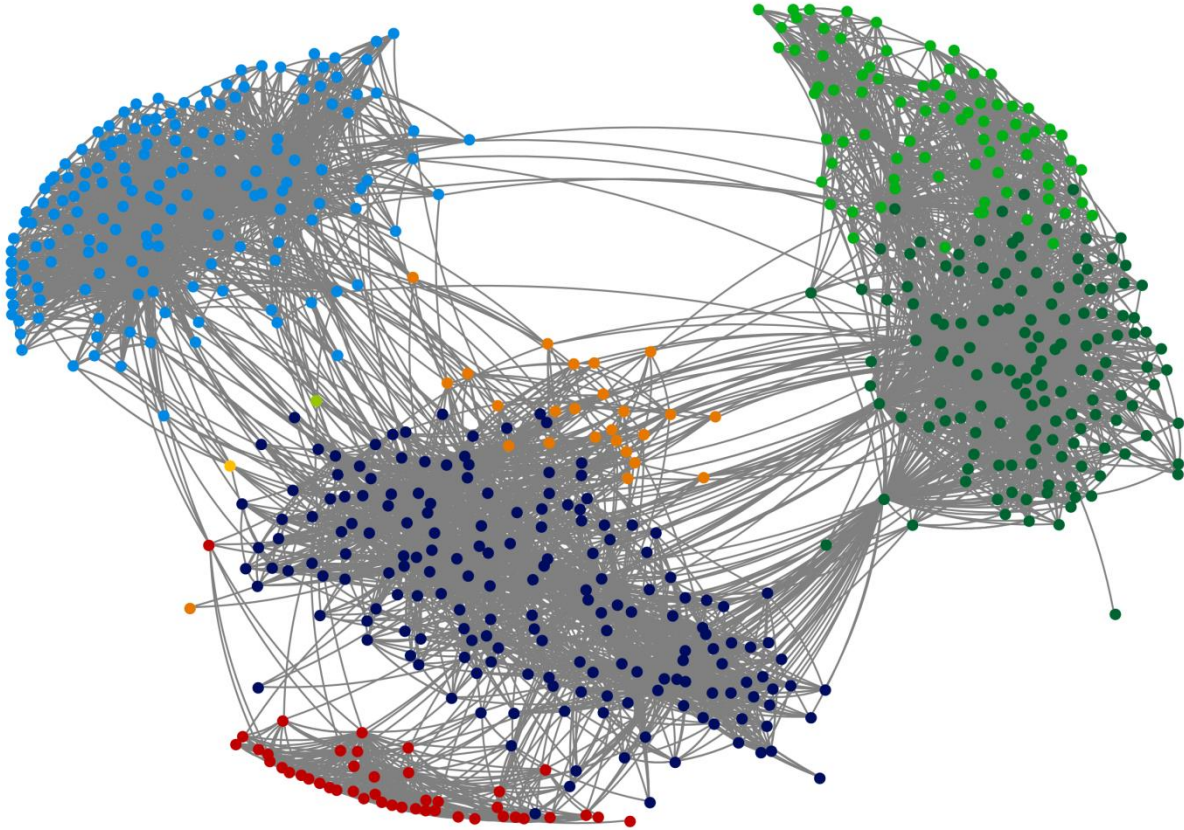


Figure 3. Visualization of the clusters in the network

Table 7. Clusters found in the network

#	Node Color	Cluster Size	Program Themes in the Cluster
1	●	176	Economics, Administration, Communication, Education
2	●	157	Engineering, Medicine, Natural Sciences
3	●	139	Vocational School (mix with no specific theme)
4	●	79	Vocational School (Medical, Technology)
5	●	44	Language, Literature, Interpreting
6	●	25	Vocational School (Banking, Insurance, Tourism)
7	●	1	Art and Social Sciences
8	●	1	Marine School Deck

Clusters detected clearly show the general tendency of students while specifying their program preferences. Cluster 1 comprises of economics and business related programs as well as communication and education programs. Programs within Cluster 2 are related to engineering, medicine, and natural sciences, which are frequently preferred together by students from a science and maths background in Turkey. We see that vocational school programs are grouped into three distinct clusters 3, 4 and 6, depending on the relative affinity of the programs within the clusters. Cluster 5 contains the language, literature and interpreting programs. Clusters 7 and 8 have single members, “Art and Social Sciences” and “Marine School Deck”, respectively. Although these two programs are connected to a few other programs, the clustering algorithm did not place them into any other cluster most probably because of their unique structural characteristics.

#### 4. Conclusion and Future Directions

In this research, we analyzed the undergraduate program preferences of students by using complex network analysis techniques. First, we collected program preferences data from the YokAtlas portal



using a web crawler we developed. Then, we applied several cleansing and transformation operations on the data to make it convenient to construct the preference network. Next, we constructed the network we called “co-preference network” of 622 nodes and 6,136 edges. Once the network was available in a suitable format, we used Cytoscape and NodeXL tools to explore and analyze it. With regard to research questions we introduced before, we obtained the findings as follows.

First, using several centrality measures, it was possible to identify the most central (in other words, the most important) programs that the students frequently preferred together with other programs. We saw that “Nursing”, “Public Relations and Publicity”, “Preschool Teaching”, and “Banking and Insurance” programs were highly popular. Besides these programs, we could see that “Computer Engineering”, “Electric-Electronic Engineering”, “Mechanical Engineering”, “Civil Engineering”, and “Industrial Engineering” engineering programs were the most popular ones as we would expect in Turkey.

Second, we observed cluster formations both by visual and community analysis. These clusters show that undergraduate programs preferred together are the result of a conscious and meaningful decision process rather than being at random.

Finally, we wanted to check whether the co-preference network we constructed had the characteristic properties that were commonly observed in most real-world networks. In order to do this, we calculated the clustering coefficient, characteristic path length and obtained the node degree distribution of our network. Then, we constructed a number of Erdős-Rényi random graphs with the same number of nodes and edges as our co-preference network, and calculated the same metrics from these random graphs. After that, we compared the two set of values and degree distributions. We observed that our co-preference network also had the common characteristics that many real-world networks exhibit.

In this study, we focused only on the data of 2017 preferences. However, it is possible to obtain the data of 2015 and 2016 from the YokAtlas portal, and to apply the same methodology to them. This way, it would be possible to compare the program preferences and observe the differences and similarities. Moreover, the YokAtlas portal provides the university preferences of students, and it is possible to conduct a similar study on the co-preferred universities network.

## References

- [1] ÖSYS. 2018. ÖSYS: Öğrenci Seçme ve Yerleştirme Sistemi. <http://www.osym.gov.tr/TR,8832/hakkinda.html> (Erişim Tarihi: 30.06.2018).
- [2] Briggs S., Wilson A. 2007. Which university? A study of the influence of cost and information factors on Scottish undergraduate choice, *Journal of Higher Education Policy and Management*, 29 (1): 57-72.
- [3] Daily C.M., Farewell S., Kumar G. 2010. Factors Influencing the University Selection of International Students, *Academy of Educational Leadership Journal*, 14 (3): 59-75.
- [4] Abubakar B., Shanka T., Muuka G.N. 2010. Tertiary education: an investigation of location selection criteria and preferences by international students—The case of two Australian universities, *Journal of Marketing for Higher Education*, 20 (1): 49-68.
- [5] Ağaoğlu M., Yurtkoru E.S. 2013. A Research on Students' University and Program Preference Criteria, *Öneri Dergisi*, 10 (40): 115-124.
- [6] Özgüven N. 2011. Vakıf Üniversitesi Tercihinin Analitik Hiyerarşik Süreci ile Belirlenmesi, *Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, (30): 279-290.
- [7] YÖK Atlas. 2018. Yükseköğretim Program Atlası. <https://yokatlas.yok.gov.tr/> (Erişim Tarihi: 30.06.2018).
- [8] Salunke S.S. 2014. *Selenium Webdriver in Python: Learn with Examples*, CreateSpace Independent Publishing Platform. 86s.
- [9] lxml. 2018. lxml - XML and HTML with Python. <https://lxml.de/> (Erişim Tarihi: 30.06.2018).
- [10] Zweig K.A. 2016. *Network Analysis Literacy: A Practical Approach to the Analysis of Networks*, Springer-Verlag. 535s. Austria.
- [11] Tunalı V. 2016. *Sosyal Ağ Analizine Giriş*, Nobel Akademik Yayıncılık. 200s. Ankara.

- [12] Shannon P., Markiel A., Ozier O., Baliga N.S., Wang J.T., Ramage D., Amin N., Schwikowski B., Ideker T. 2003. Cytoscape: A Software Environment for Integrated Models of Biomolecular Interaction Networks, *Genome Research*, 13 (11): 2498-2504.
- [13] Hansen D.L., Shneiderman B., Smith M.A. 2011. *Analyzing Social Media Networks with NodeXL: Insights from a Connected World*, Morgan Kaufmann. Boston.
- [14] Fruchterman T.M.J., Reingold E.M. 1991. Graph Drawing by Force-directed Placement, *Software: Practice and Experience*, 21 (11): 1129-1164.
- [15] Erdős P., Rényi A. 1959. On Random Graphs, *Publicationes Mathematicae Debrecen*, 6: 290-297.
- [16] Clauset A., Newman M., Moore C. 2004. Finding community structure in very large networks, *Physical Review E*, 70 (6): 66-111.
- [17] Wakita K., Tsurumi T. 2007. Finding community structure in mega-scale social networks: [extended abstract], 16th international conference on World Wide Web, pp1275-1276, Banff, Alberta, Canada.

---

*Araştırma Makalesi / Research Article*

---

## **Yüksek Sıcaklık Uygulamalarında Kullanılmak Üzere Kimyasal İşlemden Geçirilmiş Hibrit Jüt - Keten Doğal Kompozitlerin Geliştirilmesi**

Mehmet Fatih ÖKTEM\*, Büşra ALTINTOP

*Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Metalürji-Malzeme Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye*

---

### **Abstract**

Composite materials utilizing natural fibers are becoming more popular and have a broad range of usage in the industry. Natural fibers come from nature and they have many advantages which are low cost, easily available and environmentally friendly. Some natural fibers are obtained from plants while others could be obtained from trees. Commonly used natural fibers are jute, flax, sisal, bamboo and ramie. In order to produce composite materials from natural fibers, both thermoset and thermoplastic resins can be used. In this experimental study, epoxy resin was combined with jute and flax woven fibers to obtain hybrid composites. Firstly, fibers were treated with a solution containing 5 % alkaline to improve the mechanical properties of the fibers. Two different chemicals were used to improve the fire resistance of the fibers namely ammonium sulfate and diammonium phosphate. Two different solutions were prepared for this purpose; a solution containing 20% of ammonium sulfate was prepared for the treatment of jute fiber and another solution containing 10% of diammonium phosphate was prepared for the treatment of flax fiber. The epoxy was applied to both samples by hand layup method and the curing was carried out by using the hot press. The hardness, thickness and mass of the produced samples were measured and a fire experiment was carried out. Several parameters such as flammability, heat distribution and temperature of the sample surfaces were investigated. Low flammability, low heat distribution and low temperature properties were observed on the surfaces of the samples which were chemically treated by using ammonium sulfate and diammonium phosphate.

**Keywords:** Natural composites, jute, flax, fire retardants.

---

## **Development of Chemically Treated Hybrid Jute - Flax Natural Composites for Elevated Temperature Applications**

---

### **Öz**

Doğal fiberleri içeren kompozit malzemeler günümüzde daha popüler hale gelmekte, bununla birlikte bu malzemeler endüstride geniş uygulama alanları bulmaktadır. Doğal fiberlerin biyo uyumluluk, düşük maliyet, kolay bulunabilirlik ve çevreye duyarlılık gibi avantajları bulunmaktadır. Bazı doğal fiberler bitkilerden elde edilirken, bazıları da ağaçlardan elde edilebilmektedir. En çok kullanılan doğal fiberler jüt, keten, sisal, bambu ve ramidir. Doğal fiberlerden kompozit malzeme üretmek için hem termoset hem de termoplastik reçineler kullanılabilir. Bu deneysel çalışmada, epoksi reçine kullanılarak jüt ve keten fiber kumaşlar kullanılarak hibrit bir kompozit malzeme üretilmiştir. Çalışmanın ilk etabında, fiberler % 5 alkali içeren bir çözelti içerisinde fiberlerin mekanik özelliklerini artırmak amacıyla kimyasal işleme tabi tutulmuşlardır. Fiberlerin yangın dayanımını artırmak için iki farklı kimyasal kullanılmıştır; amonyum sülfat ve diamonyum fosfat. Bu iki kimyasal madde kullanılarak ilki % 20 amonyum sülfat içeren jüt fiberi kimyasal işleme tabi tutmak için bir çözelti, ikincisinde ise % 10 diamonyum fosfat içeren keten fiberi kimyasal işleme tabi tutmak için bir başka çözelti hazırlanmıştır. Epoksi reçine elle yatırma yöntemiyle her iki numuneye uygulanmış, sıcak pres kullanılarak da kürleşme işlemi gerçekleştirilmiştir. Üretilen numunelerin sertlik, kalınlık ve kütleleri ölçülerek ardından yangın deneyi gerçekleştirilmiştir. Alev alabilirlik, ısı dağılımı ve numune yüzeylerinin ulaştığı sıcaklık değerleri gibi çeşitli parametreler incelenmiştir. Düşük alevlenebilirlik, düşük ısı dağılımı ve düşük sıcaklık gibi değerler amonyum sülfat ve diamonyum fosfat ile kimyasal işleme tabi tutulmuş numunelerin yüzeylerinde gözlemlenmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Doğal kompozitler, jüt, keten, yangın geciktiriciler.

---

\*Sorumlu yazar: [mfoktem@ybu.edu.tr](mailto:mfoktem@ybu.edu.tr)

Geliş Tarihi: 30.07.2018, Kabul Tarihi:30.10.2018

## 1. Introduction

At least two different materials or phases that are combined in macro or micro dimensions to form a new material are called composite material. Composite materials are formed by the matrix and the reinforcement materials. Composite materials have many advantages such as high strength to low density ratio, corrosion resistance, thermal resistance and etc. The application areas of composite materials are also very broad from military to civil areas.

There are three types of composite materials based on the matrix material namely polymer matrix composites, metal matrix composites and ceramic matrix composites. One of the most important advantages of using polymers as the matrix material is the ease of processing, manufacturability, and cost reduction. In some applications, the properties of polymers are modified by using fillers and fibers to suit the high strength and high modulus requirements [1].

### 1.1. Natural fibers

Natural fibers are obtained from animals and vegetables. Although the major chemical composition of these fibers is cellulose, they may also contain other components, such as lignin, hemicellulose, and inorganic salts often identified as ash [2]. Natural fiber composites are generally used where a moderate strength is required i.e. housing, roofing and in other secondary structure applications [3]. Natural fibers have many advantages compared to synthetic fibers. They can be listed as low cost, renewability and ease of availability. However, they have high water absorption, low fire resistance and are less durable.

Natural fibers can be grouped into three: seed hair, bast and leaf fibers, depending upon the source. Some examples are cotton (seed hairs), ramie, jute and flax (bast fibers), and sisal and abaca (leaf fibers). Of these fibers, jute, ramie, flax and sisal are the most commonly used fibers for producing polymer matrix composites. Mechanical properties of five natural fibers are given in Table 1.

**Table 1.** Mechanical properties of some natural fibers [1]

Type of fiber	Specific gravity	Tensile strength (MPa)	Young's Modulus (Longitudinal direction) (GPa)	Specific modulus
Jute	1.3	393	55	38
Sisal	1.3	510	28	22
Flax	1.5	344	27	50
Sun hemp	1.07	389	35	32
Pineapple	1.56	170	62	40

The properties of natural fibers depend on chemical composition and micro structure. If the concentration of cellulose in natural fibers increases, so as the mechanical properties. The fire resistance of the natural fibers is not promising; one of the methods to improve the fire resistance of these fibers is to treat these fibers with fire retardant chemical compounds [4].

#### 1.1.1. Jute fibers

Jute fiber is one of the most commonly used reinforcement material for natural fiber composites. Jute fibers are primarily composed of the plant substances e.g. cellulose, lignin, and pectin. This material, which can be used in a wide variety of areas, has been preferred by many companies with its natural structure and harmlessness to health.

Jute is mostly extracted from the bark of the white jute plant (*Corchorus capsularis*) and to a lesser extent from tossa jute (*C. olitorius*). It is a natural fiber with golden and silky shine and hence called the golden fiber as well. The plant stems are about 2.5 to 3.5 meters tall and as thick as a finger.

Most of the jute is produced in India and Pakistan in the Southeast Asia. The names of other countries that follow these countries are the states of Texas and South Carolina in the United States of America (U.S.A.). Jute plant is not grown in Turkey but there are regions which are suitable for jute agriculture such as Antalya, Adana and Hatay.

Jute fiber is 100 % bio-degradable and recyclable and thus environmentally friendly. A hectare of jute plant consumes about 15 tons of carbon dioxide and releases 11 tons of oxygen. There is an advantage of the jute plant regarding the fire safety; it does not generate toxic gases when burnt.

### **1.1.2. Flax fibers**

Flax is the one of the strongest natural fibers among the natural cellulosic fibers. The main constituents of a flax fiber are cellulose, hemicellulose, wax, lignin and pectin, in varying quantities. Flax fibre is rich in cellulose which accounts for about 70 % of the total chemical composition. This enables flax to be widely considered as reinforcement in producing composites [5]. Flax fiber composites are being used in the forms of tubes, sandwich panels, fixtures, furniture and car body parts. There is an increasing demand from automotive companies for materials both with sound reduction capability and low weight for fuel efficiency [6].

Flax is a plant which belongs to linaceae family and is one of the widely utilized natural fiber. These fibers are produced in many countries like Egypt, Brazil, Ukraine, China, Australia, Belgium, France and Russia. Flax plant can also be grown in central and northern Europe and Turkey is a good place to grow this plant. The process of obtaining the dried plant fiber takes place in three stages, namely rebuttal, hiding and carding. Flax woven fabric which is produced from the flax fiber is a good candidate to produce composite materials.

## **1.2. Chemical treatments**

Jute and flax fibers have some drawbacks such as high water absorption and low fire resistance. Some processes need to be applied to improve these properties. There are several chemical treatments applied to natural fibers that are alkaline treatment, acetylation, graft copolymerization and silane treatment. In this research, alkaline treatment was applied to reduce water absorption of the woven fibers and fire retardants were applied to reduce flammability.

### **1.2.1. Alkaline treatment**

Alkaline treatment removes fiber constituents including hemicellulose, lignin, pectin, fat and wax which exposes cellulose and increases surface roughness/area ratio to improve interfacial bonding [7]. The treatment of natural fibers by sodium hydroxide (NaOH) is widely being used to modify the cellulosic molecular structure [8].

The efficiency of the alkaline treatment depends on the concentration of the alkaline solution, process duration and temperature. Mishra et al. found that the treatment of sisal fibers with 5 % NaOH solution gave higher tensile strength to the obtained composite product compared to treatment with 10 % NaOH solution [9]. At higher concentrations of the alkaline process, the removal of lignin in excess amount results in decreasing the strength of the material.

### **1.2.2. Fire retardants**

Natural fibers have high flammability; treatment of fibers with the help of fire retardants would expand their uses in elevated temperature applications [4]. The most commonly used fire retardants are based on halogens, phosphorus, boron, ammonium compounds, graphite, and alkaline earth metallic compounds [10]. Ideal fire retardants must be environmentally friendly, have low smoke content, low toxic potential and low corrosivity.

Jute has a high proneness to burning like all other natural fibers, though Limiting Oxygen Index (LOI) of untreated jute (20.5) is higher than that of untreated flax (17.4) [11]. When fire retardant is added to jute and flax, LOI increases and reduces flammability.

Fire retardants used for jute are urea, sulfamic acid and ammonium sulfate. Fire retardants used for flax are diammonium phosphate, ammonium polyphosphate, mono ammonium phosphate and vinyl phosphonic acid.

### 1.3. Hybrid composites

Hybrid composites are materials, made by combining two or more different types of fibers (woven/non-woven) bonded by the same matrix. The possible combinations of hybrid composites are artificial-artificial, natural-artificial and natural-natural fibers [12]. The reason why a hybrid structure is preferred in this study is flax has a soft and a brighter appearance and jute has better mechanical strength; a combination of these two different types of fibers, flax woven fabric on the two outer sides of the structure and jute woven fabric in the inner side of the structure exploit the advantages of these two.

Several polymers could be used as the matrix material to produce a natural fiber composite material. Polyester, epoxy and vinyl ester are just a few to mention. Epoxy was preferred in this study because of its better mechanical strength and ease of use.

## 2. Experimental Procedure

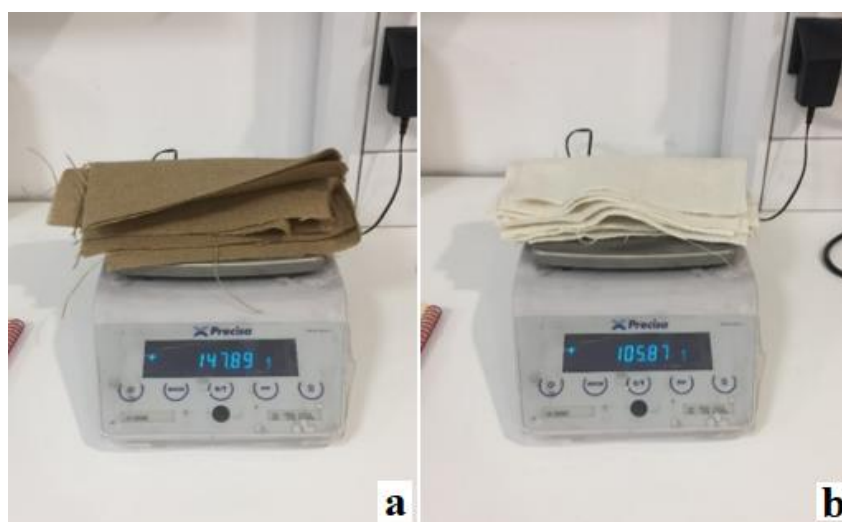
### 2.1. Sample preparation

In this study, two different natural woven fibers were used. Natural fibers have many advantages, but they have some disadvantages that need to be improved. These disadvantages are low fire resistance, low mechanical properties and high water absorption. The aim of this research is to improve these properties and have an aesthetic design by using the flax woven fabric at the outer surfaces.

Two samples were produced for this purpose. The first sample was used as reference and no fire retardant chemical was applied; only alkaline treatment was carried out to improve the mechanical strength and the bonding capability of the fibers. Alkaline and fire retardants were applied to the second sample.

Jute and flax fiber woven fabrics were cut to 25×25 cm dimensions, 12 pieces in total. The masses of the fibers were measured by precise scale as shown in Figure 1.

The jute and flax fiber woven fabrics were kept in deionized water for 30 minutes for cleaning. Then they were put to drying in the dark room for 24 hours. In this study 5:1 ratio was used for sodium hydroxide-deionized water solution. 120 g of NaOH was mixed with 2.4 liters deionized water and the fibers were waited to stand in the solution for 4 hours and then fabrics were kept in deionized water. After the rinsing process the fabrics dried at room temperature for 24 hours.



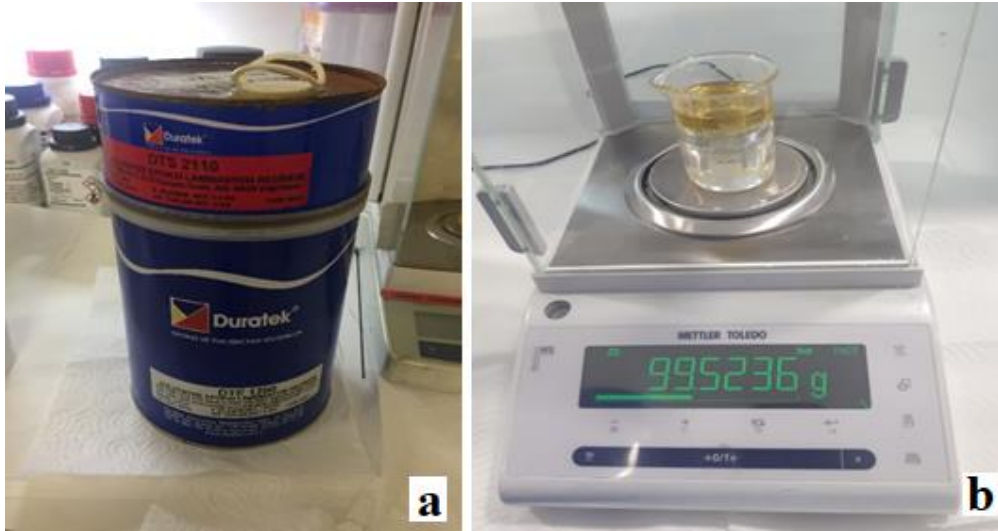
**Figure 1.** Mass of jute fabrics (a), Mass of flax fabrics (b)

After the alkaline treatment of the fabrics, the masses and thicknesses of the fabrics were measured again. The initial dimensions of the fabrics were 25×25 cm, small pieces were obtained by cutting the

25×25 cm fabrics into 10×10 cm dimensions, so a total of 48 pieces of plies were obtained (24 plies of 10×10 cm flax fabrics and 24 plies of 10×10 cm jute fabrics were obtained).

### 2.1.1. First sample preparation

The first sample that is composed of 4 plies from jute and 4 plies from flax was used as reference sample to compare with the other sample which is chemically treated to improve the fire resistance. The epoxy resin was obtained from Duratek ® Company and 80 g of epoxy resin (A) and 20 g hardener (B) were used for 8 plies hybrid structure. The resin mixture was prepared just before the lamination process of the fabrics because of the limited pot life of the resin and hardener mixture. Figure 2 shows the epoxy and hardener cans and the mixture right before the application.



**Figure 2.** Epoxy and hardener (a), Epoxy and hardener mixture (b)

In order to produce a single laminated hybrid composite structure, two flax fabrics were laminated on the lower side and two flax fabrics were laminated on the upper side of the structure. In the middle of the structure, four jute plies were laminated. In order to produce a hybrid laminated structure, a total of eight plies were used. The resin mixture was applied by hand layup method by using a brush. 100 g of resin mixture was applied with brush to eight plies. After the lamination process, the hybrid structure was put to hot press for curing process. The curing process was done at 100 °C for 4 hours and 0.5 tons of force was applied. Figure 3 shows the hand layup process and hot press used in the curing process.

### 2.1.2. Second sample preparation

The second sample was rinsed with deionized water, and then alkaline treatment was carried out as was in the first sample but both the jute and flax fabrics were treated with fire retardants which is a different process from the first sample. Separate treatment was applied for jute and flax fabrics. Ammonium sulfate was used for the treatment of jute fabrics and diammonium phosphate was used for the treatment of flax fabrics.

A solution containing 20 % of ammonium sulfate was used for the treatment of jute fabrics. 480 g of ammonium sulfate was mixed with 2.4 liters deionized water and the fibers were waited to stand in the mixture for 15 minutes. Then they were put to drying at room temperature for 24 hours.

A solution containing 10 % of diammonium phosphate was used for the treatment of flax fabrics. 240 g of diammonium phosphate was mixed with 2.4 liters deionized water and the fibers were waited to stand in the mixture for 10 minutes. Then they were put to drying at room temperature for 24 hours. Figures 4 and 5 show the chemicals and the treatment of the fabrics.

The second sample is also composed of 4 plies from jute and 4 plies from flax fabrics. The same amount of epoxy resin and hardener (80 g epoxy and 20 g hardener) were used for 8 plies hybrid

structure. The resin mixture was prepared just before the lamination process of the fabrics because of the limited pot life of the resin and the hardener mixture.

The same lamination sequence was used as was the case for the first sample. The resin mixture was applied by hand layup method by using a brush. 100 g of resin mixture was applied with brush to eight plies. After the lamination process, the hybrid structure was put to hot press for curing process. The curing process was done at 100 °C for 4 hours and 0.5 tons of force was applied. The produced samples after both processes are shown in Figure 6. Then the hardness values of these samples were measured with a durometer and the thickness values were measured by the help of a caliper. The measurements were done from different points of the samples and the arithmetic averages of these values were used.

The fire experiments were conducted after the measurement of thickness and hardness. Heat was applied from the center of the sample with the flame gun of about 40 cm away from the sample. The temperature of the sample surfaces was measured when applying heat. The experimental setup is shown in Figure 7. The equipments used in fire experiment are flame gun, metallic stand and thermometer.

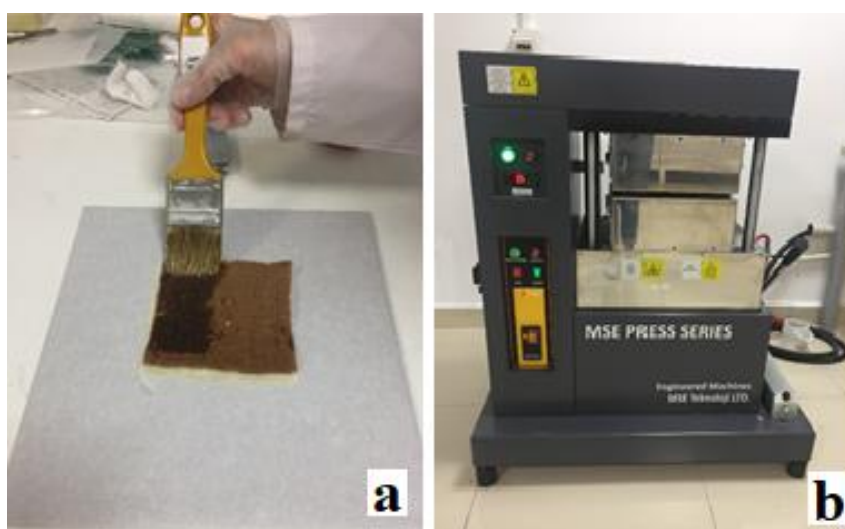


Figure 3. Hand layup method (a), Hot press (b)

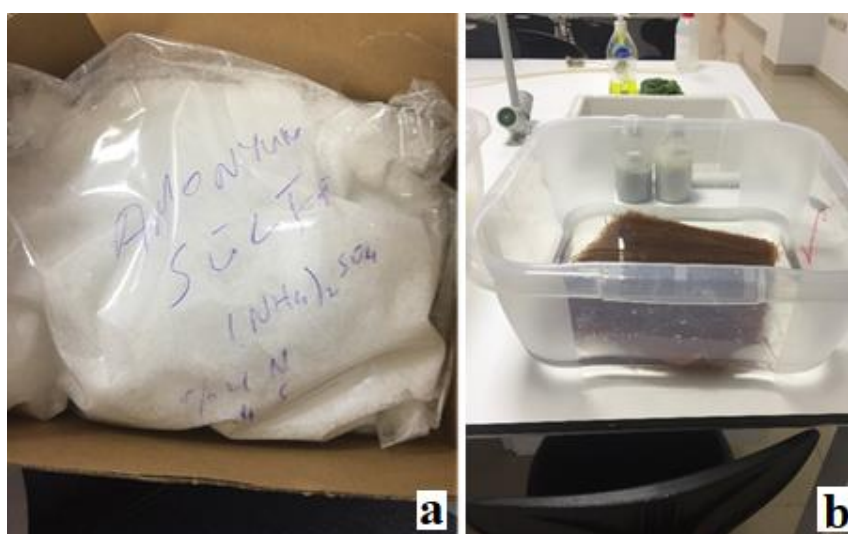
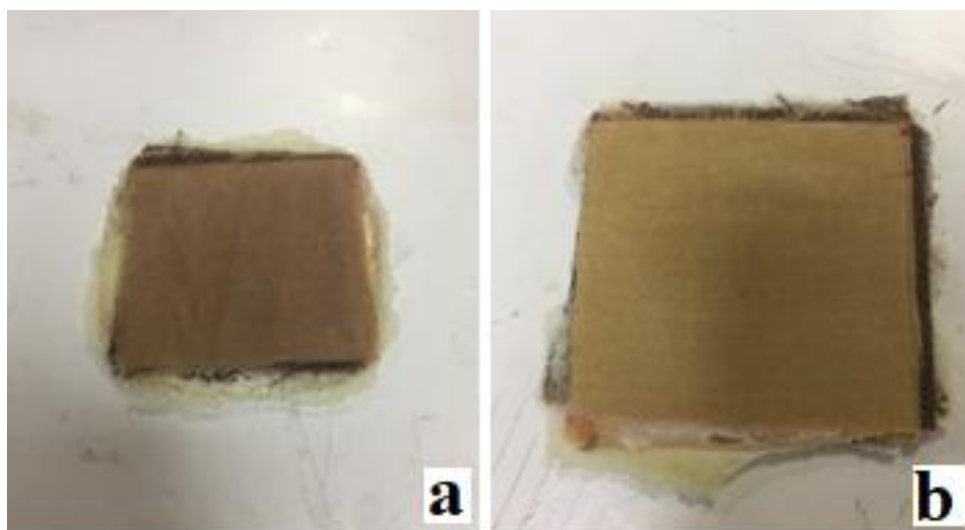


Figure 4. Ammonium sulfate (a), Treatment of jute fabrics (b)





**Figure 5.** Diammonium phosphate (a), Treatment of jute fabrics (b)



**Figure 6.** Sample 1 (without fire retardants) (a), Sample 2 (with fire retardants) (b)

### 3. Results and Discussion

The aim of this research is to improve the fire resistance and mechanical properties of hybrid jute/flax composite structures and have an aesthetic design. In this study, various chemical treatment methods were used to improve these properties. First, the fibers were treated with alkaline to improve their mechanical properties. In order to improve the fire resistance and to obtain a structure that can withstand elevated temperatures, two different chemicals were used i.e. ammonium sulfate and diammonium phosphate. One sample (sample 1) was used as a reference sample for comparison that was only treated with alkaline and no fire retardant was used. After producing the samples, hardness was measured with durometer (Shore D). It was observed that the mechanical properties were improved with the alkaline treatment and fire resistance of the sample (sample 2) that was treated with ammonium sulfate and diammonium phosphate has improved considerably. For the manufacturing process, hot press was used, this method is known to improve the mechanical strength of the laminated structure and decrease the void content.

Thickness and mass values of jute and flax fiber fabrics before and after alkaline treatment are given in the Table 2. The hardness and thickness of the cured laminated structures of the two samples are given in Table 3. Based on the results given in Tables 2 and 3, the mass of jute fabrics has decreased after alkaline treatment while the mass of the flax fabrics has increased after the same treatment. The

thicknesses of the plies have increased considerably after the alkaline treatment for both fiber types. The hardness value of sample 1 is slightly lower than that of sample 2. Both samples were treated with alkaline but the sample 2 was treated with fire retardants after the alkaline treatment. This shows that the use of fire retardants has increased the hardness of the sample 2. The use of fire retardants has decreased the thickness of the cured laminated structure at the same time.

During the fire experiments three parameters were investigated. These parameters are: flammability, heat distribution and surface temperature of the samples. First, flammability was investigated between the two samples. Higher flame was observed on the sample without fire retardant (sample 1) but lower flame was observed on the fire retardants applied sample (sample 2). Then, heat distribution was investigated between the two samples. Less heat distribution was observed in the sample 2 while higher heat distribution was observed in the sample 1. Finally, surface temperatures were measured. The measured surface temperatures are 270 °C and 90 °C for sample 1 and sample 2 respectively. Heat distributions of both sample surfaces are shown in Figure 8. An aesthetic design has been obtained by using flax fabrics on the two outer sides of the composite while jute fabrics were used in the inner side of the structure.



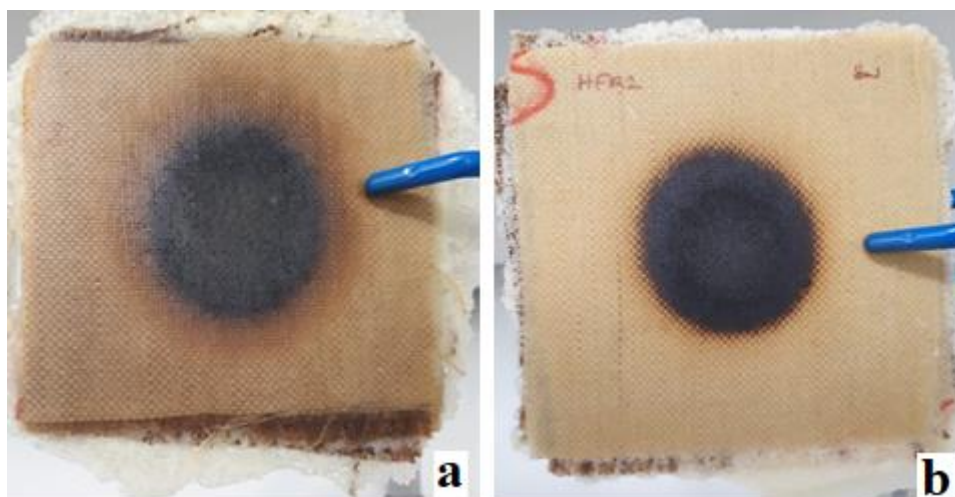
**Figure 7.** Fire experimentation setup inside the fume hood

**Table 2.** Mass and thickness results of jute and flax fabrics

	Mass (g)	Arithmetic average thickness of a ply (mm)
<b>Jute fabrics before alkaline treatment</b>	147.90	0.98
<b>Jute fabrics after alkaline treatment</b>	137.71	1.33
<b>Flax fabrics before alkaline treatment</b>	105.87	0.59
<b>Flax fabrics after alkaline treatment</b>	108.31	0.75

**Table 3.** Hardness and thickness results

	Hardness (Shore D )	Thickness of cured laminated structure (mm)
<b>Sample 1</b>	88.3	5.6
<b>Sample 2</b>	91.1	4.7

**Figure 8.** Sample 1 (without fire retardant) (a), Sample 2 (with fire retardants) (b)

### Acknowledgement

The authors are grateful to Duratek ® Company for providing the epoxy resin.

### References

- [1] Saheb N., Jog J. 1999. Natural Fiber Polymer Composites: A Review, *Adv. in Polymer Technology*, 2329 (July): 351-363.
- [2] Salmeia K.A., Jovic M., Ragaisiene A., Rukuiziene Z., Milasius R., Mikucioniene D., Gaan S. 2016. Flammability of Cellulose – Based Fibers and the Effect of Structure of Phosphorus Compounds on Their Flame Retardancy, *Polymers*, 8 (293): doi:10.3390/polym8080293.
- [3] Alves C., Ferrao P.M.C., Silva A.J., Reis L.G., Freitas M., Rodrigues L.B., Alves D.E. 2010. Ecodesign of automotive components making use of natural jute fiber composites, *Journal of Cleaner Production*, 18: 313-327.
- [4] Statheropoulos M., Kyriakou S.A. 2000. Quantitative thermogravimetric-mass spectrometric analysis for monitoring the effects of fire retardants on cellulose pyrolysis, *Anal. Chim. Acta*, 409: 203-214.
- [5] Yan L., Chou N., Jayaraman K. 2014. Flax fibre and its composites – A review, *Composites Part B*, 56: 296-317.
- [6] Yukseloglu S., Canoglu S. 2017. Leatherwork natural fibre composites: a review on flax fibers, *Annals of the Oradea University Fascicle of Textiles, Leatherwork*, pp. 137-142.
- [7] Pickering K.L., Efendy M.G.A., Le T.M. 2016. A review of recent developments in natural fibre composites and their mechanical performance, *Composites Part A, Appl. Sci. Manuf.*, 83: 98-112.
- [8] Kabir M.M., Wang H., Lau K., Cardona F. 2012. Chemical treatments on plant-based natural fibre reinforced polymer composites: An overview, *Composites Part B*, 43 (7): 2883-2892.

- [9] Mishra S., Mohanty A., Drzal L.T., Misra M., Parija S., Nayak SK. 2003. Studies on Mechanical Performance of Biofibre/Glass Reinforced Polyester Hybrid Composites, *Journal of Composite Science and Technology*, 63 (10): 1377-1385.
- [10] Molaba T.P., Chapple S., John M.J. 2019. Flame retardant treated flax fibre reinforced phenolic composites: Ageing and thermal characteristics, *Journal of Fire and Materials*, 42 (1): 50-58.
- [11] Samanta A.K., Roy R.B., Chowdhury R. 2015. Fire-retardant Chemical Finishing of Jute Fabric Using Sulfamate and Urea Mixture, *AASCIT Journal of Materials*, 1 (4): 98-110.
- [12] Nunna S., Chandra P.R., Shrivastava S. 2012. A review on mechanical behavior of natural fiber based hybrid composites, *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 31 (11): 759-769.

---

*Araştırma Makalesi / Research Article*

---

## **Bursa İli Tarımsal Pestisit Kullanımının Değerlendirilmesi**

Aslıhan KATİP\*

*Bursa Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü, Bursa, Türkiye*

---

### **Öz**

Bu çalışmada pestisit kullanımını yönetmek ve çevre kirliliğini önlemek amacıyla yapılabilecek Bütüncül Pestisit Yönetimi çalışmalarına bilgi sağlamak amaçlanmıştır. Bu çalışmada Dünya’da, Ülkemiz’ de ve Bursa İlinde pestisit türlerinin kullanımı değerlendirilmiştir. Ayrıca Bursa’da kullanılan pestisit türlerinin yıllık miktarları ile tarımsal ürünler arasındaki ilişkiler istatistiksel olarak hesaplanmıştır. Bursa’daki pestisit kullanımının, Avrupa ve Türkiye’dekine benzer olduğu ve en çok tüketilen pestisit türünün fungusitler (%59-80) en az kullanılanların Nematosit ve Mollusidler olduğu belirlenmiştir. Tarımsal üretimin nüfus ve ihracat artışı ile orantılı olduğu ancak pestisit kullanımında azalmaların olduğu görülmüştür. Bursa’da akarisit kullanımı ile tarla bitkileri arasında, fungusit ve herbisit kullanımı ile meyve üretimi arasında, sebze üretimi ile nemotosit, mollusitler, insektisit ve kışlık-yazlık yağlar arasındaki ve diğer pestisit türleri ile meyve üretimi arasındaki ilişkiler istatistiksel olarak önemli ( $p < 0,05$ ) bulunmuştur. Diğer ürünlere göre daha az üretilen meyvelerin daha fazla herbisit ve diğer pestisit türlerinin kullanımına neden olduğu belirlenmiştir. Bu sonuçlar ürün cinsinin pestisit tüketimde etkili olabileceğini göstermiştir.

**Anahtar kelimeler:** Bütüncül Pestisit Yönetimi, Çevre Kirliliği, Tarımsal Üretim.

---

## **Evaluation of Agricultural Pesticide Usage in Bursa City**

---

### **Abstract**

The aim of this study was to provide information for integrated pesticide management to decrease environmental pollution and manage pesticide usage. In this study, pesticide usages in the world, our country and Bursa city were determined. Also, the statistical correlations between the annual usages of the pesticide species in Bursa and agricultural productions were determined. It was determined was pesticide usage in Bursa was similar Europe and Turkey and fungicides (59-80%) were high consumed pesticides and nematocides and molluscicides were the lower ones. It was seen that agricultural production proportional with population and export increasing but pesticide usage in Bursa decreased. The correlations between acaricide and farm plants, between fungicide-herbicide and fruit production, between nemotocide, mollucide, insecticide and winter-cottage oils, also, other pesticide species and fruit production were significant statistically ( $p \leq 0,05$ ). Although fruit production was less than other products it caused more herbicides and other pesticides consumption. Therefore product specie might be effective in pesticide consumption.

**Keywords:** Integrated Pesticide Management, Environmental Pollution, Agricultural Production.

---

### **1. Giriş**

Dünya genelinde nüfus artışı ile birlikte sanayi bölgelerinin artması ve yeni yerleşim yerlerinin inşa edilmesi sebebiyle tarım arazisi olarak kullanılan alanlar giderek azalmaktadır. Artan nüfus tarımsal üretim üzerinde büyük bir baskı yaratmıştır ve gıda ihtiyacı toprak, su, vb. gibi mevcut kaynaklardan karşılanabilmektedir. Bu nedenle verimi arttırmak amacıyla pestisit kullanımında da artışlar olmuştur [1, 2]. Tarımsal üretimde, pestisit kullanımının % 60 ile % 70 arasında kalite ve verim artışı sağladığı, ancak fazla miktarda kullanıldığında ise ekonomik kayıplara yol açan zararlıların oluşmasına neden olduğu görülmektedir [3, 4].

---

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

Geliş Tarihi: 10.08.2018, Kabul Tarihi: 21.11.2018.

Pestisitler Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) tarafından tanımlanmıştır. Pestisitler, gıdaların, tarımsal ürünlerin, ahşap ürünlerinin veya hayvan yemlerinin üretiminden tüketimine kadar tüm aşamalarda ürünleri olumsuz etkileyen zararlıları kontrol altına almayı sağlayan, hayvanlar üzerinde veya vücutlarında bulunabilecek zararlıları kontrol altına alan maddelerdir. Ayrıca, bitki büyümesini düzenleyen, yaprak dökme, kurutma, meyve seyrelten veya ham meyvelerin dökülmesini önleyici etkenleri ve depolanma ve taşınma sırasında ticari malların bozulmasını önleyen maddeler olarak tanımlanmıştır [5]. Bu tanımdan anlaşıldığı gibi pestisitler sadece tarımsal amaçlı değil, zararlıların farklı alanlarda kontrol altına alınabilmesi için de kullanılmaktadır [6]. Pestisitlerin etkiledikleri canlılara ve kullanım alanlarına göre değişen kimyasal yapıları çok farklı türleri bulunmaktadır [5, 7, 8]. Çoğunluğu sadece hedef organizmayı değil ekosisteme zararsız veya yararlı olan organizmaları etkilemektedir [9]. Genel olarak, pestisitlerin sadece % 0,1'inin hedef organizmalara ulaştığı ve kalan konsantrasyonların suda ve toprakta yaşayan organizmaların besin zincirine girdiği tahmin edilmektedir [6, 10]. Bu nedenle çevreyi kirleterek insanlarda ve diğer canlılarda akut ve kronik hastalıklara neden olmaktadır [11, 12].

Pestisitlerin kullanılan miktarları ve türü, zararlıların yaygınlığı, iklim koşulları, ülkenin gelişmişlik durumu ve yaygın ürün gibi pek çok faktöre bağlı olarak değişebilmektedir [13]. Sürdürülebilir tarımsal üretimin sağlanabilmesi ve kirliliğinin önlenerek çevre ve insan sağlığının korunabilmesi için pestisit tüketiminin azaltılması gerekmektedir. Bütüncül Pestisit Yönetimi (IPM), zararlıların yönetilmesi amacıyla zirai mücadele, tarımsal üretim ve çevreyi bütünlük bir şekilde ele alan etkili bir yönetim biçimidir [14]. IPM programları zararlıların yaşam döngüleri ve çevre ile etkileşimleri hakkında güncel ve kapsamlı bilgileri kullanmaktadır. Ayrıca, mevcut haşere kontrol yöntemleri ile birlikte, haşere hasarını en ekonomik yollarla insanlar, mülk ve çevre için mümkün olan en az tehlike ile yönetmektedir. Bütüncül Pestisit Yönetiminin izleme, tanımlama ve kontrol aşamasında, pestisitlerin ihtiyaç duyulup duyulmamasının belirlenmesi, yanlış türde pestisit kullanımının önlenmesi, gıda güvenliği ve ürün kaybının azaltılması, pestisit maliyetinden tasarruf edilmesi ve ihracat kriterlerine uyulması sağlanmaktadır [15].

Sabur ve Molla'nın 2001 yılında Bangladeş'te yapılmış olduğu bir çalışmada [16], ürün çeşitleri içerisinde en çok sebze üretiminde pestisit tüketildiği ve muz ve mango dışındaki ürünlerde aşırı kullanım olduğu belirlenmiştir. Ayrıca Bütüncül Pestisit Yönetimini uygulayan çiftçilerin daha az pestisit tükettikleri görülmüştür. Rahman ve Chima'nın 2018 yılına yapmış oldukları bir çalışmada [17], tarımsal ürün çeşidine göre pestisit kullanımı belirlenmiştir. En çok pestisit tüketiminin Hint yer elmasında olduğu ve küçük araziye sahip çiftçilerin daha çok pestisit tükettiği belirlenmiştir. Ayrıca, pestisit kullanımının iş gücü maliyetlerinin ve ürünlerin daha pahalı olmasına yol açtığı ve eğitilen çiftçilerin daha az kullanım sağladıkları belirlenmiştir.

Bu çalışmada, Bursa İlinde tarımsal pestisit kullanımının azaltılabilmesi için yapılabilecek Bütüncül Pestisit Yönetimi izleme, tanımlama ve kontrol aşamalarına bilgi sağlamak amaçlanmıştır. Bu çalışma kapsamında Dünya ve Türkiye'de kullanılan pestisit türleri ve miktarları ile Bursa'daki pestisit kullanımı karşılaştırılmıştır. Ayrıca, Bursa İli bitkisel ürün çeşidi ile kullanılan pestisit türleri arasındaki korelasyonlar istatistiksel olarak belirlenmiştir. Bu çalışma bitkisel ürün çeşidine göre pestisit kullanımının belirlenmesi, tarımsal ürün maliyetlerinin azaltılması ve çevre kirliliğinin önlenmesi açısından önemlidir.

## 2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada Türkiye İstatistik Kurumundan (TÜİK) alınan veriler kullanılarak 2001 ile 2015 yılları arasında Türkiye'de tüketilen toplam pestisit miktarları hesaplanmıştır [18]. Ülkemizde her yıla ait verinin olmaması sebebiyle 2006 yılı ile 2015 yılı arasında tüketilen pestisit türleri belirlenmiştir. Hesaplanan değerler Dünya'da ve Türkiye'de coğrafi bölgelere göre kullanılan pestisit türleri ve miktarları karşılaştırılmıştır.

Ayrıca, Bursa İlinde 2009-2016 yılları arasında tarımsal amaçlı kullanılan pestisit türleri ve miktarları hesaplanmıştır. Buna ilaveten 2008-2016 yılları arasında üretilen tarımsal ürün çeşidi ve miktarları belirlenmiştir. Ürünlerin ve kullanılan pestisitlerin çok çeşitli olması sebebi ile ürün çeşitleri, meyve, sebze ve tarla bitkileri olarak, pestisitler akarisit, fungusit, herbisit, kışlık ve yazlık yağlar, nematosit ve mollusitler, rodensit ve mollusitler, insektisitler ve diğerleri şeklinde gruplandırılarak toplam değerleri yıllar bazında hesaplanmıştır. Aynı yıllara ait pestisit türü ve miktarları ile İldeki

bitkisel üretim çeşidi korelasyon analizi ile istatistiksel olarak ilişkilendirilmiştir [19]. Kullanılan veriler Bursa İl Gıda, Tarım ve Hayvancılık Müdürlüğü'nün Faaliyet Raporlarından sağlanmıştır [20].

### 3. Bulgular ve Tartışma

#### 3.1 Dünya ve Türkiye'de Pestisit Kullanımı

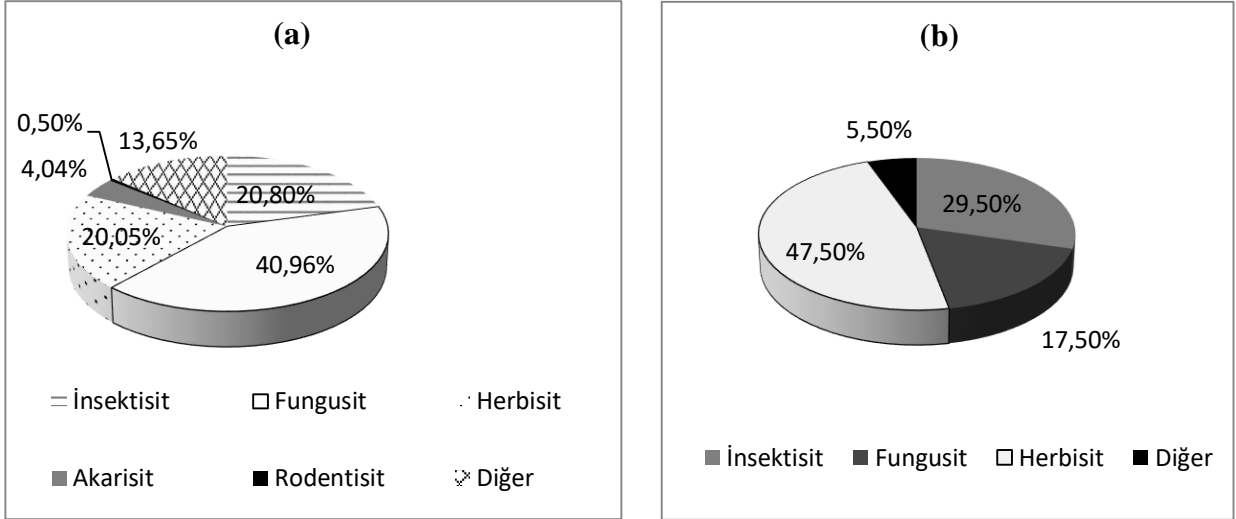
Pestisitlerin Dünya'da kullanımı, ülkelerin gelişmişliğine, iklimsel şartlara, zararlıların prevalansına, yetiştirilen tarımsal ürüne ve miktarlarına bağlı olarak değişmektedir [13]. Dünya genelinde pestisit kullanımlarına ait veri ve raporlar her ne kadar düzensiz ve yetersiz olsa da, tarımda sentetik pestisit kullanımının istikrarlı bir şekilde artmakta olduğu belirlenmiştir. Son yıllarda dünyada tarımsal pestisit kullanımı yaklaşık 3,5 milyon tona ulaşmıştır. Dünya pazarındaki en yüksek büyüme 1960'larda yıllık %12 gibi bir oran ile meydana gelmiştir. Daha sonra bu oran 1980-1990'lı yıllarda % 2 ve daha düşük bir seviyeye inmiştir. 2014 yılında %3'e yükselmiştir [14]. Pestisit üretimlerinin 1950'li yıllarda 0,2 milyon ton iken 2000'li yıllarda 5 milyon ton civarına çıktığı belirlenmiştir [21].

Avrupa Birliği istatistiksel raporlarına göre ülkelerin başlıca pestisit gruplarının satışları incelendiğinde, Avrupa'da en çok satışın İspanya'da (%19,9) ve Fransa'da (%19) olduğu görülmektedir. En az satışında, Malta ve Lüksemburg'ta (% 0) olduğu belirlenmiştir. Avrupa Birliği Satış raporlarında, fungusit ve bakterisitlerin % 43,8, herbisit ve yosun öldürücülerin % 33,2, diğer bitki koruyucuların % 14,2, insektisit ve akarsitlerin %5,2, bitki büyütme ve düzenleyicilerin %3,2 ve yumuşakçalar öldürücülerin % 0,4 oranında tüketildiği belirlenmiştir [22]. Bu satış rakamlarından Avrupa ülkelerinde en çok satılan pestisit grubunun fungusit ve bakterisit olduğu görülmüştür. Dünya genelinde kullanılan pestisit türlerinin dağılımına bakıldığında ise % 47,50'lik oranla herbisitler en yüksek paya sahiptir. Daha sonra % 29,50'lik oranla insektisitler ve %17,50'lik oranla fungusitler yer almaktadır [23]. 1990 ve 2011 yılları arasındaki verilere göre OECD ve Afrika ülkelerinde en çok herbisit ve fungusit kullanılırken, Latin Amerika ve Asya ülkelerinde herbisit, insektisit ve fungusit kullanımı daha fazladır. Ayrıca, kullanımın en çok olduğu ilk üç ülke sırasıyla, Çin, Amerika Birleşik Devletleri ve Arjantin'dir [14].

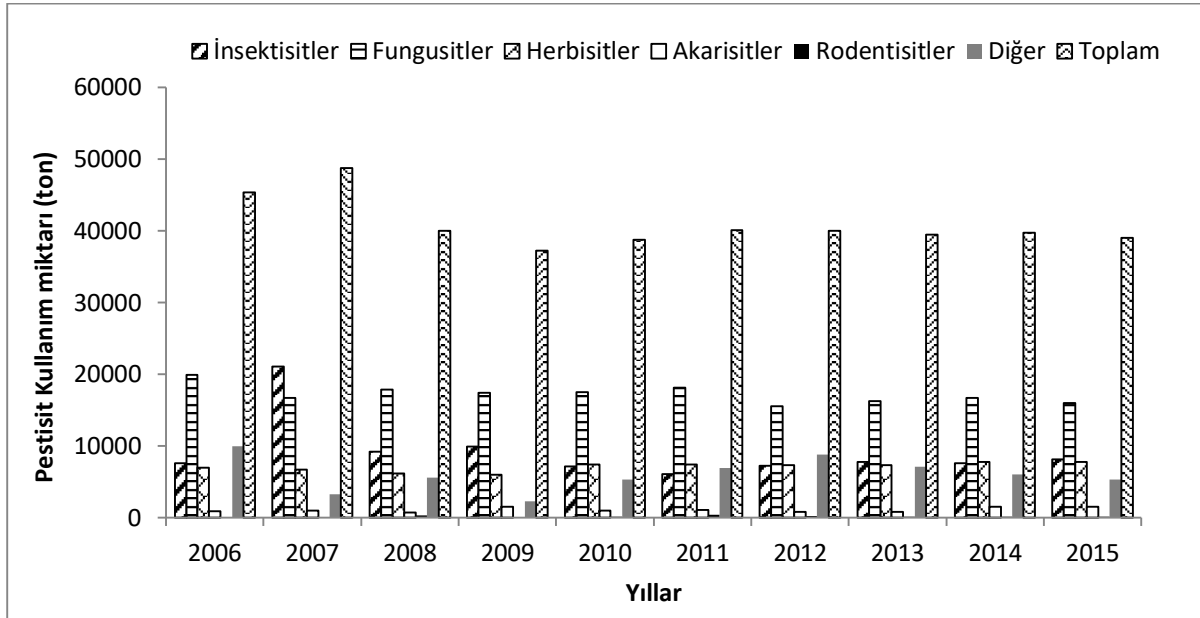
Türkiye'de 2001 ile 2015 yılları arasında en yüksek pestisit kullanımının 2001 yılında 51210 ton olduğu görülmüştür. Bu süre içerisinde pestisit kullanımının %23,79 azaldığı ve 2015 yılında 39026 ton olduğu belirlenmiştir [18]. Yapılan hesaplamalara göre, Türkiye'de kullanılan tarım ilaçları içinde fungusitler % 40,96'lık bir payla birinci sırayı, % 20,8 ile insektisitler ikinci sırayı, herbisitler ise % 20,05 ile üçüncü sırayı almıştır. Ayrıca akarisitler % 4,04'lük ve rodentisitler % 0,50'lik bir paya sahipken, diğer pestisit grupları %13,65'lik bir paya sahiptir. Dünya genelinde herbisitlerin en çok kullanılan pestisit türü olduğu, fungusitlerin ise ülkemizden daha az kullanıldığı görülmüştür. Dünya pestisit pazarının büyüklüğünün yaklaşık 45 milyar dolar, Türkiye pazarının ise yaklaşık 600 milyon dolar olduğu tahmin edilmektedir [24]. Bu değerlere göre Türkiye Dünya pestisit pazarının % 1,33'ünü oluşturmaktadır. Türkiye'de ve Dünya'da kullanılan pestisit türlerinin dağılımı Şekil 1'de ve Türkiye'de pestisit türlerinin kullanım miktarları Şekil 2'de gösterilmiştir.

Şekil 2'de görüldüğü gibi üzere Türkiye'de pestisit gruplarının tüketim oranlarında önemli değişiklik insektisit oranında olmuştur. 2007 yılında insektisit kullanımı en büyük paya sahip iken 2008 yılı itibari ile kullanımda bir azalma olmuştur ve takip eden yıllarda artış meydana gelmiştir. Yıllar içerisinde en büyük kullanım payına fungusitler sahip olmuştur.

Ülkemizde tarımsal pestisit kullanımı coğrafi bölgelere göre değerlendirildiğinde en az Karadeniz (%5) ve Doğu Anadolu (%1) Bölgelerinde, en çok Akdeniz Bölgesi'nde (%27) olduğu belirlenmiştir. Marmara, İç Anadolu, Ege ve Güney Doğu Anadolu Bölgelerinde sırasıyla %18, %18, %17 ve % 14'tür. Gıda ihracatının, polikültür ve enstantif tarımın yapıldığı bölgelerdeki pestisit tüketiminin gelişmiş ülkeler düzeyinde olduğu görülmüştür [25, 26].



Şekil 1. Türkiye’de (a) ile Dünya’da Kullanılan Pestisit Türlerinin Dağılımı (b) (%)



Şekil 2. Türkiye'deki Pestisit Türlerinin Kullanım Miktarları (ton) (TÜİK, 2017)

### 3.2. Bursa İli Tarımsal Pestisit Kullanımı

Ülkemizin önemli bir tarım merkezi olan Bursa İli toplam yüz ölçümü 10.886,38 km<sup>2</sup>'dir ve 340.912,5 ha (2016 yılı) tarım arazisine sahiptir. Bursa İli bitkisel üretim çeşitlerini meyve, sebze ve tarla bitkileri oluşturmaktadır. Bursa İli bitkisel üretim miktarı Tablo 1’de ve bitkisel ürün çeşidi Tablo 2’de verilmiştir [20].

**Tablo 1.** Bursa bitkisel üretim miktarı (ton/yıl) [20]

	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
<b>Meyve</b>	522.419	596.487	542.206	549.825	591.090	639.849	622.352	593.678	576.109
<b>Sebze</b>	1.312.542	1.358.282	1.220.201	1.715.410	2.037.107	2.065.515	2.231.379	2.731.066	2.338.604
<b>Tarla Bitkileri</b>	1.180.401	1.141.883	2.082.394	1.857.280	1.726.883	2.031.251	2.261.809	2.092.997	2.175.032
<b>Toplam</b>	3.015.362	3.096.652	3.844.801	4.122.515	4.355.080	4.736.615	5.115.540	5.417.741	5.089.745



**Tablo 2.** Bursa ili bitkisel ürün çeşidi [20]

Meyve	Sebze	Tarla Bitkileri
Zeytin	Domates (Sofralık ve salçalık)	Mısır (Silajlık, dane, hasıl)
Armut	Fasulye (Taze)	Buğday
Elma (Starking, grannysmith, golden, diğ)	Biber (Sivri, salçalık, kapyra, dolmalık)	Yonca
Ayva	Soğan (Kuru)	Patates
Şeftali (Nektarin ve diğer)	Karpuz	Çeltik
Çilek	Karnabahar	Ayçiçeği (Çerezlik, yağlık)
İncir	Pırasa	Fasulye (Kuru)
Kiraz	Bezelye	Fiğ (Adi, yeşil ot, macar)
Üzüm (Sofralık-çekirdekli)	Patlıcan	Arpa
Ceviz	Kabak (Sakız)	Yulaf (Yeşil ot)
Erik	Enginar	Nohut
Ahududu	Hıyar (Sofralık)	Şekerpancarı
Kestane	İspanak	Yulaf (Dane)
Kavun	Lahana (Beyaz, kırmızı)	Çavdar
	Kereviz (Kök)	
	Marul (Kıvırcık)	
	Barbunya	
	Brokoli	
	Maydonoz	

Bursa'da toplam tarımsal üretim en fazla 2015, en düşük, 2008 yılında görülmektedir. Sebze ve tarla bitkileri üretimi yıllar içerisinde birbirine benzer değişim göstermekte olup bazı yıllarda farklıdır. Meyve üretimi en düşük 2008 yılında, en yüksek 2013 yılında görülmüştür. Üretimdeki artışın nüfus ve ihracat artışından kaynaklanabileceği düşünülmüştür. İstatistiksel değerlere bakıldığında toplam sebze ve bazı meyve türlerinin (turunçgiller, nar, armut, kiraz vb.) üretimindeki artışın ihracat artışı ile doğru orantılı olarak gerçekleştiği görülmüştür [18, 27].

Bursa İli genelinde kullanılan pestisit türleri; fungusit, herbisit, akarisit, insektisidler, kışlık ve yazlık yağlar, nematosidler, mollusidler, rodendisit ve mollusidler ve diğerleridir. Kışlık-yazlık yağlar uçucu ve mineral yağlardan oluşan genellikle böcek ve örümceklerin yumurta bırakmayı engelleyici ve yumurtayı öldürücü etkileri olan pestisitlerdir. Bu maddeler zirai mücadele ilaçları kontrol yönetmeliğinde kışlık ve yazlık yağlar olarak geçmektedir [28, 29]. En çok kullanılan pestisit türünün fungusit olduğu belirlenmiştir (%59-%80). En düşük yüzde ise nematosid ve mollusidlere aittir (%0-%0,007). Tablo 3'de Bursa ili yıllık pestisit kullanım miktarları verilmiştir. Yıllık pestisit kullanım miktarları incelendiğinde, 2009-2016 yılları arasında en yüksek fungusit kullanımına 2011 yılında 2.703.883 kg ile ulaşılmışken, 2016 yılında 1.564.745 kg ile en düşük kullanım miktarı görülmüştür. Fungusit kullanımında dalgalanmalar olsa da genel olarak yıllar içerisinde bir azalma söz konusudur. 2009 yılı kullanım miktarı ile 2016 yılı kullanım miktarı değerlendirildiğinde kullanımda %18,55'lik bir azalma olduğu sonucuna varılmıştır. Herbisitinin 2009-2016 yılları arasındaki kullanım miktarı sabit olmayıp yıllar içerisinde değişimler gözlenmiştir. Maksimum kullanım 157.957 kg ile 2009 yılında, minimum kullanım ise 50.160 kg ile 2015 yılında gerçekleşmiştir. Tablo 3'te görüldüğü gibi akarisit kullanımını genel olarak 2009 yılından itibaren 2013 yılına kadar azalmış ve 2013 yılında minimum kullanım miktarı olan 5.925 kg ulaşmış, 2014 yılından itibaren ise bir artışa geçmiştir. 2009-2016 yılları arasındaki kışlık ve yazlık yağların tüketim miktarları grafiği incelendiğinde 2014 ve 2013 yıllarında tüketimin olmadığı, 2012 yılında 729.826 kg ile en fazla tüketim gerçekleşmiştir. İnsektisitinin 2009-2016 yılları arasında kullanım miktarı en fazla olan yıl 508.881 kg ile 2009 yılı olurken, kullanım giderek azalmıştır ve 2016 yılında 251.307 kg ile en düşük kullanım miktarına ulaşmıştır. 2009-2016 yıllarındaki rodendisit ve mollusidlerin kullanımına bakıldığında genel olarak kullanımlarının çok düşük olduğu görülmektedir. En fazla kullanım 2011 yılında 85,31 kg ile olmuştur. En düşük kullanım ise 0,004 kg gibi çok düşük bir miktar ile 2012 yılında gerçekleşmiştir.

**Tablo 3.** Bursa ili pestisit kullanım miktarları [20]

Pestisit Türleri	Yıllar (kg/yıl)							
	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Akarisit (kg)	50.337	16.097	30.670,45	13.312	5.925	9.618	16.616	20.970
Akarisitn (%)	1,54%	0,54%	0,82%	0,47%	0,23%	0,45%	0,82%	1,02%
Fungusit (kg)	1.921.187	1.888.027	2.703.883,90	1.669.105	1.657.668	1.663.386	1.609.603	1.564.745
Fungusit (%)	59,07%	63,60%	72,88%	59,24%	65,74%	79,26%	79,93%	76,44%
Herbisit (kg)	157.957	76.724	94.238,50	148.650	146.685	147.667	50.160	132.710
Herbisit (%)	4,85%	2,58%	2,53%	5,27%	5,81%	7,03%	2,49%	6,48%
Kışlık ve Yazlık Yağlar (kg)	427.950	516.350	378.746,70	729.826	0	0	66.850	66.850
Kışlık ve Yazlık Yağlar (%)	13,15%	17,3%	10,2%	25,9%	0	0	3,31%	3,26%
Nematosid ve Mollusidler (kg)	0	0	0	0	0	0	145	145
Nematosid ve Mollusidler (%)	0	0	0	0	0	0	0,007%	0,007%
Rodendisit ve Mollusidler (kg)	0,012	0,016	85,31	0,004	22	11	12	8
Rodendisit ve Mollusidler	3,6.10 <sup>-7</sup> %	5,3.10 <sup>-7</sup> %	0,002%	1,4.10 <sup>-7</sup> %	0,0008%	0,0005%	0,0005%	0,0003%
İnsektisidler (kg)	508.881	432.642	499.642,60	256.968	298.947	277.957	260.692	251.307
İnsektisidler (%)	15,64%	14,57%	13,46%	9,11%	11,8%	13,24%	12,94%	12,27%
Diğerleri (kg)	186.112	38.824	3.205	0	412.388	0	9.800	10.400
Diğerleri (%)	5,72%	1,30%	0,086%	0	16,35%	0	0,48%	0,50%
Toplam (kg)	3.252.424	2.968.664	3.710.472	2.817.861	2.521.635	2.098.639	2.013.878	2.047.135

Bursa İli 2009-2016 yıllarına ait bitkisel üretimi ile pestisit türlerinin kullanım miktarları karşılaştırıldığında bitkisel üretim arttığı, pestisit kullanımının azaldığı görülmüştür. Tarımsal ürün çeşidi ile fungusit ve herbisit kullanım miktarları arasındaki istatistiksel ilişkiler değerlendirildiğinde en büyük  $r^2$  değerinin meyve üretimi ile fungusit ve herbisit tüketimi arasında olduğu belirlenmiştir. Meyvelerin yıllık ürün miktarının, sebze ve tarla bitkilerine oranla daha az olmasına rağmen daha çok fungusit kullanımına neden olduğu düşünülebilir. En düşük  $r^2$  değeri ise fungusit-tarla bitkileri arasında bulunmuştur. Kışlık-yazlık yağlar, nemotosit ve mollusit kullanımı ile sebze üretimi arasında en yüksek korelasyonlar bulunmuştur. Tablo 4'te tarımsal ürün çeşidi ile pestisit kullanımı arasındaki korelasyon değerleri gösterilmiştir.

**Tablo 4.** Tarımsal ürün çeşidi ile pestisit kullanımı arasındaki korelasyon değerleri

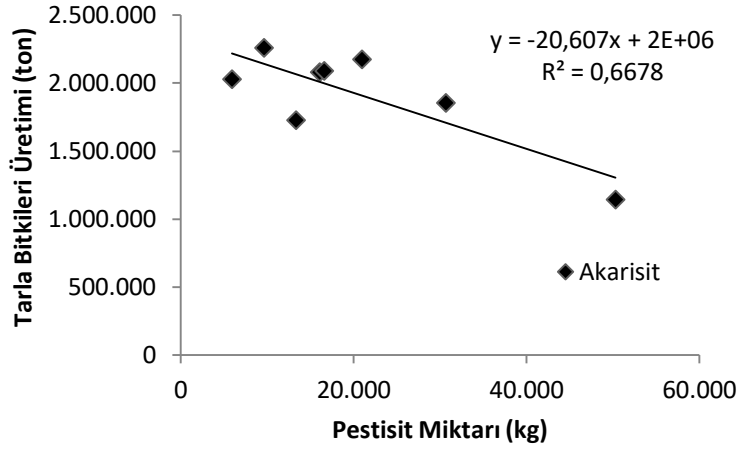
		Akarisit	Fungusit	Herbisit	Kışlık ve Yazlık Yağlar	Nematosit ve Mollusidler	Rodendisit ve Mollusidler	İnsektisit	Diğerleri
Meyve Üretimi	r	-0,3381	-0,5605	0,5547	-0,5407	-0,0756	-0,2869	0,1496	0,5967
	$r^2$	0,1143	<b>0,3141</b>	<b>0,3077</b>	<b>0,2924</b>	0,0057	0,0823	0,0224	<b>0,3561</b>
Sebze Üretimi	r	-0,4973	-0,4962	-0,1474	-0,6144	0,6974	-0,0356	-0,4573	-0,1683
	$r^2$	0,2473	0,2462	0,0217	<b>0,3775</b>	<b>0,4864</b>	0,0013	0,2092	0,0283
Tarla Bitkileri Üretimi	r	-0,8172	-0,2853	-0,3662	-0,5587	0,3669	0,0671	-0,4218	-0,2419
	$r^2$	<b>0,6678</b>	0,0814	0,1341	<b>0,3121</b>	0,1346	0,0045	0,1779	0,0585

\*Koyu renkli  $r^2$  değerleri  $p \leq 0,05$

Meyve üretimi ile akarisit, fungusit, nemotosit, mollusit, rodendisit, kışlık ve yazlık yağlar arasındaki korelasyon (r) negatif değerde çıkmıştır. Bu durum meyve üretimi azalsa bile pestisit tüketiminin artabileceğini göstermektedir. Meyve üretimi ile fungusit ve herbisit tüketimi arasında en yüksek  $r^2$  değerleri belirlenmiştir. Bu sonuçlar meyve üretimi ile fungusit tüketimi arasında ters orantılı, herbisit tüketimi arasında doğru orantılı bir ilişki olduğunu göstermiştir.

Sebze üretimi ile nemotosit ve mollusitler arasındaki r değerlerinin en yüksek ve pozitif olduğu, diğer pestisit türleri arasındaki korelasyonların negatif ve daha düşük değerde olduğu görülmektedir. Bu hesaplamalardan sebze üretimi arttıkça nematosit ve mollusit kullanımının da arttığı düşünülebilmektedir.

Tarla bitkileri üretimi ile kullanılan pestisit türleri arasında hesaplanan  $r^2$  değerleri meyve ve sebze ile olan korelasyonlarında olduğu gibi düşük çıkmıştır. Sadece akarisit kullanımı ile arasında hesaplanan korelasyon değeri negatif ve en yüksek büyüklükte bulunmuştur. Bu değer, tarla bitkileri üretimi arttıkça akarisit kullanımının azaldığını göstermektedir. Tarımsal ürün çeşidi ile pestisit kullanımı arasında hesaplanan korelasyon değerleri arasında en yüksek  $r^2$  değerine (0,6678) sahip tarla bitkileri üretimi ile akarisit tüketimi arasındaki ilişki Şekil 3'te gösterilmiştir.



Şekil 3. Bursa İli tarla bitkileri üretimi- akarisit tüketimi ilişkisi

#### 4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada, Türkiye ve Dünya'daki pestisit türlerinin kullanım durumu ve Bursa genelindeki pestisitlerin tüketim miktarları incelenmiştir. Ayrıca, Bursa İli bitkisel üretim miktarı ve çeşidi ile pestisit türlerinin kullanımı ilişkilendirilmiştir. Avrupa ülkelerinde en çok satılan pestisit grubu fungusit ve bakterisit olurken, Dünya genelinde ise herbisitler en yüksek, daha sonra insektisitler ve fungusitler kullanılmaktadır. Latin Amerika ve Asya ülkelerinde herbisit ve fungusite ilaveten insektisit te yüksek miktarda kullanılmaktadır. Türkiye'de son 15 yılda pestisit tüketiminin azaldığı görülmüş olup, kullanılan tarım ilaçları içinde fungusitler birinci sırayı, insektisitler ikinci sırayı, herbisitler ise üçüncü sırayı almıştır. Ülkemizdeki kullanımın dünya ortalamasından farklı olduğu ve Akdenize kıyısı olan Avrupa ülkelerine benzer olarak Fungusitin en çok kullanıldığı belirlenmiştir.

Bursa'daki pestisit kullanımı, Avrupa ve Türkiye'dekine benzer olduğu ve en çok tüketilen pestisit türünün fungusitler, en düşük kullanımın ise Nematosis ve Mollusidler olduğu belirlenmiştir. Bursa'da tarımsal üretimin artma eğiliminde olduğu görülmüştür ve bu artışın nüfus ve ihracat artışından kaynaklanabileceği düşünülmüştür. Ancak, Bursa genelinde pestisit kullanım miktarları incelendiğinde genel olarak tarımsal pestisit kullanımında azalmaların olduğu görülmüştür. Bursa'da üretilen tarımsal ürün çeşidi ile kullanılan pestisit türleri arasındaki ilişkiler incelendiğinde, akarisit kullanımı ile tarla bitkileri arasında, fungusit ve herbisit kullanımı ile meyve üretimi arasında, Sebze üretimi ile nemotosit, mollusitler, indektisit ve kışık-yazlık yağlar arasındaki ve diğer pestisit türleri ile meyve üretimi arasındaki ilişkiler yüksek bulunmuştur. Herbisit tüketimi ile meyve üretimi, nemotosit kullanımı ile sebze ve tarla bitkileri üretimi arasındaki korelasyon değerlerinin pozitif olması üretim arttıkça pestisit tüketiminin arttığını göstermiştir. Negatif değerler ise, üretim artsa bile pestisit tüketiminin azalabildiğini göstermiştir. Üretilen meyve miktarının diğer ürünlere nazaran daha az olmasına rağmen daha fazla herbisit ve diğer pestisitlerin kullanımına neden olduğu belirlenmiştir. Bu duruma göre bu

sonuçlar sadece ürün miktarıyla pestisit tüketiminin artmayabileceğini, ürün cinsinin de pestisit tüketimde etkili olabileceğini göstermiştir.

Pestisit kullanımı etkileyen meteorolojik parametreler ve iklim değişikliği, nüfus değişimi, ihracat oranları gibi diğer faktörleri de istatistiksel olarak incelemek gelecekteki kullanım miktarlarını azaltabilmek için yararlı olabilecektir. Kayıt altına alınan verilerin düzenli tutulması, çiftçiler ile iletişimin artırılarak bu konudaki verilerin çoğaltılması gerekmektedir. Veri tabanına göre çalıştırılacak yazılımlar kullanılarak pestisit kullanımının optimum olmasının sağlanabileceği düşünülmüştür. Ayrıca, iyi tarım uygulamalarının yapılması, çiftçi eğitim çalışmalarının daha etkili hale getirilmesi ve ilgili Devlet Kurumlarının işbirliği halinde çalışmaları gerekmektedir.

