



Bitlis Eren Üniversitesi
Fen Bilimleri Dergisi

Bitlis Eren University
Journal of Science

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

Cilt / Volume: 9

Sayı / Number: 4

Yıl / Year: 2020

Yazışma Adresi

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

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

Yayın Kurulu / Editorial Board

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

Danışma Kurulu / Advisory Board

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

Hakem Kurulu / Reviewer Board

Prof. Dr. Cengiz KARAGÜZEL	Kütahya Dumlupınar Üniversitesi
Prof. Dr. Ziya Gökalp CEYLAN	Atatürk Üniversitesi
Prof. Dr. Mehmet Cihan AYDIN	Bitlis Eren Üniversitesi
Prof. Dr. Aydın BÜYÜKSARAÇ	Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi
Prof. Dr. Mustafa GÖK	Çukurova Üniversitesi
Prof. Dr. Abdullah BARAN	Ankara Üniversitesi
Prof. Dr. Cemil ÇOLAK	İnönü Üniversitesi
Prof. Dr. Cihangir AKDEMİR	Giresun Üniversitesi
Prof. Dr. Mehtap MURATOĞLU	Fırat Üniversitesi
Prof. Dr. Doğan KARADAĞ	Yıldız Teknik Üniversitesi
Prof. Dr. Hakan ÇOBAN	Bitlis Eren Üniversitesi
Prof. Dr. Serkan ÖZEL	Bitlis Eren Üniversitesi
Prof. Dr. Erol KILIÇKAP	Dicle Üniversitesi
Prof. Dr. Fevzi ÖNEN	Dicle Üniversitesi
Prof. Dr. Hakan ATEŞ	Gazi Üniversitesi
Prof. Dr. Haydar ÖZDEMİR	Ankara Üniversitesi
Prof. Dr. Mehmet Fatih ALTAN	İstanbul Aydın Üniversitesi
Prof. Dr. Mustafa Talha GÖNÜLLÜ	Yıldız Teknik Üniversitesi
Prof. Dr. Ömer Faruk KAYA	Harran Üniversitesi
Prof. Dr. Serkan ERDEMİR	Selçuk Üniversitesi
Doç. Dr. Yasemin KAVDIR	Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi
Doç. Dr. Yaşar AVŞAR	Yıldız Teknik Üniversitesi
Doç. Dr. Akif Evren PARLAK	Fırat Üniversitesi
Doç. Dr. Arif ÖZKAN	Kocaeli Üniversitesi
Doç. Dr. Barış KOÇER	Konya Teknik Üniversitesi
Doç. Dr. Edip AVŞAR	Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi
Doç. Dr. Arif UZUN	Kastamonu Üniversitesi
Doç. Dr. Barış Baykant ALAGÖZ	İnönü Üniversitesi
Doç. Dr. Berna TOPUZ	Ankara Üniversitesi
Doç. Dr. Ersen Aydın YAĞMUR	Manisa Celal Bayar Üniversitesi
Doç. Dr. Tarık DANIŞMAN	Kırıkkale Üniversitesi
Doç. Dr. Feride AKMAN	Bingöl Üniversitesi
Doç. Dr. İlyas SOMUNKIRAN	Fırat Üniversitesi
Doç. Dr. İrfan EMRE	Fırat Üniversitesi
Doç. Dr. Mehmet ÇİÇEK	Pamukkale Üniversitesi
Doç. Dr. Meltem BİLİCİ BAŞKAN	Pamukkale Üniversitesi
Doç. Dr. Muhammed ÇINAR	Muş Alparslan Üniversitesi
Doç. Dr. Muhammed Yasin ÇODUR	Eskişehir Teknik Üniversitesi
Doç. Dr. Murat CANDAN	İnönü Üniversitesi
Doç. Dr. Murat ESKİL	Aksaray Üniversitesi
Doç. Dr. Orhan BAYTAR	Siirt Üniversitesi
Doç. Dr. Özcan BEKTAŞ	Sivas Cumhuriyet Üniversitesi
Doç. Dr. Serdar AKTAŞ	Marmara Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Ali ETTEHADİ	İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Deniz KORKMAZ	Malatya Turgut Özal Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Ersin KORKMAZ	Kırıkkale Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Ertuğrul ERKOÇ	Bursa Teknik Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Gülden GÖK	Aksaray Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Hasan BOZKURT	Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi İjlal ŞİMŞEK	Milli Savunma Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi İshak ERTUĞRUL	Muş Alparslan Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Kazım HANBAY	Bingöl Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Muhammet ARUCU	Bandırma Onyediy Eylül Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Muhammet BAYKARA	Fırat Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Musa KILIÇ	Batman Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi İbrahim DEMİR	Bitlis Eren Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Tolga ZAMAN	Çankırı Karatekin Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Mustafa Cem KASAPBAŞI	İstanbul Ticaret Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Okan ÜRKER	Çankırı Karatekin Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Tuba KOÇ	Çankırı Karatekin Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Ömer IŞIK	Beykent Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Sakin Vural VARLI	Balıkesir Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Selahattin KOŞUNALP	Bandırma Onyediy Eylül Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Uğur DEMİR	Kütahya Dumlupınar Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Volkan TUNALI	Maltepe Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Yakup SAY	Munzur Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Yıldırım PALABIYIK	İstanbul Teknik Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Erhan BERGİL	Amasya Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Mustafa ULAŞ	Fırat Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Ümit BUDAK	Bitlis Eren Üniversitesi
Dr. Tuğçem PARTAL	Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi
Öğr. Gör. Fahrettin Burak DEMİR	Malatya Turgut Özal Üniversitesi
Öğr. Gör. Doğan ŞİMŞEK	Milli Savunma Üniversitesi

Dergi Hakkında / About Journal

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

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

1. **A Theoretical Inference About Ratio Estimation of Population Mean Using Ranked Set Sampling Under Bivariate Normal Distribution** 1469-1481
İki Değişkenli Normal Dağılım Altında Sıralı Küme Örneklemesi Kullanılarak Yığın Ortalamasının Oran Tahmini için Teorik Bir Çıkarıma
S.T. Şahin Tekin, M. Kör, Y.A. Özdemir
2. **Türkiye’den Bazı Kareler İçin Yeni Floristik Kayıtlar** 1482-1495
New Floristic Records for Some Squares from Turkey
L. Behçet, Y. Yapar
3. **Tehdit Altında Bir Bitki Olan Tuzkurgun (*Asparagus lycaonicus* P.H. Davis) Türünün Koruma Biyolojisi Özellikleri Üzerine Güncel Bir Değerlendirme** 1496-1513
*A Current Evaluation on Conservation Biology Properties of Tuzkurgun (*Asparagus lycaonicus* P.H. Davis) that is an Endangered Plant Species*
O. Ürker, T. Keçeli
4. **Tatvan’da Tüketime Sunulan Tavuk Dönerlerin Mikrobiyolojik Kalitesi** 1514-1526
Microbiological Quality of Chicken Doners Presented for Consumed in Tatvan
H. Sancak, Ö. İşleyici, E. Sağun, K. Ekici, D. Başat Dereli, Y.C. Sancak
5. **Interdependence of Bitcoin and Other Crypto Money Indicators: CD Vine Copula Approach** 1527-1536
Bitcoin ve Diğer Kripto Para Göstergelerinin Bağımsızlığı: CD Vine Copula Yaklaşımı
A. Metin Karakaş, A. Demir, S. Çalık
6. **Lucas Type Statistical Convergence of Order α** 1537-1544
Lucas Tipi α . Dereceden İstatistiksel Yakınsaklık
M. Karakaş, H. Dönmez
7. **TiNb-esash β -Ti Alaşımlarının Kristal Yapı, Mikroyapı ve Dönüşüm Sıcaklıklarına Tantal Katkısının Etkileri** 1545-1553
The Effects of Tantalum Additive on the Crystal Structure, Microstructure and Transformation Temperatures of TiNb-based β -Ti Alloys
E. Ercan, F. Dağdelen
8. **Van Gölü Martısı (*Larus armenicus*)’nın Dışkı Muayenesinde Görülen Helmintler** 1554-1558
*Helminths Seen in the Stool Examination of the Lake Van Seagull (*Larus armenicus*)*
A.B. Yılmaz, E. Azizoğlu, Ö. Adızel, F. Algür
9. **Hankendi–Baskil–Kömürhan (Elazığ) arasında kalan alanın florası** 1559-1580
The flora of the area between Hankendi–Baskil and Kömürhan (Elazığ)
İ. Gültürk, M. Kurşat, Ş. Civelek
10. **An Evaluation on the Sexual Mutilation in Females of *Gylippus* Simon, 1879 species (*Gylippinae*, *Gylippidae*, *Solifugae*)** 1581-1586
**Gylippus* Simon, 1879 Türlerinin Dişi Bireylerinde Eşeyssel Deformasyon Üzerine Bir Değerlendirme (*Gylippinae*, *Gylippidae*, *Solifugae*)*
M. Erdek
11. **Benzoat esteri içeren kumarin yapılu bileşiğin deneysel ve kuantum kimyasal hesaplamaları** 1587-1595
Experimental and quantum chemical calculations of coumarin-structured compound containing Benzoate ester
K. Saraç, S. Çetinkaya

12. **RFID Kütüphane Sistemi İçin En Uygun RFID Etiketinin AHP ve ANP Yöntemleriyle Belirlenmesi** 1596-1608
RFID Library System Determination by AHP and ANP Methods
R. Yenigün, A. Yıldız, L. Uğur
13. **Denim Kumaşlarda Görüntü İşleme İle Hata Tespiti** 1609-1620
Error Detection in Denim Fabrics with Image Processing
Z. Pınar, F. Kaya Gülağız, M.A. Altuncu, S. Şahin
14. **Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Evliya Çelebi Yerleşkesine Gelen Toplu Taşıma Araçlarının Hizmet Düzeyinin TCRP 100 ve TCRP 165 Raporlarına Göre Değerlendirilmesi** 1621-1640
Evaluation of Level of Service for Public Transportation Vehicles Incoming Evliya Çelebi Campus of Kütahya Dumlupınar University According to TCRP 100 and TCRP 165 Reports
P. Yalınız, Y. Vitoşoğlu, Ş. Bilgiç
15. **Engel Uzunluğunun Karıştırıcı Güç Sayısına Etkisi** 1641-1648
The Effect of Length of the Baffle on the Power Number
İ. Ayrancı, G. Gök
16. **Polimer Katkılı Harçların Mekanik ve Elektriksel Özdirenç Özelliklerinin Araştırılması** 1649-1654
An Investigation of Mechanical and Electrical Resistivity Properties of Polymer Additive Mortars
K. Güçlüer
17. **p-ter-Bütikaliks[4]aren İmmobilize Merrifield Reçinesinin BTK Buharlarına Karşı QCM Sensör Uygulamaları** 1655-1662
QCM Sensor Applications of p-tert-Butylcalix[4]arene Immobilized Merrifield Resin Towards BTX Vapors
F. Temel
18. **Classifying Protein Sequences Using Convolutional Neural Network** 1663-1671
Evrişimsel Sinir Ağlarını Kullanarak Protein Dizilimlerinin Sınıflandırılması
B. Daş, S. Toraman
19. **Optimal PI Kontrolör Tasarımı için Üçgenler Ağında Lineer Enterpolasyon Yöntemiyle Kararlılık Sınır Yüzeyinin Oluşturulması** 1672-1686
Formation of Stability Boundary Surface by Linear Interpolation Method in Triangles Network for Optimal PI Controller Design
G. Kavuran
20. **Dizel, Dizel/Biyodizel ile Çalışan Bir Motora Kütlece Asetilen Gazı İlavesinin Etkileri** 1687-1697
The Effects of Mass Addition of Acetylene Gas to a Diesel, Diesel/Biodiesel Powered Engine
S. Özer, E. Vural, S. Özel
21. **Doğal Kabak Çekirdeği Kabuğunun Bor Adsorpsiyon Kapasitesi** 1698-1710
Boron Adsorption Capacity of Natural Pumpkin Seed Shell
H. Çelebi
22. **Jeofizik Verilerinden Elde Edilen Sismik Zayıflık İndisinin Yapı Hasar Dağılımının Belirlenmesinde Kullanılabilirliği** 1711-1723
Usability of the Seismic Vulnerability Index Obtained from Geophysical Data in Determining the Structure Damage Distribution
İ. Akkaya
23. **Farklı Kaynak Parametrelerinde Sürtünme Kaynağı ile Birleştirilmiş AISI304/AISI140 Çelik Çiftlerinin Mekanik ve Mikroyapılarının Araştırılması** 1724-1733
Investigation of Mechanical and Microstructures of AISI304/AISI140 Steel Pairs Joined by Friction Welding at Different Welding Parameters
E. Çetkin

24. **Beton Ağırlıklı Barajların Simbiyotik Arama Algoritması ile Optimizasyonu** 1734-1744
Optimization of Concrete Gravity Dams by Symbiotic Search Algorithm
K. Saplıoğlu, E. Çoban, F.A. Şenel, S. Uzundurukan
25. **Termik Santral Küllerinde Yanmamış Karbonun Pulverize Kömür Boyut Dağılımı ve Uçucu Madde İçeriği ile İlişkisi** 1745-1755
The Relationship of Unburned Carbon in Coal fired Power Plants with Pulverized Coal Size Distribution and Volatile Matter Content
M. Bilen, S. Yılmaz
26. **An Application on Technology Addiction with C4.5 Classification Algorithm** 1756-1765
C4.5 Sınıflandırma Algoritması ile Teknoloji Bağımlılığı Üzerine Bir Uygulama
A. Kaçmaz, K. Yıldız, A. Buldu
27. **Zeytin Karasuyunun Anaerobik Arıtılabilirliği ve Biyogaz Üretim Potansiyelinin Araştırılması** 1766-1778
Investigation of Anaerobic Treatability and Biogas Production Potential of Olive Mill Wastewater
F. Tufaner
28. **A Comparative Study of Artificial Neural Networks and Naïve Bayes Techniques for the Classification of Radar Targets** 1779-1788
Radar Hedeflerinin Sınıflandırılması için Yapay Sinir Ağları ve Naïve Bayes Tekniklerinin Karşılaştırmalı Bir Çalışması
D.T. Arık, Ö. Karal, A.B. Şahin
29. **Katkıların Kuyu Çimentosunun Donma Sıcaklığında Sebep Olduğu Değişimlerin Koruma Borusu Tasarımına Etkisinin İncelenmesi** 1789-1794
Investigation of the Effect of the Change of the Well Cement Setting Temperature Caused by Additives on Casing Design
M.H. Özyurtkan, S. Asadov
30. **Platin Grubu Metal İçeren Demir Matının Oksidatif Koşullarda Çözeltiye Alınmasının İncelenmesi** 1795-1806
Investigation of Iron Matte Containing PGMs Leaching under Oxidative Conditions
M.H. Morcali, M. Aksu
31. **Şanlıurfa İli Suruç İlçesi Topraklarının Bazı Özellikleri ve Bitki Besin Elementi Kapsamlarının Belirlenmesi** 1807-1815
Determination of Some Properties and Plant Nutrient Content of the Soil of Suruç District of Şanlıurfa Province
A.R. Öztürkmen, E. Ramazanoğlu, İ.C. Çiçek
32. **Toz Metalurjisi ile Üretilen Şekil Hafızalı NiTi Alaşımlarında Nb Parçacık İlavesinin Mikroyapı ve Sertlik Üzerine Etkisi** 1816-1824
Effect on Microstructure and Hardness of Nb Particle Addition in NiTi Shape Memory Alloys Produced by Powder Metallurgy
H. Gökmeşe, H.B. Karadağ, N.A. Tanış
33. **Sıtma Hastalığının Sınıflandırılmasında Evrişimsel Sinir Ağlarının Performanslarının Karşılaştırılması** 1825-1835
Performances Comparison of Convolutional Neural Networks in the Classification of Malaria Disease
A. Diker
34. **The Electrochemical Synthesis of Ferritic Stainless Steel Alloyed With Nb in H₂SO₄ Environment** 1836-1843
Farklı Miktarlarda Niyobyum ile Alaşımlandırılmış Ferritik Paslanmaz Çeliğin Sülfürik Asitte Elektrokimyasal Sentezi
H. Demirören

Derleme Makaleleri / Review Articles (Engineering)

- | | | |
|-----|---|-----------|
| 35. | Yüksek Hızlı Demiryolları, Üretim ve Ekonomik Kalkınmaya Etkisinin İncelenmesi
<i>A Review of High Speed Railways and Effects on Manufacturing and Development</i>
M.Ç. Kızıldaş | 1844-1853 |
| 36. | Kendi Kendini İyileştirebilen Mühendislik Seramikleri
<i>Self-Healing Ability of Engineering Ceramics</i>
M.G. Gök | 1854-1864 |
| 37. | Towards a Testbed for Dependable Power Distribution Grids
<i>Güvenilebilir Dağıtım Şebekeleri için Dijitalleşme</i>
K. Demir, H. Sascha | 1865-1871 |
-

Araştırma Makalesi / Research Article

A Theoretical Inference About Ratio Estimation of Population Mean Using Ranked Set Sampling Under Bivariate Normal Distribution

Sinem Tuğba ŞAHİN TEKİN^{1*}, Merve KÖR², Yaprak Arzu ÖZDEMİR³

^{1,3}Gazi University, Faculty of Science, Department of Statistics, Besevler, Ankara, Turkey

²Republic of Turkey Ministry of Industry and Technology, Ankara, Turkey

(ORCID: 0000-0003-3544-8123) (ORCID: 0000-0001-5930-8489) (ORCID: 0000-0003-3752-9744)

Abstract

Ranked set sampling is a sampling technique that uses ranking information when measuring units is difficult or expensive. In this study, ratio estimation of the population mean is considered in the case of units ranking by both auxiliary variable and the variable of interest in ranked set sampling under bivariate normal distribution. We obtained some theoretical inferences about the mean square error of the ratio estimation in this situation in a simple form depending on coefficient of variation. Besides, we made a theoretical comparison of mean square errors by ranking based on auxiliary variable and interested variable. Using this comparison, one can choose which ranking strategy should be utilized by using correlation coefficient and coefficients of variation of interested variable and auxiliary variable in a problem easily. When the coefficients of variation are close to each other and the correlation coefficient is close to one, ranking can be conducted according to any variable. However, when the coefficient of variation of the interested variable is greater than the coefficient of variation of the auxiliary variable and the correlation coefficient between them is small, ranking should be preferred by using the interested variable. The performance of the ratio estimators was compared by a simulation study. The simulation results indicated that the ranked set sampling estimators were more efficient than the simple random sampling estimators for the same sample size and correlation coefficient. A real data example was also given to demonstrate for calculating relative efficiencies.