## Kaynaklar

- [1] Gill H.K., Garg H. 2014. Pesticide: Environmental impacts and management strategies, in Pesticides-Toxic Effects; Edited by Rijeka, Croatia, Intech, 187-230.
- [2] İnan H., Boyraz N. 2002. Konya Çiftçisinin Tarım İlacı Kullanımının Genel Olarak Değerlendirilmesi, Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 16 (30): 88-101.
- [3] Başpınar H., Durmuşoğlu E., Yıldırım E.M.. 2010. Türkiye’de Tarım İlaçları Üretim ve Kullanımı, Ziraat Mühendisliği VII., Teknik Kongresi Bildiriler Kitabı, pp 1047-1054, 11-15 Ocak, Ankara, Türkiye.
- [4] Tuna R.Y. 2011. Kayseri Çiftçilerinin Pestisitleri Saklama Koşulları ve Güvenli Kullanımı Konusunda Bilgi, Tutum ve Davranışları, Erciyes Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Halk Sağlığı Anabilim Dalı, Doktora tezi, 92 s, Kayseri, Türkiye.
- [5] Altıkat A., Turan T., Torun F.E., Bingül Z. 2009. Türkiye’de Pestisit Kullanımı ve Çevreye Olan Etkileri, Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 40 (2): 87-92.
- [6] Mahmood I., Imadi S. R., Shazadi K., Gul A., Hakeem K.R. 2016. Plant, Soil and Microbes, in Effects of Pesticides on Environment. Edited by Hakeem, K.R. et al., Springer, International Publishing Switzerland, 253-269.
- [7] Garcia F.P., Cortés Ascencio Y.S., Gaytan Oyarzun Y.J., Hernandez A.C., Alavarado P.V. 2012. Pesticides: classification, uses and toxicity. Measures of exposure and genotoxic risks, Journal of Research in Environmental Science and Toxicology, 1 (11): 279-293.
- [8] Miller G.T. 2000. Living in the Environment, Concepts, Connections, and Solutions, 16th Edition, 674s, Belmont, USA.
- [9] Rosell G, Quero C, Coll J, Guerrero A. 2008. Biorational insecticides in pest management, Journal of Pesticide Science, 33 (2):103-121.
- [10] Sande D., Mullen J., Wetzstein M., Houston J. 2011. Environmental Impacts from Pesticide Use: a Case Study of Soil Fumigation in Florida, Int. J. Environ. Res. Public Health, 8 (12): 4649-4661.
- [11] Carriger JF, Rand GM, Gardinali PR, Perry WB, Tompkins MS, Fernandez AM. 2006. Pesticides of potential ecological concern in sediment from South Florida canals: an ecological risk prioritization for aquatic arthropods, Soil and Sediment Contamination, 15 (1): 21-45.
- [12] Mostafalou S, Abdollahi M. 2012. Concerns of environmental persistence of pesticides and human chronic diseases, Journal of Clinical and Experimental Pharmacology, 01 (S5), 10-11. DOI: 10.4172/2161-1459.S5-e002.
- [13] FAO/WHO, 2015. *Pesticide residues in food*, Joint FAO/WHO Meeting on Pesticide Residues, FAO and WHO, 627s, Rome.
- [14] Pretty J., Bharucha Z.P. 2015. Integrated Pest Management for Sustainable Intensification of Agriculture in Asia and Africa, Insects, 6 (1):152-182.
- [15] USEPA, 2018. Integrated Pest Management (IPM) Principles. <https://www.epa.gov/safepestcontrol/integrated-pest-management-ipm-principles> (Erişim tarihi: 06.08.2018).
- [16] Sabur S.A., Molla A.R. 2001. Pesticide use, its impact on crop production and evaluation of IPM technologies in bangladesh, Bangladesh Journal of Agricultural Economics. XXIV, 1 (2): 21-38.
- [17] Rahman S., Chima C.D. 2018. Determinants of Pesticide Use in Food Crop Production in Southeastern Nigeria, Agriculture, 8 (35): 1-14.
- [18] TÜİK, 2017. Türkiye’de Pestisit Kullanım Miktarları. <http://www.tuik.gov.tr> (Erişim tarihi: 17.04.2017)

- [19] MİNİTAB, 2017. Minitab Statistical Program Version 17.
- [20] Anonim, 2016. Bursa İl Gıda, Tarım ve Hayvancılık Müdürlüğü, 2008-2016 Faaliyet Raporları.
- [21] FAO, 2017. Food and Agriculture Data for Over 245 Countries. <http://www.fao.org/faostat/en/#home> (Erişim tarihi: 03.01.2017).
- [22] EU, 2018. Member of European Countries Statics. <http://ec.europa.eu/eurostat/statisticsexplained/> (Erişim tarihi: 28.03.2018).
- [23] De A., Bose R., Kumar A., Mozumdar S. 2014. Targeted Delivery of Pesticides Using Biodegradable Polymeric Nanoparticles, Springer, 99s, New Delhi Heidelberg New York Dordrecht London.
- [24] Kaymak S., Serim A.T. 2015. Pestisit Sektöründe Araştırma ve Geliştirme, Meyve Bilimi, 2 (1): 27-34.
- [25] Durmuşoğlu E., Tiryaki O., Canhilal R. 2010. Türkiye'de Pestisit Kullanımı, Kalıntı ve Dayanıklılık Sorunları, VII. Türkiye Ziraat Mühendisliği Teknik Kongresi, TMMOB Ziraat Mühendisleri Odası, Bildiriler Kitabı, s 589-607, 11-15 Ocak, Ankara
- [26] Burçak A. 2014. Gıda, Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı, Bitki Sağlığı Araştırma Daire Başkanlığı, İlaç, Alet ve Toksikoloji Araştırmaları Çalışma Grubu Sunumu. [https://www.tarimorman.gov.tr/TAGEM/Belgeler/SUNULAR/%C4%B0la%C3%A7,%20Alet%20ve%20Toksikoloji%20Ara%C5%9Ft%C4%B1rma%20%C3%87al%C4%B1%C5%9Fmalar%C4%B1\\_Dr.%20A.Alev%20Bur%C3%A7ak.pdf](https://www.tarimorman.gov.tr/TAGEM/Belgeler/SUNULAR/%C4%B0la%C3%A7,%20Alet%20ve%20Toksikoloji%20Ara%C5%9Ft%C4%B1rma%20%C3%87al%C4%B1%C5%9Fmalar%C4%B1_Dr.%20A.Alev%20Bur%C3%A7ak.pdf) (Erişim tarihi: 05.11.2018).
- [27] Demirci G. 2017. Türkiye’de ve Dünya’da Kullanılan Pestisit Türlerinin Araştırılması, Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü Lisans Tezi, 90s, Bursa.
- [28] İmrek B., Güven H., Erler F., Tosun H.Ş. 2017. Bazı Bitki Uçucu Yağlarının Armut Psillidi [*Cacopsylla pyri* (L.) (Hemiptera: Psyllidae)]’nin Kışlık-Formuna Karşı Yumurta Bırakmayı Engelleyici ve Ovisidal Etkileri, Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi, 21 (3): 259-265.
- [29] Anonim, 1995. Tarım ve Köyişleri Bakanlığı, Zirai Mücadele İlaçları Kontrol Yönetmeliği, 22/06/1995 Tarihli ve 22321 Sayılı Resmi Gazete, 13s. Ankara.

---

*Araştırma Makalesi / Research Article*

---

## **Plazma Sprey Yöntemiyle AISI 304 Paslanmaz Çelik Üzerinde Üretilen Ti<sub>3</sub>SiC<sub>2</sub> MAX Fazlı Kaplamanın Karakterizasyonu**

Serkan ISLAK<sup>\*1</sup>, Cihan ÖZORAK<sup>2</sup>, Özkan ESKİ<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Kastamonu Üniversitesi, Makine Mühendisliği, Kastamonu

<sup>2</sup>Kastamonu Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, Kastamonu

---

### **Öz**

Bu çalışmada, plazma spre yöntemi ile AISI 304 paslanmaz çelik üzerinde üretilen Ti<sub>3</sub>SiC<sub>2</sub> MAX fazlı kaplamanın mikroyapı, aşınma ve korozyon özellikleri araştırılmıştır. Ti<sub>3</sub>SiC<sub>2</sub> fazını üretmek için başlangıç malzemesi olarak Ti ve SiC tozları kullanılmıştır. Ti tozuna ağırlıkça % 35 SiC ilave edildikten sonra elde edilen toz karışımı atmosfer kontrollü plazma spre tabancası ile alt tabaka üzerine kaplanmıştır. Kaplamanın mikroyapı ve faz oluşumunu incelemek için optik mikroskop, taramalı elektron mikroskobu ve XRD kullanılmıştır. Mikroyapı incelemeleri kaplama mikroyapısının lamelli bir yapıya sahip olduğunu göstermiştir. XRD analizlerine göre Ti<sub>3</sub>SiC<sub>2</sub> MAX fazı kaplama tabakasında tespit edilmiştir. Mikrosertlikler, kaplama tabakasından alt tabakaya doğru bir hat boyunca ölçülmüştür. Kaplama ve alt malzemenin aşınma özellikleri, çizik testi ile tespit edilmiştir. Kaplama tabakasının sürtünme katsayısı alt malzemeye göre düşük çıkmıştır. Alt malzeme ve kaplamanın korozyon özellikleri %3,5 NaCl çözeltisinde potansiyodinamik ölçümler yapılarak belirlenmiştir. Korozyon sonuçları, kaplama tabakasının alt malzemeye göre 3,5 katlık bir korozyon direncine sahip olduğunu göstermiştir.

**Anahtar kelimeler:** Ti<sub>3</sub>SiC<sub>2</sub> MAX fazı, plazma spre kaplama, mikroyapı, aşınma, korozyon.

---

## **Characterization of Ti<sub>3</sub>SiC<sub>2</sub> MAX Phase Coating Produced on AISI 304 Stainless Steel by Plasma Spray Method**

### **Abstract**

In this study, microstructure, wear and corrosion properties of Ti<sub>3</sub>SiC<sub>2</sub> MAX phase coated on AISI 304 stainless steel by plasma spray method were investigated. Ti and SiC powders were used as starting materials to produce the Ti<sub>3</sub>SiC<sub>2</sub> phase. After adding 35 % SiC by weight to the Ti powder, the resulting powder mixture was coated on the substrate with an atmosphere-controlled plasma spray gun. An optical microscope, scanning electron microscope and XRD were used to examine the microstructure and phase formation of the coating. Microstructure studies have shown that the coating microstructure has a lamellar structure. According to XRD analyzes, Ti<sub>3</sub>SiC<sub>2</sub> MAX phase was detected in the coating layer. Microhardnesses were measured along a line from the coating layer to the substrate. Wear characteristics of coating and substrate were determined by scratch test. The coefficient of friction of the coating layer was lower than that of the substrate. Corrosion properties of substrate and coating were determined by potentiodynamic measurements in 3.5% NaCl solution. Corrosion results have shown that the coating layer has a corrosion resistance of 3.5 times that of the substrate.

**Keywords:** Ti<sub>3</sub>SiC<sub>2</sub> MAX phase, plasma spray coating, microstructure, wear, corrosion.

---

### **1. Giriş**

Son zamanlarda ileri malzemeler üzerine yapılan yoğun çalışmalar sonucunda hem metalik malzemelerin hem de seramik malzemelerin özelliklerine sahip MAX fazı adında yeni nesil malzemeler bulunmuştur [1,2]. M<sub>n+1</sub>AX<sub>n</sub> fazı terimi ilk olarak 2000 yılında Michel W. Barsoum tarafından kullanılmıştır. Daha sonra, MAX olarak kısaltılan fazların M<sub>n+1</sub>AX<sub>n</sub> şeklindeki genel formülünde n=1-3, M=geçiş metali, A=genellikle IIIA ve IVA grubu elementleri ve son olarak X ise karbon (C) veya

---

\*Sorumlu yazar: [serkan@kastamonu.edu.tr](mailto:serkan@kastamonu.edu.tr)

Geliş Tarihi: 13.08.2018, Kabul Tarihi: 30.10.2018

azotu (N) temsil eder. Geçiş metalleri Sc, Ti, V, Cr, Zr, Nb, Mo, Hf ve Ta iken, A grubu elementler Al, Si, P, S, Ga, Ge, As, In, Sn, Tl ve Pb şeklindedir. n sayısının değerine bağlı olarak,  $M_2AX$ ,  $M_3AX_2$  ve  $M_4AX_3$  şeklindeki MAX fazları, sırasıyla 211, 312 ve 413 olarak temsil edilirler [3]. Literatürde  $M_5AX_4$ ,  $M_6AX_5$  ve  $M_7AX_6$  şeklindeki MAX fazları da rapor edilmiş olup, bu fazlar sırasıyla 514, 615 ve 716 olarak temsil edilirler [4,5]. Bu rakam dizilimleri stokiometrik yapılar olup, molekül bileşimi ifade etmektedir. Örneğin, 312 yapısında ( $M_3AX_2$ ) A katmanı 3 adet oktahedral M katmanı ile ayrılmaktadır [6].

Mükemmel özelliklere sahip olan MAX fazları elektrik kontak ve yatakları, ısıtma elemanları, nozullar, ısı eşanjörleri, kalıp endüstrisinde takımlar gibi daha birçok uygulama alanına sahiptir. MAX fazları bu uygulama alanlarının çoğunda halen test aşamasındadır. Hem deneysel hem de teorik olarak incelenen yaklaşık 240 MAX fazının fiziksel özellikleri tamamen anlaşılammıştır [7-11]. MAX fazları yapılan çalışmalarda genellikle, soğuk presleme (CP)+sinterleme, sıcak presleme (HP), sıcak izostatik presleme (HIP), kimyasal buhar çöktürme (CVD), kendi kendine ilerleyen yüksek sıcaklık sentezlemesi (SHS), termal sprey, mekanik alaşımlama, manyetik alanda saçırma ve yanma reaksiyon yöntemleri ile üretilmiştir. Bu yöntemlerle MAX fazları toz, kütle halinde malzeme veya ince film kaplaması şeklinde elde edilmiştir [12].

Literatürde MAX fazlı malzemelerin termal sprey yöntemi ile üretilebilirliğine dair çok az çalışma vardır. Bu çalışmalarda doğrudan MAX esaslı tozların kaplanması ile ilgilidir. Tamamen termal sprey yöntemi ile üretimi mevcut değildir. Yazarlar olarak literatürdeki bu açıktan faydalanarak ve MAX fazlı malzemelerin üretim yelpazesini genişletmek için termal sprey yöntemi ile MAX fazlı kaplamaların üretimi üzerine yoğunlaştık. Bu çalışmada  $Ti_3SiC_2$  MAX fazlı kaplamalar, termal sprey yöntemlerinden olan plazma sprey tekniği ile üretilmiştir. Üretilen kaplamaların mikroyapı, aşınma ve korozyon özellikleri detaylı olarak incelenmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

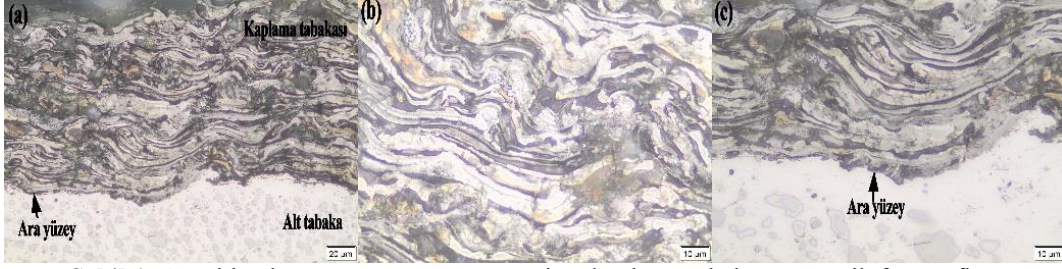
Alt malzeme olarak AISI 304 paslanmaz çelik ve kaplama tozu olarak, -90+22  $\mu m$  tane boyutundaki Ti (Metco 4010) ve yaklaşık 44  $\mu m$  tane boyutundaki SiC (Sigma Aldrich) tozu kullanılmıştır. Kaplama işleminde,  $Ti_3SiC_2$  fazını elde etmek için Ti+% 35 SiC (% ağırlık) toz karışımı kullanılmıştır. Alt tabaka ile kaplama katı arasında sağlam bir bağlanma elde etmek için alt tabaka 24-35 mesh arasındaki tane boyutuna sahip  $Al_2O_3$  kumu ile kumlama işlemine tabi tutulmuştur. Kaplama tabakalarının üretilmesinde 80 kVA gücüne sahip Sulzer Metco 9MB plazma sprey kaplama sistemi kullanılmıştır. Kaplama işleminde argon gazının debisi 35-73 l/dak. seçilmiştir. Püskürtme mesafesi 75 mm olarak sabitlendi.  $H_2$  gazının debisi 6.6 l/dak ve taşıyıcı gazın debisi ise 9-11.4 l/dak seçildi. Kaplama tabakası olarak yaklaşık 250  $\mu m$  kalınlığında tabaka üretilmiştir.

Mikroyapı incelemeleri için numuneler metalografik olarak hazırlanıp  $HNO_3$  ve alkol karışımı çözeltide dağlanmıştır. Böylece kaplama tabakası kesiti ve kaplama tabakası-ana malzeme ara yüzeyi optik mikroskopi ve SEM için hazır hale getirilmiştir. SEM analizleri için ise FEI QUANTA 250 FEG marka SEM cihazı kullanılmıştır. SEM ile birlikte, kaplama tabakası ve ara bölgesinde oluşması muhtemel fazlar için EDS analizleri de yapılmıştır. Kaplama tabakasında oluşan fazları tespit etmek amacıyla X-ışını analizi yapılmıştır. X-ışını analizleri, Rigaku Ultra IV XRD marka cihaz kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Sertlik ölçümleri Shimadzu HVM-G21 marka mikrosertlik cihazı ile ölçülmüştür. Kaplamaların sertlikleri 200 g yükte 10 sn sürede alınmıştır.

Aşınma deneyi öncesi numuneler 1200 mesh zımparaya kadar zımparalanmış ve yüzeyleri elmas solüsyonla parlatılmıştır ve daha sonra da ultrasonik olarak temizlenmiştir. Temizleme Elma MF3/130KHz cihazında saf su içinde 10 dakika 35KHz'de yapılmıştır. Aşınma deneylerinde Bruker marka modeli UMT-2-SYS olan mekanik test cihazı kullanılmıştır. Aşınma mikro çizik şeklinde yapılmıştır. Aşındırıcı uç olarak Rockwell uç kullanılmıştır. Çizik boyu tüm numuneler için 2 mm olarak seçilmiştir. Korozyon testleri için, numuneler zımparalanıp, ultrasonik banyoda temizlenmiştir. Ölçümler, Referans 3000 Potentiostat / Galvanostat / ZRA korozyon sistemi kullanılarak yapılmıştır. Korozyon deneyleri, numuneler oda sıcaklığında (25 °C), ağırlıkça % 3.5'lik bir NaCl solüsyonunda (pH 3) 1 saat bekletildikten sonra gerçekleştirilmiştir. Korozyon hızlarını belirlemek için korozyon potansiyelleri için ekpolasyon yapan anodik ve katodik Tafel bölgeleri kullanılmıştır. Polarizasyon direnci değerleri korozyon potansiyeline yakın akım-potansiyel eğrilerinin lineer bölgelerinden hesaplanmıştır.

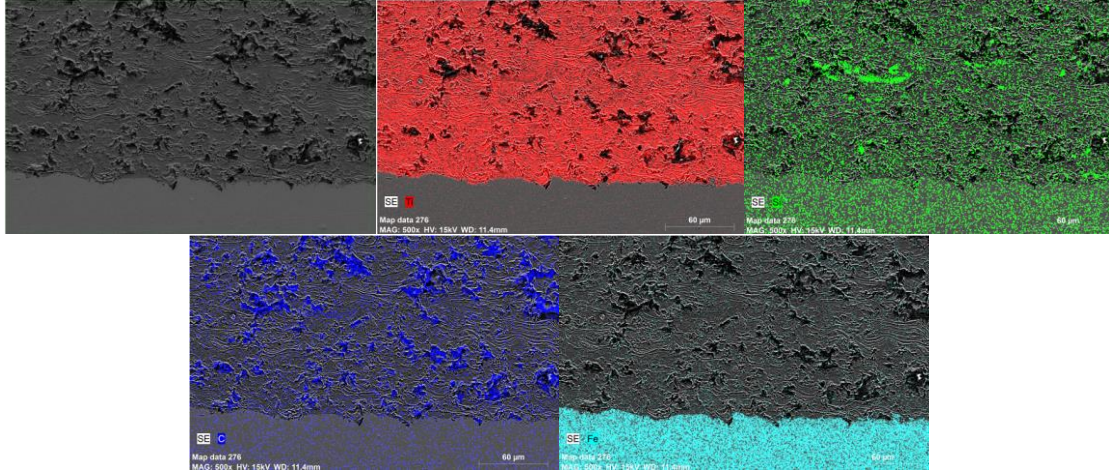
### 3. Bulgular ve Tartışma

Ti tozu içerisine ağırlıkça % 35 SiC tozunun ilave edilmesiyle elde edilen toz karışımının AISI 304 paslanmaz çelik yüzeyine püskürtülmesiyle oluşturulan  $Ti_3SiC_2$  içerikli kaplamalar Şekil 1'deki optik fotoğraflarda görülmektedir. Bu kaplamalarda, lamelli mikroyapı görülmektedir. Bu yapı termal sprey kaplamalarında genel olarak oluşmaktadır [13,14]. Lamel formulu yapı, ergimiş partiküllerin altlık malzemeye çarpması, deforme olması ve katı formu alması şeklinde oluşur [15,16]. Ana malzeme yüzeyine püskürtülen toz partiküller, ana malzeme yüzeyine çarptığı zaman kinetik enerjileri ısı ve deformasyon enerjisine dönüşür. Ana malzemeye temas anında toz partikülleri ısılarını ana malzemeye vererek soğuyup katılaşırlar [17].



Şekil 1. Genel kaplama görünümü, arayüzeyi ve kaplama tabakasının optik fotoğrafları

En az iki bileşenli malzemelerde, bileşenlerin birbiri içerisinde dağılımı malzemenin hem fiziksel hem de mekanik olarak önem arz etmektedir. SiC partiküllerinin veya çözülmüş haldeki Si ve C'un kaplamadaki dağılım özelliğini incelemek için yapılan MAP analizi Şekil 2'de verilmiştir. Bu analiz sonucuna göre Ti, SiC, Si ve C kaplamada homojen bir dağılım göstermiştir.

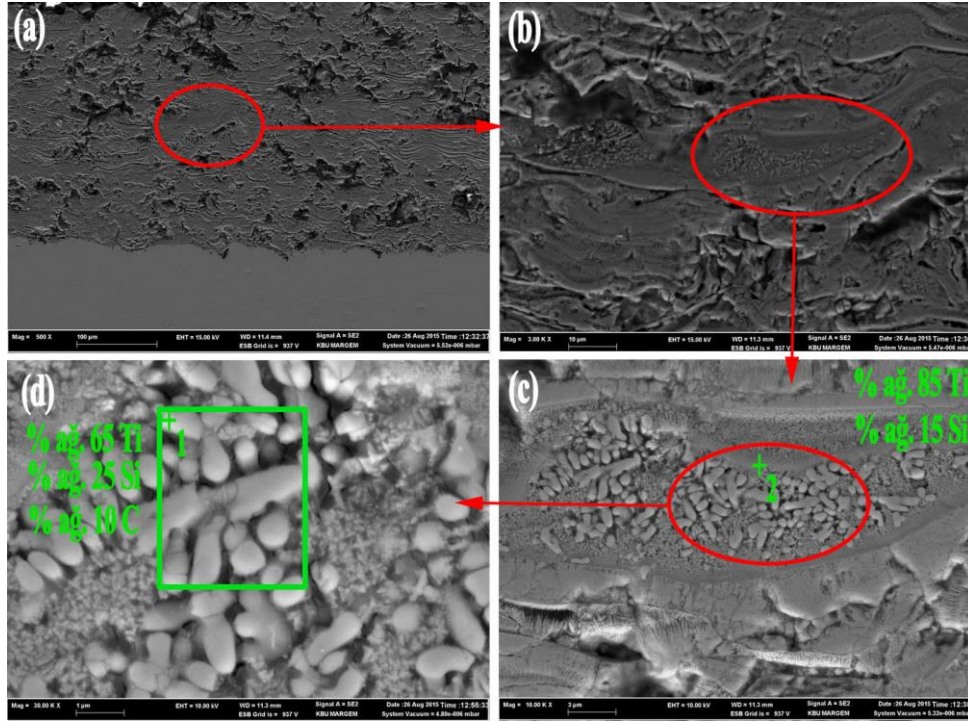


Şekil 2. Ti-SiC kaplama tabakasının MAP analizi

Şekil 3'de Ti-SiC kaplamasının detaylı SEM fotoğrafı ve EDS verileri görülmektedir. SEM fotoğrafları bir önceki fotoğrafın ard arda yüksek büyütülmüş şeklidir. Yapıda Ti ile yapıda kısmen çözünmemiş SiC partiküllerinin birleştiği bölgelerde gözeneklerin olduğu SEM fotoğraflarından görülmektedir (Şekil 3a-b). Lamelli yapının orta kısmında fasulye tanelerine benzer bir yapı göze çarpmaktadır. Bu taneler lamelli yapı arasında gelişmiş güzel bir dağılım sergilemektedir (Şekil 3c-d). Bu tanelerin boyutları 500 nm ile 1 µm arasında değişmektedir. Aynı SEM fotoğraflarında 1 nolu bölge ve 2 nolu noktanın EDS analizi de verilmiştir. 1 nolu bölge ve 2 nolu nokta sırasıyla ağırlıkça % 65 Ti, % 25 Si, % 10 C ve % 85 Ti, % 15 Si kimyasal bileşime sahiptir. 1 nolu bölgesinin  $Ti_3SiC_2$  fazlı yapı olduğu düşünülmektedir. 2 nolu bölge ise Ti bakımından zengin Ti-Si katı çözeltilisini temsil etmektedir. Literatürde yapılan çalışmalarda da Ti-Si katı çözeltili kolları arasına  $Ti_3SiC_2$  fazının gömüldüğü

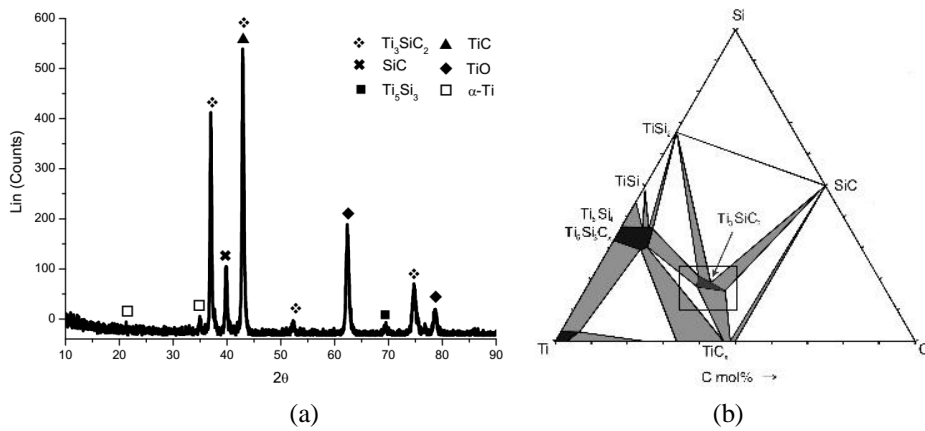


ifade edilmektedir. Yine MAX fazı tanelerinin mikron altı yapıya sahip olduğu da rapor edilmektedir [18].



Şekil 3. Ti-SiC kaplamasının detaylı SEM fotoğrafları

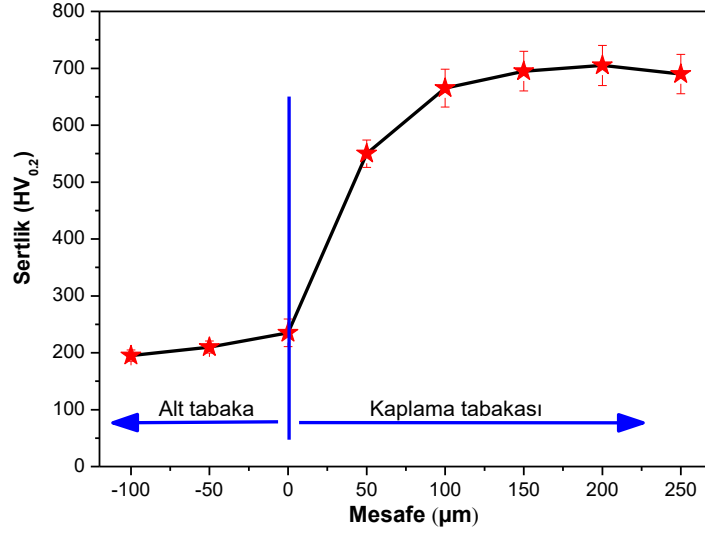
Şekil 4a'da plazma spreyle üretilen Ti-SiC kaplamasının XRD grafiği ve Şekil 4b'de ise Ti-Si-C üçlü faz diyagramı görülmektedir. Kaplamalarda  $Ti_5Si_3$ , TiC, SiC, TiO,  $\alpha$ -Ti ve  $Ti_3SiC_2$  fazları oluşmuştur. SiC, TiO ve  $\alpha$ -Ti dışında kaplama tabakasında oluşan iki bileşenli ve üç bileşenli fazlar kaplama işleminden önce tozların topaklaşmalarını önlemek amacıyla homojen bir şekilde karıştırılmış olduğunu göstermektedir [12]. Böylece toz partiküllerin birbiriyle olan temas yüzeyi genişletilmiş ve bu şekilde reaksiyona girmeleri kolaylaştırılmıştır. Yapılan kaplamaların mikroyapısında ikili, üçlü ve katı çözeltilerin olduğu teorik olarak Şekil 4b'deki Ti-Si-C üçlü faz diyagramından tespit edilmektedir.  $Ti_3SiC_2$  fazının oluşum reaksiyonu plazma spreyle işleminde çok kısa sürede meydana gelmektedir. Muhtemel olabilecek oluşum reaksiyonları ve ara reaksiyonları  $SiC \rightarrow Si(s/g) + C(k)$ ;  $Ti + C \rightarrow TiC$  ve  $Ti-Si + TiC \rightarrow Ti_3SiC_2$  şeklindedir [13,20].



Şekil 4. (a) XRD grafiği ve (b) Ti-Si-C üçlü faz diyagramı [21]

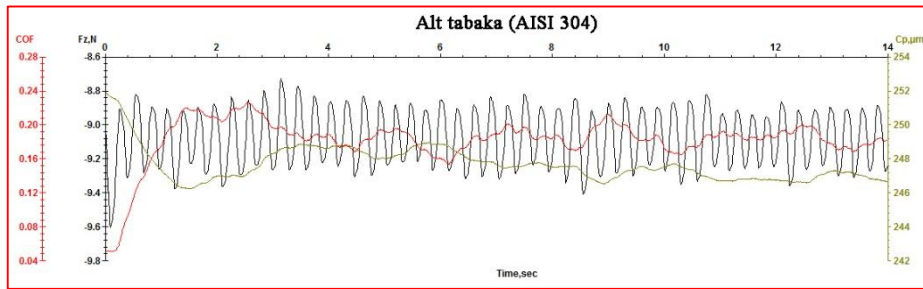
Plazma spreyle AISI 304 paslanmaz çelik üzerinde üretilen Ti+% 35 SiC (% ağırlık) kaplamasının mesafeye bağlı olarak mikrosertlik değişim grafiği Şekil 5'de verilmiştir. Alt malzemeye nazaran

kaplama tabakasında belirgin bir sertlik artışı olmuştur. Alt tabakanın sertliği yaklaşık 205 HV<sub>0.2</sub> iken, kaplama tabakasının sertliği 550-705 HV<sub>0.2</sub> arasında değişmektedir. Buradan anlaşılacağı üzere kaplama tabakası alt tabakaya göre 3,5 kat daha sert hale gelmiştir.

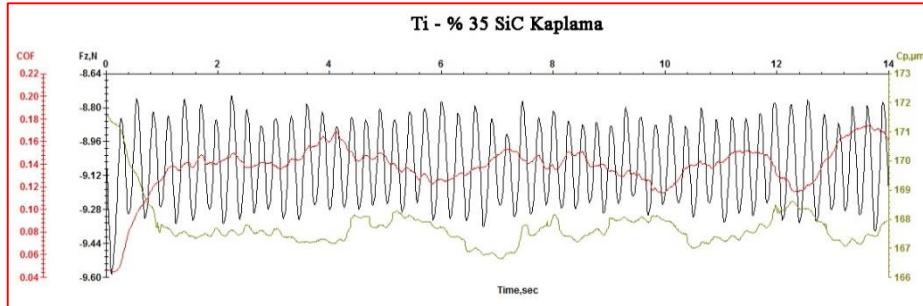


Şekil 5. Ti-SiC kaplamanın mikrosertlik profili

Alt tabaka ve kaplama tabakalarının çizilmeye karşı davranışlarını belirlemek için çizik testi yapılmıştır. Numunelerin çizik testi grafikleri Şekil 6'da görülmektedir. Grafikler incelendiğinde kaplama tabakasının sürtünme katsayısı ~0.15 olup, alt malzemenin sürtünme katsayısına ~0.22 göre oldukça düşük olduğu anlaşılmaktadır. Bu durum ikili ve üçlü sert fazların mikroyapıda bulunmasından kaynaklanmaktadır. Kaplama mikroyapısında oluşan bu sert fazlar dispersiyon mukavemeti ile kaplama tabakasına mukavemet kazandırmıştır. Bunun yanında TiO gibi oksitlerde yağlayıcı etkisi göstererek sürtünme katsayısını düşürmüştür [22]. Aşınma testi sonrası numunelerdeki aşınma kaybı derinlik olarak kıyaslandığı zaman, alt tabakada kayıp yaklaşık 250 µm iken, kaplama tabakasında yaklaşık 170 µm olmuştur. Tüm bu değerlendirmeler neticesinde kaplama tabakasının alt tabakaya göre aşınma karşı daha dirençli olduğu açıkça söylenebilir.



(a)



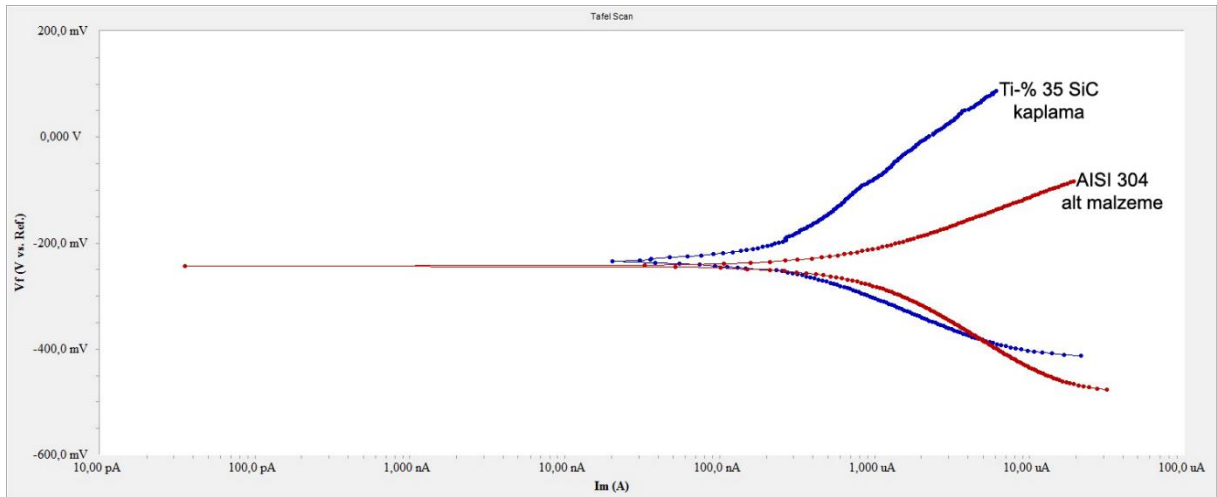
(b)

Şekil 6. Alt tabaka ve kaplama tabakalarının çizik testi grafikleri

% 3,5 NaCl korozif ortamda belirlenen alt malzeme ve kaplamaların potansiyel değişimi polarizasyon eğrileri Şekil 7’de gösterilmiştir. Potansiyodinamik polarizasyon ölçümlerinin sonuçları Tablo 1’de özetlenmiştir. Korozyon potansiyeli ( $E_{kor}$ ), anodik ve katodik Tafel eğrileri ( $\beta_a$  ve  $\beta_c$ ), korozyon direnci ( $R_p$ ), korozyon hızı ve korozyon akımı ( $i_{kor}$ ) Tafel eğrilerinden bulunmuştur. Korozyon direnci, Stern ve Geary denklemi ile hesaplanmıştır [23].

$$I_{kor} = \frac{\beta_a \times \beta_c}{2.303 \times R_p (\beta_a + \beta_c)}$$

Burada,  $i_{kor}$  korozyon akımı yoğunluğu,  $R_p$  polarizasyon direnci (korozyon direnci) ve  $\beta_a$  ve  $\beta_c$  sırasıyla anodik ve katodik Tafel eğimleridir. Hem Şekil 7’deki eğrilerden hem de Tablo 1’deki verilerden görüldüğü üzere numunelerin korozyon potansiyel değerleri yakın olmasına rağmen, korozyon akımı değerleri farklıdır. Alt malzeme ve kaplama tabakası için  $E_{kor}$  değerleri -243 mV ve -233 mV iken,  $i_{kor}$  değerleri ise sırasıyla  $0,714 \mu A cm^{-2}$  ve  $0,249 \mu A cm^{-2}$  değerindedir. Korozyon ile ilgili genel yaklaşım şudur: düşük korozyon akımı ve yüksek korozyon potansiyeli, yüksek korozyon direnci anlamına gelmektedir [24,25]. Tablo 1’e göre alt malzemenin korozyon direnci ( $R_p$ )  $37,87 k\Omega.cm^2$  iken, kaplama tabakası için bu değer  $133,07 k\Omega.cm^2$  olarak hesaplanmıştır. Bu verilerden kaplama tabakasının alt malzeme göre 3,5 kat daha korozyona dayanıklı olduğu açıkça görülmektedir.



Şekil 7. Alt malzeme ve kaplamaların potansiyel değişimi polarizasyon eğrileri

Tablo 1. Alt malzeme ve kaplama tabakasının elektrokimyasal sonuçları

Numuneler	$E_{cor}$ (mV)	$I_{cor}$ ( $\mu A cm^{-2}$ )	$\beta_a$ (mV)	$\beta_c$ (mV)	Korozyon oranı (mpy)	Korozyon direnci ( $k\Omega.cm^2$ )
AISI 304 alt malzeme	-243	0,714	107,7	147,6	103,3	37,87
Ti-% 35 SiC kaplama	-233	0,249	243,7	111,1	36,05	133,07

#### 4. Sonuç ve Öneriler

Ti<sub>3</sub>SiC<sub>2</sub> MAX fazlı kaplamanın üretimi başarıyla gerçekleştirilmiştir. Şu sonuçlara ulaşılmıştır:

1. Kaplama tabakası olarak yaklaşık 250  $\mu m$  kalınlığında tabaka elde edilmiştir. Ti matrisi içerisinde seramik partiküllerin, Ti ve Si çoğunlukla homojen olarak dağıldığı SEM mapping fotoğraflarından anlaşılmaktadır. Kaplamada düşük seviyede gözeneklilik mevcuttur. Lamellerin arasında nano boyutta gelişmiş güzel dağılmış olan fasulye tanesi görünümünde yapılar tespit edilmiştir.
2. XRD analizine göre kaplama mikroyapısında Ti<sub>5</sub>Si<sub>3</sub>, TiC, SiC, TiO,  $\alpha$ -Ti ve Ti<sub>3</sub>SiC<sub>2</sub> ikili, üçlü faz ve katı çözeltiler oluşmuştur.

3. Kaplamanın sertliğinde alt malzemeye göre belirgin bir artış olmuştur. Bu yapıdaki, sert fazların varlığından kaynaklanmaktadır.
4. Çizik testi sonuçlarına göre kaplama tabakasının alt malzemeye göre çizilmeye karşı daha dirençli olduğu anlaşılmaktadır. Bu, kaplamanın sert bir yapıya sahip olmasından kaynaklanmaktadır.
5. Yapılan korozyon testine göre, kaplamanın korozyon direnci alt malzemeye göre 3,5 kat daha fazladır.

### Teşekkür

KÜBAP 01/2014-19 numaralı proje ile maddi destek sağlayan Kastamonu Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Projeleri (KÜBAP) Birimine, teşekkür ederiz.

### Kaynaklar

- [1] Barsoum M.W. 2000. The  $M_{N+1}AX_N$  phases: A new class of solids: Thermodynamically stable nanolaminates. *Progress in Solid State Chemistry*, 28: 201-281.
- [2] Sun Z.M., Hashimoto H., Zhang Z.F., Yang S.L., Tada S., 2006. Synthesis and Characterization of a Metallic Ceramic Material-- $Ti_3SiC_2$ . *Materials Transactions*, 47 (01): 170-174.
- [3] Amini S., Ni C., Barsoum M.W. 2009. Processing, microstructural characterization and mechanical properties of a  $Ti_2AlC$ /nanocrystalline Mg-matrix composite. *Composites Science and Technology*, 69 (3-4): 414-420.
- [4] Palmquist J.P., Li S., Persson P.O.A., Emmerlich J., Wilhelmsson O., Hogberg H., Katsnelson M.I., Johansson B., Ahuja R., Eriksson O., Hultman L., Jansson U. 2004.  $M_{n+1}AX_n$  phases in the Ti-Si-C system studied by thin-film synthesis and ab initio calculations. *Physical Review B*, 70 (16): 165401-1-165401-13.
- [5] Lin Z., Zhuo M., Zhou Y., Li M., Wang J. 2006. Microstructures and Theoretical Bulk Modulus of Layered Ternary Tantalum Aluminum Carbides. *Journal of the American Ceramic Society*, 89: 3765-3769.
- [6] Altuncu E., Türkan S., Saka E., Atasoy A. 2015. Max fazı alaşımları ve termo-fiziksel özellikleri. *Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi*, 8 (1): 75-86.
- [7] Bouhemadou A. 2009. Structural, electronic and elastic properties of MAX phases  $M_2GaN$  (M=Ti, V and Cr). *Solid State Sciences*, 11(11): 1875-1881.
- [8] Music D., Sun Z., Schneider J.M., 2005. Electronic structure of  $Sc_2AC$  (A=Al, Ga, In, Tl). *Solid State Communications*, 133 (6): 381-383.
- [9] Music D., Sun Z., Voevodin A.A., Schneider J.M. 2006. Electronic structure and shearing in nanolaminated ternary carbides. *Solid State Communications*, 139 (4): 139-143.
- [10] Bouhemadou A., Khenata R., Chegaar M. 2007. Structural and elastic properties of  $Zr_2AlX$  and  $Ti_2AlX$  (X = C and N) under pressure effect. *The European Physical Journal B*, 56 (3): 209-215.
- [11] Bouhemadou A. 2008. Prediction study of structural and elastic properties under pressure effect of  $M_2SnC$  (M=Ti, Zr, Nb, Hf). *Physica B: Condensed Matter*, 403 (17): 2707-2713.
- [12] Gauthier V., Cochepein B., Dubois S., Vrel D. 2006. Self-Propagating High-Temperature Synthesis of  $Ti_3SiC_2$ : Study of the Reaction Mechanisms by Time-Resolved X-Ray Diffraction and Infrared Thermography. *Journal of the American Ceramic Society*, 89 (9): 2899-2907.
- [13] Sun Z.M., Yang S., Hashimoto H., Tada S., Abe T. 2004. Synthesis and Consolidation of Ternary Compound  $Ti_3SiC_2$  from Green Compact of Mixed Powders. *Materials Transactions*, 45 (2): 373-375.
- [14] Li C.J., Yang G.J., Ohmori A. 2006. Relationship between particle erosion and lamellar microstructure for plasma-sprayed alumina coatings. *Wear*, 260: 1166-1172.
- [15] Lee C.H., Kim H.K., Choi H.S., Ahn H.S. 2000. Phase transformation and bond coat oxidation behavior of plasma-sprayed zirconia thermal barrier coating. *Surface and Coatings Technology*, 124: 1-12.
- [16] Heimann R.B. 1996. Plasma-spray coating, VCH, New York.
- [17] Pawlowski L. 2008. The science and engineering of thermal spray coatings. John Wiley & Sons, Ltd., England.

- [18] Yılmaz R., Kurt A.O., Demir A., Tatlı Z. 2007. Effects of TiO<sub>2</sub> on the Mechanical Properties of the Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-TiO<sub>2</sub> Plasma Sprayed Coating. *Journal of the European Ceramic Society*, 27: 1319-1323.
- [19] El-Raghy T., Barsoum M.W. 1999. Processing and Mechanical Properties of Ti<sub>3</sub>SiC<sub>2</sub>: I, Reaction Path and Microstructure Evolution. *Journal of the American Ceramic Society*, 82(10): 2849–2854.
- [20] Kosolapova T.Y. 1990. *Handbook of High Temperature Compounds: Properties, Production, Applications*, Hemisphere Publishing Corp., New York
- [21] Sun Z.M., Zhang Z.F., Hashimoto H., Abe T. 2002. Ternary Compound Ti<sub>3</sub>SiC<sub>2</sub>: Part I. Pulse Discharge Sintering Synthesis. *Materials Transactions*, 43 (3): 428-431.
- [22] Weber K., Kuhn H.A. 2012. Lead-Free Wrought Copper Alloys for Bushings and Sliding Elements. In *Copper Alloys-Early Applications and Current Performance-Enhancing Processes*. InTech., 69-92.
- [23] Stern M., Geary A.L. 1957. Electrochemical Polarization I. A Theoretical Analysis of the Shape of Polarization Curves. *Journal of the Electrochemical Society*, 104: 56-63.
- [24] Sun J., Fu Q.G., Guo L.P., Liu Y., Huo C.X., Li H.J. 2016. Effect of filler on the oxidation protective ability of MoSi<sub>2</sub> coating for Mo substrate by halide activated pack cementation. *Materials & Design* 92: 602-609.
- [25] Bakhsheshi-Rad H.R., Hamzah E., Ismail A.F., Daroonparvar M., Yajid M.A.M., Medraj M. 2016. Preparation and characterization of NiCrAlY/nano-YSZ/PCL composite coatings obtained by combination of atmospheric plasma spraying and dip coating on Mg–Ca alloy *Journal of Alloys and Compounds*, 658: 440-452.

---

*Araştırma Makalesi / Research Article*

---

## **Biyodizel Yan Ürünü Olan Gliserolden Üretilen Katalizör ile Yakıt Katkı Maddesi Bütil Levulinat Sentezi**

Derya ÜNLÜ\*

*Kocaeli Üniversitesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Kocaeli*

---

### **Öz**

Biyodizelin yan ürünü olarak gliserol üretiminin fazlalığı gliserolün değerlendirilmesi için araştırmacıları yeni ürün arayışlarına itmiştir. Bu çalışmada biyo-türevli gliserol, tek bir adımda karbonizasyon ve sülfonasyon yoluyla heterojen katı asit katalizör sentezi için bir karbon başlatıcısı olarak kullanılmıştır. Üretilen katalizör, yakıt biyokatki maddesi bütil levulinat sentezlemek üzere levulinik asit ile bütanolün esterleşme reaksiyonunu katalizlemek için kullanılmıştır. Katalizör karakterizasyonu; FTIR, TGA ve XRD cihazları kullanılarak yapılmıştır. Katalizörün katalitik aktivitesini belirlemek için deneyler farklı reaksiyon sıcaklıklarında, farklı molar besleme oranlarında ve farklı katalizör yükleme oranlarında kesikli reaktörde gerçekleştirilmiştir. En yüksek dönüşüm değeri 70°C’de, molar besleme oranı (alkol/asit) 9:1 kullanılarak ve %7 katalizör yükleme oranında altı saatin sonunda %96.25 olarak elde edilmiştir. Katalizör esterleşme reaksiyonunun polar ortamından zarar görmemektedir. Bu nedenle, katalitik aktivitesini kaybetmeden sekiz kez tekrar kullanılmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Biyodizel, Bütil Levulinat, Gliserol, Karbon Katalizör, Levulinik Asit.

---

## **Synthesis of Fuel Additive Butyl Levulinate by Biodiesel Byproduct Glycerol Derived Catalyst**

### **Abstract**

Researchers search of new products for the consumption of the excess glycerol which is produced as byproduct of biodiesel. In this study, bio-derived glycerol was used as a carbon precursor for heterogeneous solid acid catalyst synthesis via partial sulphonation and carbonization in a single step. The as-produced catalyst was used to catalyze levulinic acid esterification reaction with butanol to synthesize fuel bioadditive butyl levulinate. Catalyst characterization was carried out by using FTIR, TGA and XRD equipments. Experiments were conducted at different reaction temperatures, different molar feed ratios, and different catalyst loading ratios in a batch reactor for determination of the catalytic activity of the catalyst. The highest conversion value was obtained as 96.25% for 6 h while the reaction conditions are reaction temperature of 70°C, molar feed ratio of (alcohol/acid) 9:1, catalyst concentration of 7 wt.%. The catalyst does not damage in polar reaction medium. For this reason, it was reused eight times without losing catalytic activity.

**Keywords:** Biodiesel, Butyl Levulinate, Glycerol, Carbon Catalyst, Levulinic Acid.

---

### **1. Giriş**

Hızlı nüfus artışı ve artan endüstriyel gelişmeler enerji ihtiyacının giderek artmasına sebep olmaktadır. Bu artış; petrol rezervlerinin tükenmesi, küresel ısınma ve çevresel sorunlara neden olurken biyokütleden elde edilen yenilenebilir biyoyakıtlara olan ilgiyi de arttırmıştır. Ayrıca petrol rezervlerinin azalması, alternatif enerji kaynaklarının geliştirilmesine yönelik yürütülen çalışmaların artmasını sağlamıştır. Biyokütle alternatif enerji kaynaklarından biri olarak son yıllarda yapılan çalışmalarda oldukça öne çıkmaktadır. Biyokütle temelli yakıtlar, çevreci özellikleri ve yenilenebilir yapılarından dolayı fosil yakıtlara alternatiflerdir. Bu yakıtlar CO<sub>2</sub> emisyonunu azaltarak çevre kirliliğini azaltırlar.

---

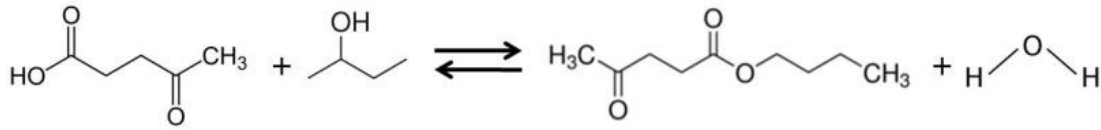
\*Sorumlu yazar: [deryaunlu@gmail.com](mailto:deryaunlu@gmail.com)

Geliş Tarihi: 14.08.2018, Kabul Tarihi: 31.10.2018

Bu sebeple yenilenebilir enerji kaynaklarından biyokütle kökenli biyodizel, temiz ve ucuz bir alternatif yakıt olarak oldukça ilgi görmektedir [1].

Biyodizel üretimi, petrol türevli yakıtlara göre sahip olduğu avantajlarından dolayı son birkaç yıldır sürekli artmaktadır. Biyodizel yenilenebilir bir enerji kaynağı olması, biyobozunur olması, toksik olmaması ve sülfürlü ya da aromatik türleri yapısında bulundurmaması gibi özelliklerinden dolayı kısa zamanda uygulanabilir ve gelişen kaynaklardan biri olarak ortaya çıkmıştır [1-3].

Biyodizel üretim prosesinin yan ürünü olan gliserol proses ekonomisini oldukça fazla etkiler. 100 kg biyodizelden 10 kg atık gliserol elde edilmektedir. Bu yüzden atık gliserolün yüksek değerli kimyasallara dönüşümü biyodizelin ekonomisi açısından önemlidir. Literatürde bu poliölün değerli ürünlere dönüşümü rapor edilmiştir. Gliserol; eterifikasyon, hidrojenoliz, oksidasyon, transesterifikasyon ve dehidrasyon gibi çeşitli metotlarla farklı kimyasallara dönüştürülebilmektedir [4]. Bu çalışmada ise tüm bunlardan farklı olarak gliserolden yeşil heterojen katalizör sentezlenerek karakterizasyon testleri yapılmış ve yakıt katkı maddesi bütül levulinatın sentez reaksiyonu olan esterleşme reaksiyonunda katalitik aktivitesi incelenmiştir.



Şekil 1. Levulinik asit ve bütanolün esterleşme reaksiyonu

Bütül levulinat üretimi, levulinik asit ile bütanolün homojen ya da heterojen katalizörler varlığında esterleşme reaksiyonu ile gerçekleşir. Şekil 1'de levulinik asit ile bütanolün esterleşme reaksiyonu gösterilmiştir. Özellikle homojen katalizörlerle kısa sürede yüksek verim elde edilmesi mümkündür. Ancak homojen katalizörler toksik, korozif, çevreye zararlı ve reaksiyondan geri kazanımı zor olan katalizörlerdir. Bu yüzden bu tür katalizörleri çevreci katalizörlerle değiştirmek önem kazanmaktadır. Bu homojen katalizörlerin dezavantajlarının üstesinden gelmek için heterojen katalizörler tercih edilmektedir. Heterojen katalizörlerin geri kazanımı ve tekrar kullanılabilirliği mümkündür [5, 6]. Literatürde bütül levulinat sentezinde reçineler, zeolitler, heteropoliasitler gibi çeşitli katı asit katalizörleri kullanılmıştır [7-10]. Bu katalizörler su varlığında asit katalizli reaksiyonlarda yeterli performans sağlayamazlar. Bu nedenle, basit hazırlama yöntemleri kullanılarak, reaksiyon ortamında çözünmeyecek, reaksiyon sonrası yapısında değişim gözlenmeyecek, güçlü aktif bölgelere sahip, yeniden kullanılabilen, ekonomik ve suya dayanıklı katı-asit katalizörlerinin sentezlenmesine ihtiyaç vardır. Bu özelliklere sahip karbon temelli katı asit katalizörleri, substratı konsantre halde 15 saat 250 °C'de ısıtmak suretiyle benzen, naftalen, antrasen, perilen ve koronen gibi aromatik hidrokarbonlardan sentezlenmektedir. Ancak bu katalizörlerinde 100 °C'nin üzerinde sıvı faz reaksiyonda çözünme, hızlı katalitik aktivite kaybı gibi bazı dezavantajları vardır. Karbon katalizörlerin diğer bir sınıfı; şeker, nişasta veya selüloz gibi doğal ürünlerin karbonizasyonu ve ardından sülfonasyonu ile elden edilen karbon katalizörlerdir. Bu katalizörlerinde sentezi uzun ve yorucudur. Öncelikle substrat 400 °C'ye ısıtılır, sonrasında büyük hacimde konsantre sülfirik asitle 15 saat 150 °C'de sülfolanır. Bu çalışmada ise, sülfonik gruplar içeren karbon katalizör, ekonomik bir hammadde olan biyodizel yan ürünü olan gliserolden üretilmiştir. Gliserol bazlı karbon katalizörü, karbonizasyon ve gliserolün sülfirik asit ile sülfonasyonu ile 40 dakika içinde tek adımda sentezlenmiştir. Sülfolanmış gliserol temelli karbon katalizör, su ve organik çözücülerde çözünmez ve katalizörün asit bölgeleri esterleşme reaksiyonundan üretilen polar ortamdan zarar görmez [11]. Bu nedenle sentezlenen katalizör bütül levulinat sentezi ve diğer asit katalizörlü reaksiyonlar için umut vaat edici bir katalizördür.

Literatürde gliserol temelli karbon katalizörün kullanıldığı farklı uygulamalar mevcuttur. Okoye ve arkadaşları gliserol temelli karbon katalizörün katalitik aktivitesini gliserol ile asetik asitin esterleşme reaksiyonunda incelemişlerdir. 110 °C reaksiyon sıcaklığında, gliserolün asetik asite molar oranı 3 ve ağırlıkça %2 katalizör miktarında 3 saatin sonunda %88 diasetin ve triasetin seçiciliği ve %99 gliserol dönüşümü elde etmişlerdir [12]. Devi ve arkadaşları ise biyodizel sentezinde gliserol temelli karbon katalizörü kullanmışlardır. Palmitik asit ve metanolün esterleşme reaksiyonu ile biyodizel üretiminde 65 °C'de, ağırlıkça %10 katalizör varlığında 4 saatin sonunda %99 dönüşüm elde etmişlerdir [11]. Bir başka çalışmada ise Varkolu ve arkadaşları, levulinik asit ile etanolün esterleşme reaksiyonunu gliserol temelli karbon katalizör varlığında gerçekleştirmişlerdir. Deneysel çalışmalar sonucunda %99 etil

levulinat verimi elde etmişlerdir [13]. Ummadisetti ve arkadaşları gliserol temelli karbon katalizörü kullanarak pentaeritritol diasetallerini üretmişlerdir. Katalizörlerin aktivitesini kaybetmeden ve reaksiyon karışımında çözünmeden 5 kez kullanılabileceğini ifade etmişlerdir [14]. Ribeiro ve arkadaşları katalitik ıslak peroksit oksidasyonunda gliserol temelli karbon katalizörü kullanmışlardır. 2-nitrofenolün katalitik bozunmasında %80 dönüşüm elde etmişlerdir [15]. Gangadhar ve arkadaşları 1-oktanolün asetilasyonunu ağırlıkça %10 gliserol temelli karbon katalizörün varlığında gerçekleştirmişler ve %90 verim elde etmişlerdir [16].

Bu çalışmada gliserolden sentezlenen katalizör öncelikle XRD, FTIR ve TGA kullanılarak karakterize edilmiştir. Ardından katalitik aktivitesi levulinik asit ile bütanolün esterleşme reaksiyonunda test edilmiştir. Reaksiyon sıcaklığının, katalizör miktarının ve molar besleme oranının asit dönüşümüne etkisi incelenmiştir. Katalizörün katalitik dayanımı da tekrar kullanılabilirlik deneyleri ile incelenmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Materyaller

Yakıt katkı maddesi bütül levulinat sentezinde kullanılan reaktanlar levulinik asit ve bütanol ile katalizör hazırlamada kullanılan gliserol Merck firmasından temin edilmiştir. Sülfirik asit ise Sigma Aldrich firmasından satın alınmıştır.

### 2.2. Katalizör Hazırlama

Ağırlıkça %20 gliserol ve %80 sülfirik asit içeren çözelti oda sıcaklığından 180 °C'ye ısıtılarak karıştırılmıştır. Bu ısıtma esnasında karbonlaşma ve sülfonasyon işlemi gerçekleşmektedir. Çok halkalı aromatik karbon bileşiğinin eldesi ve oluşan köpüğün kesilmesi için çözelti yaklaşık 30 dakika 180°C'de tutulmuştur. Sonrasında elde edilen ürün oda sıcaklığına soğutulmuştur. Soğuyan malzeme yıkama suyu nötr pH değerini gösterene kadar sıcak su ile karıştırılarak yıkanmıştır. Kristallenen ürün filtre edilerek gliserol temelli karbon katalizör elde etmek için 120 °C'de 2 saat kurutulmuştur [11].

### 2.3. Katalizör Karakterizasyonu

Gliserol temelli karbon katalizörün kristal yapısı X-ışını difraktometresinde (XRD) analiz edilmiştir. Analiz, Miniflex 2 Rigaku Japan X-ışını difraktometresinde Cu X-ışını tüpü ( $\lambda(\text{CuK}\alpha)=0.15418$  nm) kullanılarak yapılmıştır. Test parametreleri 45 kV, 40 mA, 0.02 derecelik açar aralığı ve çekim hızı 2 °/dk olarak alınmıştır. Analizler 6-80° 2 $\theta$  (2 Theta) aralığında gerçekleştirilmiştir.

Hazırlanan gliserol temelli karbon katalizörün bağ yapıları Fourier Dönüşümlü Infrared Spektrofotometre (FTIR) cihazı ile analiz edilmiştir. FTIR analizi Kocaeli Üniversitesi Kimya Mühendisliği Bölümü Polimer Laboratuvarı'ndaki Perkin Elmer marka cihaz ile yapılmıştır. Analizler 4000–650 cm<sup>-1</sup> dalga boyları arasında yapılmıştır.

Katalizörün termal dayanımı ise Kocaeli Üniversitesi Kimya Mühendisliği Bölümü Polimer Laboratuvarı'ndaki Mettler Toledo Termogravimetrik Analiz (TGA) cihazı kullanılarak incelenmiştir. Gliserol temelli karbon katalizör örneği oda sıcaklığından 800 °C'ye 10°C/dk ısınma hızı ile ısıtılmıştır.

### 2.4. Bütül Levulinat Sentezi

Bütül levulinat levulinik asit ile bütanolün esterleşme reaksiyonu ile elde edilmiştir. Reaktanlar ayrı ayrı reaksiyon sıcaklığına ısıtılmış ve sonrasında bir araya getirilerek karıştırılmıştır. Karışıma gliserol temelli katalizör ilave edilerek reaksiyon başlatılmıştır. Reaksiyon üç boyunlu cam reaktörde gerçekleştirilmiştir. Reaksiyonda sıcaklık ve karıştırma işlemi için ısıtıcı manyetik karıştırıcı kullanılmıştır. Reaksiyon sıcaklığı termokapl ile kontrol edilmiştir. Reaksiyon 500 rpm karıştırma hızında gerçekleştirilmiştir. Reaksiyon sırasında meydana gelebilecek buharlaşma kayıplarını önlemek için reaktöre bir geri soğutucu bağlanmıştır. Reaksiyon hacmi 50 ml'de sabit tutulmuştur. Reaksiyon süresi 6 saat olarak belirlenmiştir. Saat başı numune alınarak asit dönüşüm değerleri 0.1 M KOH ile titre edilerek hesaplanmıştır. Fenolftalein indikatör olarak kullanılmıştır. Böylece asit-baz titrasyon tekniği



kullanılarak levulinik asitin dönüşüm değerleri hesaplanmıştır. Dönüşüm hesabında kullanılan formül Eşitlik 1’de verilmiştir.

$$x(\%) = \frac{n_0 - n_t}{n_0} * 100 \quad (1)$$

Bu eşitlikte  $n_0$  asitin başlangıç anındaki mol miktarı,  $n_t$  ise reaksiyonun herhangi bir anındaki asit mol değeridir. Asitin mol miktarındaki değişim ise serbest asit miktarı ile belirlenmiştir. Serbest asit miktarı, Eşitlik 2 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$SA(\%) = \frac{N_{KOH} V_{KOH} MA_{Asit}}{1000 * m_{numune}} \quad (2)$$

Eşitlik 2’de SA, serbest asit miktarını,  $N_{KOH}$  kullanılan titrantın normalitesini,  $V_{KOH}$  kullanılan titrantın hacmini,  $MA_{asit}$  levulinik asitin molekül ağırlığını,  $m_{numune}$  ise titrasyonda kullanılan numune ağırlığını ifade etmektedir [17].

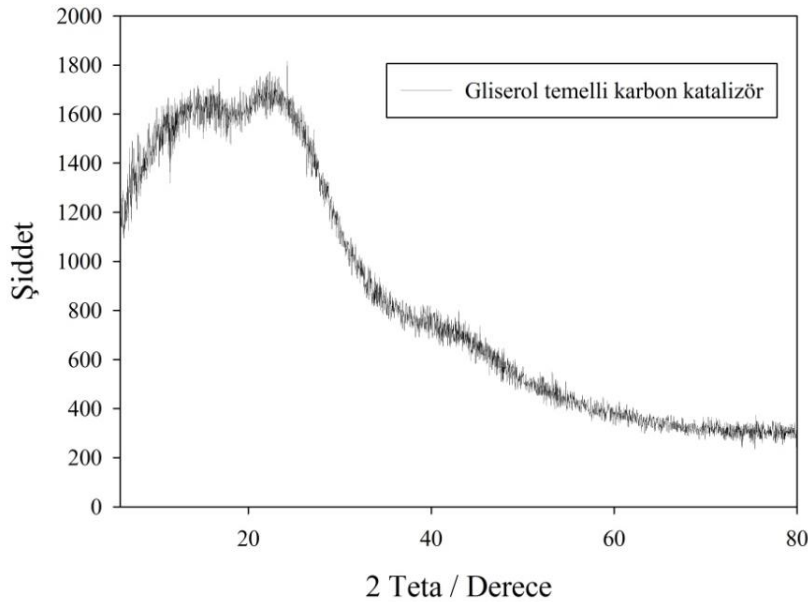
Numuneler aynı zamanda Agilent marka GC-7820A model gaz kromatografisi (GC) cihazında da analiz edilerek, dönüşüm değerlerinin doğruluğu kontrol edilmiştir. Titrasyon ile elde edilen dönüşüm değeri ile GC analizi sonucunda elde edilen dönüşüm değerleri arasındaki fark  $\%0.5 \pm 0.2$ 'dir. Bütil levulinat sentezi sırasında levulinik asit dönüşümüne reaksiyon sıcaklığının, katalizör miktarının, başlangıç reaktan (alkol/asit) mol oranlarının (M) etkisi incelenmiştir.

### 3. Bulgular ve Tartışma

#### 3.1. Katalizör Karakterizasyon Sonuçları

##### 3.1.1. XRD

Sentezlenen gliserol temelli karbon katalizörün yapısal analizini belirlemek ve yapıda meydana gelen değişimleri gözleyebilmek için XRD analizleri yapılmış ve bulgular Şekil 2’de verilmiştir.



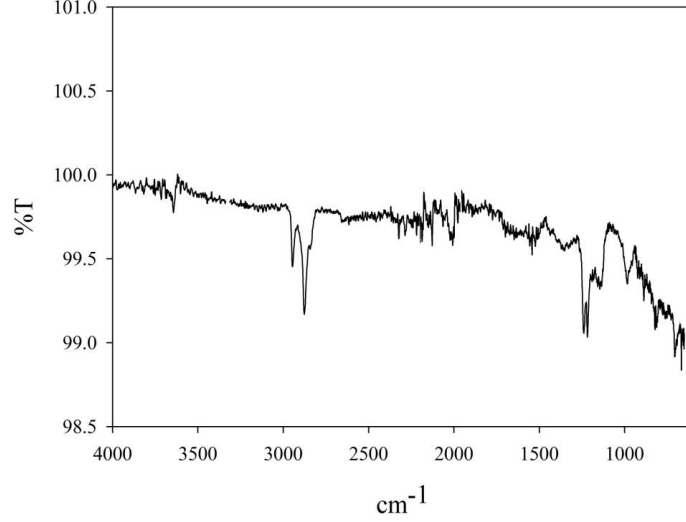
Şekil 2. Gliserol temelli karbon katalizörün XRD analizi

Gliserol temelli karbon katalizörün, 6-20 ve 20-40 arasındaki  $2\theta$  değerlerinde görülen XRD desenleri yapıdaki karbon türlerin amorf yapısını işaret etmektedir. Bu desenler katalizörün amorf

yapıda olduğunu göstermektedir. XRD analizi ile ayrıca karbon katalizörün, C, H, S, O elementel kompozisyonuna sahip olduğu bulunmuştur [11, 13].

### 3.1.2. FTIR

Gliserol temelli karbon katalizörün bağ yapılarının belirlendiği FTIR spektrumu Şekil 3'te verilmiştir.

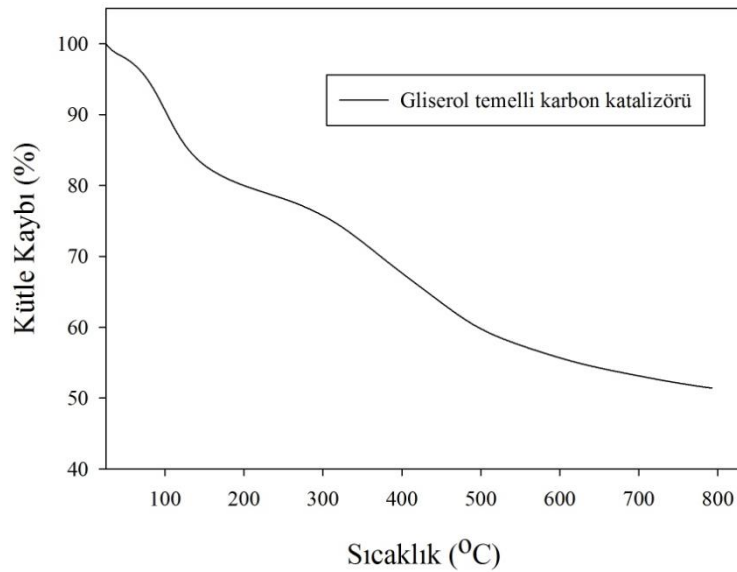


Şekil 3. Gliserol temelli karbon katalizörün FTIR analizi

Gliserol bazlı karbon katalizörün yapısındaki, sülfonik, karbon, karboksil ve fenolik grupların varlığı FTIR analizi ile doğrulanmıştır. FTIR'da 1470 ve 1029  $\text{cm}^{-1}$ 'deki pikler, gliserol temelli katalizörlerin aktif bölgeleri olan  $-\text{SO}_3\text{H}$  gruplarını göstermektedir. 3100 ve 2800  $\text{cm}^{-1}$ 'deki pikler polisiklik aromatik karbonun, karboksilik ve fenolik grupların varlığını işaret etmektedir. 1013-990  $\text{cm}^{-1}$ 'deki pikler ise  $(-\text{C}=\text{C}-)$  aromatik karbonu ifade etmektedir [11, 12].

### 3.1.3. TGA

Şekil 4'te karbon katalizörün TGA eğrisi gösterilmiştir.



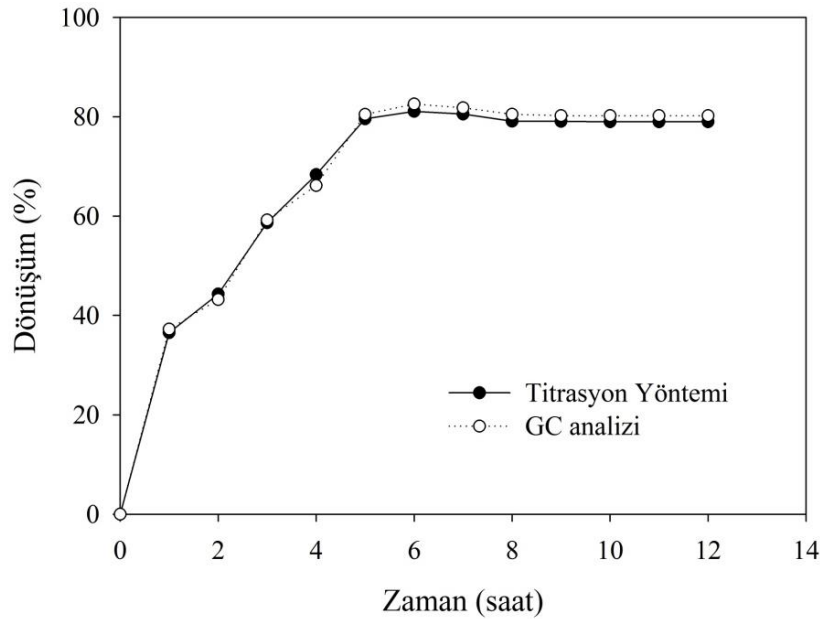
Şekil 4. Gliserol temelli karbon katalizörün TGA eğrisi

Karbon katalizörün termal bozunma davranışı, ilk olarak 100-120 °C aralığında yapıda fiziksel adsorbe olan nem içeriğinin desorpsiyonuna bağlı olarak gerçekleşmiştir. Sonrasında 400 °C'ye kadar görülen kütle kaybı ise sülfolanmış katalizörün yapısında bulunan  $SO_3H$  gruplarının bozunması ile ilgilidir. 400°C-500°C aralığında görülen kütle kaybı ise katalizörün yapısındaki Bronsted asit bölgelerinin bozunmasından ileri gelmektedir [18]. 500 °C'nin üzerinde gerçekleşen kütle kaybı ise, yoğun ısı nedeni ile katalizörün yapısında bulunan karbonun yanması ile açıklanabilir [19].

### 3.2. Bütil Levulinat Sentez Reaksiyonu

#### 3.2.1. Reaksiyon süresinin belirlenmesi

Reaksiyon süresinin belirlenmesi için levulinik asit ile bütanolün esterleşme reaksiyonu; 70 °C'de, M=3 molar besleme oranında, ağırlıkça levulinik asit ağırlığının %7'si kadar katalizör kullanılarak kesikli reaktörde gerçekleştirilmiştir. Reaksiyon dönüşümü 12 saat boyunca izlenmiş ve saat başı numune alınarak analiz edilmiştir.

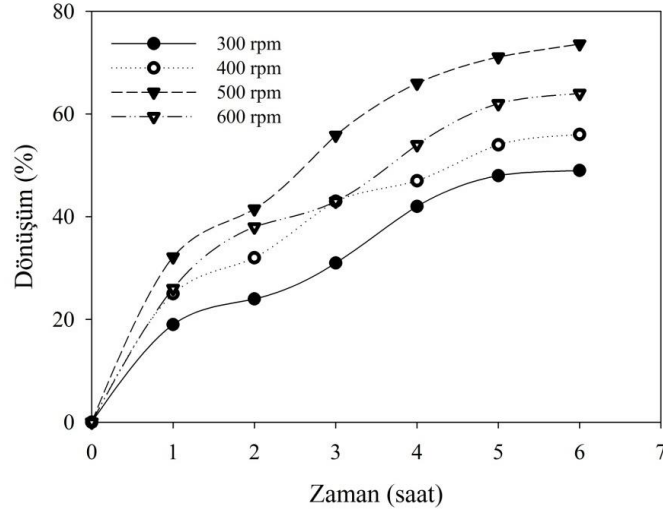


Şekil 5. Reaksiyon süresinin levulinik asit dönüşümüne etkisi (T=70 °C, ağırlıkça %7 katalizör, M=3)

Esterleşme reaksiyonları denge limitli, tersinir reaksiyonlardır. Bu yüzden yüksek dönüşüm değeri elde etmek oldukça güçtür ve uzun zaman alır. Şekil 5'te kesikli reaktörde gerçekleştirilen deneylerde levulinik asit dönüşümünün zamanla değişimi gösterilmiştir. Levulinik asit dönüşümü altıncı saate kadar artış göstermiştir. Altıncı saatin sonunda ise çok az bir düşüş gözlenmiş ve sonrasında sabit kalmıştır. Bu durum reaksiyonun altı saate dengeye ulaştığını göstermektedir. Bu nedenle reaksiyon süresi altı saat olarak belirlenmiştir. Ayrıca Şekil 5'te titrasyon yöntemi ve GC analizi sonucunda elde edilen levulinik asit dönüşüm değerleri karşılaştırılmıştır. Her iki analiz yöntemi sonucunda elde edilen dönüşüm değerlerinin birbirine oldukça yakın olduğu görülmüştür. Titrasyon ile elde edilen dönüşüm değeri ile GC analizi sonucunda elde edilen dönüşüm değerleri arasındaki fark  $0.5 \pm 0.2$ 'dir. Bu da her iki analiz sonucunda elde edilen dönüşüm değerlerinin doğruluğunu ortaya koymaktadır.

#### 3.2.2. Karıştırma hızının asit dönüşümüne etkisi

Karıştırma hızının bütil levulinat sentezinde levulinik asit dönüşümüne etkisini belirlemek için 300, 400, 500 ve 600 rpm karıştırma hızlarında 70°C'de, ağırlıkça %7 katalizör kullanılarak, M=3:1 molar besleme oranında deneyler gerçekleştirilmiştir. Elde edilen verilerden asit dönüşümü hesaplanmış ve Şekil 6'da gösterilmiştir.

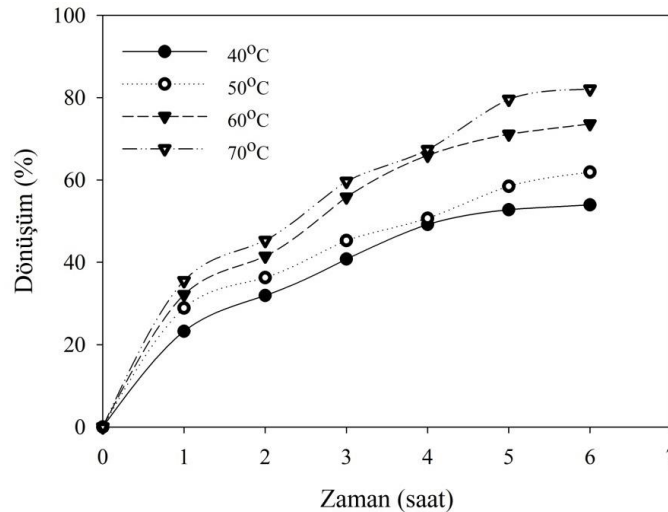


Şekil 6. Karıştırma hızının asit dönüşümüne etkisi (M=3:1, %7 katalizör)

Karıştırma hızı arttıkça başlangıçta asit dönüşümünün arttığı, sonrasında ise azaldığı görülmüştür. Karıştırma hızının artması katalizör yüzeyinde oluşan kütle transfer direncini ortadan kaldırmaktadır [20]. Gliserolden üretilen karbon katalizör, heterojen katalizördür. Heterojen reaksiyonlarda reaksiyon mekanizması kütle transferi ya da yüzey reaksiyonu ile kontrol edilmektedir. Karıştırma hızı arttıkça asit dönüşümünün artması reaksiyonu kontrol eden mekanizmanın kütle transferi olduğunu göstermektedir [21]. Karıştırma hızı 300 rpm'den 500 rpm'e arttıkça, asit dönüşümü artmış ancak hız 600 rpm'e ulaştığında dönüşüm değeri azalmıştır. 500 rpm'in altındaki karıştırma hızlarında asit dönüşümünün düşük olması katalizör yüzeyinde oluşan kütle transfer direncinin aşılamamasından kaynaklanmaktadır. Bu durumda reaksiyon karışımı ile katalizör arasındaki etkileşim düşük olmakta, bu nedenle yüksek dönüşüm elde edilememektedir. 500 rpm'in üzerindeki karıştırma hızında ise, yüksek karıştırma hızından dolayı heterojen katalizör, reaktörün cidarına doğru dağılmakta, cidara yapışmakta ve reaksiyon karışımında homojen dağılmamaktadır. Bu nedenle katalizör ile reaksiyon karışımının doğrudan teması mümkün olmamaktadır. Karıştırma hızı 300 rpm'den 500 rpm'e artırıldığında asit dönüşümü %49'dan %73'e artarken, 600 rpm karıştırma hızında asit dönüşümü %64'e düşmüştür. Bu nedenle en yüksek dönüşümün elde edildiği 500 rpm karıştırma hızı optimum değer olarak belirlenmiştir ve tüm reaksiyonlar bu karıştırma hızı sabit tutularak gerçekleştirilmiştir.

### 3.2.3. Reaksiyon sıcaklığının asit dönüşümüne etkisi

Sıcaklık, reaksiyon dönüşümünü etkileyen önemli bir faktördür [22]. Reaksiyon sıcaklığının levulinik asit dönüşümüne etkisi Şekil 7'de görülmektedir.



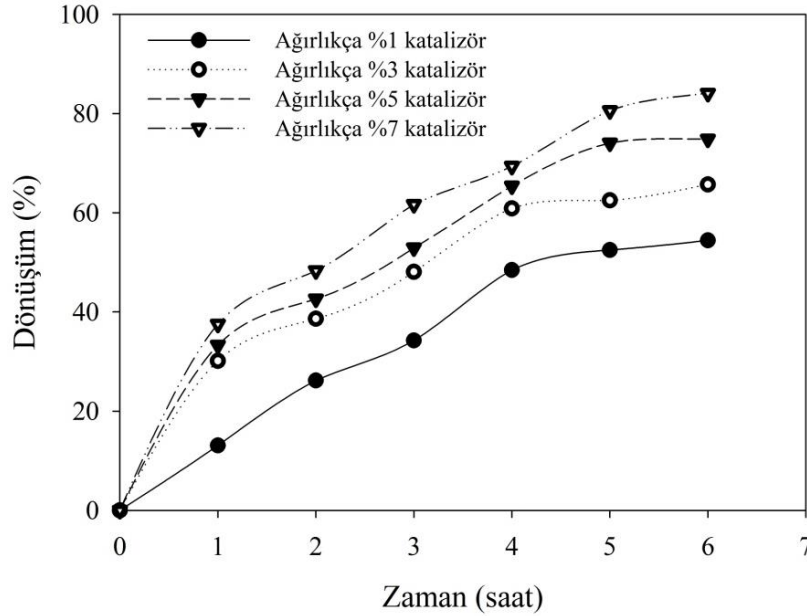
Şekil 7. Reaksiyon sıcaklığının asit dönüşümüne etkisi (M=3:1, %7 katalizör)

Yüksek sıcaklık, yüksek reaksiyon dönüşümü ile sonuçlanır. Sıcaklık artışı ile reaksiyon hızı ve ester üretimi artar [23]. Dönüşüm değerinin sıcaklık ile artması, reaksiyonun endotermik olduğunun ve denge sabitinin sıcaklık ile arttığının göstergesidir [24]. Ayrıca levulinik asit ile bütanolün esterleşme reaksiyonu bir denge reaksiyonudur. Hem endotermik olması hem de denge reaksiyonu olması sebebiyle sıcaklık artışı ürünler yönünde reaksiyonu hızlandırır ve dönüşüm artar [25, 26]. Esterleşme reaksiyonları için reaksiyon hız sabiti sıcaklığın fonksiyonudur ve sıcaklık ile artar. Bu nedenle de ester üretim hızı yüksek sıcaklıkta düşük sıcaklığa göre daha yüksektir. Ayrıca operasyon sıcaklığındaki artış, moleküler çarpışmayı artırır, kimyasal bağları kırar ve reaktanların karışabilirliğini kolaylaştırır. Böylece reaksiyon hızı ve levulinik asit dönüşümü artar [25]. Yüksek sıcaklıkta ürünlerin üretim hızı yüksektir [27].

Reaksiyon sıcaklığının dönüşüme etkisi 40, 50, 60 ve 70 °C'de molar besleme oranı alkol/asit 3 iken, ağırlıkça %7 katalizör yüklü reaktörde incelenmiştir. Sıcaklık 40 °C'den 70 °C'ye çıktığında dönüşüm değeri %53.95'ten %82.07'e artmıştır.

### 3.2.4.Katalizör miktarının asit dönüşümüne etkisi

Katalizör miktarının reaksiyon dönüşümüne etkisini incelemek için bütül levulinat sentez reaksiyonu ağırlıkça %1, %3, %5 ve %7 oranlarında katalizör ilavesi ile 70°C'de, molar besleme oranı 3 olarak kullanılarak (M=3) gerçekleştirilmiştir. Elde edilen dönüşüm değerlerinin zamanla ve sıcaklıkla değişimi Şekil 8'de gösterilmiştir.



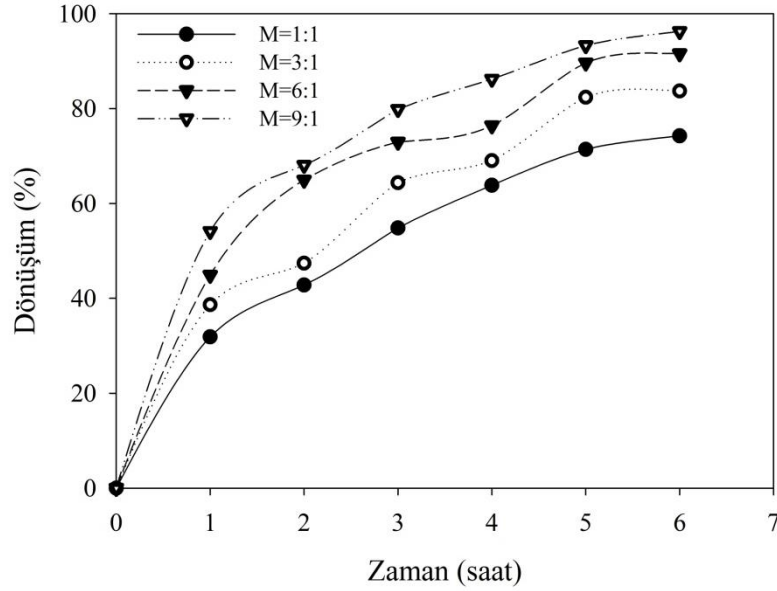
Şekil 8. Katalizör miktarının asit dönüşümüne etkisi (M=3:1, 70°C)

Şekil 8'de görüldüğü gibi, levulinik asit dönüşümü katalizör miktarı arttıkça artmıştır. Katalizör miktarı, reaksiyon karışımındaki asidin ağırlığının yüzdesi olarak hesaplanmıştır. Katalizör miktarındaki artış reaksiyonu hızlandırır. Çünkü reaksiyon hızı katalizör miktarı ile doğru orantılıdır [28]. Katalizör miktarının artması ile asidik bölgelerin sayısı ve katalizörün aktif yüzey alanı artar. Böylece reaktanlar katalizörün aktif bölgelerine daha kolay ulaşabilir ve dönüşüm artar [29-30]. Ayrıca katalizörün aktif bölgesindeki artış, reaksiyonun aktivasyon enerjisini düşürür ve reaksiyon hızını artırır [31]. Artan reaksiyon hızı reaksiyonun dengeye ulaşma süresini kısaltır. Maksimum katalizör miktarı ağırlıkça %7 olarak çalışılmıştır. Çünkü optimum miktarın üzerindeki katalizör yüklemelerinin levulinik asitin dönüşümünü azalttığı görülmüştür. Yüksek katalizör yükleme oranlarında reaksiyon karışımı daha viskoz olmakta ve kütle transfer sınırlaması oluşmakta bu da katalitik aktiviteyi sınırlandırmaktadır [32].

Katalizör miktarı %1'den %7'ye arttığında levulinik asit dönüşüm değeri %54.43'ten %84.07'ye artmıştır.

### 3.2.5. Molar besleme oranının asit dönüşümüne etkisi

Tersinir reaksiyonlarda reaktanlardan birinin fazla miktarda kullanılması dönüşümü arttırmanın bir yoludur. Molar besleme oranının reaksiyon dönüşümüne etkisi  $M=1:1$ ,  $M=3:1$ ,  $M=6:1$  ve  $M=9:1$  molar oranlarında, %7 katalizör yüklem oranında,  $70^{\circ}\text{C}$ 'de incelenmiştir. Asit dönüşümün molar besleme oranı ile değişimi Şekil 9'da verilmiştir.



Şekil 9. Molar besleme oranının asit dönüşümüne etkisi ( $70^{\circ}\text{C}$ , %7 katalizör)

Başlangıç reaktan mol oranı arttıkça levulinik asit dönüşümünün arttığı görülmüştür. Yüksek başlangıç reaktan mol oranları yüksek dönüşüm ile sonuçlanmıştır. Tersinir reaksiyonlarda dönüşümü arttırmanın bir yolu daha öncede bahsedildiği gibi reaktanlardan birinin fazla miktarda kullanılmasıdır. Fazla miktarda alkol kullanımı geri reaksiyon hızını minimize ederek, reaksiyonun ileri yönde devam etmesini sağlar. Le Chatelier prensibine göre reaktanlardan birinin fazla miktarda kullanılması dengeyi ürünler yönüne kaydırmış ve bu durum dönüşümün artmasına neden olmuştur. Ayrıca reaktanlardan birinin fazla miktarda kullanılması diğer reaktanla temas olasılığını arttırdığından dolayı asit dönüşümünü de arttırmıştır [33].

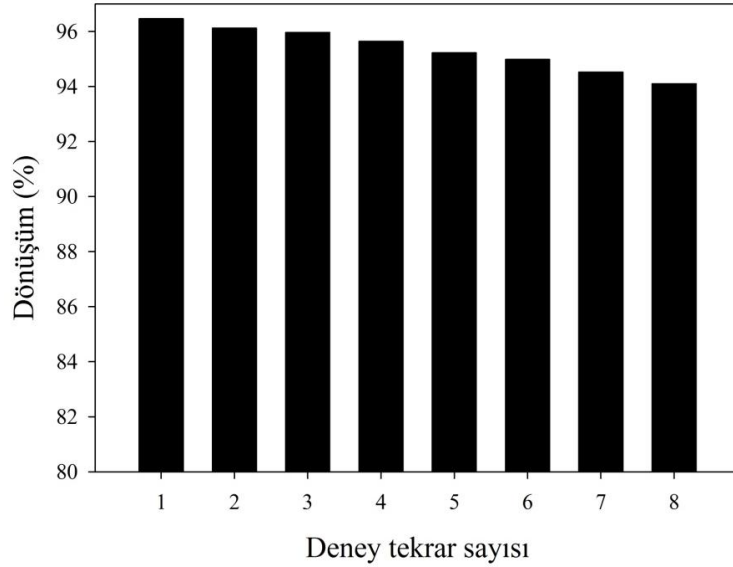
Artan molar oran ile yüksek dönüşüm eldesi mümkündür, fakat sınırlayıcı reaktan hiçbir zaman tamamen tükenmez. Bu durumda ürünün saf olarak elde edilmesi ilave ayırma adımı gerektirir ve proses maliyetinin artması ile sonuçlanır [31, 33]. Bu yüzden minimum molar besleme oranı ile yüksek dönüşüm elde etmek daha önemlidir. Ayrıca yüksek molar oran, katalizörün seyrelmesi ile sonuçlanır.

DeneySEL çalışmalar sonucunda 6 saatin sonunda  $M=1:1$ ,  $M=3:1$ ,  $M=6:1$  ve  $M=9:1$ 'de sırasıyla %74.25, %83.68, %91.58 ve %96.25 levulinik asit dönüşümü elde edilmiştir.

### 3.2.6. Katalizörün tekrar kullanılabilirliği

Yeniden kullanılabilirlik, heterojen katalizörde çok önemli ve avantajlı bir özelliktir. Katalizörün tekrar kullanımını ve katalitik aktivitesini değerlendirmek için esterleşme reaksiyonu aynı koşullar altında gerçekleştirilmiştir.

Levulinik asitin esterleşme reaksiyonu literatürde çoğunlukla homojen katalizörlerin kullanımı ile gerçekleştirilmiştir. Bu katalizörlerin korozyon, geri kazanım zorluğu gibi bazı dezavantajları vardır. Bu çalışmada kullanılan heterojen gliserol temelli karbon katalizör, homojen katalizörlere yeşil alternatif olarak tercih edilmiştir. Katalizörün geri kazanımı, prosesin yeşil olarak adlandırılması için önemli bir faktördür. Bu yüzden katalitik dayanım ve tekrar kullanım katalizörler için önemli bir özelliktir [2, 35-36].



**Şekil 10.** Katalizörün tekrar kullanılabilirliği (70°C, M=9:1, %7 katalizör)

Tekrar deneyleri sonucunda elde edilen levulinik asit dönüşümü değerleri Şekil 10'da gösterilmiştir. Gliserol temelli karbon katalizörün tekrar kullanılabilirliği bütanol ile levulinik asitin esterleşme reaksiyonunda ağırlıkça %7 katalizör miktarında, 70°C'de, M=9:1 molar besleme oranında gerçekleştirilmiştir. Katalizör, reaksiyon sonucu reaksiyon ortamından geri alınıp; aynı koşullar altında 8 kez tekrar kullanılmıştır. Her kullanımdan sonra etanol ile yıkanmış, 100°C'de etüvde bir gece kurutulmuştur. İlk kullanımdan 8. kullanıma kadar benzer dönüşüm değerleri elde edilmiştir, tekrar kullanılan katalizör aynı katalitik aktiviteyi göstermiştir. İlk kullanım sonrasında %96.46 dönüşüm elde edilirken, sekizinci kullanım sonunda %94.10 dönüşüm değeri elde edilmiştir. Elde edilen bu sonuçlar katalizörün katalitik aktivitesinde önemli bir kayıp olmadığını göstermiştir. Bu nedenle kullanılan katalizörün, aktif ve tekrar kullanılabilir olduğu sonucuna varılmıştır.

### 3.2.7. Elde edilen sonuçların literatür ile karşılaştırılması

Levulinik asit ile bütanolün esterleşme reaksiyonu sonucu elde edilen dönüşüm değerleri literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Bütil levulinat sentezi için literatürde gliserol temelli karbon katalizörün kullanıldığı çalışmaya rastlanmamıştır. Bu sebeple Tablo 1'de verilen dönüşüm değerleri farklı katalizörler kullanılarak elde edilen dönüşüm değerleridir.

**Tablo 1.** Dönüşüm değerlerinin literatür ile karşılaştırılması

Reaksiyon koşulları	Katalizör	Dönüşüm (%)	Kaynak
T =100°C, M=3:1, ağırlıkça %10 katalizör, t=4 sa	Glikoz temelli amorf karbon	72	[7]
T=117,7°C, M=20:1, ağırlıkça %30 katalizör, t=5 sa	Amberlist-15	55	[8]
T=120°C, M = 4:1; ağırlıkça %10 katalizör, t=4 sa	Montmorillonit K10 destekli dodekatungstosforikasit	87	[9]
T=120°C, M=6:1, ağırlıkça %10 katalizör, t=4 sa	H-BEA zeolit	76.9	[10]
T=70°C, M=6:1, ağırlıkça %7 katalizör, t=6 sa	Gliserol temelli karbon katalizör	91.58	Bu çalışma

Tablo 1'de verilen sonuçlara bakıldığında, gliserol temelli karbon katalizör ile bütil levulinat sentezinde daha düşük sıcaklıkta ve daha az katalizör miktarı ile yüksek dönüşüm elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, gliserol temelli karbon katalizörün ılımlı koşullar altında gerçekleştirilen bütil levulinat sentez reaksiyonunda katalitik aktivitedeki başarısını ortaya koymuştur.

#### 4. Sonuç ve Öneriler

Biyodizel yan ürünü olan gliserol kullanılarak tek adımda karbonizasyon ve sülfonasyon tekniği ile etkili, ekonomik ve yeniden kullanılabilir bir katı asit katalizörü üretilmiştir. Elde edilen gliserol temelli karbon katalizörün önemli ölçüde yüksek katalitik aktiviteye ve kimyasal dayanıma sahip olduğu sonucuna varılmıştır. Levulinik asit ile bütanol esterleşme reaksiyonu ile bütül levulinat sentezinde gliserol temelli sülfolanmış karbon katalizör oldukça başarılı katalitik aktivite göstermiştir. Katı asit katalizörü termal olarak stabil bulunmuştur. Katalizör reaksiyonda heterojen davranış göstermiştir. Yapısında bulunan sülfonik fonksiyonel gruplar reaksiyonun polar ortamından etkilenmemiş, dolayısıyla katalizör deaktive olmaksızın sekiz kez tekrar kullanılabilmiştir. Elde edilen tüm bu sonuçlardan, çevre dostu gliserol temelli karbon katalizörün esterleşme reaksiyonuna ek olarak farklı asit katalizörlü reaksiyonlar için önemli bir alternatif olduğu sonucuna varılmıştır. Farklı asidik katalizörlü uygulamalar için sıvı asit katalizörlerin yerini alabilecek bir potansiyele sahip olduğu görülmüştür.

#### Teşekkür

Katalizör Karakterizasyonunda FTIR ve TGA analizlerini yapmam için cihaz kullanımında yardımlarını ve desteklerini esirgemeyen Kocaeli Üniversitesi Polimer Laboratuvarına teşekkür ederim. Ayrıca Kocaeli Üniversitesi BAP birimine mali desteği için teşekkür ederim (Proje No: 2018/062HD).

#### Kaynaklar

- [1] Gonçaves V.L.C., Pinto B.P., Silva J.C., Mota C.J.A. 2008. Acetylation of glycerol catalyzed by different solid acids, *Catalysis Today*, 133-135:73-677.
- [2] Rodrigue I.D., Adriany C., Gaigneaux E.M. 2011. Glycerol acetylation on sulphated zirconia in mild conditions, *Catalysis Today*, 167 (1): 56-63.
- [3] Zhu S., Zhu Y., Gao X., Mo T., Zhu Y., Lia Y. 2013. Production of bioadditives from glycerol esterification over zirconia supported heteropolyacids, *Bioresource Technology*, 130: 45-51.
- [4] Khayoon M.S., Hameed B.H. 2012. Synthesis of hybrid SBA-15 functionalized with molybdophosphoric acid as efficient catalyst for glycerol esterification to fuel additives, *Applied Catalysis A: General*, 433-434: 152-161.
- [5] Kuwahara Y., Fujitani T., Yamashita H. 2014. Esterification of levulinic acid with ethanol over sulfated mesoporous zirconsilicates: Influences of the preparation conditions on the structural properties and catalytic performances, *Catalysis Today*, 237: 18-28.
- [6] Fernandes D.R., Rocha A.S., Mai E.F., Mota J.A., Silva V. 2012. Levulinic acid esterification with ethanol to ethyl levulinate production over solid acid catalysts, *Applied Catalysis A: General*, 425-426: 199-204.
- [7] Yang J., Li G., Zhang L., Zhang S. 2018. Efficient Production of N-Butyl Levulinate Fuel Additive from Levulinic Acid Using Amorphous Carbon Enriched with Oxygenated Groups, *Catalysts*, 8 (1): 14.
- [8] Ramli, N.A.S., Zaharudin N.H., Amin N.A.S. 2017. Esterification of Renewable Levulinic Acid To Levulinate Esters Using Amberlyst-15 As A Solid Acid Catalyst, *Jurnal Teknologi (Sciences & Engineering)*, 79 (1): 137-142.
- [9] Dharne S., Bokade V.V. 2011. Esterification of levulinic acid to n-butyl levulinate over heteropolyacid supported on acid-treated clay, *Journal of Natural Gas Chemistry*, 20: 18-24.
- [10] Maheria K.C., Kozinski J., Dalai A. 2013. Esterification of Levulinic Acid to n-Butyl Levulinate Over Various Acidic Zeolites, *Catalysis Letters*, 143: 1220-1225.
- [11] Devi B.L.A.P., Gangadhar K.N., Prasad P.S.S., Jagannadh B., Prasad R.B.N. 2009. A Glycerol-based Carbon Catalyst for the Preparation of Biodiesel, *ChemSusChem*, 2: 617-620.
- [12] Okoye P.U., Abdullah A.Z., Hameed B.H. 2017. Synthesis of oxygenated fuel additives via glycerol esterification with acetic acid over bio-derived carbon catalyst, *Fuel*, 209: 538-544.
- [13] Varkolu M., Moodley V., Potwana F.S.W., Jonnalagadda S.B., Zyl W.E. 2017. Esterification of levulinic acid with ethanol over bio-glycerol derived carbon-sulfonic-acid, *Reaction Kinetics Mechanisms and Catalysis*, 120 (1): 69-80.



- [14] Ummadisetti C., Rachapudi B.N.P., Bethala L.A.P.D. 2014. Glycerol-based SO<sub>3</sub>H-Carbon Catalyst: A green recyclable catalyst for the chemoselective synthesis of pentaerythritol diacetals, *European Journal of Chemistry*, 5 (3): 536-540.
- [15] Ribeiro R.S., Silva A.M.T., Pinho M.T., Figueiredo J.L., Faria J.L., Gomes H.T. 2014. Development of glycerol-based metal-free carbon materials for environmental catalytic applications, *Catalysis Today*, 240: 61-66.
- [16] Gangadhar K.N., Vijay M., Prasad R.B.N., Devi B.L.A.P. 2013. Glycerol-Based Carbon-SO<sub>3</sub>H Catalyzed Benign Synthetic Protocol for the Acetylation of Alcohols, Phenols and Amines under Solvent-Free Conditions, *Green and Sustainable Chemistry*, 3: 122-128.
- [17] Ilgen O. 2014. Investigation of reaction parameters, kinetics and mechanism of oleic acid esterification with methanol by using Amberlyst 46 as a catalyst, *Fuel Processing Technology*, 124: 134-139.
- [18] Jamil F., Al-Muhtaseb A.H., Naushad M., Baawain M., Al-Mamun A., Saxena S.K., Viswanadham N. 2017. Evaluation of synthesized green carbon catalyst from waste date pits for tertiary butylation of phenol, *Arabian Journal of Chemistry*, inpress, DOI: 10.1016/j.arabjc.2017.04.009.
- [19] Leal G.F., Ramos L.A., Barrett D.H., Curvelo A.A.S., Rodella C.B. 2015. A thermogravimetric analysis (TGA) method to determine the catalytic conversion of cellulose from carbon-supported hydrogenolysis process, *Thermochimica Acta*, 616: 9-13.
- [20] Mehmet B. 2001. Yağların katalitik hidrojenasyonunda işlem parametrelerinin selektivite ve izomer yapı oluşumu üzerindeki etkileri. Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora tezi, 127s, İzmir.
- [21] Mehmet Y. 2010. Biyodizel Prosesi Yan Ürünü Gliserinin Katalitik Hidrojenasyonu. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans tezi, 64s, Eskişehir.
- [22] Khayoon M.S., Hameed B.H. 2011. Acetylation of glycerol to biofuel additives over sulfated activated carbon catalyst, *Bioresource Technology*, 102 (19): 9229-9235.
- [23] Zhou L., Al-Zaini E., Adesina A.A. 2013. Catalytic characteristics and parameters optimization of the glycerol acetylation over solid acid catalysts, *Fuel*, 103: 617-625.
- [24] Zhang W., Qing W., Ren Z., Li W., Chen J. 2014. Lipase immobilized catalytically active membrane for synthesis of lauryl stearate in a pervaporation membrane reactor, *Bioresource Technology*, 172: 16-21.
- [25] Karakus S. 2014. Pervaporasyon Esterleşme Hibrit Prosesi ile İzobutil Akrilat Sentezi. Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 163s, İzmir.
- [26] Sert E., Atalay F.S. 2014. n-Butyl acrylate production by esterification of acrylic acid with n-butanol combined with pervaporation, *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 81: 41-47.
- [27] Chen Y., Zhang X., Dong M., Wu Y., Zheng G., Huang J., Zheng, X. 2016. MCM-41 immobilized 12-silicotungstic acid mesoporous materials: Structural and catalytic properties for esterification of levulinic acid and oleic acid, *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 61: 147-155.
- [28] Jyoti G., Keshav A., Anandkumar J. 2017. Esterification of acrylic acid with ethanol using pervaporation membrane reactor, *Korean Journal of Chemical Engineering*, 34 (6): 1661-1668.
- [29] Parida K.M., Mallick S. 2007. Silicotungstic acid supported zirconia : An effective catalyst for esterification reaction, *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical*, 275: 77-83.
- [30] Balaraju M., Nikhitha P., Jagadeeswaraiiah K., Srilatha K., Prasad P.S.S., Lingaiah N. 2010. Acetylation of glycerol to synthesize bioadditives over niobic acid supported tungstophosphoric acid catalysts, *Fuel Processing Technology*, 91 (2): 249-253.
- [31] Jyoti G., Keshav A., Anandkumar J. 2015. Review on Pervaporation :Theory, Membrane Performance, and Application to Intensification of Esterification Reaction, *Journal of Engineering*, 2015: 1-24.
- [32] Ramli N.A.S., Sivasubramaniam D., Amin N.A.S. 2017. Esterification of Levulinic Acid Using ZrO<sub>2</sub>-Supported Phosphotungstic Acid Catalyst for Ethyl Levulinate Production, *BioEnergy Research*, 10 (4): 1105-1116.
- [33] Delgado P., Sanz M.T., Beltrán S., Alberto L. 2010. Ethyl lactate production via esterification of lactic acid with ethanol combined with pervaporation, *Chemical Engineering Journal*, 165: 693-700.

- [34] Qing W., Chen J., Shi X., Wu J., Hu J., Zhang W. 2016. Conversion enhancement for acetalization using a catalytically active membrane in a pervaporation membrane reactor, *Chemical Engineering Journal*, 313: 1396-1405.
- [35] Peters T.A., Tuin J.V.D., Houssin C., Vorstman M.A.G., Benes N.E., Vroon Z.A.E.P., Holmen A., Keurentjes J.T.F. 2005. Preparation of zeolite-coated pervaporation membranes for the integration of reaction and separation, *Catalysis Today*, 104 (2-4): 288-295.
- [36] Castanheiro J.E., Ramos A.M., Fonseca I.M., Vital J. 2006. Esterification of acetic acid by isoamylic alcohol over catalytic membranes of poly(vinyl alcohol) containing sulfonic acid groups, *Applied Catalysis A: General*, 311 (1-2): 17-23.

---

*Araştırma Makalesi / Research Article*

---

## **Production and Characterization of Al-SiC Composites Prepared by Mechanical Milling and Pressureless Sintering**

İjlal ŞİMŞEK<sup>1</sup>, Doğan ŞİMŞEK<sup>\*2</sup>, Dursun ÖZYÜREK<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Karabük University, TOBB Technical Sciences Vocational School, Karabük, Turkey

<sup>2</sup>Bitlis Eren University, Technical Sciences Vocational School, Bitlis, Turkey,

<sup>3</sup>Karabük University, Technology Faculty, Karabük, Turkey

---

### **Abstract**

This study investigates the effect of SiC amount and milling time on microstructure, density and hardness in the aluminum composites produced by mechanical milling. In the study, aluminum composites were mechanical milled for different periods (30, 60, 90 and 120 min), adding SiC at different amounts (5, 10, 15 and 20 wt. %). High chromium steel balls with a diameter of 6 mm, a ratio of 10:1 ball-powder and 2% stearic acid were used as milling component in the production of composites in a vibrating mill. The production of composite powders was carried out in an argon atmosphere. The composite powders produced were characterized using scanning electron microscopy, EDS analysis, optical microscope and powder size analyzer. As a result, it was observed that as the amount of added SiC and milling time increased, the powder size decreased, and the hardness values increased. In addition, as the amount of added SiC increased, the densities of aluminum composites increased.

**Keywords:** Aluminum composite, mechanical milling, powder metallurgy, vibrating mill, SiC.

---

## **Mekanik Öğütme ve Basıncsız Sinterleme ile Al-SiC Kompozitlerin Üretimi ve Karakterizasyonu**

---

### **Öz**

Bu çalışmada, mekanik öğütme ile üretilen alüminyum kompozitlerde SiC miktarının ve öğütme süresinin mikro yapı, yoğunluk ve sertlik üzerine etkisi incelenmiştir. Çalışma kapsamında alüminyum kompozitler, farklı miktarlarda (%5, %10, %15 ve %20) SiC ilave edilerek farklı sürelerde (30, 60, 90 ve 120 dak) mekanik öğütülmüştür. Titreşimli değirmende yapılan kompozitlerin üretiminde öğütme elemanı olarak 6 mm çapında yüksek kromlu çelik bilya, 10:1 bilya-toz oranı ve %2 stearik asit (işlem kontrol kimyasalı) kullanılmıştır. Kompozit tozların üretimi argon ortamında yapılmıştır. Üretilen kompozit tozlar tarama elektron mikroskobu, EDAX analizleri, optik mikroskop ve toz boyut analizörü kullanılarak karakterize edilmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda, ilave edilen SiC miktarı ve öğütme süresi arttıkça toz boyutunda azalma görülürken, sertlik değerlerinde artış görülmektedir. Bununla birlikte ilave edilen SiC miktarı arttıkça da alüminyum kompozitlerin yoğunlukları artmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Alüminyum kompozit, mekanik öğütme, toz metalürjisi, titreşimli değirmen, SiC.

---

### **1. Introduction**

Today, many industrial applications require materials with lower density (light) and higher rigidity and strength. Aluminum matrix composites (AMC) have become ideal materials for these requirements due to their various advantages [1, 2]. Many researchers have used different production techniques to investigate AMCs, which can be produced using liquid or solid-state techniques reinforced with hard particles such as carbides, oxides, and nitrides [3]. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and SiCp reinforced aluminum composite materials (ACM) are increasingly preferred due to their very good mechanical and physical properties,

---

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

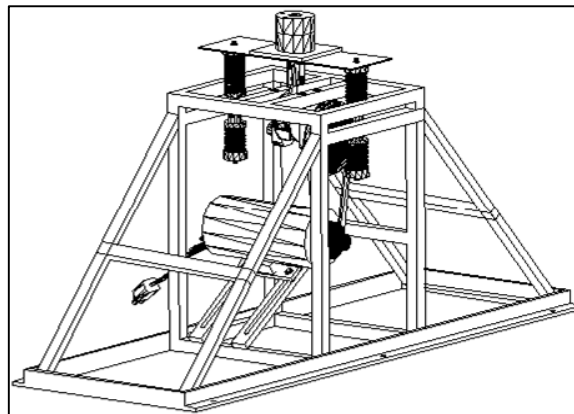
Geliş Tarihi: 06.07.2018, Kabul Tarihi: 14.11.2018

lightness, suitability to high temperature applications and good wear resistance [4]. Different methods such as in-situ (in-situ nucleation) [6], spray [6], and PVD (physical vapor deposition) have been used in the studies [7]. Liquid state processes such as infiltration, squeeze casting, stir casting [8], powder metallurgy (liquid phase sintering) [9], and spray deposition [10] stand out among these methods. Powder metallurgy (PM) is a solid-state production method which can successfully be carried out at and below room temperature. Numerous researchers have previously produced composite materials using MA method [11-15]. The powder metallurgy method is known to be a good method to produce particle-reinforced metal matrix composites. Low treatment temperature is a significant advantage of the powder metallurgy (PM) method compared to melting techniques [11]. Khadem et al. [16] investigated the structure and morphology of the 5% SiC reinforced composites produced by attritor type mechanical grinder with various milling times. They reported that hardness of the material increases and the grain size decreases by the increasing grinding time. Simsek et al. [17] investigated the variation of microstructure, hardness and density of the composites produced in an attritor mill which are produced at different ratio and milling time. Studies report that the hardness and density of the material increase by the increasing ratio of reinforcement in the matrix, and the grain size decreases and the hardness increases by the increasing milling time. Ozyurek and Tekeli [4] used mechanical alloying method to produce Al-SiC composite material which is a powder metallurgy method. They reported that as the ratio of reinforcement increases, hardness value increases and the reinforcement material is distributed in the matrix more uniformly. Although the P/M method is accepted to be a good method to produce metal matrix composites, some problems are encountered in production of AMCs using this method [18]. One of the most significant problems encountered is the flocculation of particles added into the Al matrix and the non-homogeneous distribution of the ceramic reinforcement elements. Different methods are used to prevent such problems, one of which is the use of different mill types depending on the application's purpose [19].

Mechanical alloying/milling method, which is a powder metallurgy technique, employs different equipment. This equipment has different alloying/milling capacity and capabilities. In this study, commercially pure Al and SiC ceramic reinforcement element was mechanically milled with different amounts and different milling times using a mechanical vibration mill (in argon atmosphere). The purpose of the study was to investigate the effects of the different SiC amounts and milling times on the hardness, density and microstructure of the AMC mechanically milled using a vibration mill.

## 2. Material and Method

The effects of different SiC amounts (5%, 10%, 15%, 20%) and milling times (30, 60, 90, 120 min) on AMCs milled in a vibration mill were investigated in this study. 99.5% purity and 53  $\mu\text{m}$  diameter gas atomized Al powder, and 13  $\mu\text{m}$  diameter SiC powder were used to produce particle reinforced Al-SiC composite powders. A ball/powder ratio of 10:1 and 6 mm high-chrome steel balls are used in the vibration mill, and 2% stearic acid was used as the process control agent. The powder and ball charge was performed in argon environment for mechanical milling (MM). The composite powders produced were moved into glove box (under argon). Figure 1 shows the schematic view of the vibration mill used in experimental studies.

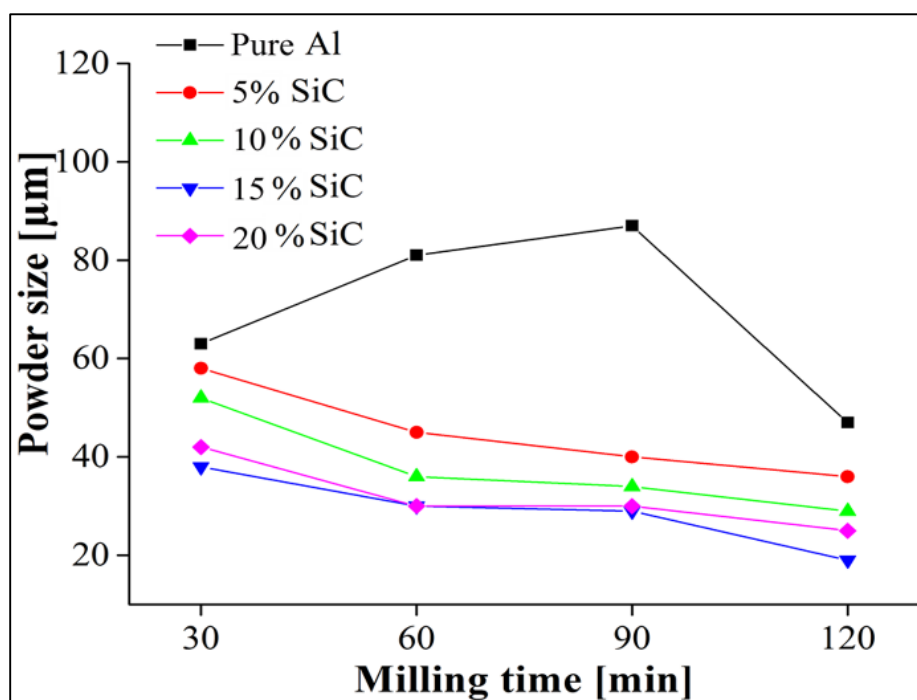


**Figure 1.** Schematic view of the vibration mill

Powder size measurements and optical and scanning electron microscope examinations were performed to determine the powder size and shape depending on the MM time. The powders were cold-pressed under 630 MPa pressure to produce preformed composite samples. These samples were sintered in argon environment at 560 °C for 30 minutes. After all samples were prepared by standard metallographic procedures for microstructure studies, they were etched for 15-20 s with 1 ml HF, 1.5 ml HCl, 2.5 ml HNO<sub>3</sub> and 95 ml H<sub>2</sub>O (Keller's) solution. Hardness measurements of the sintered aluminum composite samples were performed using an Affri universal hardness tester (HV2). Hardness of the material was measured at 10 different points of three samples and the mean value was calculated. Powder size analysis of the composite powders was performed using the laser technique in a Malvern Mastersizer-X device mixing the powders with distilled water and stirring for 5 minutes. Density measurements were performed according to Archimedes principle using PRECISA XB 220A density measuring device with a max capacity of 220 g and a precision of 1/10000 g. Density was measured at three samples and the mean density value was calculated.

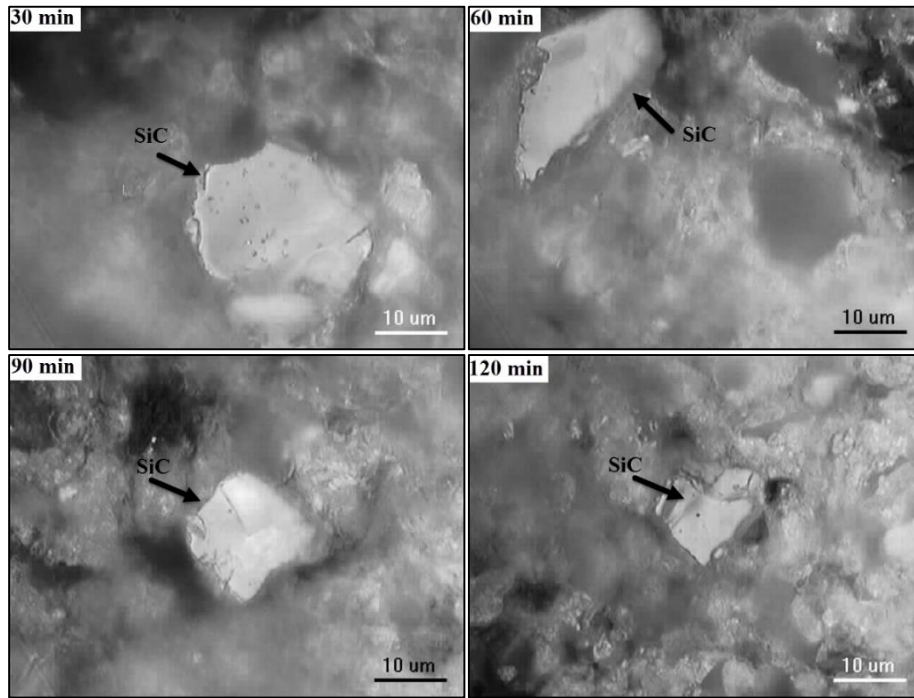
### 3. Results and Discussion

Figure 2 shows the change in powder size depending on milling time for Al-SiC composites produced in a vibration mill using different milling times.



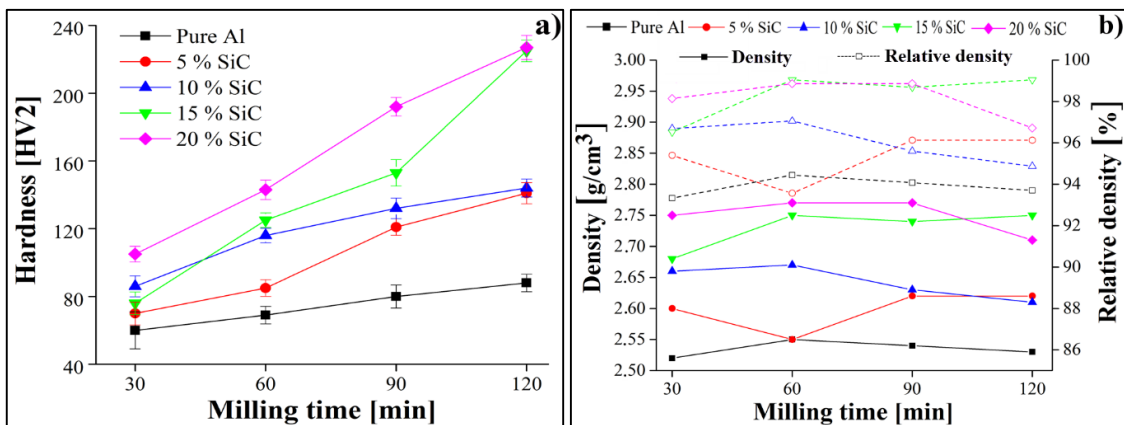
**Figure 2.** The change in powder size depending on milling time for Al-based composites mechanically milled using different milling times

As shown in Figure 2, the pure aluminum powders mechanically milled for 30-90 min showed an increase in size (63-87 µm), while a decrease was observed in powder size (81 µm) when a milling time of 120 min was used. This is due to the enlargement of ductile metal powders with cold welding. Ductile powders which present a cold welding effect in the first stage of mechanical milling undergo deformation hardening in parallel with the increase in milling time, which causes them to fracture and shrink [20]. Powders in composites containing different amounts of SiC fracture and shrink due to constant milling effect. For this reason, the powder size in aluminum composites containing SiC decreases with increasing milling time. Similar results have been obtained in previous studies as well [15, 17, 19]. The powder size chart shows that the smallest powder size was obtained for the aluminum composites containing 15% SiC. Figure 3 shows the optical microscope images of the Al + 20% SiC composite powders mechanically milled in the vibration mill using different milling times.



**Figure 3.** The optical microscope images of the AMCs containing 20% SiC mechanically milled using different milling times

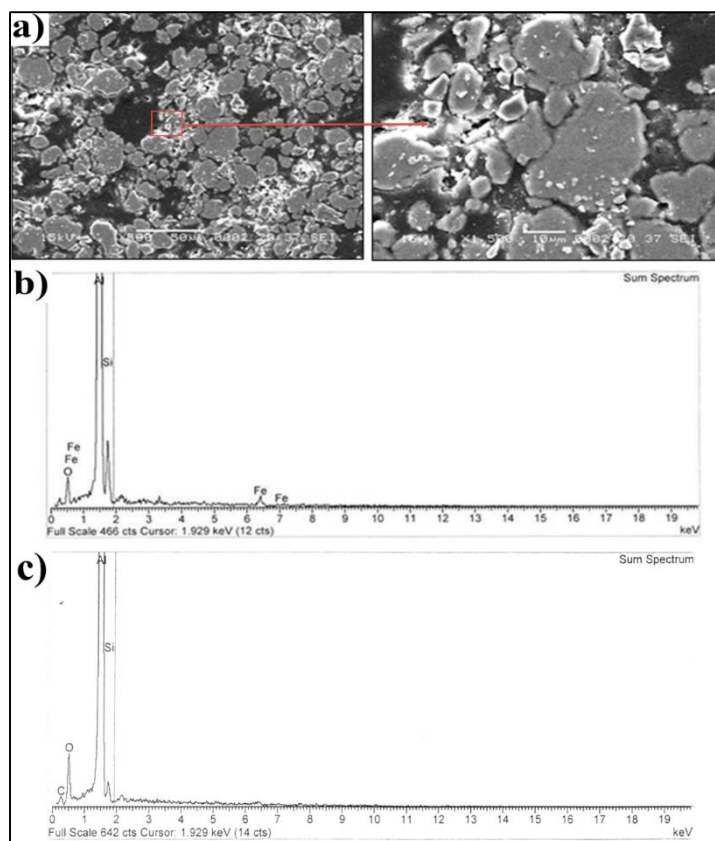
As evident from Figure 3, the optical microscope images of the aluminum composite powders containing 20% SiC showed a more coarse appearance after 30 min of mechanical milling compared to other mechanically milled composite powders. The SiC particles added to the matrix were observed to fracture and shrink more as a result of 120 min of MM compared to other milling times. One of the most significant problems encountered in the production of particle reinforced composite materials is the non-homogeneous distribution of the ceramic reinforcement elements [21]. It is a very common occurrence that reinforcement elements do not show a homogeneous distribution when short milling times are used. The increase in mechanical milling time allows for producing composite powders with a more homogeneous distribution. A relatively more homogeneous reinforcement material distribution has been achieved using longer milling times in a previous study [18].



**Figure 4.** The change in hardness (a) and density (b) depending on milling time for AMCs mechanical milled using different milling times

As shown in Figure 4.b, the density of pure aluminum powders was lower than the known density of aluminum ( $2.7 \text{ gr/cm}^3$ ) after the MM process. The composite materials containing 5%, 10%, and 15% SiC had increased density proportional to reinforcement material amount after 60 minutes of MM. In case of 90 minutes of MM, the composite materials containing 5% and 20% SiC once again displayed an increase in density, while the density of the pure Al and the composite materials containing

10% and 15% SiC decreased. Parvin et al. [15], have reported that there was a decrease in density due to milling time, and the reason behind this decrease was the deformation hardening caused by mechanical milling. Density of the sample MM'ed for 120 min decreased which means that, the density and particle size are inversely proportional. This is due to the partial density increase in produced composites. The partial density and the measured density vary inversely to each other. The main determining factor in the increase of partial density is the increase of surface roughness of the powder. The form and surface conditions of powder change with the increasing surface roughness during MA/MM. While surface roughness of the powder increases, actual measured density decreases as milling time increases. The highest density value was obtained for the composite materials containing 20% SiC, whereas the lowest density value was obtained for the composite materials containing 5% SiC. The density increased as the amount of SiC added to the matrix increased. This is caused by the higher density of SiC compared to Al. The lowest hardness value was obtained for the pure aluminum as shown in Figure 4.a. The hardness value increased as the SiC amount added to the aluminum matrix and milling time increased. The lowest hardness value for the composite materials containing 20% SiC was 105 HV obtained after 30 minutes of milling, whereas the highest hardness value was 227 HV obtained after 120 minutes of milling. Zhao et al. [18], have reported that powders which had not been deformed with MM were softer, the deformation increased with increasing milling time, and the hardness value increased in parallel. Figure 5 shows the SEM images (a) EDS results for the composites containing 10% SiC after 120 (b) and 90 (c) minutes of milling.



**Figure 5.** The SEM images (a) of AMCs containing 10%SiC, and EDS results for 120 min (b) and 90 min (c) of milling

The SEM images given in Figure 5.a show that SiC particles (with sharp edges) within the matrix sunk into the matrix. The EDS analysis (Figure 5.b. and Figure 5.c.) indicates no Fe contamination in the SiC reinforced Al composite materials produced by grinding for 90 min in the vibration mill. However, there was some staining (such as Fe) in the SiC reinforced Al composite materials produced in vibration mill due to the milling equipment used. Although the MM process was performed in an atmosphere-controlled environment (argon environment), some O<sub>2</sub> staining was observed as well. During the milling process, constant crashes between ball-powder and ball-powder-

milling chamber lead to clean surfaces on powders (within the milling chamber). Oxidation may occur on these clean surfaces due to the small amount of O<sub>2</sub> within argon or due to contact with atmosphere while taking the powders from the mill.

#### 4. Conclusion

The following results were obtained as a result of this study conducted to investigate the effects of the SiC amount and the mechanical milling time on SiC reinforced aluminum composites produced using a vibration mill.

The powder size of the composite powders produced by MM decreased with increasing mechanical milling time. Also, the powder size was observed to decrease with increasing amount of reinforcement phase (SiC). The smallest powder size was obtained for the composite material containing 20% SiC and milled for 120 min.

In general, the increase in the milling time led to a decrease in the density of the aluminum composites, albeit slightly. Also, the density of the composites was observed to increase in parallel with the increase in the amount of reinforcement element.

The hardness value of the composites produced by MM increased with the increasing amount of SiC. Also, the increase in the milling time led to an increase in hardness as well.

#### References

- [1] Prabhu B., Suryanarayana C., An L., Vaidyanathan R. 2006. Synthesis and Characterization of High Volume Fraction Al–Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Nanocomposite Powders By High-Energy Milling. *Materials Science and Engineering: A*, 425 (1-2): 192-200.
- [2] Torralba J.M., Velasco F., Costa C.E., Vergara I., Cáceres D. 2002. Mechanical Behaviour of The Interphase Between Matrix and Reinforcement Of Al 2014 Matrix Composites Reinforced With (Ni<sub>3</sub>Al) p. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 33 (3); 427-434.
- [3] Smagorinski M.E., Tsantrizos P. G., Grenier S., Cvasin A., Brzezinski T., Kim G. 1998. The Properties and Microstructure of Al-Based Composites Reinforced With Ceramic Particles. *Materials Science and Engineering: A*, 244 (1): 86-90.
- [4] Özyürek D., Tekeli S. 2010. An Investigation on Wear Resistance of SiCp-Reinforced Aluminium Composites Produced by Mechanical Alloying Method, *Science and Engineering of Composite Materials*, 17 (1): 31-38.
- [5] Ereğ H.B., Özyürek D., Asan A. 2017. Electrical Conductivity and Corrosion Performances of In Situ and Ex Situ AA7075 Aluminum Composites, *Acta Physica Polonica A*, 131 (1): 153-155.
- [6] Sundararajan V. 2017. Aluminum Composites In Aerospace Applications. <http://satyameva-jayate.net/almmc.htm>, (Erişim tarihi: 4.12.2017).
- [7] Mortensen A., San-Marchi C., Degischer H.P. 2002. Glossary of Terms Specific to Metal Matrix Composites. MMC-Assess Thematic Network.
- [8] Rajan T.P.D., Pillai R.M., Pai B.C. 1998. Reinforcement Coatings and Interfaces in Aluminium Metal Matrix Composites, *Journal of Materials Science*, 33 (14): 3491-3503.
- [9] Yu P., Mei Z., Tjong S.C. 2005. Structure, thermal and mechanical properties of in situ Al-based metal matrix composite reinforced with Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and TiC submicron particles, *Materials Chemistry and Physics*, 93 (1): 109-116.
- [10] Wannasin J., Flemings M.C. 2005. Fabrication of metal matrix composites by a high-pressure centrifugal infiltration process, *Journal of Materials Processing Technology*, 169 (2): 143-149.
- [11] Arifin A., Sulong A.B., Muhamad N., Syarif J., Ramli M.I. 2014. Material processing of hydroxyapatite and titanium alloy (HA/Ti) composite as implant materials using powder metallurgy: a review, *Materials & Design*, 55: 165-175.
- [12] Natarajan S., Narayanasamy R., Babu S.K., Dinesh G., Kumar B.A., Sivaprasad K. 2009. Sliding wear behaviour of Al 6063/TiB<sub>2</sub> in situ composites at elevated temperatures, *Materials & Design*, 30 (7): 2521-2531.
- [13] Özyürek D., Ciftci I. 2011. An investigation into the wear behaviour of TiB<sub>2</sub> particle reinforced aluminium composites produced by mechanical alloying, *Science and Engineering of Composite Materials*, 18 (1-2): 5-12.



- [14] Deuis R.L., Subramanian C., Yellup J.M. 1998. Three-body abrasive wear of composite coatings in dry and wet environments, *Wear*, 214 (1): 112-130.
- [15] Parvin N., Assadifard R., Safarzadeh P., Sheibani S., Marashi P. 2008. Preparation and mechanical properties of SiC-reinforced Al6061 composite by mechanical alloying, *Materials Science and Engineering: A*, 492 (1-2): 134-140.
- [16] Khadem S.A., Nategh S., Yoozbashizadeh H. 2011. Structural and morphological evaluation of Al–5 vol.% SiC nanocomposite powder produced by mechanical milling, *Journal of Alloys and Compounds*, 509 (5): 2221-2226.
- [17] Şimşek İ., Yıldırım M., Tunçay T., Özyürek D., Şimşek D. 2018. Mekanik alaşımlama/öğütme yöntemi ile üretilen Al-SiC kompozitlerin incelenmesi, *Technological Applied Sciences*, 13 (2): 165-171.
- [18] Zhao N., Nash P., Yang X. 2005. The Effect of Mechanical Alloying on SiC Distribution and The Properties of 6061 Aluminum Composite, *Journal of Materials Processing Technology*, 170 (3): 586-592.
- [19] Suryanarayana C. 2001. Mechanical alloying and milling, *Progress in materials science*, 46 (1-2): 1-184.
- [20] Sankar R., Singh P. 1998. Synthesis of 7075 Al/SiC Particulate Composite Powders by Mechanical Alloying, *Materials Letters*, 36 (1-4): 201-205.
- [21] Campbell G.T., Raman R., Fields R.J. 2016. Optimum Press and Sinter Processing For Aluminum/SiC Composites. Aluminum Powder Metallurgy Conference.

---

*Araştırma Makalesi / Research Article*

---

## **Embedding Data Crypted With Extended Shifting Polybius Square Supporting Turkish Character Set**

Hüseyin Bilal MACİT<sup>\*1</sup>, Arif KOYUN<sup>2</sup>, Mehmet Erkan YÜKSEL<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Mehmet Akif Ersoy University, Tefenni MYO, Dept. of Computer Technologies, Burdur, Turkey

<sup>2</sup>Süleyman Demirel University, Engineering Faculty, Computer Engineering, Isparta Turkey

<sup>3</sup>Mehmet Akif Ersoy University, Engineering Faculty, Computer Engineering, Burdur, Turkey

---

### **Abstract**

The security of a message transmitted from one peer to another is a matter of many studies over centuries. Today, with digital communication, billions of data are transmitted from one point to another every milisecond. That is why data security has become one of the most studied topics. In this study, an ancient encryption method called Polybius square which has been a source of inspiration for today's encryption methods is introduced. In addition an expanded version of Polybius square was developed adding Turkish character support. An encryption key has also been added to the Polybius cipher. The entire message can be encrypted with a key or with different keys in each character of the message. The encrypted message is hidden within the pixels of the picture files using the LSB algorithm. Thus, when the message is transmitted to the other side, it is encrypted with a private key, hidden inside a cover data, and has become unsuspecting. To measure the change in cover data; MSE, PSNR and SSIM measurement methods are used. The method proposed in the study is coded with a visual programming language. The developed software has been introduced and its results are shown.

**Keywords:** Polybius cipher, Encryption, Decryption, LSB, Steganography.

---

## **Türkçe Karakter Destekli Genişletilmiş Kayan Polybius Karesi ile Şifrelenmiş Veriyi Gömme**

---

### **Öz**

Bir yerden bir yere iletilen bir mesajın güvenliği, yüzyıllar boyunca yapılan pek çok araştırmanın konusudur. Bugün, dijital iletişim ile milyarlarca veri, her milisaniye bir noktadan diğerine iletilmektedir. Bu nedenle veri güvenliği, üzerinde en çok çalışılan konulardan biri haline gelmiştir. Bu çalışmada, günümüzdeki şifreleme yöntemlerine ilham kaynağı olmuş, Polybius karesi adlı eski bir şifreleme yöntemi tanıtılmıştır. Ayrıca Türkçe karakter desteği eklenerek, Polybius karesinin genişletilmiş bir versiyonu geliştirilmiştir. Polybius karesine ek olarak bir şifreleme anahtarı eklenmiştir. Tüm mesaj bir anahtar ile veya mesajın her bir karakteri farklı anahtarlar ile şifrelenebilmektedir. Şifrelenmiş mesaj, LSB algoritması kullanılarak resim dosyalarının pikselleri içinde gizlenmiştir. Böylece, mesaj karşı tarafa iletildiğinde, bir kapak verisinin içine gizlenmiş ve bir özel anahtarla gizlenmiştir ve varlığı şüphe çekmemektedir. Kapak verisindeki değişimi ölçmek için; MSE, PSNR ve SSIM ölçüm yöntemleri kullanılmıştır. Araştırmada önerilen yöntem görsel bir programlama dili ile kodlanmıştır. Geliştirilen yazılım tanıtılmış ve ürettiği sonuçlar gösterilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Polybius şifrelemesi, Şifreleme, Şifre çözme, LSB, Steganografi.

---

### **1. Introduction**

Today; people, companies and corporations use the internet as their primary communication tool. Internet is the fastest and most wide platform for rapid transfer of information. One of the biggest problems on the Internet is ensuring the safety of transferring data [1]. Ensuring the security of

---

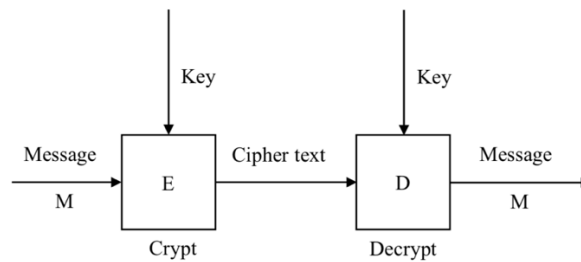
\*Sorumlu yazar: [hbmact@mehtetakif.edu.tr](mailto:hbmact@mehtetakif.edu.tr)

Geliş Tarihi: 25.07.2018, Kabul Tarihi: 17.01.2019

information can be described as to prevent the access, use, alteration, destruction and damage of information in an unauthorized way [2]. Three key elements of information security are; confidentiality, integrity and availability. Confidentiality is preventing unauthorized access to information or preventing knowledge of existence of the information. Integrity is preventing modification of information by unauthorized persons or software. Availability is to allow access of only authorized persons when they needed the information. The information is not secure even if one of these three basic elements is damaged [2, 3]. There are three basic ways of securing information. These are; prevention, restriction and encryption. Information is secured if access to information is prevented with any blocking access to network. Also information is secured if access to the network is restricted or insulated. If access to the network is not restricted, the most common way of ensuring information security is to encrypt it with information encryption algorithms [4].

Most popular ways of securing information for centuries are cryptography and steganography. The aim of steganography is to hide the existence of information. The steganographic method keeps the secret information embedded in another ordinary information in transmission [5]. Steganography is the best way to transmit information without any doubt, but as the size of the secret information grows, the size of the carrier information must grow [1]. Cryptology uses many disciplines such as mathematics, physics, statistics, computer science and electronics [6]. The aim in cryptography is transforming an important piece of information into a form that can not be understand by third parties [5, 7]. The cryptography word is the combination of two Greek words; “crypto,” which means hidden and “graphos” which means writing [8] and steganography word is the combination of two Greek words; “stego” which means covered and protected and “graphos” which means writing [9].

There are terms as open information, cipher text, key, method name and algorithm in a cryptography method. M is open information (message to be sent), C is encrypted information, K is key, E is encryption method and D is encryption method as it is shown in Figure 1 [10].



**Figure 1.** Common method of cryptology

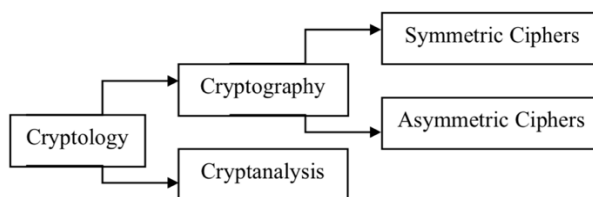
According to Figure 1, encryption basically can be shown as;

$$C = E_K(M) \tag{1}$$

and decryption can be shown as [10];

$$M = D_K(C) \tag{2}$$

As it is shown in Figure 2; cryptography methods are examined in two categories according to the type of the key they use; symmetric cryptography, which uses private key and asymmetric cryptography which uses public key for encryption and decryption [5].



**Figure 2.** Cryptology overview [4]

The most common type of encryption is symmetric encryption which is also called as traditional or single key method and uses the same key for encryption and decryption, that is why the third person should not know the key value. An example to this method can be given as DES [10]. In asymmetric encryption methods; encryption and decryption are performed using two different keys [4]. It's not enough to decrypt the ciphertext when third parties capture the open key. Cryptanalysis is the method of obtaining the true information from a coded, meaningless data [6].

**2. Material and Method**

The Greek historian Polybius, who lived between the years of 203 and 120 BC, invented a ciphering table, which is called by his name. He has placed a square matrix consisting of 5 rows and 5 columns, as every cell shows one of the 26 letters of the Latin alphabet as it is shown in Table 1. The goal is to encrypt the Latin alphabet using only 5 characters which are the numbers of rows and columns [7].

**Table 1.** Polybius square

	1	2	3	4	5
1	A	B	C	D	E
2	F	G	H	I/J	K
3	L	M	N	O	P
4	Q	R	S	T	U
5	V	W	X	Y	Z

The letters 'I' and 'J' are combined into a single cell in the Polybius square. Mostly, it is possible to guess from the meaning of the text which letter will come in the solved text. To encrypt a word; every letter of the word is shown as number of the row and column in the square. For example; The letter 'D' is encrypted as '14' and the letter 'S' as '43' [4]. When the POLYBIUS word is encrypted, ciphertext string is created with the line and column numbers as in Table 2.

**Table 2.** Encrypting the word “POLYBIUS”

Letter	P	O	L	Y	B	I	U	S
Sequence	1	2	3	4	5	6	7	8
Cipher	35	34	31	54	12	24	45	43

The dual number sets representing the row and column number for each letter are combined to form the ciphertext: “3534315412244543” which is going to transmit to the recipient. If the recipient knows the decryption method, he can easily decrypt the ciphertext, but he has to put the letter 'I' or 'J' through guessing. As it is seen; Polybius square does not offer secure encryption in today's conditions. However, it can be used combined with different methods such as steganography to provide a secure communication [11].

Polybius encryption is also the basis of many encryption methods used today. However, the Polybius cipher has weaknesses such as;

- It is easy to break because no key is used.

- It can only encrypt Latin alphabetic letters. Besides, it can't encrypt any of the numbers, punctuation and space between words.
- Since the letters I and J are encrypted with the same code, the decoder must interpret them. For this reason, there is a possibility of error in decryption [4].

An improved version of Polybius encryption is developed in this study which uses a shifting key to get rid of those weaknesses. This new square is an expanded 10x7 matrix to support all characters on the Turkish keyboard. Moreover, two different characters do not hold in the same cell, so there is no possibility of making mistakes decrypting the ciphertext. Also as it is shown in Table 3, the cell which is in the intersection of row number 8 and column number 2 contains the space character. Thus, the spaces between words and sentences can also be encrypted.

**Table 3.** Improved version of Polybius square (Key=0)

	1	2	3	4	5	6	7
1	A	B	C	Ç	D	E	F
2	G	Ğ	H	I	İ	J	K
3	L	M	N	O	Ö	P	R
4	S	Ş	T	U	Ü	V	Y
5	Z	Q	X	W	1	2	3
6	4	5	6	7	8	9	0
7	.	,	:	;	+	-	*
8	/		!	“	#	+	%
9	&	=	<	>	?	@	[
10	]	\	_	(	)	{	}

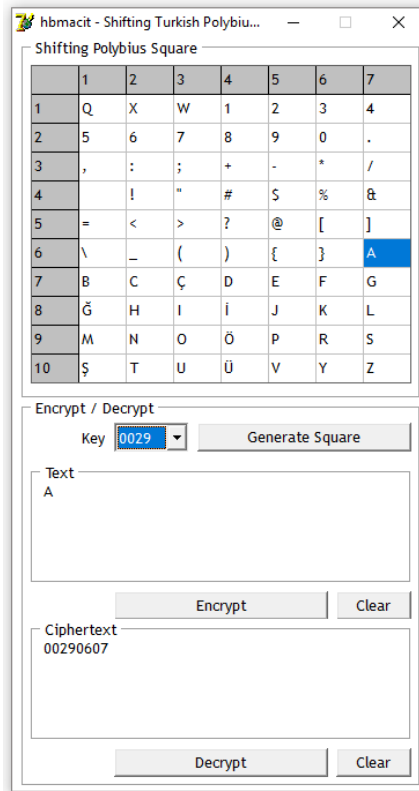
The main goal of this improved version is the ability of shifting all the cells of the matrix with the value of a shift key. The pseudo code of the process of creating the polybius square with the shifting key is;

```

for ( i = 1 to 70)
{
    read( shiftvalue )
    mypointer ← (( shiftvalue + i ) mod 70 ) + 1
    newarray ← newarray + oldarray [ mypointer ]
}
for ( i = 1 to 7 )
    for ( j = 1 to 10 )
        {
            Polybius.cells[i, j] ← newarray[ ((j - 1)*7)+i ]
        }

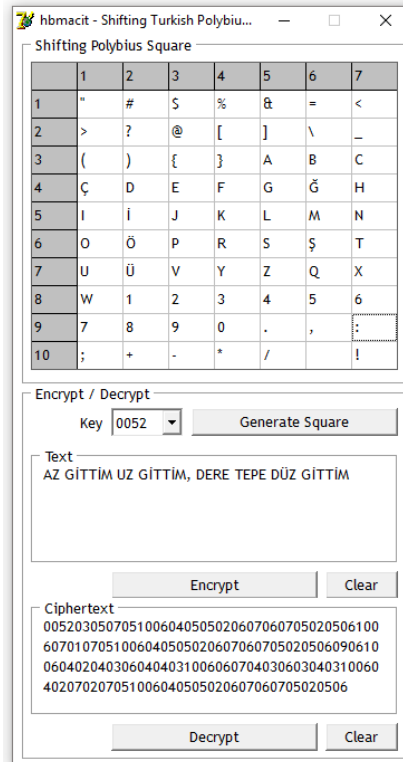
```

To implement the extended Polybius cipher, a software is developed with the a visual programming language. Figure 3 shows developed application encrypting of letter ‘A’ when shifting key is equal to 29 as an example. As it is seen, the cell values of the Polybius square are shifted to the left by the size of the key value.



**Figure 3.** The matrix created with Key value 29 and letter ‘A’ encryption in developed application

Shifting key value can be used between 0 and 69. After 70 time shifts, the matrix gets to the non-shifted situation. The sentence “AZ GİTTİM UZ GİTTİM, DERE TEPE DÜZ GİTTİM” is encrypted with the proposed method as it is seen in Figure 4. As it is seen, the sentence includes Turkish characters and punctuation.



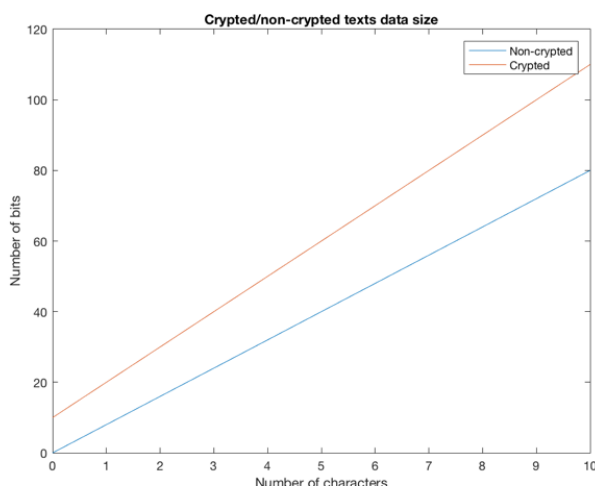
**Figure 4.** A Turkish punctuated sentence encrypted with shifting key value 52

First 6 characters of generated ciphertext shown in Figure 5 is analysed in Table 4 as an example. First four digits of ciphertext shows the key value. Then every 4 digits define a segment which represents a cell in the Polybius square. For example, the cell which contains letter ‘A’ is at the intersection of row 3 and column 5 when the key value is 0052. So the segment representing letter ‘A’ is generated as “0305”.

**Table 4.** First digits of example ciphertext

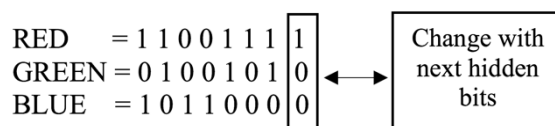
Shifting Key	A	Z	Space	G	İ	T
0052	0305	0705	1006	0405	0502	0607

Many coding standards such as UTF-8, Unicode, Big-5 developed to facilitate the expression of different language keyboards and alphabets. This study supposes a 8 bit coding system with a set of 255 characters. In the proposed method; each encrypted segment can be represented as a binary sequence. Since each segment is between 0101 and 1007, a character which encodes in 8 bits in can be encoded as a 10 bit binary string in the proposed method after encryption. Because 10 bit data represents numbers between 0 ( $2^0-1$ ) and 1023 ( $2^{10}-1$ ). It means a vector difference between crypted and uncrypted data size as it is shown in Figure 5.



**Figure 5.** A comparison of data size of encrypted versus non-encrypted text

The second scope of this study is transmitting the ciphertext without any doubt. The best way of unsuspecting transmission is using a steganography method. This study runs a Least Significant Bit algorithm to hide each ciphertext segments into an image file. LSB algorithm basically runs as in Figure 6.



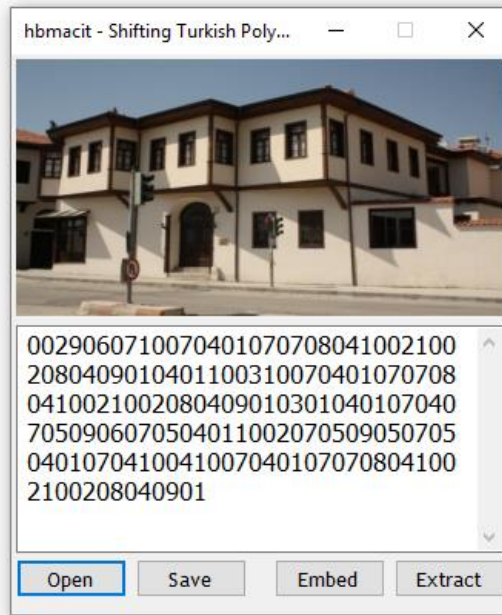
**Figure 6.** Basic expression of LSB

An 8 bit color value is between 0 and 255. Each pixel of a 24 bit color bitmap image is represented with 3 x 8 bits of color sets, thus, changing of last bit of every set doesn't make a visible change on the image [12]. LSB method can hide 3 bits to each pixel of an image. For example; a 320x240 pixels image can hide 320x240x3=230,400 bits without a remarkable change. Pseudo code of implemented algorithm in this study runs as;

```

bincipher ← bin(ciphertext)
pixelno ← 1
binpointer ← 0
while(l=1)
{
    bin(R) ← bin(R)+binary(bincipher[binpointer])
    binpointer ++
    if (ciphertext=length(binarycipher)) break
    bin(G) ← bin(G)+binary(bincipher[binpointer])
    binpointer ++
    if (ciphertext=length(binarycipher)) break
    bin(B) ← bin(B)+binary(bincipher[binpointer])
    binpointer ++
    if (ciphertext=length(binarycipher)) break
    pixelno++
}
    
```








Developed application for hiding ciphertext into an image is shown in Figure 7 with the obtained ciphertext from the sentence shown in Figure 4. The image can be selected in different resolutions. As it is mentioned before, higher resolution means higher embedding capacity in steganography.



**Figure 7.** LSB application with generated ciphertext

7 different image files used to test LSB steganography for same ciphertext. Each image has different size and colors as it is shown in Table 5.

**Table 5.** Images implemented LSB

Name	Landscape	Candy	Ball	Fruits	House	Feather	World
Picture							
Size	217KB	236KB	36KB	582KB	256KB	129KB	152KB
Resolution	320x240	320x240	320x240	525x525	470x314	397x640	225x225



### 3. Results

In the proposed method; each encrypted segment can be sent as a binary sequence. Since each segment is between 0101 and 1007, a character can be encoded in a 10 bit binary array in the proposed method after encryption. Although the decrypting process seems like simple, it is quite difficult for a user who does not know the method and key. Even if the encryption method alone does not provide high security, it is supported with a steganographic algorithm to establish a unsuspecting data transfer for higher security communication. The goal of a steganography algorithm is altering the cover as less as possible. Alteration measure can be divided into two categories as objective and subjective. Subjective measure depends to capacity of human visual system. Objective measure depends on some mathematical algorithms such as Peak Signal to Noise Ratio (PSNR) and Structural Similarity Index Measurement (SSIM) [13]. The performance of embedding method is measured by this methods.

PSNR is the noise ratio of an image before and after distortion. Higher PSNR means higher distortion. PSNR is calculated as;

$$PSNR = 20 \times \log_{10} \left( \frac{255}{\sqrt{MSE(I, I_o)}} \right) \tag{3}$$

I is image after distortion, I<sub>o</sub> is the original image. To calculate PSNR, first Mean Square Error value has to be calculated which has a inverse ratio to PSNR. Lower MSE means higher performance on the steganography method. MSE is calculated as [13];

$$MSE(I, I_o) = \frac{1}{M \times N} \times \sum_{y=1}^M \sum_{x=1}^N [I, I_o]^2 \tag{4}$$

SSIM is a method which considers the quality deterioration in the frames because it perceives the changes in structural information between them. SSIM of images I and I<sub>o</sub> is calculated as [14];

$$SSIM(I, I_o) = [l(I, I_o)]^\alpha \cdot [c(I, I_o)]^\beta \cdot [s(I, I_o)]^\gamma \tag{5}$$

MSE, PSNR, SSIM calculations of 7 images shown in Table 5 which are coded and calculated in Matlab software before and after LSB application of generated ciphertext. Results of calculation is shown is Table 6.

**Table 6.** Similarity results of I and I<sub>o</sub>

Name	MSE	PSNR	SSIM
Landscape	0,0088	68,7125	0,999907
Candy	0,0029	73,5030	0,999977
Ball	0,0038	72,4195	0,999956
Fruits	0,0010	77,9690	0,999986
House	0,0015	76,2948	0,999974
Feather	0,0011	77,7689	0,999985
World	0,0057	70,6397	0,999957

As a result, a lower alteration with a LSB steganography method is implemented and tested in this study. Hidden data is encrypted before embedding with a private key and an ancient method. Similarity results show that an unsuspecting text carrying method is generated with an encryption method which can be useful in real time applications.

#### 4. References

- [1] Manikandan G., Rajendiran P., Balakrishnan R., Thangaselvan, S. 2018. A Modified Polybius Square Based Approach for Enhancing Data Security, *International Journal of Pure and Applied Mathematics*, 119 (12): 13317-13323.
- [2] Çek E. 2017. Kurumsal Bilgi Güvenliği Yönetişimi ve Bilgi Güvenliği İçin İnsan Faktörünün Önemi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Bilgi Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, 1p.
- [3] Baykara M., Daş R., Karadoğan İ. 2013. Bilgi Güvenliği Sistemlerinde Kullanılan Araçların İncelenmesi, 1'st International Symposium on Digital Forensics and Security, 231-239, Elazığ.
- [4] Kondo T.S., Mselle L.J. 2013. An Extended Version of the Polybius Cipher, *International Journal of Computer Applications*, 79 (13): 30-33.
- [5] Kumar P., Rana S.B. 2015. Development of Modified Polybius Technique for Data Security, *International Journal of Engineering and Technology*, 5 (2): 227-229.
- [6] Akleyek S., Yıldırım H.M., Yüce Tok Z. 2011. Kriptoloji ve Uygulama Alanları: Açık Anahtar Altyapısı ve Kayıtlı Elektronik Posta, Akademik Bilişim'11 - XIII. Akademik Bilişim Konferansı Bildirileri, İnönü Üniversitesi, Malatya.
- [7] Maity M. 2014. A Modified Version of Polybius Cipher Using Magic Square and Western Music Notes, *International Journal For Technological Research In Engineering*, 1 (10): 1117-1119.
- [8] Gualtieri D.M. 2014. *Secret Codes & Number Games*, Tikalon Press, ISBN: 978-1-942459-01-9, p:1.
- [9] Sumathi C.P., Santanam T., Umamaheswari G. 2013. A Study of Various Steganographic Techniques Used for Information Hiding, *International Journal of Computer Science & Engineering Survey*, 4 (6): 9-25.
- [10] Yerlikaya T., Buluş E., Buluş N. 2006. Kripto Algoritmalarının Gelişimi ve Önemi, Akademik Bilişim Konferansları, Denizli.
- [11] Ismail M., Zarin T., Saqib N.U. 2014. Hiding Information Using Techniques of Polybius Square and Steganography to ensure Security, *First International Conference on Emerging Trends in Engineering, Management and Sciences*, Peshawar, Pakistan.
- [12] Yalman Y., Ertürk İ. 2009. İmge Histogramı Kullanarak Geometrik Ataklara Dayanıklı Yeni Bir Veri Gizleme Tekniği, *Akademik Bilişim Dergisi*, Harran Üniversitesi.
- [13] Kaş Ü., Tanyıldız E. 2017. Euler Renk ve Hareket Büyütme Yöntemlerinin Performans Analizi, *Afyon Kocatepe University Journal of Science and Engineering*, 17: 506-515.
- [14] Wang Z., Simoncelli E.P., Alan C. 2003. Multi-scale Structural Similarity For Image Quality Assessment, *The Thirty-Seventh Asilomar Conference on Signals, Systems & Computers*, DOI: 10.1109/ACSSC.2003.1292216.

---

*Araştırma Makalesi / Research Article*

---

## **Van İli Güneş ve Hidroelektrik Enerji Potansiyelleri ve İl Ekonomisine Katkıları**

Abuzer YAMAN<sup>\*1</sup>, Ahmet YAKIN<sup>2</sup>, Rasim BEHÇET<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Van Meslek Yüksekokulu, Elektronik ve Otomasyon Bölümü, Van

<sup>2</sup>Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Van Meslek Yüksekokulu, Motorlu Araçlar ve Ulaştırma Teknolojisi Bölümü, Van

<sup>3</sup>İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Malatya

---

### **Öz**

Fosil kökenli yakıtların tükenme eğilimi göstermesi ve yakın gelecekte tükenecek olması, alternatif enerji kaynaklarını gündeme getirmiştir. Fosil yakıtlardan kaynaklanan çevre kirliliği her geçen gün artmakta ve küresel ısınmayla birlikte buzulların erimesine ve deniz seviyesinin yükselmesine neden olmaktadır. Fosil yakıtlarının çevre ve insan sağlığı üzerindeki zararlı etkilerini azaltmak için bilim insanları ve araştırmacılar temiz, yenilenebilir ve çevreye duyarlı, enerji kaynaklarını araştırmaya yönelmişlerdir. Tüm dünyada olduğu gibi Türkiye’de de ucuz, temiz, potansiyeli yüksek, çevreye zararı yok denecek kadar az olan ve yenilenebilir enerji kaynaklarının başında güneş ve hidroelektrik enerjileri gelmektedir. Coğrafi konum itibarıyla Türkiye’nin Doğu Anadolu Bölgesinde bulunan Van ili, bölgenin en fazla güneş alan illerinden biridir. Elektrik İşleri Etüt İdaresi ve Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası verileri dikkate alındığında Türkiye’nin yıllık ortalama toplam güneşlenme süresi 2.736,89 saat olup Van ilinde bu değer 3.068,74 saat ile ortalamanın oldukça üstündedir. Bununla birlikte Van ilinin yüksek rakımlı olması ve kış aylarında çok yağış almasından dolayı il genelinde yüksek miktarda akarsular meydana gelmekte ve hidroelektrik enerji potansiyelini artırmaktadır. Van ilinin mevcut hidroelektrik üretim potansiyeli 62,02 MW olup bu miktar yerel enerji kaynaklarının %92 sine karşılık gelmektedir. Van ilinin enerji kaynakları dikkate alındığında güneş ve hidrolik enerji ön plana çıkmaktadır. İlin tüm hidroelektrik enerji santralleri ve güneş enerji santralleri faaliyete geçtiğinde bu enerjilerin ilin ekonomisine katkıları, yıllık yaklaşık olarak 1,082 milyar TL olacaktır. Güneş ve hidrolik enerji kaynaklarının temiz, çevreye duyarlı, ekonomik, yenilenebilir olması özelliklerinden dolayı bu çalışmada Van ilinin güneş ve hidroelektrik enerji potansiyelleri araştırılmış ve bu enerji potansiyellerinin ilin ekonomisine katkısı incelenmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Elektrik enerjisi, güneş enerjisi, hidroelektrik enerji, yenilenebilir enerji.

---

## **The Potential of Solar and Hydroelectric Energy in Van Province and Its Contribution to the Economy of the Province**

### **Abstract**

The likelihood in fossil fuels to run out and be depleted in the near future has brought about a need for alternative energy sources. Environmental pollution caused by fossil fuels is increasing day by day, and it causes a melting of glaciers and a rise in sea levels caused by global warming, among other factors. In order to reduce the harmful effects of fossil fuels on the environment and human health, scientists and researchers have turned to clean, renewable and environmentally sensitive energy sources, which should be utilized in Turkey, as in all over the world, which are considered as cheaper, cleaner and have higher potential energy, with little or no damage to the environment and which are regarded to be the most prominent solar and hydropower renewable energy sources. Of all feasible regions of Turkey, the geographical position of Van province in eastern Anatolia is considered as a region possessing one of the highest solar reserves. Based on the data obtained from Electrical Power Resources Survey and Agency for The Development of Solar Energy, Potential Atlas, Turkey's average annual total sunshine hours has been determined to be 2.736,89 hours 3.068,74 in Van, which is significantly above any other value to be found in any other region in the country. However, due to the higher altitude of Van province and heavy rain falls in winter months, high rivers occur in the province and increase the hydroelectric energy potential. The existing hydroelectric potential of the province of Van is 62,02 MW, which corresponds to 92% of the local energy

---

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

Geliş Tarihi: 31.08.2018, Kabul Tarihi: 04.01.2019

resources. Considering the energy sources of the province of Van, solar and hydraulic energy comes to the fore. When all hydroelectric power plants and solar power plants of the province are operational, their contribution to the economy of the province will be approximately TL 1,082 billion annually. In this study, solar and hydroelectric potentials of the province of Van have been researched and the contribution of these energy potentials to the economy of the province has been investigated.

**Keywords:** Electrical energy, solar energy, hydroelectric energy, renewable energy.

## 1. Giriş

Yenilenebilir enerji kaynakları içinde güneş enerjisinin avantajları, diğer enerji kaynaklarına oranla oldukça fazladır. Açık ve güneşli bir havada sadece 15 dakikalık ışımaya tüm dünyanın bir yıllık enerji ihtiyacını karşılamaya yeterlidir [1]. Ayrıca bilindiği gibi dünyanın dörtte üçü sudur. Bundan dolayı akarsu ve nehirler üzerine kurulan barajlardan elde edilen hidroelektrik enerji de enerji ihtiyacını karşılamada büyük bir öneme sahiptir.

Dünya genelinde elektrik enerjisi, yakıt hücreleri, nükleer enerji ve hidrojen enerjisi gibi kaynakların yanı sıra yenilenebilir enerji kaynaklarından ve petrol, linyit, kömür ve doğalgaz gibi fosil enerji kaynaklarından elde edilmektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları olarak, biokütle, güneş, su (hidrolik), rüzgâr, jeotermal ve dalga (gel-git) enerjileri sayılabilir.

Güneş enerjisi ile ilgili 2006 yılında yapılan bir çalışmada; yenilenebilir enerji kaynakları arasında sahip olduğu potansiyel ve üretim teknolojileri bakımından farklı ve önemli bir yeri olan güneş enerjisi üretim sistemleri, Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyeli ve bu potansiyeli kullanma yöntemi araştırılmıştır. Türkiye için güneş enerjisinden etkin ve yaygın bir şekilde faydalanmak için önerilerde bulunulmuştur [2]. 2013'de yapılan bir çalışmada ise Adıyaman ilinin güneş enerjisi potansiyeli ve kullanılabilirliği üzerine bir araştırma yapılmıştır [3]. 2011'de yapılan bir çalışmada Konya'nın güneş enerjisi potansiyeli ortaya konmuş ve güneşten elektrik üretimi konusunda Konya'da yapılan örnek bir uygulamanın ayrıntılarına yer verilmiştir. Türkiye'de güneşten elektrik üretimi konusunda en büyük teşvikin verildiği şehir olan Konya'da, benzer uygulamaların yaygınlaşmasına olan ihtiyaç vurgulanmıştır [4].

Dünyada nüfus artışıyla birlikte gelişen teknoloji, beraberinde hızlı bir şekilde enerji tüketimini de arttırmaktadır. Günümüzde elektrik enerjisi ihtiyacının büyük bir kısmı halen fosil yakıtlardan karşılanmaktadır. Fosil yakıtlarının tükenme eğilimi göstermesi ve yakın gelecekte tükenecek olması, çevre kirliliği oluşturması, küresel ısınmaya ve dolayısıyla deniz seviyesinin yükselmesine sebep olması nedenlerinden ötürü, günümüz bilim insanları çevreye duyarlı, temiz, ekonomik enerji kaynakları üzerinde çalışmaktadırlar. Van ilinde de elektrik enerjisi üretimine katkıda bulunan yenilenebilir enerji kaynakları olarak sahip olduğu potansiyel sebebiyle güneş ve hidroelektrik enerjileri ön plana çıkmaktadır [5].

Van ili, güneş enerjisi açısından Türkiye geneli göz önüne alındığında oldukça avantajlı bir konumdadır. Global radyasyon değerleri açısından üçüncü il, güneşlenme süreleri açısından ise ikinci il durumundadır [6]. Bu avantajları sebebiyle güneş enerjisi üretiminde Van ili en verimli illerden biridir. Bu yüzden Van ilinde güneş enerjisine lisanslı veya lisanssız yatırım yapmak için yoğun bir talep vardır [7].

Van ilinin sahip olduğu bir diğer avantaj, yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan hidroelektrik enerjidir. Akarsular açısından yüksek bir potansiyele sahip olan ilin bu potansiyeli değerlendirilerek hidroelektrik santraller (HES) kurulmuştur. Hâlihazırda bu HES'ler, üretilen enerjide en yüksek paya sahiptir [8].

Bu çalışmada, Van ili güneş ve hidroelektrik enerjilerinin potansiyelleri karşılaştırmalı olarak yapılmış, bu enerjilerin ekonomiye katkıları incelenmiştir. Çalışma genel olarak yenilenebilir enerji kaynaklarından olan güneş ve hidroelektrik enerjilerinin, ilin ve ülkenin ekonomisi üzerindeki önemini göstermektedir.