Keywords: Ranked set sampling, Auxiliary variable, Coefficient of variation, Relative efficiency.

İki Değişkenli Normal Dağılım Altında Sıralı Küme Örneklemesi Kullanılarak Yığın Ortalamasının Oran Tahmini için Teorik Bir Çıkarıma

Öz

Sıralı küme örnekleme, birimleri ölçmenin zor veya pahalı olduğu durumlarda sıralama bilgisini kullanan bir örnekleme tekniğidir. Bu çalışmada, iki değişkenli normal dağılım altında sıralı küme örneklemeinde hem yardımcı değişken hem de ilgilenilen değişkene göre birimlerin sıralaması söz konusu olduğunda yığın ortalamasının oran tahmini dikkate alınmıştır. Bu durumda oran tahmininin hata kare ortalamasına ilişkin değişim katsayısına bağlı bazı teorik çıkarımlar elde edilmiştir. Ayrıca, yardımcı değişken ve ilgilenilen değişkene göre sıralama yapılarak elde edilen ortalama hata karelerin teorik bir karşılaştırması yapılmıştır. Bu karşılaştırma kullanılarak, ele alınan problemde hangi sıralama stratejisinin kullanılması gerektiği korelasyon katsayısına ve ilgilenilen değişken ile yardımcı değişkenin değişim katsayılarına bakılarak kolayca seçilebilir. Değişim katsayıları birbirine yakın ve korelasyon katsayısı bire yakın iken herhangi bir değişkene göre sıralama yapılabilir. Ancak ilgilenilen değişkene ilişkin değişim katsayısı yardımcı değişkene ilişkin değişim katsayısından büyük ve aralarındaki korelasyon katsayısı düşük iken ilgilenilen değişkene göre sıralama yapılması tercih edilmelidir. Oran tahmin edicilerinin performansları simülasyon çalışması ile karşılaştırılmıştır. Simülasyon sonuçları, aynı örnek büyüklüğü ve korelasyon katsayısı için sıralı küme örnekleme tahmin edicilerinin, basit rastgele örnekleme tahmin edicilerinden daha etkin olduğunu göstermiştir. Göreli etkinliklerin hesaplanmasını göstermek için gerçek veri örneği de sunulmuştur.

Anahtar kelimeler: Sıralı küme örnekleme, Yardımcı değişken, Değişim katsayısı, Göreli etkinlik.

*Corresponding author: sinemsahin@gazi.edu.tr

Received: 13.02.2020, Accepted: 26.09.2020

1. Introduction

Ranked Set Sampling (RSS) is a technique that is need of in many fields, especially agriculture and environment and widely used in recent years. It can sometimes be quite difficult to the measurement of units in terms of variables of interest. There may not always be enough cost and time for the measurement process. In these cases, using RSS when selecting sample is more benefit than the Simple Random Sampling (SRS) technique in terms of both cost and time.

In RSS, sample is selected at two stages. At the first stage of the sample selection, m random sets of size m are selected from the infinite population and each sample is called as set. Then, the units within each set are ranked with respect to the variable of interest. This ranking is based on such a low level measurement which is inexpensive and can be implemented using prior information, a visual ranking or an auxiliary variable. After then, the smallest unit in the first ordered set and the second smallest unit in the second ordered set is selected respectively. Continuing in this way, till the unit with the largest rank in the m^{th} ordered set is chosen and all selected units measured in accordance with the interested variable with a high level of measurement convincing the desired sensibility, selecting procedure is continued. The whole process can be repeated r times to supply necessary measurements for inference, in this way, producing $n = mr$ measured units out of m^2r selected units. Assuming there is no ranking error, mr measured units are the ranked set sample and this sample is denoted by $\{Y_{(i)j}; i = 1, 2, \dots, m, j = 1, 2, \dots, r\}$. In this way, the unbiased estimator of the population mean is as follow;

$$\bar{Y}_{RSS} = \frac{1}{mr} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^r Y_{(i)j}. \quad (1)$$

Dell and Clutter demonstrated that, even if there are ranking errors, \bar{Y}_{RSS} is an unbiased estimator of the population mean and furthermore,

$$\frac{Var(\bar{Y}_{SRS})}{Var(\bar{Y}_{RSS})} \geq 1,$$

where \bar{Y}_{SRS} is the sample mean for SRS with size n . If the ranking is not effective, it seems like a random sample and the variance of the methods will be equal [1].

RSS was firstly submitted by McIntyre [2]. He proposed a new estimator to estimate the population mean of pasture and forage yields using RSS. He also demonstrated that an unbiased estimator of the population mean was obtained using RSS with variance less than the one obtained using SRS with equal sample size. Then, the necessary mathematical inferences were obtained by Takahasi and Wakimoto [3]. RSS is also used for obtaining the efficient parameter estimations for different distributions. Some of these studies were performed by Lam et. Al., Sinha et al., Bhoj and Ahsanullah, Ozturk, Tahmasebi and Jafari, Dey et. al., Ozturk and Demirel [4-10]. Besides, statistical inferences in finite population setting using ranked set samples were developed by Ozturk and Kavlak [11].

If there is an auxiliary variable positively related with the variable of interest, the ratio estimator of the population mean can be preferred instead of the general estimator of the population mean given in Eq. (1). In the literature, different ratio estimators were proposed for the population mean under RSS. Samawi and Muttlak studied the used of RSS to estimate the population ratio [12]. Ganeslingam and Ganesh compared RSS versus SRS in the estimation of the population mean and the ratio [13]. Al-Omari et. al. proposed a modified ratio-type estimators of the population mean using extreme RSS [14]. Al-Omari et. al. proposed new ratio estimators of the population mean using SRS and RSS methods [15]. Kadilar et. al. proposed a new ratio estimator using RSS [16]. Al-Omari suggested the modified ratio estimators of the population mean and investigated the performance of these estimators according to SRS and median ranked set sampling (MRSS) [17]. Singh et. al. suggested a class of estimators to estimate the population mean using auxiliary variable in RSS [18]. Ozturk considered ratio estimators based on a ranked set sample in a finite population setting, where the sample was constructed either with or without replacement policies [19]. Saini and Kumar proposed ratio estimator by using quartiles of the distribution under SRS and RSS [20]. They also showed that the proposed ratio estimator under RSS is more efficient than SRS by simulation study. Al-Omari and Al-Nasser suggested new estimator for the

population ratio using a multistage MRSS [21]. They obtained that Multistage MRSS estimators are more efficient than the estimators based on SRS, RSS, and MRSS.

In this study, we obtained a new formula about the mean square error (MSE) of the ratio estimator in RSS under normality assumption. In addition to studies in the literature, expected value and MSE formulas for the ratio estimators were obtained theoretically under bivariate normal distribution. These formulas were derived separately for both variable of interest and auxiliary variable ranking cases. Obtained formulas that contain the expected value of order statistics which is obtained from the standard normal distribution can be easily used in practice. The article was organized as follows: In Section 2, ratio estimators of the population mean was considered in the case of the units ranking by both auxiliary variable and variable of interest in RSS. In section 3, a simulation study was conducted. Numerical example was given in Section 4. Finally, we summarized our results in Section 5.

2. Ratio Estimators of the Population Mean in RSS

Let the auxiliary variable be X and variable of interest be Y . In this case, the ratio estimator in RSS will be considered in two situations by which the ranking was done according to variable X and the same according to variable Y .

2.1. Ranking according to auxiliary variable X

Assume that (X, Y) has a bivariate normal distribution with parameters $\mu_X, \mu_Y, \sigma_X, \sigma_Y$ and correlation coefficient ρ and we can rank on the auxiliary variable X . A real measurement of the smallest element of X is taken together with the Y variable associated with the smallest X from the first sample. A real measurement of the second smallest element of X is then taken together with the Y variable associated with the second smallest X from the second sample. This method is continued until the element is chosen for the measurement of the largest rank of X together with the Y associated with the largest X from the m^{th} sample. The cycle can be repeated r times until $n=mr$ units are measured. In this case, the ranking based on X will be perfect while the ranking according to Y will be erroneous. Then, $(Y_{[i]}, X_{(i)})$ is an i^{th} judgement ordering in the i^{th} sample for the variable Y and the i^{th} order statistic in the i^{th} sample for variable X . The ratio estimator of the population ratio $R = \frac{\mu_Y}{\mu_X}$ using RSS when ranking according to variable X is defined as

$$r_{RSS(X)} = \frac{\bar{Y}_{RSS(X)}}{\bar{X}_{RSS(X)}}, \quad (2)$$

where $\bar{Y}_{RSS(X)} = \frac{1}{mr} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^r Y_{[i]j}$ and $\bar{X}_{RSS(X)} = \frac{1}{mr} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^r X_{(i)j}$ are the sample means of ranking variable Y and auxiliary variable X , respectively. The ratio estimator for the population mean is defined as

$$\bar{Y}_{r_{RSS(X)}} = r_{RSS(X)} \mu_X = \frac{\bar{Y}_{RSS(X)}}{\bar{X}_{RSS(X)}} \mu_X, \quad (3)$$

where $\mu_X = E(X)$.

The expected value of $\bar{Y}_{r_{RSS(X)}}$ is defined as

$$E(\bar{Y}_{r_{RSS(X)}}) = \mu_X E(r_{RSS(X)}) = \mu_X E(R(1 + e_0)(1 + e_1)^{-1}),$$

where $e_1 = \frac{\bar{X}_{RSS(X)}}{\mu_X} - 1$ and $e_0 = \frac{\bar{Y}_{RSS(X)}}{\mu_Y} - 1$.

By using the Taylor expansion for the first order approximation, we have

$$E(\bar{Y}_{r_{RSS(X)}}) \cong \mu_X RE(1 + e_0 - e_1 - e_0 e_1 + e_1^2),$$

$$= \mu_x R(1 + E(e_1^2) - E(e_0 e_1)), \tag{4}$$

where

$$E(e_1^2) = E\left(\frac{(\bar{X}_{RSS(X)} - \mu_x)^2}{\mu_x^2}\right) = \frac{1}{\mu_x^2} \text{Var}(\bar{X}_{RSS(X)}) = \frac{1}{\mu_x^2} \frac{1}{mr} \left(\sigma_x^2 - \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \tau_{x(i)}^2\right),$$

$$E(e_0 e_1) = E\left(\left(\frac{\bar{Y}_{RSS(X)} - \mu_y}{\mu_y}\right)\left(\frac{\bar{X}_{RSS(X)} - \mu_x}{\mu_x}\right)\right) = \frac{1}{\mu_x \mu_y} E\left((\bar{Y}_{RSS(X)} - \mu_y)(\bar{X}_{RSS(X)} - \mu_x)\right),$$

$$= \frac{1}{\mu_x \mu_y} \frac{1}{mr} \left(\sigma_{yx} - \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \tau_{yx(i)}\right).$$

The following expected value formula is obtained by using these expressions in their places in Eq.(4)

$$E(\bar{Y}_{r_{RSS(X)}}) \cong \mu_x R \left[1 + \frac{1}{\mu_x^2} \frac{1}{mr} \left(\sigma_x^2 - \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \tau_{x(i)}^2\right) - \frac{1}{\mu_x \mu_y} \frac{1}{mr} \left(\sigma_{yx} - \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \tau_{yx(i)}\right) \right],$$

where $\sigma_x^2 = E(X - \mu_x)^2$, $\sigma_{xy} = E(X - \mu_x)(Y - \mu_y)$ is the variance of X and covariance of X and Y variable respectively. Besides, $\tau_{x(i)}^2 = (E(X_{(i)}) - \mu_x)^2$ and $\tau_{yx(i)} = (E(X_{(i)}) - \mu_x)(E(Y_{[i]}) - \mu_y)$.

The *MSE* of $\bar{Y}_{r_{RSS(X)}}$ is also obtain as similar way to obtained expected value as follows

$$MSE(\bar{Y}_{r_{RSS(X)}}) = \mu_x^2 E(r_{RSS(X)} - R)^2 = \mu_x^2 R^2 E((1 + e_0)(1 + e_1)^{-1} - 1)^2.$$

By using the Taylor expansion for the first order approximation, we have

$$MSE(\bar{Y}_{r_{RSS(X)}}) \cong \mu_x^2 R^2 (E(e_0^2) + E(e_1^2) - 2E(e_0 e_1)),$$

where

$$E(e_0^2) = E\left(\frac{(\bar{Y}_{RSS(X)} - \mu_y)^2}{\mu_y^2}\right) = \frac{1}{\mu_y^2} E(\bar{Y}_{RSS(X)} - \mu_y)^2 = \frac{1}{\mu_y^2} \text{Var}(\bar{Y}_{RSS(X)}),$$

$$MSE(\bar{Y}_{r_{RSS(X)}}) \cong \mu_x^2 \frac{R^2}{mr} \left[\frac{\sigma_x^2}{\mu_x^2} + \frac{\sigma_y^2}{\mu_y^2} - \frac{2\rho\sigma_x\sigma_y}{\mu_x\mu_y} \right] - \mu_x^2 \frac{R^2}{m^2 r} \left[\frac{\sum_{i=1}^m \tau_{x(i)}^2}{\mu_x^2} + \frac{\sum_{i=1}^m \tau_{y[i]}^2}{\mu_y^2} - \frac{2 \sum_{i=1}^m \tau_{yx(i)}}{\mu_x\mu_y} \right],$$

$$= \frac{\mu_y^2}{mr} [C_x^2 + C_y^2 - 2\rho C_x C_y] - \frac{\mu_y^2}{m^2 r} \left[\frac{\sum_{i=1}^m \tau_{x(i)}^2}{\mu_x^2} + \frac{\sum_{i=1}^m \tau_{y[i]}^2}{\mu_y^2} - \frac{2 \sum_{i=1}^m \tau_{yx(i)}}{\mu_x\mu_y} \right], \tag{5}$$

where $\sigma_y^2 = E(Y - \mu_y)^2$, $C_x = \frac{\sigma_x}{\mu_x}$ and $C_y = \frac{\sigma_y}{\mu_y}$ are the coefficient of variation of X and Y variables, respectively and $\tau_{y[i]}^2 = (E(Y_{[i]}) - \mu_y)^2$.

The *MSE* of the ratio estimator for the population mean under *SRS* can be defined as

$$MSE(\bar{Y}_{r_{SRS}}) \cong \frac{\mu_y^2}{mr} [C_x^2 + C_y^2 - 2\rho C_x C_y]. \tag{6}$$

Thus, the *MSE*($\bar{Y}_{r_{RSS(X)}}$) given in Eq. (5) can be rewritten as follows

$$MSE(\bar{Y}_{r_{RSS(X)}}) \cong MSE(\bar{Y}_{r_{SRS}}) - \frac{\mu_y^2}{m^2 r} \left[\frac{\sum_{i=1}^m \tau_{x(i)}^2}{\mu_x^2} + \frac{\sum_{i=1}^m \tau_{y[i]}^2}{\mu_y^2} - \frac{2 \sum_{i=1}^m \tau_{yx(i)}}{\mu_x\mu_y} \right]. \tag{7}$$

Theorem 1: The MSE of the ratio estimator for the population mean μ_y in RSS when the ranking according to auxiliary variable X is defined as follows

$$MSE(\bar{Y}_{r_{RSS}(X)}) \cong MSE(\bar{Y}_{r_{SRS}}) - (C_x - \rho C_y)^2 \frac{\mu_y^2}{m^2 r} \sum_{i=1}^m \alpha_{i:m}^2, \quad (8)$$

where $\alpha_{i:m}$ is the expected value of i^{th} order statistics $Z_{(i)}$ which is obtained from the sample with size m from the standard normal distribution.

Proof 1: Under the assumption of the linear relationship between X and Y , the conditional mean of $Y_{[i]}$ is defined as

$$E(Y_{[i]} / X_{(i)}) = \mu_y + \rho \frac{\sigma_y}{\sigma_x} (X_{(i)} - \mu_x).$$

The mean of $Y_{[i]}$ is obtained as follows [22]

$$E(E(Y_{[i]} / X_{(i)})) = E(Y_{[i]}) = \mu_y + \rho \frac{\sigma_y}{\sigma_x} (E(X_{(i)}) - \mu_x). \quad (9)$$

Let $Z_{(i)}$ is the i^{th} order statistic of the sample with size m from the standard normal distribution. Using the expected value of $E(Z_{(i)})$

$$E(Z_{(i)}) = \alpha_{i:m} = \frac{E(X_{(i)}) - \mu_x}{\sigma_x}. \quad (10)$$

Eq. (9) is rewritten as follows

$$E(E(Y_{[i]} / X_{(i)})) = E(Y_{[i]}) = \mu_y + \rho \sigma_y \alpha_{i:m}. \quad (11)$$

When Eq. (7) is considered again, the MSE of $\bar{Y}_{r_{RSS}(X)}$ can be found as follows

$$\begin{aligned} MSE(\bar{Y}_{r_{RSS}(X)}) &\cong MSE(\bar{Y}_{r_{SRS}}) - \frac{\mu_y^2}{m^2 r} \left[\frac{\sum_{i=1}^m \tau_{x(i)}^2}{\mu_x^2} + \frac{\sum_{i=1}^m \tau_{y[i]}^2}{\mu_y^2} - \frac{2 \sum_{i=1}^m \tau_{yx(i)}}{\mu_x \mu_y} \right], \\ &= MSE(\bar{Y}_{r_{SRS}}) - \frac{\mu_y^2}{m^2 r} \sum_{i=1}^m (W_{x(i)} - W_{y[i]})^2, \end{aligned} \quad (12)$$

where $W_{x(i)} = \frac{E(X_{(i)}) - \mu_x}{\mu_x}$ and $W_{y[i]} = \frac{E(Y_{[i]}) - \mu_y}{\mu_y}$.