## 2. Güneş Enerjisi

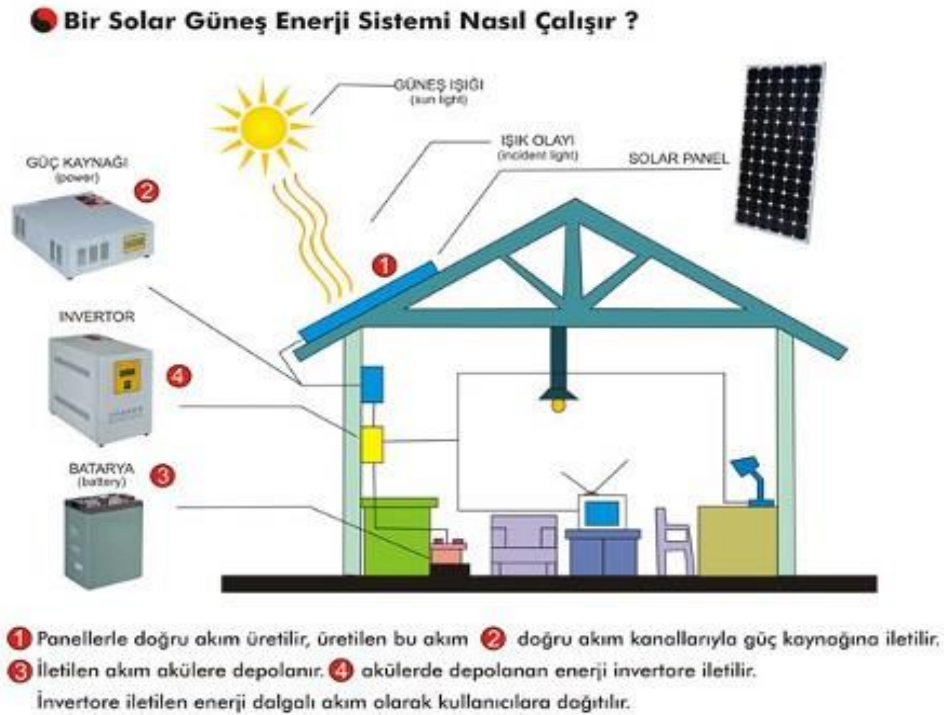
20. yüzyılda dünya nüfusu 4 kat artarken elektrik enerjisi talebi 16 kat artmıştır. Dünyadaki 7,5 milyar insanın günümüz şartlarındaki yaşam tarzını sürdürebilmesi için 13 TWh (terawatt) enerji gereklidir.

[9]. Günümüzde bu talep, artan nüfusa ve gelişen teknolojiye paralel olarak hızla artmaya devam etmektedir. Enerji tüketiminin hızlı bir şekilde artması ve fosil enerji kaynaklarının da tükenme eğilimi göstermesi, enerji kaynakları açısından insanları endişeye sevk etmiş, fosil enerji kaynaklarına alternatif olarak yeni kaynak arayışına yönelmesine sebep olmuştur.

Yenilenebilir enerji kaynakları arasında çevreye duyarlı, temiz ve en ekonomik olanları arasında güneş enerjisini saymak mümkündür. Güneş enerjisinden elektrik enerjisi elde etmek için, yarı iletken maddelerden elde edilen fotovoltaik piller kullanılmaktadır. Bu cihazlar p-tipi ve n-tipi iki yarıiletkenin bir araya getirilerek kavşak oluşturulmasıyla meydana gelir. Bunlara güneş pili de denmektedir. Fotovoltaik (Photovoltaic) kelimesi, güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştürme anlamını içermektedir. Işık anlamına gelen “photo” ve elektriksel voltaj anlamına gelen “voltaic” kelimelerinin bir araya gelmesi ile fotovoltaik kelimesi oluşur. Fotovoltaikler (PV) güneş ışınlarını, doğrudan elektrik enerjisine dönüştürebilen cihazlardır [10].

Güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretmek için güneş hücreleri (güneş pilleri) kullanılmaktadır. Yüzeyine gelen güneş ışığının taşıdığı enerjiyi doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren bu hücreler, yarıiletken malzemelerden üretilmektedir. Enerji dönüşümünde, güneş hücresini oluşturmak için kullanılan yarıiletken malzemelerin iş fonksiyonu, mobilite, iletkenlik, özdirenç gibi karakteristik özelliklerinden faydalanılmaktadır. Güneş pilleri algıladıkları foton enerjisinden faydalanarak pozitif ve negatif yükler oluşturur. Bu şekilde güneş enerjisini doğrudan kullanılabilir hale getirir ve yararlı elektrik enerjisi elde edilir.

Şebekeye bağlı olmayan sistemlerde (Off-grid sistemler) güneş enerjisinden elektrik enerjisi elde edilme aşamaları Şekil 1’de belirtilmektedir. Böyle bir sistemle bir konutun elektrik ihtiyacının nasıl karşılanması gerektiği gösterilmektedir [11].



Şekil 1. Güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretimi aşamaları [11]

## 2.1. Van ili güneş enerjisi

Güneş tarlası olarak adlandırılan Van ili, yaz aylarında en fazla güneş enerjisini alan, Karaman ve Antalya illerinden sonra üçüncü ilimizdir [6]. Tablo 1’de Van ilinin ve Türkiye’nin güneş enerjisi ve güneşlenme süreleri karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Burada görüldüğü gibi Türkiye’nin ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi 2.736,89 saat/yıl iken Van ili için 3.068,74 saat/yıl’dır. Toplam radyasyon (ışınım) şiddeti ise Türkiye ortalaması 1.524,18 kW/m<sup>2</sup>-yıl iken Van ili için bu değer 1.635,81 kW/m<sup>2</sup>-

yıl'dır. Görüldüğü gibi Van ili her iki kategoride de Türkiye ortalamasının oldukça üstünde bir potansiyele sahiptir [5].

**Tablo 1.** Van'ın ve Türkiye'nin aylık bazda, günlük ortalama ve yıllık toplamda, güneşlenme süreleri ve güneş enerjisi potansiyeli [5]

AYLAR	Van potansiyeli		Türkiye potansiyeli	
	Günlük Global radyasyon (kW/m <sup>2</sup> -gün)	Günlük Güneşlenme Süresi (saat/gün)	Günlük Global radyasyon (kW/m <sup>2</sup> -gün)	Günlük Güneşlenme Süresi (saat/gün)
Ocak	1,91	5,27	1,79	4,11
Şubat	2,84	6,40	2,50	5,22
Mart	4,14	7,39	3,87	6,27
Nisan	5,13	8,50	4,93	7,46
Mayıs	6,63	10,11	6,14	9,10
Haziran	6,99	11,55	6,57	10,81
Temmuz	7,16	11,65	6,50	11,31
Ağustos	6,05	10,97	5,81	10,70
Eylül	5,25	10,31	4,81	9,23
Ekim	3,64	7,65	3,46	6,87
Kasım	2,31	6,16	2,14	5,15
Aralık	1,73	4,93	1,59	3,75
Toplam	1.635,81 kW/m <sup>2</sup> -yıl	3.068,74 saat/yıl	1.524,18 kW/m <sup>2</sup> -yıl	2.736,89 saat/yıl

## 2.2. Güneş enerjisinden elektrik üretiminin avantajları

Yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretildiğinde herhangi bir ilave yakıtı ihtiyacı yoktur. Yakıtı, tükenmeyen bir kaynak olan güneştir. Yakıt kullanılmadığından karbon monoksit, toz, kükürt, duman, gaz, vs gibi kirleticileri ihtiva etmeyen temiz bir enerji kaynağıdır.

Güneş enerjisinden elektrik enerjisi üreten Güneş Enerjisi Santralleri (GES), kurulum maliyetlerini 6-8 yıl içinde amorti etmektedir. Panellerin 20-25 yıllık ömürleri göz önüne alındığında oldukça avantajlı bir enerji kaynağı olduğu görülmektedir. Tesisin büyüklüğüne göre kurulumu bir ay ile dokuz ay arasında bir süre almaktadır.

GES'lerin bakımı kolay, bakım maliyeti ucuz ve işletme maliyetleri düşüktür. Şebeke hatlarının olmadığı bölgelerde elektrik enerjisi üretimi için güneş enerjisinin kullanımı büyük bir avantajdır. Ulaşım probleminin olduğu yerlerde, tarım makinelerinde, karayollarında, demiryollarında, deniz taşıtlarında, hava araçlarında, uydularda enerji ihtiyacı güneş panelleri aracılığıyla karşılanmaktadır [12].

## 2.3. Güneş enerjisinden elektrik üretiminin dezavantajları

GES'ler için çok büyük arazilere ihtiyaç duyulması, GES'lerde kullanılan Fotovoltaik güneş panellerinin fiyatının çok yüksek olması, kullanılan akülerin çabuk bozulabilmesi, GES'lerin tarıma elverişli topraklara kurulması gibi dezavantajları sayılabilir.

Günümüzdeki güneş paneli teknolojisi ile güneş ışınlarının en fazla %12-20'si elektriğe dönüştürülebilmektedir. GES'lerin fizibilitesi yapılmış, teknik ve ekonomik olabilmesi için global radyasyonun 1.650 kWh/m<sup>2</sup>-yıldan daha düşük olmamalıdır.

Özellikle göç eden kuşlar için güneş kuleleri dediğimiz elektrik üretim yöntemi, büyük bir risk oluşturmaktadır [12].

## 2.4. Güneş enerjisinin Van iline ekonomik faydaları

Eski adı "Güneş şehri" anlamına gelen "Tuşba" olan Van ilinde GES kurulumu için yeterli alan mevcuttur. İlde GES kurulumuna uygun toplamda 80 milyon m<sup>2</sup> alan bulunmaktadır. Bunun 40,8 milyon

m<sup>2</sup>'lik kısmı kullanılmaktadır [6]. Bu da kapasitenin yarısı kullanılabilir halde ekonomiye kazandırılabilir, önemli bir katkı sağlayabilir demektir.

Doğu Anadolu Kalkınma Ajansına (DAKA) toplamda 147,77 MW kapasite değerinde lisansız 178 başvuru yapılmıştır. Bu miktar ilde lisanslı kurulum için belirlenen kotanın (77 MW) yaklaşık iki katı kadardır. Bu da halkın bilinçlendiğini göstermekte, kendi enerjisini üreterek hem ekonomiye katkı sağlamakta hem de dışa bağımlılığı azaltmaktadır.

Tablo 2'de Van ili için kurulu ve ön lisans alınıp kurulma aşamasında olan GES'ler verilmiştir [8]. Tabloda görüldüğü gibi toplamda 75,85 MWp güç değerinde bir GES yatırımı yapılmıştır. Hepsi faaliyete geçtiğinde ekonomiye çok önemli bir katkı sağlayacaktır. Bunun ekonomik değeri günümüz Van ilinin şartlarında yıllık olarak yaklaşık 100 milyon Türk Lirasıdır. Ayrıca Akdamar Adası elektrik enerjisi ihtiyacını tamamen fotovoltaik paneller vasıtasıyla karşılamaktadır (Şekil 2). Adanın yıllık sarfiyatı yaklaşık 15.000 kWh iken fotovoltaik paneller tarafından üretilen yıllık enerji 25.651 kWh'tir [13].



Şekil 2. Akdamar Adası güneş enerjisi uygulaması

Tablo 2. Van ili güneş enerjisi santralleri[8]

Santral Adı	Durumu	İl-ilçe	Yeri/Firma	Kurulu güç (MW)
Van YYÜ GES	Aktif	Van/Merkez	YYÜ	0,35
Çatak Belediyesi GES	Aktif	Van/Çatak	Çatak	0,15
Van Ferit Melen Havalimanı GES	Yapım aşaması	Van/Merkez	DHMİ	0,50
Van Arısu GES	Ön lisans	Van/Merkez	Boydak Enerji	45,00
Omicron Engil 208 GES	Ön lisans	Van/Merkez	Akfen Enerji	9,95
Omicron Erciş GES	Ön lisans	Van/Erciş	Akfen Enerji	9,95
PSİ Engil 207 GES	Ön lisans	Van/Merkez	Akfen Enerji	9,95
Toplam				75,85

### 3. Hidroelektrik Enerjisi

Yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan Hidroelektrik enerji, suyun kinetik ve potansiyel enerjisinden faydalanarak oluşur. Su yüksek bir noktadan düşürüldüğünde yüksek bir miktarda enerji elde edilir. Bu da aynı zamanda yüksek hızla akan bir suda yüksek miktarda enerji olduğu anlamına gelir [14].

Hidroelektrik Santraller (HES), belli bir hızda akan suyun gücünü elektrik enerjisine dönüştüren santrallerdir. Hidroelektrik enerji güvenilir, çevre dostu bir enerji kaynağıdır. HES'lerin kurulduğu

bölgelerde oluşturulan baraj gölleri elektrik üretiminin yanında balıkçılık ve tarımsal sulama amaçlı da kullanıldığından dolayı hidrolik enerji gözde enerji kaynakları arasındadır.

HES'ler elektrik üretiminde herhangi bir yakıtı ihtiyaç duymazlar. Baraj kapaklarının açılmasıyla sular hızlı bir şekilde akmaya başlar. Türbinlerden geçerek kinetik enerjiye ve daha sonra da merkez motorun çalıştırılması ile sudan elde edilen enerji elektrik enerjisine dönüşmüş olur [14].

Küçük HES'ler için dünyanın değişik coğrafyalarında uygun alanlar mevcuttur. Bilhassa diğer enerji santrallerinin yapılamadığı kırsal bölgelerde alternatif olarak kullanılmaktadır. Dünyada toplam hidroelektrik enerji üretiminin içerisinde küçük HES'lerin payı, %5-10 arasında değişmektedir [15-17].

Yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde en önemli yeri tutan hidroelektrik enerji potansiyeli teorik olarak hesaplandığında 433 milyar kWh'tir. Bu potansiyel teknik olarak değerlendirildiğinde 216 milyar kWh, ekonomik olarak değerlendirildiğinde ise 140 milyar kWh/yıldır. Türkiye HES bakımından incelendiğinde, 2017 sonu itibarıyla, aktif kurulu güç 27.273 MW'tır. Bu da toplam kurulu gücün yaklaşık %32'sine karşılık gelmektedir. 58,5 milyar kWh olarak gerçekleşmiş elektrik üretimimizin %19,8'i hidrolikten elde edilmiştir [18].

### 3.1. Hidroelektrik enerjinin avantajları

HES'ten elektrik enerjisi üretildiğinde herhangi bir yakıt kullanılmadığından, temiz, zararlı maddeler barındırmayan, çevreye duyarlı, hava kirliliği oluşturmayan bir enerjidir. Enerji ihtiyacı olduğunda çok hızlı bir şekilde devreye alınarak enerji elde edilebilir. Acil durumlarda, su akışı kesildiğinde çok hızlı bir şekilde devreden çıkarılabilir [14].

HES'ler dışa bağımlı değildir ve doğal kaynaklar kullanılır. Barajlar ve santraller uzun ömürlü olduğundan güvenilir enerji kaynağıdır.

HES'lerin üzerine kurulduğu baraj gölleri, aynı zamanda tarım arazilerinin sulanmasında, aşırı yağışların depolanmasında, içme suyu için de kullanılabilir.

### 3.2. Hidroelektrik enerjinin dezavantajları

HES'lerin kurulum maliyeti çok yüksektir ve inşaat süresi çok uzundur. Bunlar, baraj gölleri üzerine kurulduğundan suyun azalması durumunda yağış olmazsa bundan olumsuz etkileneceği için elektrik üretimi azalır veya olamaz.

Bunların çevreye etkileri üç kısım altında toplanmaktadır: Fiziksel, Biyolojik ve Sosyal etkileridir. Fiziksel olarak; büyük alanların sular altında bırakılmasıyla, yerleşim alanları, tarihi yapılar, büyük tarım alanları, sular altında kalması ve ekosistemin bozulmasına sebep olacaktır. Biyolojik olarak; barajlarda biriken sular içerisindeki canlıların, parazitlerin, sulama suları vasıtasıyla topraklara geçmesi, su kaynaklı hastalıkların artmasına sebep olmaktadır. Sosyal olarak; su tutulacak bölgelerde yerleşim yerlerinin boşaltılması, sosyal sorunların oluşmasına sebep olmaktadır [19].

### 3.3. Van ilinin hidroelektrik enerji potansiyeli

Van ilinin enerji kaynakları açısından mevcut potansiyeli, bunların toplamdaki payı Tablo 3'te verilmektedir [8].

**Tablo 3.** Van ilinin elektrik santrali tipleri kurulu gücü ve toplamdaki payı [8]

Enerji türü	Kapasitesi (MW)	Payı (%)
Güneş	0,50	0,7
Rüzgâr	0,00	0,0
Jeotermal	0,00	0,0
Biyogaz	0,00	0,0
HES	62,02	92,1
Doğalgaz	0,00	0,0
Kömür	0,00	0,0
Fuel-oil	4,80	7,2



Tablo 3’te görüldüğü gibi Van ilinin hidroelektrik santralleri, ilin elektrik üretiminin %92,1’ini oluşturmaktadır.

### 3.4. Hidroelektrik enerjinin Van iline ekonomik faydaları

İlin yüksek rakımlı olması ve akarsu potansiyelinin yüksek olmasından dolayı HES potansiyeli de diğer illere göre oldukça yüksektir. Bu potansiyelin ekonomiye kazandırılması için çalışmalar sürdürülmektedir.

Tablo 4’te aktif, üretim lisanslı ve ön lisanslı HES’ler verilmiştir. Tabloda görüldüğü gibi, ilde şu an kurulu aktif kapasite 62,017 MW’tır [20]. Bunun ekonomiye yıllık katkısı yaklaşık 205 milyon TL’dir. Bunlara üretim ve ön lisanslı HES’ler de eklendiğinde bu gücün 295,067 MW’a çıkması beklenmektedir. Hepsi faaliyete geçtiğinde ilin ve dolayısıyla ülkenin ekonomisine yaklaşık olarak 982 milyon TL katkı sağlayacaktır [8].

**Tablo 4.** Van ilinin hidroelektrik enerji santralleri [8]

Santral Adı	Durumu	Kurulu Güç (MW)
Ayrancılar HES (Muradiye Elektrik Üretim)	Aktif	41,454
Engil HES (Haliç Elektrik Ür. A.Ş.)	Aktif	4,498
Erciş HES (Haliç Elektrik Ür. A.Ş.)	Aktif	0,784
Hoşap HES (Haliç Elektrik Ür. A.Ş.)	Aktif	3,381
Koçköprü HES (Mostar Elektrik Ür.A.Ş.)	Aktif	8,800
Sarımehmet HES (Doğubay Elektrik)	Aktif	3,100
Toplam		62,017
Tellikaya Regülatörü ve HES	Üretim lisanslı	71,000
Ak HES	Üretim lisanslı	12,000
Zılan Regülatörü ve HES	Üretim lisanslı	4,890
Köprüler-Gem HES	Üretim lisanslı	2,160
Toplam		90,050
Çatak Deliktaş HES	Ön lisanslı	50,000
Karasu Barajı ve HES	Ön lisanslı	30,000
Tügsüs Regülatörü ve HES	Ön lisanslı	29,000
Beşik HES	Ön lisanslı	23,000
Saral 3 HES	Ön lisanslı	11,000
Toplam		143,000
<b>Genel Toplam</b>		<b>295,067</b>

### 4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada, Van ilinin güneş ve hidroelektrik enerji potansiyelleri ve ekonomiye katkıları kapsamlı bir şekilde incelenmiştir.

Van ilinin aktif, yapım aşamasında ve ön lisans alan GES’leri değerlendirildiğinde güneş enerjisinden elektrik üretimi yaklaşık 127 bin MWh/yıl olarak hesaplanmaktadır. Bunun ekonomiye katkısı yaklaşık 100 milyon TL’dir. Aynı şekilde aktif, üretim lisanslı ve ön lisanslı HES’ler değerlendirildiğinde ise hidroelektrik enerjisinden elektrik üretimi yaklaşık 2 milyon 584 bin MWh/yıl ve bunun ekonomiye katkısı da yaklaşık olarak 982 milyon TL’dir. Böylece ildeki HES ve GES’lerin tümü faaliyete geçtiğinde ilin ekonomisine yaklaşık olarak yıllık katkısı 1,082 milyar TL olacaktır. Bu da ilin ve dolayısıyla ülkenin ekonomisine çok önemli bir katkı sağlayacaktır. Bu aynı zamanda enerjide dışa bağımlılığı azaltan önemli bir etkidir.

Güneş enerjisinden elektrik elde etmek için kullanılan fotovoltaik panellerin evlerin çatısına kurulması ile bir evin yıllık elektrik ihtiyacı karşılanmaktadır. Ayrıca bu paneller trafik işaretlerinde, sokak lambalarının aydınlatılmasında, tarımsal alanlarda ve tarım makinelerinde, enerji hatlarının bulunmadığı yerlerde, deniz, hava ve kara taşıtlarında, demiryollarında kullanılarak elektrik enerjisi ihtiyacı karşılanabilmektedir. Bu nedenle eski adı “güneş şehri” anlamına gelen “Tuşba” olan Van ilinin güneş enerjisi bakımından avantajları göz önüne alındığında bu alanda yatırımın daha fazla teşvik edilmesi gerekmektedir.

İldeki yüksek oranda bulunan su kaynaklarının değerlendirilmesiyle hidroelektrik enerji önemli bir avantaja sahiptir. Hidroelektrik enerjiden elektrik elde edilmesinde herhangi bir ilave yakıt kullanılmamaktadır. Dolayısıyla çevre kirliliği söz konusu değildir. Boşa akan suların değerlendirildiği yüksek verimli yenilenebilir enerji kaynaklarındandır. Bu enerjinin elde edilmesinde kullanılan HES'ler uzun ömürlü olduğundan oldukça avantajlıdır.

Yenilenebilir enerjilerin kullanılmasıyla enerjide dışa bağımlılığın önüne geçilerek ülke ekonomisine katkıda bulunulacaktır.

## Kaynaklar

- [1] Yaman A., 2014. Nano Parçacıklarla Katkılanmış MDMO-PPV ve P3HT Tabanlı Polimer Güneş Hücreleri. Doktora Tezi, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Van.
- [2] Varınca K.B., Gönüllü M.T. 2006. Türkiye'de Güneş Enerjisi Potansiyeli ve Bu Potansiyelin Kullanım Derecesi, Yöntemi ve Yaygınlığı Üzerine Bir Araştırma, I. Ulusal Güneş ve Hidrojen Enerjisi Kongresi, ss. 270-275, 21-23 Haziran, Eskişehir.
- [3] Behçet R., Oral H., Gül H. 2013. Adıyaman İlinin Güneş Enerjisi Potansiyeli ve Kullanımı, Batman Üniversitesi Yaşam Bilimleri Dergisi, 3 (2): 52- 67.
- [4] Karaca İ.H., Gürkan E.C., Yazar H. 2011. Konya Ve Civarının Güneş Potansiyeli Ve Selçuklu Belediyesi Muhtar Evlerinde Güneşten Elektrik Üretim Sistemi Uygulaması, I. Konya Kent Sempozyumu, ss.275-292, 26-27 Kasım, Konya.
- [5] Sarıkaya S. 2010. *Güneş Enerjisi Sektörel Analiz Raporu*, Doğu Anadolu Kalkınma Ajansı, Van.
- [6] <http://www.enerjibes.com/vanda-gunes-enerji-santralinden-buyuk-uretim-imkani/> (Erişim tarihi: 14.08.2018)
- [7] <https://www.haberler.com/van-gunes-enerjisinde-uretim-merkezi-oluyor-4208966-haberi/> (Erişim tarihi: 01.11.2018).
- [8] <http://www.enerjiatlas.com/sehir/van/> (Erişim tarihi: 17.08.2018).
- [9] <http://www.cw-enerji.com/genel-tr/dunyanin-elektrik-ihtiyacini-gunes-karsilayacak/> (Erişim tarihi: 01.10.2018).
- [10] Çelebi G. 2002. Bina düzeyinde fotovoltaik panellerin kullanım ilkeleri. Gazi üniv. müh. mim. fak. dergisi, 17 (3): 17-33.
- [11] <http://adra-sun-enerji.com/nasil-calisir/> (Erişim tarihi: 18.08.2018).
- [12] <https://www.enerjibes.com/gunes-enerjisinin-avantajlari-dezavantajlari-nelerdir/> (Erişim Tarihi: 01.11.2018).
- [13] Rüstemli S., Dincer F., Dinçadam F. 2011. Elektrik Enerjisi Üretiminde Güneş Enerjisinin Dünü, Bugünü ve Yarını. Kaynak Elektrik Dergisi, 261: 140-144
- [14] <https://www.enerjibes.com/hidroelektrik-santrali-nedir-nasil-calisir/> (Erişim tarihi: 01.11.2018).
- [15] Gökdemir M., Kömürcü M.İ., Evcimen T.U. 2012. Türkiye'de Hidroelektrik Enerji ve Hes Uygulamalarına Genel Bakış, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, TMH, 471 (1): 18-26.
- [16] Akpınar A. 2007. Dünya, Avrupa Birliği ve Türkiye'nin Toplam Elektrik ve Hidrolik Enerji Üretim Projeksiyonu, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 107s, Trabzon.
- [17] Uzlü E., Filiz M.H., Kömürcü M.İ., Akpınar A., Yavuz O. 2008. Doğu Karadeniz Havzası'ndaki Küçük Hidroelektrik Santrallerin Durumu, 7. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu UTES'2008, ss. 459-466, 17- 19 Aralık, İstanbul.
- [18] Acar E., Doğan A. 2008. Türkiye'nin Rüzgar ve Hidroelektrik Enerji Potansiyeli ve Çevresel Etkilerinin Değerlendirilmesi. 7. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, UTES'2008, ss. 675-682, 17- 19 Aralık, İstanbul.
- [19] <https://hbogm.meb.gov.tr/MTAO/1EnerjiUretimiletimiVeDagitimi/unite2.pdf> (Erişim tarihi: 01.11.2018).
- [20] <http://www.yegm.gov.tr/document/van.pdf> (Erişim tarihi: 17.08.2018).

---

*Araştırma Makalesi / Research Article*

---

## **Enhancement of heat transfer using twisted tape insert in a plain tube**

Taha Tuna GÖKSU<sup>1</sup>, İbrahim Halil YILMAZ<sup>\*2</sup>

<sup>1</sup>*Department of Mechanical Engineering, Adıyaman University, Adıyaman, Turkey*

<sup>2</sup>*Department of Automotive Engineering, Adana Science and Technology University, Adana, Turkey*

---

### **Abstract**

The use of insert within a tube is one of the techniques enhancing the convective heat transfer coefficient at the expense of hydraulic loss penalty. This mutual effect which is a strong function of insert geometry and flow conditions is to be analyzed in detail to improve the overall system performance. This study presents a numerical investigation for analyzing the thermo-hydraulic characteristics of twisted tape insert in a plain tube (with a 13-mm-diameter and 1200-mm-long) which is widely used in refrigeration applications where the compactness of the heating/cooling component is significant. The effect of twist ratio on the thermo-hydraulic performance was conducted for the Reynolds number range of 5,025–14,871 where most of refrigeration applications are operated in. The verification of the simulation results was compared to Dittus-Boelter empirical equation (for the plain tube case) and good agreement was obtained. Results indicate that the variation of the twist ratio between 6–9 increases the friction factor and Nusselt number 197–245%, 180–220%, 163–189% and 156–179%, and 32–54%, 28–46%, 28–33% and 28–33% relative to the plain tube case, respectively for the specified operating conditions. The performance evaluation criteria, which are measure of enhancing heat transfer against hydrodynamic forces, changed between 0.90–1.02, 0.89–1.00, 0.91–0.96 and 0.92–0.96 based on the twist ratio rise. The maximum enhancement in the performance evaluation criteria was obtained at the lowest Reynolds number and twist ratio. The performance evaluation criteria lower with increasing Reynolds number but can be increased by increasing the twist ratio.

**Keywords:** Heat transfer enhancement, Twisted tape, Twist ratio, Performance evaluation criteria.

---

## **Düz tüp içerisinde burulmuş şerit kullanarak ısı geçişinin iyileştirilmesi**

### **Öz**

Tüp içerisinde ilave parça kullanımı, taşınım ısı geçişi katsayısını arttırmak için hidrolik kayıp zafiyeti pahasına kullanılan tekniklerden biridir. İlave parça geometrisinin ve akış koşullarının güçlü bir işlevi olan bu müşterek etki, toplam sistem performansını iyileştirmek için ayrıntılı şekilde analiz edilmelidir. Bu çalışma, ısıtma/soğutma donanım kompaktlığının önemli olduğu soğutma uygulamalarında sıkça kullanılan burulmuş şerit ilavesi yapılmış düz bir tüpün (13 mm çaplı ve 1200 mm uzunluğunda) termo-hidrolik karakter analizinin sayısal olarak incelenmesini sunmaktadır. Burma oranının termo-hidrolik performans üzerindeki etkisi, soğutma uygulamalarının ekseriyetinin çalıştığı 5.025–14.871 Reynolds sayısı aralığında incelenmiştir. Benzetim sonuçlarının doğrulanması deneysel dayalı Dittus-Boelter denklemi ile kıyaslanmış (düz tüp için) ve iyi bir uyum elde edilmiştir. Sonuçlar, burma oranının 6–9 arasındaki değişimi, belirtilen çalışma koşullarında düz tüpe kıyasla sürtünme faktörünü ve Nusselt sayısını sırasıyla %197–245, %180–220, %163–189 ve %156–179 ve %32–54, %28–46, %28–33 ve %28–33 arttırdığını göstermiştir. Hidrodinamik kuvvetlere karşı ısı geçiş miktarının artırılmasının bir ölçütü olan performans değerlendirme kriteri, burma oranı artışına bağlı olarak 0.90–1.02, 0.89–1.00, 0.91–0.96 ve 0.92–0.96 arasında değişmiştir. Performans değerlendirme kriterindeki maksimum artış, en düşük Reynolds sayısı ve burma oranında elde edilmiştir. Performans değerlendirme kriteri Reynolds sayısının artışıyla azalmakta ancak burma oranının artırılmasıyla yükseltilebilmektedir.

**Anahtar kelimeler:** Isı geçişi iyileştirme, Burulmuş şerit, Burma oranı, Performans değerlendirme kriteri.

---

\*Sorumlu yazar: [iyilmaz@adanabtu.edu.tr](mailto:iyilmaz@adanabtu.edu.tr)

Geliş Tarihi: 21.09.2018, Kabul Tarihi: 05.02.2019

## 1. Introduction

Heat transfer enhancement is usually needed to increase both the thermal performance of a specified system and its compactness. Passive heat transfer enhancement which is one of the enhancement methods does not require any prime mover. Hence, it is particularly used in simple systems such as pipe flow where the heat transfer enhancement is managed for a cost effective solution. However, enhancing the heat transfer is performed against hydrodynamic forces which are unavoidable due to shear stresses and pressure [1]. The use of insert, treated and extended surfaces or vortex generator is the typical scheme of this method [2]. The insert is widely used among these schemes. Wire coil (WC) or twisted tape (TT) is the favorable insert geometries since they improve the overall heat transfer better with respect to their counterparts [3].

Enhancing heat transfer by inserts has been studied by numerous researchers. However, we limited the literature review only to the studies being related to TT since there are various geometries applied to it for heat transfer enhancement. These studies were performed either numerically or experimental or both of them. The thermo-hydraulic characteristics of TT engaged tubes were investigated based on different insert properties to analyze the effects of such as twist ratio [4, 5], clockwise–counterclockwise arrangement [6, 7], cross hollow TT [8], spirally grooved tube [9], spirally grooved tube with overlapped large/small twin TTs [10], two-phase flow [11], V-cut TT [12], coupling of TT with WC [13, 14], twin-counter/co-swirl tape [15], double counter TT [16], triple TT [17], and quadruple TT [18].

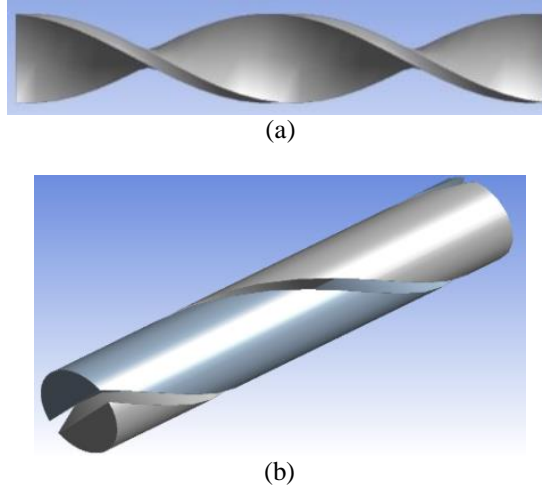
The literature studies constantly indicate that all the configurations being applied have increased the heat transfer enhancement or Nusselt number (Nu) at the expense of pressure drop or Darcy's friction factor ( $f$ ) rise. Besides, the heat transfer enhancement in laminar regime is higher relative to turbulent regime due to stream-wise flow structure. Increasing the flow rate of fluid in turbulent regime has a significant effect on the heat transfer enhancement. On the other hand, reducing the twist ratio of TT increases both Nusselt number and friction factor however both these factors affect the overall heat transfer performance which is a function of Nusselt number and friction factor, named PEC (performance evaluation criteria). PEC is a measure of ability to augment the heat transfer in a tube by modifying the geometry or inserting turbulence promoters which result in better thermo-hydraulic properties with respect to the plain tube. By definition, increasing PEC over unity means that the heat transfer is enhanced thermodynamically even higher pressure drop exists. This may not always be the case in the systems where heat rejection/gain is a must or improves the overall performance as a consequence.

Cross-flow heat exchangers are commonly used in gas heating or cooling including such refrigeration systems [19, 20]. A tube bundle carries a heating or cooling fluid (either gas or liquid), normally perpendicular to a gas flow which passes over the tubes and allows heat to be transferred between the fluids. The aim of this study is to fill the gap in the literature by numerically investigating the parametric effect of the twist ratio ( $TR = P/D$ ) of TT engaged in a plain tube which is widely used in refrigeration applications where the compactness of heating/cooling elements is considerable. A numerical model has been developed in Ansys Fluent for the tube geometry. For 2 mm thickness TT, the TR from 6 to 9 has been studied for the Reynolds number (Re) range of 5,025–14,871 using air as a working fluid.

## 2. Numerical Approach

### 2.1. Geometry

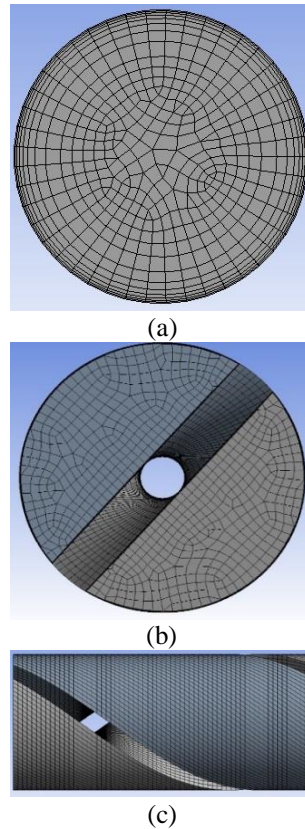
Figure 1 shows the geometry of the insert and its coupling with a plain tube. There are various specifications in piping work of the heating/cooling systems. The pipe diameter and the length of pipe are determined based on the heat transfer area needed. In this study, a standard tube with 13 mm (1/2 inch) in diameter and 1200 mm in length was modeled in Ansys Workbench. Thickness of the TT is equal to 2 mm, and its TR ranges from 6 to 9.



**Figure 1.** TT engaged in a tube. (a) twist geometry, (b) TT coupled with tube

## 2.2. Mesh

Two mesh studies were conducted respectively. The first one was employed for the plain tube. The number of mesh elements with 798,488, 2,048,357, and 4,303,415 was applied for this geometry. Nusselt number and friction factor deviation for 2,048,357 and 4,303,415 mesh studies were obtained lower than 1%. For this reason, 2,048,357-mesh element was used for the plain tube case. The second mesh study was applied to the plain tube with TT insert. 2,726,000, 2,852,000, 2,790,000, and 2,856,000 mesh elements were used for the case of varying TRs of 6, 7, 8 and 9, respectively. Figure 2 illustrates the inlet meshes of the plain tube and the plain tube with TT insert, and the wall mesh of the TT inserted plain tube, respectively.



**Figure 2.** Mesh structures for the cases of (a) plain tube, (b) plain tube with TT, (c) wall mesh of TT

### 2.3. Boundary condition

The flow direction is specified as normal to the tube cross-section. A uniform heat flux was applied on the tube wall as  $1000 \text{ W/m}^2$  for each set of numerical analysis. Air was selected to be the working fluid whose inlet temperature was taken as  $298.15 \text{ K}$ . The flow regime is considered to be turbulent where Reynolds number varies from  $5,025$  to  $14,871$ . This range corresponds to the mean velocity of  $4\text{--}15 \text{ m/s}$  where most of refrigeration applications are operated in.

### 2.4. Numerical solution

The commercial computational fluid dynamics solver Ansys Fluent was used for numerical analyses. Semi-implicit pressure linked equation (SIMPLE) algorithm for pressure-velocity coupling, spatial discretization for gradient (least square cell based), pressure (second order), turbulent kinetic energy and dissipation rate (first order upwind), momentum and energy (second order upwind) and standard  $k\text{-}\epsilon$  turbulence model with the option of enhanced wall treatment were employed for engaging the governing equations together with the boundary conditions over the computational domain. The  $y^+$  value about 1 was ensured for all analyses to obtain the high resolution of gradients in the near wall regions. The solution convergence criterion was satisfied as the scaled residuals less than  $10^{-6}$  for energy, and  $10^{-4}$  for momentum, continuity,  $k$  and  $\epsilon$ .

### 2.5. Calculation of thermo-hydraulic fluid properties

The following equations were used for the calculation of numerical results:

Reynolds number (Re):

$$\text{Re} = \frac{\rho U_m D_h}{\mu} \quad (1)$$

Darcy's friction factor ( $f$ ):

$$f = \frac{2\Delta P D_h}{\rho U_m^2 L} \quad (2)$$

Blasius equation for plain tube friction under turbulent flow:

$$f = \frac{0.316}{\text{Re}^{0.25}} \quad (3)$$

Nusselt number (Nu):

$$\text{Nu} = \frac{h D_h}{k} \quad (4)$$

Dittus-Boelter equation for plain tube:

$$\text{Nu} = 0.023 \text{Re}^{0.8} \text{Pr}^{0.4} \quad (5)$$

Heat transfer rate:

$$\dot{Q} = \dot{q}_s A_s = \dot{m} c_p (T_o - T_i) \quad (6)$$

Convection heat transfer coefficient:

$$h = \frac{\dot{Q}}{A_s(T_w - T_b)} \tag{7}$$

Outlet temperature for working fluid:

$$T_o = T_i + \frac{hA_s(T_w - T_b)}{\dot{m}c_p} \tag{8}$$

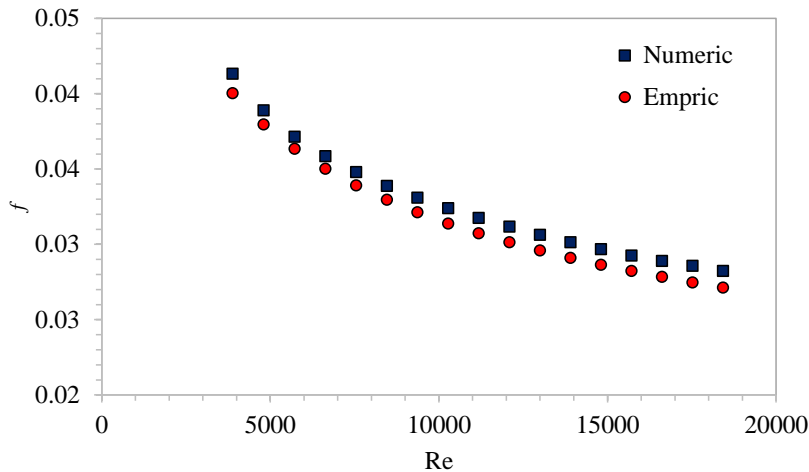
Performance evaluation criteria (PEC):

$$PEC = \frac{Nu_a}{Nu_o} \left( \frac{f_a}{f_o} \right)^{1/3} \tag{9}$$

As mentioned before, PEC is a measure of how effectively the heat transfer is enhanced at the expense of hydrodynamics forces. Its value is to be greater than unity for enhanced heat transfer. Otherwise, the insert does not benefit to convection transfer, and the tube thermally behaves like a plain tube. In Eq. (9),  $Nu_a$  and  $Nu_o$  describe the Nusselt number for the TT inserted tube and plain tube, respectively. Similarly,  $f_a$  and  $f_o$  describe the friction factor for the TT inserted tube and plain tube, respectively.

**2.6. Model validation**

Similar boundary conditions mentioned in Section 2.3 was employed for the model validation of the plain tube. Figure 3 and 4 show the comparisons of the numerical results with the experimental results for friction and Nusselt number. As clearly seen from the figures, the results of Nusselt number and Darcy’s friction factor are in good accordance for the Reynolds number range of 3,880–18,432. While the deviation of the numerical results for Nusselt number varies between 5.6–11.0%, it is between 2.1–4.1% for the friction factor case.



**Figure 3.** Comparison results for friction factor.

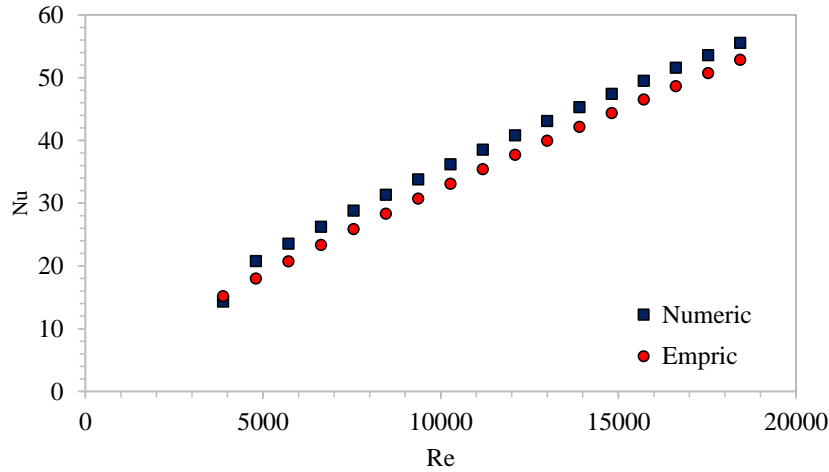


Figure 4. Comparison results for Nusselt number.

### 3. Results and Discussion

In this study, the effect of TR on the hydrodynamic properties of the insert engaged tube flow was investigated. Figure 5 and 6 illustrate the variations of friction factor and Nusselt number as a function of Reynolds number for varying TRs. It is seen from Figs. 5 and 6, Nusselt number and friction increase with reducing TR by 28–54% and 156–245%, respectively within the operating domain. While the highest Nusselt number is obtained for the TR of 6 at increased Reynolds number, the highest friction factor is obtained for the same TR but at the lowest Reynolds number. Nusselt number changes almost linearly with increasing Reynolds number as clearly seen. The effect of TR on Nusselt number is almost the same at higher Reynolds number however it results in ~35% enhanced heat transfer relative to the plain tube case. On the other hand, the friction factor is strongly affected by TR. As expected, lowering the TR has negative effect on friction factor. It almost levels off at increasing Reynolds number and reaches the normalized level of ~180% as compared to the plain tube case. It is concluded that increasing the TR yields similar Nusselt number results, the friction factor is rather increased. This would make negative effect on PEC.

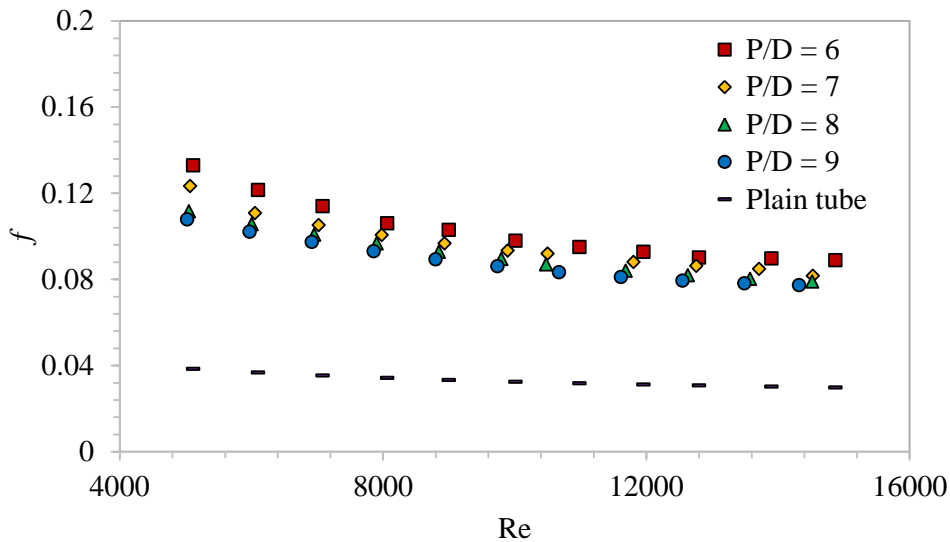
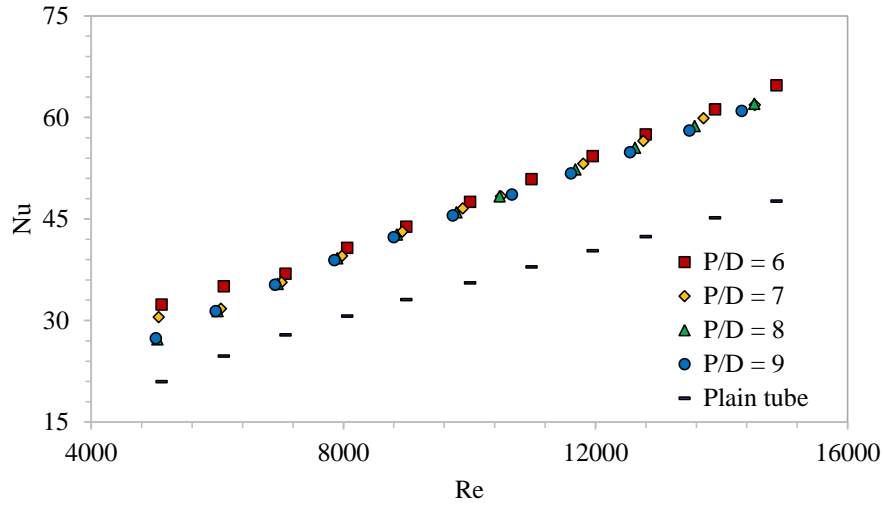


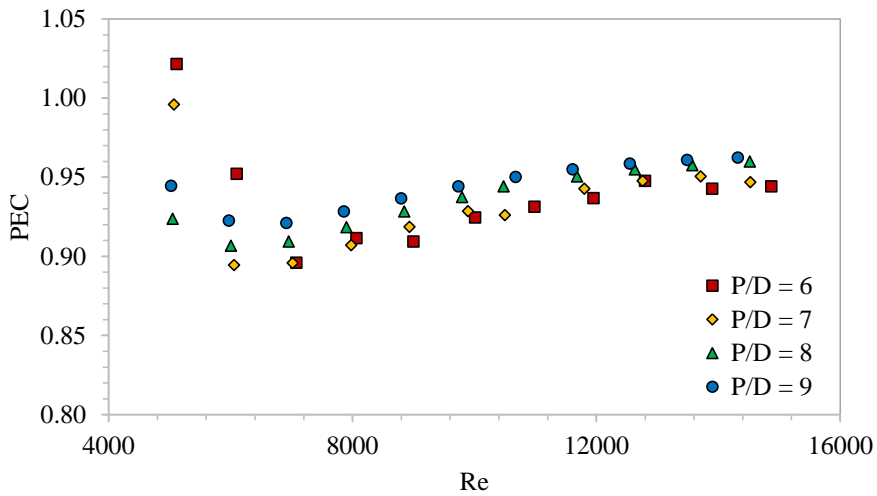
Figure 5. Variation of friction factor with TR based on Reynolds number





**Figure 6.** Variation of Nusselt number with TR based on Reynolds number

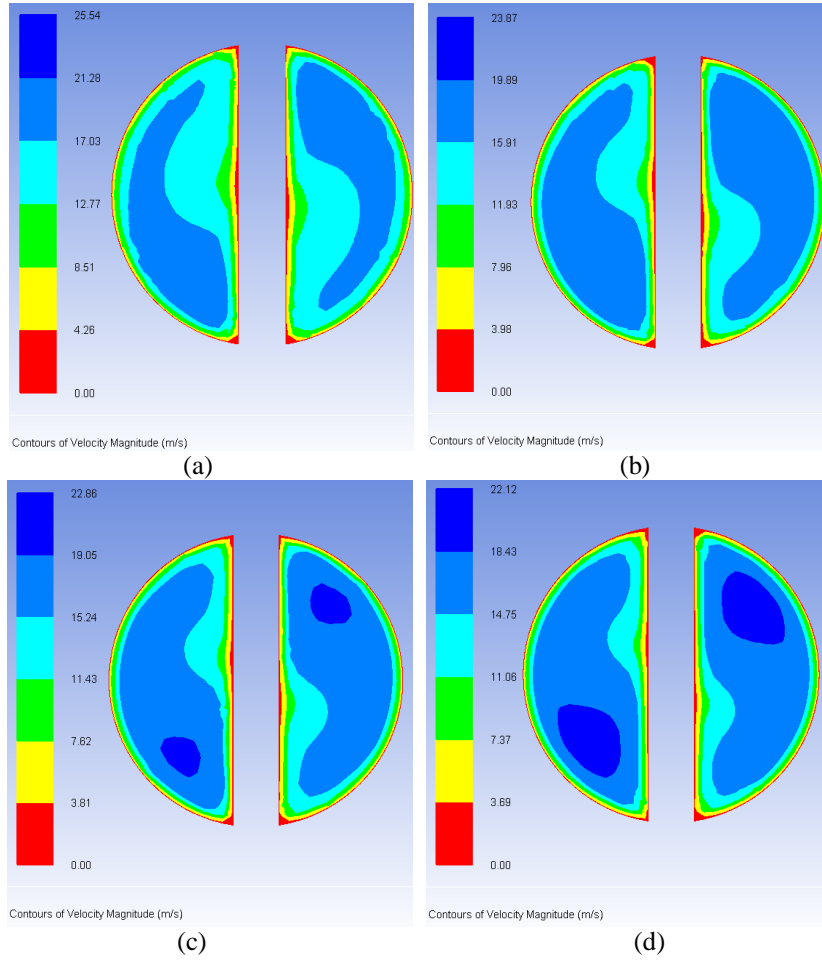
Figure 7 indicates how PEC varies with increasing TR and Reynolds number. PEC varies between 0.9–1.02, 0.89–1, 0.91–0.96, and 0.92–0.96, respectively as the TR increases from 6 to 9. Although the friction factor increases with lowering TR, highest PEC is obtained at the lowest TR. As clearly seen, PEC is higher than unity as Reynolds number is equal to 5,114. This shows that the use of twisted tape is more reasonable at lower Reynolds numbers such as in air conditioning applications or else where the heat transfer enhancement is much significant and essential than the pressure loss.



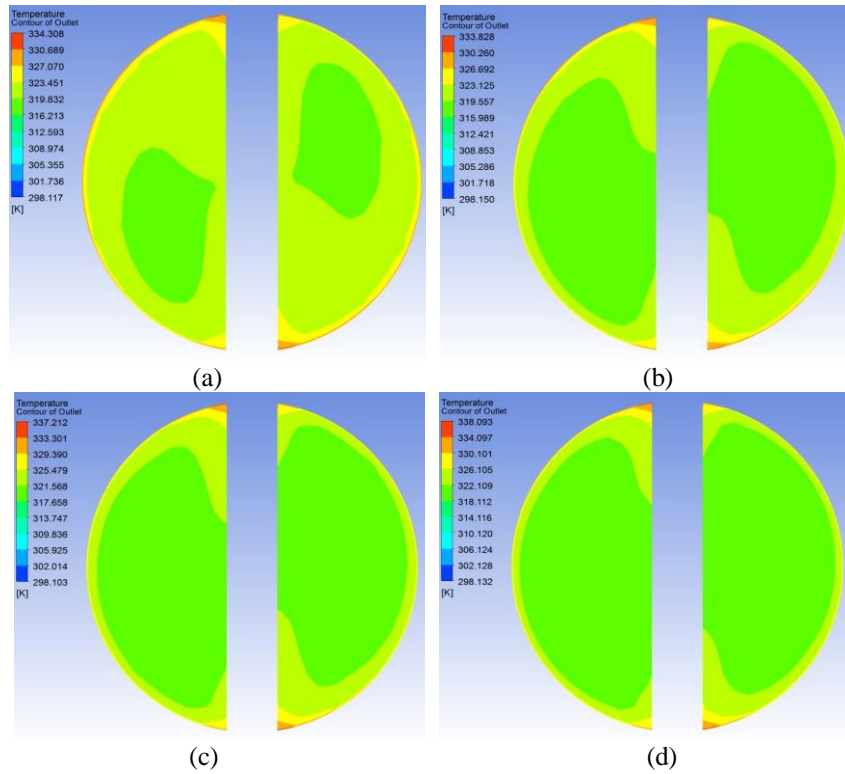
**Figure7.** PEC variation with Reynolds number for varying TRs

Velocity contours at the outlet of the tube for varying TR are demonstrated in Figure 8. As clearly seen, the flow pattern is quite different relative to the plain tube case since the use of TT insert improves fluid mixing, interruption of the thermal boundary layer and rise of the fluid temperature along the tube. Increasing in the TR, which causes the maximum velocity of fluid in the tube to increase as visually seen from Figure 8, accordingly improves the PEC due to changing flow pattern.

Temperature contours at the outlet of the tube for varying TR are demonstrated in Figure 9. As clearly seen, the temperature is high at the wall subjected to constant heat flux and then decreases gradually as moving to the central region of the pipe. The use of TT insert improves fluid mixing and thus the convection heat transfer coefficient which causes to transfer much heat from the wall. Increasing the TR lowers the wall temperature as visually seen from Figure 9, accordingly improves the PEC due to increasing temperature gradient between the wall and the pipe center.



**Figure 8.** Velocity contours for varying TR. (a) TR = 6, (b) TR = 7, (c) TR = 8, (d) TR = 9



**Figure 9.** Temperature contours for varying TR. (a) TR = 6, (b) TR = 7, (c) TR = 8, (d) TR = 9

#### 4. Conclusions and Suggestions

This study presents the thermo-hydraulic performance of a twisted tape inserted plain tube based on different twist ratios. A numerical model has been developed in Ansys Fluent for a tube geometry widely used in refrigeration applications. The twist ratio from 6 to 9 has been studied for the Reynolds number range of 5,025–14,871 using air as a working fluid. The findings of the study which reveal how efficiently this insert to be utilized for enhancing the heat transfer against pressure drop are as follows:

- While the use of twisted tape insert enhances the heat transfer at least 28% as compared to the plain tube case, it increases the friction factor at least 156% under the same operating conditions.
- Increasing the twist ratio is shown to be an ineffective parameter to increase Nusselt number.
- The use of twisted tape insert results in higher PEC values at low Reynolds number, i.e. the corresponding velocity of air at 5 m/s.
- Lowering the twist ratio has a negative impact on the PEC at increasing Reynolds numbers.

#### Nomenclature

$A_s$	surface area, m <sup>2</sup>
$c_p$	fluid specific heat, J/kg·°C)
$D$	diameter of tube, m
$D_h$	hydraulic diameter, m
$f$	Darcy's friction factor
$f_a$	friction factor for twisted tape
$f_o$	friction factor for plain tube
$h$	heat transfer coefficient, W/m <sup>2</sup> ·K
$k$	fluid thermal conductivity, W/m·K
$L$	length of tube, m
$\dot{m}$	mass flow rate of fluid, kg/s
Nu	Nusselt number
Nu <sub>a</sub>	Nusselt number for twisted tape
Nu <sub>o</sub>	Nusselt number for plain tube
P	pitch, m
Pr	Prandtl number
$\Delta P$	pressure drop, Pa
Re	Reynolds number
$T_b$	bulk temperature, K
$T_i$	inlet temperature, K
$T_o$	outside temperature, K
$T_w$	wall temperature, K
$U_m$	mean velocity, m/s

#### Greeks

$\mu$	dynamic viscosity of fluid, Pa/m·s
$\rho$	density of fluid, kg/m <sup>3</sup>

#### Abbreviations

PEC	performance evaluation criteria
TR	twist ratio
TT	twisted tape
WC	wire coil

#### References

- [1] Mwesigye A., Yılmaz İ.H., Meyer J.P. 2018. Numerical analysis of the thermal and thermodynamic performance of a parabolic trough solar collector using SWCNTs-Therminol® VP-1 nanofluid, Renewable Energy, 119: 844-862.

- [2] Yılmaz İ.H., Mwesigye A. 2018. Modeling, simulation and performance analysis of parabolic trough solar collectors: A comprehensive review, *Applied Energy*, 225: 135-174.
- [3] Yılmaz İ.H., Mwesigye A., Göksu T.T. 2018. Enhancement of the thermal performance of a parabolic trough solar collector using wire coil inserts, *SolarTR 2018, Solar Conference & Exhibition*, pp143-154, 29-30 November, Istanbul.
- [4] Naphon P. 2006. Heat transfer and pressure drop in the horizontal double pipes with and without twisted tape insert, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 33: 166-175.
- [5] Jaisankar S., Radhakrishnan T., Sheeba K. 2009. Experimental studies on heat transfer and friction factor characteristics of forced circulation solar water heater system fitted with helical twisted tapes, *Solar Energy*, 83: 1943-1952.
- [6] Man C., Lv X., Hu J., Sun P., Tang Y. 2017. Experimental study on effect of heat transfer enhancement for single-phase forced convective flow with twisted tape inserts, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 106: 877-883.
- [7] Eiamsa-Ard S., Promvong P. 2010. Performance assessment in a heat exchanger tube with alternate clockwise and counter-clockwise twisted-tape inserts, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 53: 1364-1372.
- [8] He Y., Liu L., Li P., Ma L. 2018. Experimental study on heat transfer enhancement characteristics of tube with cross hollow twisted tape inserts, *Applied Thermal Engineering*, 131: 743-749.
- [9] Bharadwaj P., Khondge A., Date A. 2009. Heat transfer and pressure drop in a spirally grooved tube with twisted tape insert, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 52: 1938-1944.
- [10] Hong Y., Du J., Wang S. 2017. Experimental heat transfer and flow characteristics in a spiral grooved tube with overlapped large/small twin twisted tapes, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 106: 1178-1190.
- [11] Kanizawa F.T., Mogaji T.S., Ribatski G. 2014. Evaluation of the heat transfer enhancement and pressure drop penalty during flow boiling inside tubes containing twisted tape insert, *Applied Thermal Engineering*, 70: 328-340.
- [12] Murugesan P., Mayilsamy K., Suresh S., Srinivasan P. 2011. Heat transfer and pressure drop characteristics in a circular tube fitted with and without V-cut twisted tape insert, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 38: 329-334.
- [13] Wang L., Sunden B. 2002. Performance comparison of some tube inserts, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 29: 45-56.
- [14] Eiamsa-Ard S., Nivesrangsarn P., Chokphoemphun S., Promvong P. 2010. Influence of combined non-uniform wire coil and twisted tape inserts on thermal performance characteristics, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 37: 850-856.
- [15] Eiamsa-Ard S., Thianpong C., Eiamsa-Ard P. 2010. Turbulent heat transfer enhancement by counter/co-swirling flow in a tube fitted with twin twisted tapes, *Experimental Thermal and Fluid Science*, 34: 53-62.
- [16] Bhuiya M., Sayem A., Islam M., Chowdhury M., Shahabuddin M. 2014. Performance assessment in a heat exchanger tube fitted with double counter twisted tape inserts, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 50: 25-33.
- [17] Bhuiya M., Chowdhury M., Shahabuddin M., Saha M., Memon L. 2013. Thermal characteristics in a heat exchanger tube fitted with triple twisted tape inserts, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 48: 124-132.
- [18] Man C., Yao J., Wang C. 2016. The experimental study on the heat transfer and friction factor characteristics in tube with a new kind of twisted tape insert, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 75: 124-129.
- [19] Yılmaz İ.H., Saka K., Kaynaklı O. 2016. A thermodynamic evaluation on high pressure condenser of double effect absorption refrigeration system, *Energy*, 113: 1031-1041.
- [20] Yılmaz İ.H., Saka K., Kaşka Ö., Kaynaklı Ö. 2019. Performance assessment and solution procedure for series flow double effect absorption refrigeration systems under critical operating constraints, *Arabian Journal for Science and Engineering* (Accepted).

---

*Araştırma Makalesi / Research Article*

---

## İnsan Hareketleri Tabanlı Gerçek Rasgele Sayı Üretimi

Yeliz GENÇ, Seda Arslan TUNCER\*

*Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Yazılım Mühendisliği, Elazığ*

---

### Öz

Gerçek rasgele sayı üretici (GRSÜ) ile rasgele sayı üretmek için deterministik olmayan bir gürültü kaynağından yararlanılır. Rasgelelik derecesinin daha yüksek olması nedeniyle GRSÜ, Sözde rasgele sayı üreticisinden daha güvenli sayı üretir. Bu makalede, insan hareketleri ile rasgele sayı üreten bir GRSÜ öneriyoruz. Önerilen GRSÜ, hemen hemen tüm insanların kullandığı mobil telefonlardaki ivme ve GPS sensörlerini kullanmaktadır. İlk olarak, mobil telefonu taşıyan kişinin 3-D ortamdaki hareketleri sonucunda ivme ve konum değişimleri android tabanlı bir mobil cihazdan örneklenerek elde edilmiştir. Daha sonra, elde edilen bu işaretler, normalizasyon işlemi uygulanarak ham sayı dizilerine dönüştürülmüştür. Son olarak, sayı dizilerinin istatistiksel özelliklerini iyileştirmek için XOR son işlemi uygulanmış ve rasgele sayı üretimi gerçekleştirilmiştir. Kişi yürürken, koşarken ve stabil konumda iken sensörlerden elde edilen toplamda 15 veri seti oluşturulmuştur. Sayıların istatistiksel özellikleri NIST test süiti, Skala İndeks ve otokorelasyon ile incelenmiştir. Önerilen GRSÜ, cep telefonu platformu için uygun, evrensel ve düşük maliyetli olup kişiye özgü rasgele sayı üretmektedir.

**Anahtar kelimeler:** İvme Sensörü, GPS, İstatistiksel Testler, Son İşlem.

---

## True Random Number Generation Based on Human Movements

---

### Abstract

A non-deterministic noise source is used to generate the random number with the real random number generator (TRNG). Because the degree of randomness is higher, TRNG produces a more secure number than the PRNG number generator. In this article, we propose a TRNG that produces random numbers with human movements. The proposed TRNG uses the acceleration and GPS sensors in almost all people's mobile phones. First, the acceleration and position changes resulting from the movements of the person carrying the mobile phone in the 3-D environment are obtained by sampling from an android based mobile device. Then, these obtained marks are converted into raw number sequences by normalization process. Finally, to improve the statistical properties of the number sequences, XOR finishing was performed and random number generation was performed. A total of 15 data sets were generated from the sensors while walking, running and in stable position. The statistical properties of the numbers were examined by NIST test suite, Scale Index and autocorrelation. The proposed TRNG is suitable for mobile phone platform, universal and low cost, and it is possible to produce random number of the unique number.

**Keywords:** Acceleration Sensor, GPS, Statistical Test, Post-Processing.

---

### 1. Giriş

Bilgisayar biliminde oyun programlama ve şifreleme gibi alanlarda rasgele sayı üretimine ihtiyaç vardır. Üretilen sayılar tahmin edilemez, tekrar üretilmemesi ve iyi istatistiksel özelliklere sahip olmalıdır. Rasgele sayıların elde edilmesi amacıyla Gerçek Rasgele Sayı Üreteçleri (GRSÜ) ve Sözde Rasgele Sayı Üreteçleri (SRSÜ) olmak üzere iki üreteç vardır. Matematiksel bir fonksiyonun yardımıyla sayı üretiliyorsa, bu yolla üretilen rasgele sayılara sözde rasgele sayı adı verilir. Sözde rasgele sayılar üretmek için matematiksel fonksiyona bir başlangıç değeri (tohum) verilir. Üretilen sayılar tohuma bağlı olarak üretilir ve istendiğinde tohum değiştirilerek farklı rasgele sayılar üretilir. Her bir tohum

---

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

Geliş Tarihi: 30.09.2018, Kabul Tarihi: 18.01.2019

değeri, ayrı bir rasgele sayı dizisi üretilmesine neden olur. GRSÜ'leri gürültü kaynağı(entropi kaynağı) olarak kontrol edilemeyen ve tahmin edilemeyen gerçek fiziksel süreçleri kullanarak sayı üretir. GRSÜ'ler tarafından üretilen sayıların rasgeleliği fiziksel sürecin rasgeleliğine bağlıdır.

Literatürde entropi kaynağı olarak elektronik devrelerde termal ve shot gürültüsü [1], jitter ve metastability [2-4], Brownian Motion [5], atmosferik gürültü ve nükleer bozulma [6] kullanılmıştır. Bunların yanı sıra ses, video, EEG, ECG, Mouse hareketleri gibi insan kaynaklı gürültü kaynaklarından SRSÜ ve GRSÜ tabanlı üreteçler gerçekleştirilmiştir. Mousavi ve arkadaşları ECG sinyallerinden sözde rasgele sayı ürettiler [7]. Üretilen rasgele sayıların kriptografik uygulamalar da anahtar olarak kullanılabilmesi için farklı iki yaklaşım sundular. Bu yaklaşımlar Advanced Encryption Standard (AES) Algorithm ve ECG'nin Interpulse Interval (IPI) özelliği tabanlıdır. Her iki yaklaşım ile elde edilen sayılar NIST test suiti ile analiz edilmiş başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Chen ve arkadaşları kriptografik sistemler için ECG sinyallerini kullanarak SRSÜ tabanlı sayı üretici geliştirdiler[8]. Geliştirilen sayı üretici literatürde bilinen dokuz SRSÜ yapısı ile karşılaştırılmıştır. ECG tabanlı SRSÜ ile üretilen sayılar NIST istatistiksel testlerinden başarılı olmuş ve XOR (Exclusive OR Generator), CCG (Cubic Congruential Generator) gibi SRSÜ'lerden daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Dang ve arkadaşları EEG sinyalleri kullanarak SRSÜ tabanlı bir üreteç önerdiler[9]. EEG sinyallerinin 0-1 sayı dizilerine dönüştürülmesi için modüler aritmetik kullandılar. EEG veri seti alkolik kişilerden elde edilmiştir. Sayıların istatistiksel özellikleri NIST test suiti ile incelenmiş ancak bazı testlerden başarısız sonuçlar elde edilmiştir. Chen ve arkadaşları hem sağlıklı hemde hasta insanlardan alınan 5 farklı EEG işaretlerini analiz ettiler [10]. EEG işaretlerinin gaussian dağılımına uyduğunu gösterdiler. Üretilen sayılar NIST testinin Non-periodic templates testinden başarısız olmuştur. Chen ve arkadaşları ses ve video görüntüler üzerindeki white noise sinyallerini entropi kaynağı olarak kullandılar [11]. GRSÜ ve SRSÜ tabanlı geliştirilen Ses and Video rasgele sayı üretici NIST testlerinden başarılı olmuştur. Nikolic ve arkadaşları ses kartı ve mikrofon yardımıyla elde ettikleri çevresel gürültü sinyallerini kullanarak GRSÜ tabanlı sistem geliştirdiler [12]. Üretilen sayılar NIST, FIPS, otokorelasyon testlerinden başarılı olmuş mükemmel kalitede sayı üretmişlerdir. Zhou ve arkadaşları mouse hareketlerinden rasgele sayı üretmek için GRSÜ önerdiler [13]. Sayı üretici, kişisel bilgisayar platform için uygun, düşük maliyetli ve evrensel uygulamadır. Aynı kullanıcıların alışkanlıklarından kaynaklanan hareketleri yok etmek için kaotik hash fonksiyonu kullandılar. x-y düzlemindeki mouse hareketleri 0-1 sayı dizilerine dönüştürülerek sayıların üretim hızı, düfüzyon ve rasgelelikleri test edilmiş başarılı sonuçlar elde edilmiştir [13]. Xingyuan ve arkadaşları tek boyutlu kaotik harita ve mouse hareketleri kullanarak yeni bir GRSÜ geliştirdiler. Üretilen sayılar NIST ve otokorelasyon testlerine tabi tutulmuş başarılı sonuçlar elde edilmiştir [14]. Hu ve arkadaşları mouse hareketlerinden 256 bitlik sayılar üretmek için yeni bir GRSÜ önerdiler [15]. Önerilen sistemde aynı kullanıcıların benzer hareketlerini elimine etmek için Ayırıklaştırılmış 2D Kaotik Harita değişimi, spatiotemporal kaos ve MASK algoritmalarını kullandılar. Her 3 algoritma ile üretilen sayılar istatistiksel testlerden başarılı olmuştur. Schulz ve arkadaşları kişiye özgü rasgele sayıların analizi için örüntü tabanlı analiz önerdiler [16]. 20 sağlıklı insan tarafından her birinde 300 sayı bulunan ikişer adet sayı dizileri oluşturular. İnsana özgü rastgele sayı dizisi içinde kişiye özel bilgilerin var olabileceği gösterilmiştir. İnsan kaynaklı gürültü kaynakları kullanan rasgele sayı üreteçlerinin özeti Tablo 1'de verilmiştir.

**Tablo.1** İnsan kaynaklı rasgele sayı üreteçleri ile ilgili çalışmalar

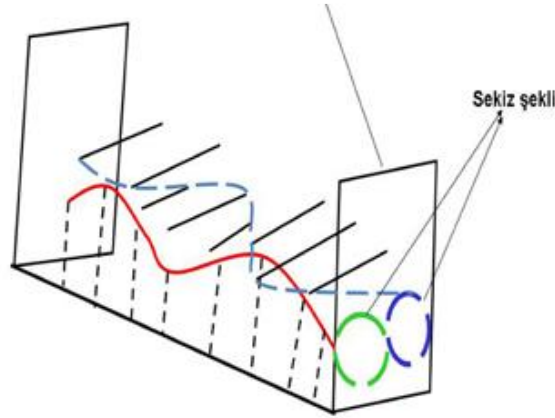
Kaynaklar	Gürültü Kaynağı	Tip	Test	Performans
[7]	ECG sinyali	SRSÜ	NIST	Başarılı
[8]	ECG sinyali	SRSÜ	NIST	Başarılı
[9]	EEG sinyali	SRSÜ	NIST	Kısmen
[10]	EEG sinyali	SRSÜ	NIST	Kısmen
[11]	Ses, Video	SRSÜ, GRSÜ	NIST	Başarılı
[12]	Ses	GRSÜ	NIST,FIPS,otokorelasyon	Başarılı
[13]	Mouse Hareketi	GRSÜ	Diffusion, NIST	Başarılı
[14]	Mouse Hareketi	GRSÜ	NIST, otokorelasyon	Başarılı
[15]	Mouse Hareketi	GRSÜ	NIST	Başarılı

Bilgisayar algoritmaları sadece rastlantısal olarak rastgele veya sahte sayılar üretebilirken, EEG, Mouse hareketleri gibi bazı doğal gürültü kaynakları gerçek rastgele sayılar üretmek için

kullanılmaktadır. Bu makalede, insanların hareketlerinin gözlemlenmesi ile gerçek rasgele sayı üretme kabiliyeti test edilmiştir. Hemem hemen tüm yetişkinlerin kullandıkları mobil telefonlardaki ivme sensörü ve GPS donanımları kullanılarak sayı üretimi gerçekleştirilmiştir. Sağlıklı bireylerin 3D ortamında hareketleri sonucunda android telefonlarından konum değişimleri ve ivme bilgileri örneklenerek elde edilmiştir. Elde edilen veriler normalize edilerek 0-1 sayı dizilerine dönüştürülmüştür. Sayıların istatistiksel özelliklerinin iyileştirilmesi için son işlem uygulanmış ve rasgele sayılar üretilmiştir. Öncelikle, üretilen sayı dizilerinin lineer değişime sahip olmadıklarını göstermek için Skala İndeksi testi uygulanmıştır. Daha sonra sayılar arasındaki ilişkinin belirlenmesi için otokorelasyon testi yapılmıştır. Son olarak sayıların istatistiksel özellikleri NIST test süiti ile incelenmiştir. Sonuçlar, insan hareketleri ile birbirlerinden bağımsız ve öngörülemeyen, eşit şekilde dağılmış rastgele sayılar üretebildiklerini göstermektedir.

## 2. Hareket Dinamiği, Konum Değişimi ve İvme

Yürümenin duruş (stance) ve salınım (swing) olmak üzere iki fazı vardır. Yürüme hızının artması sonucu oluşan koşma döngüsünde iki ayağın da yerle temas etmediği iki adet süzülme dönemi vardır. Hızlanma durumunda basma fazı kısılırken, salınım fazı uzar. Her iki eylemde amaç vücudu istenilen hız ve doğrultuda, farklı yönlerde hareket ettirmektir. Bu işlem sırasında ayak kol ve gövdedeki eklemler, kaslar, tendon ve bağlar belirgin bir şekilde kullanılır [17]. Hem yürüme hemde koşma sırasında vücut ağırlık merkezi, dikey düzlemde aşağı yukarı, yatay düzlemde ise sağa-sola hareket eder. Yatay ve düşeydeki hareketin birleştirilmesi ile hareket örüntüsü oluşur. Şekil.1 hareket esnasında ortaya çıkan örüntüyü göstermektedir. Buna bağlı olarak ta anlık x-y-z eksenindeki ivme ve konum sürekli değişiklik gösterir.



Şekil 1. İnsan hareketi esnasında ortaya çıkan örüntü

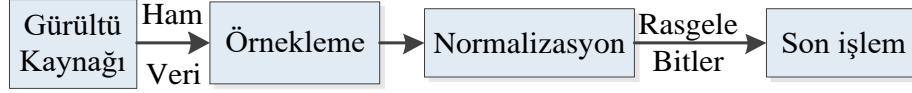
Harekete bağlı olarak küçük bir zaman içinde hızda oluşan değişimin zamana oranı ivme olarak adlandırılır. İvme, hız ve konum değişimi hakkında bilgi veren, hareketlerin takip edilmesi ve analizi için önemli bir özelliktir. Son yıllarda mobil telefonların yaygınlaşması ve donanımların ucuzlaması ile birlikte ivme sensörü tüm mobil telefonları için standart bir sensör olmuştur. Böylece ivme ölçer, kamera ve sağlıklı yaşam ile ilgili mobil uygulamalarda standart olmuştur. Bu sensörün yanı sıra tüm mobil telefonlarda bulunan bir diğer özellik GPS'lerdir. GPS, dünyanın neresinde olduğumuz konusunda bizleri bilgilendirmek adına sinyalleri uydudan alır. GPS sinyaliyle bulunan konum x,y koordinatları mobil telefonlar ile kolaylıkla elde edilebilmektedir.

## 3. Önerilen GRSÜ Yapısı

Şekil 2'de GRSÜ'nin genel tasarım mimarisi gösterilmiştir. GRSÜ'lerin en önemli bileşeni gürültü kaynağıdır. Gürültü kaynağı tipik olarak elektronik devreler (gürültülü diyot veya serbest çalışan osilatör) veya fiziksel deneyler (radyoaktif bozulma veya ışığın kuantum etkisi) ile gerçekleştirilir. Gürültü kaynağı sürekli zamanlı analog sinyaller üretmekte ve aynı adımda bu değerler periyodik olarak

sayısallaştırılarak ikili (binary) değerlere dönüştürülmektedir. Sayısal değerler, sayısallaştırılmış analog sinyaller olarak adlandırılırlar. GRSÜ'lerin içerebileceği potansiyel zayıflıkları gidermek için sayılara çeşitli algoritmik son işlem yöntemleri uygulanabilir. Zayıflıkları indirgemek için XOR, von Neumann gibi basit son işlemler uygulanacağı gibi Hash tabanlı daha karmaşık son işlemler kullanılabilir [18, 19]. Ancak son işlemin kullanımı durumunda GRSÜ'nin sayı üretim hızı düşmektedir.

Bu makalede önerilen GRSÜ yapısı Şekil 2'de gösterildiği gibi toplam üç bölümden oluşmaktadır. Bunlar örnekleme, normalizasyon ve son işlemdir.



Şekil 2. GRSÜ yapısı

### 3.1. Örnekleme

Bu makalede gürültü kaynağı olarak insan hareketleri ve buna bağlı olarak ivme ve konum değişimleri kullanılmıştır. Hareketi gerçekleştiren bireyin yürüme, koşma ve hatta durma konumunda tekrarlı hareketleri olabilir. Ancak tekrarlanan hareketlerde bile mobil telefonun ivme sensöründen ve GPS sisteminden elde edilen sayılar değişiklik gösterir. Elde edilen bu sayılar kayan noktalı sayı formatında olup örnekleme işlemi periyodik ve periyodik olmayan bir işaret ile gerçekleştirilebilmektedir. Bu makalede örnekleme işlemi periyodik olmayan kaotik davranış sergileyen tent map ile gerçekleştirilmiştir. Kaotik tent map denklem.1'eki gibi verilir.

$$f(x_i, \mu) = \begin{cases} \mu x_i & \text{eğer } x_i < 0.5 \\ \mu(1 - x_i) & \text{diğer} \end{cases} \quad (1)$$

Burada,  $i \geq 0$  için  $x_i \in [0,1]$  aralığına sahiptir.  $\mu$ , kontrol parametresi  $\mu \in [0,2]$  aralığında olup  $x_0$  sistemin başlangıç değeridir. Sonraki iterasyonlarda  $i \geq 1$  için üretilecek sayılar  $x_1, x_2, \dots$  olacaktır.  $r=1.997$  ve  $x_0=0.32$  için üretilen ilk 10 sayı  $S=\{0,1,1,1,1,0,0,1,0,0\}$  olacaktır. Örneğin, x eksenindeki harekete bağlı olarak, ivme sensöründen elde edilen kayan noktalı formatındaki değerlerin  $a_x=\{6.18, 1.75, 1.83, 1.17, 3.05, 3.88, 2.41, 5.74, 3.39, 6.24\}$  olması durumunda örnekleme işareti sonucunda üretilen sayı dizisi  $\{1.75, 1.83, 1.17, 3.05, 5.74\}$  olacaktır. Tablo 2 örnekleme işlemi ile normalize işlemine tabi tutulacak işaretlerin elde edilmesini göstermektedir.

Tablo 2. Örnekleme işlemi ile normalize işlemine tabi tutulacak işaretlerin elde edilışı

A	6.18, 1.75, 1.83, 1.17, 3.05, 3.88, 2.41, 5.74, 3.39, 6.24
Tent map	0, 1, 1, 1, 1, 0, 0, 1, 0, 0
Örneklenmiş işaret	1.75, 1.83, 1.17, 3.05, 5.74,

### 3.2. Normalizasyon

Örneklenmiş işaret kayan noktalı sayı formatındadır. Bu sayılardan 0-1 sayı dizileri üretilmesi için modüler aritmetik tabanlı aşağıdaki süreç işletilmelidir. Örneklenmiş işaret  $x=(x_1, x_2, \dots, x_n)^T$  olsun. Her bir örnek, tamsayı formatına dönüştürülmesi için 100 değeri ile çarpılmıştır. Elde edilen bu tam sayı dizisi modüler aritmetik kullanılarak 5 bit ile ifade edilir.

Örneğin 1.75 sayısı 175 tamsayısına dönüştürülmüştür. Bu sayının mod 32 'si alındığında,  $y_0$  ikilik tabanda 01111 elde edilir. Elde edilen 5 bitlik  $y_i$  dizilerinden 0 ve 1 üretmek için XOR işlemi uygulanarak  $z_i$  dizisi elde edilir. Böylece  $y_0$  için üretilen rasgele sayı  $z_0=0$  olacaktır. Yukarıda verilen Normalizasyon süreci ile  $z_i$  rasgele sayı dizisinin elde edilışı Algoritma.1'de verilmiştir [10,20].



---

**Algoritma 1. Normalizasyon Prosedürü**


---

```

 $x=(x_1,x_2, \dots x_n)^T$  //örneklenmiş veri seti
for  $i=1$  to  $n$ 
   $y_i= y_i*100$ 
   $y_i=x_i \bmod (32)$  //  $y_i$  [0-31] aralığında
  // $y_i$  ikilik formata dönüştür

for  $k=1$  to 5
   $z_i= y_{i,0} XOR y_{i,1} XOR y_{i,2} XOR y_{i,3} XOR y_{i,4}$ 
end
end

```

---

### 3.3. Son işlem

GRSÜ tarafından üretilen rasgele sayıların istatistiksel zayıflıklarını gidermek için son işlem uygulanır. En yaygın bilinen son işlem fonksiyonları XOR, von Neumann, BHC, hash ve kaotik haritalardır. Bu makalede elde edilen  $z_i$  dizisine uygulanan son işlem fonksiyonu XOR'dur.  $z_i$  dizisinin ardışık bitlerinin 0 ve 1 veya 1 ve 0 olması durumunda üretilen gerçek rasgele sayı 1 diğer durumlarda 0 olacaktır.

## 4. İstatistiksel Özellikler ve Test Sonuçları

Mobil telefon kullanıcısının 3D ortamdaki hareketleri ile hem ivme sensöründen hemde GPS ile konumlar geliştirilen android yazılım ile elde edilmiştir. Veriler kullanıcının koşma, yürüme ve durma esnasında alınmıştır. İvme sensöründen x, y, z eksenlerindeki değişimler yürüme, koşma ve sabit durumlar için elde edilmiş toplam dokuz veri setinden oluşmaktadır. GPS'in sadece x ve y eksenlerinde değer vermelerinden dolayı toplam altı veri seti oluşturulmuştur. Elde edilen sayı dizilerinin lineer değişim göstermediğini ispatlamak için öncelikle Skala İndeksi testi kullanılmıştır. Üretilen sayı dizilerindeki 0 ve 1'lerin değişimini belirlemek için otokorelasyon testi uygulanmıştır. Son olarak sayıların istatistiksel testleri NIST test süiti ile incelenmiştir.

### 4.1. Skala indeksi

Sayıların istatistiksel analizi için uygulanan bir testtir. Benitez tarafından önerilen skala indeks üretilen rasgele sayıların periyodik olup olmadıklarını ve derecesini belirlemek için kullanılmaktadır [21]. Literatürde Gerçek ve sözde rasgele sayı üreteçlerinin periyodikliğini ölçmek için kullanılmaktadır [22, 23]. Skala indeksi Sürekli Dalgacık Dönüşümü (Continuous Wavelet Transform) ve Dalgacık Çoklu Çözünürlük (Wavelet Multi Resolution) analizlerine dayanmaktadır [21]. Tablo 3 konum ve ivme için elde edilen skala indeks değerlerini göstermektedir.

**Tablo 3.** Konum ve ivme için Skala indeks değerleri

	Ivme <sub>x</sub>	Ivme <sub>y</sub>	Ivme <sub>z</sub>	Konum <sub>x</sub>	Konum <sub>y</sub>
Koşma	0.893	0.937	0.891	0.753	0.834
Yürüme	0.945	0.879	0.847	0.955	0.894
Durma	0.882	0.870	0.765	0.881	0.851

Skala indeks değeri,  $i_{scale}$ ,  $0 \leq i_{scale} \leq 1$  aralığında olmalıdır. Eğer Skala değeri 0 veya 0'a çok yakın değer ise üretilen sayıların periyodik olduğunu, eğer 1 veya 1'e yakın bir değer ise üretilen sayıların periyodik olmadığını gösterir. Tablo 3 te gösterildiği gibi skala indeksi 0.7'den büyüktür. Bu sonuç, kullanıcı hareketlerinden elde edilen sayı dizilerinin lineer yapıda olmadığını göstermektedir.

### 4. 2. Otokorelasyon

Üretilen rasgele sayılardaki 0 ve 1'lerin değişimini gözlemlemek için otokorelasyon testi kullanılmaktadır [24,25]. Denklem.2 testin matematiksel tanımını vermektedir.

$$A(d) = \sum_{i=0}^{n-d-1} b_i \oplus b_{i+d} \quad (2)$$

Burada,  $\oplus$  XOR operatörü,  $n$  üretilen sayı dizisinin uzunluğunu ve  $b_i$ ,  $i$ . sayı dizisini temsil eder.  $d$  değeri  $[1, (n/2)]$  aralığında sabit bir tamsayıdır. Üretilen rasgele sayı dizisi için elde edilen  $A(d)$  değeri kullanılarak 0 ve 1'ler arasındaki ilişki denklem.3'deki gibi elde edilir.  $|X5| < 1.6449$  şartının sağlanması durumunda test başarılıdır.

$$X5 = \frac{2[A(d) - (n - d)/2]}{\sqrt{n - d}} \quad (3)$$

İvme ve konum ile ilgili üretilen sayıların 0-1 değişimleri otokorelasyon ile incelendiğinde 0-1 sayı dizisinin birbirleriyle ilişkili olmadığı gözlemlenmiştir. Tablo 4,  $d=8$ ,  $d=10$  ve  $d=13$  değeri için elde edilen otokorelasyon sonuçlarını göstermektedir.

**Tablo 4.**  $d=8$ ,  $d=10$  ve  $d=13$  için otokorelasyon sonuçları

	d=8			d=10			d=13		
	Koşma	Yürüme	Durma	Koşma	Yürüme	Durma	Koşma	Yürüme	Durma
İvme <sub>x</sub>	0.187	-0.091	0.547	-0.879	0.274	0.912	10.627	-0.547	0.347
İvme <sub>y</sub>	-0.906	0.492	0.911	-0.533	0.347	1.131	-0.493	0.803	0.911
İvme <sub>z</sub>	-0.479	0.331	0.298	-1.066	1.185	0.124	0.795	0.912	0.196
Konum <sub>x</sub>	-1.019	0.304	0.565	0.712	0.028	-1.130	-1.425	-0.111	1.002
Konum <sub>y</sub>	-0.647	0.738	0.400	-0.388	0.101	0.100	0.104	-0.386	0.225

### 4. 3. NIST testi

Gerçek rasgele sayıların bilgisayar biliminde kriptografi, oyun teorisi ve simülasyon gibi alanlarda kullanılması için iyi istatistiksel özellikler göstermesi gerekmektedir. Literatürde rasgele sayıların istatistiksel özelliklerini belirlemek için NIST, Diehard ve FIPS gibi test sütleri vardır. Bu makalede sayıların istatistiksel özelliklerini belirlemek için NIST test süiti kullanılmıştır. NIST test suitinde toplam 15 test mevcuttur [26]. Üretilen rasgele sayılar bu testlerin tümünden başarılı olmak zorundadır. Sayıların testlerden başarılı olması için iki önemli parametre vardır. Bunlar önem seviyesi ( $\alpha$ ) ve P-value'dir. Önem seviyesinin 0.01olarak seçilmesi test edilecek sayıların rasgeleliğinin 99% güven değerine sahip olduğunu belirtir. Rasgelelik ölçüsü olarak hesaplanması gereken P-value 1'e eşit olursa sayılar mükemmel rasgeleliğe sahiptir denir. Aksi durumda sayıların rasgele olmadığı kabul edilir. Her bir test için P-value,  $\alpha$  değerinden büyük ve eşit olursa test başarılıdır. Aksi durumda test sonucu başarısız kabul edilir. Tipik olarak önem seviyesi  $[0.001, 0.01]$  aralığında seçilir. Tablo 5, Tablo 6 ve Tablo 7 sırasıyla koşma, yürüme ve durma eylemleri için elde edilen NIST test sonuçlarını göstermektedir.

**Tablo 5.** Koşma esnasında elde edilen sayılar için NIST test sonuçları

	Ivme <sub>x</sub>	Ivme <sub>y</sub>	Ivme <sub>z</sub>	Konum <sub>x</sub>	Konum <sub>y</sub>
The Frequency (Monobit) Test	0.894	0.462	0.035	0.052	0.423
Frequency Test within a Block	0.251	0.182	0.464	0.625	0.382
The Runs Test	0.066	0.018	0.995	0.823	0.100
Tests for the Longest-Run-of-Ones in a Block,	0.913	0.371	0.272	0.041	0.972
The Binary Matrix Rank Test	0.539	0.550	0.161	0.693	0.039
The Discrete Fourier Transform (Spectral) Test	0.271	0.363	0.463	0.596	0.481
The Non-overlapping Template Matching Test	0.532	0.156	0.814	0.607	0.686
The Overlapping Template Matching Test	0.841	0.627	0.340	0.886	0.887
Maurer's "Universal Statistical" Test	0.416	0.365	0.652	0.279	0.547
The Linear Complexity Test	0.300	0.165	0.567	0.985	0.915
The Serial Test	0.894	0.462	0.109	0.143	0.208
The Approximate Entropy Test	0.244	0.109	0.260	0.993	0.187
The Cumulative Sums (Cusums) Test	0.872	0.783	0.049	0.097	0.767

**Tablo 6.** Yürüme esnasında elde edilen sayılar için NIST test sonuçları

	Ivme <sub>x</sub>	Ivme <sub>y</sub>	Ivme <sub>z</sub>	Konum <sub>x</sub>	Konum <sub>y</sub>
The Frequency (Monobit) Test	0.236	0.729	0.121	0.437	0.569
Frequency Test within a Block	0.665	0.265	0.906	0.558	0.751
The Runs Test	0.907	0.333	0.014	0.710	0.499
Tests for the Longest-Run-of-Ones in a Block,	0.231	0.943	0.965	0.505	0.582
The Binary Matrix Rank Test	0.741	0.481	0.741	0.291	0.793
The Discrete Fourier Transform (Spectral) Test	0.877	0.046	0.747	0.373	0.859
The Non-overlapping Template Matching Test	0.941	0.152	0.734	0.666	0.746
The Overlapping Template Matching Test	0.496	0.633	0.838	0.488	0.108
Maurer's "Universal Statistical" Test	0.125	0.429	0.580	0.568	0.351
The Linear Complexity Test	0.121	0.631	0.849	0.320	0.238
The Serial Test	0.956	0.612	0.175	0.437	0.569
The Approximate Entropy Test	0.163	0.881	0.235	0.386	0.241
The Cumulative Sums (Cusums) Test	0.472	0.678	0.218	0.580	0.624

**Tablo 7.** Durma esnasında elde edilen sayılar için NIST test sonuçları

	Ivme <sub>x</sub>	Ivme <sub>y</sub>	Ivme <sub>z</sub>	Konum <sub>x</sub>	Konum <sub>y</sub>
The Frequency (Monobit) Test	0.512	0.970	Başarısız	0.028	0.331
Frequency Test within a Block	0.918	0.912	0.116	0.746	0.647
The Runs Test	0.682	0.662	Başarısız	Başarısız	0.019
Tests for the Longest-Run-of-Ones in a	0.342	0.891	Başarısız	0.027	0.180
The Binary Matrix Rank Test	0.176	0.271	0.196	0.693	0.693
The Discrete Fourier Transform (Spectral)	0.160	0.789	0.201	0.757	0.024
The Non-overlapping Template Matching	0.158	0.177	0.801	Başarısız	0.817
The Overlapping Template Matching Test	0.703	0.702	0.838	0.295	0.488
Maurer's "Universal Statistical" Test	0.296	0.659	Başarısız	Başarısız	Başarısız
The Linear Complexity Test	0.969	0.985	Başarısız	0.808	0.985
The Serial Test	0.754	0.908	Başarısız	0.028	0.039
The Approximate Entropy Test	0.951	0.915	Başarısız	Başarısız	Başarısız
The Cumulative Sums (Cusums) Test	0.516	0.973	Başarısız	0.027	0.631

## 5. Sonuçlar

Bilgisayar biliminin birçok alanında ihtiyaç duyulan rasgele sayıların üretimi için kullanıcı hareketleri tabanlı bir GRSÜ geliştirilmiştir. Mobil telefon kullanan kişilerin koşma yürüme ve durma anlarında ivme ve GPS sistemlerinden elde edilen konumlar yardımıyla rasgele sayılar üretilmiştir. Sayıların kalitesini belirlemek için NIST, Skala İndeks ve Otokorelasyon testleri kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre koşma ve yürüme esnasında üretilen sayılar testlerden başarılı olmuştur. Ancak kişinin durma anında çok küçük hareket ( milimetre seviyelerindeki değişimler) etmesi GPS'den elde edilen konumlar da herhangi bir değişiklik göstermediğinden testlerden başarısız olunmuştur. Bunun yanı sıra durma esnasındaki çok küçük konum değişikliği x ve y eksenlerinde ivme sensörü tarafından algılanmış ve üretilen sayılar testlerden başarılı olmuştur. Sonuç olarak önerilen GRSÜ cep telefonu

platformu için uygun, evrensel ve düşük maliyetli olup kişiye özgü rasgele sayı üretiminin mümkün olduğu gösterilmiştir.

## Kaynaklar

- [1] Tokunaga C., Blaauw D., Mudge T. 2008. True random number generator with a metastability-based quality control. *IEEE Journal of Solid-state Circuits*, 43 (1): 78-85.
- [2] Tuncer S.A. 2018. Real-Time Random Number Generation With RO-Based Double PUF. *J. Microelectron. Electron. Compon. Mater*, 48 (2): 121-128.
- [3] Tuncer T., Avaroğlu E., Türk M., Özer A.B. 2014. Implementation of non-periodic sampling true random number generator on FPGA. *J. Microelectron. Electron. Compon. Mater*, 4 (4): 296-302.
- [4] Koyuncu I., Ozcerit A.T., Pehlivan I., Avaroglu E. 2014. Design and implementation of chaos based true random number generator on FPGA. In *22nd Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)*, pp. 236–239.
- [5] Wei Z., Katoh Y. Ogasahara S., Yoshimoto Y., Kawai K., Ikeda Y., Eriguchi K., Ohmori K., Yoneda S. 2016. True random number generator using current difference based on a fractional stochastic model in 40-nm embedded ReRAM. *IEEE Electron. Dev. Meet.*, 4.8.1-4.8.4.
- [6] Walker J. 2002. HotBits: Genuine Random Numbers Generated by Radioactive Decay. <http://www.fourmilab.ch/hotbits> (Erişim tarihi: 01.02.2019).
- [7] Moosavi S.R., Nigussie E., Virtanen S., Isoaho J. 2017. Cryptographic Key Generation Using ECG Signal. *14th IEEE Annual Consumer Communications & Networking Conference (CCNC)*, pp.1024-1031.
- [8] Chen X., Zhang Y., Zhang G., Zhang Y. 2012. Evaluation of ECG Random Number Generator for Wireless Body Sensor Networks Security. *5th International Conference on BioMedical Engineering and Informatics (BMEI 2012)*, pp. 1308-1311.
- [9] Dang N., Tran D., Ma W., Nguyen K. 2017. EEG-Based Random Number Generators. *Lecture Notes in Computer Science*, 10394: 245-256.
- [10] Chen G. 2014. Are electroencephalogram (EEG) signals pseudo-random number generators?. *Journal of Computational and Applied Mathematics*, 268: 1-4.
- [11] Chen I.T. 2013. Random Numbers Generated from Audio and Video Sources. *Mathematical Problems in Engineering*, Vol.2013, Article ID 285373.
- [12] Nikolic S. Veinovic M. 2016. Advancement of True Random Number Generators Based on Sound Cards Through Utilization of a New Post-processing Method. *Wireless Pers Commun* 91: 603.
- [13] Zhou Q., Liao X., Wong K., Hu Y., Xiao D. 2009. True random number generator based on mouse movement and chaotic hash function. *Information Sciences*, 179 (19): 3442-3450.
- [14] Xingyuan W., Xue Q., Lin T. 2012. A novel true random number generator based on mouse movement and a one-dimensional chaotic map,. *Mathematical Problems in Engineering*, vol. 2012, Article ID 931802.
- [15] Hu Y., Liao X.F., Wong K., Zhou Q. 2009. A true random number generator based on mouse movement and chaotic cryptography. *Chaos, Solitons & Fractals*, 40 (3): 2286-2293.
- [16] Marc-Andre' S., Barbara S., Peter B., Karsten W. 2012. Analysing Humanly Generated Random Number Sequences: A Pattern-Based Approach. *Plos ONE*, 7 (7): e41531.
- [17] Zajac F.E., Neptune R.R., Kautz S.A. 2002. Biomechanics and muscle coordination of human walking. Part I: introduction to concepts, power transfer, dynamics and simulations. *Gait Posture* 16 (3): 215-32.
- [18] Avaroğlu E., Türk M. 2013. Son işlemin Gerçek Rasgele Sayı Üreteçleri Üzerindeki etkisinin İncelenmesi. *6. Uluslararası Bilgi Güvenliği ve Kriptoloji Konferansı, Ankara-Türkiye*, 291-294, 20-21 Eylül.
- [19] Kwok S.-H., Ee Y.-L., Chew G., Zheng K., Khoo K., Tan C.-H. 2011. A comparison of post-processing techniques for biased random number generators. *Proc. Inf. Security Theory Practice*, 6633: 175-190.
- [20] Tuncer S.A, Kaya T. 2018. True Random Number Generation from Bioelectrical and Physical Signals. *Computational and mathematical methods in medicine*, Vol. 2018, Article ID 3579275.
- [21] Benitez R., Bolos V.J., Ramirez M.E. 2010. A wavelet-based tool for studying non-periodicity. *Comput. Math. Appl.*, 60: 634.

- [22] Yang Y.G., Zhao Q.Q. 2016. Novel pseudo-random number generator based on quantum random walks. *Scientific Reports*, 6: 20362.
- [23] Karakaya B., Çelik V., Gülten A. 2017. Chaotic cellular neural network-based true random number generator. *Int. J. Circ. Theor. Appl.*, 45: 1885-1897.
- [24] Chan J.J.M., Thulasiraman P., Thomas G., Thulasiram R. 2016. Ensuring Quality of Random Numbers from TRNG: Design and Evaluation of Post-Processing Using Genetic Algorithm. *Journal of Computer and Communications*, 4: 73-92.
- [25] Chen X.M., Wang L., Li B.X., Wang Y., Li X., Liu Y.P., Yang H.Z. 2016. Modeling Random Telegraph Noise as a Randomness Source and its Application in True Random Number Generation. *IEEE Trans. Comput-Aided Des. Integr. Circuits Syst.*, 35: 1435-1448.
- [26] NIST Special Publication 800-22, <http://csrc.nist.gov/rng/rng2.html>, 2001 (Erişim tarihi: 01.02.2019).

---

*Araştırma Makalesi / Research Article*

---

## **İstanbul'un Bazı Semtlerinde Yaşayan Bireylerin Gıda Güvenliği ve Hijyen Konusundaki Bilgi ve Tutumları**

Seda OĞUR<sup>\*1</sup>, Nuray ERKAN<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Bitlis Eren Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Bitlis

<sup>2</sup>İstanbul Üniversitesi, Su Bilimleri Fakültesi, Balıkçılık ve Su Ürünleri İşleme Teknolojisi Bölümü, İstanbul

---

### **Öz**

Bu araştırmada İstanbul'un bazı semtlerinde ikamet eden, farklı eğitim seviyesine sahip katılımcıların gıda güvenliği ve hijyen konusundaki bilgi ve tutumlarının belirlenmesi amaçlanmıştır. 1 Şubat- 30 Haziran 2014 tarihleri arasında yürütülen çalışmada, gelişigüzel örnekleme yöntemiyle seçilen 596 katılımcının cinsiyet ve eğitim durumlarıyla gıda güvenliği ve hijyen ile ilgili en önemli kavramlar, donmuş et ürünü alma ve çözündürme, el yıkama, mutfakta yemek hazırlama, pişirme ve saklama aşamalarında dikkat edilmesi gereken parametreler konusundaki bilgi düzeylerini ve alışkanlıklarını değerlendirmeyi sağlayacak şekilde tasarlanmış, 23 adet sorudan oluşan bir anket formu uygulanmıştır. Araştırma verilerinin değerlendirilmesinde, IBM SPSS 21® programındaki sıklık ve Pearson ki-kare testleri uygulanmış,  $p<0,05$  düzeyi istatistiksel açıdan anlamlı kabul edilmiştir. "Pişirmek üzere aldığınız donmuş et ürününü (kırmızı et, tavuk, balık, karides veya kalamarı) çözdürdünüz, ancak pişiremediniz, tekrar dondurur musunuz?", "yemek hazırlığına başlamadan önce el yıkamak neden önemlidir?", "mutfakta yemek hazırlığı ve pişirmesi sırasında aşağıdakilerden hangilerini kullanırsınız?", "mutfakta yemek hazırlığı sırasında kullanılan araç, gereç, alet vb. temizliğini ne sıklıkla yaparsınız?", "pişen et, tavuk ya da balığın iç sıcaklığı aşağıdaki sıklardan hangisi olmalıdır?" ve "yeniden ısıtma işlemine tabi tutulacak et ve balık yemekleri en az kaç dereceye kadar ısıtılmalıdır?" sorusu dışında, katılımcıların sorulara verdikleri cevaplar ile cinsiyetleri arasında anlamlı farkın olmadığı ( $p>0,05$ ), katılımcıların eğitim durumları ile "hijyen ne demektir?", "aşağıdakilerden hangisi gıda zehirlenmelerine sebep olur?", "mutfakta mikroorganizmaların yayılmasında hangisi etkili olur?", "yıkamış ellerin kurulanmasında aşağıdakilerden hangisini tercih edersiniz?", "mutfakta yemek hazırlığı ve pişirmesi sırasında aşağıdakilerden hangilerini kullanırsınız?", "pişen et, tavuk ya da balığın iç sıcaklığı aşağıdaki sıklardan hangisi olmalıdır?" sorularına verdikleri yanıtlar arasında ise anlamlı fark ( $p<0,05$ ) olduğu bulunmuştur. Gıda güvenliği ve hijyen ile ilgili olarak en önemli olduğunu düşündüğümüz bilgiler ve uygulamalar konusunda; katılımcıların doğru bilgi veya doğru alışkanlık sahibi olmaları ile eğitim seviyesi arasındaki ilişkinin beklenildiği şekilde anlamlı olmadığı gözlemlenmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Gıda güvenliği, hijyen, bilgi, tutum.

---

## **Knowledge and Attitudes of Individuals Living in Some Districts of Istanbul about Food Safety and Hygiene**

### **Abstract**

In this research has been aimed to determine knowledge and attitudes of peoples with different education levels living in the some districts of Istanbul about food safety and hygiene. In the study conducted between 1 February and 30 June 2017, a questionnaire consisting of informations related to gender, education level and 23 questions, designed to evaluation of their knowledge level and their habits about the most important concepts related to food safety and hygiene, some parameters should be considered in stages, such as buying and thawing frozen meat products, hand washing and meal preparing in kitchen, cooking and storing of meal has been applied to 596 individuals, selected by haphazard sampling method. In evaluation of research data has been applicated frequency and Pearson chi-square tests the IBM SPSS 21® program,  $p<0,05$  level has been accepted significantly as statistical. It has been found that except of "did you defrost the frozen meat product (red meat, chicken, fish, shrimp or calamari) you bought for cooking, but you cooking it, would you freeze it again?", "why is important to wash hands before starting the meal preparation?", "which of the following are used during the meal preparation and cooking in the kitchen?", "how often do you do the cleaning of equipment, tools, etc. used during the meal

---

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

Geliş Tarihi: 02.10.2018, Kabul Tarihi: 08.01.2019

preparation in the kitchen?”, “whichever of the following options should be the internal temperature of cooked meat, chicken or fish?” and “how much degree should be heated the meat and fish meals would be reheated?” question, the difference was insignificant ( $p>0,05$ ) between the answers of participants given to questions and gender, the difference was significant ( $p<0,05$ ) between education level of participants and their answers given to “what is meant hygiene”, “which of the following causes food poisoning”, “which would be effective in the spread of microorganisms in the kitchen”, “which of the following would you prefer in drying the washed hands?”, “which of the following do you use during meal preparation and cooking in the kitchen?”, “whichever of the following options should be the internal temperature of cooked meat, chicken or fish?” questions. In terms of information and practices that we think are the most important in terms of food safety and hygiene; it has been observed that relationship between education level and correct knowledge or right habit of participants was not significant as expected.

**Keywords:** Food safety, hygiene, knowledge, attitude.

## 1. Giriş

Gıda güvenliği kavramı gıdaların amaçlanan kullanımına uygun olarak hazırlanması ve tüketildiği zaman tüketen kişilere herhangi bir zararının olmaması anlamında kullanılmaktadır. Daha geniş değerlendirmek gerekirse gıda ürünlerinin her türlü fiziksel, kimyasal ve biyolojik tehlikeleri ortadan kaldıracak şekilde hazırlanması, işlenmesi, depolanması ve tüketiciye ulaşmasını ifade eden bilimsel bir sistemsel döngüdür. Bu anlamda; her çeşit kontaminasyona ve bozulmaya sebep olan etkenin bertaraf edilmesiyle tüketime uygun hale getirilmiş gıda ürünü, güvenli gıda olarak vasıflandırılmaktadır [1, 2].

Hijyen denildiği zaman genellikle temizlik kavramı anlaşılmaktadır. Ancak her bireyin temizlik anlayışı ve uygulama şekli farklılık göstermektedir. Hijyen-temizlik kavramı içinde kişisel temizlik, el ve vücut temizliği en başta gelmektedir. Gıda işletmelerinde ve satış yerlerinde çalıştırılan personelin bu kavramları doğru algılaması ve yorumlaması oldukça önem arz etmektedir [3, 4].

Gıda üretim ve satış yerlerinde her zaman hijyen standartlarına uygun üretimin yapılması ve bu ürünlerin güvenli bir şekilde tüketicilere ulaşması isteniyorsa sürekliliği sağlanan gıda güvenliği kontrol sistemi mutlaka kurulmalıdır [1, 3].

Gıda kaynaklı hastalık ve zehirlenmelerin çoğu insan kaynaklı mikroorganizmalar aracılığıyla olmakta ve bu durumu en çok gıda hazırlamada çalışan bireylerin hijyen ve temizlik uygulamaları etkilemektedir. Aynı olgu evde hazırlanan yemekler için de geçerlidir. Bireyler yemeklerini hazırlarken uymaları gereken hijyen-temizlik ve gıda güvenliği ile ilgili kurallar ve bu kuralları etkileyecek, dikkat etmeleri gereken hususlar konusunda doğru bilgiye sahip değilse gıda kaynaklı hastalıklara maruz kalmaları kaçınılmazdır [1-3].

Günümüz koşullarında, büyük şehirlerdeki yoğun ve hızlı yaşam akışı içinde, sağlıklı bir hayat sürdürebilmek için tüketicilerin bu konularda doğru bilgi edinmeleri ve bunları her zaman doğru şekilde uygulamaya özen göstermeleri büyük öneme sahiptir. Çocukluk çağından itibaren bu konulardaki bilgi, kural ve uygulamalara eğitim sistemi içinde bilgilendirici seminerler veya fen, sağlık veya biyoloji ders müfredatı içinde yer verilmeli, her alanda olduğu gibi bu konularda da eğitimin önemi unutulmamalıdır [2, 4].

Bu çalışmada İstanbul’un bazı semtlerinde ikamet eden, farklı eğitim seviyesine sahip katılımcıların gıda güvenliği ve hijyen konusundaki bilgi ve tutumları eğitim düzeyi ve cinsiyet değişkenine göre belirlenmeye çalışılmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

1 Şubat-30 Haziran 2014 tarihleri arasında yürütülen çalışmanın evrenini, İstanbul’un Fatih, Bakırköy, Kadıköy ve Şişli semtlerinde ikamet eden 18 yaş üzeri bireyler oluşturmuştur. Gelişigüzel örnekleme yöntemiyle, çalışma süresi içerisinde ulaşılabilen 596 adet gönüllü katılımcıya İstanbul Üniversitesi Su Bilimleri Fakültesi 4. Sınıf öğrencileri tarafından çalışmanın amacı ve kapsamı anlatılarak; kendileri bilgilendirildikten sonra onayları alınmış ve cinsiyet ve eğitim durumu bilgileri ile 23 adet sorudan oluşan bir anket formu yüz yüze görüşülerek uygulanmıştır. Bu çalışma, İstanbul Üniversitesi Su Bilimleri Fakültesi İşleme Teknolojisi Anabilim Dalı tarafından yürütülmüştür.

Anket formunda, 6 adet; katılımcı genel gıda güvenliği ve hijyen ile ilgili en önemli kavramlar, 3 adet; donmuş et ürünü alma ve çözdürme, 4 adet; el yıkama, 6 adet; mutfakta yemek hazırlama, 4 adet;

pişirme ve saklama aşamalarında dikkat edilmesi gereken parametreler konusundaki bilgi ve tutumlarını değerlendirmeyi sağlayacak şekilde toplam 23 adet soru bulunmaktadır. Anket formlarından elde edilen araştırma verilerinin değerlendirilmesinde IBM SPSS 21® programındaki sıklık ve Pearson ki-kare testleri uygulanmış,  $p < 0,05$  düzeyi istatistiksel açıdan anlamlı kabul edilmiştir.

### 3. Bulgular ve Tartışma

Katılımcıların 362'sinin (%60,7) kadın, 234'ünün (%39,3) erkek olduğu görülmüştür. Ankete katılanların 47'sinin (%7,9) ilköğretim mezunu, 137'sinin (%23,0) lise mezunu, 371'inin (%61,2) lisans mezunu, 41'inin (%6,9) lisansüstü mezunu olduğu belirlenmiştir.

Tablo 1'de katılımcıların gıda güvenliği ve hijyen ile ilgili en önemli kavramlara ait bilgi ve tutumlarını belirten dağılım verilmiştir.

**Tablo 1.** Katılımcıların gıda güvenliği ve hijyen ile ilgili en önemli kavramlara ait bilgi ve tutumlarını belirten dağılım

<b>1. Hijyen ne demektir?</b>	<b>Sayı</b>	<b>%</b>
a) Görünen kirin uzaklaştırılması (temizlik)	16	2,7
b) Görünmeyen kirin (hastalık yapıcı) uzaklaştırılması (dezenfekte etmek)	50	8,4
c) İkisi birden*	530	88,9
<b>Toplam</b>	596	100,0
<b>2. Hangisi gıda zehirlenmelerine sebep olur?</b>		
a) Gıdaları bozan bakteriler	271	45,4
b) Patojen (hastalık yapıcı) bakteriler*	234	39,3
c) Küfler	91	15,3
<b>Toplam</b>	596	100,0
<b>3. Mutfakta mikroorganizmaların yayılmasında hangisi etkili olur?</b>		
a) Eller	16	2,7
b) Kesme tahtaları	10	1,7
c) Sünger ve bezler	24	4,0
d) Mutfak araç ve gereçleri	7	1,2
e) Çöp kovaları	80	13,4
f) Hepsi*	459	77,0
<b>Toplam</b>	596	100,0
<b>4. Hangisi çok çabuk bozulabilir gıdalardan değildir?</b>		
a) Biftek	12	2,0
b) Balık	25	4,2
c) Tavuk	14	2,3
d) Bisküvi*	543	91,1
e) Bilmiyorum	2	0,3
<b>Toplam</b>	596	100,0
<b>5. Uygun buzdolabı sıcaklığı aşağıdakilerden hangisidir?</b>		
a) 15 °C	43	7,2
b) 10 °C	105	17,6
c) 4 °C*	433	72,7
d) 20 °C	11	1,8
e) Bilmiyorum	4	0,7
<b>Toplam</b>	596	100,0
<b>6. Buzdolabında soğutma işlemi gıdanın içinde bulunan tehlikeli bakterilerin hepsini öldürür mü?</b>		
a) Daha çok çoğalmalarını sağlar	8	1,3
b) Soğuk dolap bakterileri etkilemez	35	5,9
c) Hepsini öldürür	42	7,0
d) Hayır, fakat gıdayı soğukta tutarak bakterilerin çoğalmalarını önler*	511	85,7
<b>Toplam</b>	596	100,0

\*Anket sorusunun doğru cevabıdır.



Katılımcıların %2,7'si hijyenin görünen kirin uzaklaştırılması (temizlik), %8,4'ü görünmeyen kirin (hastalık yapıcı) uzaklaştırılması (dezenfekte etmek), %88,9'u ise doğru yanıt olan her ikisinin birden yapılması olduğunu ifade etmiştir.

Katılımcıların %45,4'ü gıda zehirlenmelerine gıdaları bozan bakterilerin, %39,3'ü patojen (hastalık yapıcı) bakterilerin, %15,3'ü küflerin sebep olduğunu belirtmiştir (Tablo 1).

Katılımcılara mutfakta mikroorganizmaların yayılmasında hangisi etkili olur diye sorulduğunda; %2,7'si eller, %1,7'si kesme tahtaları, %4,0'ü sünger ve bezler, %1,2'si mutfak araç ve gereçleri, %13,4'ü çöp kovaları, %77,0'si ise hepsi cevabını vermiştir (Tablo 1).

Katılımcıların %2,0'si bifteğin, %4,2'si balığın, %2,3'ü tavuğun, %91,1'i ise doğru yanıtı işaretleyerek; bisküvinin çok çabuk bozulabilir gıdalardan olmadığını bildirmiştir (Tablo 1).

Katılımcıların %7,2'si uygun buzdolabı sıcaklığının 15 °C, %17,6'sı 10 °C, %1,8'i 20 °C olduğunu belirtirken; %0,7'si "bilmiyorum" şeklinde yanıtlamıştır. Doğru yanıt olan "4 °C" yanıtını işaretleyenlerin oranı ise %72,7 olmuştur (Tablo 1).

"Buzdolabında soğutma işlemi gıdanın içinde bulunan tehlikeli bakterilerin hepsini öldürür mü?" sorusuna ankete katılan katılımcıların %1,3'ünün "daha çok çoğalmalarını sağlar", %5,9'unun "soğuk dolap bakterileri etkilemez", %7,0'sinin "hepsini öldürür", %85,7'sinin ise doğru yanıt olan; "hayır, fakat gıdayı soğukta tutarak bakterilerin çoğalmalarını önler" cevabını verdiği görülmüştür (Tablo 1).

Katılımcıların genel gıda güvenliği ve hijyen ile ilgili en önemli kavramlardan olan; hijyenin ne demek olduğu, mutfakta mikroorganizmaların yayılmasında hangi araçların etkili olduğu, hangi gıdaların çok çabuk bozulabilir gıdalardan olduğu, uygun buzdolabı sıcaklığının kaç derece olduğu ve buzdolabında soğutma işleminin gıdanın içinde bulunan tehlikeli bakterilerin hepsini öldürüp öldürmediği konularındaki bilgi ve tutumlarının olumlu olduğu görülmüştür. Ancak, katılımcıların %60,7'sinin gıda zehirlenmelerine hangi mikroorganizmaların sebep olduğu konusunda doğru bilgiye sahip olmadığı saptanmıştır (Tablo 1).

Askarian vd. [5]; İran'daki 31 hastanede çalışan yemek servis elemanlarının bakterilerin tanınması, soğuk yiyeceklerin buzdolabında muhafaza dereceleri ve sıcak yiyeceklerin servis alanındaki muhafaza dereceleri ile ilgili olarak sahip oldukları bilginin belli düzeyde olduğunu bulunması bizim çalışmamızla uyumaktadır.

ABD Hastalık Kontrol ve Önleme Merkezi gıdaları uygun olmayan bir sıcaklıkta muhafaza etmenin ya da bekletmenin gıda kaynaklı hastalıklarına sebep olma oranını %37 olarak belirtmiştir. Bu sebeple gıdalar mikrobiyal gelişmenin nispeten ağır seyrettiği 5 °C'nin altındaki bir soğutucuda muhafaza edilmelidir [6].

Koçoğlu vd. [7]'nin çalışmasında gıdaların hazırlanması ve saklanması aşamasındaki uyulması gereken hijyen kuralları ile ilgili sorulara verilen yanıtların eğitim seviyesi ile uyum göstermediği anlaşılmıştır. Personelin gıda hijyeni ve sanitasyonu açısından önem taşıyan konulardaki bilgi seviyesinin yeterli düzeyde olmadığı, uygulamalarda yaşanan problemlerin bertaraf edilmesi için hizmet içi eğitimler ile eğitilmeleri gerektiği belirtilmiştir. Bizim çalışmamızda katılımcılara yöneltilen 23 sorudan 12'sine verilen cevaplar ile katılımcıların eğitim durumları arasında anlamlı fark olmadığını ( $p>0,05$ ) ortaya çıkması Koçoğlu vd. [7]'nin çalışmasını doğrulamıştır.

Uzunöz vd., [8] tarafından yürütülen araştırmada kırsal alanda hayatını sürdüren bayanların gıda güvenliği konusunda sahip oldukları bilinç düzeyleri ile eğitim seviyeleri arasında bizim çalışmamızdan farklı olarak yüksek derecede bir ilişki belirlenmiştir.

Şanlıer vd. [9]'nin otel personelleri ile yürüttükleri çalışmada personelin eğitim düzeyleri ile genel hijyen puanları ve diğer hijyen konularındaki (mutfak ve ekipman, personel ve gıda hijyeni) puanları arasında anlamlı fark ( $p<0,05$ ) bulunması ve Ünüsan [10]'ın yürüttüğü araştırmada da eğitim düzeyinin artmasıyla gıda güvenliği bilgi puanının geliştiğinin ( $p<0,01$ ) görülmesi bizim çalışmamızla uyumamaktadır.

Memiş Kocaman ve Şanlıer [11]'in araştırmasında öğretmenlerin sadece %29,9'unun gıda güvenliği hakkında yeterli bilgiye sahip olması bizim çalışmamızla benzer bulunmuştur.

Katılımcıların donmuş et alma ve çözdürme ile ilgili kavramlara ait bilgi ve tutumlarını belirten dağılım Tablo 2'de verilmiştir.

Paketli halde satılan donmuş et ürünü alırken ankete katılan katılımcıların %2,0'si "paketin sağlamlığına", %15,8'i "son kullanma tarihine", %2,5'i "ürünün görüntüsüne" dikkat ettiğini belirtirken; doğru yanıt olan "hepsi" cevabını verenlerin oranı %79,7 olmuştur (Tablo 2).

Katılımcıların %47,5'i donmuş et ürününü oda sıcaklığında bekleterek, %31,5'i buzdolabında bekleterek, %20,6'sı su içerisinde tutarak çözdürdüğünü belirtirken; %0,3'ü konu hakkında fikri olmadığını söylemiştir (Tablo 2). Bu uygulamada doğru olan donmuş et ürününün buzdolabında bekleterek çözdürülmesidir.

**Tablo 2.** Katılımcıların donmuş et ürünü alma ve çözdürme ile ilgili kavramlara ait bilgi ve tutumlarını belirten dağılım

<b>7. Paketli halde satılan donmuş et ürünü (kırmızı et, tavuk, balık, karides veya kalamar) alırken en çok nelere dikkat edilmelidir?</b>	<b>Sayı</b>	<b>%</b>
a) Paketin sağlamlığına	12	2,0
b) Son kullanma tarihine	94	15,8
c) Ürünün görüntüsüne	15	2,5
d) Hepsine*	475	79,7
<b>Toplam</b>	<b>596</b>	<b>100,0</b>
<b>8. Donmuş et ürünü (kırmızı et, tavuk, balık, karides veya kalamar) temin edildiyse pişirmeden önce nasıl çözülmesini sağlarsınız?</b>		
a) Oda sıcaklığında bekleterek	283	47,5
b) Buzdolabında bekleterek*	188	31,5
c) Su içerisinde tutarak	123	20,6
d) Fikrim yok	2	0,3
<b>Toplam</b>	<b>596</b>	<b>100,0</b>
<b>9. Pişirmek üzere aldığınız donmuş et ürününü (kırmızı et, tavuk, balık, karides veya kalamar) çözdürdünüz, ancak pişiremediniz, tekrar dondurur musunuz?</b>		
a) Evet	99	16,6
b) Hayır*	497	83,4
<b>Toplam</b>	<b>596</b>	<b>100,0</b>

\*Anket sorusunun doğru cevabıdır.

Kişilere çözdürdükleri, ancak pişiremedikleri et ürünlerini tekrar dondurup dondurmadıkları sorulduğunda; %16,6'sı tekrar dondurduğunu, %83,4'ü ise doğru yanıtı işaretleyerek; tekrar dondurmadığını dile getirmiştir (Tablo 2).

Katılımcıların donmuş et ürünü (kırmızı et, tavuk, balık, karides veya kalamar) alma ve çözdürme ile ilgili kavramlara ait bilgi ve tutumlarını ortaya koyan; paketli halde satılan donmuş et ürünü alırken en çok nelere dikkat edilmesi gerektiği ve pişirmek üzere alınan donmuş et ürününü çözdürdükten sonra tekrar dondurulup dondurulmayacağı konularındaki bilgi ve tutumlarının büyük oranda doğru olduğu tespit edilmiştir. Ancak, katılımcıların %68,1'inin donmuş et ürünü temin edildiyse pişirmeden önce nasıl çözülmesi gerektiği konusunda yanlış uygulamalarda (oda sıcaklığında bekletme ve su içerisinde tutma) bulunduğu görülmüştür (Tablo 2).

Sağlam vd. [13]'nin çalışmasında tüketicilerin %86'sının ürünün son kullanma tarihine dikkat ettikleri belirlenmiştir. Yapılan başka bir çalışmada ise gıda ürünü satın alırken son kullanma tarihine bakmayan tüketicilerin %39,6 oranında olduğu bulunmuştur [13]. Bizim çalışmamızda bu çalışmalardan farklı olarak katılımcıların %79,5'i donmuş et ürünü (kırmızı et, tavuk, balık, karides veya kalamar) alırken; paketin sağlamlığı, son kullanma tarihi ve ürünün görüntüsü parametrelerinden hepsine baktığını ifade etmişlerdir (Tablo 2).

Lynch vd. [14] tarafından Oklahoma şehrindeki lokantalarda çalışan işçilerin %91,7'sinin dondurulmuş et ürünlerini buzdolabında çözdürdükleri belirlenmiştir. Bizim çalışmamızda ise katılımcıların %47,5'inin dondurulmuş et ürünlerini çözdürme işlemi oda sıcaklığında bekleterek yaptığını, sadece %31,5'inin buzdolabında bekleterek yaptığını ifade etmesi bu çalışmayla uyuşmamaktadır.

Askarian vd. [5] buzu çözülen gıdalar yalnızca bir defa tekrar dondurabilir seçeneğini belirtenlerin %52,9 oranında olduğunu bulmuştur. Bizim çalışmamızda bu çalışmadan oldukça farklı olarak katılımcıların %83,4'ü donmuş et ürünü (kırmızı et, tavuk, balık, karides veya kalamar) tekrar dondurmadığını belirtmiştir (Tablo 2).

Donmuş ürünlerin çözdürülmesi bir gece öncesinden buzdolabında ( $\leq 5$  °C'de) bekleterek, mikrodalga fırında ısıtarak ya da akmakta olan soğuk suyun altında tutarak gerçekleştirilmelidir. Çözdürülmüş gıdalar hemen pişirilerek tüketilmeli, tüketilmeyecek ise tekrar dondurulabileceği düşünülmemelidir. Gıdalarda çoğalarak gıda kaynaklı hastalıklara neden olan patojen bakterilerin

gelişebileceği sıcaklık aralığı 5-57 °C olduğu için özellikle bu açıdan potansiyele sahip olan gıda ürünleri, bu sıcaklık aralıklarında uzun süre tutulmamalı, çözdürülmemeli ve gıda hazırlanırken mümkün olduğunca hızlı çalışılmalıdır [6].

Katılımcıların el yıkama konusundaki bilgi ve tutumlarını belirten dağılım Tablo 3'te sunulmuştur.

**Tablo 3.** Katılımcıların el yıkama konusundaki bilgi ve tutumlarını belirten dağılım

<b>10. Eller ne zaman yıkanmalıdır?</b>	<b>Sayı</b>	<b>%</b>
a) Yemek hazırlığına başlamadan önce	37	6,2
b) Pişmemiş gıdalara (sebze, meyve, et, tavuk, balık vb.) temastan sonra	0	0,0
c) Yemek yemeden önce ve sonra	18	3,0
d) Tuvalete girerken ve çıktıktan sonra	12	2,0
e) Çöp ile temastan sonra	5	0,8
f) Hapşırma, öksürme gibi işlemlerden sonra	2	0,3
g) Hepsi*	518	86,9
h) Bilmiyorum	3	0,5
<b>Toplam</b>	<b>596</b>	<b>100,0</b>
<b>11. Yemek hazırlığına başlamadan hemen önce elleri yıkamak neden önemlidir?</b>		
a) Genel bir kural olarak belirtildiği için	11	1,8
b) Ellerdeki mikroorganizmaların gıdalara bulaşmaması için*	452	75,8
c) Gıdalardaki mikropların ellere bulaşmaması için	26	4,3
d) Ellerin temiz olması için	107	18,0
<b>Toplam</b>	<b>596</b>	<b>100,0</b>
<b>12. Hangisi el yıkama işleminde kullanılan malzemedir?</b>		
a) Tırnak fırçası	16	2,7
b) Sıcak su	107	17,9
c) Dezenfektanlı el jeli	180	30,2
d) Hepsi*	293	49,2
<b>Toplam</b>	<b>596</b>	<b>100,0</b>
<b>13. Yıkamış ellerin kurulanmasında aşağıdakilerden hangisini tercih edersiniz?</b>		
a) Mutfak önlüğüme kurularım	16	2,7
b) Kağıt havlu kullanırım*	402	67,4
c) Normal mutfak havlusunu tercih ederim	178	29,9
<b>Toplam</b>	<b>596</b>	<b>100,0</b>

\*Anket sorusunun doğru cevabıdır.

Katılımcıların %6,2'si ellerin yemek hazırlığına başlamadan önce, %3,0'ü yemek yemeden önce ve sonra, %2,0'si tuvalete gitmeden önce ve sonra, %0,8'i çöp ile temastan sonra, %0,3'ü hapşırma, öksürme gibi işlemlerden sonra yıkanması gerektiğini belirtirken; doğru yanıt olan "hepsi" seçeneğini işaretleyenlerin oranı %86,9 olmuştur. Üç katılımcı ise bu soruya "bilmiyorum" şeklinde yanıt vermiştir (Tablo 3).

"Yemek hazırlığına başlamadan hemen önce elleri yıkamak neden önemlidir?" sorusuna %1,8'i "genel bir kural olarak belirtildiği için", %75,8'i doğru yanıt olan; "ellerdeki mikroorganizmaların gıdalara bulaşmaması için", %4,3'ü "gıdalardaki mikroorganizmaların ellere bulaşmaması için", %18,0'i "ellerin temiz olması için" cevabını vermiştir (Tablo 3).

El yıkama işleminde kullanılan malzeme olarak; %2,7'si "tırnak fırçası", %17,9'u "sıcak su", %30,2'si "dezenfektanlı el jeli", %49,2'si doğru yanıt olan "hepsi" seçeneğini işaretlemiştir (Tablo 3).

Katılımcıların %2,7'si ellerini yıkadıktan sonra mutfak önlüğüne kuruladığını, %67,4'ü doğru seçeneği işaretleyerek; kağıt havlu kullandığını, %29,9'u normal mutfak havlusunu tercih ettiğini ifade etmiştir (Tablo 3).

Katılımcıların el yıkama konusundaki bilgi ve tutumlarını belirten kavramlardan olan ellerin ne zaman yıkanması gerektiği konusundaki bilgi ve tutumlarının olumlu olduğu saptanmıştır. Ancak el yıkama konusundaki bilgi ve tutumlarını belirten diğer kavramlardan; yemek hazırlığına başlamadan hemen önce elleri yıkamanın neden önemli olduğu, el yıkama işleminde kullanılan malzemelerin neler olduğu, yıkamış ellerin kurulanmasında hangisinin tercih edildiği konularında doğru bilgi ve tutum sahibi olmayan kişi sayısının da azımsanmayacak miktarda olduğu görülmüştür (Tablo 3). Ayrıca,

çalışmaya dahil edilen katılımcıların eğitim durumları ile “yemek hazırlığına başlamadan hemen önce elleri yıkamak neden önemlidir?” sorusuna verilen yanıtlar arasında anlamlı fark ( $p<0,05$ ) tespit edilmiştir.

Demirci ve Ersoy [17]’un çalışmasında katılımcıların %98,7’si işe başlamadan önce ellerini yıkadığını belirtmiştir. Ellerini yıkayan personelin %86,9’unun sıvı sabun kullandığı ve %83,6’sının ellerini havlu peçete ile kuruladıkları saptanmıştır. Bizim çalışmamızda tırnak fırçası, sıcak su, dezenfektanlı el jelinin hepsinin el yıkama işleminde kullanılan malzeme olduğunu söyleyenlerin oranı %49,2 olarak bulunurken, yıkanmış ellerin kurulanmasında kağıt havluyu kullanırım diyenlerin oranı %67,4 olarak bulunmuştur (Tablo 3).

Pragle vd. [18] gıda işlemede görevli personeli izledikleri araştırmalarında; personelin gıda hazırlığına başlamadan önce ellerini genellikle yıkamadıklarını belirlemişlerdir.

Enç vd. [19] üniversite öğrencisi olan kişilerin el yıkama alışkanlıklarının incelendiği araştırmada, akarsuyun el yıkamada daha etkili olduğunu söyleyen öğrencilerin oranını %53, mikroorganizmaları yok etmek için ellerdeki yıkanması gereken bölgeleri ve yıkama süresini doğru şekilde ifade eden öğrencilerin oranını %85 olarak bulmuştur.

Çıkmaz [20]’ın araştırmasında, hastane yemekhanesinde görev yapan çalışanların çoğunluğu (%96,8) yemek hazırlığına başlamadan ve servisten önce ellerini yıkadıklarını belirtmiş, ancak araştırmacı işletme içerisinde edindiği izlenim neticesinde personelin ellerini yıkamak için gerekli olan temizlik maddesi ve kurulamak için gerekli olan kağıt havlunun el yıkama alanlarında olmadığını görmüştür.

Clayton ve Griffith [21]’in gıda işlemede görev yapan 115 kişiyi izledikleri araştırmaya göre; potansiyel tehlike oluşturan gıdalar ve yüzeylere dokunduktan sonra ellerini yıkayan personelin oranı %32, saç veya yüzüne dokunduktan sonra ellerini yıkayan personelin oranı %9, mutfaka her girişinde ellerini yıkayan personelin oranı %14, işleme sırasında kirli yüzeylere, ekipmanlara ve araçlara dokunduktan sonra ellerini yıkayan personelin oranı %10, hijyenik el yıkama uygulamasını yapan personelin oranı ise %31 olarak bulunmuştur. Oysa bizim çalışmamızda katılımcıların %86,9’u ellerin “yemek hazırlığına başlamadan önce”, “pişmemiş gıdalara (sebze, meyve, et, tavuk, balık vb..) temastan sonra”, “yemek yemeden önce ve sonra”, “tuvalete girerken ve çıktıktan sonra”, “çöp ile temastan sonra” ve “hapşırma, öksürme gibi işlemlerden sonra” olmak üzere her durumda yıkanması gerektiğini belirtmiştir (Tablo 3). El yıkama konusunda yürütülen araştırmalarda mutfaka giriş yapmadan önce yıkanması gereken ellerin olması gerektiği sıklıkta yıkanmadığı, el ve giysi hijyeni konularında personelin uygulamalarının yetersiz olduğu görülmüştür [21, 22].

Green vd. [23] Amerika’da faaliyet gösteren 321 gıda işletmesindeki çalışanların sadece %27’sinin ellerini hijyen kurallarına uygun olarak yıkadığını bulmuştur. Pragle vd. [18], Clayton ve Griffith [21], Green vd. [23], Ural [24] tarafından gerçekleştirilen değişik çalışmalarda, mutfak personelinin çoğunun “farklı özelliğe sahip gıdalara dokunmadan önce”, “çiğ gıda ile pişmiş gıdanın servisi sırasında çalışmayı değiştirmesi gerektiğinde” ya da “potansiyel tehlike oluşturan gıdalara dokunduktan sonra” el hijyenine olması gerektiği kadar hassasiyet göstermedikleri gözlemlenmiştir.

Altekruse vd. [25] el yıkama ya da çiğ ete temas ettikten sonra çapraz bulaşmaya sebep olmamak için uygun bir tedbir alma gibi, gerekli hijyen uygulamalarının doğru olmadığı personel sayısının araştırmaya katılan toplam personel sayısının üçte biri oranında olduğunu belirlemiştir.

Sivas ili merkez ilçesindeki 317 gıda üreten ve satışı yapan kuruluştaki görev yapan 494 personelin ancak yarısının kişisel hijyene önem verdiği, lise ve üstü düzeyinde eğitim almış personelin kişisel hijyen konusunda daha iyi olduğu görülmüştür ( $p<0,05$ ). Ancak personelin sadece %15,8’i mikroorganizmaların eller tarafından bulaşabileceğini ifade etmiştir [7].

ABD Hastalık Kontrol ve Önleme Merkezi, gıda kaynaklı hastalıkların %19 oranında kişisel hijyen konusundaki yetersizlik ve uygun olmayan el yıkama işleminden kaynaklandığını belirtmiştir [26]. El temizliği için öncelikle ellerin yıkanması, sonra dezenfekte edilmesi, ardından ellerin fırçalanması ve son olarak da elin kurulanması (kağıt havlu, antimikrobiyal madde emdirilmiş pamuk havlu ya da sıcak hava akımında) gerekmektedir [27].

Gıdalar, direkt ve indirekt temaslar neticesinde oldukça farklı kaynaktan kontaminasyona uğrayabilirler. Bu kaynaklar başlıca; işletmede çalışan personeller, gıdanın temasta olduğu yüzeyler ve başka gıdalardır. Kişisel hijyene gereken önem verilerek ve özellikle eller doğru şekilde yıkanarak ve iş elbiseleri uygun şekilde temizlenerek kontaminasyonlar azaltılabilir. Gıdanın hazırlanması aşamasında da personelin hijyen kurallarına uyması kontaminasyonları azaltan diğer bir faktördür [28].

Gıda kaynaklı patojen mikroorganizmaların bulaşma kaynağının başında insanlar gelmektedir. İnsanların derisinde, saçlarında, elbisesinde birçok mikroorganizma bulunmakta ve bunlar insanların dokundukları diğer objelere geçebilmektedir. Bu nedenle gıda işlemede görev yapan personelin kişisel hijyenine dikkat etmesi, gıda işleme sırasında kendisinin en önemli kontaminasyon kaynağı olduğunu unutmaması gerekir [29]. Kontaminasyona maruz kalmış bir yüzey ya da bir bez personelin eliyle temas halinde olduğunda ve gıdalara veya gıdaların doldurulacağı kaplar ellendiğinde tehlikeli bir boyutta mikroorganizma geçişi olmaktadır [30]. Bu tür bulaşmaların oluşmaması için gıda hazırlığına başlamadan önce, gıda hazırlığı esnasında ve gıda hazırlığından sonra eller yıkanmalıdır. Özellikle de çiğ eti, sebze, gıda dışındaki nesnelere elledikten sonra, tuvaletten çıktıktan sonra ellerin doğru şekilde yıkanmasının önemi kavranmalıdır [12]. Ellerin sıcak su ve sabun eşliğinde bütün kısımlarının bileklere kadar 20 s boyunca ovuşturularak yıkanması, yine bol akan sıcak suyla durulanması ve uygun bir dezenfeksiyonla, uygun miktarda dezenfekte edildikten sonra kendi halinde kurumasının beklenmesi gerektiği unutulmamalıdır. Katılımcıların mutfakta yemek hazırlama sırasında dikkat edilmesi gereken parametreler konusundaki bilgi düzeylerini belirten dağılım Tablo 4'te verilmiştir.

**Tablo 4.** Katılımcıların mutfakta yemek hazırlama sırasında dikkat edilmesi gereken parametreler konusundaki bilgi düzeylerini belirten dağılım

<b>14. Mutfakta yemek hazırlığı ve pişirmesi sırasında aşağıdakilerden hangilerini kullanırsınız?</b>	<b>Sayı</b>	<b>%</b>
a) Mutfak önlüğü	254	42,6
b) Eldiven	84	14,1
c) Bone ya da tülbent	40	6,7
d) Hepsi*	209	35,1
e) Hiçbiri	9	1,5
<b>Toplam</b>	<b>596</b>	<b>100,0</b>
<b>15. Mutfakta yemek hazırlığı sırasında yüzük, bilezik, saat vb., süs eşyalarınızı çıkarırmısınız?</b>		
a) Evet*	473	79,3
b) Hayır	123	20,7
<b>Toplam</b>	<b>596</b>	<b>100,0</b>
<b>16. Mutfakta yemek hazırlığı sırasında kullanılan araç, gereç, alet vb., temizliğini ne sıklıkla yaparsınız?</b>		
a) Biriken diğer bulaşıklarla birlikte uygun bir ara yıkırım	63	10,6
b) Kullanıldığı gün tüm işler bittikten sonra sıcak su ve temizlik malzemeleriyle yıkırım	187	31,4
c) Kullanıldıktan hemen sonra sıcak su ve temizlik malzemeleriyle yıkırım*	346	58,0
<b>Toplam</b>	<b>596</b>	<b>100,0</b>
<b>17. Çöp kovası yemek hazırlarken nerede ve nasıl bulunmalıdır?</b>		
a) Hazırlama-pişirme alanına ve buzdolabına yakın bir yerde, üstü açık olarak	28	4,7
b) Hazırlama-pişirme alanına ve buzdolabına yakın bir yerde, üstü kapalı olarak	132	22,1
c) Hazırlama-pişirme alanına ve buzdolabına uzakta, üstü kapalı olarak*	410	68,8
d) Hazırlama-pişirme alanına ve buzdolabına uzakta, üstü açık olarak	26	4,4
<b>Toplam</b>	<b>596</b>	<b>100,0</b>
<b>18. Aşağıdakilerden hangisi gıda kesme işleminde kullanılması uygun yüzeydir?</b>		
a) Fayans	46	7,7
b) Tahta kesme yüzeyi	337	56,5
c) Sertleştirilmiş plastik blok*	64	10,7
d) Cam kesme yüzeyi	149	25,0
<b>Toplam</b>	<b>596</b>	<b>100,0</b>
<b>19. Yemek hazırlığı sırasında aşağıdakilerden hangisi tehlike oluşturur?</b>		
a) Önlük takılması	20	3,4
b) Ellerin uygun şekilde yıkanması	18	3,0
c) Dezenfekte edilmiş mutfak ekipmanının kullanılması	18	3,0
d) Kirli ve temiz mutfak ekipmanının aynı ortamda bulunması*	540	90,6
<b>Toplam</b>	<b>596</b>	<b>100,0</b>

\*Anket sorusunun doğru cevabıdır.

Katılımcıların %42,6'sının mutfakta yemek hazırlığı ve pişirmesi sırasında mutfak önlüğü, %14,1'inin eldiven, %6,7'sinin bone veya tülbent kullandığı tespit edilirken; %1,5'inin hiçbirini kullanmadığı belirlenmiştir. Doğru yanıt olan "hepsi" seçeneğini işaretleyenlerin oranı %35,1 olmuştur (Tablo 4).

Katılımcıların %79,3'ü doğru olan yanıtı işaretleyerek; mutfakta yemek hazırlığı sırasında takılarını çıkardığını, %20,7'si ise çıkarmadığını ifade etmiştir (Tablo 4).

Mutfakta kullandıkları araç, gereç, alet vb. temizliğini ne sıklıkla yaptıkları sorgulandığında; %10,6'sı "biriken diğer bulaşıklarla birlikte uygun bir ara yıkarım", %31,4'ü "kullanıldığı gün tüm iş bittikten sonra sıcak su ve temizlik malzemeleriyle yıkarım", %58,0'i doğru yanıtı işaretleyerek; "kullanıldıktan hemen sonra sıcak su ve temizlik malzemeleriyle yıkarım" şeklinde cevap vermiştir (Tablo 4).

"Çöp kovası yemek hazırlarken nerede ve nasıl bulunmalıdır?" sorusuna ankete katılan katılımcılardan %4,7'sinin "hazırlama-pişirme alanına ve buzdolabına yakın bir yerde, üstü açık olarak", %22,1'inin "hazırlama-pişirme alanına ve buzdolabına yakın bir yerde, üstü kapalı olarak", %4,4'ünün "hazırlama-pişirme alanına ve buzdolabına uzakta, üstü açık olarak" yanıtını verdiği görülmüştür. Doğru yanıt olan "hazırlama-pişirme alanına ve buzdolabına uzakta, üstü kapalı olarak" cevabını verenlerin oranı %68,8 olmuştur (Tablo 4).

Katılımcıların %7,7'si fayansın, %56,5'i tahta kesme yüzeyinin, %25,0'i cam kesme yüzeyinin gıda kesme işleminde kullanılması uygun yüzey olduğunu ileri sürerken; sadece %10,7'si doğru yanıt olan "sertleştirilmiş plastik bloğu" işaretlemiştir (Tablo 4).

Katılımcıların %3,4'ü yemek hazırlığı sırasında önlük takılmasının, %3,0'ü ellerin uygun şekilde yıkanmasının, %3,0'ü dezenfekte edilmiş mutfak ekipmanının kullanılmasının tehlike oluşturduğunu belirtirken; %90,6'sı doğru yanıtı işaretleyerek; kirli ve temiz mutfak ekipmanının aynı ortamda bulunmasının tehlike oluşturduğunu belirtmiştir (Tablo 4).

Katılımcıların mutfakta yemek hazırlama sırasında dikkat edilmesi gereken parametreler konusundaki bilgi düzeylerini ortaya koyan; mutfakta yemek hazırlığı ve pişirmesi sırasında hangi koruyucu malzemelerin kullanıldığı, mutfakta yemek hazırlığı sırasında yüzük, bilezik, saat vb. süs eşyalarını çıkarıp çıkarmadığı, mutfakta yemek hazırlığı sırasında kullanılan araç, gereç, alet vb. temizliğinin ne sıklıkla yapıldığı, çöp kovasının yemek hazırlarken nerede ve nasıl bulunması gerektiği, gıda kesme işleminde kullanılması uygun yüzeyin hangisi olduğu konularında doğru bilgi ve tutum sahibi olmayan kişi sayısının azımsanmayacak miktarda olduğu görülmüştür. Ancak, katılımcıların %90,6'sının mutfakta yemek hazırlama sırasında dikkat edilmesi gereken parametreler konusundaki bilgi düzeylerini gösteren diğer bir kavram olan; yemek hazırlığı sırasında tehlike oluşturan uygulamaların hangisi olduğu konusunda doğru bilgi sahibi oldukları ortaya çıkmıştır (Tablo 4).

Askarian vd. [5]'nin çalışmasında; eldiven, bone ve maske gibi koruyucuları kullanmanın gıdalarda kontaminasyonu önlediğini ifade edenler %95,5 oranında bulunmuştur. Oysa bizim çalışmamızda mutfakta yemek hazırlığı ve pişirmesi sırasında mutfak önlüğü, eldiven ve bone ya da tülbenden hepsinin kullanılması gerektiğini belirten katılımcıların oranı %35,1 bulunmuştur (Tablo 4).

Green vd. [23]; çalışanların mutfakta gerçekleştirdikleri iş aşamalarının sadece %28'inde eldiven taktıklarını bulmuştur.

Gıda hazırlığı aşamasında uygun bir koruyucu önlük muhakkak takılmalı ve saçların gıda içerisine düşmemesi için saç bonesi kullanılmalıdır. Takılan koruyucu önlüklerin temizliğinin de periyodik olarak yapılması gerekmektedir [2, 31-33]. Koruyucu önlüklerin üzerine bulaşan gıda artıklarının bir sonraki gıda ürünlerine bulaşmasının önlenmesi için önlükler sık sık değiştirilmeli ve ayrıca çamaşır makinesinde yüksek sıcaklıklarda yıkanarak etkin şekilde temizlenmelidir [12].

Howes vd. [34]; ABD'deki araştırmasında gıda kaynaklı hastalıkların %97'sinin genellikle gıda işlemede görev alan kişilerin gıda hazırlığı aşamasındaki hijyenik olmayan uygulamalarından kaynaklandığını rapor etmişlerdir.

Çalışmamızda "mutfakta yemek hazırlığı sırasında kullanılan araç, gereç, alet vb., temizliğini ne sıklıkla yaparsınız?" sorusuna; "kullanıldıktan hemen sonra sıcak su ve temizlik malzemeleriyle yıkarım" cevabını veren katılımcıların oranı %58,0 olarak belirlenmiştir (Tablo 4). Sneed vd. [35]; ABD'de yürüttükleri çalışmada gıdalarda çapraz kontaminasyona sebep olabilecek, gıda ile temas eden yüzeylerdeki mikrobiyolojik kalitenin tespit edilmesinde yapılan temizlik ve sanitasyonun etkisini incelemiştir. Sonuç olarak, bu yüzeylerin az bir miktarının temizlik ve sanitasyonunun kurallara uygun olduğu, gıdayla temas eden yüzeylerin hijyenine gereken önem verilmediğinde çapraz kontaminasyon

tehlikeli boyutlarda olabileceğini saptamışlardır [35]. Bizim çalışmamızda da katılımcıların bu konuda hassas davranmadıkları görülmüştür.

İnsan vücudunun doğal florasında bulunan bazı patojen mikroorganizmaların gıdayla temas eden yüzeylerle de bulunabileceği ve bir gıdadan diğer bir gıdaya kolaylıkla taşınabileceği göz ardı edilmemelidir. Çiğ gıdayla veya personel sebebiyle bulaşmalara maruz kalabilecek, gıdalarla sürekli temas halinde olan yüzeyler bulunmaktadır. Örneğin, çiğ et gıda kesim tahtasında doğandıktan sonra, salata malzemeleri de aynı tahta üzerinde kesilirse, ilk kullanımda tahtaya kontamine olmuş etteki mikroorganizmaların bir kısmının salataya bulaşması kaçınılmazdır [28].

Bu sebeple gıdalar hazırlanırken çiğ ve pişmiş haldeki ürünler ayrı yerlerde bekletilmelidir. Çiğ ürünleri işlerken tek sefer kullanılıp atılan eldivenler takılmalı, soyulup doğranan ve temiz su ile yıkanan ürünler hızlı bir şekilde pişirme kısmına getirilmelidir. Pişmiş gıdalar kontaminasyona sebep vermemek için çiğ gıdalarla karşılaştırılmamalıdır [8, 35]. Çalışmamızda katılımcıların %90,6'sının kirli ve temiz mutfak ekipmanının aynı ortamda bulunmasının yemek hazırlığı sırasında tehlike oluşturduğunu belirtmesi (Tablo 4) katılımcıların çapraz bulaşma konusunda bilinçli olduğunu göstermiştir.

ABD Hastalık Kontrol ve Önleme Merkezi, kontamine olmuş ekipmanların gıda kaynaklı hastalıklara sebep olma oranını %16 olarak belirtmiştir [6]. Özellikle kesme tahtaları, genel temizlik ve bulaşık yıkama süngerleri, temizlik veya el kurulama bezleri, ellerin veya gıda ürünlerinin yıkandığı lavabolar, çalışma tezgahları gibi ekipmanlar ve yüzeyler mikrobiyal bulaşmanın nedeni olarak görülmektedir [12].

Bu malzemelerin temizliği sıcak su içerisinde uygun temizlik maddesi ve klorlu ağartıcılar eşliğinde uygun periyotlarda gerçekleştirilmeli, sünger, havlu, bez gibi ucuz ve kolay elde edilebilen malzemeler sıklıkla değiştirilmelidir [12]. Kesme tahtaları her kullanımdan sonra önce uygun temizlik maddesi ile temizlenmeli ve sonra klorlu bir ağartıcı içeren suyla dezenfekte edilmelidir. Bunun için bir su bardağı (250 mL) su içerisine iki çay kaşığı kadar çamaşır suyu eklenerek hazırlanan karışım kullanılabilir [36].

Katılımcıların yemeği pişirme ve saklama aşamalarında dikkat edilmesi gereken parametreler konusundaki bilgi düzeylerini belirten dağılım Tablo 5'te sunulmuştur.

**Tablo 5.** Katılımcıların yemeği pişirme ve saklama aşamalarında dikkat edilmesi gereken parametreler konusundaki bilgi düzeylerini belirten dağılım

<b>20. Pişen et, tavuk ya da balığın iç sıcaklığı aşağıdaki şıklardan hangisi olmalıdır?</b>	<b>Sayı</b>	<b>%</b>
a) 35-45 °C	112	18,8
b) 65-75 °C*	269	45,1
c) 45-55 °C	204	34,2
d) Bilmiyorum	11	1,8
<b>Toplam</b>	596	100,0
<b>21. Pişmiş yemekte lezzet kontrolü nasıl yapılmalıdır?</b>		
a) Temiz bir kaşıkla yemekten çok küçük bir miktar direkt ağıza veya bir kaba alınarak tadılır*	466	78,2
b) Yemekten elle bir parça alınıp tadılır	23	3,9
c) Yemeğin tuzu vb., katkılarının konulduğu, karıştırma vb., işlemlerin yapıldığı kaşık veya çatalla tadılmalıdır	101	16,9
d) Bilmiyorum	6	1,0
<b>Toplam</b>	596	100,0
<b>22. Pişen yemek hemen tüketilmeyecekse ne yapılmalıdır?</b>		
a) Hemen üstü kapalı olarak buzdolabına kaldırılmalıdır	102	17,1
b) Ocak ya da fırın üzerinde üstü kapalı olarak soğuduktan sonra buzdolabına kaldırılmalıdır*	465	78,0
c) Servis edilinceye dek mutfakta bekletilmelidir	28	4,7
d) Fikrim yok	1	0,2
<b>Toplam</b>	596	100,0
<b>23. Yeniden ısıtma işlemine tabi tutulacak et ve balık yemekleri en az kaç dereceye kadar ısıtılmalıdır?</b>		
a) 55-65 °C	253	42,4
b) 65-70 °C	198	33,2
c) 70-75 °C*	93	15,6
d) 90-95 °C	44	7,4
e) Bilmiyorum	8	1,3
<b>Toplam</b>	596	100,0

\*Anket sorusunun doğru cevabıdır.

Katılımcıların %18,8'i pişen et, tavuk ya da balığın iç sıcaklığının “35-45 °C”, %34,2'si “45-55 °C” olması gerektiğini, %1,8'i ise bilmediğini ifade etmiştir. Doğru yanıt olan “65-75 °C” yanıtını işaretleyenlerin oranı %45,1 olmuştur (Tablo 5).

Pişmiş yemekte lezzet kontrolünün nasıl yapılması gerektiği sorulduğunda; katılımcıların %78,2'si doğru yanıt olan; temiz bir kaşıkla yemekten çok küçük bir miktar direkt ağıza veya bir kaba alınarak tadılması gerektiğini, %3,9'u yemekten elle bir parça alınıp tadılması gerektiğini, %16,9'u yemeğin tuzu vb. katkılarının konulduğu, karıştırma vb. işlemlerin yapıldığı kaşık veya çatala tadılması gerektiğini, %1,0'i ise karar veremeyerek “bilmiyorum” seçeneğini işaretlemiştir (Tablo 5).

“Pişen yemek hemen tüketilmeyecekse ne yapılmalıdır?” sorusuna ankete katılan katılımcıların %17,1'i “hemen üstü kapalı olarak buzdolabına kaldırılmalıdır”, %4,7'si “servis edilinceye dek mutfakta bekletilmelidir” cevabını verirken; bir kişi fikrinin olmadığını belirtmiştir. Katılımcıların %78,0'i doğru yanıt olan; “ocak ya da fırın üzerinde üstü kapalı olarak soğuduktan sonra buzdolabına kaldırılmalıdır” seçeneğini işaretlemiştir (Tablo 5).

Katılımcıların %42,4'ü yeniden ısıtma işlemine tabi tutulacak et ve balık yemeklerinin en az 55-65 °C'ye kadar, %33,2'si 65-70 °C'ye kadar, %7,4'ü 90-95 °C'ye kadar ısıtılması gerektiğini ifade ederken; %1,3'ü bilmediğini belirtmiştir. Katılımcıların sadece %15,6'sı doğru yanıt olan 70-75 °C'ye kadar ısıtılması gerektiğini işaretlemiştir (Tablo 5).

Katılımcıların yemeği pişirme ve saklama aşamalarında dikkat edilmesi gereken parametreler konusundaki bilgi düzeylerini gösteren kavramlardan; pişen et, tavuk ya da balığın iç sıcaklığının ne kadar olması gerektiği, pişmiş yemekte lezzet kontrolü nasıl yapılması gerektiği, pişen yemek hemen tüketilmeyecekse ne yapılması gerektiği, yeniden ısıtma işlemine tabi tutulacak et ve balık yemekleri en az kaç dereceye kadar ısıtılması gerektiği konularında doğru bilgi ve tutum sahibi olmayan kişi sayısının azımsanmayacak miktarda olduğu görülmüştür (Tablo 5).

ABD Hastalık Kontrol ve Önleme Merkezi, yetersiz pişirmenin gıda kaynaklı hastalıklara sebep olma oranını %11 olarak belirtmiştir [6].

Yapılan bir çalışmada bizim çalışmamızdan farklı olarak; güvenli pişirme uygulaması yapan tüketicilerin oranının oldukça fazla olduğu belirlenmiştir. Ancak pişmiş gıdalara elle dokunma, tekrar ısıtmada gıdanın iç sıcaklığının uygun dereceye kadar yükselmesinin beklenmemesi, pişen gıdanın oda sıcaklığında uzun süre tutulması gibi doğru olmayan uygulamaların bazı tüketiciler tarafından gerçekleştirildiği görülmüştür [37].

Bütün gıda maddeleri kendilerine uygun sıcaklık derecesinde, yeterli süre pişirilmeli ve mümkün olan en kısa zaman içerisinde yenmelidir. Bu yüzden gıdaların en iyi şekilde pişebileceği minimum iç sıcaklık dereceleri öğrenilmeli ve uygulanmalıdır [6, 8]. Fischer vd. [38] gıda kaynaklı hastalıkların bertaraf edilmesinde uygun sıcaklık derecesinde pişirme ve çapraz bulaşmaya dikkat edilmesi konusunda tüketicilerin çoğunun bilgi sahibi olduğunu belirlemiştir. Fakat sahip olunan bilginin doğru uygulama için yeterli olmadığı, uygulamaların doğru şekilde yapılarak davranış haline dönüştürülmesinde daha çok alışkanlıkların ön plana çıktığı görülmüştür [38].

Katılımcıların bazı sorulara verdikleri cevapların eğitim durumuna göre dağılımları ( $p<0,05$ ) Tablo 6'da sunulmuştur.

Katılımcıların “hijyen nedir?” sorusuna verdikleri cevaplar ile eğitim durumları arasındaki farkın anlamlı ( $p=0,038$ ,  $\chi^2=8,397$ ) olduğu tespit edilmiştir. İlköğretim mezunu katılımcıların %91,5'i, lise mezunu katılımcıların %82,5'i, lisans mezunu katılımcıların %90,3'ü, lisansüstü mezunu katılımcıların %95,1'i hijyenin hem görünen kirlerin uzaklaştırılması (temizlik) hem de görünmeyen kirin uzaklaştırılması (dezenfekte etmek) olduğunu belirtmiştir (Tablo 6).

Katılımcıların “hangisi gıda zehirlenmelerine sebep olur?” sorusuna verdikleri yanıtlar ile eğitim durumları arasındaki farkın anlamlı ( $p=0,001$ ,  $\chi^2=16,722$ ) olduğu belirlenmiştir. İlköğretim mezunu katılımcıların sadece %21,3'ü, lise mezunu katılımcıların ise %54,0'ü, doğru olan, gıda zehirlenmelerine patojen (hastalık yapıcı) bakterilerin sebep olduğu yanıtını işaretlemiştir (Tablo 6).

Katılımcıların “mutfakta mikroorganizmaların yayılmasında hangisi etkili olur?” sorusuna verdikleri cevaplar ile eğitim durumları arasındaki farkın anlamlı ( $p=0,005$ ,  $\chi^2=12,648$ ) olduğu bulunmuştur. Bu soruya doğru yanıt olan “hepsi” cevabını veren katılımcıların dağılımının lisansüstü mezunlarında %92,7, lisans mezunlarında %78,7, lise mezunlarında %72,3 iken; ilköğretim mezunlarında %63,8 olduğu saptanmıştır (Tablo 6).



**Tablo 6.** Katılımcıların bazı sorulara verdikleri cevapların eğitim durumuna göre dağılımları ( $p<0,05$ )

Soru	Yanıt	İlköğretim (sayı=47)		Lise (sayı=137)		Lisans (sayı=371)		Lisansüstü (sayı=41)		$p, \chi^2$
		sayı	%	sayı	%	sayı	%	sayı	%	
1. Hijyen nedir?	Doğru	43	91,5	113	82,5	335	90,3	39	95,1	0,038, 8,397
	Yanlış	4	8,5	24	17,5	36	9,7	2	4,9	
2. Hangisi gıda zehirlenmelerine sebep olur?	Doğru	10	21,3	74	54,0	157	42,3	21	51,2	0,001, 16,722
	Yanlış	37	78,7	63	46,0	214	57,7	20	48,8	
3. Mutfakta mikroorganizmaların yayılmasında hangisi etkili olur?	Doğru	30	63,8	99	72,3	292	78,7	38	92,7	0,005, 12,648
	Yanlış	17	36,2	38	27,7	79	21,3	3	7,3	
13. Yıkanmış ellerin kurulanmasında aşağıdakilerden hangisini tercih edersiniz?	Doğru	27	57,4	85	62,0	253	68,2	35	85,4	0,019, 9,970
	Yanlış	20	42,6	52	38,0	118	31,8	6	14,6	
14. Mutfakta yemek hazırlığı ve pişirmesi sırasında aşağıdakilerden hangilerini kullanırız?	Doğru	26	55,3	73	53,3	96	25,9	14	34,1	0,000, 42,213
	Yanlış	21	44,7	64	46,7	275	74,1	27	65,9	
20. Pişen et, tavuk ya da balığın iç sıcaklığı aşağıdaki şıklardan hangisi olmalıdır?	Doğru	23	48,9	59	43,1	161	43,4	26	63,4	0,090, 6,496
	Yanlış	24	51,1	78	56,9	210	56,6	15	36,6	

Katılımcıların “yıkanmış ellerin kurulanmasında aşağıdakilerden hangisini tercih edersiniz?” sorusuna verdikleri yanıtlar ile eğitim durumları arasındaki fark anlamlı ( $p=0,019, \chi^2=9,970$ ) bulunmuştur. İlköğretim mezunlarının %57,41’ü, lise mezunlarının %62,0’si, lisans mezunlarının %68,2’si, lisansüstü mezunlarının %85,4’ü, doğru yanıt olan “kağıt havlu” seçeneğini işaretlemiştir (Tablo 6).

Katılımcıların “mutfakta yemek hazırlığı ve pişirmesi sırasında aşağıdakilerden hangilerini kullanırız?” sorusuna verdikleri yanıtlar ile eğitim durumları arasındaki farkın anlamlı ( $p=0,000, \chi^2=42,213$ ) olduğu belirlenmiştir. İlköğretim mezunlarının %55,3’ü ve lise mezunlarının %53,3’ü yemek hazırlığı ve pişirmesi sırasında mutfak önlüğü, eldiven ve bone ya da tülbinden hepsini kullandığını ifade etmiştir (Tablo 6).

Katılımcıların “pişen et, tavuk ya da balığın iç sıcaklığı aşağıdaki şıklardan hangisi olmalıdır?” sorusuna verdikleri cevaplar ile eğitim durumları arasındaki farkın anlamlı ( $p=0,090, \chi^2=6,496$ ) olduğu görülmüştür. İlköğretim mezunlarının %48,9’u, lise mezunlarının %43,1’i, lisans mezunlarının %43,4’ü, lisansüstü mezunlarının %63,4’ü, “65-75 °C” olması gerektiğini belirtmiştir (Tablo 6).

Bireylerin eğitim seviyesi arttıkça gıda güvenliği ve hijyen konularındaki bilgi ve tutumlarının daha doğru olması gerektiğini beklediğimiz çalışmamızda; bunun için eğitim seviyesinin yükselmesinin yetmediği, gıda güvenliği ve hijyen konularıyla ilgili eğitimlerin ayrıca alınması ve sürekliliğinin sağlanmasının ve öğrenilen doğru bilgilerin uygulanarak alışkanlık haline getirilmesinin gerektiği anlaşılmıştır.

Nitekim, Kutluay Merdol vd. [3] kurum mutfağında görev yapan çalışanların hijyen bilgi düzeyi, tutum ve davranışları üzerinde verilen hijyen eğitiminin etkisini değerlendirmek amacıyla yürüttükleri araştırmalarında; eğitim öncesi ve eğitim sonrasındaki hijyen bilgi puanları arasında anlamlı fark ( $p<0,05$ ) olduğunu belirlemişlerdir. Worsfold ve Griffith [39] orta ve küçük ölçekli olarak faaliyet gösteren 66 gıda işletmesinde sorumlu yönetici olarak görev yapan katılımcılar arasında yüksek düzeyde hijyen bilgisine sahip olanların oranının %22 olduğunu saptamıştır. Clayton [40], gıdayla ilgili çeşitli yerlerde çalışan 137 kişiden %95'inin daha önce gıda hijyeni eğitimi aldıklarını, ancak %63'ünün ilgili soruların doğru yanıtlarını bazen bildiklerini, çoğunlukla uygulamadıklarını belirlemiş, bunun sebebi olarak da zamanın kısıtlı olması, personelin ve gerekli kaynağın yetersiz oluşunun öne sürüldüğünü görmüştür.

Katılımcıların bazı sorulara verdikleri cevapların cinsiyete göre dağılımları Tablo 7'de sunulmuştur.