Using Eqs. (10) and (11), $W_{x(i)}$ and $W_{y[i]}$ are obtained as follows

$$W_{y[i]} = \frac{E(Y_{[i]}) - \mu_y}{\mu_y} = \frac{\rho \sigma_y}{\mu_y} \alpha_{i:m} \quad \text{and} \quad W_{x(i)} = \frac{E(X_{(i)}) - \mu_x}{\mu_x} = \frac{\sigma_x}{\mu_x} \alpha_{i:m}.$$

Finally, the following MSE formula given in Theorem 1 is obtained and the proof is completed.

$$MSE(\bar{Y}_{r_{RSS}(X)}) \cong MSE(\bar{Y}_{r_{SRS}}) - (C_x - \rho C_y)^2 \frac{\mu_y^2}{m^2 r} \sum_{i=1}^m \alpha_{i:m}^2. \quad (13)$$

As seen in Eq. (13), $MSE(\bar{Y}_{r_{RSS}(X)})$ value varies depending on the exchange C_y , C_x and ρ . As the difference between C_y and ρC_x increases, $MSE(\bar{Y}_{r_{RSS}(X)})$ will be smaller than $MSE(\bar{Y}_{r_{SRS}})$. Furthermore, when C_y and C_x are the same, as ρ is close to 1, $MSE(\bar{Y}_{r_{RSS}(X)})$ and $MSE(\bar{Y}_{r_{SRS}})$ values are close to each other. As long as the right side of the Eq.(13) is positive, the $MSE(\bar{Y}_{r_{RSS}(X)})$ will be

smaller than the $MSE(\bar{Y}_{r_{SRS}})$. Thus, more effective results than those of SRS will be obtained in case of ranking according to X .

2.2 Ranking according to variable of interest Y

In real life applications, units are usually ordered using an auxiliary variable. However, in some cases ordering according to an interested variable can be preferred. Units can be ordered by visual ranking according to interested variable in some environmental studies. Similar to the ranking by auxiliary variable, units are visually ranked within each sample with respect to the variable of interest Y . Assume that there is no visual ranking error. In this case, the ranking according to Y will be perfect while the ranking based on X will be erroneous. Therefore, $(Y_{(i)}, X_{[i]})$ is the i^{th} order statistic in the i^{th} sample for the variable Y and the i^{th} judgement ordering in the i^{th} sample for the variable X . The ratio estimator using RSS when ranking according to variable Y is defined as

$$r_{RSS(Y)} = \frac{\bar{Y}_{RSS(Y)}}{\bar{X}_{RSS(Y)}}, \quad (14)$$

where $\bar{Y}_{RSS(Y)} = \frac{1}{mr} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^r Y_{(i)j}$ and $\bar{X}_{RSS(Y)} = \frac{1}{mr} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^r X_{[i]j}$ are the sample means of RSS with errors in ranking variable X and with perfect ranking of variable Y , respectively. The ratio estimator for the population mean μ_y is defined by

$$\bar{Y}_{r_{RSS(Y)}} = r_{RSS(Y)} \mu_x = \frac{\bar{Y}_{RSS(Y)}}{\bar{X}_{RSS(Y)}} \mu_x. \quad (15)$$

The expected value and MSE of $\bar{Y}_{r_{RSS(Y)}}$ are obtained as ranking according to variable of interest. The expected value of $\bar{Y}_{r_{RSS(Y)}}$ is defined as

$$E(\bar{Y}_{r_{RSS(Y)}}) = \mu_x E(r_{RSS(Y)}) = \mu_x E(R(1 + e_0)(1 + e_1)^{-1}),$$

$$\text{where } e_1 = \frac{\bar{X}_{RSS(Y)}}{\mu_x} - 1 \text{ and } e_0 = \frac{\bar{Y}_{RSS(Y)}}{\mu_y} - 1.$$

By using the Taylor expansion for the first order approximation, we have

$$\begin{aligned} E(\bar{Y}_{r_{RSS(Y)}}) &\cong \mu_x R E(1 + e_0 - e_1 - e_0 e_1 + e_1^2), \\ &= \mu_x R (1 + E(e_1^2) - E(e_0 e_1)), \end{aligned}$$

where

$$E(e_1^2) = E\left(\frac{(\bar{X}_{RSS(Y)} - \mu_x)^2}{\mu_x^2}\right) = \frac{1}{\mu_x^2} \text{Var}(\bar{X}_{RSS(Y)}) = \frac{1}{\mu_x^2} \frac{1}{mr} \left(\sigma_x^2 - \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \tau_{x[i]}^2\right),$$

$$\begin{aligned} E(e_0 e_1) &= E\left(\left(\frac{\bar{Y}_{RSS(Y)} - \mu_y}{\mu_y}\right)\left(\frac{\bar{X}_{RSS(Y)} - \mu_x}{\mu_x}\right)\right) = \frac{1}{\mu_x \mu_y} E\left((\bar{Y}_{RSS(Y)} - \mu_y)(\bar{X}_{RSS(Y)} - \mu_x)\right), \\ &= \frac{1}{\mu_x \mu_y} \frac{1}{mr} \left(\sigma_{yx} - \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \tau_{yx(i)}\right). \end{aligned}$$

Thus the expected value is obtained as

$$E(\bar{Y}_{r_{RSS(Y)}}) \cong \mu_y \left[1 + \frac{1}{\mu_x^2} \frac{1}{mr} \left(\sigma_x^2 - \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \tau_{x[i]}^2\right) - \frac{1}{\mu_x \mu_y} \frac{1}{mr} \left(\sigma_{xy} - \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \tau_{xy(i)}\right)\right], \quad (16)$$

where $\tau_{x[i]}^2 = (E(X_{[i]}) - \mu_x)^2$ and $\tau_{xy(i)} = (E(X_{[i]}) - \mu_x)(E(Y_{(i)}) - \mu_y)$.

The MSE of $\bar{Y}_{r_{RSS(Y)}}$ is also obtain as similar way to obtained expected value as follows

$$MSE(\bar{Y}_{r_{RSS(Y)}}) = \mu_x^2 E(r_{RSS(Y)} - R)^2 = \mu_x^2 R^2 E((1 + e_0)(1 + e_1)^{-1} - 1)^2.$$

By using the Taylor expansion for the first order approximation, we have

$$MSE(\bar{Y}_{r_{RSS(Y)}}) \cong \mu_x^2 R^2 (E(e_0^2) + E(e_1^2) - 2E(e_0 e_1)),$$

where

$$E(e_0^2) = E\left(\frac{(\bar{Y}_{RSS(Y)} - \mu_y)^2}{\mu_y^2}\right) = \frac{1}{\mu_y^2} E(\bar{Y}_{RSS(Y)} - \mu_y)^2 = \frac{1}{\mu_y^2} Var(\bar{Y}_{RSS(Y)}).$$

By using these definitions, the MSE is given as

$$\begin{aligned} MSE(\bar{Y}_{r_{RSS(Y)}}) &\cong \mu_x^2 \frac{R^2}{mr} \left[\frac{\sigma_x^2}{\mu_x^2} + \frac{\sigma_y^2}{\mu_y^2} - \frac{2\rho\sigma_x\sigma_y}{\mu_x\mu_y} \right] - \mu_x^2 \frac{R^2}{m^2r} \left[\frac{\sum_{i=1}^m \tau_{x[i]}^2}{\mu_x^2} + \frac{\sum_{i=1}^m \tau_{y(i)}^2}{\mu_y^2} - \frac{2\sum_{i=1}^m \tau_{xy(i)}}{\mu_x\mu_y} \right], \\ &= \frac{\mu_y^2}{mr} [C_x^2 + C_y^2 - 2\rho C_x C_y] - \frac{\mu_y^2}{m^2r} \left[\frac{\sum_{i=1}^m \tau_{x[i]}^2}{\mu_x^2} + \frac{\sum_{i=1}^m \tau_{y(i)}^2}{\mu_y^2} - \frac{2\sum_{i=1}^m \tau_{xy(i)}}{\mu_x\mu_y} \right], \\ &= MSE(\bar{Y}_{r_{SRS}}) - \frac{\mu_y^2}{m^2r} \left[\frac{\sum_{i=1}^m \tau_{x[i]}^2}{\mu_x^2} + \frac{\sum_{i=1}^m \tau_{y(i)}^2}{\mu_y^2} - \frac{2\sum_{i=1}^m \tau_{xy(i)}}{\mu_x\mu_y} \right], \end{aligned} \tag{17}$$

where $\tau_{y(i)}^2 = (E(Y_{(i)}) - \mu_y)^2$ and $\tau_{xy(i)} = (E(X_{[i]}) - \mu_x)(E(Y_{(i)}) - \mu_y)$.

Theorem 2: Let Y has a normal distribution with the population mean μ_y and population variance σ_y^2 . The MSE of the ratio estimator for the population mean μ_y in RSS when the ranking according to interest variable Y is defined as follows

$$MSE(\bar{Y}_{r_{RSS(Y)}}) = MSE(\bar{Y}_{r_{SRS}}) - (\rho C_x - C_y)^2 \frac{\mu_y^2}{m^2r} \sum_{i=1}^m \alpha_{i:m}^2, \tag{18}$$

where $\alpha_{i:m} = E(Z_{(i)}) = \frac{E(Y_{(i)}) - \mu_y}{\sigma_y}$.

The proof and comments of Theorem 2 are similar to Theorem 1.

Using the MSEs given in Theorem 1 and 2, the difference between $MSE(\bar{Y}_{r_{RSS(X)}})$ and $MSE(\bar{Y}_{r_{RSS(Y)}})$ is obtained as follows

$$\begin{aligned} MSE(\bar{Y}_{r_{RSS(X)}}) - MSE(\bar{Y}_{r_{RSS(Y)}}) &= [(\rho C_x - C_y)^2 - (C_x - \rho C_y)^2] \frac{\mu_y^2}{m^2r} \sum_{i=1}^m \alpha_{i:m}^2, \\ &= [(C_x^2 - C_y^2) (\rho^2 - 1)] \frac{\mu_y^2}{mn} \sum_{i=1}^m \alpha_{i:m}^2. \end{aligned} \tag{19}$$

As seen in Eq. (19), C_y , C_x and ρ values should be examined to determine which variable to employ for ranking. When C_y^2 and C_x^2 are close to each other or ρ is close to 1, there is a small difference between ranking based on auxiliary and interested variables. When $C_y^2 > C_x^2$ and ρ value is small, the ranking according to Y can be preferred. Besides, when $C_x^2 > C_y^2$ and ρ value is small, the ranking according to X can be preferred.

3. Simulation Study

In this section, Monte Carlo simulation study was performed to support the theoretical results given in Section 2. In the simulation study, data were obtained from the bivariate normal distribution for the interest variable Y with the auxiliary variable X . The parameters of this bivariate normal distribution were determined to provide the coefficient of variations $C_x=0.005$ ($\mu_x = 200, \sigma_x = 1$), $C_y=0.1$ ($\mu_y = 10, \sigma_y = 1$) and $C_x=C_y=0.05$ ($\mu_x = \mu_y = 20, \sigma_x = \sigma_y = 1$). Thus, $C_x=C_y$ and $C_x < C_y$ cases were examined. In the case of $C_x > C_y$ ($C_x = 0.1, C_y=0.005$), since the classical sample mean statistics is more efficient than the ratio estimator for the population mean in SRS [23, 24], this situation was not included in the simulation study.

Set size and cycle size are taken as $m = 3, 4, 5, 6, 9, 10, r = 1$ and correlation coefficient is taken as $\rho = 0.50, 0.60, 0.70, 0.80, 0.90, 0.99$. Using these generated data, ratio estimators were obtained according to SRS and RSS designs. The simulation study was repeated 500000 times. The simulation is carried out using Matlab2007b software.

In order to compare the performance of the ratio estimators, proportional bias (PB) and relative efficiency (RE) values were calculated by obtaining the expected and MSE values of these estimators. PB values for SRS and RSS ranking by X and Y are calculated as follows respectively,

$$PB_{(SRS)} = \frac{E(\bar{y}_{r_{SRS}}) - \mu_y}{\mu_y}, \quad (20)$$

$$PB_{(RSS(X))} = \frac{E(\bar{y}_{r_{RSS(X)}}) - \mu_y}{\mu_y}, \quad (21)$$

$$PB_{(RSS(Y))} = \frac{E(\bar{y}_{r_{RSS(Y)}}) - \mu_y}{\mu_y}. \quad (22)$$

RE values for ranking according to auxiliary and interested variables can be defined as follows:

$$RE_{(SRS,RSS(X))} = \frac{MSE(\bar{Y}_{r_{SRS}})}{MSE(\bar{Y}_{r_{RSS(X)}})}, \quad RE_{(SRS,RSS(Y))} = \frac{MSE(\bar{Y}_{r_{SRS}})}{MSE(\bar{Y}_{r_{RSS(Y)}})}. \quad (23)$$

The results were given in Tables 1 and 2.

Table 1. $RE_{(SRS,RSS(X))}$ and $RE_{(SRS,RSS(Y))}$ values when $C_x < C_y$

ρ		$n=3$	$n=4$	$n=5$	$n=6$	$n=9$	$n=10$
0.99	$PB_{(SRS)}$	-0.0001	-0.0002	0.0000	0.0000	-0.0006	0.0000
	$PB_{(RSS(X))}$	-0.0001	-0.0001	-0.0001	-0.0001	0.0000	0.0000
	$PB_{(RSS(Y))}$	-0.0001	-0.0001	0.0000	-0.0001	0.0000	0.0000
	$RE_{(SRS,RSS(X))}$	1.8701	2.2652	2.6647	3.0123	4.1947	4.5590
	$RE_{(SRS,RSS(Y))}$	1.9071	2.3397	2.7690	3.1657	4.5573	4.9363
0.90	$PB_{(SRS)}$	-0.0002	-0.0001	-0.0001	0.0000	0.0000	-0.0001
	$PB_{(RSS(X))}$	-0.0002	-0.0001	-0.0001	0.0000	0.0000	0.0000
	$PB_{(RSS(Y))}$	-0.0001	-0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	$RE_{(SRS,RSS(X))}$	1.7187	2.0002	2.2449	2.3661	2.9102	3.0795
	$RE_{(SRS,RSS(Y))}$	1.9135	2.3562	2.7614	3.1181	4.4288	4.8785
0.80	$PB_{(SRS)}$	-0.0002	0.0000	0.0000	-0.0001	-0.0001	-0.0001
	$PB_{(RSS(X))}$	-0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	$PB_{(RSS(Y))}$	-0.0001	-0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	$RE_{(SRS,RSS(X))}$	1.5738	1.7566	1.9379	2.0531	2.2558	2.4713
	$RE_{(SRS,RSS(Y))}$	1.9055	2.3448	2.7647	3.1356	4.4428	4.8716
0.70	$PB_{(SRS)}$	-0.0001	-0.0001	0.0000	-0.0001	0.0000	-0.0001
	$PB_{(RSS(X))}$	0.0000	0.0000	0.0000	-0.0002	0.0000	-0.0001
	$PB_{(RSS(Y))}$	0.0000	-0.0001	0.0000	-0.0001	0.0000	0.0000
	$RE_{(SRS,RSS(X))}$	1.4869	1.6086	1.7199	1.7916	1.8960	2.0170
	$RE_{(SRS,RSS(Y))}$	1.9096	2.3387	2.7489	3.1396	4.4126	4.8503
0.60	$PB_{(SRS)}$	-0.0001	-0.0002	-0.0001	0.0000	0.0000	0.0000
	$PB_{(RSS(X))}$	0.0000	0.0000	0.0000	-0.0001	0.0000	-0.0001
	$PB_{(RSS(Y))}$	0.0000	0.0000	0.0000	-0.0001	0.0000	0.0000
	$RE_{(SRS,RSS(X))}$	1.3997	1.4673	1.5481	1.6147	1.6664	1.7286
	$RE_{(SRS,RSS(Y))}$	1.9090	2.3381	2.7567	3.1384	4.3894	4.8197
0.50	$PB_{(SRS)}$	-0.0001	0.0000	-0.0001	0.0000	0.0001	0.0000
	$PB_{(RSS(X))}$	0.0000	0.0000	-0.0001	-0.0002	0.0000	0.0000
	$PB_{(RSS(Y))}$	0.0000	0.0000	0.0000	-0.0001	0.0000	0.0000
	$RE_{(SRS,RSS(X))}$	1.3329	1.3739	1.4420	1.4868	1.5034	1.5478
	$RE_{(SRS,RSS(Y))}$	1.9128	2.3412	2.7514	3.1412	4.4069	4.7847