Soru	Yanıt	Kadın (sayı=362)		Erkek (sayı=234)		p, $\chi^2$
		sayı	%	sayı	%	
7. Paketli halde satılan donmuş et ürünü (kırmızı et, tavuk, balık, karides veya kalamar) alırken en çok nelere dikkat edilmelidir?	Doğru	288	79,6	186	79,5	0,342, 3,342
	Yanlış	74	20,4	48	20,5	
8. Donmuş et ürünü (kırmızı et, tavuk, balık, karides veya kalamar) temin edildiyse pişirmeden önce nasıl çözülmesini sağlarsınız?	Doğru	117	32,3	71	30,3	0,526, 2,229
	Yanlış	245	67,7	163	69,7	
9. Pişirmek üzere aldığımız donmuş et ürününü (kırmızı et, tavuk, balık, karides veya kalamarı) çözdürdünüz, ancak pişiremediniz, tekrar dondurur musunuz?	Doğru	310	85,6	186	79,5	0,039, 4,245
	Yanlış	52	14,4	48	20,5	
11. Yemek hazırlığına başlamadan hemen önce elleri yıkamak neden önemlidir?	Doğru	286	79,0	163	69,7	0,018, 10,114
	Yanlış	76	21,0	71	30,3	
12. Hangisi el yıkama işleminde kullanılan malzemedir?	Doğru	181	50,0	111	47,4	0,165, 5,091
	Yanlış	181	50,0	123	52,6	
13. Yıkanmış ellerin kurulanmasında aşağıdakilerden hangisini tercih edersiniz?	Doğru	243	67,1	158	67,5	0,317, 2,297
	Yanlış	119	32,9	76	32,5	
14. Mutfakta yemek hazırlığı ve pişirmesi sırasında aşağıdakilerden hangilerini kullanırsınız?	Doğru	125	34,5	86	36,8	0,009, 13,522
	Yanlış	237	65,5	148	63,2	
16. Mutfakta yemek hazırlığı sırasında kullanılan araç, gereç, alet vb., temizliğini ne sıklıkla yaparsınız?	Doğru	230	63,5	114	48,7	0,000, 22,847
	Yanlış	132	36,5	120	51,3	
20. Pişen et, tavuk ya da balığın iç sıcaklığı aşağıdaki sıklardan hangisi olmalıdır?	Doğru	152	42,0	118	50,4	0,034, 8,702
	Yanlış	210	58,0	116	49,6	
21. Pişmiş yemekte lezzet kontrolü nasıl yapılmalıdır?	Doğru	284	78,5	181	77,4	0,183, 4,848
	Yanlış	78	21,5	53	22,6	
23. Yeniden ısıtma işlemine tabi tutulacak et ve balık yemekleri en az kaç dereceye kadar ısıtılmalıdır?	Doğru	56	15,5	37	15,8	0,016, 12,180
	Yanlış	306	84,5	197	84,2	

Tablo 7. Katılımcıların bazı sorulara verdikleri yanıtların cinsiyete göre dağılımları

Cinsiyet ile “paketli halde satılan donmuş et ürünü (kırmızı et, tavuk, balık, karides veya kalamar) alırken en çok nelere dikkat edilmelidir?” sorusuna verilen yanıtlar arasındaki farkın anlamlı olmadığı ( $p=0,342$ ,  $\chi^2=3,342$ ) bulunmuştur. Kadınların %79,6'sı, erkeklerin %79,5'i donmuş et ürünü

(kırmızı et, tavuk, balık, karides veya kalamar) alırken; paketin sağlamlığı, son kullanma tarihi ve ürünün görüntüsü parametrelerinden hepsine baktığını söylemiştir (Tablo 7).

Karakuş ve Küçükkömürler [12] tarafından gıda satın alırken her zaman/genelde son kullanma tarihine bakan kadınların oranının %85,3 olarak tespit edilmesi bizim çalışmamızla benzerdir.

Cinsiyet ile “donmuş et ürünü (kırmızı et, tavuk, balık, karides veya kalamar) temin edildiyse pişirmeden önce nasıl çözülmesini sağlarsınız?” sorusuna verilen yanıtlar arasındaki farkın anlamlı olmadığı ( $p=0,526$ ,  $\chi^2=2,229$ ) belirlenmiştir. Kadınların %32,3’sı, erkeklerin %30,3’ü donmuş eti “buzdolabında bekleterek” çözdürdüğünü ifade etmiştir (Tablo 7).

Koçak [15] tarafından donmuş etleri dolapta alt rafa indirerek çözdüren kadınların oranının %29,0, donmuş etleri dışarıda bekleterek çözdüren kadınların oranının ise %44,7 olarak saptanması bizim çalışmamızla benzerdir.

Talas vd. [16]’nin çalışmasında, donmuş etleri tezgah üstünde çözdüren kadınların oranının %39,6, donmuş etleri buzdolabında çözdüren kadınların oranının %40,4 olduğunun bulunması bizim çalışmamızla uyuşmamaktadır.

Cinsiyet ile “pişirmek üzere aldığınız donmuş et ürünü (kırmızı et, tavuk, balık, karides veya kalamar) çözdürdünüz, ancak pişiremediniz, tekrar dondurur musunuz?” sorusuna verilen yanıtlar arasındaki farkın anlamlı ( $p=0,039$ ,  $\chi^2=4,245$ ) olduğu saptanmıştır. Kadınların %85,6’sı, erkeklerin %79,5’i doğru yanıt olan “hayır” seçeneğini işaretlemiştir ( $p>0,05$ ) (Tablo 7).

Karakuş ve Küçükkömürler [12]’in çalışmasında, çözdürülmüş etleri tekrar dondurucuya koyarak dondurmadıklarını ifade eden kadınlarının oranının %77,3 olması bizim çalışmamızla uyuşmaktadır.

Cinsiyet ile “yemek hazırlığına başlamadan hemen önce elleri yıkamak neden önemlidir?” sorusuna verilen yanıtlar arasındaki farkın anlamlı ( $p=0,018$ ,  $\chi^2=10,114$ ) olduğu bulunmuştur. Kadınların %79,0, erkeklerin %69,7’si doğru yanıt olan “ellerdeki mikroorganizmaların gıdalara bulaşmaması için” yanıtını işaretlemiştir (Tablo 7).

Cinsiyet ile “hangisi el yıkama işleminde kullanılan malzemedir?” sorusuna verilen yanıtlar arasındaki farkın anlamlı olmadığı ( $p=0,165$ ,  $\chi^2=5,091$ ) tespit edilmiştir. Kadınların %50,0’ı, erkeklerin %47,4’ü doğru yanıt olan hepsi (tırnak fırçası, sıcak su, dezenfektanlı el jeli) yanıtını vermiştir ( $p<0,05$ ) (Tablo 7).

Karakuş ve Küçükkömürler [12]’in çalışmasında; yiyecek hazırlamadan önce ellerini mutlaka sıcak sabunlu su ile ovarak yıkayan kadınların oranı %85,7 ve yiyecek hazırlama esnasında da ellerini sık sık sabunla yıkadığını belirten kadınların oranı %84,7 olarak belirlenmiştir.

Cinsiyet ile “yıkamış ellerin kurulanmasında aşağıdakilerden hangisini tercih edersiniz?” sorusuna verilen yanıtlar arasındaki farkın anlamlı olmadığı ( $p=0,317$ ,  $\chi^2=2,297$ ) bulunmuştur. Kadınların %67,1’i, erkeklerin %67,5’i doğru yanıt olan “kağıt havlu” seçeneğini işaretlemiştir (Tablo 7).

Karakuş ve Küçükkömürler [12]’in çalışmasında kadınların %74,0’ünün mutfakta genellikle kağıt havlu kullanmayı tercih ettiğini belirtmesi bizim çalışmamızla uyuşmaktadır.

Cinsiyet ile “mutfakta yemek hazırlığı ve pişirmesi sırasında aşağıdakilerden hangilerini kullanırsınız?” sorusuna verilen yanıtlar arasındaki farkın anlamlı ( $p=0,009$ ,  $\chi^2=13,522$ ) olduğu saptanmıştır. Kadınların %34,5’i, erkeklerin %36,8’i doğru yanıt olan “hepsi (mutfak önlüğü, eldiven, bone ya da tülbent)” yanıtını vermiştir (Tablo 7).

Karakuş ve Küçükkömürler [12]’in çalışmasında kadınların %79,3’ü “mutfakta çalışırken saçlarımı toplar ya da bir bone vb. ile kapatırım” ifadesine katılmış, %77,3’ü gıda hazırlarken mutfak önlüğü kullandığını belirtmiştir.

Talas vd. [16]’nin çalışmasında her zaman önlük takan kadınların oranı %36,4, bazen önlük taktığını belirten kadınların oranı %38,8 olarak tespit edilmiştir.

Cinsiyet ile “mutfakta yemek hazırlığı sırasında kullanılan araç, gereç, alet vb. temizliğini ne sıklıkla yaparsınız?” sorusuna verilen cevaplar arasındaki farkın anlamlı ( $p=0,000$ ,  $\chi^2=22,847$ ) olduğu görülmüştür. Kadınların %63,5’i bu sorunun doğru cevabı olan; “mutfakta yemek hazırlığı sırasında kullandıkları araç ve gereçleri kullandıktan hemen sonra sıcak su ve temizlik malzemeleriyle yıkarım” seçeneğini işaretlerken; erkeklerin sadece %48,7’sinin bu seçeneği işaretlediği bulunmuştur (Tablo 7).

Cinsiyet ile “pişen et, tavuk ya da balığın iç sıcaklığı aşağıdaki şıklardan hangisi olmalıdır?” sorusuna verilen cevaplar arasındaki farkın anlamlı ( $p=0,034$ ,  $\chi^2=8,702$ ) olduğu görülmüştür. Kadınların %42,0’ı, erkeklerin %50,4’ü doğru yanıt olan “65-75 °C” yanıtını işaretlemiştir (Tablo 7).

Cinsiyet ile “pişmiş yemekte lezzet kontrolü nasıl yapılmalıdır?” sorusuna verilen cevaplar arasındaki farkın anlamlı olmadığı ( $p=0,183$ ,  $\chi^2=4,848$ ) belirlenmiştir. Kadınların %78,5’i, erkeklerin %77,4’ü doğru olan “temiz bir kaşıkla yemekten çok küçük bir miktar direkt ağıza veya bir kaba alınarak tadılır” yanıtını işaretlemiştir (Tablo 7).

Karakuş ve Küçükkömürler [12]’in çalışmasında; kadınların %84,3’ünün yemeklerin tadına ayrı bir kaşıkla baktığını ifade etmesi bizim çalışmamızla uyumaktadır.

Cinsiyet ile “yeniden ısıtma işlemine tabi tutulacak et ve balık yemekleri en az kaç dereceye kadar ısıtılmalıdır?” sorusuna verilen cevaplar arasındaki farkın anlamlı ( $p=0,016$ ,  $\chi^2=12,180$ ) olduğu saptanmıştır. Ancak, kadınların %15,5’i, erkeklerin %15,8’i doğru yanıt olan “70-75 °C” seçeneğini işaretlemiştir (Tablo 7).

Karakuş ve Küçükkömürler [12]’in çalışmasında ise; kadınların %77,3’ü pişmiş yemekleri ısıtırken kaynamasını beklediklerini ifade etmiştir.

#### 4. Sonuç ve Öneriler

Gıda güvenliği ve hijyen ile ilgili olarak en önemli olduğuna düşündüğümüz bilgi ve uygulamalar konusunda doğru bilgi ve alışkanlık sahibi olmanın eğitim seviyesinin artmasıyla doğru orantılı olmadığı gözlemlenmiştir. Lisansüstü mezunu katılımcıların düşünüldüğü gibi her soruya doğru cevabı vermediği, içlerinde yanlış bilgilere sahip katılımcıların da olduğu görülmüştür. Benzer şekilde; herkes tarafından doğru yanıtlanan sorularda ilköğretim mezunu katılımcıların çoğunun cevabı doğru olmuştur.

Cinsiyet ile çoğu soruya verilen yanıtlar arasındaki farkın anlamlı olmadığı ve istatistiksel olarak anlamlı fark bulunan soruların yanıtlarının dağılımında kadın ve erkeklerin yüzdelik oranlarının oldukça yakın olduğu ve bazı sorulara her iki cinsin de yanlış cevap verdiği saptanmıştır. Bu sebeple, kadınların ve erkeklerin gıda güvenliği ve hijyen ile ilgili bilgi ve tutumlarının genel anlamda benzer olduğu, ancak el yıkamanın önemi ve ekipman temizliği konularına kadınların daha hassasiyet gösterdiği anlaşılmıştır.

Anketlerin değerlendirilmesine göre; gıda güvenliği ve hijyen ile bilgilerin ilk öğrenildiği yerin çok önemli olduğu, daha sonra alışkanlık haline dönüştürülen yanlış bilgi ve uygulamaların değiştirilmesinin çok zor olduğu aşikardır.

Sağlıklı gıda tüketimi için vazgeçilmez olan gıda güvenliği, gıda hijyeni, el ve mutfak hijyeni konularına eğitim sisteminin her aşamasında yer verilmesinin dışında, eğitimini tamamlamış kişiler için bilgilendirici broşürler, afişler ve tanıtım filmleri toplumun bilgi seviyesini yükseltecek ve önemli bir önleyici faaliyet olarak karşımıza çıkacaktır. Doğru bilgi, doğru uygulama ancak eğitim ile mümkün olabilmektedir.

#### Kaynaklar

- [1] Kayaardı S. 2012. *Gıda Hijyeni ve Sanitasyon*, Sidas, 252s. İzmir.
- [2] Göktan D., Tunçel G. 2016. *Temel Gıda Hijyeni*, Sidas, 210s. İzmir.
- [3] Kutluay Merdol T., Beyhan Y., Çiğirim N., Sağlam F., Tayfur M., Baş M., Dağ A. 2003. *Toplu Beslenme Yapılan Kurumlarda Çalışan Personel İçin Sanitasyon/Hijyen Rehberi*, Hatipoğlu Yayınları, 142s. Ankara.
- [4] Tayar M., Kılıç V. 2014. *Gıda Endüstrisinde Hijyen ve Sanitasyon*, Dora Yayıncılık, 556s. Bursa.
- [5] Askarian M., Kabir G., Aminbaig M., Memish Z., Jafari P. 2004. Knowledge, attitudes, and practices of food service staff regarding food hygiene in Shiraz, Iran, *Infection Control Hospital Epidemiology*, 25: 16-20.
- [6] McSwane D., Rue N.R., Linton R. 2005. *Essentials of Food Safety and Sanitation*, 5th ed, Pearson Prentice Hall, p.440. New Jersey.
- [7] Koçoğlu G., Sümer H., Nur N., Polat H. 2002. Gıda maddesi üreten ve satan yerlerde çalışanların sanitasyon konusunda bilgi düzeyleri, Ulusal Halk Sağlığı Kongresi, Üçüncü Bölüm: Çevre Sağlığı, 23-28 Eylül, Bildiri Kitabı, 392s. Diyarbakır.
- [8] Uzunöz M., Büyükbay E.O., Bal H.S.G. 2008. Kırsal kadınların gıda güvenliği konusunda bilinç düzeyleri (Tokat ili örneği), *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 22 (2): 35-46.
- [9] Şanlıer N., Cömert M., Durlu-Özkaya F. 2010. Hygiene perception: condition of hotel kitchen staffs in Ankara, Turkey, *Journal of Food Safety*, 30 (2): 415-431.

- [10] Ünüsan N. 2007. Consumer food safety knowledge and practices in the home in Turkey, *Food Control*, 18 (1): 45-51.
- [11] Memiş Kocaman E., Şanlıer N. 2014. Öğretmenlerin gıda güvenliği bilgi düzeylerinin tutumlarına etkisi, *TAF Preventive Medicine Bulletin*, 13 (2): 151-160.
- [12] Karakuş S.Ş., Küçükkömürlü S. 2012. Kadınların gıda güvenliğine yönelik uygulamaları, *TAF Preventive Medicine Bulletin*, 11 (6): 651-660.
- [13] Sağlam F., Gümüş A., Dokcan B. 1999. Tüketicilerin gıda satın alımına ilişkin bilgi, tutum ve davranışları, *Beslenme ve Diyet Dergisi*, 28 (1): 39-46.
- [14] Lynch R.A., Elledge B.L., Charles P.H., Griffith C.C., Boatright D.T. 2003. A comparison of food safety knowledge among restaurant managers, by source of training and experience, in Oklahoma Country, *Journal of Environmental Health*, 66 (2): 9-14.
- [15] Koçak H. 2005. Amasya ili merkez ilçesi ve köylerinde yiyecek hazırlama, pişirme ve saklama uygulamaları, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ev Ekonomisi (Beslenme Bilimleri) Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 134s, Ankara.
- [16] Talas C., Uçar A., Özçelik Ö.A. 2009. Women food safety practices from shopping to eating in Ankara, Turkey, *Pakistan Journal of Nutrition*, 8 (9): 1422-1429.
- [17] Demirci A., Ersoy A.F. 2011. Gıda reyonunda çalışan personelin kişisel hijyen kurallarına dikkat etme durumları, *NWSA Academy Journal*, 6 (2): 2C0035.
- [18] Pragle A., Harding A., Mack C. 2007. Food workers perspectives on hand washing behaviors and barriers in the restaurant environment, *Journal of Environmental Health*, 69: 27-32.
- [19] Enç N., Atabek T., Acaroğlu R. 1994. Üniversite öğrencilerinin el yıkama alışkanlıkları ile ilgili bilgi düzeylerinin karşılaştırılması, *Hemşirelik Bülteni*, 8: 33.
- [20] Çıkmaz N. 1997. Ankara Üniversitesi Tıp Fakültesi hastaneleri ve dekanlık mutfak, yemekhane çalışanlarının gıda hijyeni ile ilgili bilgi ve uygulamaları, Ankara Üniversitesi Tıp Fakültesi, Yüksek Lisans Tezi, 96 s, Ankara.
- [21] Clayton D., Griffith C. 2004. Observation of food safety practices in catering using notational analysis, *British Food Journal*, 106 (3): 211-227.
- [22] Elmacıoğlu F. 1998. Samsun ili öğrenci yurtlarının mutfaklarında hijyen durumunun değerlendirilmesi, 1. Ulusal Kurum Ev İdaresi Kongresi, s. 363-370, 21-23 Ekim, Ankara.
- [23] Green L., Radke V., Mason R., Bushnell L., Reimann D., Mack J., Motsinger M., Stigger T., Selman C. 2007. Factors related to food worker hand hygiene practices, *Journal of Food Protection*, 70 (3): 661-666.
- [24] Ural D. 2007. Konaklama işletmelerinde çalışan personelin kişisel hijyen bilgileri ve uygulamaları üzerine bir araştırma, Gazi Üniversitesi, Eğitim Bilimleri Enstitüsü, Aile Ekonomisi ve Beslenme Eğitimi Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 96 s, Ankara.
- [25] Alterkruse S.F., Street D.A., Fein S.B., Levy A.S. 1996. Consumer knowledge of foodborne microbial hazards and food-handling practices, *Journal of Food Protection*, 59 (3): 287-294.
- [26] McSwane D.Z., Linton R., Rue N.R. 2007. *Retail Best Practices and Guide to Safety Food and Sanitation*, 2th ed., Prentice Hall, p.386. Washington.
- [27] Şimşek I., Baykara T. 1986. İlaç imalatında personel hijyeni, *Türk Hijyen ve Deneysel Biyoloji Dergisi*, 43 (2): 103-112.
- [28] Bilici S. 2008. *Toplu Beslenme Sistemleri Çalışanları İçin Hijyen El Kitabı*, Sağlık Bakanlığı Temel Sağlık Hizmetleri Genel Müdürlüğü, 48s. Ankara.
- [29] Cığırım N., Beyhan Y. 1994. *Toplu Beslenme Sistemlerinde Hijyen*, 1. Baskı, Kök Yayıncılık, Ankara.
- [30] Scott E., Bloomfield S.F. 1990. The survival and transfer of microbial contamination via cloths, hands and utensils, *Journal of Applied Microbiology*, 68 (3): 271-278.
- [31] Byrd-Bredbenner C., Moe G., Beshgetoor D., Berning J. 2012. *Wardlaw's Perspectives in Nutrition*, 9th ed., Mc Graw Hill Education, p.976. Boston.
- [32] Bilici S., Uyar M.F., Beyhan Y., Sağlam F. 2008. *Besin Güvenliği, Beslenme Bilgi Serisi*, 1. Baskı, Ankara: Sağlık Bakanlığı Yayınları, 347-356.
- [33] De Jong A.E., Verhoeff-Bakkenes L., Nauta M.J., de Jonge R. 2008. Cross contamination in the kitchen: effect of hygiene measures, *Journal of Applied Microbiology*, 105 (2): 615-624.

- [34] Howes M., McEwen S., Griffiths M., Haris L. 1996. Food handler certification by home study: measuring changes in knowledge and behaviour, *Dairy, Food and Environmental Sanitation*, 16: 737-744.
- [35] Sneed J., Strohbehn C., Gilmore S.A., Mendonca A. 2004. Microbiological evaluation of food service contact surfaces in Iowa assisted-living facilities, *Journal of Food Protection*, 1722: 4.
- [36] Duyff R.L. 1998. *The American Dietetic Association Complete Food & Nutrition Guide*, 4th ed., Chronimed Publishing, p.673. New York.
- [37] Worsfold D., Griffith C.J. 1997. Assessment of the standard of consumer food safety behavior, *Journal of Food Protection*, 60 (4): 399-406.
- [38] Fischer A.R.H., de Jong A.E., van Asselt E.D., de Jonge R., Frewer L.J., Nauta M.J. 2007. Food safety in the domestic environment: an interdisciplinary investigation of microbial hazards during food preparation, *Risk Analysis*, 27 (4): 1065-1082.
- [39] Worsfold D., Griffith C.J. 2003. A survey of food hygiene and safety training in the retail and catering industry, *Nutrition & Food Science*, 33 (2): 68-79.
- [40] Clayton D.A. 2002. Food handlers' beliefs and self-reported practices, *International Journal of Environmental Health Research*, 12 (1): 25-39.

---

*Araştırma Makalesi / Research Article*

---

## **Bafa Gölü Sularında Element Konsantrasyonlarının Belirlenmesi ve Su Kalitesi Açısından Değerlendirilmesi**

Melik KARA\*

*Dokuz Eylül Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Tınaztepe Kampüsü, Buca, İzmir*

---

### **Öz**

Türkiye'nin güneybatısında yer alan büyük göllerimizden biri konumundaki Bafa Gölünden Nisan 2018 döneminde 10 noktadan yüzeysel su örnekleri toplanmıştır. Toplanan örneklerde ICP-MS (Endüktif Eşleşmiş Plazma – Kütle Spektrometresi) cihazı kullanılarak ağır metal ve eser element ölçümleri yapılmıştır. Ölçüm sonucunda elde edilen değerler farklı kategorilerdeki su kalitesi sınıflama ve sınır değerleri ile karşılaştırılarak göl suyu kalitesi incelenmiştir. Doğal kaynaklı elementlerden Na, Mg, K ve Ca değerleri sırasıyla en yüksek konsantrasyonlarda ölçülürken, toksik ya da tehlikeli olabilen ağır metallerden As ve Zn sırasıyla 15,3 ve 51,2 µg/L olarak ölçülmüştür. Element konsantrasyonlarının istatistiksel dağılım parametrelerinden çarpıklık ve basıklık, Sn, P, Ni, Pb, As, Cd, Tl, Co, Mo ve Cu elementlerinin antropojenik kaynaklı olabileceğini göstermiştir. Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği ve Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği kapsamında verilen sınıflama ölçütleri dikkate alındığında göl suyunun Na ve P parametreleri dışında 1. Sınıf sular kapsamına dâhil olduğu görülmektedir. Ayrıca hayvansal ve tarımsal amaçlı kullanılan suların taşınması gereken kalite ölçütleri ile de karşılaştırılan değerler uygun bulunmuştur.

**Anahtar kelimeler:** Bafa Gölü, Ağır Metaller ve Eser Elementler, Su Kalitesi, Yasal Düzenlemeler.

---

## **The Determination of Elements Concentrations in the Bafa Lake and the Evaluation of Water Quality**

### **Abstract**

Surface water samples were collected from 10 sites in April 2018 from Bafa Lake, which is one of our large lakes in southwest Turkey. Samples were analyzed for heavy metals and trace elements using ICP-MS (Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry). Lake water quality was examined by comparing the water quality classification and limit values in different regulations. While the natural origin elements Na, Mg, K and Ca were measured at the highest concentrations, As and Zn which may be toxic or hazardous were measured as 15,3 and 51,2 µg/L, respectively. When the skewness and kurtosis parameters of the element concentrations were investigated, it was found that the elements of Sn, P, Ni, Pb, As, Cd, Tl, Co, Mo and Cu were likely to reach from anthropogenic sources to the lake. Considering the classification criteria under Water Pollution Control Regulation and Surface Water Quality Regulation, the lake water is included in the 1<sup>st</sup> class waters except Na and P parameters. In addition, the water quality was also found to be appropriate in terms of quality criteria for water used for livestock and agricultural purposes.

**Keywords:** Bafa Lake, Heavy Metals and Trace Elements, Water Quality, Legal Regulations.

---

### **1. Giriş**

Sucul ortamlarda ağır metaller ve eser elementler çevresel ortamlardaki kalıcılıkları, biyojeokimyasal geri dönüşümleri ve ekolojik etkileri nedeniyle ölçülmesi ve izlenmesi gereken parametrelerdir. Yüzeysel sularda ve sediment tabakasındaki As, Cd, Cr, Hg, Se, Pb, Ni gibi bazı elementler çok düşük konsantrasyonlarda bile toksik etkilere sahip olabilmekte ve ekosistem için potansiyel bir tehdit oluşturabilmektedir [1, 2]. Ayrıca, bu elementler kolayca besin zincirine katılarak doğada bulunan

---

\*Sorumlu yazar: [melik.kara@deu.edu.tr](mailto:melik.kara@deu.edu.tr)

Geliş Tarihi: 12.10.2018, Kabul Tarihi: 05.01.2019

canlıların bünyelerinde birikmeleri nedeniyle diğer kimyasal kirleticiler içerisinde ilk sıralarda yer almaktadır [3].

Ağır metaller ve eser elementler, doğal süreçler ve antropojenik aktiviteler ile sucul ekosistemlere ulaşarak hem su hem de sediment tabakasında bulunabilmektedirler. Yüzeysel akış, arıtılmadan sucul ortama verilen atık sular ve atmosferik çökeltme, elementel kirliliğin başlıca antropojenik kaynaklarıdır [4-6]. Doğal kaynakları ise su tabanındaki ve çevresindeki kabuksal kayalarla suyun fiziksel ve kimyasal etkileşmesinden kaynaklanan girdiler oluşturmaktadır [7-10]. Su ortamında çözünmüş elementlerin çökelmiş parçacıklara sorpsiyonu veya organizmaların bünyesine girmesi ile biyolojik fazlara katılarak sediment tabakasına aktarılması söz konusudur. Sediment tabakasında biriken bu elementler farklı kimyasal mekanizmalar ile yeniden su sütununa karışarak su içindeki içsel geri dönüşümünü tekrar etmektedir [10, 11].

Su kalitesi, belirli bir su örneğinde bulunan ve kimyasal bileşimini oluşturan maddelerin miktarını ve etkilerini ifade etmektedir. Nehirler ve göller gibi sucul ortamlar doğrudan ya da dolaylı olarak insan refahına ve sucul canlı yaşamına katkıda bulunmaktadır [12]. Ülkemizde yerüstü suları ile kıyı ve geçiş sularının biyolojik, kimyasal, fiziko-kimyasal ve hidromorfolojik kalitelerinin belirlenmesi, sınıflandırılması, su kalitesinin ve miktarının izlenmesi, bu suların kullanım maksatlarının sürdürülebilir kalkınma hedefleriyle uyumlu bir şekilde korunması için alınacak tedbirler ve uygulamalar yönetmelikler ile belirlenmektedir [13]. Bununla beraber ülkemizdeki mevcut yüzeysel su kaynaklarının ekolojik ve kimyasal durumlarıyla ilgili yeterli veri halen birçok bölge için eksik kalmaktadır. Su kaynaklarının sürdürülebilir bir şekilde yönetilmesi için su kalitesinin çok iyi belirlenip takip edilmesi gerekmektedir.

Ege Bölgesinde yer alan Bafa Gölü ekolojik özellikleri, kuş türleri ve kültürel yapısıyla önemli bir doğal kaynak gölüdür. Son yıllarda bölgedeki hızlı nüfus artışına bağlı olarak Büyük Menderes Nehri'nde meydana gelen kalite ve miktar değişimlerinden olumsuz yönde etkilenmektedir. Gölün zaman içerisinde büyük ölçüde değişmiş olmasının yanı sıra su kalitesi de zayıf olarak sınıflandırılmaktadır [14]. Bafa Gölü için önemli kirlilik kaynakları olarak bazı unsurlar ortaya çıkmaktadır. Gölü besleyen ve yüksek miktarda kirletici madde içeren Büyük Menderes Nehri bunların başında yer almaktadır [15]. Diğer bir unsur, göl çevresinde kurulan ve kanalizasyon alt yapıları olmayan yerleşimlerden (Kapıkırı, Gölyaka, Serçin vb.) gelen evsel atık sulardır. Göl civarındaki düzlüklerde gerçekleştirilen tarımsal ve hayvancılık faaliyetlerinin ve göl kıyısında bulunan balık yetiştirme çiftliklerinin de göl suyu kalitesi üzerinde olumsuz etkisi bulunmaktadır. Su kalitesini etkileyen diğer bir kaynak ise, özellikle alanın güneydoğusunda yoğunluk kazanmış olan zeytin işleme tesislerinden gelen atık sulardır. Gölün çevresinden geçen, yaz aylarında daha da yoğun olan karayolu araç trafiğine ek olarak yol üzerinde bulunan küçük tesis ve işletmeler de gölün kirlenmesine sebep olmaktadır [16].

Bafa Gölü'nde Yılgör [8] tarafından gerçekleştirilen ve göl sedimentlerindeki element konsantrasyonlarının belirlendiği çalışmada, gölde yapılacak ileriki araştırmalarda elementel kirliliğin insan sağlığı ve canlı yaşam üzerindeki etkilerinin belirlenebilmesi için, element konsantrasyonlarının göl suyunda ve gölde yaşayan canlı türlerinde belirlenmesi önerilmektedir. Ayrıca Yabanlı vd. [17] göl suyu örneklerinde ve gölden elde edilen levrek balığı dokularında ağır metal (Al, Cr, Ni, Cu, As, Cd, Hg, Pb) varlığını mevsimsel olarak incelemiştir. Bu yakın dönemde gerçekleştirilen iki çalışmanın ardından göl suyu kalitesinin belirlenmesine yönelik herhangi bir çalışma gerçekleştirilmemiştir.

Bu çalışmada Bafa Gölü'nden toplanan su örneklerinde ağır metal ve eser element konsantrasyonları belirlenmiştir. Ölçüm sonucunda elde edilen değerler farklı kategorilerdeki su kalitesi sınır değerleri ile karşılaştırılarak göl suyu kalitesi incelenmiştir. Ayrıca istatistiksel yöntemler kullanılarak kirliliğe sebep olan kaynaklar belirlenmeye çalışılmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

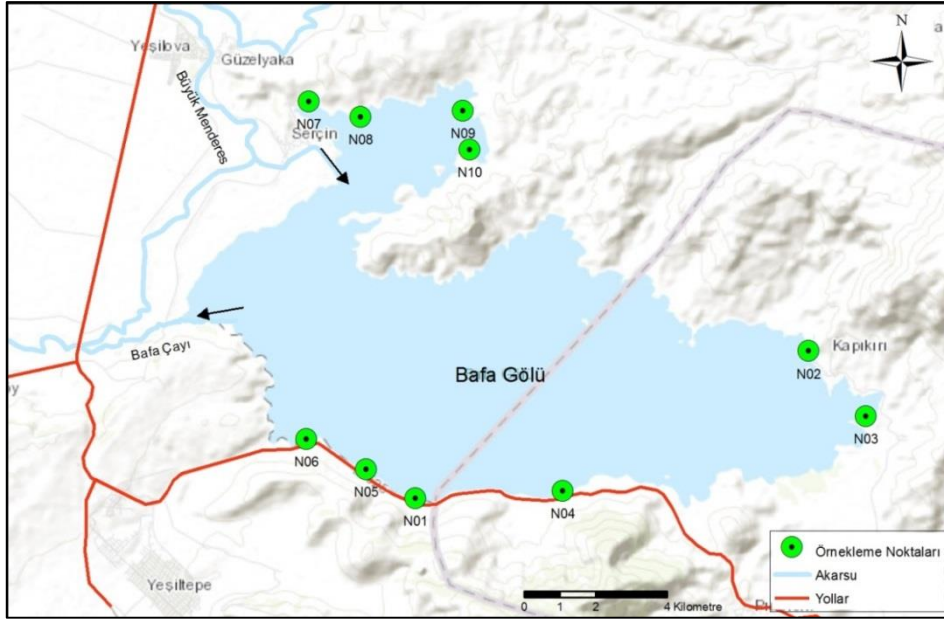
### 2.1. Çalışma Alanı

Bafa Gölü, Türkiye'nin güneybatısında Büyük Menderes Deltası'nın güneydoğusunda Muğla ile Aydın il sınırı arasında yer alan bir göldür (Şekil 1). Büyük Menderes Nehri'nin körfez ağzına yığıldığı alüvyonlardan dolayı delta ilerlemesi sonucunda denizle bağlantısı kesilerek oluştuğu bilinmektedir. Bafa Gölü 37° 31' Kuzey ve 27° 27' Doğu koordinatlarında yer almaktadır. Genel olarak Büyük



Menderes Nehri ile beslenmekte olup yağışın bol olduğu zamanlarda Beşparmak Dağları'ndan dökülen küçük dereler de göle ulaşmaktadır. Gölden çıkış ise Bafa Çayının yine Büyük Menderes nehrine bağlantısı ile olmaktadır. Gölün kuzeybatı kısmı sığlık olmakla beraber maksimum derinlik ortalama 20 m ve yüzey alanı yaklaşık 75 km<sup>2</sup>'dir. Gölün su seviyesi özellikle yaz aylarında Büyük Menderes Nehri'nden tarım sulaması amacıyla su çekildiği için düşmektedir [8].

Gölün yakın çevresinde balık yetiştirme çiftlikleri, zeytinyağı üretim fabrikaları, restoranlar, moteller ve kamp alanları faaliyet göstermektedir. Bununla beraber yerleşim birimleri ve tarım arazileri de yer almaktadır. Tüm bu faaliyet ve alanlardan oluşan sular göle deşarj edilmektedir. Ayrıca, gölün güney ve batı kıyısı boyunca yaz aylarında oldukça yoğun olan Milas-Söke (D525) karayolu geçmektedir.



Şekil 1. Bafa Gölü ve örnekleme noktalarının yerleşimi

## 2.2. Deneysel Metodoloji

Çalışmanın amacına uygun olarak su kalitesinin belirlenmesine yönelik gölün kıyı bölgelerinden olmak üzere 26 Nisan 2018 tarihinde Şekil 1 de gösterilen 10 noktadan su örneği toplanmıştır. Alınan örneklerde fiziksel parametreler (pH, elektriksel iletkenlik) ile ağır metal ve eser element konsantrasyonları belirlenmiştir. Fiziksel parametreler (pH ve elektriksel iletkenlik) WTW Inolab pH720/Cond720 cihazı kullanılarak ölçülmüştür.

Element analizleri için örnekler, 2-3 kez göl suyu ile yıkanmış 250 ml polietilen kaplara alınmıştır. Laboratuvara getirilmeden önce pH<2 olacak şekilde HNO<sub>3</sub> ile asitlendirilen örnekler, laboratuvarda 0,45 µm PTFE filtreden geçirilerek analize hazırlanmıştır. 61 elementin (Ag, Al, As, B, Ba, Be, Bi, Ca, Cd, Ce, Co, Cr, Cs, Cu, Dy, Er, Eu, Fe, Ga, Gd, Ge, Hf, Hg, Ho, In, K, La, Li, Lu, Mg, Mn, Mo, Na, Nb, Nd, Ni, P, Pb, Pr, Rb, Sb, Sc, Se, Si, Sm, Sn, Sr, Ta, Tb, Te, Th, Ti, Tl, Tm, U, V, W, Y, Yb, Zn, Zr) analizi ICP-MS (Endüktif Eşleşmiş Plazma – Kütle Spektrometresi) (Agilent 7700x – HMI) cihazı ile gerçekleştirilmiştir.

## 2.3. İstatistiksel Değerlendirme

Su örneklerinin elementel konsantrasyonlarının istatistiksel analiz ve değerlendirmelerinde IBM SPSS V24 programı kullanılmıştır. Her bir parametre için ortalama, medyan, standart sapma, minimum ve maksimum değerlerinin yanı sıra dağılım ölçütlerinden Çarpıklık (Skewness) ve Basıklık (Kurtosis) parametreleri de hesaplanmıştır.

Çarpıklık arttıkça mod ve ortalama birbirinden uzaklaşır. Eğer ortalama medyandan küçük ise dağılım sola (negatif), eğer ortalama medyandan büyük ise dağılım sağa (pozitif) çarpık olur. Çarpıklık

ölçüsü  $\pm 2$  aralığında değerler alması durumunda normal kabul edilmektedir. Doğada, eğer bir eleman antropojenik kaynaklardan etkilenmezse, normal bir dağılımı izlemektedir. Basıklık (Kurtosis) normal dağılım eğrisinin ne kadar dik veya basık olduğunu gösterir. Yüksek basıklık değerine sahip veri setlerinde eğri normale göre daha diktir ve aykırı değerlere sahip olma eğilimindedir. Düşük basıklık değerine sahip veri setlerinde ise normal dağılıma göre daha basıktır ve veri seti aykırı değerlere sahip değildir.

### 3. Bulgular ve Tartışma

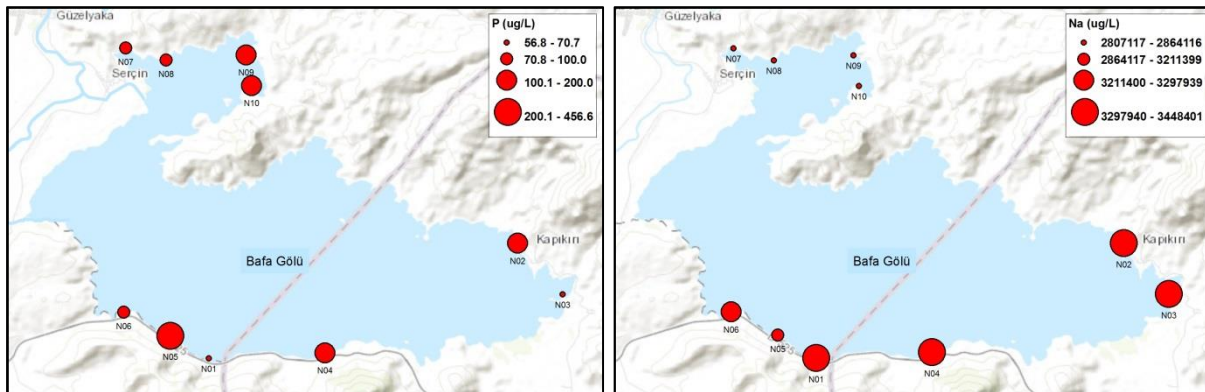
Bafa Gölü yüzey suyunda 10 noktadan toplanan örneklerde ağır metal ve eser element konsantrasyonları ile pH ve elektriksel iletkenlik değerleri ölçülmüştür. Göl suyunun pH değeri  $8,16 \pm 0,54$  ve elektriksel iletkenlik değeri  $19732 \pm 1311 \mu\text{s/cm}$  olarak ölçülmüştür. En düşük elektriksel iletkenlik değerleri gölün kuzeybatı kısmında yer alan sıhık alanda ölçülürken bu alanın dışında kalan diğer örnekleme noktalarında ölçülen değerler  $\sim 21000 \mu\text{s/cm}$  seviyelerinde tespit edilmiştir.

Ölçümü yapılan ağır metal ve eser element konsantrasyonları ile istatistiksel hesaplamalar Tablo 1'de verilmektedir. Doğal kaynaklı elementlerden Na, Mg, K ve Ca sırasıyla en yüksek konsantrasyonlarda ölçülmüştür. Bu elementleri yine doğal olarak sulara yüksek konsantrasyonlarda bulunan Sr, Si, B, Al, P, Li ve Ba izlemektedir. Antropojenik kaynaklardan suya karışması olası olan Mo, Cu, Ni ve V konsantrasyonları sırasıyla  $2,33-12,01 \mu\text{g/L}$ ;  $0,24-8,37 \mu\text{g/L}$ ;  $1,63-3,42 \mu\text{g/L}$  ve  $0,93-1,97 \mu\text{g/L}$  aralığında ölçülmüştür. Gölde ölçülen en düşük değerler ise nadir toprak elementlerine (Ce, Dy, Er, Eu, Gd, Ho, La, Lu, Nd, Pr, Pm, Sm, Sc, Tb, Tm, Yb, ve Y) aittir.

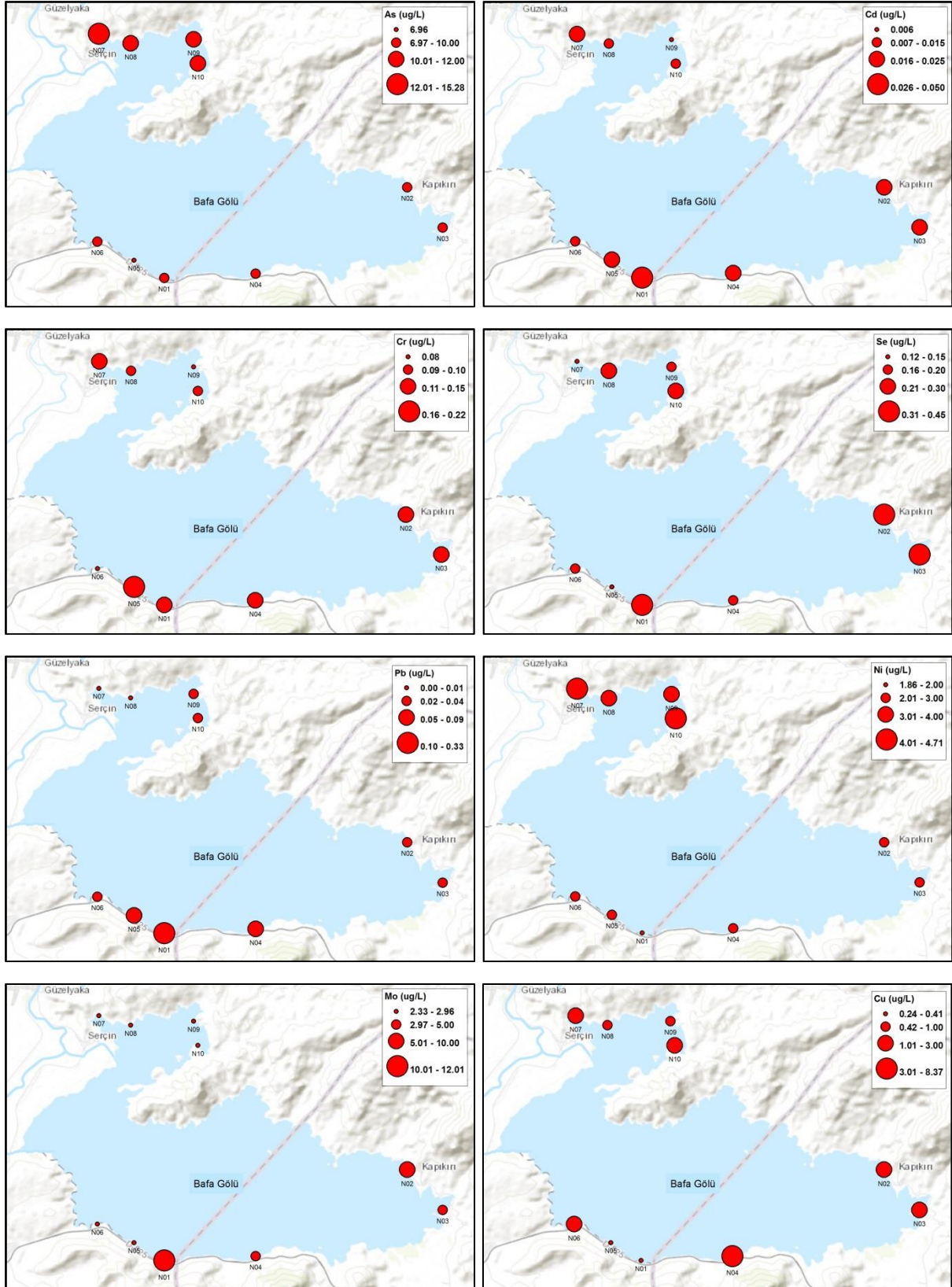
Düşük konsantrasyonlarda bile toksik ya da tehlikeli olabilen ağır metal değerleri As, Cd, Cr, Cu, Hg, Pb, Se, Tl ve Zn için sırasıyla en yüksek  $15,3 \mu\text{g/L}$ ;  $0,05 \mu\text{g/L}$ ;  $0,22 \mu\text{g/L}$ ;  $8,37 \mu\text{g/L}$ ;  $0,06 \mu\text{g/L}$ ;  $0,33 \mu\text{g/L}$ ;  $0,45 \mu\text{g/L}$ ;  $0,04 \mu\text{g/L}$  ve  $51,2 \mu\text{g/L}$  olarak belirlenmiştir.

Element konsantrasyonlarının istatistiksel olarak dağılımları çarpıklık ve basıklık parametreleri için Tablo 1'de gösterilmektedir. Bu parametreler incelendiğinde antropojenik kaynaklardan etkilenmesi olası elementler için yüksek, doğal oluşumlardan etkilenen elementler için düşük çarpıklık ve basıklık değerleri hesaplanmıştır. Sn, P, Ni, Pb, As, Cd, Tl, Co, Mo ve Cu elementleri için hesaplanan asimetric ve dik dağılım değerleri bu elementlerin göle ağırlıklı olarak antropojenik kaynaklardan girdiğini göstermektedir. Diğer taraftan ekseriyetle doğal oluşumlarda yer alan Sr, Na, Mg, Ca, K, Si ve Li için bu dağılım değerleri normal dağılım göstermiştir.

Gölde örnekleme yapılan 10 nokta arasından elementler için en yüksek değerler N01 noktasında (36 element için) ve N07 noktasında (8 element için) ölçülmüştür. Şekil 2'de gölde ölçülen ve gölün karakteristiği ile ilgili bilgiler veren Na ve P için yersel dağılımlar verilmektedir. Ayrıca toksik etkiler gösteren elementlerin (As, Cd, Cr, Cu, Mo, Ni, Se ve Pb) konsantrasyonları için yersel dağılımlar Şekil 3'te verilmektedir.



Şekil 2. P ve Na konsantrasyonlarının yersel dağılımları



Şekil 3. As, Cd, Cr, Cu, Mo, Ni, Se ve Pb konsantrasyonlarının yersel dağılımları

**Tablo 1.** Gölde ölçülen ağır metal ve eser element konsantrasyonları ( $\mu\text{g/L}$ , \*  $\text{mg/L}$ ) ve istatistiksel değerler

Elem.	Ort.	Min - Mak	Çarpıklık (skewness)	Basıklık (Kurtosis)	Elem.	Ort.	Min - Mak	Çarpıklık (skewness)	Basıklık (Kurtosis)
Na*	3153	2807-3448	-0,30	-2,15	Cr	0,118	0,08-0,22	1,65	3,70
Mg*	386	348,1-429,2	-0,02	-1,95	Ge	0,117	0,02-0,27	0,59	-1,36
K*	118	92,7-151,3	0,30	-1,56	Be	0,074	0,05-0,13	1,25	0,70
Ca*	58,7	55,2-63,1	0,08	-1,08	Pb	0,067	0-0,33	2,71	7,83
Sr	3800	3445-4049	-0,83	1,38	Nb	0,053	0,02-0,16	1,95	3,78
Si	3052	446,5-7271	0,49	-1,97	Sc	0,043	0,02-0,11	2,24	6,02
B	972,3	715-1470	0,89	-0,68	Y	0,034	0,02-0,05	0,68	-1,03
Al	101,4	6,45-390,1	1,86	3,46	Hg	0,025	0-0,06	1,21	1,13
P	84,33	34,2-304,9	2,94	8,98	Ga	0,022	0-0,05	0,27	0,55
Li	69,16	57,27-86,66	0,57	-0,48	Zr	0,018	0,01-0,05	2,27	5,94
Ba	56,50	40,5-80	0,60	-1,39	Cd	0,017	0,01-0,05	2,37	6,63
Rb	40,54	37,28-44,74	0,08	-1,49	Eu	0,015	0,01-0,03	1,57	2,84
Zn	26,30	11,35-51,23	0,97	0,79	In	0,013	0-0,09	3,03	9,34
As	9,724	6,96-15,28	1,09	0,48	Ce	0,011	0-0,02	0,86	-0,38
Mn	8,405	2,45-22,58	1,36	2,02	Th	0,010	0-0,03	2,40	6,47
Fe	5,949	0,98-18,05	1,80	3,52	Gd	0,009	0-0,03	2,74	8,09
Mo	4,287	2,33-12,01	2,18	4,70	Hf	0,009	0-0,02	1,86	3,26
Cu	2,217	0,24-8,37	2,29	6,16	La	0,008	0-0,02	1,48	1,57
Ni	1,957	1,63-3,42	2,91	8,86	Tl	0,008	0-0,04	2,36	5,94
U	1,725	1,34-2,01	-0,15	-0,32	Nd	0,007	0-0,03	2,50	6,79
V	1,258	0,93-1,97	1,79	4,30	Sm	0,006	0-0,02	3,11	9,76
Sb	0,780	0,45-1,39	1,42	2,68	Yb	0,005	0-0,02	3,08	9,59
W	0,476	0,36-0,86	1,84	3,13	Er	0,005	0-0,02	3,09	9,68
Cs	0,352	0,28-0,66	2,87	8,61	Dy	0,005	0-0,02	2,99	9,20
Te	0,294	0,15-0,88	2,80	8,31	Bi	0,004	0-0,03	2,93	8,90
Ti	0,235	0,09-0,55	1,18	0,34	Pr	0,003	0-0,02	3,08	9,62
Se	0,232	0,12-0,45	1,11	0,67	Lu	0,003	0-0,02	3,14	9,87
Sn	0,228	0,02-1,28	2,99	9,20	Ho	0,003	0-0,02	3,13	9,85
Co	0,153	0,04-0,57	2,32	5,78	Tb	0,003	0-0,02	3,14	9,90
Ta	0,134	0,09-0,24	1,69	3,00	Tm	0,003	0-0,02	3,13	9,84
Ag	0,127	0,03-0,64	2,68	7,53					

Çalışmada ayrıca göl suyunda ölçülen ağır metal ve eser element seviyeleri bazı çevresel düzenleme ve yönetmelik değerleri ile kıyaslanmıştır. Göl suyunda ölçülen elementel konsantrasyonların yönetmelik ve düzenlemelerde verilen sınır değerler ile kıyaslandığında yüksek olmadığı belirlenmiştir. Tablo 2’de Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği, su kaynaklarının sınıflarına göre kalite kriterleri; Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği, yerüstü su kaynakları için belirli kirlenmeler ve çevresel kalite standartları, sulamada kullanılacak sulara kabul edilebilen maksimum konsantrasyonlar ile hayvanların içme suyu kullanımı gerekli kalite kriterleri ve Alabalık ve Sazan Türü Balıkların Yaşadığı Suların Korunması ve İyileştirilmesi Hakkında Yönetmelik kapsamında, alabalık yetiştiriciliği için su kalite kriterleri verilmektedir. Bu yönetmeliklerdeki sınır ve sınıflama değerleri ile göl suyunda ölçülen değerler kıyaslandığında kıta içi su sınıflarına göre Sodyum ve Fosfor parametreler dışında göl suyu, 1. Sınıf sular kapsamına girmektedir. Sodyum konsantrasyonlarının yüksek olması, gölün acı su

özelliği ve daha önceden deniz ile bağlantısının olması ile açıklanmaktadır. Diğer yandan, yüksek Fosfor seviyesinin göl suyunun organik içeriğinden kaynaklanmakta olduğu söylenebilir. Buna sebep olarak göl çevresindeki hayvansal ve tarımsal faaliyetler ile göle ulaşan nehir suyunun taşıdığı organik maddeler gösterilebilir. Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği çevresel su kalitesi standartları açısından kıyaslama yapıldığında ise Al, B, Cu, Si ve Zn için ölçülen değerlerin Yıllık Ortalama - Çevresel Kalite Standardı (Yıllık Ort.-ÇKS) değerlerini aştığı görülmektedir.

Göl çevresindeki alanlarda gerçekleştirilen tarımsal ve hayvancılık faaliyetlerinde ve göl kıyısında bulunan balık yetiştirme çiftliklerinde göl suyunun kullanıldığı bilinmektedir. Bu nedenle gölde ölçülen ortalama konsantrasyonlar hayvansal ve tarımsal amaçlı kullanılan suların taşınması gereken kalite ölçütleriyle de kıyaslanmıştır. Tablo 2’de verilen sulamada kullanılacak sular için kabul edilebilir maksimum konsantrasyonlar uyarınca gölde ölçülen değerler sulama amaçlı kullanım için uygun görülmektedir. Benzer şekilde element sınır değerleri, hayvansal içme suyu parametreleri ve balık yetiştiriciliği kalite standartlarını da sağlamaktadır.

**Tablo 2.** Yönetmelik ve düzenlemelerde verilen elementel konsantrasyonlar ( $\mu\text{g/L}$ , \*  $\text{mg/L}$ ) için sınır ve sınıflandırma değerleri

Kalite Parametreleri	Kıta içi Su Kaynaklarının Sınıflarına göre Kalite Kriterleri ( $\mu\text{g/L}$ ) [18]				Yerüstü Su Kaynakları için Belirli Kirleticiler ve Çevresel Kalite Standartları [13]		Sulamada Kullanılacak Sularda Kabul Edilebilir Maksimum Konsantrasyonlar [19]		Hayvanların İçme Suyu Kullanımı Gerekli Kalite Kriterleri [19, 20]		Alabalık Yetiştiriciliği İçin Su Kalite Kriterleri [21]	Bu Çalışma ( $\mu\text{g/L}$ )
	I Sınıf	II Sınıf	III Sınıf	IV Sınıf	Yıllık Ort.-ÇKS Göller ( $\mu\text{g/L}$ )	MAK-ÇKS Göller ( $\mu\text{g/L}$ )	Tüm topraklarda sürekli yapılan sulamalarda ( $\mu\text{g/L}$ )	pH değeri 6,0-8,5 arasında olan killi zeminlerde ( $\mu\text{g/L}$ )	Kısıtlayıcı eşik Değerleri ( $\mu\text{g/L}$ )	Üst sınır Değerleri ( $\mu\text{g/L}$ )	Üst sınır Değerleri ( $\mu\text{g/L}$ )	
Ag					1,5	1,5			50	50		0,13
Al	300	300	1000	>1000	2,2	27	5000	20000	5000	10000	100	101,4
As	20	50	100	>100	53	53	100	2000	200	200		9,7
B	1000	1000	1000	>1000	707	1472	Hassas Bitkiler 1000	Hassas Bitkiler 2000	5000	30000		972,3
Ba	1000	2000	2000	>2000	680	680	4000	6000	1000	1000	5000	56,5
Be					2,5	3,9	100	500	100	100		0,1
Ca*									100	200	4 - 160	58,7
Cd	3	5	10	>10	<0,08 (Snf 1) 0,08 (Snf 2) 0,09 (Snf 3) 0,15 (Snf 4) 0,25 (Snf 5)	<0,45 (Snf 1) 0,45 (Snf 2) 0,6 (Snf 3) 0,9 (Snf 4) 1,5 (Snf 5)	10	50	10	50	3	0,02
Co	10	20	200	>200	0,3	2,6	50	5000	1000	1000		0,2

Kalite Parametreleri	Kıta içi Su Kaynaklarının Sınıflarına göre Kalite Kriterleri (µg/L) [18]				Yerüstü Su Kaynakları için Belirli Kirleticiler ve Çevresel Kalite Standartları [13]		Sulamada Kullanılacak Sularda Kabul Edilebilir Maksimum Konsantrasyonlar [19]		Hayvanların İçme Suyu Kullanımı Gerekli Kalite Kriterleri [19, 20]		Alabalık Yetiştirici İği İçin Su Kalite Kriterleri [21]	
	I Sınıf	II Sınıf	III Sınıf	IV Sınıf	Yıllık Ort.-ÇKS Göller (µg/L)	MAK-ÇKS Göller (µg/L)	Tüm topraklarda sürekli yapılan sulamalarda (µg/L)	pH değeri 6,0-8,5 arasında olan killi zeminlerde (µg/L)	Kısıtlayıcı eşik Değerleri (µg/L)	Üst sınır Değerleri (µg/L)	Üst sınır Değerleri (µg/L)	Bu Çalışma (µg/L)
Cr	20	50	200	>200	1,6	142	100	1000	100	1000	50	0,1
Cu	20	50	200	>200	1,6	3,1	200	5000	200	500	10	2,2
Fe	300	1000	5000	>5000	36	101	5000	20000	200	400	500	5,9
Hg	0,1	0,5	2	>2	-	0,07			10	10	0,05	0,025
K*									20	20		118,3
Li							2500	-				69,2
Mg									50	100		385860
Mn	100	500	3000	>3000			200	10000	50	500	10	8,4
Mo							10	50	30	60		4,3
Na*	125	125	250	>250					50	300		3152
Ni	20	50	200	>200	4	34	200	2000	250	1000	50	2
P	20	160	650	>650					700	700	100-3000	84,3
Pb	10	20	50	>50	1,2	14	3000	5000	50	100	1	0,1
Sb					7,8	103						0,8
Se	10	15	20	>20			20	50	50	100		0,2
Si					1830	1830						3052
Sn					13	13						0,2
Ti					26	42						0,2
V					1,6	97	100	1000	100	100		1,3
Zn	200	500	2000	>2000	5,9	231	2000	5000	5000	25000	100	26,3

Bafa Gölü'nde 2012 yılında Yılığör [8] tarafından yapılan çalışmada pH değerleri 8,10 ile 8,30 arasında, elektriksel iletkenlik ise ortalama 23200 µs/cm olarak ölçülürken bu çalışmada da benzer sonuçlar bulunmuştur. Diğer taraftan Yabancı ve diğerlerinin [17] çalışmasında, göl suyunda ölçülen Cd, Cr, Hg, ve Pb değerleri bu çalışmada bulunan değerlerden yüksek olmakla beraber, Al, As, Cu ve Ni değerleri ise daha düşüktür. Hg ve Pb haricinde diğer element değerleri nispeten yakın konsantrasyonlardadır. Bu durum göl suyunun yıllara bağlı olarak çok fazla değişim göstermediğini ortaya koymaktadır.

Tablo 3'te ülkemiz göllerinde ölçülen bazı element konsantrasyonları verilmektedir. Bafa Gölü su kalitesi ülkemizdeki diğer göl suları ile kıyaslandığında ise antropojenik kökenli element değerleri açısından daha düşük değerlere sahip olduğu ortaya çıkmaktadır. Diğer taraftan doğal kökenli element (Al, As, Si gibi) konsantrasyonları ise daha yüksek ölçülmüştür.

**Tablo 3.** Ülkemiz göllerinde ölçülen bazı element konsantrasyonları, µg/L

Element	Bafa Gölü (Bu Çalışma)	Bafa Gölü [17]	Beyschir Gölü [22]	Eğirdir Gölü [3]	Kovada Gölü [6]	Sapanca Gölü [23]	Abant Gölü [23]	Van Gölü [24]	Mogan Gölü [25]	Keban Baraj Gölü [2]
Al	101,4	14,2	97,0		38,0				0,9	
As	9,72	4,7	2,4							
Cd	0,02	0,1		2,3		3,0	2,5	4,4		
Cr	0,12	2,6	2,7	0,1		62,0	64,3	4,1		
Cu	2,22	0,4	1,6	0,5		18,2	24,6			
Fe	5,95		273,0	1,4	477,5			829,3	1,5	
Hg	0,03	13,0								
Mn	8,40		34,5	111,1	63,3	22,6	34,9	137,7		
Mo	4,29			51,7						
Ni	1,96	0,6	2,9	1,1	10,0	46,4	51,4			4,51
Pb	0,07	1,2	0,8			35,7	36,9	39,9		0,32
Se	0,23			3,4						
Si	3051,5								203,6	
Zn	26,30			17,2	19,5	88,5	21,8	37,0		

#### 4. Sonuç ve Öneriler

Bafa Gölü'nde elementel açıdan su kalitesinin belirlenmesi amacıyla yapılan çalışmada 61 elementin konsantrasyonları ölçülmüştür. Elde edilen bulgular ışığında element konsantrasyonları farklı kaynaklarda ve yönetmeliklerde verilen sınır ve sınıflandırma değerleri ile kıyaslandığında elementel açıdan göl suyu kirlilik seviyesinin yüksek olmadığı ortaya çıkmıştır. Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği'nde verilen kıta içi su kaynaklarının sınıflandırılmasına göre gölün su kalitesi P, Na ve B parametreleri haricinde 1. Sınıf sular kapsamına dâhil olmaktadır. Bununla birlikte toksik etkiler gösterebilen ve antropojenik kökenli olabilen As, Cd, Cr, Hg, Pb, V, Co ve Ni elementlerinin konsantrasyonları Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği'nde verilen yıllık ortalama ve maksimum çevresel kalite standartlarını sağlamaktadır. Bunların dışında sadece Al, B, Cu, Si ve Zn değerleri bazı örnekleme noktalarında yıllık ortalama çevresel kalite standartlarının bir miktar üzerinde ölçülmüştür. Ayrıca sulamada kullanılacak sular için kabul edilebilen maksimum konsantrasyonlar ve hayvansal içme suyu için belirlenen maksimum konsantrasyonlar dikkate alındığında gölde ölçülen element konsantrasyonları bu amaçlara uygun görülmüştür.

Göl suyunda ölçülen fosfor konsantrasyonlarının yüksek olması, göl suyunun organik kirliliğinin yüksek olabileceği sonucunu ortaya koymaktadır. Bu çalışmada bu durumu destekleyecek olan organik kirliliğin göstergesi olan çözünmüş oksijen, redoks potansiyeli, kimyasal oksijen ihtiyacı vb. gibi parametreler ölçülmemiş olsa da daha önce yapılmış çalışmalar bu durumu desteklemektedir. Göl civarında hızlı bir şekilde artış gösteren balık çiftliklerinin çevresel etkilerini azaltacak önlemlerin alınması, tarımsal faaliyetlerde gereksiz ve aşırı gübre kullanımının önlenmesi ve gölün yanından geçen yol üzerine kurulan küçük çaplı işletmelerin atık sularının bertaraf edilmesi göldeki organik kirliliği azaltacaktır.

Bafa Gölü su kalitesinin izlenmesine yönelik olarak yapılacak olan devam çalışmalarında organik kirliliğin belirlenmesine yönelik olarak çözünmüş oksijen, redoks potansiyeli, kimyasal oksijen ihtiyacı vb. gibi parametrelerin ölçülmesi uygun olacaktır. Buna ilaveten son yıllarda önemi gittikçe artan ve gölde daha önce hiç çalışılmamış olan endokrin bozucu kimyasalların (Pestisit türleri ve Poliklorlu bifeniller (PCB'ler)) ölçülmesi göl suyu kalitesi hakkında daha fazla bilgi sağlayacaktır.

## Kaynaklar

- [1] Singare P.U., Talpade M.S., Dagli D.V., Bhawe V.G. 2013. Heavy Metal Content in Water of Bhavan's College Lake of Andheri, Mumbai, International Letters of Chemistry, Physics and Astronomy, 13: 94-104.
- [2] Topal M., Arslan-Topal E.I. 2017. Su Çerçeve Direktifi Kapsamında Keban Baraj Gölü'nde (Elazığ) Kurşun ve Nikel Konsantrasyonlarının Belirlenmesi, International Journal of Pure and Applied Sciences, 3 (1): 41-53.
- [3] Kaptan H., Tekin-Özan S. 2014. Eğirdir Gölü'nün (Isparta) Suyunda, Sedimentinde ve Gölde Yaşayan Sazan'ın (*Cyprinus carpio* L., 1758) Bazı Doku ve Organlarındaki Ağır Metal Düzeylerinin Belirlenmesi, SDU Journal of Science (E-Journal), 9 (2): 44-60.
- [4] Zinabu G.M., Pearce N.J.G. 2003. Concentrations of heavy metals and related trace elements in some Ethiopian rift-valley lakes and their in-flows, Hydrobiologia, 492 (1): 171-178.
- [5] Ogoyi D., Mwitwa C.J., Nguu E.K., Shiundu P.M. 2011. Determination of Heavy Metal Content in Water, Sediment and Microalgae from Lake Victoria, East Africa, The Open Environmental Engineering Journal, 4: 156-161.
- [6] Kır İ., Tekin-Özan S., Tuncay Y. 2007. Kovada Gölü'nün Su ve Sedimentindeki Bazı Ağır Metallerin Mevsimsel Değişimi, E.U. Journal of Fisheries & Aquatic Sciences, 24 (1-2): 155-158.
- [7] Kırmızıgül O. 2013. Gökçekaya Baraj Gölü Dip Sedimentinin Ağır Metal Düzeylerinin Belirlenmesi. Gazi Üniversitesi, Çevre Bilimleri Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 71s, Ankara.
- [8] Yılğör S. 2012. Bafa Gölü Sedimanlarındaki Ağır Metal Kirliliğinin Araştırılması. Dokuz Eylül Üniversitesi, Deniz Bilimleri ve Teknolojisi Bölümü, Deniz Jeolojisi ve Jeofiziği Programı, Doktora Tezi, 64s, İzmir.
- [9] Jin Z.D., You C.F., Yu T.L., Wang B.S. 2010. Sources and flux of trace elements in river water collected from the Lake Qinghai catchment, NE Tibetan Plateau, Applied Geochemistry, 25 (10): 1536-1546.
- [10] Metin-Dereli E., Ertürk A., Çakmakçı M. 2017. Yüzeysel Sularda Ağır Metallerin Etkileri Ve Ötrotfikasyon ile İlişkisi, Turkish Journal Of Aquatic Sciences, 32 (4): 214-230.
- [11] Rigaud S., Radakovitch O., Couture R-M., Deflandre B., Cossa D., Garnier C., Garnier J-M. 2013. Mobility and fluxes of trace elements and nutrients at the sediment-water interface of a lagoon under contrasting water column oxygenation conditions. Applied Geochemistry, 31: 35-51
- [12] Gashi F., Frančisković-Bilinski S., Bilinski H., Haziri A., Gashi S. 2016. Assessing the trace element content in water samples from Badovci Lake (Kosovo) using inductively coupled plasma-mass spectrometry analysis, Arabian Journal of Geosciences, 9 (6): 454.
- [13] YSKY 2012. Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği. Resmi Gazete No 28483, Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Ankara.
- [14] ÇOB 2007. Türkiye'de Su Sektörü için Kapasite Geliştirme Projesi, Çevre ve Orman Bakanlığı, Ankara.
- [15] Çokay E., Eker S., Ersöz D., Karapınar İ., Karaman Ş. 2017. Evaluation of Metal Pollution in Büyük Menderes River Under the EU Water Framework Directive, 2<sup>nd</sup> International Conference On Civil And Environmental Engineering, Nevşehir, 8 – 10 Mayıs, 2537-2549.
- [16] TÜBİTAK 2010. Havza Koruma Eylem Planlarının Hazırlanması Projesi Büyük Menderes Havzası, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu Marmara Araştırma Merkezi Çevre Enstitüsü (TÜBİTAK MAM), Gebze, Kocaeli.
- [17] Yabancı M., Coşkun Y., Öz B., Yozukmaz A., Sel F., Öndeş S. 2013. Bafa Gölü'nden Elde Edilen Levreklerde (*Dicentrarchus labrax*) ve Göl Suyunda Ağır Metal İçeriğinin Belirlenmesi ve Balık/Halk Sağlığı Açısından Durum Değerlendirmesi, Bornova Veteriner Bilimleri Dergisi, 35 (49): 15-23.
- [18] SKKY 2004. Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği. Resmi Gazete No 25687, Çevre ve Orman Bakanlığı, Ankara.
- [19] SSKSYKHY 2015. Sulama Sularının Kalitesi Ve Kullanılmış Suların Yeniden Kullanılması Hakkında Yönetmelik Taslağı. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Su Yönetimi Genel Müdürlüğü, Ankara.



- [20] Socha M.T., Ensley S.M., Tomlinson D.J., Johnson A.B. 2003. Variability of water composition and potential impact on animal performance, Intermountain Nutrition Conference, pp85-96, Salt Lake C, UT., Utah State Universty, Logan.
- [21] ASTBYSKİHY, 2014. Alabalık Ve Sazan Türü Balıkların Yaşadığı Suların Korunması ve İyileştirilmesi Hakkında Yönetmelik. Resmi Gazete No 28880, Gıda, Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı, Ankara.
- [22] Üçüncü-Tunca E. 2016. Beyşehir Gölü'nde Su ve Sedimentte Ağır Metal Birikimi ve Sedimentte Antropojenik Kontaminasyon Değerlendirmesi, Ordu Üniversitesi Bilim Ve Teknoloji Dergisi, 6 (2): 205-219.
- [23] Duman F. 2005. Sapanca ve Abant Gölü Su, Sediment ve Sucul Bitki Örneklerinde Ağır Metal Konsantrasyonlarının Karşılaştırmalı Olarak İncelenmesi. Ankara Üniversitesi, Biyoloji Anabilim Dalı, Doktora Tezi, 227s, Ankara.
- [24] Zengin O. 2008. Van Gölü Ve Gölü Besleyen Kaynaklarda Ağır Metal Kirliliğinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [25] Benzer S., Arslan H., Uzel N., Gül A., Yılmaz M. 2013. Concentrations of metals in water, sediment and tissues of *Cyprinus carpio* L., 1758 from Mogan Lake (Turkey), Iranian Journal of Fisheries Sciences, 12 (1): 44-55.

---

*Araştırma Makalesi / Research Article*

---

## Üç boyutlu bir arama yüzeyi için mobil robotların yol planlaması

Gonca OZMEN KOCA<sup>\*1</sup>, Şengül DOĞAN<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Fırat Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Mekatronik Mühendisliği Bölümü, Elazığ, Türkiye

<sup>2</sup>Fırat Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Adli Bilişim Mühendisliği Bölümü, Elazığ, Türkiye

---

### Öz

Mobil robotların yol planlaması, tek/çok katlı kapalı alan endüstriyel robotik navigasyon uygulamalarında hayati bir öneme sahiptir. Bu çalışmada, çok katlı ve her kat için birden çok katlar arası geçişin mümkün olduğu endüstriyel bir binada mobil robotların yönlendirilmesi için graf arama algoritmasına dayanan bir optimum yol planlaması önerilmiştir. Yol planlaması için başlangıç ve varış noktalarının yer aldığı iki katı içeren 3 boyutlu kübik yüzey baz alınarak mesafe hesaplanmıştır. Dijkstra graf arama algoritması, engellerden sakınarak en kısa yolun bulunması için belirlenen yüzeylerde başlangıç noktasından tüm noktalara olan mesafeleri hesapladığından dolayı çalışmada bu algoritma tercih edilmiştir. Çalışmada mobil robotun yönlendirilmesi için farklı durumları içeren iki farklı senaryo oluşturulmuştur. Bu senaryolar hedef noktasının mobil robotun bulunduğu kattaki başlangıç noktası ile aynı katta ve farklı katta olması durumlarını içermektedir. Makalede, MATLAB ortamında elde edilen en kısa yolu gösteren benzetim sonuçları sunulmuştur.

**Anahtar kelimeler:** Yol planlama, Optimum yol, Graf arama algoritması, Dijkstra algoritması

---

## Three dimensional searching surface path planning of mobile robots

---

### Abstract

Route planning of mobile robots has vital importance in the industrial robotic navigation applications of single / multi-floors closed area. In this study, it is proposed to apply an optimal route planning based on the graph search algorithm for orienting mobile robots in multiple floors industrial building where multiple exits are possible for each floor. For the route planning, the distance is calculated on the basis of a 3-dimensional cubic surface containing two floors, in which the starting and destination points are located. Dijkstra graph searching algorithm is preferred since it calculates the distances from starting point to all points in specified surfaces in order to create shortest route avoiding obstacles. In the study, two different scenarios including different situations are created for orienting the mobile robot. These scenarios include the situation of the destination point on the same and on the different floor with the starting point of the mobile robot. Simulation results of the shortest routes are presented in the paper using MATLAB environment.

**Keywords:** Route planning, Optimum route, Graph searching algorithm, Dijkstra algorithms.

---

### 1. Giriş

Birçok araştırma alanında navigasyon ve en kısa yol optimizasyonu problemlerinin çözümünde kullanılan graf arama algoritmaları robotik sistemlerde de çoğunlukla tercih edilmektedir. Bu arama algoritmalarından olan Dijkstra algoritması sınırları belirli kısıtlı alanlarda, optimum yolun bulunması konusunda iyi bir performansla sahiptir [1-3].

Dobrilovic vd. [3] depolarda iç taşıma yolunun optimizasyonu için Dijkstra algoritmasını kullanmışlardır. Oluşturdukları model ile giriş/çıkış ve ağırlıkları taşımak, kaldırmak ve istif etmek için kullanılan iş makinalarına göre iki farklı durum için optimum yolun bulunması hedeflenmektedir. Bu çalışma ile üretkenliği arttırıp, işletme maliyetini düşürmek amaçlanmıştır. Chen vd. [4] tarafından, doğal afet, ani terör saldırıları veya nükleer kazalarda insanların güvenli bölgelere araçlarla sevk

---

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

Geliş Tarihi: 22.10.2018, Kabul Tarihi: 17.01.2019

edilmesinde yol ağı gözlemlenerek, kavşaklardaki gecikmeler, araçların sabah, akşam ve rutin zamanlarda tahliye hızı dikkate alınarak Dijkstra algoritmasına dayalı bir araç tahliye modeli geliştirilmiştir. Garcia vd. [5] insansız hava araçlarının tehlikeli hava koşullarının bulunduğu bölgelerden sakınarak en kısa yol eğrisinin hesaplanması için birkaç graf arama algoritmasının avantaj ve dezavantajlarını tartışmışlardır. Bu çalışma benzetim ve CATEC deney seti üzerinde deneysel olarak gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada ayrıca arama yapılacak hava sahasının ayrıklaştırılmasında bağlantı katsayısının önemi vurgulanmıştır. Engellerin bulunduğu serbest bir alanda Öklid en kısa yol probleminin Dijkstra ve A\* algoritmasına uyarlanması Yershov ve LaValle [6] tarafından gerçekleştirilmiştir.

Jiang vd. [7] yaptıkları çalışmada, SDN topolojisinden elde edilmiş bir graf için kenar ağırlıklarının yanında düğüm ağırlıklarını da dikkate alan genişletilmiş bir Dijkstra en kısa yol algoritması uygulamasına yer vermiştir. Bu çalışmada, ağ üzerinden her alıcı için alıcıdan-sunucuya ve sunucudan-alıcıya en kısa yol üretmek amacıyla üç farklı Dijkstra algoritması denenmiştir. Birim-ağırlıklı Dijkstra ve orijinal Dijkstra algoritmalarıyla kıyaslandığında genişletilmiş Dijkstra algoritmasıyla daha iyi sonuçlar elde edilmiştir.

Bilgi alışverişi veri iletim sürecini optimize etmek için en kısa yol algoritmalarına ihtiyaç duyar. Cihazın işlem gücü ve hafıza sınırlamalarından dolayı en kısa yol bulma algoritmalarının sadeliği önemli bir konu olmuştur. Djojo ve Karyono yaptıkları çalışmada [8], A\*, Floyd-Warshall ve Dijkstra algoritmalarını; hesaplama yükü, süre ve hafıza kullanımı açısından karşılaştırmışlardır. A\* algoritması her düğümü kontrol etmediği için hesaplama yükü ve süresi açısından en avantajlı olanıdır. Hafıza kullanımı açısından en avantajlı olanı bu algoritmalar içerisinde en az değişken tutucu gerektiren Dijkstra algoritmasıdır. Kang vd. [9] tarafından mobil robotlar için yol planlaması açısından orijinal Dijkstra, geliştirilmiş Dijkstra ve parçacık sürü optimizasyonunun kullanıldığı geliştirilmiş Dijkstra algoritmaları denenerak karşılaştırılmıştır. En iyi sonuçlara çalışmayı yapan ekibin önerdiği parçacık sürü optimizasyonunun kullanıldığı geliştirilmiş Dijkstra algoritması ile ulaşılmıştır.

Fadzli vd. [10] yaptıkları çalışmada, GPS koordinatlarının ve pusula yönlendirmesinin güvenilir olmadığı kapalı ortam uygulamalarında robot yol planlaması için Dijkstra algoritmasına dayalı daha kapsamlı veri yapısı sağlayan çok katmanlı bir sözlük kullanmıştır. Bu çalışmada, önerilen yapı geleneksel algoritma yapısından farklı olarak yolun uzunluğunun yanında zorluk derecesini de göz önünde bulundurmaktadır. Geleneksel Dijkstra algoritmasıyla kıyaslandığında, önerilen yöntemin dönüşlerde daha az bir toplam açığa sahip olduğu görülmüştür. Buda daha kısa bir yol anlamına gelmektedir. Zhang ve Wei [11], gömülü coğrafi bilgi sistemi için optimize edilmiş bir Dijkstra algoritması geliştirmiştir ve bu optimizasyon ile en kısa yolun bulunmasında iyileşmeler olduğu gözlenmiştir. Ancak bu alanda yapılan çalışma bir başlangıç niteliğindedir. Gelecekte trafik ışıkları gibi farklı faktörler dikkate alınarak çalışmanın geliştirilmesi hedeflenmektedir.

Chao ve Hongxia çalışmalarında [12], yol aramadaki işlem hızını artırmak ve hesaplama süresini azaltmak için Dijkstra algoritmasını geliştirilmeyi hedeflemişlerdir. Önerilen yöntem ile gerçek ulaşım yolunun seçiminde daha kapsamlı bir referans çerçeve oluşturmak için farklı türde ağırlık değerleri kullanılmıştır. Bu yöntem ile öncelikli bölgeler belirlenerek anlamsız aramalardan kurtulup arama verimliliğini arttırarak operasyon süresini azaltmak amaçlanmıştır. Ancak haritada başlangıç noktası ile bitiş noktasının diyagonal olduğu durumlarda önerilen yöntemdeki öncelikli bölgeler ile klasik algoritmadaki bölgeler büyük oranda farklılık göstermez. Bu konuda çalışmayı gerçekleştiren ekibin de çalışmada belirttiği gibi verimliliğin arttırılması için algoritmanın geliştirilmesi gerekmektedir.

Graf arama algoritmaları içinde sınırlı alanlarda en kısa yolu bulurken, Dijkstra algoritması kullanılarak aramanın doğruluğu ve mevcut alternatifler içinde en kısa yolun bulunması açısından iyi bir performans elde edilir. Bu çalışmada, çok katlı her katta birden çok katlar arası geçişin mümkün olduğu endüstriyel bir binada mobil robotların kat içi ve katlar arasında taşıma yaparken en kısa yolu bulması için Dijkstra algoritmasına dayalı 3 boyutlu bir yol planlama sistemi gerçekleştirilecek ve sistem performansı benzetim çalışmalarıyla sunulacaktır. Çalışmada;

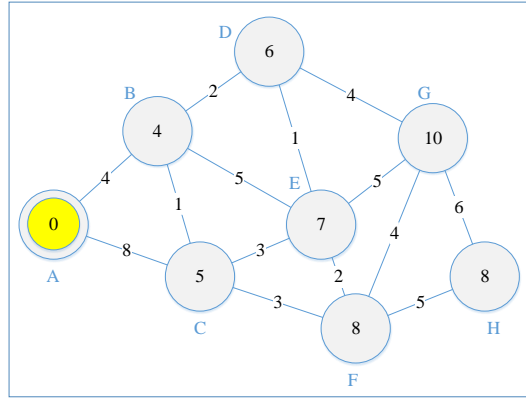
- Dijkstra graf arama algoritmasının çalışma mantığı gereği belirlenen yüzeylerde başlangıç noktasından tüm geçiş noktalarına olan mesafeyi hesaplaması nedeni le birden çok katlar arası geçişin mümkün olduğu çok katlı bir binada en kısa yol planlaması Dijkstra graf arama algoritması kullanılarak yapılmıştır.

- Burada diğer arama algoritmalarından farklı olarak tüm geçişlere olan mesafeler bir bütün olarak hesaplanmıştır. Bu da Dijkstra graf arama algoritmasının hesaplama yükü dezavantajını bu sistem için avantaja çevirmiştir.

Çalışmanın 2. bölümünde en kısa yol problemi tanımlanmıştır. Dijkstra algoritmasına dayalı 3 boyutlu yol planlama sistemi bölüm 3'de ayrıntılandırılmıştır. Bu bölümde ayrıca Dijkstra algoritmasına ait işlem basamakları anlatılmıştır. 4. bölümde benzetim örnekleri ile sistem performansı ortaya konulmuştur. Son bölümde sonuçlar irdelenmiş ve gelecek çalışmalar için öneriler sunulmuştur.

## 2. En kısa yol problemi

En kısa yol problemi, belirli bir maliyet ile mevcut yüzeyde belirlenen noktalar arasında bir yolun varlığının tespit edilmesidir. En kısa yol probleminin çözümü için Dijkstra, Bellman ve Ford, A\* gibi algoritmalar geliştirilmiştir. Bu algoritmalar genel yapısı ile aynı amacı gütmekle beraber çözüm olarak belirli farklılıklar ile ayrılabilirler. Örneğin Dijkstra algoritması, yol tespit edilirken bulunan yüzeyde tüm noktalara ulaşım mesafesi hesaplayabildiği gibi A\* algoritması sadece belirlenen iki nokta arasındaki mesafe hesabı ile ilgilenmektedir. Belirlenen yüzey için A noktasından diğer tüm noktalara olan uzaklık Şekil 1'de gösterilmiştir [13- 15].



Şekil 1. En Kısa Yol Probleminin Şematik Gösterimi

Şekil 1'de belirlenen noktalar ve uzaklıklar için hesaplanan komşuluk matrisi Şekil 2'de verilmiştir [13].

A	A	B	C	D	E	F	G	H
A	-1	4	8	-1	-1	-1	-1	-1
B	4	-1	1	2	5	-1	-1	-1
C	8	1	-1	-1	3	3	-1	-1
D	-1	2	-1	-1	1	-1	4	-1
E	-1	5	3	1	-1	2	5	-1
F	-1	-1	3	-1	2	-1	4	5
G	-1	-1	-1	4	5	4	-1	6
H	-1	-1	-1	-1	-1	5	6	-1

Şekil 2. Komşuluk Matrisi

Şekil 2'de verilen matriste belirlenen noktaların direk komşuluğunun olmadığı noktalar "-1" ile temsil edilmektedir. Şekil 1 ve 2 dikkate alındığında, en kısa yol algoritmalarının çalışma mantığına göre başlangıç noktası A'dan varış noktası olan E'ye gidiş ile ilgili mevcut güzergahlar (A-B-E, A-C-E, A-B-C-E, ...) içerisinde en kısa mesafeye sahip yol tercih edilmelidir. Aynı şekilde A noktasından C noktasına gitmek için algoritma tarafından farklı varyasyonlar denenerek en kısa mesafe bulunmalıdır.

A'dan C'ye gidiş için;

1. yol: A ile C arasındaki direk yol kullanılabilir ve A'dan C'ye uzunluk Şekil 1'e göre 8 birimdir.

2. yol: A-B-C yolu kullanılır ise A-B arası 4 birim, B-C arası 1 birim olduğu için toplam mesafe  $4+1$  birim olacaktır.

Dolayısıyla en kısa yol algoritması 1. yol yerine 2. yolu tercih etmelidir.

### 3. Dijkstra algoritmasına dayalı yol planlama sistemi

#### 3.1. Dijkstra algoritması

Dijkstra algoritması belirli bir alanda ( $A_{ij}$ ) başlangıç düğümünden ( $b(i, j)$ ) bu alanda yer alan bütün düğümlere ( $A_{ij} \rightarrow i \in \{0, \dots, m\}, j \in \{0, \dots, n\}$ ) olan en kısa yolun elde edilmesi için kullanılan bir graf arama algoritmasıdır. Belirlenmiş alan düğüm adı verdiğimiz küçük gridlere bölünür. Başlangıç düğümünden başlanarak tüm düğümlere olan en kısa mesafeler ( $S_r \rightarrow b(i, j)$ )' den  $r$ . düğüme olan en kısa mesafe  $r \in \{0, \dots, (m \times n)\}$  hesaplanmak üzere geliştirilen bu algorithmada denklem (1)'de sunulduğu gibi bir etiketleme yapısı kullanılır.

$$[S_t, r] = [(S_r + p_{rt}), (r)] \quad (1)$$

Burada  $p_{rt}$ ,  $r$ . düğüm ile  $t$ . düğüm arasındaki mesafeyi göstermektedir. Ayrıca düğümler geçici ve kalıcı olmak üzere de etiketlenir. Bu algoritma için işlem adımlarını gösteren sözde kod Tablo 1'de verilmiştir [14, 15].

**Tablo 1.** Dijkstra algoritmasının sözde kodu

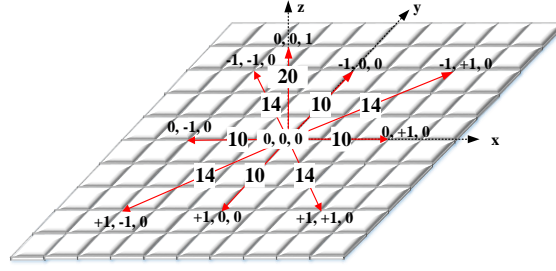
1/	$b(i, j)$ ekle $\rightarrow$ kalıcı_liste;
2/	$r=1$ ;
3/	{ Döngü {
3/1/1	Etiketleme yap $[S_t, r] = [(S_r + p_{rt}), (r)]$ ; ( $r$ . düğümün tüm $t$ komşuları için)
3/1/2	$t$ düğümlerini ekle $\rightarrow$ geçici_liste;
3/1/3	Döngü bitir; }
3/2	Eğer { $t$ . düğüm önceden etiketlenmişse ( $[S_t, v]$ )
3/2/1	Eğer { $(S_k + p_{kt}) < S_t$ { $[S_t, v] \leftarrow [(S_r + p_{rt}), (r)]$ ; }
3/3	Eğer { $(\forall A_{ij} \in$ kalıcı_liste) {bitir}
3/4	$r = \min(\text{geçici\_liste})$ ; }

Bu algorithmada tüm düğümler için erişilme maliyeti hesaplanarak en kısa yolun bulunması garanti edilmiş olur. Daha iyi bir erişim maliyetinin olmadığı yani daha kısa bir yolun bulunmadığı durumda düğüm kalıcı listeye eklenir. Tüm düğümler kalıcı listeye eklendiğinde program durdurulur [14-17].

#### 3.2. Üç boyutlu yol planlama sistemi

Bu çalışmanın hedefi  $N$  katlı bir binada her kat için katlar arası geçiş noktalarının ( $G_s \leftarrow \{s=1, 2, \dots, g\} \leftarrow \{g=4\}$ ) varlığında kat içinde ve katlar arasında gezebilen bir mobil robot için yol planlama sistemi oluşturmaktır. Katlar arası geçişlerde dikkate alındığında başlangıç noktasının ( $b(i, j, k)$ ) bulunduğu kat ile hedef noktanın ( $h(i, j, k)$ ) bulunduğu kat alt veya üst yüzeyleri oluşturmak üzere 3 boyutlu kübik yüzey üzerinde arama yapılmaktadır.

Hesaplamalarda, Şekil 3'de gösterildiği gibi bulunulan noktadaki indis ( $i, j, k$ ) komşu noktadaki indisler ( $kom_i, kom_j, kom_k$ ) ile ifade edilirse, farklı durumlar için mesafe değerleri denklem (2) ile hesaplanır.



Şekil 3. Her bir noktanın komşularına olan mesafelerinin şematik gösterimi

$$\left\{ \begin{array}{l} (i = kom\_i \vee j = kom\_j) \rightarrow p\_rt = 10 \\ (i \neq kom\_i \vee j \neq kom\_j) \rightarrow p\_rt = 14 \\ (i = kom\_i \wedge j = kom\_j \wedge k = kom\_k) \rightarrow p\_rt = 20 \end{array} \right\} \quad (2)$$

Denklem (2)'de  $p\_rt$  gidilecek mesafeyi temsil etmektedir. Oluşturulan 3 boyutlu yol planlama sisteminde aramalar Tablo 2'de sözde kodu verilen hesaplama adımları ile gerçekleştirilmektedir.

**Tablo 2.** Yol planlama sisteminin mesafe hesaplama adımlarının sözde kodu

1/	$r \leftarrow b(i, j, k), t \leftarrow h(i, j, k);$
2/	Eğer $\{ b(...,k) \neq h(...,k) \}$ {
2/1	$k \leftarrow b(...,k);$
2/2	$hesapla \rightarrow p\_rG_s \forall G_s \in A\_ijk;$
2/3	$k \leftarrow h(...,k);$
2/4	$hesapla \rightarrow p\_G_{st} \forall G_s \in A\_ijk;$
2/5	$p\_rt = p\_rG_s + p\_G_{st} + (h(...,k) - b(...,k)) * 20;$
2/6	$min(p\_rt); \}$
2/1	$\{ hesapla \rightarrow p\_rt \forall r \wedge t \in A\_ijk \{ k \leftarrow b(...,k) \}$

Mobil robotun başlangıç noktası ile ulaşılmak istenen hedef noktanın aynı katta olması durumunda, bulunulan kat numarası  $k$  katsayısını gösterir ve kat içinde  $r$  başlangıç düğümünden  $t$  hedef düğümüne mesafe denklem (2) ve Tablo 2'de  $\{ b(...,k) = h(...,k) \}$  şartına karşılık gelen 2/1 nolu işlem adımı dikkate alınarak hesaplanır. Mobil robotun bulunduğu kat ile hedef noktanın bulunduğu katın farklı olması durumunda ise, mesafe hesaplaması Tablo 2'de  $\{ b(...,k) \neq h(...,k) \}$  şartına karşılık gelen 2/5 nolu işlem adımı dikkate alınarak ve tüm geçişlere ait olasılıklar değerlendirilerek hesaplanır.

#### 4. Benzetim çalışmaları ve sonuçlar

Bu çalışmada, mobil robotun bir başlangıç noktasından kat içinde veya katlar arasındaki bir hedef noktaya en kısa yoldan engellerden sakınarak ulaşması için Dijkstra algoritmasına dayalı 3 boyutlu bir yapı oluşturulmuştur. Çalışmada aynı katta ve farklı kattaki hedeflere ulaşmak için farklı rasgele değerler kullanılarak iki senaryo oluşturulmuş ve algoritmanın en kısa yol bulma performansı elde edilmiştir.

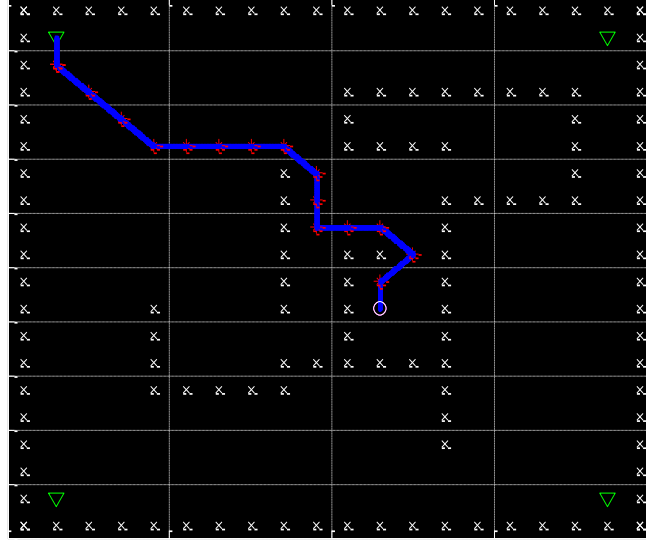
1. Senaryo: Bu senaryoda ulaşılmak istenen hedef, başlangıç noktası ile aynı kattadır. Tablo 3'de 1. Senaryo için verilen rasgele seçilmiş engel, başlangıç ve hedef noktaları için elde edilen güzergâh Şekil 4'de sunulmuştur. Oluşturulan senaryoda başlangıç noktasından güzergâhlar  $\{ \forall G_s \in A_{ijk} \}$  için Tablo 4'de verilmiştir.

**Tablo 3. 1. Senaryo için mobil robotun bulunduğu katta rasgele seçilmiş engel, başlangıç ve hedef noktalarının koordinatları**

	Mobil robotun olduğu kattaki engeller	Başlangıç noktası	Hedef noktası
Koordinatlar	(11:14,5) (14,6:9) (13,9:13) (6:11,9) (10:11,11) (9,11:12) (3,11-18) (4:7,18) (7,14:17) (8:16,14)	(11,12)	(19,2) (19,19) (2,2) (2,19)

**Tablo 4. 1. Senaryo için mobil robotun bulunduğu katta başlangıç noktasından tüm geçiş noktalarına izlenecek güzergâh koordinatları**

İzlenecek Güzergâhlar				
Adım No	1.Geçiş	2.Geçiş	3.Geçiş	4.Geçiş
1	11,12	11,12	11,12	11,12
2	12,11	12,11	10,12	10,12
3	12,10	12,10	9,13	9,13
4	12,9	12,9	8,12	8,13
5	12,8	12,8	8,11	7,13
6	12,7	12,7	8,10	6,13
7	12,6	12,6	7,10	6,12
8	11,6	11,6	6,10	6,11
9	10,5	10,5	5,9	5,10
10	11,4	11,4	5,8	4,10
11	12,4	12,4	5,7	3,10
12	13,4	13,4	5,6	2,11
13	14,4	14,4	5,5	2,12
14	15,4	15,5	4,4	2,13
15	16,4	15,6	3,3	2,14
16	17,4	15,7	2,2	2,15
17	18,3	15,8		2,16
18	19,2	15,9		2,17
19		15,10		2,18
20		15,11		2,19
21		15,12		
22		15,13		
23		16,13		
24		17,14		
25		17,15		
26		17,16		
27		17,17		
28		18,18		
29		19,19		



Şekil 4. 1. Senaryo için en kısa yol güzergâhı

Şekilde “yeşil  $\nabla$ ” ile simgelenen sol alt köşe, sağ alt köşe, sol üst köşe ve sağ üst köşe sırasıyla 1, 2, 3, 4 nolu geçiş noktalarını göstermektedir. “Beyaz x” ile sınırlar ve engel noktaları simgelenmiştir. Mobil robotun başlangıcı “beyaz o” ile en kısa yol güzergâhı üzerinde uğranan her nokta “kırmızı x” ile gösterilmiştir. En kısa yol güzergâhı “mavi” ile verilmiştir. Başlangıç noktasından her bir geçiş noktasına mesafeler sırasıyla 1, 2, 3, 4 nolu geçiş noktaları için 190, 308, 174, 202 olarak hesaplanmıştır. Bu durumda rasgele seçilen değerlerle oluşturulan 1. Senaryo için 3 nolu geçiş noktasının kullanılması en kısa yolu oluşturur.

2. *Senaryo*: Bu senaryoda ulaşılacak hedef, başlangıç noktasının bulunduğu katın bir alt katında bulunmaktadır. Bu senaryoda en kısa yol hesaplaması üç boyutta gerçekleştirilmiştir. Dijkstra algoritması, bulunulan katta başlangıç noktasından tüm noktalara olan mesafeleri hesapladığı için tüm geçiş noktalarına (her katta 4 geçiş) olan mesafeler, katlar arası mesafe ve hedef noktanın bulunduğu katta tüm geçiş noktalarından hedef noktaya olan mesafeler dikkate alınarak üç boyutlu kübik yüzeyde hesaplanır. Mesafeler hesaplanırken aynı kat yüzeyi için  $x$ - $y$  düzleminde Şekil 3’de verilen mesafeler dikkate alınırken katlar arası için  $z$  düzleminde her kat arası mesafe 20 birim olacak şekilde belirlenmiştir.

Tablo 5’de 2. *Senaryo* için verilen engel, başlangıç ve hedef noktaları için elde edilen güzergâh mobil robotun bulunduğu ve hedef noktanın yer aldığı bir alt kat için sırasıyla Şekil 5.a ve b’de sunulmuştur. 2. *Senaryo*’da başlangıç noktasından hedef noktasına güzergâhlar mobil robotun bulunduğu kat ve hedef noktanın bulunduğu için sırasıyla Tablo 6 ve 7’de verilmiştir.

Tablo 5. 2. *Senaryo* için rasgele seçilmiş engel, başlangıç ve hedef noktalarının koordinatları

	Mobil robotun olduğu kattaki engeller	Hedef noktanın olduğu kattaki engeller	Başlangıç noktası	Hedef noktası
Koordinatlar	(4:9,7) (4,8-11) (9,8:9) (10:14,9) (14,7:8) (11:15,11) (15,12:15) (11,12:15) (5:10,15) (5,16:17)	(6:8,6) (8,7:9) (6:7,9) (15:17,3) (15,4:7) (16:17,7)	(9,12)	(10,8)

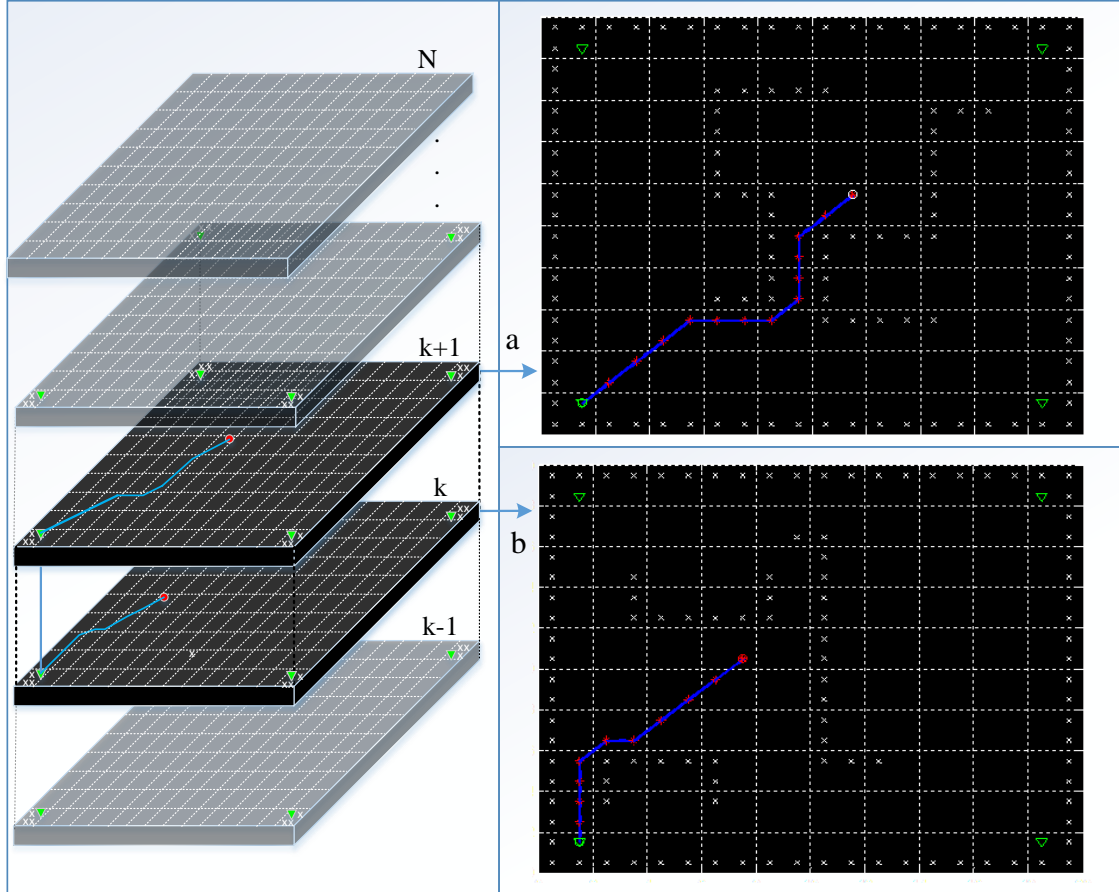


**Tablo 6.** 2. Senaryo için mobil robotun bulunduğu katta başlangıç noktasından geçiş noktalarına izlenecek güzergâh koordinatları

İzlenecek Güzergâhlar				
Adım No	1.Geçiş	2.Geçiş	3.Geçiş	4.Geçiş
1	9,12	9,12	9,12	9,12
2	10,11	10,11	8,12	8,13
3	11,10	11,10	7,12	7,14
4	12,10	12,10	6,12	6,14
5	13,10	13,10	5,12	5,14
6	14,10	14,10	4,12	4,15
7	15,9	15,10	3,11	4,16
8	15,8	16,11	3,10	4,17
9	15,7	16,12	3,9	3,18
10	15,6	16,13	3,8	2,19
11	16,5	16,14	3,7	
12	17,4	16,15	3,6	
13	18,3	16,16	3,5	
14	19,2	17,17	3,4	
15		18,18	3,3	
16		19,19	2,2	

**Tablo 7.** 2. Senaryo için hedef noktanın bulunduğu katta geçiş noktalarından hedef noktasına izlenecek güzergâh koordinatları

İzlenecek Güzergâhlar				
Adım No	1.Geçiş	2.Geçiş	3.Geçiş	4.Geçiş
1	10,8	10,8	10,8	10,8
2	11,7	11,9	9,7	9,9
3	12,6	12,10	9,6	8,10
4	13,5	13,10	9,5	7,10
5	14,4	14,10	9,4	6,10
6	14,3	15,10	8,3	5,10
7	15,2	16,11	7,2	4,9
8	16,2	16,12	6,2	3,10
9	17,2	16,13	5,2	3,11
10	18,2	16,14	4,2	3,12
11	19,2	16,15	3,2	3,13
12		16,16	2,2	3,14
13		17,17		3,15
14		18,18		3,16
15		19,19		3,17
16				3,18
17				2,19



Şekil 5. a. 2. Senaryo için, mobil robotun bulunduğu katta en kısa yol güzergâhı b. hedef noktanın bulunduğu katta en kısa yol güzergâhı

Şekil 5.a'da mobil robotun bulunduğu katta 1, 2, 3, 4 nolu geçiş noktalarına olan mesafeler Dijkstra arama algoritması tabanlı yapı kullanılarak sırasıyla 158, 174, 158, 110 birim olarak elde edilmiştir. Şekil 5.b' de hedef noktasının bulunduğu katta 1, 2, 3, 4 nolu geçiş noktalarından hedef noktaya olan mesafeler sırasıyla 120, 160, 122, 180 birim bulunmuştur. Hedef noktanın mobil robotun bulunduğu katın bir alt katında olduğu varsayılarak katlar arası mesafe de dikkate alınmıştır. Buna göre mobil robotun hedef noktaya ulaşmak için 1, 2, 3, 4 nolu geçişlerden her birini kullanması durumunda kat edeceği mesafeler sırasıyla 298, 354, 300, 310 birim olarak elde edilmiştir. Bu durumda rasgele seçilen değerlerle oluşturulan 2. Senaryo için 1 nolu geçiş noktasının kullanılması en kısa yolu oluşturur.

## 5. Sonuçlar ve tartışma

Bu çalışmada graf arama algoritmalarından Dijkstra algoritması bir mobil robotun kat içinde veya başka bir katta istenilen hedef noktaya engellerden sakınarak en kısa yoldan ulaşmasını sağlamak amacıyla kullanılmıştır. Dijkstra arama algoritması, başlangıç noktasından başlar ve noktanın etrafındaki 8 komşu için mesafe değerlerini hesaplayarak tüm noktaların giriş noktasına olan uzaklıklarını tespit eder. Bu yönüyle çalışmada katlar arası harekette her kat için 4 adet geçiş noktası olduğundan ve en kısa yolun elde edilmesinde her katta tüm geçişlere olan mesafelerin bulunması gerektiğinden Dijkstra algoritması tercih edilmiştir.

Farklı durumları içeren başlangıç, hedef ve engel noktaları için rasgele değerlerin kullanıldığı iki farklı senaryo oluşturulmuştur. 1. Senaryo bir kat içinde rasgele engellerin varlığında mobil robotun bir hedef noktaya en kısa yoldan gitmesini hedefler. Burada hedef noktası engellerin varlığında en kısa mesafeye sahip geçiş noktasıdır. Algoritma hangi geçişin hedef olacağını her birine olan mesafeleri hesaplayarak karar verir. 2. Senaryo' da mobil robotun bulunduğu katın dışında başka bir kattaki hedef noktasına engellerin varlığında en kısa yoldan ulaşması test edilmiştir. Mesafeler mobil robotun

bulunduğu katta geçişlere olan mesafeler, katlar arası mesafeler ve hedef noktasının bulunduğu katta geçiş noktalarından hedef noktasına olan mesafeler dikkate alınarak hesaplanmıştır.

Belirli alanlarda doğruluğu yüksek sonuç üreten Dijkstra algoritması çalışmada elde edilen en kısa yolların güvenilirliğini artırmıştır. Dijkstra algoritması ile tüm noktalara olan mesafeler hesaplandığı için hesaplama süresinin uzun olması dezavantajı bulunmasına rağmen bu çalışmada belirli bir alan uygulaması gerçekleştirilmiştir ve geçiş noktalarının birden fazla olması her birine olan mesafelerin hesaplanması gerekliliğinden dolayı bu dezavantajı büyük oranda ortadan kaldırmıştır. Gelecek çalışmalarda Dijkstra algoritmasının geçiş noktalarının birden fazla olması durumunda hesaplama süresinin azaltılmasına yönelik iyileştirmeler hedeflenmektedir.

## Kaynaklar

- [1] Galán-García J.L., Aguilera-Venegas G., Galán-García M.Á., Rodríguez-Cielos P. 2015. A new Probabilistic Extension of Dijkstra's Algorithm to simulate more realistic traffic flow in a smart city. *Applied Mathematics and Computation*, 267: 780-789.
- [2] Deng Y., Chen Y., Zhang Y., Mahadevan S. 2012. Fuzzy Dijkstra algorithm for shortest path problem under uncertain environment. *Applied Soft Computing*, 12 (3): 1231-1237.
- [3] Dobrilovic D., Jevtic V., Beker I., Stojanov Z. 2012. Shortest-path based model for warehouse inner transportation optimization. In *Applied Computational Intelligence and Informatics (SACI)*, 7th IEEE International Symposium. 63-68.
- [4] Chen Y.Z., Shen S.F., Chen T., Yang R. 2014. Path optimization study for vehicles evacuation based on Dijkstra algorithm. *Procedia Engineering*, 71: 159-165.
- [5] Garcia M., Viguria, A., Ollero A. 2013. Dynamic graph-search algorithm for global path planning in presence of hazardous weather. *Journal of Intelligent & Robotic Systems*, 1-11.
- [6] Yershov D.S., LaValle S.M. 2011. Simplicial Dijkstra and A\* algorithms for optimal feedback planning. In *Intelligent Robots and Systems (IROS)*, IEEE/RSJ International Conference. 3862-3867.
- [7] Jiang J.R., Huang H.W., Liao J.H., Chen S.Y. 2014. Extending Dijkstra's shortest path algorithm for software defined networking. In *Network Operations and Management Symposium (APNOMS)* IEEE, 16th Asia-Pacific, 1-4.
- [8] Djojo M.A., Karyono K. 2013. Computational load analysis of Dijkstra, A\*, and Floyd-Warshall algorithms in mesh network. In *Robotics, Biomimetics, and Intelligent Computational Systems (ROBIONETICS)*, IEEE International Conference, 104-108.
- [9] Kang H.I., Lee B., Kim K. 2008. Path planning algorithm using the particle swarm optimization and the improved Dijkstra algorithm. In *Computational Intelligence and Industrial Application, PACIIA'08. Pacific-Asia Workshop IEEE*, 2, 1002-1004.
- [10] Fadzli S.A., Abdulkadir S.I., Makhtar M., Jamal A.A. 2015. Robotic indoor path planning using dijkstra's algorithm with multi-layer dictionaries. In *Information Science and Security (ICISS)*, 2nd International Conference, 1-4.
- [11] Zhang D., Wei Z., Kim J.H., Tang S. 2010. An optimized Dijkstra algorithm for Embedded-GIS. In *Computer Design and Applications (ICDDA)*, International Conference, 1: 147-150.
- [12] Yin C., Wang H. 2010. Developed Dijkstra shortest path search algorithm and simulation. In *Computer Design and Applications (ICDDA)*, International Conference, 1: 116-119.
- [13] [http://www.zafercomert.com/Medya/2015\\_05\\_11\\_2\\_121\\_69f9a888.pdf#viewer.action=download](http://www.zafercomert.com/Medya/2015_05_11_2_121_69f9a888.pdf#viewer.action=download) (Erişim tarihi: 01.03.2016).
- [14] Dijkstra E.W. 1959. A note on two problems in connexion with graphs. *Numerische mathematik*, 1 (1): 269-271.
- [15] Boğar E., Beyhan S. 2016. A Hybrid Genetic Algorithm for Mobile Robot Shortest Path Problem, *International Journal of Intelligent Systems and Applications in Engineering*, 4: 264-267.
- [16] Wang H., Yu Y., Yuan Q. 2011. Application of Dijkstra algorithm in robot path-planning. In *Mechanic Automation and Control Engineering (MACE)*, Second International Conference IEEE, 1067-1069.
- [17] Ferone D., Festa P., Guerriero F., Laganà D. 2016. The constrained shortest path tour problem. *Computers & Operations Research*, 74: 64-77.

---

*Araştırma Makalesi / Research Article*

---

## **Dizel Bir Motorda Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> İlaveli Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Termal Bariyer Kaplamalarının Egzoz Emisyonlarına Etkisi**

Erdoğan VURAL<sup>1</sup>, Serkan ÖZEL<sup>\*2</sup>

<sup>1</sup>Adnan Menderes Üniversitesi, Germencik Yamantürk MYO, Aydın

<sup>2</sup>Bitlis Eren Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Bitlis

---

### **Öz**

Bu çalışmada, içten yanmalı tek silindirli dört zamanlı bir dizel motor piston ve supap yüzeylerine, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+%25Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+%50Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+%75 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> seramik tozları plazma sprey yöntemi kullanılarak kaplanmıştır. Kaplama uygulanmış motor ile standart motor egzoz gaz sıcaklıkları açısından kıyaslandığında, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+%75Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tozu ile kaplı motorda %10.01 oranında sıcaklık artışı gözlenmiştir. Kaplama uygulanmış motor ile standart motorun egzoz emisyon değerleri kıyaslandığında, HC emisyonlarında en yüksek %18.33 oranında, CO emisyonlarında en yüksek %24.32 oranında, is (duman) emisyonlarında en yüksek %9.05 oranında azalma Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+%75Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tozu ile kaplanan motorda tespit edilmiştir. Ayrıca, CO<sub>2</sub> emisyonlarında en düşük %1.97 oranında, NO<sub>x</sub> emisyonlarında ise en düşük %2.89 oranında artış Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tozu ile kaplı motorda tespit edilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Egzoz emisyon, Termal bariyer kaplama, Piston, Supap, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

---

## **The Effect of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Added Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Thermal Barrier Coatings on Exhaust Emissions at a Diesel Engine**

### **Abstract**

In this study, an internal combustion four-stroke diesel engine was coated with Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+ 25% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+ 50% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+ 75% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ceramic powders on the piston and valve surfaces using the plasma spray method. Compared with the coated engine and the standard engine exhaust gas temperatures, a temperature increase of 10.01% was observed in the Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+ 75% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dust coated engine. When comparing the coated engine and the exhaust emission values of the standard engine, HC emissions with 18.33%, CO emissions with 24.32% and smoke emissions with 9.05% were identified as the highest decreases on Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+ 75% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dust covered engine. In addition, CO<sub>2</sub> and NO<sub>x</sub> emissions with the minimum increases of 1.97% and 2.89% were found on the Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> coated engine respectively.

**Keywords:** Exhaust emission, Thermal barrier coating, Piston, Valve, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

---

### **1. Giriş**

Günümüz taşıtlarında beklenen en büyük ihtiyaçlardan biride yakıt tüketimi ve verimliliğidir. Bunun yanında taşıtlardan kaynaklanan çevre kirliliği ve bunun önlenmesine yönelik araştırmalar önemli bir çalışma alanı oluşturmaktadır. İçten yanmalı motorlarda yanma sonu çıkan emisyonlar küresel ısınma ve iklim değişiklikleri üzerinde önemli bir etkiye sahiptir ve bu emisyonların azaltılmasına yönelik çalışmalar çevre kirliliğinin azaltılmasında faydalı olurken aynı zamanda ülke ekonomisine katkı sağlamaktadır [1, 2].

İçten yanmalı motorlarda yakıt/hava karışımının yanmasıyla birlikte oluşan ısı enerjisi mekanik enerjiye dönüşmektedir ve teorik olarak termodinamik açıdan bakıldığında %100 verime yaklaşabilir. Fakat uygulamada içten yanmalı motorlar yakıtın üçte birini faydalı enerjiye, geri kalanını ise soğutucu ve egzoz sitemine termal enerji olarak aktarır [3]. Bu nedenle, motorun termal verimini arttırmak için

---

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

Geliş Tarihi: 15.05.2018, Kabul Tarihi:09.10.2018

yanma odası elemanları seramik malzemeler ile kaplanmakta, buna da TBK (termal bariyer kaplama) motor denilmektedir. TBK motorlar LHR (düşük ısı kayıplı motorlar) olarak tanımlanmaktadır. LHR motorun yanma odası elemanlarının yalıtılması, silindir içerisindeki gaz ve silindir gömleği arasındaki ısı transferini düşürmekte, yanma odasında oluşan ısının soğutucuya gitmesini önleyerek kontrol altında tutmak ve enerjiyi faydalı şekilde geri kazanmasını sağlamaktadır [4-6].

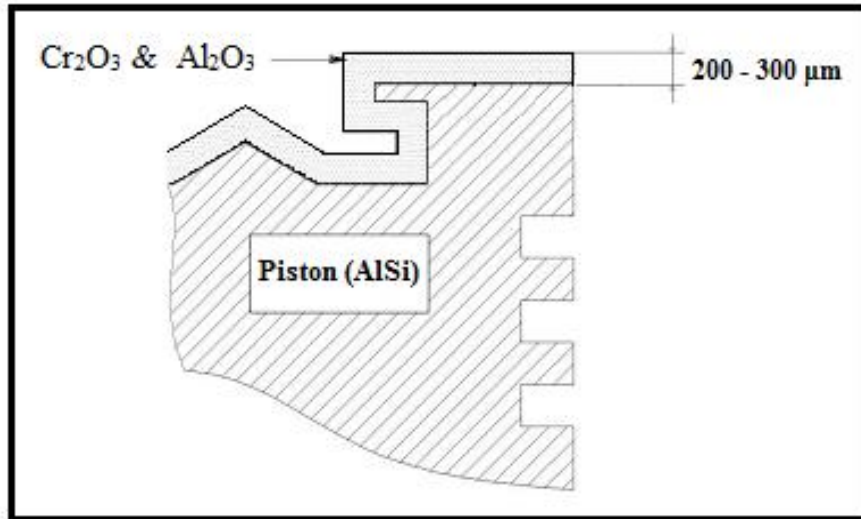
Yanma odası elemanlarının seramik malzeme ile kaplanmasıyla, silindirler içerisindeki sıcaklıklar yükselmekte motor verimliliği, ısı salınım oranı, özgül yakıt sarfiyatını iyileştirirken, emisyonların azaltılmasında hayati bir rol oynamaktadır [7, 8].

İçten yanmalı motorların, yanma odası elemanlarının üst tabakaya intermetalik malzeme ile kaplama yapılabilmesi için uygulanan yöntemlerden biride plazma sprej kaplama yöntemidir. Plazma sprej yöntemi, yüksek birikimi, düşük maliyet ve yüksek esneklik değerlerine sahip olması uygulanabilirliğinin kolaylığı ve hızlı bir yöntem olduğundan, kaplama esasına yönelik intermetalik kaplamalarda en çok uygulanan yöntemlerden biridir [9-11].

Bu deneyde; hava soğutmalı tek silindirli içten yanmalı bir dizel motor pistonu ve supap yüzeyleri plazma sprej yöntemi ile  $Cr_2O_3$ ,  $Cr_2O_3+\%25Al_2O_3$ ,  $Cr_2O_3+\%50Al_2O_3$  ve  $Cr_2O_3+\%75 Al_2O_3$  seramik tozları ile kaplanarak egzoz emisyon ölçümleri yapılmıştır. Kaplama uygulanmış motor ile standart motora ait egzoz emisyon değerleri kıyaslanarak, uygulanan kaplama tabakalarının egzoz emisyonları üzerine olan etkileri araştırılmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

$Cr_2O_3$  tozu içerisinde ağırlıkça %25, %50 ve %75 oranlarında  $Al_2O_3$  ilave edilerek mekanik karıştırıcı ile 45 dev/dk hızda 30 dk. süre ile homojen olarak karıştırılmıştır.  $Cr_2O_3$  ve  $Al_2O_3$  ilave edilerek elde edilen toz karışımları ile plazma püskürtme yöntemi kullanılarak 200 ile 300  $\mu m$  arasında değişen kalınlıklarda kaplanmıştır. Kaplama yapılmış pistonun şematik görünümü Şekil 1'de görülmektedir. Toplam kaplama kalınlığı, püskürtülen malzemenin gerilim sınırlamalarına dayalı olarak değişmektedir [12, 13]. Deneylerde KAMA170F markalı tek silindirli içten yanmalı dizel motor kullanılmıştır. Bu motora ait teknik özellikler Tablo 1'de verilmiştir. Motorda kullanılan yakıtın özellikleri Tablo 2'de verilmiştir.



Şekil 1. Kaplama yapılmış pistonun şematik resmi.

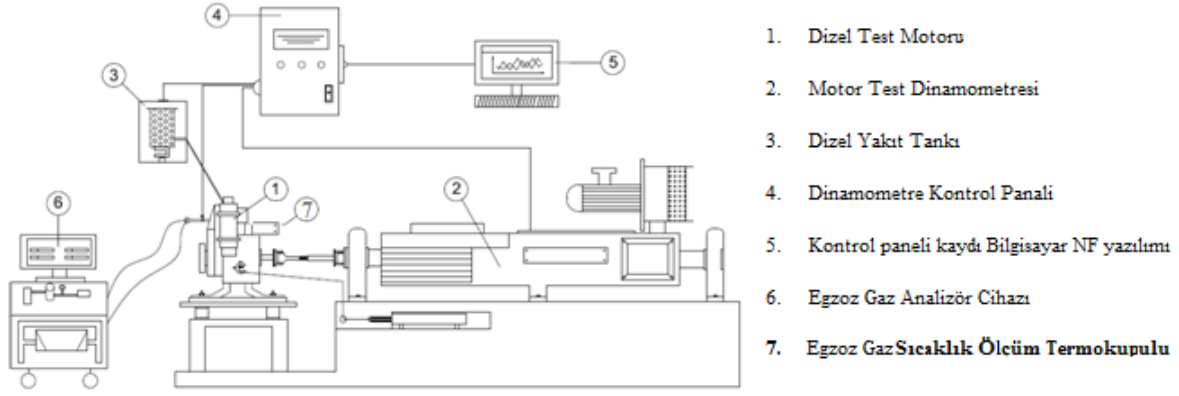
**Tablo 1.** Deney motorunun teknik özellikleri.

<b>KAMA170F marka, 4 zamanlı direk püskürtmeli, dizel motor</b>	
Silindir Sayısı	1
Silindir Çapı (mm)	70
Stroke (mm)	57
Silindir Hacmi (cc)	219
Kompresyon Oranı	20/1
Maksimum Güç (kW)	3,72
Maksimum Tork (N.M / rpm)	13
Supap Sistemi	Üstten Kamlı, 2 supap
Maximum engine speed (rpm)	3600
Depo Hacmi (L)	2,2
Yakıt Tüketimi (g / Hp.hour)	185
Yağ Kapasitesi (L)	0,75

**Tablo 2.** Shell fuelsave diesel yakıtının fiziksel ve kimyasal özellikler.

Görünüm	Sarı. Soluk sap rengi.. Renksiz. Sıvı
Koku	Reodorant içerebilir..
İlk Kaynama Noktası ve Kaynama Aralığı	170 - 390 °C / 338 - 734 °F
Akma noktası	<= 6 °C / 43 °F
Parlama noktası	> 55 °C / 131 °F
Üst / alt Yanabilirlik ya da Patlama sınırları	1 - 6 %(V)
Kendiliğinden ateşleme sıcaklığı	> 220 °C / 428 °F
Buhar basıncı	< 0,1 hPa 'de 20 °C / 68 °F
Yoğunluk	0,82 - 0,845 g/cm <sup>3</sup> 'de 15 °C / 59 °F
Bölünme katsayısı: noktanol/su	3 - 6
Kinematik viskozite	2 - 4,5 mm <sup>2</sup> /s 'de 40 °C / 104 °F

Deneylerde Netfren marka, 26 kW gücünde Föttinger Prensibine dayalı Hidrodinamik Dinamometre kullanılmıştır. Motor test dinamometresi 26 kW maximum ölçüm aralığında, frenleme torku max. 83 Nm., max. 5000 d/d ile çalışan ağırlığı 90 kg olan, Föttinger Prensibine dayalı Hidrodinamik Dinamometredir. Deney düzeneği, dizel test motoru, egzoz gaz analizör cihazı, fren mekanizması, dinamometre, termometre, yakıt deposu ve kontrol ünitesinden oluşmaktadır. Egzoz gaz sıcaklıkları, egzozun çıkış kısmına yerleştirilen dinamometreye ait termokupul aracılığıyla ölçülmüştür. Deney düzeneği şematik resmi Şekil 2'de gösterilmektedir.



Şekil 2. Deney düzeneğinin şematik resmi.

Egzoz emisyon ölçümleri Mobydic Kombi Egzoz Gaz Analiz ve Dizel Duman Test Cihazı ile yapılmıştır. Emisyon test cihazının özellikleri Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 3. Mobydic Kombi egzoz gaz analizörünün özellikleri.

Ölçü	Ölçüm Aralığı	Hassasiyet
CO (% Vol.)	0...10,00	±0,06%
CO <sub>2</sub> (% Vol.)	0...20,00	±0,5%
NO <sub>x</sub> (ppm)	0...5000	±5
HC (ppm)	0...50000 n-hexan	±12
n (% Vol.)	0...100	OIML 0 standartlarına uygun

Deney sonuçları için standart motor sırasıyla farklı oranlardaki Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kaplama yapılmış motorlar takılarak her bir emisyon değeri için yaklaşık 50 farklı değer kayıt altına alınarak ortalama değeri sabitlenmiştir. Her bir farklı deney koşulu 1400, 1700, 2000, 2300, 2600, 2900 ve 3000 motor devirlerinde değişik yüklerde yapılmıştır. Deney motorlarının farklı hızlardaki yük miktarları Tablo 4'te verilmiştir. Alınan sonuçlar standart motor ile Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kaplama yapılmış motor verileri ile mukayese edilmiştir.

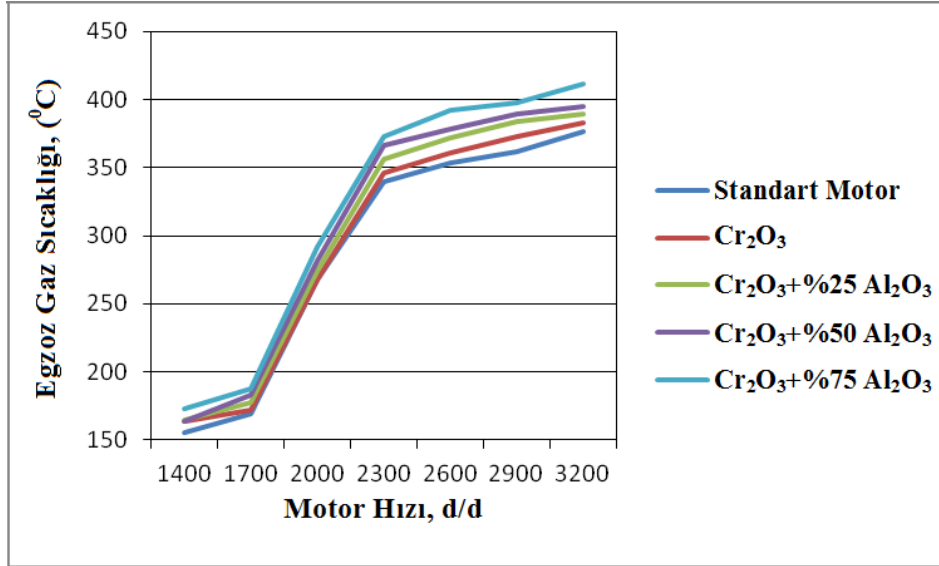
Tablo 4. Deney motorlarının farklı hızlardaki yük miktarı.

Deney Motorları	Farklı Motor Hızlarındaki Yük Miktarı (Nm)						
	1400 (d/d)	1700 (d/d)	2000 (d/d)	2300 (d/d)	2600 (d/d)	2900 (d/d)	3000 (d/d)
Standart	3,6	4,5	5,4	7,9	11,4	10,8	10,5
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,7	4,5	5,3	8	11,6	10,8	10,6
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +%25Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,86	4,62	5,44	8,72	11,98	10,85	10,7
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +%50Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,91	4,74	5,63	9,73	12,78	11,3	11,1
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +%75Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,46	5,83	6,7	11,3	12,95	12,5	11,92

### 3. Deneysel Sonuçlar ve Tartışma

#### 3.1. Egzoz Gaz Sıcaklığı

$\text{Cr}_2\text{O}_3$  ve  $\text{Al}_2\text{O}_3$  tozu ilave edilerek elde edilen toz karışımları ile kaplanmış motorların egzoz gaz sıcaklığının motor hızına göre değişimini veren grafik, Şekil 3'te verilmiştir.



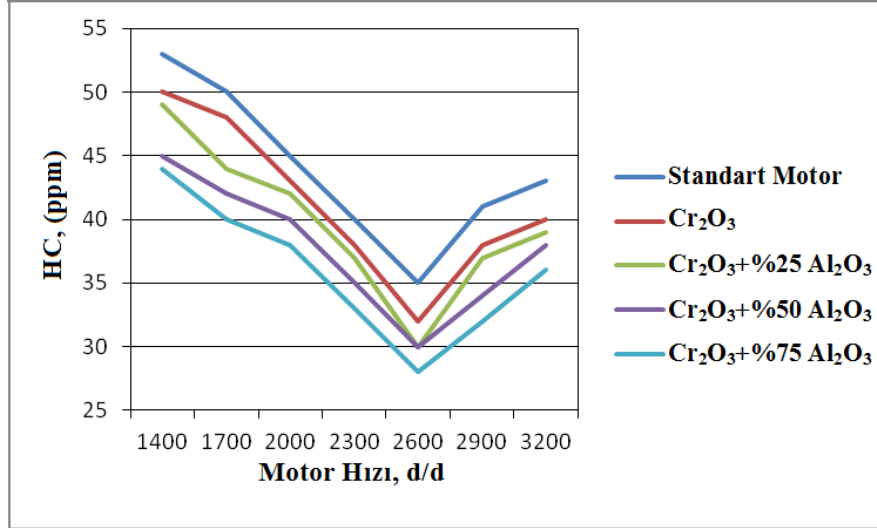
Şekil 3. Egzoz gaz sıcaklığının motor hızına göre değişimi grafiği.

Şekil 3'teki grafik incelendiğinde motor hızının artmasıyla birlikte, egzoz gaz sıcaklıklarında artış olmuştur. Motor hızının artmasıyla birlikte silindir yüzeylerindeki sürtünme, silindirler içerisine giren yakıt/hava karışımının artması daha fazla ısı oluşmasına neden olur [14]. Tüm devirler boyunca ortalamaya bakıldığında en düşük egzoz gaz sıcaklığı standart motorda görülürken, en yüksek sıcaklıklar  $\text{Cr}_2\text{O}_3 + \%75 \text{Al}_2\text{O}_3$  kaplamalı motorda gözlemlenmiştir. Kullanılan malzemelerin ısı iletkenlik katsayılarına bakıldığında, standart motor piston malzemesi olan AlSi malzemesinin  $155 \text{ W/mK}$ 'dir [15]  $\text{Al}_2\text{O}_3$  kaplama tozunun  $18 \text{ W/mK}$  [16],  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  kaplama tozunun ısı iletkenlik katsayısı  $32.94 \text{ W/mK}$  [17] olduğu görülmektedir. Bu nedenle, kaplamalara göre silindir içerisinde sıcaklıklar hapsedildiğinden, ısı iletkenlik katsayısı değeri en düşük olan  $\text{Al}_2\text{O}_3$  kaplama tozu oranı arttıkça silindir içi sıcaklıklar yükselmeye dolayısıyla egzoz gaz sıcaklıkları da yükselmektedir. Standart motor ile kaplamalı motorlar tüm devirlerdeki ortalaması egzoz gaz sıcaklıkları ile kıyaslandığında,  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  kaplamalı motorda %2.17,  $\text{Cr}_2\text{O}_3 + \%25 \text{Al}_2\text{O}_3$  kaplamalı motorda %4.69,  $\text{Cr}_2\text{O}_3 + \%50 \text{Al}_2\text{O}_3$  kaplamalı motorda %6.62 ve  $\text{Cr}_2\text{O}_3 + \%75 \text{Al}_2\text{O}_3$  kaplamalı motorda %10.018 egzoz gaz sıcaklıklarında artış tespit edilmiştir.

#### 3.2. Hidrokarbon (HC) Emisyonları

$\text{Cr}_2\text{O}_3$  ve  $\text{Al}_2\text{O}_3$  tozu ilave edilerek elde edilen toz karışımları ile kaplanmış motorların hidro karbon (HC) emisyonlarının motor hızına göre değişimini veren grafik, Şekil 4'te verilmiştir. Silindirler içerisinde yanma sonunda egzoz gazında hidro karbon (HC)'nin görülmesi yakıtın kısmen veya tamamının yanmamasıdır. HC emisyon oluşumunun nedeni, silindir içerisindeki bazı bölgelerde, hava/yakıt (H/Y) karışım oranının stabil olmaması durumunda çok az yakıt çok fazla hava veya çok fazla yakıt çok az hava olması sonucu eksik yanmanın meydana gelmesiyle, sıcaklık ile oksijen ( $\text{O}_2$ ) yetersizliğinin bir fonksiyonudur. Yakıt oranının artması, hava oranının azalması ile yeterli  $\text{O}_2$  olmamasıyla yakıt tam olarak yanmamakta ve HC oluşmasına neden olmaktadır [18].



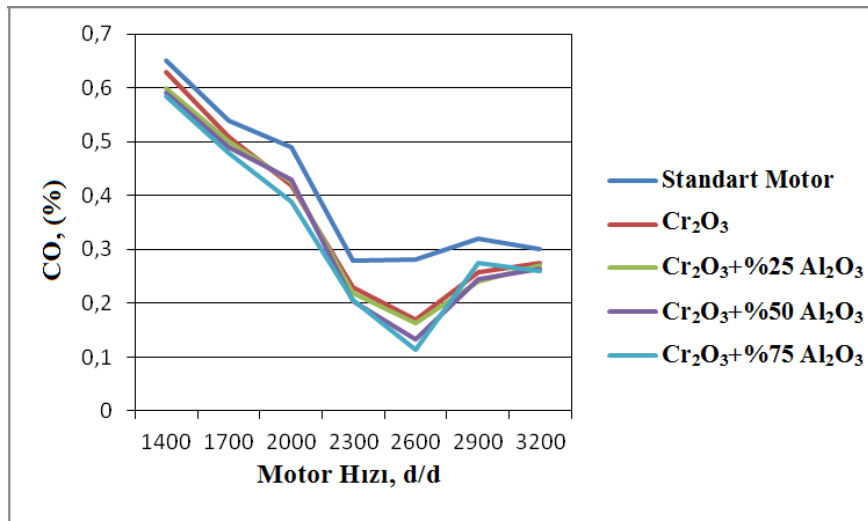


Şekil 4. Hidro karbon (HC) emisyonlarının motor hızına göre değişimi grafiği.

Şekil 4'teki grafik incelendiğinde tüm devirler boyunca en yüksek HC oranı standart motorda görülürken en düşük HC oranı Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+%75Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kaplamalı motorda görülmektedir. Deneydeki kaplamalı motorlar standart motordan daha düşük HC oranı vermektedir. Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kaplaması içerisindeki Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> oranı arttıkça HC oranının azaldığı görülmektedir. Bunun nedeninin Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> seramik malzemesinin termal iletkenlik katsayısının daha düşük olduğundan silindirler içerisindeki sıcaklıkların Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kaplama oranının artmasıyla birlikte sıcaklıklar artmakta HC oranının ise bu sıcaklıklarda daha iyi yanmasının sağlandığı, dolayısıyla HC oranlarının azalttığı, ayrıca Seramik kaplamalı motorlarda silindir içi sıcaklıkların artmasıyla birlikte, silindir içerisindeki yakıtın yanması iyileşmiş, iş başına düşen özgül yakıt tüketimini düşürdüğü ve tablo 4'de görüldüğü üzere maximum momentin görüldüğü 2600 d/d'da yakıtın tam yanma gerçekleştirdiği dolayısıyla da HC emisyonlarını azalttığı düşünülmektedir. Standart motor ile kaplamalı motorların tüm devirlerdeki HC emisyon ortalaması incelendiğinde, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kaplamalı motorda %5.862, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+%25Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kaplamalı motorda %9.44, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+%50Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kaplamalı motorda %14.44 ve Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+%75Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kaplamalı motorda %18.339 HC emisyonlarında azalma tespit edilmiştir.

### 3.3. Karbon Monoksit (CO) Emisyonları

Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tozu ilave edilerek elde edilen toz karışımları ile kaplanmış motorların karbon monoksit (CO) emisyonlarının motor hızına göre değişimini veren grafik, Şekil 5'te verilmiştir.

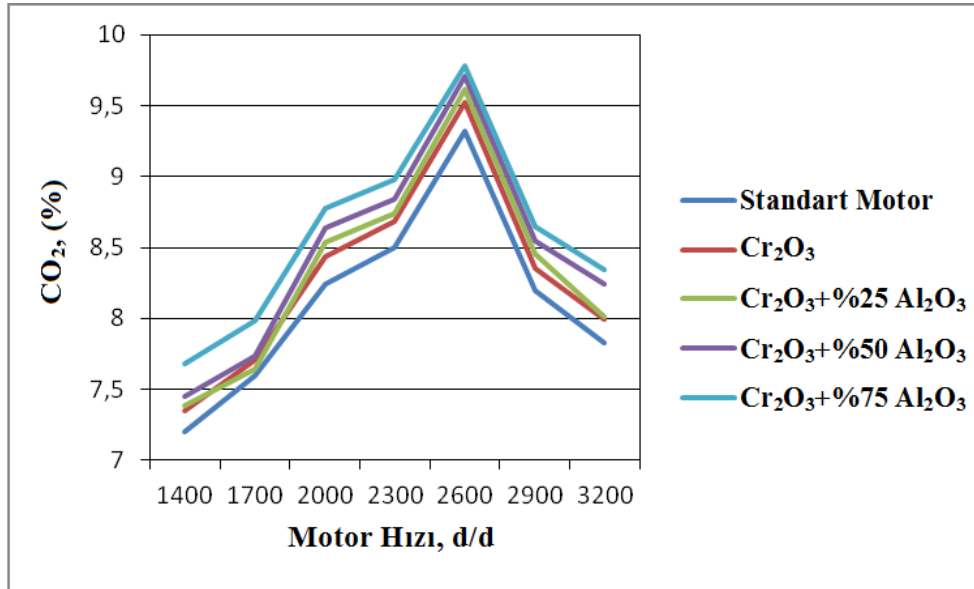


Şekil 5. Karbon monoksit (CO) emisyonlarının motor hızına göre değişimi grafiği.

CO oranının termal bariyer kaplamayla birlikte azaldığı görülmektedir. Silindir içi sıcaklıkların yanmayı hızlandırması CO değerlerini azaltmaktadır. Yüksek hızlarda CO oranının anlık artışının nedeni ise motor devrinin artmasıyla birlikte supapların açılma zamanının kısılması ve içeri yeterli havanın alınmaması CO oranını arttırmaktadır [19]. Tüm motor devirleri boyunca en düşük CO oranı  $\text{Cr}_2\text{O}_3+\%75\text{Al}_2\text{O}_3$  kaplamalı motorda görüldüğü, bunun nedeni ise maksimum motor torkunun en yüksek olduğu durumda silindir içi yanmanın en iyi gerçekleştiği, yakıt hava oranının en stabil olduğu durum düşünülmektedir. Standart motor ile kaplamalı motorlar tüm devirlerdeki ortalaması CO emisyonları ile kıyaslandığında,  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  kaplamalı motorda %14.88,  $\text{Cr}_2\text{O}_3+\%25\text{Al}_2\text{O}_3$  kaplamalı motorda %18.55,  $\text{Cr}_2\text{O}_3+\%50\text{Al}_2\text{O}_3$  kaplamalı motorda %21.72 ve  $\text{Cr}_2\text{O}_3+\%75\text{Al}_2\text{O}_3$  kaplamalı motorda %24.32 CO emisyonlarında azalma tespit edilmiştir.

### 3.4. Karbon Dioksit (CO<sub>2</sub>) Emisyonları

$\text{Cr}_2\text{O}_3$  ve  $\text{Al}_2\text{O}_3$  tozu ilave edilerek elde edilen toz karışımları ile kaplanmış motorların karbon dioksit (CO<sub>2</sub>) emisyonlarının motor hızına göre değişimini veren grafik, Şekil-6'da verilmiştir. İçten yanmalı motorlarda CO<sub>2</sub> emisyonu yanma esnasında ortaya çıkan renksiz, kokusuz direk insan sağlığına zararsız bir gazdır. Yakıt içerisinde bulunan karbon (C) atomunun silindirler içerisine alınan havadaki oksijenle birleşerek yanma esnasında CO<sub>2</sub>'yi oluşturmaktadır. Taşıt emisyonlarındaki en zararsız gaz olarak görülse de, CO<sub>2</sub>'nin sınır değerleri aşıldığında ozon ve sera etkisi oluşumuna neden olmaktadır. CO<sub>2</sub>'nin artmasıyla birlikte güneşten kaynaklanan uzun dalga boylu radyasyon tekrar uzaya yansımaları engellenmekte bununla birlikte yeryüzünün ısınmasına sıcaklığının artmasına bu nedenle iklim değişikliklerine neden olmaktadır [18, 20, 21].



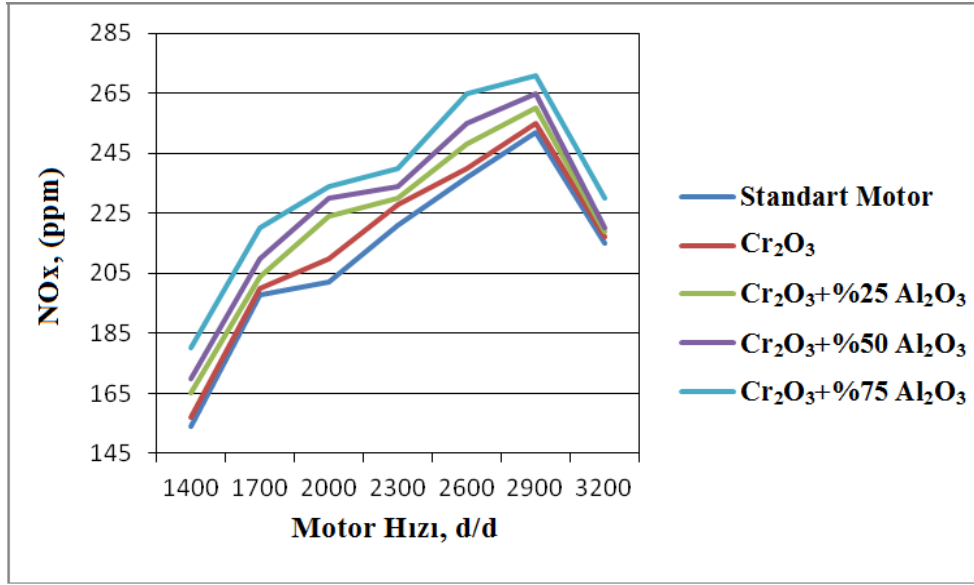
Şekil 6. Karbon dioksit (CO<sub>2</sub>) emisyonlarının motor hızına göre değişimi grafiği.

Şekil 6'daki grafik incelendiğinde, seramik kaplamaların artmasıyla birlikte CO<sub>2</sub> oranının arttığı görülmektedir. CO<sub>2</sub> emisyonunun artma nedeni silindirler içerisindeki yakıt/hava karışımının stabil yandığı düşünülmektedir. Düşük devirlerde yakıt oranının havaya oranına göre fazla olması CO<sub>2</sub> oranını azaltmakta, devrin artmasıyla birlikte maksimum momentin görüldü yanmanın en iyi gerçekleştiği kısımda hava oranının düşük devirlere göre artış göstermesi CO<sub>2</sub> oranını arttırdığı, daha sonraki yüksek devirlerde yakıt miktarının artmasıyla zengin karışım oluşturmakta, motor hızından dolayı yanma süresi azaldığından yakıt hava karışımı tam yanma gerçekleştirememekte ve dolayısıyla CO<sub>2</sub> oranını da azalttığı düşünülmektedir. Ayrıca CO ve CO<sub>2</sub> tamamlayıcı korelasyona sahiptir, yani CO emisyonunun artmasıyla CO<sub>2</sub> azalır [14, 22]. Standart motor ile kaplamalı motorların tüm devirlerdeki CO<sub>2</sub> emisyon ortalaması incelendiğinde,  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  kaplamalı motorda %1.97,  $\text{Cr}_2\text{O}_3+\%25\text{Al}_2\text{O}_3$  kaplamalı motorda

%2.55,  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ +%50 $\text{Al}_2\text{O}_3$  kaplamalı motorda %3.86 ve  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ +%75 $\text{Al}_2\text{O}_3$  kaplamalı motorda %5.48  $\text{CO}_2$  emisyonlarında artış olduğu tespit edilmiştir.

### 3.5. Azot Oksit (NO<sub>x</sub>) Emisyonları

$\text{Cr}_2\text{O}_3$  ve  $\text{Al}_2\text{O}_3$  tozu ilave edilerek elde edilen toz karışımları ile kaplanmış motorların azot oksit (NO<sub>x</sub>) emisyonlarının motor hızına göre değişimini veren grafik, Şekil-7'de verilmiştir. Normal şartlar altında havanın içindeki azot (N) yanma sonucu reaksiyona girmez. Ancak motor içindeki yanma esnasında ulaşılan yüksek sıcaklıklarda (1600 °C' nin üstünde) havanın içerisindeki azotun oksijen ile reaksiyona girmesi sonucu azot oksitler meydana gelmektedir. Azot oksitler içerisinde ana eleman olarak genellikle NO bulunmaktadır. Egzoz gazlarının daha sonra atmosfere atılması sonucu oksijen ile NO'nun bir kısmı NO<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub>'lere dönüşmektedir. Sonuç olarak azot oksit oluşumunu silindir içi sıcaklığın etkilediği, sıcaklık artışıyla birlikte azot oksidin hızla arttığı anlaşılmaktadır [5].

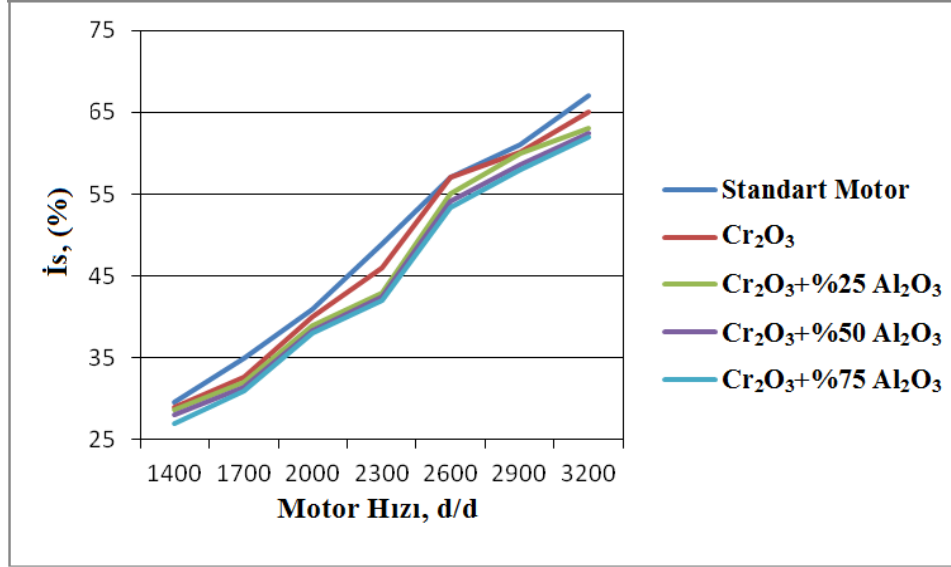


Şekil 7. Azot oksit (NO<sub>x</sub>) emisyonlarının motor hızına göre değişimi grafiği.

Şekil 7'deki grafik incelendiğinde, tüm devirler boyunca en yüksek NO<sub>x</sub> miktarı termal bariyer kaplamalı motorlarda olduğu görülmektedir. Termal bariyer kaplamalı motorun standart motora oranla ısıl geçirgenlikleri daha düşüktür. Buda yanma sonu sıcaklığını silindirler içerisine hapsedmesine neden olmaktadır. Böylece havadaki azot gazı yüksek sıcaklıklarda oksijenle reaksiyona girerek NO<sub>x</sub> emisyonlarını oluşturmaktadır. Standart motor ile kaplamalı motorların NO<sub>x</sub> emisyonları ortalaması kıyaslandığında,  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  kaplamalı motorda %2.89,  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ +%25 $\text{Al}_2\text{O}_3$  kaplamalı motorda %4.82,  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ +%50 $\text{Al}_2\text{O}_3$  kaplamalı motorda %7.09 ve  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ +%75 $\text{Al}_2\text{O}_3$  kaplamalı motorda %10.88 oranında arttığı tespit edilmiştir.

### 3.6. Is (n) Emisyonları

$\text{Cr}_2\text{O}_3$  ve  $\text{Al}_2\text{O}_3$  tozu ilave edilerek elde edilen toz karışımları ile kaplanmış motorların is (n) emisyonlarının motor hızına göre değişimini veren grafik, Şekil-8'de verilmiştir.



Şekil 8. İ̇s (n) emisyonlarının motor hızına göre değişimi grafiği.

Şekil 8'deki grafik incelendiğinde en yüksek is oranı tüm devirler boyunca standart motorda görülmekte, termal bariyer kaplamalı motorlar ise standart motora oranla daha az is emisyonları tespit edilmektedir. Dizel motorlarında silindir içinde sıvı halde bulunan yakıt damlası içindeki H<sub>2</sub> molekülleri, hızlı bir şekilde reaksiyona girmekte (oksijenle birleşmekte) ve geriye kalan C'nin yeterli O<sub>2</sub>'ni bulamadığından, yanamayıp is partikülü olarak dışarı çıkmaktadır. İ̇s oluşumunun başlıca nedeni, dizel yakıtının silindir içinde yeterli hava bulamaması, zamanında hızlı bir şekilde hava ile karışamaması ve buharlaşmamasıdır [5]. En düşük is emisyonu ise Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+%75Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kaplamalı motorda tespit edilmiştir. Standart motor ile kaplamalı motorlar tüm devirlerdeki ortalaması İ̇s emisyonları ile kıyaslandığında, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kaplamalı motorda %2.93, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+%25Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kaplamalı motorda %5.92, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+%50Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kaplamalı motorda %7.64 ve Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+%75Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kaplamalı motorda %9.05 is emisyonlarını azalttığı tespit edilmiştir.

Genel olarak incelendiğinde, seramik kaplamalı tüm motorlar standart motora oranla emisyon açısından daha iyi sonuçlar vermektedir. Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> seramik tozuna Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ilavesi arttıkça, egzoz gaz sıcaklıkları artmakta, CO ve is emisyonlarını azalmaktadır. Seramik kaplamalarla birlikte silindirler içerisine sıcaklığın hapsolmesi NO<sub>x</sub> emisyonlarının kısmen artışına sebep olmuştur. Bu doğrultuda NO<sub>x</sub> emisyonlarının azaltılmasına yönelik çalışmalar geliştirilerek emisyonların daha da iyileşmesi sağlanabilir. Isıl değeri düşük yada mazota katkı olarak yeni yakıtlar denenerek NO<sub>x</sub> düşürülebileceği düşünölmektedir.

#### 4. Sonuç ve Öneriler

Yapılan bu deneysel çalışmada, tek silindirli dört zamanlı bir içten motorunun piston ve supaplarının Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içerisine farklı oranlarda ilave edilen Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tozu ile kaplama yapılmış motorların egzoz gaz sıcaklıkları ve egzoz emisyon sonuçları standart motor ile kıyaslandığında řu sonuçlar elde edilmiştir.

- Egzoz gaz sıcaklığında, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+%75Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kaplamalı motorda %10.018 oranında en yüksek artış tespit edilmiştir.
- HC emisyonlarında, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+%75Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kaplamalı motorda %18.339 HC oranında en yüksek değerde azalma tespit edilmiştir.
- CO emisyonlarında, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+%75Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kaplamalı motorda %24.32 oranında en yüksek değerde azalma tespit edilmiştir.
- İ̇s emisyonlarında, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+%75Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kaplamalı motorda %9.05 oranında en yüksek değerde azalma tespit edilmiştir.
- CO<sub>2</sub> emisyonlarında, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kaplamalı motorda %1.97 oranda en düşük değerde artış olduğu tespit edilmiştir.

- NO<sub>x</sub> emisyonlarında, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kaplamalı motorda %2.89 oranda en düşük değerde artış olduğu tespit edilmiştir.

## Teşekkür

Bu çalışma Bitlis Eren Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından BEBAP 2014.15 nolu proje ile desteklenmiştir.

## Kaynaklar

1. Hanbey H. 2017. Investigation of the effects of tripropylene glycol addition to diesel fuel on combustion and exhaust emissions at an isolated diesel engine. *Energy Conversion and Management*. 142 (15): 62-68.
2. Tay K.L., Yang W., Zhao F., Yu W., Mohan B. 2017. Numerical investigation on the combined effects of varying piston bowl geometries and ramp injection rate-shapes on the combustion characteristics of a kerosene-diesel fueled direct injection compression ignition engine. *Energy Conversion and Management*. 136: 1-10.
3. Jerald T.L., Timothy A.C., Jacobs J. 2016. Energy distributions in a diesel engine using low heat rejection (LHR) concepts. *Energy Conversion and Management*. 130: 14-24.
4. Prasath B.R., Tamilporai P., Shabir M.F. 2010. Analysis of combustion, performance and emission characteristics of low heat rejection engine using biodiesel. *International Journal of Thermal Sciences*. 49 (12): 2483-2490.
5. Vural E. 2014. Tek Silindirli Dizel Motora Uygulanan Seramik Kaplamaların Motor Performans ve Egzoz Emisyonlarına Etkisinin İncelenmesi. Doktora Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.
6. Vural E., Özel S., Ozdalyan B. 2014. The investigation of microstructure and mechanical properties of oxide powders coated on engine pistons surface. *Optoelectronics And Advanced Materials – Rapid Communications*. 8 (5-6): 515-520.
7. Maser K., Hossain A.K. 2018. Biofuels and thermal barrier: A review on compression ignition engine performance, combustion and exhaust gas emission. *Journal of the Energy Institute*. Available online <https://doi.org/10.1016/j.joei.2018.02.005>.
8. Karthikayan S., Ganesan S., Vasanthakumar P., Sankaranarayanan G., Dinakar M. 2017. Innovative Research Trends in the Application of Thermal Barrier Metal Coating in Internal Combustion Engines. *Materials Today: Proceedings*. 4 (8): 9004-9012.
9. Sichani H.R., Salehi M., Edris H., Farani M.T. 2017. The effect of APS parameter on the microstructural, mechanical and corrosion properties of plasma sprayed Ni-Ti-Al intermetallic coatings. *Surface and Coatings Technology*, 309: 959-968.
10. Bounazef M., Guessasma S., Montavon G., Coddet C. 2004. Effect of APS process parameters on wear behaviour of alumina-titania coatings. *Mater. Lett.*, 58: 2451-2455.
11. Özel S., Vural E. 2016. The microstructure and hardness properties of plasma sprayed Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> coatings. *Journal Of Optoelectronics and Advanced Materials*, 18 (11-12): 1052- 1056.
12. Phillips B. A., Knapp J. K. 1995. Thermal spray coatings reduce wear and corrosion on calender rolls. *Tappi Journal*. October, 78 (10): 197-205.
13. Ramaswamy P., Seetharamu S., Varma K.B.R., Rao K.J. 2000. Thermo mechanical fatigue characterization of zirconium (8% Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - ZrO<sub>2</sub>) and mullite thermal barrier coatings on diesel engine components: effect of coatings on diesel engine performance. *Proceedings of the institution of mechanical Engineers, ProQuest Science Journals*. 214 (5): 729.
14. Vural E., Özel S. 2018. İçten Yanmalı Dizel Motorda Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Termal Bariyer Kaplamaların Motor Performansı Üzerine Etkisi. 14. Uluslararası Yanma Sempozyumu 25-27 Nisan, sayfa 374-378, Karabük Üniversitesi, Karabük/Türkiye.
15. Vural E., Ozer S. 2015. Thermal Analysis of a Piston Coated with SiC and MgOZrO<sub>2</sub> Thermal Barrier Materials. *International Journal of Scientific and Technological Research*. ISSN 2422-8702 (Online), 1: 7.

16. Özel S. 2009. Alüminyum alaşımı ve bronzu yüzeyine oksit ve karbür bileşiklerinin plazma sprey yöntemiyle kaplanması araştırılması. Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
17. DMİ. 2018. <https://www.memsnet.org/material/chromiumoxidecr2o3bulk/> (Erişim Tarihi: 24.04.2018)
18. Sal E., Hazar H., Sap S., Oner M.C., İlkılıç C. 2017. Exhaust Emission Analysis of Piston, Valve and Exhaust Pipe Chromium Carbide ( $Cr_3C_2$ ) Coated LPG Engine. International Advanced Technologies Symposium (IATS'17), 19-22 October, Elazığ, Turkey.
19. Cıvıvız M. 2005. Türboşarjlı bir dizel motorunun yanma odası yüzeylerinin  $Y_2O_3 - ZrO_2$  ile kaplanması performans ve emisyonlara etkileri. Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Selçuk Üniversitesi, Konya.
20. Ergeneman M., Arslan H., Mutlu M. 1997. Motorlu Taşıtlardan kaynaklanan Kirleticiler kitabı, İstanbul.
21. Atmanlı A, İleri E, Yüksel B. 2014. Experimental investigation of engine performance and exhaust emissions of a diesel engine fueled with diesel–n-butanol– vegetable oil blends. Energy Convers Manage, 81: 312-21.
22. Celik M. B. 2008. Experimental determination of suitable ethanol–gasoline blend rate at high compression ratio for gasoline engine. Applied Thermal Engineering, 28 (5-6): 396-404.

---

*Derleme Makalesi / Review Article*

---

## **Atıksuların Arıtılmasında Elektrokoagülasyon Uygulamaları**

Zinnur YILMAZ\*, Mustafa Bünyamin KARAGÖZOĞLU

*Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü, TR-58140, Sivas, Türkiye*

---

### **Öz**

Elektrokoagülasyon (EC), yüksek giderme etkinliği ile su ve atıksuların arıtımı açısından basit ve etkili bir yöntemdir. Bu yöntem, kimyasal oksijen ihtiyacı, bulanıklık, amonyak, renk ve katı madde gibi çeşitli kirleticilerin giderilmesinde potansiyele sahiptir. Elektrokoagülasyon yönteminin etkinliği elektrot türü, bağlantı tipi, akım yoğunluğu, işletme süresi ve pH gibi çeşitli faktörlere bağlıdır. Son yıllarda birçok araştırma özellikle çıkış atıksularındaki çevresel kısıtlamaların artması nedeniyle elektrokoagülasyonun kullanımına odaklanmıştır. Bu çalışmada EC yöntemi ile yapılan araştırmalar incelenerek EC proses performansını etkileyen faktörler belirlenmiştir (atıksu karakteristikleri, pH, iletkenlik, işletme değişkenleri, akım yoğunluğu ve arıtma süresi gibi). Çalışma, çeşitli su ve atıksulardaki kirleticilerin EC prosesi kullanılarak giderimleri açısından prosesi etkileyen faktörlerin tanımlanması, karşılaştırılması ve tartışılmasını amaçlamaktadır.

**Anahtar kelimeler:** Atıksu, Atıksu Arıtımı, Elektrokoagülasyon, Endüstri.

---

## **Electrocoagulation Applications in Wastewater Treatment**

---

### **Abstract**

Electrocoagulation (EC) is a simple and effective method for treatment of water and wastewater with high removal efficiency. This method has the potential to remove various pollutants such as chemical oxygen demand, turbidity, ammonia, color and solid matter. The effectiveness of the electrocoagulation method depends on various factors such as electrode type, connection type, current density, operating time and pH. In recent years, many researches have focused on the use of electrocoagulation, especially as environmental restrictions have increased in the output effluent. In this study, the factors that affect EC process performance have been determined by researching the EC method (wastewater characteristics, pH, conductivity, operating variables, current density and treatment time). The study aims to identify, compare and discuss the factors affecting the process in terms of the removal of contaminants from various water and wastewater by using the EC process.

**Keywords:** Wastewater, Wastewater Treatment, Electrocoagulation, Industry.

---

### **1. Giriş**

İnsan nüfusuna temiz içme suyu sağlanması bugün dünyanın en önemli problemlerinden birisidir. İnsan nüfusunun gün geçtikçe artması ile yeni tüketim modellerinin gelişmesiyle birlikte sanayi ve evsel atıklarının ve atıksularının toplam miktarındaki artışı nedeniyle önemli bir sorun haline gelmektedir [1, 2]. Atıksuların arıtımında yaygın olarak kullanılan arıtma yöntemleri genellikle biyolojik ve fizikokimyasal arıtma prosesleridir. Biyolojik arıtma yöntemleri bakteriye, küçük mikroorganizmalara dayanan doğal bir süreçtir. Fizikokimyasal arıtım ise genellikle kimyasal ilavesi gerektiren bir yöntemdir. Son yıllarda yapılan çalışmalarda elektrokimyasal teknolojiye dayanan umut verici ve kimyasal ilaveler gerektirmeyen mevcut tekniklerin geliştirilmesi üzerine yoğunlaşmıştır. Bunlar arasında elektrokoagülasyon, elektrofлотasyon, elektrodokantasyon ve diğerleri bulunmaktadır. Kimyasal madde gerektirmeyen fizikokimyasal arıtım yöntemlerinden birisi elektrokoagülasyondur (EC). EC prosesi kimyasal koagülasyon (CC) prosesine göre sağladığı çeşitli avantajlarından dolayı tercih edilen bir proses olarak karşımıza çıkmaktadır [3]. Son on yılda Avrupa ve Güney Amerikada

---

\*Sorumlu yazar: [zinnuryilmaz@cumhuriyet.edu.tr](mailto:zinnuryilmaz@cumhuriyet.edu.tr)  
Geliş Tarihi: 01.10.2018, Kabul Tarihi: 08.01.2019

metal içeren atıksuların arıtımı için bu prosesin daha fazla kullanıldığı görülmektedir [4]. Ek olarak gıda atıkları [5], yağ atıkları, boyalar [6], askıdaki partiküller [7], petrol atıkları [8], kimyasal ve mekanik patlama atıkları [9], deponi alanları sızıntı suyundan organik madde giderimi [10], polimerik atıklar [11], sentetik deterjan ve fosfat içeren atıksularının giderimi [12], maden atıkları [13], ağır metal içeren atıkların [14-16], kâğıt [17] ve tekstil endüstrisi [18] gibi çeşitli endüstriyel atıksuların arıtılmasında uygulanmış ve başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Teknoloji elektriksel güç üretimini en aza indirmek için atık giderim oranlarını en üst düzeye çıkarmak için optimize edilmiştir [3].

## 2. Elektrokoagülasyon (EC) Prosesi ve Temeli

EC prosesinde elektrotlarda hidroliz reaksiyonları sonucu oluşan metal hidroksit flokları sayesinde kısmi oksidasyon, koagülasyon, adsorpsiyon, çökeltme ve flotasyon işlemleri eşzamanlı olarak gerçekleşerek renk, türbidite ve Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ) giderimi sağlanmaktadır. EC, çözünebilir ve pıhtılaştırıcı özelliğe sahip metal bir elektrotun kullanıldığı elektrokimyasal atıksu arıtım sürecidir [20]. Temel olarak EC prosesi kullanılan çift metal (elektrot) ve çift taraflı (anot ve katot) düzenlenen düzenekle atıksu arıtma için kullanılan elektroliz işlemidir [3]. Yöntem kullanılan elektrot malzemesinin elektriksel olarak çözünmesiyle koagülantların oluşturulması prensibine dayanır [19]. EC prosesinin genel mekanizmasında koagülasyon, adsorpsiyon, absorpsiyon, çöktürme ve flotasyon prosesleri birlikte gerçekleşebilir [20]. Genellikle elektrokoagülasyon sonucunda seri olarak üç süreç oluşmaktadır.