Table 2. $RE_{(SRS,RSS(X))}$ and $RE_{(SRS,RSS(Y))}$ values when $C_x = C_y$

ρ		$n=3$	$n=4$	$n=5$	$n=6$	$n=9$	$n=10$
0.99	$PB_{(SRS)}$	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	$PB_{(RSS(X))}$	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	$PB_{(RSS(Y))}$	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	$RE_{(SRS,RSS(X))}$	0.9953	1.0032	0.9961	0.9979	1.0031	0.9969
	$RE_{(SRS,RSS(Y))}$	1.0011	0.9997	0.9983	1.0000	0.9973	1.0038
0.90	$PB_{(SRS)}$	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0000	0.0000
	$PB_{(RSS(X))}$	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	$PB_{(RSS(Y))}$	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0000	0.0000
	$RE_{(SRS,RSS(X))}$	1.0363	1.0162	1.0429	1.0328	1.0225	1.0272
	$RE_{(SRS,RSS(Y))}$	1.0141	1.0320	1.0183	1.0346	1.0476	1.0313
0.80	$PB_{(SRS)}$	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0000	0.0001
	$PB_{(RSS(X))}$	0.0001	0.0000	0.0000	0.0004	0.0000	0.0000
	$PB_{(RSS(Y))}$	0.0002	0.0002	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
	$RE_{(SRS,RSS(X))}$	1.0376	1.0492	1.0468	1.0569	1.0666	1.0502
	$RE_{(SRS,RSS(Y))}$	1.0486	1.0659	1.0705	1.0656	1.0768	1.0834
0.70	$PB_{(SRS)}$	0.0003	0.0002	0.0002	0.0001	0.0001	0.0001
	$PB_{(RSS(X))}$	0.0002	0.0001	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000
	$PB_{(RSS(Y))}$	0.0003	0.0003	0.0003	0.0002	0.0001	0.0001
	$RE_{(SRS,RSS(X))}$	1.0626	1.0832	1.0941	1.0774	1.1224	1.1095
	$RE_{(SRS,RSS(Y))}$	1.0635	1.0839	1.0923	1.0881	1.0947	1.1060
0.60	$PB_{(SRS)}$	0.0004	0.0002	0.0002	0.0002	0.0001	0.0001
	$PB_{(RSS(X))}$	0.0002	0.0001	0.0000	0.0001	0.0000	0.0000
	$PB_{(RSS(Y))}$	0.0004	0.0003	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002
	$RE_{(SRS,RSS(X))}$	1.0908	1.1000	1.1162	1.1050	1.1603	1.1665
	$RE_{(SRS,RSS(Y))}$	1.0743	1.1269	1.1111	1.1452	1.1430	1.1332
0.50	$PB_{(SRS)}$	0.0004	0.0003	0.0003	0.0002	0.0001	0.0001
	$PB_{(RSS(X))}$	0.0003	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0000
	$PB_{(RSS(Y))}$	0.0005	0.0003	0.0003	0.0003	0.0002	0.0002
	$RE_{(SRS,RSS(X))}$	1.1062	1.1109	1.1428	1.1360	1.1916	1.2027
	$RE_{(SRS,RSS(Y))}$	1.1029	1.1527	1.1399	1.1867	1.1719	1.1702

As seen from Table 1, $RE_{(SRS,RSS(X))}$ ve $RE_{(SRS,RSS(Y))}$ values increase as the n value increases for the same ρ correlation coefficient. It is also seen that $RE_{(SRS,RSS(X))} < RE_{(SRS,RSS(Y))}$ in all cases as expected. As ρ approaches 0.50, the increase rate of $RE_{(SRS,RSS(X))}$ is lower than the increase rate of $RE_{(SRS,RSS(Y))}$ when n value increases.

As ρ decreases and n increases, the differences between $RE_{(SRS,RSS(X))}$ and $RE_{(SRS,RSS(Y))}$ values increase. For all ρ values under the same sample size, $RE_{(SRS,RSS(Y))}$ values are close to each other. For example, when $n=3$ and $\rho=0.99$, $RE_{(SRS,RSS(Y))}$ value is 1.9071, similarly when $n=3$ and $\rho=0.50$, $RE_{(SRS,RSS(Y))}$ value is 1.9128. Thus, it can be said that $RE_{(SRS,RSS(Y))}$ values are not affected by the value of ρ . When PB values are considered, it is seen that these values close to zero in all cases.

As seen from Table 2, $RE_{(SRS,RSS(X))}$ and $RE_{(SRS,RSS(Y))}$ values are approximately 1 when $\rho=0.99$. In this case, the efficiency of the RSS(X), RSS(Y) and SRS designs are very close to each other. As ρ decreases and n value increases, $RE_{(SRS,RSS(X))}$ and $RE_{(SRS,RSS(Y))}$ values increase. Also PB values are close to 0 for all cases.

4. Numerical Example

To illustrate how one might implement the estimators given in section 2, we used the data, which represent the weight (Y) and the length (X) of 167 fish of the Alburnus mossulensis population living in Keban Dam Lake, Elazığ in Turkey. They were captured between date of November 2011 and December 2012 [25]. In this example, we were interested in the estimation of the mean for fish weight using RSS. Auxiliary variable was taken as fish length in this study. The samples were ranked based on both weight and length. The correlation coefficient between weight and length was calculated as 0.8837. This correlation is appropriate to use ratio estimator in RSS. The ratio estimation of the population mean was calculated when the unit ranking was performed based on both auxiliary variable and variable of interest in RSS. Numerical example was performed for $n= 6$, $(m,r)=(2,3)$, $(3,2)$, $(6,1)$ and $n= 10$, $(m,r)=(2,5)$, $(5,2)$, $(10,1)$ for the RSS and SRS data sets. The parameter values were given in Table 3.

Table 3. Parameter values for X and Y variables

$N = 167$	$\rho_{xy} = 0.8837$
$\mu_x = 126.44$	$\mu_y = 12.50$
$\sigma_x^2 = 50.5487$	$\sigma_y^2 = 4.7648$
$C_x = 0.056$	$C_y = 0.174$

The population ratio was defined by $R = \frac{\mu_y}{\mu_x} = \frac{12.50}{126.44} = 0.0989$. The calculated MSE values using Eq. (6), (8) and (18) and RE using Eq. (23) were given in Table 4.

As can be seen in Table 4, $MSE(\bar{Y}_{rRSS(Y)})$ is smaller than $MSE(\bar{Y}_{rRSS(X)})$ for the same (m,r) values. However, to compare the REs of the estimators with each other, we obtained the values of MSE of each estimator using the population data, both $MSE(\bar{Y}_{rRSS(X)})$ and $MSE(\bar{Y}_{rRSS(Y)})$ values are smaller than $MSE(\bar{Y}_{rSRS})$ for the same sample size. For example, when $m=2$ and $r=3$, $MSE(\bar{Y}_{rRSS(Y)}) = 0.2942$ is smaller than $MSE(\bar{Y}_{rRSS(X)}) = 0.3437$ and when $n=mr=6$, both of them are smaller than $MSE(\bar{Y}_{rSRS}) = 0.4232$. For the same sample size, when the set size increases, MSE values decrease for all cases. Thus, for the same sample size, a larger set size and a smaller cycle size in RSS can be preferred. Moreover, $RE_{(SRS,RSS(Y))}$ values are larger than $RE_{(SRS,RSS(X))}$ for same m and r . Besides, RE values are increases as the sample size increases. Since $\rho=0.8837$, $RE_{(SRS,RSS(X))}$ values are also greater than 1.

In terms of sample size, $RE_{(SRS,RSS(Y))}$ and $RE_{(SRS,RSS(X))}$ values are equal with each other for the same m values $((m,r)=(2,3), (2,5))$. As can be seen in Eq. (19), the r number of cycles does not affect the RE values. Besides, the maximum $RE_{(SRS,RSS(Y))}$ and $RE_{(SRS,RSS(X))}$ values are obtained for $n=10$ when $m=10$ and $r=1$.

Since $C_y^2 > C_x^2$, the ranking according to the interested variable can be preferred for this data. Besides, the difference between the MSE 's is small because the ρ value is 0.8837.

Table 4. MSE and RE values of ratio estimators

	m	r	$MSE(\bar{Y}_{rSRS})$	$MSE(\bar{Y}_{rRSS(X)})$	$MSE(\bar{Y}_{rRSS(Y)})$	$RE_{(SRS,RSS(X))}$	$RE_{(SRS,RSS(Y))}$
$n=6$	2	3	0.4230	0.3437	0.2942	1.2313	1.4385
	3	2		0.3040	0.2297	1.3921	1.8424
	6	1		0.2519	0.1452	1.6800	2.9146
$n=10$	2	5	0.2539	0.2062	0.1765	1.2313	1.4385
	5	2		0.1582	0.0985	1.6049	2.5777
	10	1		0.1353	0.0615	1.8766	4.1285

5. Conclusion

This paper indicates that using the formulas obtained in this study, MSE values can easily be calculated by utilizing the coefficients of variation when the variables have bivariate normal distribution. In addition, if there is a priori knowledge about the coefficients of variation, it can be decided to which variable can be used for ranking in RSS . Particularly, while it is preferred ranking according to X when $C_x > C_y$ and ranking according to Y is preferred when $C_x < C_y$. In addition, any of X and Y can be used for ranking when C_x close to C_y . As a result of the simulation study, when $C_x < C_y$, the differences between $RE_{(SRS,RSS(X))}$ and $RE_{(SRS,RSS(Y))}$ values increase as ρ decreases and n increases. In this case, $RE_{(SRS,RSS(Y))}$ values are not affected by the value of ρ . Also when $C_x = C_y$, $RE_{(SRS,RSS(X))}$ and $RE_{(SRS,RSS(Y))}$ values are approximately 1 when ρ close to 1. In this case, $RE_{(SRS,RSS(X))}$ and $RE_{(SRS,RSS(Y))}$ values increase as ρ decreases and n value increases. As a result, RSS estimators are more efficient than SRS estimators for all considered cases and $RE_{(SRS,RSS(X))}$ and $RE_{(SRS,RSS(Y))}$ values increase as the set size increases for the same sample size n .

Author's Contributions

All authors contributed equally to the study.

Statement of Conflicts of Interest

There is no conflict of interest among the authors.

Statement of Research and Publication Ethics

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

References

- [1] Dell D.R., Clutter J.L. 1972. Ranked set sampling theory with order statistics background. *Biometrics*, 28: 545-555.
- [2] McIntyre G.A. 1952. A method of unbiased selective sampling using ranked sets. *Australian Journal of Agricultural Research*, 3: 385-390.
- [3] Takahasi K., Wakimoto K. 1968. On Unbiased Estimates of the Population Mean Based on the Sample Stratified by Means of Ordering. *Annals of the Institute of Statistical Mathematics*, 20: 1-31.

- [4] Lam K., Sinha B.K., Wu Z. 1994. Estimation of parameters in two parameters exponential distribution using ranked set sample. *Annals of the Institute of Statistical Mathematics*, 46: 723-736.
- [5] Sinha Bimal K., Sinha Bikas K., Purkayastha S. 1996. On some aspects of ranked set sampling for estimation of normal and exponential parameters. *Statistical Decisions*, 14: 223-240.
- [6] Bhoj D.S., Ahsanullah M. 1996. Estimation of parameters of the generalized geometric distribution using ranked set sampling. *Biometrics*, 52: 685-694.
- [7] Ozturk O. 2011. Parametric estimation of location and scale parameters in ranked set sampling, *Journal of Statistical Planning and Inference*, 141 (4): 1616-1622.
- [8] Tahmasebi S., Jafari A.A. 2014. Estimators for the parameter mean of Morgenstern type bivariate generalized exponential distribution using Rayleigh distribution revisited via ranked set sampling. *Sort-Statistics and Operations Research Transactions*, 38 (2): 161-179.
- [9] Dey S., Salehi M., Ahmadi J. 2017. Rayleigh distribution revisited via ranked set sampling. *Metron-International Journal of Statistics*, 75 (1): 69-85.
- [10] Ozturk O., Demirel N. 2016. Estimation of Population Variance from Multi-Ranker Ranked Set Sampling Designs. *Communications in Statistics-Simulation and Computation*, 45 (10): 3568-3583.
- [11] Ozturk O., Kavlak K.B. 2018. Model based inference using ranked set samples. *Survey Methodology*, 44 (1): 1-16.
- [12] Samawi H.M., Muttalak H.A. 1996. Estimation of ratio using rank set sampling. *Biometrical Journal*, 38 (6): 753-764.
- [13] Ganeslingam S., Ganesh S. 2006. Ranked set sampling versus simple random sampling in the estimation of the mean and the ratio. *Journal of Statistics and Management Systems*, 9 (2): 459-472.
- [14] Al-Omari A.I., Jaber K., Al-Omari A. 2008. Modified ratio-type estimators of the mean using extreme ranked set sampling. *Journal of Mathematics and Statistics*, 4 (3): 150-155.
- [15] Al-Omari A.I., Jemain A.A., Ibrahim K. 2009. New ratio estimators of the mean using simple random sampling and ranked set sampling methods. *Investigación Operacional*, 30 (2): 97-108.
- [16] Kadilar C., Ünyazıcı Y., Çıngı H. 2009. Ratio estimator for the population mean using ranked set sampling. *Statistical Papers*, 50 (2): 301-309.
- [17] Al-Omari A.I. 2012. Ratio estimation of the population mean using auxiliary information in simple random sampling and median ranked set sampling. *Statistics and Probability Letters*, 82 (11): 1883-1890.
- [18] Singh H.P., Tailor R., Singh S. 2014. General procedure for estimating the population mean using ranked set sampling. *Journal of Statistical Computation and Simulation*, 84 (5): 931-945.
- [19] Ozturk O. 2018. Ratio estimators based on a ranked set sample in a finite population setting. *Journal of the Korean Statistical Society*, 47: 226-238.
- [20] Saini M., Kumar A. 2017. Ratio estimators for the finite population mean under simple random sampling and rank set sampling. *International Journal of System Assurance Engineering and Management*, 8 (2): 488-492.
- [21] Al-Omari A.I., Al-Nasser A. 2018. Ratio estimation using multistage median ranked set sampling approach. *Journal of statistical theory and practice*, 12 (3): 512-529.
- [22] Stokes L.S. 1977. Ranked set sampling with concomitant variables. *Commun. Statist. Theory. Meth.*, A6 (12): 1207-1211.
- [23] Özdemir Y.A., Şahin Tekin S.T., Esin A.A. 2015. Çözümlü Örneklerle Örneklemeye Yöntemlerine Giriş. Seçkin Yayınları.
- [24] Cochran W.G. 1997. *Sampling techniques*. Third Edition, John Wiley & Sons.
- [25] Bütün S. 2013. Keban Baraj Gölü'nde Yaşayan *Alburnus Mossulensis* Heckel, 1843'de Otolit Biyometrisi. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.

Araştırma Makalesi / Research Article

Türkiye'den Bazı Kareler İçin Yeni Floristik Kayıtlar

Lütfi BEHÇET, Yakup YAPAR*

Bingöl Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Bingöl
(ORCID: 0000-0001-8334-7816) (ORCID: 0000-0002-5298-0085)

Öz

Bu çalışmada, çeşitli kareler (A5, B7, B8, B9) için yeni 77 bitki taksonunun yayılışı ilk defa verilmektedir. Bu taksonlardan 13'ü (*Bunium microcarpum* (Boiss.) Freyn subsp. *longiradiatum* Hedge & Lamond, *Trigonosciadium intermedium* Freyn & Sint., *Tanacetum eginense* (Hausskn. ex Bornm.) Grierson, *Heldreichia bupleurifolia* Boiss. subsp. *rotundifolia* (Boiss.) Parolly, Nordt & Mumm. var. *rotundifolia*, *Hesperis pisidica* Hub.-Mor., *Anchusa limbata* Boiss., *Euonymus latifolius* (L.) Mill. subsp. *caucanis* Coode & Cullen, *Astragalus nitens* Boiss. & Heldr., *Salvia cilicica* Boiss. & Kotschy, *S. euphratiaca* Montbret & Aucher ex Benth var. *leiocelycina* (Rech.f.) Hedge, *Stachys setifera* C.A.Mey. subsp. *lycia* (Gand.) Bhattacherje, *Rhynchosorys odontophylla* R. B. Burb & I. Richardson, *Acantholimon calvertii* Boiss. var. *glabrum* Akaydın et Doğan) endemiktir. Belirlenen taksonların 8 tanesinde floradaki tanımlarından farklı bazı varyasyonlar tespit edilmiştir. Bu çalışmada verilen 77 taksonun 19'u İran-Turan, 10'u Akdeniz, 8'i Avrupa Sibiryaya fitocoğrafik bölge elementi iken; 40'ı çok bölgeli veya fitocoğrafik bölgesi belli olmayan bitkilerdir.

Anahtar kelimeler: Yeni kayıt, fitocoğrafik bölge, endemik, flora.

New Floristic Records for Some Squares from Turkey

Abstract

In this study, 77 new plant taxa records for (A5, B7, B8, B9) are given for various squares. 13 of them are endemic (*Bunium microcarpum* (Boiss.) Freyn subsp. *longiradiatum* Hedge & Lamond, *Trigonosciadium intermedium* Freyn & Sint., *Tanacetum eginense* (Hausskn. ex Bornm.) Grierson, *Heldreichia bupleurifolia* Boiss. subsp. *rotundifolia* (Boiss.) Parolly, Nordt & Mumm. var. *rotundifolia*, *Hesperis pisidica* Hub.-Mor., *Anchusa limbata* Boiss., *Euonymus latifolius* (L.) Mill. subsp. *caucanis* Coode & Cullen, *Astragalus nitens* Boiss. & Heldr., *Salvia cilicica* Boiss. & Kotschy, *S. euphratiaca* Montbret & Aucher ex Benth var. *leiocelycina* (Rech.f.) Hedge, *Stachys setifera* C.A.Mey. subsp. *lycia* (Gand.) Bhattacherje, *Rhynchosorys odontophylla* R. B. Burb & I. Richardson, *Acantholimon calvertii* Boiss. var. *glabrum* Akaydın et Doğan). In 8 of the identified taxa, variations were detected, unlike their definition in flora. The distribution of 77 taxa according to phytogeographic region are as: Irano-Turanian 19, Mediterranean 10, European-Siberia 8, multi-region or un determinate 40.

Keywords: New record, phytogeographical region, endemic, flora.

1. Giriş

Türkiye bitki çeşitliliği; Anadolu'nun Asya ve Avrupa kıtaları arasında geçiş bölgesi olması, üç farklı fitocoğrafik bölgenin kesişim noktasında bulunması, farklı iklim tiplerinin etkisi altında oluşu ve engebeli topoğrafik yapısından kaynaklanmaktadır [1]. Türkiye'nin sahip olduğu bitki potansiyelinin tam olarak ortaya konması ancak detaylı çalışmalarla mümkündür. Türkiye'nin bilhassa doğu kesimleri floristik açıdan teferruatlı olarak çalışılmadığından çeşitli taksonların korolojik durumları tam olarak ortaya konulamamıştır. Diğer taraftan bazı taksonların değişen ekolojilerdeki varyasyon durumları yeterince incelenmeden tanımları hazırlanmış ve söz konusu taksonların varyasyon sınırları yeterince deskripsiyonlarına yansıtılmamıştır [2].

*Sorumlu yazar: yyapar25@gmail.com

Geliş Tarihi: 14.02.2020, Kabul Tarihi: 18.05.2020

Bu çalışmadaki veriler bir taraftan Türkiye'deki bitkilerin yayılış durumlarına katkıda bulunurken diğer taraftan revizyon çalışmaları için de önemli müracaat kaynağı olacaktır. Yapılan botanik gezileri esnasında toplan bitkilerin değerlendirilmesi sonucu A5, B7, B8 ve B9 karelerinde şimdiye kadar yayılışları bilinmeyen taksonların belirtilen lokalitelerde geliştikleri tespit edilmiştir. Ayrıca yayılışı belirlenen bitkilerin dahil oldukları fitocoğrafik bölge, ve bazı taksonlardaki varyasyon durumları ile ilgili değerlendirmelerde bulunulmuştur.

2. Materyal ve Metot

Çalışmamızın materyalini A5 (Çorum), B7 (Elazığ), B8 (Bingöl, Erzurum) ve B9 (Bitlis) karelerinden topladığımız vasküler bitkiler oluşturmaktadır.

Toplanan bitkiler; başta Türkiye florası [3-5] olmak üzere komşu ülke florası [6-10] ve yapılan bazı revizyon çalışmaları [11] kullanılarak teşhis edilmiştir. Türkiye florası ve yayılışlarla ilgili çalışmalar [2, 12-51] taranarak yeni kayıt listesi oluşturuldu. Endemizim durumları, tehlike kategorileri, fitocoğrafik bölge elementleri, Türkçe isimler ve otör isimleri Türkiye bitkileri listesi (damarlı Bitkiler) [52] kitabı ve Türkiye Bitkileri Kırmızı kitabından [53] kontrol edilmiştir. Bitkiler herbaryum materyali haline getirilerek Bingöl Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Biyoloji Bölümü Herbaryumu'nda saklanmaktadır.

Verilen yeni kayıt listesi APG III [54] sistemi dikkate alınarak alfabetik olarak verilmiştir. Lokalite bilgileri verilirken bulunduğu kare, il, ilçe, köy, mevki, habitat, tarih, yükseklik, toplayıcı numarası, endemizim durumu (END kısaltması ile), Tehlike kategorisi ve fitocoğrafik bölge elementi sırası izlenmiştir. Varyasyon belirlenen bazı taksonlara ait lokalite bilgilerinden sonra varyasyon gösteren yapılar ile ilgili açıklamalar yazılmıştır. Ayrıca bazı taksonlara ait resimler takson lokalite bilgilerinden sonra verilmiştir.

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Floristik Liste (Yeni kayıt)

3.1.1. Apiaceae

1. *Anthriscus caucalis* M.Bieb / deligımı

B7 Elazığ: Baskil ilçesi, Elazığ caddesi, bahçe kenarı, 1200-1250 m, 30.04.2012, *Behçet* 7589

2. *Bunium microcarpum* (Boiss.) Freyn subsp. *longiradiatum* Hedge & Lamond / yalılık

B8 Bingöl: Merkez, mezarlık batısı, 2-3 km. taş ocağına giderken, step, 1100-1200 m, 25.05.2013, *Behçet* 8802, END., EN, Ir.-Tur. el.

3. *B. pestalozzae* Boiss. / esnek akser

B8 Bingöl: Bingöl, Sancak girişi köprü çevresi, çayır, 1564 m, 14.06.2014, *Behçet* 9944, E. Medit. el.

4. *Malabaila secacul* (Mill.) Boiss. subsp. *secacul* / davarotu

B8 Bingöl: Bingöl, Balıklıçay köyü girişi, yol kenarları, kayalık alan, 1613 m, 14.06.2014, *Behçet* 9882.

5. *Oenanthe fistulosa* L. / kazyak

B8 Bingöl: Elazığ yolu üzeri, Mendo tesisleri güneyi, çayır, 1300-1400 m, 13.06.2015, *Behçet* 10710

6. *P. tragiium* Vill. subsp. *pseudotragium* (DC.) V.A. Matthews. / yoz anason

B8 Bingöl: Genç ilçesi, Şam dağı, step, 1900-2000 m, 30.07.2015, *Behçet* 10860, Ir.-Tur. el.

7. *Prangos peucedanifolia* Fenzl / kaya çakşırı

B8 Bingöl: Bingöl, Balıklıçay köyü girişi, yol kenarları, kayalık alan, 1613 m, 14.06.2014, *Behçet* 9864. Ir.-Tur. el.

8. *Torilis nodosa* (L.) Gaertn. / boncuklu dercikotu

B7 Elazığ: Baskil ilçesi kuzeydoğusu Şefkat köyüne doğru demiryolu çevreler, Step, 900 m, 18.05.2013, *Behçet* 8681

9. *Torilis tenella* (Delile) Rchb.f. / zarif dercikotu

B8 Bingöl: Bingöl, Ilıcalar batısı, orman sahası orman açıkları, 1100 m, 02.06.2013, *Behçet* 8864a

10. *Trigonosciadium intermedium* Freyn & Sint. / öz şemsiyeotu

B8 Bingöl: Bingöl, Aşağıköy-Şaban köyleri arası, step, 1500-1600 m, 26.06.2014, *Behçet* 10010, END., EN, Ir.-Tur. el.

3.1.2. Asteraceae

11. *Anthemis haussknechtii* Boiss. & Reut. / çöl papatyası

B8 Bingöl: Bingöl, Balıklıçay köyüne 1-2 km kala yolun sağındaki vadi, dere kenarları, 1600-1620 m, 14.06.2014, *Behçet* 9840.

12. *A. pseudocotula* Boiss. / acem papatyası

B8 Bingöl: Bingöl Üniv. Kavşağı, yol kenarları, 1100-1150 m, 10.11.2015, *Behçet* 11049

13. *Aster squamatus* (Sprengel) Hieron / arsız simpatı

B8 Bingöl: Bingöl Üniversitesi kampüsü, nemli alan, 1100-1150 m, 23.10.2017, *Behçet* 12509; B7 Elazığ: Keban ilçe merkezi, baraj çevresi, 700 m, 06.09.2018, *Behçet* 12894.

14. *Conyza bonariensis* (L.) Cronquist / çakalotu

B8 Bingöl: Bingöl Üniversitesi kampüsü, nemli alan, 1500-1200 m, 10.10.2014, *Behçet* 10371. *Yapraklar 18 x 1.7 cm ye varıyor (Türkiye florasında 5-8 x 0.5-1.5 cm).*

15. *Erigeron nigromontanus* Boiss. & Buhse / tarla şifaotu

B8 Bingöl: Bingöl Aşağıköy arası 12.km, 1500-1600 m, 31.07.2015, *Behçet* 10903, Ir.-Tur. el.

16. *Inula germanica* L. / ekin andızotu

B8 Bingöl: Bingöl Üniv. Ziraat Fakültesi güneyi, yol kenarları, 1100-11500 m, 20.10.2015, *Behçet* 11027, Eu. Sib. el.

17. *Lactuca saligna* L. / deli marul

B8 Bingöl: Merkez, Sanayi sitesi çevresi, dere kenarları, 100-1050 m, 09.08.2014, *Behçet* 10271.

18. *Matricaria chamomilla* L. var. *recutita* (L.) Fiori / alman papatyası

B7 Elazığ: Baskil ilçesi, Döküntü yerleri, 900 m, 18.05.2013, *Behçet* 8663b.

19. *M. matricarioides* (Less.) Porter ex Britton / kelkız çiçeği (Şekil 1)

B8 Erzurum merkez, eski terminal cami çevresi, nemli alan, 09.07.2019, 1900-1950 m, *Behçet* 8061; B9 Bitlis: Tatvan ilçe merkezi, bahçe kenarları, 27.07.2017, 1670 m, *Behçet* 12409.



Şekil 1. *Matricaria matricarioides*

20. *Picris hieracioides* L. subsp. *hieracioides* / deli şiro

B8 Bingöl: Bingöl, Aşağıköy-Şaban köyleri arası, step, 1500-1600 m, 26.06.2014, *Behçet* 10011, Eu. Sib. el.

21. *Tanacetum eginense* (Hausskn. ex Bornm.) Grierson / has pireotu

B8 Bingöl: Bingöl, Şaban köyü güneyi, Metan dağı, step, 1900-2100 m, 06.06.2015, *Behçet* 10679, END., NT, Ir.-Tur. el.

22. *Tragopogon porrifolius* L. var. *abbrevatus* (Boiss.) Çoşkunçelebi & M. Gültepe / çayır yemliği

B8 Bingöl: Bingöl, Balıklıçay köyüne 1-2 km kala yolun sağındaki yamaçlar, kayalık, 1600-1660 m, 14.06.2014, *Behçet* 9763a

23. *Tripleurospermum parviflorum* (Willd.) Pobed. / beybunik

B8 Bingöl: Bingöl, Bahçelievler mah. batısı, step, 1200-1300 m, 10.05.2014, *Behçet* 9459

24. *T. tenuifolium* (Kit.) Fryn / saçaklı beybunik

B8 Bingöl: Bingöl, Sudüğünü köyü girişi, çayır, 1585 m, 14.06.2014, *Behçet* 9892a, Eu. Sib. el.

3.1.3. Boraginaceae

25. *Anchusa limbata* Boiss. / gövrek

B8 Bingöl: Bingöl Yelesen köyü kuzeyi, step, 1400-1600 m, 19.04.2015, *Behçet* 10435, END., CR, E. Medit. el.

3.1.4. Brassicaceae

26. *Cardamine impatiens* L. subsp. *impatiens* / sultan kadimotu (Şekil 2)

B8 Bingöl: Bingöl Aşağıköy, dere kenarları, 1500-1600 m, 06.06.2015, *Behçet* 10665, Eu. Sib. el.



Şekil 2. *Cardamine impatiens* subsp. *impatiens*

27. *Erysimum diffusum* Ehreh. / Zarifeotu

B8 Bingöl: Bingöl Üniv. Kampüsü, lojman çevreleri, 1100-1150 m, 26.05.2014, *Behçet* 9530

28. *Heldreichia bupleurifolia* Boiss. subsp. *rotundifolia* (Boiss.) Parolly, Nordt & Mumm. var. *rotundifolia* / oyalı topaç

B8 Bingöl: Bingöl, Yelesen köyü güneyi Kurt dağı, Gerindal gölü çevresi, step, 2300-2450 m, 10.08.2014, *Behçet* 10333, END., LC, Ir.-Tur. el.

29. *Hesperis pisidica* Hub.-Mor. / dirmil yıldızı

B8 Bingöl: Bingöl, Şaban köyü güneyi, yüksek dağ çayırları, 1700-1900 m, 06.06.2015, *Behçet* 10637, END., EN.

Örneğimizde sepal boyu 9-10 mm (Türkiye florasında 7-8 mm), Petal boyu 21 mm ye varıyor (Türkiye florasında 18 mm uzunluğunda deniyor)

30. *Rorippa islandica* (Oeder) Borbás subsp. *islandica* / acice

B8 Bingöl: Bingöl, Sanayi sitesi, dere kenarları, 1000-1050 m, 09.08.2014, *Behçet* 10278

31. *Sisymbrium officinale* (L.) Scop. / ergelen hardalı

B8 Bingöl: Merkez, Fen Lisesi çevresi, yol kenarları, 1100 m, 22.06.2014, *Behçet* 9990.

3.1.5. Caryophyllaceae

32. *Dianthus hymenolepis* Boiss. / yamaç karanfili

B8 Bingöl: Bingöl, Kartal köyünü 1-2 km geçtikten sonra, yol kenarları, 1745 m, 14.06.2014, *Behçet* 9698, Ir.-Tur. el.

33. *Sagina saginoides* (L.) H.Karst. / yayla saginotu

B8 Bingöl: Bingöl, Yelesen köyü güneyi, Kurt dağı çevresi, dere kenarları, 1700-1900 m, 10.08.2014, *Behçet* 10357

34. *Spergularia rubra* (L.) J.Presl & C.Presl / ramilotu (Şekil 3)

B8 Bingöl: Bingöl kuzeyi, sulama kanalı çevresi 1080-1150 m, 04.07.2015 *Behçet* 10816
Kapsül 3-3.5 mm uzunluğunda (Türkiye florasında 4-5 mm).



Şekil 3. *Spergularia rubra*

3.1.6. Celastraceae

35. *Euonymus latifolius* (L.) Mill. subsp. *cauconis* Coode & Cullen / işyanotu

B8 Bingöl: Bingöl, Şaban köyü güneyi, yüksek dağ çayırları, 1700-1900 m, 06.06.2015, *Behçet* 10635, END., NT.

Yapraklar 16 cm'ye varıyor (Türkiye florasında 5-7 cm).

3.1.7. Crassulaceae

36. *Sedum confertiflorum* Boiss. / küme kuruğu

B8 Bingöl: Bingöl, Balıklıçay köyü girişi, kayalık, 1600m, 14.06.2014, *Behçet* 9884, E. Medit. el.

3.1.8. Cyperaceae

37. *Carex disticha* Huds. / atçimeni

B8 Bingöl: Bingöl, Sudüğünü köyü girişi, çayır, 1585 m, 14.06.2014, *Behçet* 9890a, Medit. el.

3.1.9. Euphorbiaceae

38. *Euphorbia prostrata* Aiton / yayık sütleğen

B8 Bingöl: Bingöl, Karşıyaka cami çevresi, 1100-1200 m, 22.10.2013, *Behçet* 10383

39. *E. serpens* Kunth / ezil sütleğen

B8 Bingöl: Bingöl üniv. Rektörlük binası önü, yol kenarı, 1100-1150 m, 09.10.2015 *Behçet* 10990; Bingöl, Uydukent mah. Selahattin Eyyubi cami batısı, bahçe içi, 1100 m, 28.09.2011, *Behçet* 7460; B7 Elazığ: Baskil ilçesi Mezarlık çevreleri, 900 m, 23.10.2012, *Behçet* 8366,

40. *E. maculata* L. / benli sütleğen

B8 Bingöl: Bingöl kuzeyi, sulama kanalı çevresi, 1080-1150 m, 04.07.2015 *Behçet* 10815; Bingöl, Uydukent mah. Selahattin Eyyübi cami batısı, bahçe içi, 1100 m, 28.09.2011, *Behçet* 7461; B7: Elazığ Baskil ilçesi Mezarlık çevreleri, 900 m, 23.10.2012, *Behçet* 8367

3.1.10. Fabaceae

41. *Arachis hypogaea* L. / yerfıstığı

B8 Bingöl: Genç ilçesi yolu, Ziraat fakültesi uygulama arazisi, 1100-1150 m, 18.10.2015, *Behçet* 11022

42. *Astragalus latifolius* Lam. / geven yoncası

B8 Bingöl: Bingöl, Çirişli-Şaban Köyleri arası yol kenarları, step alanlar, 1700-1900 m, 31.05.2014, *Behçet* 9619, Ir.-Tur. el.

43. *A. nitens* Boiss. & Heldr. / parlak geven (Şekil 4)

B8 Bingöl: Bingöl, Şaban köyü güneyi, yüksek dağ çayırları, 1700-1900 m, 06.06.2015, *Behçet* 10623, END., LC, Ir.-Tur. el.

Stipül 3-5 mm uzunluğunda (Türkiye florasında 2 mm), Brakte 4 mm (Türkiye florasında 2 mm).



Şekil 4. *Astragalus nitens*

44. *A. haarbachii* Spruner / çarık geveni

B7 Elazığ: Baskil ilçesi eski demiryolu çevresi, Step, 900 m, 18.15.2013, *Behçet* 8692a

45. *Onobrychis stenostachya* Freyn subsp. *sosnowskyi* (Grossh.) Hedge / çoruh korungası

B8 Bingöl: Bingöl, Aşağı köy-Ortaköy arası yol kenarları, step alanlar, 1400-1500 m, 31.05.2014, *Behçet* 9627, Ir.-Tur. el.