- i- Elektrot yüzeylerindeki elektrolitik reaksiyonlar
- ii-Sıvı fazda pıhtılaşma (koagülasyonun) oluşumu
- iii- Koagülant üzerindeki çözünebilir ve ya kolloidal kirleticilerin adsorbe edilmesi, çöktürme yoluyla veya yüzdürme yoluyla uzaklaştırmadır [21,22].

Elektrot malzemesi olarak temini kolay ve ucuz olan alüminyum ( $Al^{+3}$ ) ve demir ( $Fe^{+2}$  veya  $Fe^{+3}$ ) en çok tercih edilen malzemelerdir [19]. Metal tabaka çiftlerin biri anot ve diğeri katot olarak bilinir [23]. EC işleminde kullanılan elektrotlar monopolar veya bipolar olarak düzenlenebilir [24]. EC’de, pıhtılaşma ve çökeltme mekanizmaları sisteme kimyasal madde ilavesi ile değil, elektrokimyasal reaktördeki elektrotlar aracılığı ile gerçekleştirilmektedir [25]. Farklı elektrotların kullanılması atıksuda pH, yoğunluk, KOİ, amonyak, renk, askıda katı madde gibi kirleticilerin giderim mekanizmasına farklı etkiler oluşturur [26]. EC, kolloidlerin, süspansiyonların ve emülsiyonların elektriksel yüklerden etkilenmesi prensibine dayanır [27]. EC prosesinde genellikle ard arda üç aşamanın olduğu kabul edilmektedir; 1. Elektrolitik oksidasyonda çözünen elektrot ile koagülant türlerinin oluşumu, 2. Kirleticilerin destabilizasyonu, partikül süspansiyonu ve emülsiyonların kırılması, 3. Destablize edilmiş fazlarda flokların toplanmasıdır [21, 22]. Bir elektrot için bir EC hücresinde meydana gelen reaksiyonlar aşağıdaki gibidir. Elektrokimyasal süreçte anotta yükseltgenme, kattotta ise indirgenme olur. EC’nun mekanizması, ortamın kimyasal özelliğine ve iletkenliğine bağlıdır. [28]. Pozitif yüklü iyonlar, çözeltide negatif yüklü hidroksitler ile çekilir ve karşı iyonlar koagülasyona neden olduğu için dağılmış parçacıklara karşı daha güçlü bir çekim yapan iyonik hidroksitler üretilir.

Anodik reaksiyon: Metal çözünmesi:

Anot:

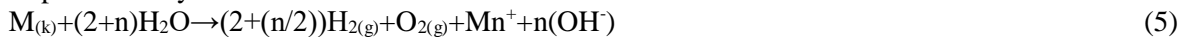


Katodik reaksiyon: Hidrojen gazı ve hidroksit iyonunun oluşması:

Katot:



Toplam reaksiyon:

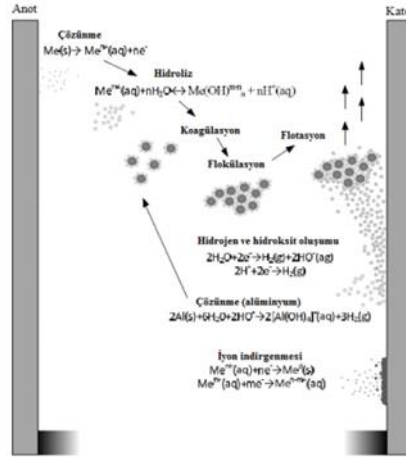


Çözeltide koagülant oluşması:





EC'de anot olarak çözünen demir veya alüminyum elektrotlar kullanılması halinde bu elektrotlar çözünerek çözültüye  $Al^{+3}$  ve  $Fe^{+2}$ ,  $Fe^{+3}$  iyonları vermekte olup, bu iyonlar sudaki hidroksil iyonları ile reaksiyona girerek çok az çözünen  $Al(OH)_3$ ,  $Fe(OH)_2$  ve  $Fe(OH)_3$  gibi metal hidroksitleri oluşturur. EC sırasında oluşan metal hidroksit partiküllerinin adsorpsiyon özellikleri çok fazladır [21,29,30,31]. Metal hidroksitler elektrostatik çekim yoluyla farklı kirlilik parametrelerini adsorbe ederek dolaylı olarak sudan çökeltme yoluyla giderimi sağlanacaktır [32]. Kolloidal partiküllerin pıhtılaşmaya yönelik elektrik alan potansiyeli, kimyasal madde kullanımından daha yüksektir. Ve elektrokoagülasyon işleminde pıhtılaşma oranını artırır [33]. EC yöntemiyle arıtım işlemleri çöktürme ve filtrasyon işlemlerinden sonra tamamlanabilmektedir [34]. EC prosesinin temel mekanizması Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. EC Metodunun Prensibi

Alışılmış koagülasyon flokülasyon uygulamalarına kıyasla EC, elektriksel alanın varlığından dolayı en küçük kolloid tanecikleri uzaklaştırabilme avantajına sahiptir [35]. Ayrıca oluşan çamur, temel olarak metal oksitleri veya hidroksitleri içermesiyle kolay çökebilir ve susuzlaştırılabilir bir yapı sergilemektedir [36]. EC işleminin etkinliğini etkileyen faktörler arasında elektrot tipi, elektrotlar arasındaki boşluk, elektrot sayısı, elektrolit büyüklüğü ve çalışma süresi gibi çeşitli faktörler vardır [37]. EC işlemi sırasında, katot oksitlenir (elektronları kaybeder) ve suyun içindeki flokların kolay şekilde çöktürülmesiyle birlikte arıtılma işlemi tamamlanır [38]. EC sistemi, koagülasyon flokülasyon uygulamalarına benzese de bu sistemlere kıyasla birçok avantajı vardır. EC teknolojisinin avantaj ve dezavantajları aşağıda tartışılmıştır.

#### EC'nin Avantajları;

1. EC basit ekipman gerektirir ve çalışma sırasında karşılaşılan sorunların üstesinden gelmek için yeterli işletme koşulları ile çalıştırılması kolaydır.
2. EC tarafından arıtılan atık su, berrak, renksiz ve kokusuz sudur.
3. EC tarafından oluşturulan çamur, esas olarak metalik oksitler / hidroksitler olduğu için sudan arındırılması kolay olma eğilimindedir. Her şeyden önce, düşük çamur üreten bir tekniktir.
4. EC tarafından oluşturulan floklar kimyasal floklara benzemektedir, ancak EC'den oluşan flok daha büyüktür, daha az bağlı su içerir, asite dayanıklı ve daha stabildir. Bu nedenle filtrasyon ile daha hızlı ayrılabilir.
5. EC, kimyasal işlemlerle karşılaştırıldığında daha az toplam çözünmüş katı madde (TDS) içeriğine sahip atık su üretir. Bu durum ise eğer su tekrar kullanılacaksa düşük TDS seviyesi düşük olduğu için su geri kazanım maliyetine katkıda bulunacaktır.
6. EC prosesi, en küçük kolloidal partiküllerin bile giderilmesinde büyük avantaja sahiptir. Uygulanan elektrik alan, bunları daha hızlı harekete geçirir ve böylece koagülasyonu kolaylaştırır.
7. EC süreci kimyasalların kullanılmasını önler ve bu nedenle fazla kimyasalların nötrale edilmesi ile atık suların kimyasal pıhtılaşması kullanıldığında olduğu gibi yüksek konsantrasyonda ilave edilen kimyasal maddelerin neden olduğu sekonder kirlenme olasılığı yoktur.

8. Elektroliz sırasında üretilen gaz kabarcıkları, kirletici maddenin daha kolay konsantre edilebildiği, toplanabildiği ve çözeltinin üst yüzüne çıkarılabileceği özelliklerindedir.

9. EC hücresindeki elektrolitik prosesler, hareketli parça olmadan elektriksel olarak kontrol edilir, böylece daha az kontrol gerektirir.

10. EC prosesi, elektriğin mümkün olmadığı kırsal alanlarda uygun bir şekilde kullanılabilir, üniteye bağlı bir güneş paneli, işlemi gerçekleştirmek için yeterli olabileceğinden elektriğin mümkün olmadığı yerlerde kullanılabilir [4].

EC'nin Dezavantajları;

1. "Kullanılan elektrotlar" oksidasyon sonucunda atık suda çözülür ve düzenli olarak değiştirilmeleri gerekir.

2. Elektrik kullanımı birçok yerde pahalı olabilir.

3. EC ünitesinin verim kaybına yol açan katot üzerinde geçirimsiz bir oksit film oluşturulabilir.

4. Atıksu süspansiyonunun iletkenliği yüksek olması gereklidir

5. Jelatimsi hidroksit bazı durumlarda çözündürme eğilimi gösterebilir [4].

### 3. Elektrokoagülasyon Prosesi Uygulamaları

İçmesuyu, kağıt sanayi, hastane, çamaşırhane, restoran atıksular, tekstil, patates cipsi fabrikası, mezbahane atıksuyu gibi çeşitli atıksuların arıtılmasında EC prosesi kullanılmaktadır. EC işlemleri, arıtımı verimliliğini belirlemek için farklı tipte elektrotlar üzerinde gerçekleştirilmiştir. Birçok çalışmada elektrot tipi, pH, akım yoğunluğu gibi EC arıtma performanslarını etkileyen faktörleri incelenmiştir. Araştırmacılar yapılan çalışmalar sonucunda ucuz ve kolay bulunması nedeniyle alüminyum ve demir elektrotun kullanılmasının en iyi seçim olduğunu belirtmiştir.

#### 3.1. Tekstil atıksularında elektrokoagülasyon prosesi uygulamaları

Tekstil endüstrisi atık sularında KOİ/BOİ5 (biyokimyasal oksijen ihtiyacı) oranı 3-4 arasında değişmekte olup, bunun anlamı biyolojik olarak zor ayrışabilirliktir [39]. Rengi meydana getiren boyalar, biyolojik olarak parçalanmamaları ve canlılar üzerinde potansiyel toksidite oluşturmaları nedeni ile atıksu arıtımında problem yaratmaktadır. Boyama sırasında kullanılan kimyasal maddeler, kalıcı ve biyolojik olarak ayrışmasının zor olması nedeniyle biyolojik ve fizikokimyasal arıtma proseslerine karşı dirençli olup bu tip arıtma yöntemleri ile giderilememektedir [40,41]. Yapılan çalışmalarda EC prosesi ile tekstil atıksuları arıtımında yüksek KOİ, renk ve bulanıklık giderme verimleri elde edilmiştir. Tekstil atıksularının arıtımında EC üzerine, kullanılan elektrotun cinsi (Alüminyum plaka ve Alüminyum folyodan plaka), başlangıç pH (7-9-10) ve ek olarak kullanılan yardımcı kimyasal maddenin (NaOH) etkisi araştırılmıştır. Analizlere göre  $600 \text{ A/m}^2$  akım yoğunluğunda ve pH 10'da alüminyum elektrot plaka ile numunenin renginde %98'lik bir giderim verimi sağlamıştır [42]. Başka bir çalışmada ise EC prosesinde; kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ), renk ve bulanıklık giderim verimi üzerine; başlangıç pH, akım yoğunluğu ve elektroliz süresinin etkisi incelenmiş ve yapılan deneysel çalışmalar sonucunda alüminyum elektrot kullanılarak, başlangıç pH:3, akım yoğunluğu  $100 \text{ A/m}^2$  ve elektroliz süresi 20 dk'da renk, KOİ ve bulanıklık giderme verimleri sırasıyla %98, %72,5 ve %98 olarak bulunmuştur [43]. Diğer bir çalışmada ise demir elektrotu kullanmış pH 7,  $100 \text{ A/m}^2$  akım yoğunluğu ve 10 dk elektroliz süresinde KOİ için %78 ve bulanıklık için %99 giderme verimleri elde edilmiştir [44]. Demir elektrotlarının kullanıldığı başka bir çalışmada ise bir önceki çalışmadaki aynı işletme şartları (pH:7, akım süresi:10dk, akım yoğunluğu  $100 \text{ A/m}^2$ ) [44] prosese uygulanmış ve deneyler sonucunda KOİ giderimi atıksuda %50 olarak hesaplanmıştır [37]. Tekstil atıksularının EC prosesi uygulamaları Tablo 1'de sunulmuştur. Tablo 1'deki çalışmalar karşılaştırıldığında tekstil atıksularının EC ile arıtımında ortam asidik olduğunda, alüminyum elektrotları kullanıldığında prosesin KOİ ve bulanıklık açısından giderme verimleri, demir elektrottan daha yüksektir, nötr ve zayıf alkali ortamlarda ise demirden daha verimli olduğunu görülebilir.

**Tablo 1.** Tekstil Atıksularında EC Prosesi Uygulamaları

pH	Akım Yoğunluğu (A/m <sup>2</sup> )	Akım Süresi (dk)	Elektrot Türü	Giderim Yüzdesi		
10	600	20	Al	98 <sup>(3)</sup>		[42]
3	100	20	Al	99 <sup>(2)</sup>	98 <sup>(3)</sup>	[43]
7	100	10	Fe	78 <sup>(1)</sup>	99 <sup>(2)</sup>	[44]
4	100	10	Al	60 <sup>(1)</sup>	98 <sup>(2)</sup>	
7	100	10	Al	50 <sup>(1)</sup>		[37]
7	30	15	Fe	65 <sup>(1)</sup>	83 <sup>(2)</sup>	[45]
5	30	15	Al	63 <sup>(1)</sup>	80 <sup>(2)</sup>	
7	100	60	Fe	92 <sup>(1)</sup>		[46]
6	100	60	Al	92 <sup>(1)</sup>		
10.6	--	3	Fe	84 <sup>(1)</sup>		[47]
7	30	15	Fe	65 <sup>(1)</sup>	83 <sup>(2)</sup>	[48]
5	30	5	Al	65 <sup>(1)</sup>	78 <sup>(2)</sup>	

(1)KOI, (2)Bulanık, (3)Renk

### 3.2. Kağıt sanayi atıksularında EC prosesi uygulamaları

Kağıt sanayisinde, kağıdın üretiminin her aşamasında su kullanılmakta ve aşırı bir şekilde atıksu oluşmaktadır. Araştırmacılar EC prosesi ile kağıt sanayi atıksuları için genellikle elektrot tipi olarak alüminyum ve demir kullanmış ve pH 6-7.7 aralığında kirleticiler için maksimum giderme verimleri elde etmişlerdir. Kağıt sanayi atıksuyunun alüminyum elektrotu kullanarak EC prosesi ile arıtılması aşamasında 140 A/m<sup>2</sup> akım yoğunluğunda, pH 7'de ve 50 dk işletim süresinde KOI için %98 ve renk için %99 oranında giderme verimleri elde edilmiştir. [49]. Alüminyum elektrotunun kullanıldığı başka bir araştırmada ise 150 A/m<sup>2</sup> akım yoğunluğunda, pH 7'de ve 30 dk işletim süresinde KOI ve renk giderim verimleri sırasıyla %90 %94 oranında bulunmuştur [50]. Diğer bir çalışmada ise araştırmacılar, pH 6, 70 A/m<sup>2</sup> akım yoğunluğu ve 60 dk. akım süresinde kağıt atıksuyunda EC işlemi uygulamış ve KOI ile renk giderim hesaplarını yaparak en uygun elektrot tipini araştırmıştır. Araştırmada KOI ve renk giderimleri için alüminyum-alüminyum, alüminyum-demir, demir-alüminyum ve demir-demir elektrot tipleri kullanılarak deneyler yapılmış KOI giderimi için demir-demir elektrot çiftinde %85, renk için ise alüminyum-alüminyum elektrot çiftinde %88 giderme verimi elde etmişlerdir [17]. Kağıt sanayi atıksularında EC prosesi uygulamaları Tablo 2'de sunulmuştur. Tablo 2'deki çalışmalar karşılaştırıldığında kâğıt sanayi atıksularının EC ile arıtımında ortam nötral olduğunda ve alüminyum elektrotları kullanılarak prosenin KOI ve renk açısından giderme verimlerinin daha yüksek olduğu söylenebilir.

**Tablo 2.** Kağıt sanayi atıksularında EC prosesi uygulamaları

pH	Akım Yoğunluğu (A/m <sup>2</sup> )	Akım Süresi (dk)	Elektrot Türü	Giderim Yüzdesi		
7	140	50	Al	98 <sup>(1)</sup>	99 <sup>(2)</sup>	[49]
7	150	30	Al	90 <sup>(1)</sup>	94 <sup>(2)</sup>	[50]
7.50	48	7.5	Al	75 <sup>(1)</sup>		[51]
6	70	60	Al	72 <sup>(1)</sup>	88 <sup>(2)</sup>	[17]
6	70	60	Al-Fe	79 <sup>(1)</sup>	82 <sup>(2)</sup>	
6	70	60	Fe-Al	80 <sup>(1)</sup>	65 <sup>(2)</sup>	
6	70	60	Fe	85 <sup>(1)</sup>	50 <sup>(2)</sup>	
7.7	100	90	Al	68 <sup>(1)</sup>	46 <sup>(3)</sup>	[52]
7.5	77	5	Fe	56 <sup>(1)</sup>		[53]

(1)KOI, (2)Renk, (3)Çözünmüş Organik Karbon

### 3.3. Hastane atıksularının gideriminde EC prosesi uygulamaları

Hastane atıksuları, en tehlikeli kirlilik türlerinden biridir. Bu atıksular, bakteriler, virüsler ve parazitler gibi patojenler, ayrıca tehlikeli kimyasal bileşikler, farmasötik bileşikler ve radyoaktif izotoplar ile kirlenmiş sulardır. Araştırmacılar EC prosesi ile hastane atıksuları için elektrot türü olarak alüminyum, demir ve çelik kullanmış ve deneyler pH 3-7.56 aralığında gerçekleştirilerek Toplam Organik Karbon (TOK) ve KOI için maksimum giderme verimlerini elde etmişlerdir. Hastane atıksuyunun EC prosesi ile arıtımında demir, alüminyum ve çelik elektrotları kullanarak TOK için giderme verimlerini hesaplanmış ve en yüksek verimin pH 7.56, 24.5 A/m<sup>2</sup> akım yoğunluğunda ve 20 dk elektroliz süresinde %99 giderme verimi ile paslanmaz çelik elektrotta elde etmişlerdir. [54]. Bir çalışmada ise pH 6.8'de 122 A/m<sup>2</sup> akım yoğunluğunda, 75 dk akım süresince demir elektrotları kullanarak %100 oranında KOI giderimi elde edilmiştir [28]. Bu çalışmaya yakın koşullar olarak yapılan diğer bir çalışmada ise pH 7.1'de, 130 A/m<sup>2</sup> akım yoğunluğunda, 9 dk akım süresinde demir elektrotu kullanarak %96 oranında KOI giderim verimi elde edilmiştir. [55]. Hastane atıksularında EC prosesi ile arıtım uygulamaları Tablo 3'te sunulmuştur. Yapılan çalışmaların sonuçlarına baktığımızda EC prosesinin, hastane atıksularındaki organik kirleticileri gidermek için etkili bir arıtım yöntemi olduğunu göstermiştir.

**Tablo 3.** Hastane atıksularında EC prosesi uygulamaları

pH	Akım Yoğunluğu (A/m <sup>2</sup> )	Akım Süresi (dk)	Elektrot Türü	Giderim Yüzdesi	
7.56	44.6	20	Fe	98 <sup>(2)</sup>	[54]
5.44	54.4	20	Al	98 <sup>(2)</sup>	
7.56	24.5	20	St	99 <sup>(2)</sup>	
6.8	122	75	Fe	100 <sup>(1)</sup>	[28]
7.1-7.3	130	9	Fe	96 <sup>(1)</sup>	[55]
3	30 V	60	Fe	87 <sup>(1)</sup>	[56]
	12 V	34	Al	65 <sup>(1)</sup>	[57]

<sup>(1)</sup>KOI, <sup>(2)</sup>TOK

### 3.4. İçme sularında EC prosesi uygulamaları

Literatür incelemeleri sonucunda içme sularından EC prosesiyle kirleticilerin giderimi hakkında fazla sayıda çalışma bulunmamaktadır. İçmesularını EC prosesiyle arıtımında kirletici giderimi olarak çözülmüş organik madde (ÇOK), arsenik, nitrat ve bulanıklık üzerine çalışmalar mevcuttur. İçme suyu arıtımı için pH 7.9'da akım yoğunluğu 10 A/m<sup>2</sup>'de ve akım süresi olarak 3 dk sabit koşullarda elektrot türünü değiştirilerek bulanık giderimleri incelenmiş ve bu şartlar altında içme suyunda bulanık giderimi demir elektrotu için %96 ve alüminyum elektrotu için ise %99 olarak bulunmuştur [3]. İçme sularında arsenik gideriminde EC prosesi kullanarak yapılan bir çalışmada ise demir ve alüminyum elektrotları kullanmış, alüminyum elektrotu için pH 7'de, 2.5 A/m<sup>2</sup> akım yoğunluğunda ve 2.5 dk işletim süresinde %93.5, demir elektrotunun kullanıldığı deneylerde ise 6.5 pH'da, 2.5 A/m<sup>2</sup> akım yoğunluğunda ve 2.5 dk akım süresinde %94'lük giderme verimleri elde edilmiştir [58]. Benzer bir çalışmada ise aynı pH'larda (demir elektrotu için pH 6.5; alüminyum elektrotu için pH: 7) ve aynı akım yoğunluğunda (2.5 A/m<sup>2</sup>) demir elektrotu için 12.5 dk, alüminyum elektrotu için 15 dk akım süresi boyunca demir elektrotu kullanılan EC işleminde arsenik giderimi %93.5, alüminyum elektrotunda ise %96'luk bir giderme verimleri bulunmuştur [59]. İçme sularında EC prosesi uygulamaları Tablo 4'te verilmiştir.

**Tablo 4.** İçme sularında EC prosesi uygulamaları

pH	Akım Yoğunluğu (A/m <sup>2</sup> )	Akım Süresi (dk)	Elektrot Türü	Giderim Yüzdesi	
7.9	10	3	Fe	96 <sup>(2)</sup>	[3]
7.9	10	3	Al	99 <sup>(2)</sup>	
6.5	2.5	2.5	Fe	94 <sup>(2)</sup>	[58]
7	2.5	4	Al	93.5 <sup>(1)</sup>	
7	2.5	15	Al	96 <sup>(1)</sup>	[59]
6.5	2.5	12.5	Fe	93.5 <sup>(1)</sup>	
5	20	20	Al	78 <sup>(3)</sup>	[60]
6	20	20	Fe	65 <sup>(3)</sup>	
7-7.2	25 V	480	Fe	84 <sup>(4)</sup>	[61]
7-7.2	20 V	480	Fe	75 <sup>(1)</sup>	
6.8	10	60	Fe	99.6 <sup>(1)</sup>	[62]

<sup>(1)</sup>Arsenik, <sup>(2)</sup>Bulanıklık, <sup>(3)</sup>Çözünmüş Organik Karbon, <sup>(4)</sup>Nitrat

### 3.5. Mezbahane atıksularında EC prosesi uygulamaları

EC prosesi ileri atıksu arıtma teknolojisi olarak mezbahane atıksularının arıtımı için kullanılmıştır. Kimyasal madde eklemeyen bir elektrik akımı sağlayarak mezbahane atıksularından organik maddelerin, besin maddelerinin, ağır metallerin ve hatta patojenlerin giderilmesi için EC prosesinin etkili bir teknoloji olduğu görülmektedir. EC prosesi için Al, Fe, Pt, SnO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub> ve diğer kullanılan elektrot türleri arasında en yaygın Fe ve Al elektrotlarının kullanıldığı görülmektedir. Yapılan bir çalışmada, elektrot tipi ve elektrik enerjisi tüketiminin irdelendiği mezbahane atıksuyunda yağ-gres ve KOİ giderimi için, pH, akım süresi, elektrot malzemesi ve EC sürecinin akım yoğunluğuna etkisi incelenmiş, elektrot malzemesi olarak Al elektrotunun kullanıldığı deneylerde 150 A/m<sup>2</sup> akım yoğunluğunda %93 oranında, Fe elektrotun kullanıldığı deneylerde ise %86 oranında KOİ giderimi elde edilmiştir [63]. Başka bir çalışmada ise pilot ölçekte deneyler çelik ve Al elektrotlar kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Deney sonuçları, hafif çelik bipolar elektrotların kullanıldığı çalışmada, KOİ, BOİ, TKM, bulanıklık ve yağ-gres için sırasıyla % 82, 86, 93, 90 ve 99 oranında bir giderme veriminin elde edildiğini göstermektedir [64]. Farklı bir çalışmada ise düşük pH ve yüksek yoğunlukta yüksek giderim verimleri elde edilmiş ve pH 3.0, 20 A/m<sup>2</sup> akım yoğunluğu ile %85 oranında KOİ giderimi elde edilmiştir [65]. Benzer şekilde, Fe elektrotları kullanarak mezbahane atıksuyunun arıtımı için EC performansı değerlendirilmiştir. Akım yoğunluğu, çalışma süresi ve elektrot sayısının artırılmasıyla organik madde ve besin maddesi giderim oranları artırılmıştır. Sonuçlar, BOİ, KOİ, TN ve TKM için sırasıyla % 97, 93, 84 ve % 81 oranında giderme verimlerinin elde edildiğini göstermektedir [66]. Mezbahane atıksularında EC prosesi uygulamaları Tablo 5'te sunulmuştur.

**Tablo 5.** Mezbahane atıksularında EC prosesi uygulamaları

pH	Akım Yoğunluğu (A/m <sup>2</sup> )	Akım Süresi (dk)	Elektrot Türü	Giderim Yüzdesi		
3	150	25	Fe	86 <sup>(1)</sup>		[63]
3	150	25	Al	93 <sup>(1)</sup>		
6.1 -6.5	0.3A	60	Fe	82 <sup>(1)</sup>	90 <sup>(2)</sup>	[64]
4	10	20	Al	85 <sup>(1)</sup>		[65]
7.1	25	50	Fe	93 <sup>(1)</sup>	97 <sup>(3)</sup>	[66]
4	100	20	Al	78 <sup>(1)</sup>	90 <sup>(2)</sup>	[67]
6	100	20	Fe	77 <sup>(1)</sup>	96 <sup>(2)</sup>	
3	150	25	Fe	98 <sup>(1)</sup>		[68]
3	150	25	Al	93 <sup>(1)</sup>		

<sup>(1)</sup>KOİ, <sup>(2)</sup>Bulanık, <sup>(3)</sup>BOİ

### 3.6. Süt ve yumurta sanayi atıksularında EC prosesi uygulamaları

Süt atıksuları genellikle yüksek konsantrasyonlarda biyolojik oksijen ihtiyacı (BOİ), kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ), genellikle yağ ve besin maddeleri açısından zengin sulardır. Süt endüstrisi atıksularının EC prosesi ile arıtımında genellikle KOİ, bulanıklık ve yağ-gres giderimleri üzerinde durulmuştur. Süt endüstrisi atıksularında KOİ ve Yağ-gres giderimini gerçekleştirmek için yapılan çalışmada pH 7’de, 6 A/m<sup>2</sup> akım yoğunluğunda, 1 dk akım süresinde demir elektrotu kullanarak EC işlemi uygulamış ve KOİ için %99, yağ-gres için ise %99 oranında bir giderim verimleri [69] başka bir çalışmada ise pH 7’de akım yoğunluğu 43 A/m<sup>2</sup> ve 25 dk akım süresinde alüminyum elektrotları kullanılarak % 61 KOİ ve %100 oranında bulanıklık giderme verimleri elde edilmiştir [70]. Süt ve Yumurta Sanayi atıksularında EC prosesi uygulamaları Tablo 6’da özetlenmiştir. Tablo 6 elektrot türü bakımından incelendiğinde demir elektrotları ile yapılan çalışmalarda KOİ giderimi açısından yüksek değerler verdiği görülmektedir. Her iki elektrot türü (alüminyum-demir) de süt ve yumurta sanayi atıksularında bulanıklık için %100 oranında giderim verimine ulaşıldığını göstermektedir.

**Tablo 6.** Süt ve Yumurta Sanayi atıksularında EC prosesi uygulamaları

pH	Akım Yoğunluğu (A/m <sup>2</sup> )	Akım Süresi (dk)	Elektrot Türü	Giderim Yüzdesi		
7	6	1	Fe	98 <sup>(1)</sup>	99 <sup>(3)</sup>	[69]
7	43	25	Al	61 <sup>(1)</sup>	100 <sup>(2)</sup>	[70]
6-8	2700	50	Fe	70 <sup>(1)</sup>	100 <sup>(2)</sup>	[20]
7	185	14	Fe	95 <sup>(1)</sup>	97 <sup>(2)</sup>	[71]
6	0.65	20	Al	80 <sup>(1)</sup>	100 <sup>(2-4)</sup>	[72]

<sup>(1)</sup>KOİ, <sup>(2)</sup>Bulanık, <sup>(3)</sup>Yağ-Gres, <sup>(4)</sup>TKM

### 3.7. Sızıntı sularında EC prosesi uygulamaları

Depolama sahalarındaki mevcut sızıntı suyu, karmaşık bir atıksudur ve çevreye olumsuz etkisi olan kirlenici maddelere sahiptir. Bir şehir depolama sahası sızıntı suyunda EC prosesi ile KOİ, bulanıklık, renk ve toplam azotun giderilmesi için alüminyum elektrotunun kullanıldığı deneysel çalışmalarda pH 8, 250 A/m<sup>2</sup> akım yoğunluğu, 30 dk akım süresinde %70 KOİ ve %60 oranında bulanıklık giderim verimleri elde edilmiştir [73]. Sızıntı suyunun arıtımı için EC prosesinin uygulandığı başka bir çalışmada ise pH 8, 95 A/m<sup>2</sup> akım yoğunluğunda ve 135 dk akım süresince 40 adet alüminyum elektrotun kullanıldığı deneylerde %80 renk ve %83 oranında bulanıklık giderimi hesaplanmıştır [74]. Yapılan çalışmalar EC prosesiyle sızıntı suyundaki KOİ giderim verimini etkileyen en önemli parametrelerden birisinin akım yoğunluğudur. Akım yoğunluğunun 348’den 631 A/m<sup>2</sup>’a artmasıyla arıtma şartlarının da değiştiği, akım yoğunluğunun artmasıyla KOİ giderim verimliliğinin % 45.5’ten %59’a çıktığını göstermektedir [75]. Diğer bir çalışmada ise akım yoğunluğu 600 A/m<sup>2</sup> uygulanması ile KOİ gideriminde optimum azalmanın %81 olduğu belirtilmiş, akım yoğunluğunun azaltılmasıyla KOİ gideriminin de buna paralel olarak azaldığı sonucuna ulaşılmıştır [76]. Başka bir çalışmada ise araştırmacılar, EC prosesiyle sızıntı suyu arıtımında pH faktörünün EC sürecinin performansında en önemli parametrelerden birisi olduğunu vurgulamışlardır. pH değeri çoğunlukla katotlardaki elektrot türlerinden ve artan akım yoğunluğundan etkilenmektedir. pH, EC’nin tüm performansını etkileyen ana faktörlerden biridir [77]. KOİ gideriminin amaçlandığı bir çalışmada pH 6’da giderim veriminin %81 olarak bulunduğu daha asidik şartlarda KOİ gideriminin azaldığı sonucuna varılmıştır [76]. Bununla birlikte başka bir çalışmada ise araştırmacılar, pH’ın alkali durumda olduğu zaman, KOİ’nin % 95.8 oranında giderildiğini ve pH 4’te KOİ’nin %73.6 oranında giderildiğini tespit etmişlerdir [78]. Sızıntı sularının EC prosesi uygulamaları Tablo 7’de özetlenmiştir. Tablo 7 incelendiğinde EC prosesi ile sızıntı suyu arıtımında alüminyum elektrotlarının kullanılması durumunda pH’ın yükselmesiyle birlikte KOİ’deki giderim verimi de yükselmektedir.

**Tablo 7.** Sızıntı sularının EC prosesi uygulamaları

pH	Akım Yoğunluğu (A/m <sup>2</sup> )	Akım Süresi (dk)	Elektrot Türü	Giderim Yüzdesi		
8	250	30	Al	70 <sup>(1)</sup>	60 <sup>(2)</sup>	[73]
8	95	135	Al	80 <sup>(3)</sup>	83 <sup>(2)</sup>	[74]
8.2	348	30	Al	45 <sup>(1)</sup>		[75]
6	600	30	Fe	81 <sup>(1)</sup>	72 <sup>(3)</sup>	[76]
7	50	90	Fe	50 <sup>(1)</sup>	70 <sup>(2)</sup>	[77]
5.8	9 V	35	Al	96 <sup>(1)</sup>	97 <sup>(2)</sup>	[78]
6.6	159	30	Al	45 <sup>(1)</sup>	60 <sup>(3)</sup>	[79]
8	0,15	240	(Sn-Pd-Ru)-St	92 <sup>(1)</sup>		[80]
6.5	300	180	Fe	68.5 <sup>(1)</sup>		[81]

<sup>(1)</sup>KOI, <sup>(2)</sup>Bulamık, <sup>(3)</sup>Renk**3.8. Zeytinyağı sanayi atıksularının EC prosesi uygulamaları**

Akdeniz bölgesinde, çevreye yılda 30 milyon m<sup>3</sup> zeytinyağı sanayi atıksuyu deşarj edilmektedir [82]. Zeytinyağı atıksuyu genel olarak, su (ağırlıkça % 83-92), organik madde (ağırlıkça% 4-16) ve minerallerden (ağırlıkça% 1-2) oluşur. Zeytin özünden elde edilen suda çözünebilen biyofenolik bileşiklerin (zeytin meyvesindeki toplam fenollerin% 98'i) varlığı, zeytin çekirdeğindeki yağ ekstraksiyonu sırasında en yüksek kirletme kapasitesini temsil eder [83, 84, 85]. Türkiye'de önemli zeytinyağı üreticilerinden ve bir zeytinyağı sürekli işleme tesisinden gelen atıksuyunun arıtımı için EC prosesi uygulanmış ve bu amaçla, reaktörde alüminyum ve demir elektrotlar kullanılmıştır. Araştırma, %52 KOI'nin alüminyum anot ile %42'sinin ise 30 dakika akım süresiyle demir anodu tarafından giderilebileceğini vurgulamışlardır. Ayrıca, KOI giderim yüzdesinin, akım yoğunluğunun artmasıyla arttığı gözlenmiştir [86]. Başka bir çalışmada ise zeytinyağı sanayi atıksuyuna 400 A/m<sup>2</sup> akım yoğunluğunda, pH 6'da ve 45 dk akım süresinde alüminyum elektrotları ile birlikte EC işlemi uygulanmıştır. Araştırmacılar 45 dk işletim süresi sonunda KOI açısından %59'luk bir giderim verimi tespit etmişlerdir [87]. Zeytinyağı sanayi atıksularının EC prosesi uygulamaları Tablo 8'de sunulmuştur. Zeytinyağı sanayi atıksularının EC prosesi ile arıtımında pH, kirletici tipi ve konsantrasyonu, kabarcık boyutu ve flok stabilitesi işletimi etkilemektedir [88].

**Tablo 8.** Zeytinyağı sanayi atıksularının EC prosesi uygulamaları

pH	Akım Yoğunluğu (A/m <sup>2</sup> )	Akım Süresi (dk)	Elektrot Türü	Giderim Yüzdesi		
6	400	30	Al	52 <sup>(1)</sup>	97 <sup>(2)</sup>	[86]
6	400	30	Fe	42 <sup>(1)</sup>	93 <sup>(2)</sup>	
6	400	45	Al	59 <sup>(1)</sup>		[87]
4.2	250	15	Al	70 <sup>(1)</sup>	100 <sup>(2)</sup>	[88]
5.5	750	60	Fe	78 <sup>(1)</sup>		[89]
6.5	750	60	Al	55 <sup>(1)</sup>		
4.96	750	25	Al	76 <sup>(1)</sup>	95 <sup>(2)</sup>	[90]
5	250	50	Al-Fe	40 <sup>(1)</sup>		[91]
7.2	20 A	120	Fe	34 <sup>(1)</sup>	75 <sup>(2)</sup>	[92]
4.6	337.5	60	St	6 <sup>(1)</sup>	63 <sup>(3)</sup>	[93]
4.6	225	45	Al	35 <sup>(1)</sup>	34 <sup>(3)</sup>	

<sup>(1)</sup>KOI, <sup>(2)</sup>Renk, <sup>(3)</sup>TOK

### 3.9. Gıda sanayi atıksularının EC prosesi uygulamaları

Bir gıda endüstrisi atıksuyunun arıtımında EC, yağ ve gresin giderilmesinde etkilidir, ancak çözünmüş organik bileşikler için geçerli değildir. Gıda endüstrisi atıksuyunun alüminyum elektrot kullanılarak kesikli sistemde EC yöntemi ile arıtımının yapıldığı çalışmada pH, iletkenlik, akım yoğunluğu ve reaksiyon süresinin etkisi incelenmiştir. Yapılan çalışmada optimum koşullar pH=7, iletkenlik=3.5 ms/cm, akım yoğunluğu =18.3 A/m<sup>2</sup> ve işletim süresi=30 dk. olarak belirlenmiştir. Bu koşullarda %95 KOİ giderim verimi elde edilirken işletme maliyeti de 0.98 TL/m<sup>3</sup> arıtılan atıksu olarak belirlenmiştir [94]. Başka bir çalışmada ise restoran atıksuları için pH'nin elektrokimyasal işlemin performansını etkileyen önemli bir çalışma faktörü olduğu belirlenmiştir. Atıksuda KOİ iki kaynaktan, yağ ve gres ile çözünmüş organik bileşiklerden oluşur. KOİ giderilmesinde, pH 10'dan büyük olduğu zaman pH'ta dramatik bir şekilde düşüş gözlenmiştir. Çoğu restoran atıksularındaki pH'nin 6-10 aralığında olduğu düşünüldüğündedir. Araştırmacı yaptığı çalışmada, pH'nin düşük olması durumunda pH artışı meydana geldiğini bununla birlikte, aynı zamanda, pH'nin 9'un üzerinde olması durumunda, bir pH düşüşünün meydana geldiği de bulunmuştur. Başka bir deyişle, EC pH nötrleştirme olarak hareket edebildiğini buldu [95]. Gıda sanayi atıksularının EC prosesi uygulamaları Tablo 9'da verilmiştir.

**Tablo 9.** Gıda sanayi atıksularının EC prosesi uygulamaları

	pH	Akım Yoğunluğu (A/m <sup>2</sup> )	Akım Süresi (dk)	Elektrot Türü	Giderim Yüzdesi	
Gıda	7	18.3	30	Al	95 <sup>(1)</sup>	[94]
	4	18	40	Al	88 <sup>(1)</sup>	[96]
Patates	6.83	65	60	Al	81 <sup>(2)</sup>	[97]
	6.32	65	30	Fe	91 <sup>(2)</sup>	
	5	200	40	Al	60 <sup>(1)</sup>   98 <sup>(3)</sup>	[98]
Restoran	6.6	80	20	Fe	95 <sup>(1)</sup>	[95]
	6.6	80	20	Al	97 <sup>(1)</sup>	
	6	80	30	Al	90 <sup>(1)</sup>	[99]

<sup>(1)</sup>KOI, <sup>(2)</sup>Toplam Fosfor, <sup>(3)</sup>Bulanık

### 3.10. Diğer sanayi atıksularının EC prosesi uygulamaları

Araba yıkama suyunda yapılan EC işlemi ile arıtımda, optimum deney koşullarında (gerçek pH 6.4, elektroliz süresi 6dk ve uygulanan akım 2 A/m<sup>2</sup>) EC yönteminin, düşük enerji tüketimi ile yaklaşık %75 KOİ'yi, giderilebileceğini ortaya koymuştur. Araştırmacılara göre, araba yıkama suyunun EC yoluyla arıtılmasında uygulanan akım şiddeti KOİ giderim oranı üzerinde neredeyse bağımsız, ancak uygulanan akımın artışı enerji tüketiminin artmasına neden olmuştur [100]. Başka bir çalışmada ise çamaşırhane atıksuyu arıtımı için EC işleminin alüminyum elektrotlarla performansı araştırılmıştır. Deneysel sonuçlar, KOİ, fosfor, deterjan, renk ve bulanıklık giderme verimliliğini, artan voltaj, akım süresi ile anot ve katot arasında ekstra alüminyum plakaların eklenmesiyle arttığını göstermektedir. İşlemden sonra, KOİ, fosfor, deterjan, renk ve bulanıklık giderme yüzdeleri sırasıyla % 93.2,% 96.7,% 93.5,% 90.1 ve% 95.9 olarak bulunmuştur [101]. Diğer atıksularının EC prosesi uygulamaları Tablo 10'da özetlenmiştir.



**Tablo 10.** Diğer atıksularının EC prosesi uygulamaları

	pH	Akım Yoğunluğu (A/m <sup>2</sup> )	Akım Süresi (dk)	Elektrot Türü	Giderim Yüzdesi		
Araba	6.4	20	6	St	97 <sup>(1)</sup>		[100]
Boya Üretimi	6.95	350	15	Al	94 <sup>(1)</sup>	89 <sup>(2)</sup>	[102]
	6.95	350	15	Fe	93 <sup>(1)</sup>	88 <sup>(2)</sup>	
Çamaşır hane	8-9	0-2 A	80	Al	93 <sup>(1)</sup>	97 <sup>(3)</sup>	[101]
	7.5	37	40	Al	62 <sup>(1)</sup>		[103]
Çay	6	24 V	---	St	97 <sup>(1)</sup>	100 <sup>(4)</sup>	[104]
Evsel Atıksu	7	0.8 A	5	St	95 <sup>(5)</sup>	99 <sup>(6)</sup>	[105]

<sup>(1)</sup>KOI, <sup>(2)</sup>TOK, <sup>(3)</sup>Toplam Fosfor, <sup>(4)</sup>Renk, <sup>(5)</sup>TKM

#### 4. Sonuç ve Öneriler

Tekstil atıksularının EC ile arıtımında ortam asidik olduğunda, alüminyum elektrot kullanıldığında prosesin KOI ve bulanıklık açısından giderme verimlerinin, demirden daha yüksek olduğu, nötr ve zayıf alkali ortamlarda ise demir elektrotun daha verimli olduğu açığa çıkmaktadır. Kâğıt sanayi atıksularının EC ile arıtımında ortam nötr olduğu durumlarda alüminyum elektrotları kullanılarak KOI ve renk açısından giderme verimlerinin daha yüksek olduğunu görülmektedir. EC prosesinin hastane atıksularında organik kirleticileri gidermek için etkili bir arıtım yöntemi olduğunu göstermiştir. Hastane atıksularında TOK ve KOI kirleticilerinin giderilmesinde incelenen araştırmalar sonucunda pH değerinin önemi olmadığı görülmektedir. İçme sularında EC prosesiyle arıtımında ise insan sağlığına zararlı olan arsenik gibi metallerin arıtımında prosesin etkin olduğu tespit edilmiştir. Bunun yanında içme sularında kirletici olarak nitelendirilen nitrat, çözünmüş organik karbon ve bulanıklık gibi parametrelerin neredeyse tamamına yakınının giderildiği sonucuna varılmaktadır. Süt ve yumurta sanayi atıksularının EC ile arıtımında alüminyum-demir elektrot türü açısından incelendiğinde demir elektrotları ile yapılan çalışmalarda KOI giderimi bakımından yüksek değerler verdiği görülmektedir. Her iki elektrot türü için (alüminyum-demir) de pH 6-8 aralığında süt ve yumurta sanayi atıksularında bulanıklık için %100 oranında giderim verimine ulaşıldığı görülmektedir.

Çalışmalarda, genellikle alüminyum elektrotunun çeşitli atıksuların arıtılmasında katı madde ve KOI gideriminde yüksek miktarda giderim verimi elde edildiği için demir elektrottan daha iyi performans gösterdiği görülmektedir. Ayrıca sızıntı suyu arıtımı için, alüminyum elektrot aynı zamanda renk, bulanıklık ve KOI üzerindeki demir elektroduna kıyasla, giderim yüzdesini açısından daha iyi bir etki gösterdiği görülmektedir. Akım yoğunluğu EC performansları için en önemli faktörlerden biridir. Akım yoğunluğundan başka pH faktörü de EC performansları için de önemli bir faktör olarak görülmektedir. Katot aktiviteleri de pH değerini etkilemektedir.

Zeytinyağı sanayi atıksularında ise KOI gideriminin yüzdesinin, akım yoğunluğunun artmasıyla arttığını gözlenmiştir.

EC prosesinde farklı elektrot malzemeleri kullanılarak farklı oranlarda sudaki kirlilik parametrelerinde (KOI, bulanıklık renk ve amonyak) giderimi ile sonuçlanır. Mevcut literatürün analizi, atıksulardan, laboratuvar ve pilot tesis ölçeğindeki farklı kirleticilerin giderilmesi için EC yaklaşımının geçerliliğine işaret etmektedir. Bu açıdan elektrokimyasal teknoloji, bazı durumlarda kirleticileri tamamen giderilmemesine rağmen, yüksek kirletici içeriğini de önemli ölçüde azaltabilmektedir. Öte yandan, biyolojik yöntemlerle arıtılmadan önce bu yöntemlerin uygulanmasına odaklanan araştırmalar, daha ekonomik geçerli yöntemleri önermek için yürütülmektedir. Ayrıca, EC'de enerji giderleri bakımından, ucuz ve yenilenebilir enerjilerin (güneş ışığı veya rüzgar enerjisi) alternatif kullanımı, uygulamada çok daha cazip eko sürdürülebilir süreçlerin yapılması için de araştırılmalıdır.

**Kaynaklar**

- [1] Bashir M.J., Isa M.H., Kutty S.R.M., Awang Z.B., Aziz H.A., Mohajeri S., Farooqi I.H. 2009. Landfill Leachate Treatment By Electrochemical Oxidation, *Waste Management*, 29 (9): 2534-2541.
- [2] Renou S., Givaudan J.G., Poulain S., Dirassouyan F., Moulin P. 2008. Landfill Leachate Treatment: Review And Opportunity, *Journal Of Hazardous Materials*, 150 (3): 468-493.
- [3] Özyonar F., Karagözoğlu B. 2012. İçme Sularından Elektrokoagülasyon Ve Kimyasal Koagülasyon İle Bulanıklığın Giderimi, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, 27 (1): 81-89.
- [4] Mollah M.Y.A., Schennach R., Parga J.R., Cocke D.L. 2001. Electrocoagulation (Ec)—Science And Applications, *Journal Of Hazardous Materials*, 84 (1): 29-41.
- [5] Do J.S., Chen C.P. 1994. In Situ Oxidative Degradation Of Formaldehyde With Hydrogen Peroxide Electrogenerated On The Modified Graphites, *Journal Of Applied Electrochemistry*, 24 (9): 936-942.
- [6] Mameri N., Lounici H., Belhocine D., Grib H., Piron D.L., Yahiat Y. 1998. Defluoridation Of Septentrional Sahara Water Of North Africa By Electrocoagulation Process Using Bipolar Aluminium Electrodes, *Water Research*, 32 (5): 1604-1612.
- [7] Pogrebnyaya V.L., Klimentko A.A., Bokovikova T.N, Tsymbal E.P., Pronina N.P. 1995. Purification Of Waste Water Of Heavy Metals By Electrocoagulation, *Chemical And Petroleum Engineering*, 31 (5): 280-281.
- [8] Biswas N., Lazarescu G. 1991. Removal Of Oil From Emulsions Using Electrocoagulation, *International Journal Of Environmental Studies*, 38 (1): 65-75.
- [9] Belongia B.M., Haworth P.D., Baygents J.C., Raghavan S. 1999. Treatment Of Alumina And Silica Chemical Mechanical Polishing Waste By Electrodecentration And Electrocoagulation, *J. Elec-Trochem. Soc.*, 146 (11): 4124-4130.
- [10] Tsai C.T., Lin S.T., Shue Y.C., Su P.L. 1997. Electrolysis Of Soluble Organic Matter İn Leachate From Landfills, *Water Res.*, 31 (12): 3073-3081.
- [11] Panizza M., Bocca C., Cerisola G. 2000. Electrochemical Treatment Of Wastewater Containing Polyaromatic Organic Pollutants, *Water Res.*, 34 (9): 2601-2605.
- [12] Takdastan A., Farhadi M., Salari J., Kayedi N., Hashemzadeh B., Mohammadi M.J., Rahimi S., Khaniabadi Y.O., Vosoughi M., Sadeghi S., Zahedi A. 2017. Electrocoagulation Process For Treatment Of Detergent And Phosphate, *Arch Hyg Sci.*, 6 (1): 66-74.
- [13] Touahria S., Hazourli S., Touahria K., Eulmi A., Aitbara A. 2016. Clarification Of Industrial Mining Wastewater Using Electrocoagulation. *Int. J. Electrochem. Sci.*, 11: 5710-5723.
- [14] Al-Shannag M., Al-Qodah Z., Bani-Melhem K., Qtaishata M.R., Alkasraw M. 2015. Heavy Metal İons Removal From Metal Plating Wastewater Using Electrocoagulation: Kinetic Study And Process Performance, *Chemical Engineering Journal*, 260: 749-756.
- [15] Adhoum N., Monser L., Bellakhal N., Belgaied J.E. 2004. Treatment Of Electroplating Wastewater Containing  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$  And  $\text{Cr(VI)}$  By Electrocoagulation, *Journal Of Hazardous Materials*, 112 (3): 207-213.
- [16] Fu F., Wang Q. 2011. Removal Of Heavy Metal İons From Wastewaters: A Review, *Journal Of Environmental Management*, 92 (3): 407-418.
- [17] Katal R., Pahlavanzadeh H. 2011. Influence Of Different Combinations Of Aluminum And İron Electrode On Electrocoagulation Efficiency: Application To The Treatment Of Paper Mill Wastewater, *Desalination*, 265 (1-3): 199-205.
- [18] Khandegar V., Saroha A.K. 2013. Electrocoagulation For The Treatment Of Textile İndustry Effluent – A Review, *Journal Of Environmental Management*, 128: 949-963.
- [19] Donini J.C., Kan J., Szykarczuk J., Hassan T. 1994. The Operating Cost Of Electrocoagulation, *The Canadian Journal Of Chemical Engineering*, 72 (6): 1007-1012.
- [20] Kushwaha J.P., Srivastava V.C., Mall I.D. 2010. Organics Removal From Dairy Wastewater By Electrochemical Treatment And Residue Disposal, *Separation And Purification Technology*, 76 (2): 198-205.
- [21] Canizares P., Carmona M., Lobato J., Martinez F., Rodrigo M.A. 2005. Electrodissolution Of Aluminum Electrodes İn Electrocoagulation Processes, *Ind. Eng. Chem. Res.*, 44 (12): 4178-4185.

- [22] Holt P.K., Barton G.W., Wark M., Mitchell C.A. 2002. A Quantitative Comparison Between Chemical Dosing And Electrocoagulation, *Colloids And Surfaces A: Physicochemical And Engineering Aspects*, 211 (2-3): 233-248.
- [23] Roopashree G.B., Lokesh K.S. 2013. Comparative Study Electrode Material (İron, Aluminum And Stainless Steel) For Treatment Of Textile Industry Wastewater, *International Journal Of Environmental Sciences*, 4 (4): 519-531.
- [24] Lin S.H., Chang C.C. 2000. Treatment Of Landfill Leachate By Combined Electroco-Fenton And Sequencing Batch Reactor Method, *Water Research*, 34 (17): 4243-4249.
- [25] Koparan A.S., Gökçen Ş., Ögütveren Ü. 1999. Petrol Formasyon Suyunun Elektrokimya Ve Geleneksel Yöntemler İle Arıtılabilirliğinin İncelenmesi, *Türkiye’de Çevre Kirlenmesi Öncelikleri Sempozyumu Iıı*, Pp.370-390, 18-19 Kasım, Gebze, Kocaeli.
- [26] Naje A.S., Abbas S.A. 2013. Electrocoagulation Technology İn Wastewater Treatment: A Review Of Methods And Application, *Civil And Environmental Research*, 3 (11): 29-42.
- [27] Yıldız Y.Ş. 2003. Humik Maddeler İçeren Atık Suların Elektrokogülasyon Metodu İle Arıtımı, *Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Bölümü, Erzurum*.
- [28] Mahajan R., Khandegar V., Saroha A.K. 2013. Treatment Of Hospital Operation Theatre Effluent By Electrocoagulation, *International Journal Of Chemical And Environmental Engineering*, 4 (2): 104-107.
- [29] Gürses A., Yalçın M., Doğar C. 2002. Electrocoagulation Of Some Reactive Dyes: A Statistical Investigation Of Some Electrochemical Variables, *Waste Management*, 22 (5): 491-499.
- [30] Cañizares P., Martínez F., Jiménez C., Lobato J., Rodrigo M.A. 2006. Comparison Of The Aluminium Speciation İn Chemical And Electrochemical Dosing Processes, *Industrial And Engineering Chemistry Research*, 45 (26): 8749-8756.
- [31] Moreno-Casillas H.A., Cocke D.L., Gomes J.A.G., Morkovsky P., Parga J.R., Peterson E. 2007. Electrocoagulation Mechanism For Cod Removal, *Separation And Purification Technology*, 56 (2): 204-211.
- [32] Daneshvar N., Sorkhabi H.A., Kasiri M. 2004. Decolorization Of Dye Solution Containing Acid Red 14 By Electrocoagulation With A Comparative Investigation Of Different Electrode Connections, *Journal Of Hazardous Materials*, 112 (1-2): 55-62.
- [33] Matteson M.J., Dobson R.L., Glenn Jr. R.W., Kukunoor N.S., Waits W.H., Clayfield E.J. 1995. Electrocoagulation And Separation Of Aqueous Suspensions Of Ultrafine Particles, *Colloids And Surfaces A: Physicochemical And Engineering Aspects*, 104 (1): 101-109.
- [34] Rahmani A.R. 2008. Removal Of Water Turbidity By The Electrocoagulation Method, *Journal Of Research İn Health Sciences*, 8 (1): 18-24.
- [35] Pouet M.F., Grasmick A. 1995. Urban Wastewater Treatment By Electrocoagulation And Flotation, *Water Science And Technology*, 31 (3-4): 275-283.
- [36] Arslan T., Kabdaşlı I., Arslan-Alaton İ., Ölmez T., Tünay O. 2008. Kompleks Olarak Bağlı Metal İçeren Atıksuların Elektrokogülasyon Prosesi İle Arıtımı, *İ.T.Ü. Su Kirlenmesi Kontrolü Dergisi*, 18 (11): 45-52.
- [37] Can O.T., Kobya M., Demirbaş E., Bayramoğlu M. 2006. Treatment Of The Textile Wastewater By Combined Electrocoagulation, *Chemosphere*, 62 (2): 181-187.
- [38] Fagnekar N.A., Mane P.S. 2015. Removal Of Turbidity Using Electrocoagulation, *International Journal Of Research İn Engineering And Technology*, 4 (6): 537-543.
- [39] Marmagne O., Coste C. 1996. Color Removal From Textile Plant Effluents, *American Dyestuff Reporter, France*, 15-21.
- [40] Paga U., Brown D. 1986. The Degradation Of Dyestuffs. Part Ii. Behaviours Of Dyestuffs İn Aerobic Biodegradation Tests, *Chemosphere*, 15 (4): 479-491.
- [41] Kulla H.G. 1981. Aerobic Bacterial Degradation Of Azo Dyes. In: Leisinger T (Ed) *Microbial Degradation Of Xenobiotic And Recalcitrant Compounds*. Academic Press, London.
- [42] Üçgül İ., İskender K.A. 2013. Tekstil Endüstrisi Atık Suyunun Renk Giderimi İçin Elektrokogülasyon Yöntemi Uygulaması, *Süleyman Demirel Üniversitesi Yekarum E-Dergi*, 2 (1): 1-12.
- [43] Özyonar F., Karagözoğlu B. 2012. Elektrokogülasyon Prosesi İle Tekstil Sanayi Atıksuyunun Arıtımı, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi*, 28 (1): 29-37.

- [44] Bayramoğlu M., Koby M., Can O.T., Sözbir M. 2004. Operating Cost Analysis Of Electrocoagulation Of Textile Dye Wastewater, Separation And Purification Technology, 37 (2): 117-125.
- [45] Bayramoğlu M., Eyvaz M., Koby M. 2007. Treatment Of The Textile Wastewater By Electrocoagulation: Economical Evaluation, Chemical Engineering Journal, 128 (2-3): 155-161.
- [46] Zodi S., Potier O., Lapique F., Leclerc J-P. 2009. Treatment Of The Textile Wastewaters By Electrocoagulation: Effect Of Operating Parameters On The Sludge Settling Characteristics, Separation And Purification Technology, 69 (1): 29-36.
- [47] Zaroual Z., Azzi M., Saib N., Chainet E. 2006. Contribution To The Study Of Electrocoagulation Mechanism In Basic Textile Effluent, Journal Of Hazardous Materials, 131 (1-3): 73-78.
- [48] Eyvaz M., Bayramoğlu M., Koby M. 2006. Tekstil Endüstrisi Atıksularının Elektrokoagülasyon İle Arıtılması: Teknik Ve Ekonomik Değerlendirme, İtüdergisi/E Su Kirlenmesi Kontrolü, 16 (1): 55-65.
- [49] Zaied M., Bellakhal N. 2009. Electrocoagulation Treatment Of Black Liquor From Paper Industry, Journal Of Hazardous Materials, 163 (2-3): 995-1000.
- [50] Sridhar R., Sivakumar V., Immanuel V.P., Maran J.P. 2011. Treatment Of Pulp And Paper Industry Bleaching Effluent By Electrocoagulant Process, Journal Of Hazardous Materials, 186 (2-3): 1495-1502.
- [51] Uğurlu M., Gürses A., Doğar Ç., Yalçın M. 2008. The Removal Of Lignin And Phenol From Paper Mill Effluents By Electrocoagulation, Journal Of Environmental Management, 84 (3): 420-428.
- [52] Zodi S., Louvet M., C., Potier O., Pons M-N., Lapique F., Leclerc J-P. 2011. Electrocoagulation As A Tertiary Treatment For Paper Mill Wastewater: Removal Of Non-Biodegradable Organic Pollution And Arsenic, Separation And Purification Technology, 81 (1): 62-68.
- [53] Uğurlu M. 2004. The Removal Of Some Inorganic Compounds From Paper Mill Effluents By The Electrocoagulation Method, G.Ü. Fen Bilimleri Dergisi, 17 (3): 85-99.
- [54] Veli S., Arslan A., Yılmaz E. 2015. Elektrokoagülasyon Prosesi İle Hastane Atıksuyunda Toplam Organik Karbon Giderimi, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 35: 65-77.
- [55] Bui M.H., Luong X.T.H. 2017. Removal Of Chemical Oxygen Demand From Hospital Wastewater Using Electrocoagulation, Moroccan Journal Of Chemistry, 5 (2): 371-376.
- [56] Dehghani M., Seresht S.S., Taghizadeh M.M. 2015. Optimization Of Organic Compounds Removal From Wastewater By Electrocoagulation, Hormozgan Medical Journal, 19 (1): 59-65.
- [57] Murdani J., Ekawati, D., Nadire, R., Darmadi, 2018. Application Of Response Surface Methodology (Rsm) For Wastewater Of Hospital By Using Electrocoagulation, Materials Science And Engineering, 345 (1): 1-7.
- [58] Koby M., Ulu F., Gebologlu U., Demirbas E., Oncel M. S. 2011. Treatment Of Potable Water Containing Low Concentration Of Arsenic With Electrocoagulation: Different Connection Modes And Fe-Al Electrodes. Separation And Purification Technology, 77 (3): 283-293.
- [59] Koby M., Geboloğlu U., Ulu F., Öncel S., Demirbaş E. 2011. Removal Of Arsenic From Drinking Water By The Electrocoagulation Using Fe And Al Electrodes. Electrochimica Acta, 56 (14): 5060-5070.
- [60] Özyonar F., Karagözoğlu B., Atmaca E. 2011. İçme Suyundan Elektrokoagülasyon Prosesi İle Doğal Organik Madde Giderimi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi, 27 (4): 309-316.
- [61] Kumar N.S., Sudha G. 2010. Factors Influencing Arsenic And Nitrate Removal From Drinking Water In A Continuous Flow Electrocoagulation (Ec) Process, Journal Of Hazardous Materials, 173 (1-3): 528-533.
- [62] Pop A., Bordianu C., Pode R., Vlaicu I., Lungar N., Bodor K., Manea F. 2016. Drinking Water Treatment By Iron Anode-Based Electrocoagulation: Humic Acids And Arsenic Removal, Wit Transactions On Ecology And The Environment, 209: 127-138.
- [63] Koby M., Şentürk E., Bayramoğlu M. 2006. Treatment Of Poultry Slaughterhouse Wastewaters By Electrocoagulation, Journal Of Hazardous Materials, 133 (1-3): 172-176.
- [64] Asselin M., Drogui P., Benmoussa H., Blais J.-F. 2008. Effectiveness Of Electrocoagulation Process In Removing Organic Compounds From Slaughterhouse Wastewater Using Monopolar And Bipolar Electrolytic Cells, Chemosphere, 72 (11): 1727-1733.

- [65] Bayar S., Yıldız Y.Ş., Yılmaz A.E., İrdemez Ş. 2011. The Effect Of Stirring Speed And Current Density On Removal Efficiency Of Poultry Slaughterhouse Wastewater By Electrocoagulation Method, *Desalination*, 280 (1-3): 103-107.
- [66] Ahmadian M., Yousefi N., Van Ginkel, S.W., Zare M.R., Rahimi S., Fatehizadeh A. 2012. Kinetic Study Of Slaughterhouse Wastewater Treatment By Electrocoagulation Using Fe Electrodes, *Water Sci Technol.*, 66 (4): 754-760.
- [67] Özyonar F., Karagözoğlu B. 2014. Investigation Of Technical And Economic Analysis Of Electrocoagulation Process For The Treatment Of Great And Small Cattle Slaughterhouse Wastewater, *Desalination And Water Treatment*, 52 (1-3): 74-87.
- [68] Bayramoğlu M., Kobya M., Eyvaz M., Şentürk E. 2006. Technical And Economic Analysis Of Electrocoagulation For The Treatment Of Poultry Slaughterhouse Wastewater, *Separation And Purification Technology*, 51 (3): 404-408.
- [69] Şengil I.A., Özacar M. 2006. Treatment Of Dairy Wastewaters By Electrocoagulation Using Mild Steel Electrodes, *Journal Of Hazardous Materials*, 137 (2): 1197-1205.
- [70] Tchamango S., Nanseu-Njiki C.P., Ngameni E., Hadjiev D., Darchen A. 2010. Treatment Of Dairy Effluents By Electrocoagulation Using Aluminium Electrodes, *Science Of The Total Environment*, 408 (4): 947-952.
- [71] Xu L.J., Sheldon B.W., Larick D.K., Carawan R.E. 2002. Recovery And Utilization Of Useful By-Products From Egg Processing Wastewater By Electrocoagulation, *Poult Sci*, 81 (6): 785-792.
- [72] Bassala H.D., Dedzo G.K., Bememba C.B.N., Seumo P.M.T., Dazie J.D., Nanseu-Njiki C.P., Ngameni E. 2017. Investigation Of The Efficient Of A Designed Electrocoagulation Reactor: Application For Dairy Effluent Treatment, *Process Safety And Environmental Protection*, 111: 122-127.
- [73] Bouhezila F., Hariti M., Lounici H., Mameri N. 2011. Treatment Of The Oued Smar Town Landfill Leachate By An Electrochemical Reactor, *Desalination*, 280 (1-3): 347-353.
- [74] Ricordel C., Djelal H. 2014. Treatment Of Landfill Leachate With High Proportion Of Refractory Materials By Electrocoagulation: System Performances And Sludge Settling Characteristics, *Journal Of Environmental Chemical Engineering*, 2 (3): 1551-1557.
- [75] İlhan F., Kurt U., Apaydın O., Gönüllü M.T. 2008. Treatment Of Leachate By Electrocoagulation Using Aluminum And Iron Electrodes. *Journal Of Hazardous Materials*, 154 (1-3): 381-389.
- [76] Kashani M.M., Soltani S.M., Sobri S. 2012. Treatment Of A Malaysian Leachate Sample Using Electrocoagulation, *International Journal Of Chemical Engineering And Applications*, 3 (1): 63-66.
- [77] Li X., Song J., Guo, J., Wang Z., Feng Q. 2011. Landfill Leachate Treatment Using Electrocoagulation, *Procedia Environmental Sciences*, 10 (B): 1159-1164.
- [78] Shivayogimath C.B., Watawati C. 2013. Treatment Of Solid Waste Leachate By Electrocoagulation Technology, *International Journal Of Research In Engineering And Technology*, Ic-Rice Conference Issue, Nov-2013: 266-269.
- [79] Top S., Sekman E., Hoşver S., Bilgili M.S. 2011. Characterization And Electrocaogulative Treatment Of Nanofiltration Concentrate Of A Full-Scale Landfill Leachate Treatment Plant, *Desalination*, 268 (1-3): 158-162.
- [80] Chiang L-C., Chang J-E., Wen T-C. 1995. Indirect Oxidation Effect İn Electrochemical Oxidation Treatment Of Landfill Leachate, *Water Research*, 29 (2): 671-678.
- [81] Orkun M.O., Kuleyin A. 2012. Treatment Performance Evaluation Of Chemical Oxygen Demand From Landfill Leachate By Electro-Coagulation And Electro-Fenton Technique, *Environmental Progress & Sustainable Energy*, 31 (1): 59-67.
- [82] D'annibale A., Ricci M., Quarantino D., Federici F., Fenice M. 2004. Panus Tigrinus Efficiently Removes Phenols, Color And Organic Load From Olive-Mill Wastewater, *Research In Microbiology*, 155 (7): 596-603.
- [83] Khoufi S., Hamza M., Sayadi S. 2011. Enzymatic Hydrolysis Of Olive Wastewater For Hydroxytyrosol Enrichment, *Bioresource Technology*, 102 (19): 9050-9058.
- [84] Borsani R., Ferrando B. 1997. Ultrafiltration Plant For Olive Vegetation Waters By Polymeric Membrane Batteries, *Desalination*, 108 (1-3): 281-286.

- [85] Gebreyohannes A.Y., Curcio E., Poerio T., Mazzei R., Di Profio G., Drioli E., Giorno L. 2015. Treatment Of Olive Mill Wastewater By Forward Osmosis, Separation And Purification Technology, 147: 292-302.
- [86] İnan H., Dimoglo A., Şimşek H., Karpuzcu M. 2004. Olive Oil Mill Wastewater Treatment By Means Of Electro-Coagulation, Separation And Purification Technology, 36 (1): 23-31.
- [87] Çoskun T., İlhan F., Manav-Demir N., Kurt U. 2012. Optimization Of Energy Costs İn The Pretreatment Of Olive Mill Wastewaters By Electrocoagulation. Environmental Technology, 33 (7): 801-807.
- [88] Hanafi F., Assobhei O., Mountadar M. 2010. Detoxification And Discoloration Of Moroccan Olive Mill Wastewater, Journal Of Hazardous Materials, 174 (1-3): 807-812.
- [89] Ün Ü.T., Uğur S., Koparal A.S., Ögütveren Ü.B. 2006. Electrocoagulation Of Olive Mill Wastewaters, Separation And Purification Technology, 52 (1): 136-141.
- [90] Adhoum N., Monser L. 2004. Decolourization And Removal Of Phenolic Compounds From Olive Mill Wastewater By Electrocoagulation, Chemical Engineering And Processing: Process Intensification, 43 (10): 1281-1287.
- [91] García-García P., López-López A., Moreno-Baquero J.M., Garrido-Fernández A. 2011. Treatment Of Wastewaters From The Green Table Olive Packaging Industry Using Electro-Coagulation, Chemical Engineering Journal, 170 (1): 59-66.
- [92] Khoufi S., Feki F., Sayadi S. 2007. Detoxification Of Olive Mill Wastewater By Electrocoagulation And Sedimentation Processes, Journal Of Hazardous Materials, 142 (1-2): 58-67.
- [93] Kartal Z., Ölmez-Hancı T., Arslan-Alaton İ. 2008. Bir Zeytinyağı Karasuyunun Koagülasyon Ve Elektrokoagülasyon Prosesleriyle Kimyasal Aritılabilirliğinin İncelenmesi, Su Kirlenmesi Kontrolü - İtüdergisi/E, 18 (2-3): 3-12.
- [94] Sevil V., Özbay B., Özbay İ., Arslan A., Eren Ç. 2018. Elektrokoagülasyon Prosesi İle Gıda Endüstrisi Atıksuyunun Aritımında Optimum Koşulların Belirlenmesi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 22 (2): 932-936.
- [95] Chen X., Chen G., Yue P.L. 2000. Separation Of Pollutants From Restaurant Wastewater By Electrocoagulation, Separation And Purification Technology, 19 (1-2): 65-76.
- [96] Barrera-Díaz C., Roa-Morales G., Avila-Córdoba L., Pavón-Silva T., Bilyeu B. 2006. Electrochemical Treatment Applied To Food-Processing Industrial Wastewater, Ind. Eng. Chem. Res, 45 (1): 34-38.
- [97] Solak M., Pakdil N.B., Kılıç M., Kobya M. 2018. Elektrokoagülasyon Prosesi İle Patates Çipsi Üretim Atıksularından Fosfor Giderimi: Elektrot Materyali Karşılaştırması, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 22 (2): 302-313.
- [98] Kobya M., Hiz H., Senturk E., Aydiner C., Demirbas E. 2006. Treatment Of Potato Chips Manufacturing Wastewater By Electrocoagulation, Desalination, 190 (1-3): 201-211.
- [99] Murthy Z.V., Nancy C., Kant A. 2007. Separation Of Pollutants From Restaurant Wastewater By Electrocoagulation, Separation Science And Technology, 42 (4): 819-833.
- [100] Panizza M., Cerisola G. 2010. Applicability Of Electrochemical Methods To Carwash Wastewaters For Reuse. Part 2: Electrocoagulation And Anodic Oxidation İntegrated Process, Journal Of Electroanalytical Chemistry, 638 (2): 236-240.
- [101] Janpoor F., Torabian A., Khatibikamal V. 2011. Treatment Of Laundry Wastewater By Electrocoagulation, Journal Of Chemical Technology & Biotechnology, 86 (8): 1113-1120.
- [102] Akyol A. 2012. Treatment Of Paint Manufacturing Wastewater By Electrocoagulation, Desalination, 285: 91-99.
- [103] Wang C-T., Chou W-L., Kuo Y-M. 2009. Removal of Cod From Laundry Wastewater By Electrocoagulation/Electroflotation, Journal of Hazardous Materials, 164 (1): 81-86.
- [104] Maghanga J.K., Segor F.K., Etiğni L., Lusweti J. 2009. Electrocoagulation Method For Colour Removal İn Tea Effluent: A Case Study Of Chemomi Tea Factory İn Rift Valley, Kenya, Bulletin Of The Chemical Society Of Ethiopia, 23 (3): 371-381.
- [105] Bukhari A.A. 2008. Investigation of The Electro-Coagulation Treatment Process for The Removal of Total Suspended Solids And Turbidity From Municipal Wastewaterbioresource Technology, 99 (5): 914-921.

---

*Derleme Makalesi / Review Article*

---

**Bitkilerde Enzimatik ve Enzimatik Olmayan Antioksidanlar**

Oğuz Ayhan KİREÇCİ\*

**Düzeltilme: BEU Fen Bilimleri Dergisi 2018, 7 (2), 473-483**  
<https://dx.doi.org/10.17798/bitlisfen.463251>

Dergimizin 2018 yılı 7(2) sayısında “*Araştırma Makalesi / Research Article*” olarak yayınlanan yukarıda künyesi verilen makale “*Derleme Makalesi / Review Article*” olarak düzeltilmiştir.

---

\*Sorumlu yazar: [kireccioguzayhan@gmail.com](mailto:kireccioguzayhan@gmail.com)  
Geliş Tarihi: 24.09.2018, Kabul Tarihi: 27.11.2018

# 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 uyum olmak zorundadır.** Makaleler aşağıda verilen düzene ve kurallara göre yazılmalıdır.

Makalenin ana bölümleri Giriş, Materyal ve Metot, Bulgular ve Tartışma, Sonuç ve Kaynaklardan oluşur.

**Benzerlik Oranı:** Gönderilen makalelerin benzerlik oranı %15'i geçmemelidir. Her bir benzerlik oranı ise %3'i geçmemelidir.

**Makale Dili:** Türkçe veya İngilizce'dir.

**Başlık:** İçeriğe uygun, kısa ve anlaşılır olmalıdır. Türkçe ve İngilizce başlıklar Times New Roman, 14 punto, kalın (**bold**), ilk harfleri büyük ve ortalanarak yazılmalıdır.

**Yazar isimleri ve adresleri:** Başlığın altındaki yazar isimleri kısaltmasız, ilk harf büyük ve soyadı büyük harflerle, 12 punto, ortalı olarak yazılmalıdır. Yazar isimlerinden sonra virgül ve adres belirtmek için üst simge olarak rakam kullanılmalıdır (1, 2, 3, gibi). Sorumlu yazar isminde mutlaka üst simge yıldız sembolü olmalıdır

(\*). Yazarların tam adresleri isimlerinin hemen alt kısmına küçük harflerle (İlk harfler büyük), ortalı, italik ve 10 punto yazılmalı, sorumlu yazarın e-mail adresi ilk sayfanın sol alt köşesinde (\*) sembolü ile belirtilmelidir.

**Özet ve Anahtar kelimeler (Summary ve Keywords):** Makalede Türkçe ve İngilizce öz olmalı ve makale özü en az 75, en fazla 250 sözcük içerecek şekilde 10 punto olarak yazılmalıdır. Her iki özün hemen altında en az 3, en fazla 6 sözcükten oluşan Anahtar Kelimeler (Keywords) 10 punto olarak yazılmalıdır.

**Ana Metin:** Makaledeki ana başlıklar ve varsa alt başlıklar anlaşılır ve numaralı olmalıdır. Tüm ana metin başlıkları sola yanaşık, İlk harfleri büyük diğerleri küçük harflerle, 11 punto ve kalın karakter olmalıdır. Alt başlıklar 11 punto yazılmalıdır. Metin; iki yana yaslı, paragraflar arası satır boşluğu kullanılmamalı, alt başlıklardan hemen sonraki ilk paragrafta girinti olmamalıdır.

**Giriş:** Konu hakkında kısa bir literatür bilgisi vermeli, sonunda çalışmanın amacı kısaca belirtilmelidir.

**Materyal ve Metot:** Detaylı ve açıklayıcı bir biçimde verilmelidir.

**Bulgular ve Tartışma:** Bu bölümde elde edilen sonuçlara yer verilmeli, sonuçlar gerekirse şekil ve tablolarla da desteklenmelidir. Elde edilen bulgular ilgili literatürlerle karşılaştırılmalıdır.

**Sonuç ve Öneriler:** Sonuçlar gereksiz tekrarlardan kaçınılarak mutlaka yorumlanmalıdır. Sonuçların başka araştırmalarla benzerlik ve farklılıkları verilmeli, bunların olası nedenleri tartışılmalıdır.

**Teşekkür:** Gerek görüldüğü takdirde ya da proje vs. kapsamında bir çalışma ise; çalışmada yardımcıları olan kişi(ler), kurum ve kuruluşlara yardım ve desteklerinden dolayı teşekkür edilmelidir.

**Kaynaklar:** Kaynakların metin içinde gösterimi numara sırasına göre olmalıdır ([1], [2] v.b.). Makale içinde verilen her kaynak, makalenin Kaynaklar kısmında mutlaka yer almalıdır. Kaynaklar makale sonunda numara sırasına göre verilmelidir. Kaynakların makale sonundaki gösterimi aşağıdaki örneklerdeki gibi olmalıdır.



**Kaynak bir makale ise;**

1. Köksal K., Koç F. 2016. Optical Manipulation of Photo-induced Current in Spherical Semiconductor Quantum Dots by Optical Vortices, *Philosophical Magazine*, 96 (25): 2686-2695.
2. Öztürk Ö. 2017. A Different Solution Method for the Confluent Hypergeometric Equation, *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 7 (2): 215-224.
3. Kurşat M., Emre İ., Yılmaz Ö., Erecevit P. 2011. Antioxidant and antimicrobial activity in the seeds of *Origanum vulgare* L. subsp. *gracile* (C. Koch) Ietswaart and *Origanum acutidens* (Hand.-Mazz.) Ietswaart 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, 1004s. İstanbul.
2. Demirsoy A. 1999. *Genel ve Türkiye Zoocoğrafyası "Hayvan Coğrafyası"*. Meteksan Yayınları, 965s. Ankara.

**Kitap bölümü ise;**

1. Cullen J. 1975. *Artemisia L.* in *Flora of Turkey and East Aegean Islands*, Edited by Davis PH, Vol.5, Edinburgh: Edinburgh Univ Press, 311-324.
2. Cassidy J., Elder R. 1984. Spillways of high dams, in *Developments in Hydraulic Engineering 2*, Edited by Novak P., Applied Science Publishers Ltd. Essex, UK, 153-173.

**Kaynak sempozyum ise;**

1. Akyüz M., Kırbağ S. 2012. Fatty Acid and Vitamin Composition of *Pleurotus eryngii* var. *ferulae* Grown on Various Agro-wastes, 21. Ulusal Biyoloji Kongresi, pp1168-1169, 3-7 Eylül, İzmir.
2. Tabur M.A., Uzun A., Ayvaz Y. 2004. Why is White-headed Duck Wintering in Lake Burdur (Turkey) decreasing? 1<sup>st</sup> International Eurasian Ornithology Congress 8-11 April, Abstract Book, 63s. Antalya.

**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. Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora tezi, 348s, Elazığ.

**Kaynak Anonim ise;**

1. Anonim, 1990. Sulak Alanların Korunması. Doğal Hayatı Koruma Derneği, 93s. İstanbul.

**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 virgöl 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 10 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. Öztürk Ö. 2017. A Different Solution Method for the Confluent Hypergeometric Equation, *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 7 (2): 215-224.
3. Kurşat M., Emre İ., Yılmaz Ö., Erecevit P. 2011. Antioxidant and antimicrobial activity in the seeds of *Origanum vulgare* L. subsp. *gracile* (C. Koch) Ietswaart and *Origanum acutidens* (Hand.-Mazz.) Ietswaart 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, 1004s. İstanbul.
2. Demirsoy A. 1999. *Genel ve Türkiye Zoocoğrafyası "Hayvan Coğrafyası"*. Meteksan Yayınları, 965s. Ankara.

**Book Chapter:**

1. Cullen J. 1975. *Artemisia* L. in *Flora of Turkey and East Aegean Islands*, Edited by Davis PH, Vol.5, Edinburgh: Edinburgh Univ Press, 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. Akvüz M., Kırbağ S. 2012. Fatty Acid and Vitamin Composition of *Pleurotus eringii* var. *ferulae* Grown on Various Agro-wastes, 21. Ulusal Biyoloji Kongresi, pp1168-1169, 3-7 Eylül, İzmir.
2. Tabur M.A., Uzun A., Ayvaz Y. 2004. Why is White-headed Duck Wintering in Lake Burdur (Turkey) decreasing? 1<sup>st</sup> International Eurasian Ornithology Congress 8-11 April, Abstract Book, 63s. Antalya.

**Web sites:****If the author name and date are known:**

1. Senel F. 2006. *Kırım-Kongo Kanamalı Ateşi*. <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> (Access Date: 15.01.2007).

**Thesis:**

1. Kursat M. 2010. *Türkiye'de Yetisen Artemisia L. (Asteraceae) Taksonlarının Taksonomik Revizyonu*. Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, PhD Thesis, 348s, Elazığ.

**Anonymous:**

1. Anonymous, 1990. *Sulak Alanların Korunması*. Doğal Hayatı Koruma Derneği, 93s. İstanbul.

**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 titles 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 gelişmelerine katkıda bulunmak ve bu alanlarda elektronik bir kaynak oluşturmak amacıyla yayımlanmaktadır. Derginin yazım dili Türkçe veya İngilizcedir. Fen Bilimleri Dergisi, Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri 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 iki defa (Haziran, 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  
Fen Bilimleri 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 Fen Bilimleri 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)