Bitki boyu 95 cm'ye varıyor (Türkiye florasında 25-50 cm). Yaprakçıklar 27x 5.5 cm boyutlarında (Türkiye florasında 7-20 x 1.5-4.5 cm)

46. *Trifolium isthmocarpum* Bort. / güdük yonca (Şekil 5)

B8 Bingöl: Bingöl Üniversitesi kampüsü, nemli alanlar, 1100-1150 m, 09.10.2015, *Behçet* 10981



Şekil 5. *Trifolium isthmocarpum*

47. *T. sylvaticum* Gerard ex Lois. / orman üçgülü

Bingöl: Elazığ yolu üzeri, Mendo tesisleri güneyi, orman sahası, 1250-1400 m, 30.05.2015, *Behçet* 10601

48. *Trigonella cylindracea* Desv. / boru boyotu

B7 Elazığ: Baskil ilçesi, Şefkat köyü, Dere kenarları, 850 m, 27.10.2012, *Behçet* 8355, E. Medit. el.

3.1.11. Gentianaceae

49. *Centaurium erythraea* Rafn subsp. *erythraea*

B7 Elazığ: Baskil ilçesi, Yukarıkuluşağı köy 2 km kuzeyi, 1000-1100 m, 06.09.2015, *Behçet* 10965b, Eu. Sib. el.

3.1.12. Lamiaceae

50. *Mentha pulegium* L. / yarpuz (Şekil 6)

B8 Bingöl: Bingöl Üniv. Rektörlük binası önü, nemli alanlar, 1100-1150 m, 09.10.2015

Bitki nodlarda köklenmiş (Türkiye florasında bu durumdan bahsetmiyor) Rusya florasında nodlarda köklendiği belirtiliyor.

Yaprak genellikle tüysüz (Avrupa florasında bilhassa yaprak alt yüzeyi tüysüz) Türkiye florasında tüy durumunun nemliliğe bağlı olarak çok değiştiğinden bahsediyor.



Şekil 6. *Mentha pulegium*

51. *Nepeta italica* L. / eşekçayı

B8 Bingöl: Bingöl Üniversitesi kaplıcaları doğusu, yamaçlar, 1200-1300 m, 17.07.2014, *Behçet* 10220.

52. *Salvia cilicica* Boiss. & Kotschy / narin galabor

B7 Elazığ: Baskil ilçesi, Yukarıkuluşağı köyü yukarı mah., step, 1000-1100 m, 28.06.2015, *Behçet* 10783, END., VU, Medit. el.

53. *S. euphratiaca* Montbret & Aucher ex Benth var. *leiocelycina* (Rech.f.) Hedge / fırat şalbası (Şekil 7)

B8 Bingöl: Bingöl, Yelesen köyü kuzeybatısı, kayalık yamaçlar, 1900-2200 m, 26.06.2014, *Behçet* 10071, END., NT, Ir.-Tur. el.



Şekil 7. *Salvia euphratiaca* var. *leiocelycina*

54. *Scutellaria brevibracteata* Stapf subsp. *subvelutina* (Rech.f.) Gauthier & Burdet / kadife kaside

B8 Bingöl: Elazığ yolu üzeri, Mendo tesisleri güneyi, dere kenarları, 1250-1400 m, 30.05.2015, *Behçet* 10560, E. Medit. el.

55. *Stachys longispicata* Boiss. & Kotschy

B7 Elazığ: Karlı köyü, Tarla, Tarla çevreleri, 800-900 m, 14.09.2012, *Behçet* 8340, Ir.-Tur. el.

56. *S. setifera* C.A.Mey. subsp. *lycia* (Gand.) Bhattacherje / ince deliçay (Şekil 8)

B8 Bingöl: Bingöl, Çukurca köyü, meşe ormanı, nemli orman açıkları, 1630 m, 08.08.2015, *Behçet* 10914a, END., LC, Ir.-Tur. el.



Şekil 8. *Stachys setifera* subsp. *lycia*

3.1.13. Liliaceae

57. *Gagea chlorantha* (M.Bieb.) Schult. & Schult.f. / güvercin çiğdemi

B8 Bingöl: Bingöl-Muş Karayolu Kervansaray dinlenme tesislerini geçtikten sonra, meşelik alan, 1100-1200 m, 11.03.2015, *Behçet* 10400.

3.1.14. Lythraceae

58. *Amannia auriculata* Willd. / kulaklı amanotu

A5 Çorum: Osmancık ilçesi, Güvercinlik köyü, çeltik tarlaları, tarla kenarı, 435 m, 20.09.2016, *Behçet & Karasu* 07

59. *Lythrum virgatum* L. / çamur aklarotu

B8 Bingöl: Bingöl kuzeybatısı, sulama kanalı çevresi, 1080-1150 m, 04.07.2015, *Behçet* 10791, Eu. Sib. el.

3.1.15. Onagraceae

60. *Epilobium lanceolatum* Seb. & Mauri / dilyakısı

B8 Bingöl: Elazığ yolu üzeri, Mendo tesisleri güneyi, dere kenarları, 1250-1400 m, 30.05.2015, *Behçet* 10538

3.1.16. Orobanchaceae

61. *Rhynchocorys odontophylla* R. B. Burb & I. Richardson / özge filburnu (Şekil 9)

B8 Bingöl: Bingöl, Şaban köyü güneyi, nemli çayır, 1700-1900 m, 06.06.2015 *Behçet* 10647, END., VU, Ir.-Tur. el.

Bitki boyu 150 cm'ye varıyor (Türkiye florasında 100 cm), Yapraklar 10 x 3.5 cm (Türkiye florasında 7 x 1.5 cm), Korolla alt dudağı 13 mm'ye varıyor (Türkiye florasında 8-10 mm).



Şekil 9. *Rhynchocorys odontophylla*

3.1.17. Plumbaginaceae

62. *Acantholimon calvertii* Boiss. var. *glabrum* Akaydın et Doğan

B8 Bingöl: Bingöl Ortaçanak köyü kuzeyi, Korteve yaylası, step, 1850-1900 m, 08.08.2015, *Behçet* 10934. END., VU, Ir.-Tur. el.

3.1.18. Poaceae

63. *Bromus pumilio* (Trin.) P.M. Sm. / bodur kılcan

B8 Bingöl: Bingöl, Yelesen köyü kuzeybatısı, kayalık yamaçlar, 1900-2200 m, 26.06.2014, *Behçet* 10085,

64. *B. racemosum* L. / salkım kılcan

B8 Bingöl: Bingöl, Sudüğünü köyü girişi, çayır, 1585 m, 14.06.2014, *Behçet* 9904b, Eu. Sib. el.

65. *Festuca gigantea* (L.) Vill. / koca yumak

B8 Bingöl: Bingöl, Yelesen köyü güneyi, Kurt dağı çevresi, dere kenarları, 1700-1900 m, 10.08.2014, *Behçet* 10358. Eu. Sib. el.

66. *Hordeum distichon* L. / ikili arpa

B8 Bingöl: Merkez, Çapakçur deresi, yürüyüş yolu, yamaçlar, 1050-1100 m, 04.06.2014, *Behçet* 9682

67. *Hordeum murinum* L. subsp. *murinum* / pisipisiotu

B8 Bingöl: Bingöl, Sudüğünü köyü girişi, çayır, 1585 m, 14.06.2014, *Behçet* 9896.

68. *Lolium subulatum* (Banks & Sol.) Eig / köseçim

B7 Elazığ: Baskil ilçesi eski demiryolu, çevresi, Step, 900 m, 18.05.2013, *Behçet* 8697a, Ir.-Tur. el.

3.1.19. Polygonaceae

69. *Rumex obtusifolius* L. subsp. *subalpinus* (Schur) Čelak / kökükızıl

B8 Bingöl: Bingöl, Karşıyaka cami çevresi, yerleşim alanları, 1100 m, 17.05.2014, *Behçet* 9974.

3.1.20. Rosaceae

70. *Pyrus communis* L. subsp. *sativa* (DC.) Hegi / armut

B8 Bingöl: Bingöl, Şaban köyü güneyi, yüksek dağ çayırları, 1700-1900 m, 06.06.2015, *Behçet* 10646.

71. *Rosa elymaitica* Boiss. & Hausskn. ex Boiss. / gilân

B8 Bingöl: Merkez, Karşıyaka cami çevresi, yerleşim alanları, 1100 m, 17.06.2014, *Baehçet* 9987. Ir.-Tur. el.

3.1.21. Rubiaceae

72. *Galium debile* Desf. / bataklık iplikçiği

B8 Bingöl: Elazığ yolu üzeri, Mendo tesisleri güneyi, çayır, 1300-1400 m, 13.06.2015, *Behçet* 10772, Medit. el

3.1.22. Rutaceae

73. *Haplophyllum buxbaumii* (Poir.) G.Don / sedef otu

B8 Bingöl: Bingöl Ormanardı köyü yol ayrımı, nemli kayalık yamaçlar, 1200 m, 10.10.2015, *Behçet* 11002b, Ir.-Tur. el.

3.1.23. Scrophulariaceae

74. *Verbascum tripolitanum* Boiss. / üç sığırkuyruğu

B8 Bingöl: Merkez, Fen lisesi çevresi, nemli alan, 1100 m, 07.06.2014, *Behçet* 9691, E. Medit. el.

3.1.24. Solanaceae

75. *Physalis angulata* L. / hışhış çiçeği

B8 Bingöl: Bingöl, Genç ilçesi yolu, Ziraat Fakültesi uygulama arazisi, 1100-1150 m, 18.10.2015, *Behçet* 1126

76. *Solanum decipiens* Opiz / eceavlusu

B8 Bingöl: Bingöl merkez kuzeyi, vadi içi, ekili alanlar, 1050- 1100 m, 31.10.2015, *Behçet* 11045

3.1.25. Tamaricaceae

77. *Tamarix parviflora* DC. / deli ılgın

B8 Bingöl: Bingöl, Bahçelievler mah. batısı, step, 1200-1300 m, 10.05.2014, *Behçet* 9464, *Medit. el.*

77 bitki taksonunun A5, B7, B8 ve B9 karelerindeki yayılışları ilk defa bu çalışmada verildi. 25 familyaya ait bu taksonların tamamı Angiospermae üyesidir. Bu bitkilerin 70'ü Dicotyledones ve 7'si Monocotyledones sınıflarına aittir. Verilen taksonlardan 13 (%16.88)'ü (*Bunium microcarpum* (Boiss.) Freyn subsp. *longiradiatum* Hedge & Lamond, *Trigonosciadium intermedium* Freyn & Sint., *Tanacetum eginense* (Hausskn. ex Bornm.) Grierson, *Heldreichia bupleurifolia* Boiss. subsp. *rotundifolia* (Boiss.) Parolly, Nordt & Mumm. var. *rotundifolia*, *Hesperis pisidica* Hub.-Mor., *Anchusa limbata* Boiss., *Euonymus latifolius* (L.) Mill. subsp. *caucalis* Coode & Cullen, *Astragalus nitens* Boiss. & Heldr., *Salvia cilicica* Boiss. & Kotschy, *S. euphratica* Montbret & Aucher ex Benth var. *leiocelycina* (Rech.f.) Hedge, *Stachys setifera* C.A.Mey. subsp. *lycia* (Gand.) Bhattacherje, *Rhynchocorys odontophylla* R. B. Burb & I. Richardson, *Acantholimon calvertii* Boiss. var. *glabrum* Akaydın et Doğan) endemiktir. Endemik taksonların tehlike kategorileri şu şekildedir: 1'i **CR** (kritik), 3'ü **EN** (tehlikede), 3'ü **VU** (zarar görebilir), 3'ü **NT** (tehdide yakın), 3'ü **LC** (en az endişe verici).

Çalışmada belirlenen 77 taksonun fitocoğrafik bölgelere göre dağılımı şu şekildedir: İran turan 19 (%24.67), Akdeniz 10 (%12.99), Avrupa Sibiry 8 (%10.39), çok bölgesi veya fitocoğrafik bölgesi bulunmayan 40 (%51.95). Verilen yeni kayıt 8 takson bilinen tanımlarından farklı bazı varyasyonlar göstermektedir; bu durum yeni yayılış alanlarındaki farklı ekolojiye dayandırılabilir.

Çalışmada verilen taksonların bir kısmının Türkiye'nin doğusunda bugüne kadar yayılışı bilinmiyordu. Hatta *Physalis angulata* L.'nin 2000 yılına kadar Türkiye'nin herhangi yerinde yayılışı olduğuna dair bilgi yoktu. Dünyada tabii olarak; Orta ve Güney Amerika ile Hindistan'da yayılışı bilinen bu tür; ekolojik tolerans sınırları içinde olan Dünyanın değişik bölgelerine de zamanla yayılmıştır. Türkiye'de ise ilk defa Gönen ve arkadaşları tarafından [11] Çukurova bölgesinden (Adana, Osmaniye) yayılışı belirlenmiştir. Yakın zamanda da tarafımızdan Bingöl ve Diyarbakır'dan yayılışı belirlenmiştir. Bu durum; türün tolerans sınırlarının geniş olduğunu ve yayılış sınırlarını genişletmeye devam ettiğini göstermektedir.

Türkiye'de, nispeten ılıman iklimli Batı Karadeniz-Marmara (A1 ve A5 karelerinden) bölgelerinde yayılışı bilinen *Trifolium isthmocarpum* Bort.'un denizden uzak ve karasal iklim etkisindeki Bingöl'den yayılışının belirlenmesi ilginç bir durumdur. Bu yayılışta Bingöl'e düşen yıllık yağışın(950 mm) etkisi yanında türün karasal iklim şartlarına toleranslı olduğunu da düşündürmektedir.

Türkiye'de şimdiye kadar sadece Akdeniz bölgesinde yayılışı bilinen *Euphorbia prostrata* Aiton ve *E. serpens* Kunth'un Bingöl'deki yayılışında güneyden gelen sıcak iklim yapısının etkisi düşünülebilir.

Amannia auriculata Willd.'in Türkiye'deki yayılışı; şimdiye kadar sadece Türkiye'nin Gürcistan sınırına yakın Çoruh (Artvin) çevrelerinde biliniyordu. Yayılışı ile ilgili olarak; Türkiye Florası 4. cildinde verilen lokalite bilgilerinden sonra; "bu taksonun Türkiye'deki varlığının teyid edilmesi gerektiği" belirtilmektedir. Bu taksonun Çoruh çevresinden çok uzak, Osmancık (Çorum) ilçesi çeltik tarlalarında da yayılışı tarafımızdan kaydedildi. Dolayısı ile bu taksonun Türkiye'de yayılışının olduğu kesinleşmiş olmasının yanında; yayılış alanının da daha geniş olduğu bu kaydımız ile doğrulanmış oldu.

Aster squamatus (Sprengel) Hieron'un Türkiye Florasının 10. cildinde türün Kuzeydoğu Anadolu'da Çoruh, Hopa çevrelerinde yayılışı verilmiştir. Fakat daha sonra Türkiye'nin güneybatı ve batı kesimlerinde denizin yumuşatıcı etkisinin olduğu bazı habitatlarda da yayılışı belirlendiği gibi; karasal iklim özelliklerinin etkili olduğu Bingöl ve Keban(Elazığ)'nın sulak alan çevrelerinde de bu türün yayılışı tarafımızdan belirlendi olduğu belirlendi. Ayrıca bu güne kadar türün yayılışı deniz seviyelerinden 10 m'ye kadar olan yüksekliklerde biliniyordu hâlbuki Bingöl ve Keban'da 900-1150 m yüksekliklerde de bu bitkinin yayılışının olduğu ortaya kondu. Denizden çok uzak, yıllık ve günlük sıcaklık farklarının yüksek olduğu (karasal iklim özelliği) bu coğrafyada türün yayılışı ilginç bir durumdur.

Bugüne kadar Türkiye'de sadece Kars ve Artvin çevrelerinde yayılışı bilinen *Matricaria matricarioides* (Less.) Porter ex Britton'un [1] Erzurum ve Tatvan'da da yayılışı belirlendi. Bu tespitimiz ile türün yayılış alanını genişlettiği anlaşılmaktadır.

4. Sonuç ve Öneriler

Çalışma sonucunda yeni kare kaydı olarak verilen taksonların hem flora yazımında (taksonların yayılış sınırları ve tanımlarının doğru bir şekilde ortaya konması) hem de yapılan veya yapılacak olan revizyon ve flora çalışmalarında araştırmacılara kolaylık sağlaması ve daha fazla örnek inceleme imkanı sunması amacı ile herbaryum materyali haline getirilerek Bingöl Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Biyoloji bölümü herbaryumunda saklanmaktadır.

Yazarların Katkısı

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamıştır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur

Kaynaklar

- [1] Davis P.H. (ed.). 1965. Flora of Turkey and the East Aegean Islands. Vol. 1, Edinburgh Univ. Press, Edinburgh, U.K.
- [2] Behçet L. 1999. New floristic records for the grid squares B7 (Baskil-Elazığ) and B9 (Van) from Turkey. *Ot Sistematik Botanik Dergisi*, 3 (1): 85-92.
- [3] Davis P.H. (ed.). 1965-1985. Flora of Turkey and the East Aegean Islands. Vol. 1-9, Edinburgh Univ. Press, Edinburgh, U.K.
- [4] Davis P.H., Mill. R.R., Tan K. (eds.) 1988. Flora of Turkey and the East Aegean Islands. Vol. 10, Edinburgh Univ. Press, Edinburgh, U.K.
- [5] Güner A., Özhatay N., Ekim T., Başer K.H.C. 2000. Flora of Turkey and the East Aegean Islands. Vol.11, Edinburgh Univ. Press, Edinburgh, U.K.
- [6] Townsend C.C., Guest E. 1966-1985. Flora of Iraq. Vol. 1-8, Baghdad: Ministry of Agriculture, Iraq.
- [7] Rechinger K.H. 1965-1977. Flora Iranica. Vol. 1-9, Graz-Austria: Akademisch Drucku Verlangsanstalt.
- [8] Zohary M. 1966-1986. Flora Palaestina. Vol. 1-4, Jerusalem Academic Press, Israel.
- [9] Komarov V.L. (ed.) 1933-1964. Flora of the USSR. Vol. 1-30, Keter Press, Moskov.
- [10] Tutin T.G., Heywood V.H., Burges N.A., Moore D.M., Valentine D.H., Walters S.M., Webb D.B. (eds.). 1964-1981. Flora Europaea. Vol. 1-5, Univ. Press, Cambridge.
- [11] Podlech D., Zarre S. 2013. A taxonomic revision of the genus *Astragalus* L. (Leguminosae) in the old World. Vol. 1, Botany & Zoology P.O. Box 1360, D-61453 Koenigstein, 391p, Germany.
- [12] Gönen O., Yıldırım A., Uygur F.N. 2000. A new record for the flora of Turkey *Physalis angulata* L. (Solanaceae). *Turkish Journal of Botany*, 24 (5): 299-301.
- [13] Behçet L. 1996. Türkiye'nin B7 (Baskil-Elazığ) ve B10 (Iğdır) karelerinden yeni floristik kayıtlar. *Ot Sistematik Botanik Dergisi*, 3 (1): 85-92.
- [14] Behçet L., Yapar Y., Sinan A. 2014. Contribution to the flora of Turkey from B8 square (Bingöl, Elazığ/ Turkey). *Biological Diversity and Conservation*, 7 (3): 87-97.
- [15] Çakılıoğlu U., Civelek Ş. 2011. Flora of the region between copper mine and Tekevler village (Maden-Elazığ/Turkey). *Biological Diversity and Conservation*, 4 (1): 54-66.
- [16] Donner J. 1990. Distribution maps to P.H. Davis. Flora of Turkey. Vol. 1-10, Linzer Biol. Beitr., 22 (2): 381-515.
- [17] Kaya Y. 1995. Doğu Anadolu'dan B7 ve B8 kareleri(Erzincan-Tunceli) için yeni floristik kayıtlar. *Turkish Journal of Botany*, 19: 153-158.

- [18] Kaya Y. 1997. New floristic records for the grid squares A8 and B8. *Turkish Journal of Agriculture and Forest*, 23: 7-24.
- [19] Kaya Y. 1997. Pasinler ovası ve çevresinin florasına katkılar. *Ot Sistematiik Botanik Dergisi*, 4 (1): 9-26.
- [20] Kılıç Ö., Bağcı E. 2011. Aşağıçakmak köyü ile Keban baraj gölü (Elazığ) arasındaki sahanın florası. *Ot sistematiik Botanik Dergisi*, 18 (2): 79-130.
- [21] Kılıç Ö. Yıldırım Ş. 2014. New nativ and cultivated species records for the squares in the flora of Turkey. *Ot Sistematiik Botanik Dergisi*, 21 (1): 47-68.
- [22] Kılıç Ö. Yıldırım Ş. 2014. Dikme (kür) yaylası (Bingöl merkez) ve çevresinin florası. *Ot Sistematiik Botanik Dergisi*, 21 (1): 69-126.
- [23] Kılıç Ö. Yıldırım Ş., Kıranşan K. 2017. Yüzenadalar (Bingöl-Solhan) çevresinin florası. *Ot Sistematiik Botanik Dergisi*, 24 (2): 131-172.
- [24] Kurşat M., Civelek Ş., Türkoğlu İ. 2005. Elazığ, Baskil merkez ilçe-Altınkurek köyü (Keban) arasındaki yüksek sahanın florası. *Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 17 (3): 541-557.
- [25] Sinan A., Behçet L. 2014. The flora of Altınkardeş mountain and its surroundings (Genç, Bingöl/Turkey). *Biological Diversity and Conservation*, 7 (3): 97-116.
- [26] Türkoğlu İ., Civelek Ş. 2005. Karga dağının (Elazığ) florası. *Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 17 (2): 370-399.
- [27] Türkoğlu İ., Civelek Ş. 2006. Gözeli ve Kavak ovalarının (Elazığ) florası. *Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 18 (1): 11-23
- [28] Türkoğlu İ., Civelek Ş. 2008. Kuşakçı dağının (Elazığ) florası. *Ot sistematiik Botanik Dergisi*, 15 (1): 71-96.
- [29] Türkoğlu İ., Civelek Ş., Kurşat M. 2009. Kamışlık dağı (Elazığ) florası. *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 21 (2): 123-138.
- [30] Yıldırım Ş. 1997. The chorology of the Turkish species of Acanthaceae, Aceraceae, Aizoaceae, Amaranthaceae and Anacardiaceae families. *Ot Sistematiik Botanik Dergisi*, 4 (1): 125-130.
- [31] Yıldırım Ş. 1997. The chorology of the Turkish species of Apiaceae family. *Ot Sistematiik Botanik Dergisi*, 4 (2): 105-128.
- [32] Yıldırım Ş. 1999. The chorology of the Turkish species of Asteraceae family. *Ot Sistematiik Botanik Dergisi*, 6 (2): 75-123.
- [33] Yıldırım Ş. 2000. The chorology of the Turkish species of Boraginaceae family. *Ot Sistematiik Botanik Dergisi*, 7 (2): 257-272.
- [34] Yıldırım Ş. 2001. The chorology of the Turkish species of Brassicaceae, Buddlejaceae and Buxaceae families. *Ot Sistematiik Botanik Dergisi*, 8 (1): 141-171.
- [35] Yıldırım Ş. 2001b. The chorology of the Turkish species of Cactaceae, Callitrichaceae, Calycanthaceae and Campanulaceae families. *Ot Sistematiik Botanik Dergisi*, 8 (2): 157-171.
- [36] Yıldırım Ş. 2002. The chorology of the Turkish species of Caryophyllaceae, Casuarinaceae, Celastraceae, Ceratophyllaceae and Cercidiphyllaceae families. *Ot Sistematiik Botanik Dergisi*, 9 (2): 175-199.
- [37] Yıldırım Ş. 2003. The chorology of the Turkish species of Chenopodiaceae, Cistaceae, Convolvulaceae, Cornaceae and Corylaceae families. *Ot Sistematiik Botanik Dergisi*, 10 (1): 203-215.
- [38] Yıldırım Ş. 2003. The chorology of the Turkish species of Crassulaceae, Cucurbitaceae, Cuscutaceae and Cynocranaceae families. *Ot Sistematiik Botanik Dergisi*, 10 (2): 249-263.
- [39] Yıldırım Ş. 2005. The chorology of the Turkish species of Fabaceae family. *Ot Sistematiik Botanik Dergisi*, 12 (1): 117-170.
- [40] Yıldırım Ş. 2006. The chorology of the Turkish species of Gentianaceae, Geraniaceae, Gesneriaceae, Globulariaceae and Grossulariaceae. *Ot Sistematiik Botanik Dergisi*, 13 (1): 183-194.
- [41] Yıldırım Ş. 2008. The chorology of the Turkish species of Lamiaceae family. *Ot Sistematiik Botanik Dergisi*, 14 (1): 151-198.
- [42] Yıldırım Ş. 2008. The chorology of the Turkish species of Lauraceae, Lentibulariaceae, Linaceae, Lobeliaceae, Lorantaceae and Lythraceae families. *Ot Sistematiik Botanik Dergisi*, 14 (2): 180-197.

- [43] Yıldırım Ş. 2008. The chorology of the Turkish species of Oleaceae, Onagraceae, Orobanchaceae and Oxalidaceae families. *Ot Sistematiik Botanik Dergisi*, 15 (2): 151-166.
- [44] Yıldırım Ş. 2009. The chorology of the Turkish species of Pulumbaginaceae, Polemoniaceae, Poligalaceae, Polygonaceae, Portulacaceae, Primulaceae, Proteaceae and Punicaceae families. *Ot Sistematiik Botanik Dergisi*, 16 (2): 189-211.
- [45] Yıldırım Ş. 2011. The chorology of the Turkish species of Rosaceae family. *Ot Sistematiik Botanik Dergisi*, 18 (1): 191-235.
- [46] Yıldırım Ş. 2011. The chorology of the Turkish species of Rubiaceae and Rutaceae families. *Ot Sistematiik Botanik Dergisi*, 18 (2): 173-204.
- [47] Yıldırım Ş. 2012. The chorology of the Turkish species of Scrophulariaceae family. *Ot Sistematiik Botanik Dergisi*, 19 (1): 151-211.
- [48] Yıldırım Ş. 2012. The chorology of the Turkish species of Simaroubeaceae, Solanaceae, Staphyleaceae, Sterculiaceae and Styracaceae families. *Ot Sistematiik Botanik Dergisi*, 19 (2): 151-165.
- [49] Yıldırım Ş. 2013. The chorology of the Turkish species of Tamaricaceae, Theaceae, Thymelaeaceae, Tiliaceae, Trapaceae, Tropaeolaceae, Ulmaceae and Urticaceae families. *Ot Sistematiik Botanik Dergisi*, 20 (1): 157-170.
- [50] Yıldırım Ş. 2015. The chorology of the Turkish tepaloid Monocotyledones species of Liliaceae Juss. s.l. family. *Ot Sistematiik Botanik Dergisi*, 22 (1-2): 67-119.
- [51] Yıldırım Ş. 2017. The chorology of the Turkish non tepaloid Monocotyledones species of Cyperaceae Juss., Juncaceae Juss. and Poaceae Barnhart (Gramineae) families. *Ot Sistematiik Botanik Dergisi*, 24 (2): 173-235.
- [52] Güner A., Aslan S., Ekim T., Vural M., Babaç MT. 2012. Türkiye bitkileri listesi (Damarlı bitkiler). Nezahat Gökyiğit Botanik Bahçesi ve Flora Araştırmaları Derneği Yayını, İstanbul.
- [53] Ekim T., Koyuncu M., Vural M., Duman H., Aytaç Z., Adıgüzel N. 2000. Türkiye bitkileri kırmızı kitabı. Türkiye Tabiatını Koruma Derneği ve Yüzüncü Yıl Üniv., Ankara.
- [54] Haston E., Richardson J.E., Stevens P.F., Chase M.W., Harris D.J. 2009. The linear angiosperm phylogeny group (LAPG) III: A linear sequence of the families in APG III. *Botanical Journal of Linnean Society*, 161: 128-131.

Araştırma Makalesi / Research Article

Tehdit Altında Bir Bitki Olan Tuzkırğını (*Asparagus lycaonicus* P.H. Davis) Türünün Koruma Biyolojisi Özellikleri Üzerine Güncel Bir Değerlendirme

Okan ÜRKER^{1*}, Tamer KEÇELİ²

^{1*}Çankırı Karatekin Üniversitesi, Eldivan Sağlık Hizmetleri MYO, Tıbbi Hizmetler ve Teknikler Bölümü, Çevre Sağlığı Programı, Çankırı.

²Çankırı Karatekin Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Botanik Ana Bilim Dalı, Uluayazı Yerleşkesi, 18200, Çankırı

(ORCID: 0000-0002-5103-7757) (ORCID: 000-0001-7958-072X)

Öz

Bu çalışmada Türkiye ve İran'da yayılış gösteren bir İran-Turan Fitocoğrafik Bölgesi'ne özgü bir tür olan Tuzkırğını (*Asparagus lycaonicus* P.H. Davis) türünün koruma biyolojisi açısından güncel değerlendirmesi yapılmıştır. İç Anadolu'da 8 bölgedeki 54 farklı lokalitede nokta-çizgi transekt ve kareleme metotları uygulanarak, genel flora-vegetasyon gözlemleri ile birey sayımları gerçekleştirilmiştir. 2019 yılı Mayıs-Eylül ayları içerisinde yapılan arazi çalışmaları sonucunda tek bir bölgenin farklı lokalitelerinden farklı alt populasyonlara ait toplamda 858 bireyin sayıldığı ve bunların yaklaşık %20'sinin (182 birey) meyve formunda olduğu tespit edilmiştir. Bilinen mevcut lokasyonların haricinde türün yaşama ve/veya yayılım potansiyeli bulunan diğer 7 bölgedeki alternatif lokalitelerde kaydedilmemiştir. Dolayısıyla Türkiye populasyonları özelinde türün ilk kaydedildiği andan bugüne geçmişte olduğu gibi günümüzde de Bolluk Gölü (Konya İli, Cihanbeyli İlçesi) kıyılarının türün ana yaşam alanları olduğu gözlenmiştir. Aşırı tuzlu ve sodalı toprakları habitat olarak tercih eden Tuzkırğını, CITES Sözleşmesi Ek listelerinde yer almamasına rağmen, Bern Sözleşmesi Ek-1 listesinde yer almaktadır. Türün İran'daki populasyonuna yönelik bilgi boşluğu doldurulana kadar IUCN tehlike kategorisinin EN B1-a, C2-a(i) statüsünde değerlendirilmesi önerilmiştir. Otlatma, anız yakma, tarım arazisi işgalleri gibi türün yaşam alanının yakınlarında devam eden çevresel baskılar söz konusu olmakla beraber, türe yönelik en kritik tehdidin; habitatını doğrudan bozma ve yayılış alanını geri dönüşümsüz biçimde yok etme riskinden dolayı ALKİM Fabrikası'na bağlı kullanımlar olduğu anlaşılmıştır. Öte yandan, bu tesisin uzun yıllardır bölgede Tuzkırğını'nın arazi işgalleri, anız, otlatma gibi faaliyetlerden dolayı yok olmasının önüne geçilmesinde büyük bir sorumluluk yüklenmiş olması türün geleceği açısından fırsat yaratmaktadır. Bu nedenle gerçekleştirilecek uzun vadeli koruma planlarında bu tesisle işbirliği önem taşımaktadır.

Anahtar kelimeler: Tuzkırğını, *Asparagus lycaonicus*, Asparagaceae, Flora, Koruma Biyolojisi, Halofit, Tehlike Altında.

A Current Evaluation on Conservation Biology Properties of Tuzkırğını (*Asparagus lycaonicus* P.H. Davis) that is an Endangered Plant Species

Abstract

It was aimed that in this study, a current evaluation on conservation biology properties of Tuzkırğını (*Asparagus lycaonicus* P.H. Davis) where distributes on Turkey and Iran which is Irano-Turan Element. Point intercept and quadrats have been selected as research methods in 54 different locations from 8 different regions in Central Anatolia, in between May and September 2019. As a result, 858 individuals were counted where just from one region's different locations and approximately 20% (182 individuals) of them were determined to be in fruit form. So, only the coasts of Lake Bolluk (Konya Province, Cihanbeyli District-Turkey) are detected as the main habitat of this local species. While Tuzkırğını prefers the highly soils as habitat, is not listed in the annexes of CITES, it is listed in Annex-I of the Bern Convention. On the other hand, until the knowledge gap of Iran population is completed, it has been proposed to evaluate the IUCN red list category in EN B1-a, C2-a(i) status. Grazing, stubble burning and farmland occupations are secondary threats to the species. The most critical threat may be pointed out as ALKİM Co.'s potential land uses on the main habitat of the species. The fact that this facility has been

*Sorumlu yazar: okanurker@karatekin.edu.tr

Geliş Tarihi: 25.04.2020, Kabul Tarihi: 08.07.2020

undertaken a great responsibility in preventing the extinction of Tuzkırğını due to land occupations, stubble and grazing in the region for many years creates an opportunity for the future of the species. Therefore, cooperation with this facility is of great importance in the long-term protection plans to be realized.

Keywords: Tuzkırğını, *Asparagus lycaonicus*, Asparagaceae, Flora, Conservation Biology, Halophytic, Endangered.

1. Giriş

Bünyesinde ekolojik açıdan pek çok sıcak nokta barındıran, farklı doğal ekosistemlere ve konumu itibarıyla hem Karadeniz hem de Akdeniz iklimlerinin özelliklerine sahip olan ülkemiz, zengin bir biyolojik çeşitliliğe sahiptir [1]. Anadolu'nun, Avrupa kıtasının bütünü kadar bitki türüne sahip olduğu bilinmektedir. Bu nedenle Anadolu, Dünya'nın en büyük ve en zengin tür çeşitliliğine sahip doğal botanik bahçelerinden biri olarak değerlendirilebilir [2]. Küresel iklim değişikliği ve atmosferde sera etkisi gösteren gazların artması, arazi kullanımı sonrası ekosistemlerin geri döndürülemez bir şekilde zarar görmesi, ormansızlaştırma, sucül ekosistemlerin kirletilmesi ve aşırı otlatma gibi etkenler, Anadolu'nun bu özelliğini tehdit etmektedir. Bütün bu olumsuz gelişmeler endemizm oranı yüksek olan Anadolu'daki biyolojik çeşitliliğin azalmasına ve türlerin yok olmasına neden olmaktadır [3].

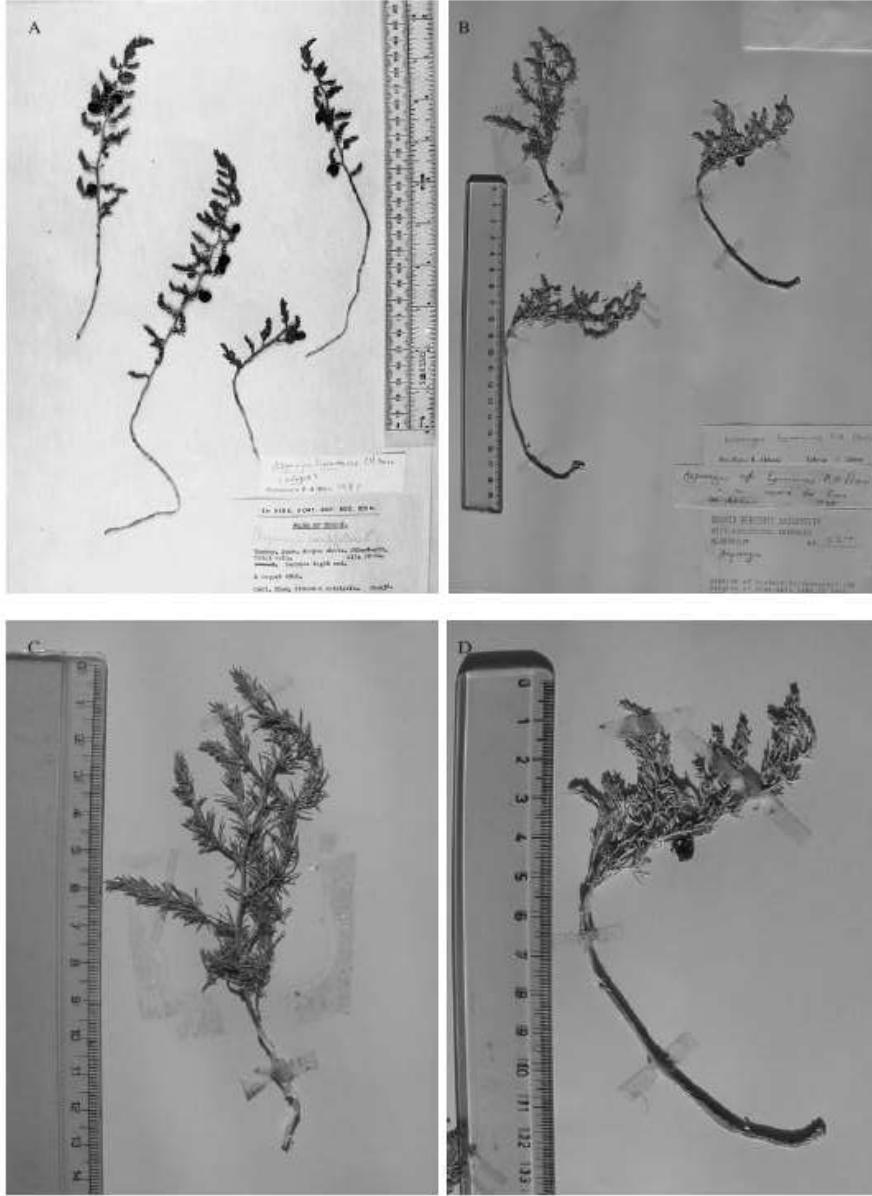
Gün geçtikçe artan kentleşme, sanayileşme gibi nedenlerin ekosistemler üzerindeki olumsuz etkileri nedeniyle, ülkemizin biyolojik çeşitliliğini korumak amacıyla korumada öncelik arz eden türlerin tespitinin yapılarak, koruma biyolojisi ilkelerinin göz önünde tutulduğu bir eylem planı kapsamında türlerin korunması ve izlenmesi önem arz etmektedir [4]. Bu çalışma kapsamında da tehdit altında lokal bir bitki türü olan Tuzkırğını (*Asparagus lycaonicus*)'nın uzun vadeli ve sürdürülebilir biçimde yaşamını devam ettirebilmesi amacıyla güncel koruma biyolojisi özellikleri araştırılarak, alınması gerekli tedbirler bir eylem planı şeklinde özetlenmiştir. İki aşamada yürütülen bu çalışmanın ilk bölümünde, öncelikle arazi çalışmaları ile türün yayılışı, popülasyon durumu ile mevcut ve öngörülebilir tehditleri tespit edilmiştir. Tespitler yalnızca arazi çalışmaları ile sınırlı kalmamış yöre halkı, kamu kurum ve kuruluşlarıyla da görüşmeler yapılarak, türe yönelik bilgi düzeyleri hakkında görüşleri alınmıştır. İkinci aşamada ise arazi ve literatür kayıtları ile desteklenen tehditlere yönelik faaliyetler ve önlemler tespit edilmiştir.

1.2. Tür Hakkında Temel Bilgiler

1.2.1. Literatür Özeti

4 Ağustos 1960 tarihinde P.H. Davis tarafından Bolluk Gölü kıyılarından toplanarak 1980'li yılların başında yine aynı bilim insanı tarafından endemik tür olarak teşhisi yapılan *Asparagus lycaonicus* taksonu 1983 yılında Türkiye Florası'na eklenmiş [5] ve Flora of Turkey'in 1984 yılında yayınlanan 8. cildinde yer almıştır [6] (Şekil 1-A).

Davis [5] tarafından Türkiye Florası'na eklenen *Asparagus lycaonicus* taksonu İranlı Botanik Uzmanı Hossein Akhane tarafından yayınlanan bir makale sonucunda İran Florası'na da eklenmiştir [7]. Bahsi geçen bu makale çerçevesinde atıfta bulunulan türe ait örnekler, esasen 1986 yılında İran'da Ostan-e Markazi (Arak), Kavir-e Meyghan'ın güneydoğusunda yer alan Arak Tuz Gölü'nün yüksek derecede tuzluluk arz eden kıyı bölümlerinden toplanılmıştır. Ancak toplandığı dönem itibarıyla teşhisleri tam olarak bitirilmediği için İran Florası [8]'na kaydı yapılmamıştır. Akhane, 1997 yılının Nisan ve Mayıs aylarında Kew Botanik Bahçesi (Edinburgh)'ne yaptığı bir ziyaret sırasında burada türün Türkiye Florası [6]'na ait Kew Koleksiyonu'ndaki materyallerini İran koleksiyonu olan kendi örnekleri ile karşılaştırmış ve İran ile Türkiye örneklerinin aynı türe ait olduğunu ilgili makalede açıklayarak *A. lycaonicus* tiplerini karşılaştırmalı biçimde doğrulamıştır (Şekil 1-B,C,D).



Şekil 1. A, Kuşkonmaz - *A.lycaonicus*, izotip (Kew Botanic Garden); B – D, İran koleksiyonu (H. Akhani 1124): B, sayfanın tamamı; C, büyütülmüş çiçekli bitki; D, büyütülmüş meyveli bitki

Tuna Ekim ve arkadaşları [9] tarafından yayınlanan ‘Türkiye Bitkileri Kırmızı Kitabı’na göre tehlike ve tehdit durumu ise EN (Endangered) / Tehlike Altında kategorisinde tanımlanmıştır. Türkiye Damarlı Bitkiler Listesi [10]’nde türe muhtemelen habitat özelliklerinden dolayı ‘Tuzkırğını’ adı verilmiştir. Dr. Akhani ile yapılan yazılı görüşmelerde Akhani tarafından “İran bitkisi örneğinin Türkiye bitki örneğinin Edinburgh’daki numunesi karşılaştırılarak kontrol edildiği, İran popülasyonuna benzeyen Türk popülasyonunun da doğal habitatında kendisi tarafından ziyaret edildiği bildirilmiştir. İran bitki örneğinin kendisi tarafından yalnızca bir kez toplandığını ve bir daha bulamadığını belirten Akhani, hidrolojik sebepler veya habitat değişimi nedeniyle bu küçük popülasyonun neslinin tükenmiş olabileceğini ifade etmiştir. Popülasyonun yaşadığı lokalitelerde yeniden keşif çabalarının şu ana kadar başarısız olduğunu belirtmiştir (Ürker ve Keçeli, 2020; Kişisel yorum).

1.2.2. Tür Üzerinde Yapılan Bilimsel Çalışmalar

Literatürde doğrudan ve tek başına türü konu edinen herhangi bir bilimsel çalışmaya rastlanılmamakla beraber, tür ile ilgili yapılan en kapsamlı botanik araştırmaları Uzman Eczacı Ayşegül Güvenç tarafından 1996 yılında tamamlanan “Türkiye’de yetişen *Asparagus* (Kuşkonmaz) türleri üzerinde

farmasötik botanik yönünden araştırmalar” [11] isimli doktora tez çalışması kapsamında gerçekleştirilmiş ve türe ait oldukça önemli detay bulgular elde edilmiştir.

Özetle, bu çalışma kapsamında her ne kadar Türkiye’de yetişen *Asparagus* cinsine ait tüm taksonlar değerlendirilmekle birlikte *A. lycaonicus*’a yönelik spesifik ve detaylı botanik ve anatomik çalışmalar (gövde, kök vb.), kimyasal çalışmalar, mikrobiyolojik çalışmalar ve farmakolojik çalışmalar yürütülmüş olup, hali hazırda tür özelinde bugünkü güncel bir çok bilgiye de bu çalışma sayesinde ulaşılabilmektedir. Hülya Özler tarafından yapılan “*Asparagus* L., *Allium* L., *Muscari* Mill. ve *Fritillaria* L. (Liliaceae) cinslerine ait bazı türlerin polenlerinin morfolojik yapılarının incelenmesi” [12] isimli bir başka doktora tez çalışması kapsamında ise *A. lycaonicus*’un da polen şekli, strüktürü, skülpürü incelenmiştir.

Nezahat Gökyiğit Botanik Bahçesindeki bölümlerden biri olan “Kurak ve Çorak Bahçe”de tuzkırğını da kültüre alınarak yetiştirilmiştir [13]. Atlas Dergisi yayını olan ve “Yok Olmadan Önce Görülmesi Gereken Son Cennetler Atlası” adını taşıyan kitapta *Asparagus lycaonicus* türünün Tersakan ve Bolluk gölleri civarlarında yayılış gösterdiğinden de bahsedilmektedir [14]. 11 Temmuz 1992’de M. Koyuncu, A. ve U. Güvenç ile birlikte Konya, Cihanbeyli, Bolluk Gölü, Alkim fabrikasının arkasındaki tuzlu ve sodalı alandan *Asparagus lycaonicus* türünü rapor etmişlerdir [11].

1.2.3. Türün Taksonomik ve Morfolojik Özellikleri

Tuzkırğını bitkisinin ait olduğu *Asparagus* cinsinin, APG IV sistemine göre güncel taksonomik durumu aşağıda özetlenmiştir [15]:

Üstalem (Superregnum)	: Eukaryota
Alem (Regnum)	: Plantae
Bölüm (Divisio)	: Magnoliophyta (Angiospermae)
Sınıf (Class)	: Liliopsida (Monocotyledoneae)
Ordo (Order)	: Asparagales
Aile (Family)	: Asparagaceae
Altaile (Subfamily)	: Asparagoideae
Oymak (Tribe)	: Asparageae
Altoymak (Subtribe)	: Asparaginae
Cins (Genus)	: <i>Asparagus</i> L.
Tür (Species)	: <i>A. lycaonicus</i> P.H. Davis

Asparagus cinsi; Asparagaceae familyasının bir üyesi olup, eski dünyanın kurak ve yarı kurak bölgelerine dağılmış yaklaşık 300 tür içeren *Asparagus*, *Protasparagus*, *Myrsiphyllum* olmak üzere üç alt cinsten oluşmaktadır [16, 17]. Dünya’da 300 türü bulunan *Asparagus* L. (Asparagaceae) cinsinin bazı üyeleri gıda (*A. officinalis*), süs bitkisi (*A. asparagoides*, *A. medeloides*, *A. plumosus*, *A. sandens*, *A. setaceus*, *A. sprengeri*) ve eczacılık açısından (*A. acutifolius*, *A. setaceus*, *A. sprengeri*) önemlidir [18].

Asparagus cinsinin anayurdu Akdeniz bölgesi olup, Güney Avrupa, Anadolu, Asya ve Afrika’da yayılış göstermektedir [19], [6], [20]. Ülkemizde *Asparagus* cinsinin 13 taksonu (10 tür, 3 alttür) bulunmaktadır, bunlardan 1’inin varlığı teyide muhtaç iken, 3 adedi endemiktir ve doğal olarak yetişmektedir [18]:

1. *Asparagus acutifolius* L.
2. *Asparagus aphyllus* L. subsp. *aphyllus*
3. *Asparagus aphyllus* L. subsp. *orientalis* (Baker) P.H.Davis
4. *Asparagus coodei* P.H.Davis (Endemik)
5. *Asparagus filifolius* Bertol. (Türkiye’deki varlığı teyide muhtaçtır)
6. *Asparagus lycaonicus* P.H.Davis (Endemik)
7. *Asparagus lycius* P.H.Davis (Endemik)
8. *Asparagus officinalis* L. subsp. *officinalis*
9. *Asparagus palaestinus* Baker
10. *Asparagus persicus* Baker
11. *Asparagus tenuifolius* Lam.
12. *Asparagus trichophyllus* Bunge
13. *Asparagus verticillatus* L.

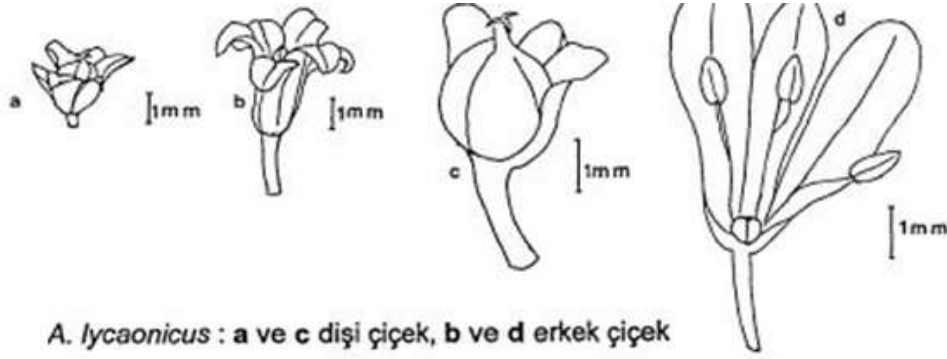
Tuzkırğını türünün morfolojisi incelendiğinde; otsu 6-30 cm boyunda, genellikle toprak yüzeyine yatık gelişen, bazen yükselici dik bitki olduğu göze çarpmaktadır. Gövde oluklu köşelerde ince papilli, çıplak, sarımsı açık yeşil renkli ve pulsu yapraklar 0-1 mm boyunda dikensi olmayan mahmuz taşımaktadır. Esasen türün ayırt edici en baskın karakteri olarak kladotlar ön plana çıkmakta olup, bunlar her kümede 3-6 (-9) tane, 1- 10 (-25) mm boyunda 0,5 mm genişliğinde, oluklu, köşelerde papilli, etli, tepesi akut-mukronulat, dallara çok yatık, her kladot kümesinin tabanında zarımsı yapraklar yer almaktadır. Kladot kümeleri birbirine çok yakın ve sıktır [21]. Türün morfolojisine ait genel çizim Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. A) Bitkinin genel görünüşü, B) Meyveli bitkinin görünümü [11]

Çiçeklenmenin en iyi olduğu dönem 15 Mayıs-15 Haziran tarihleri arasında iken, bu durum yıllık iklimsel değişkenliklere göre birkaç hafta sarkmalar arz edebilmektedir. Çiçekler genellikle şeker pembemsi kırmızı veya turuncuya çalan kırmızımsı renkli olup, taze iken erkek çiçeklerden turuncu renkli anterler de rahatlıkla görülmektedir. Çiçekler genellikle 2 tane ve çoğunlukla ana gövde üzerinde yer almaktadır. Erkek çiçekler; 4-5 mm boyunda, kampanulat, dış tepaller iç tepallerden dar, iç tepallerin uçları yuvarlak, ginekeum gelişmemiş, stilus ve stigma taşımaz, stamenler gelişmiş ve 2 halka üzerinde dizilmiş olup, dış halkadaki stamenlerin filamentleri anterlerin biraz altından, iç halkadakiler ise daha aşağıdan tepallere bağlanmıştır (3mm). Anterler 1 mm boyunda, 0,5 mm genişliğinde, küçük bir apendix taşırken, dişi çiçek 2.5-3 mm, ginekeumu gelişmiş, stigma üç parçalı, anter ve filamentler körelmiş olup, zarımsı yapıdadır. Pedisel eklemi ortada ve/veya bazen ortadan aşağıda (çiçeğe yakın), pediseller çiçeklerle aynı renkte, 4- 5 mm boyunda, çiçekle eklem arası pedisel boyu 1-2 mm, eklemden sonraki pedisel boyu 2-4 mm aralığındadır (Şekil 3). 850-1000 m'ler arasında yoğun tuzlu ve sodalı toprakların bulunduğu tuzcul bozkırlarda yetişen bu tür halofitik olarak da tanımlanabilir.

Meyve, koyu kırmızı renkli, tepaller kuruyunca meyve tabanında kalıcı bir iz bırakır, 5-7 mm çapında, 3 gözlü her gözde genellikle 2 tohum taşıyan bakka gözlenmekte, tohum sayısı genellikle 4-6 nadiren 1, 2.5x2-3x2.55 mm boyutlarında ve siyah renklidir (Şekil 4).



Şekil 3. Dişi çiçek ve erkek çiçeğe ait farklı çizimler [11]



Şekil 4. A) Erkek bitki B) Dişi bitki (Fotoğraf: Mecit Vural)

Meyve, Temmuz-Ağustos döneminde görülmekle birlikte iklimsel değişimlere bağlı olarak Haziran ayında da gözlenebilmektedir. Tohumlar ise Ağustos-Ekim arasında olgunlaşmaktadır. Dişi bitkilerde meyve gelişimi sırasında çiçeklere ait çiçek yaprakları uzun süre kahverengimsi bir şekilde meyve üzerinde kalabilir. Bitkinin vejetatif bölümü yıl boyunca toprak üstünde görülmekle beraber Eylül ortasından itibaren sonbahar boyunca kuruyan bazı bitkiler sarımsı-kahverengimsi formlarda da gözlenebilir (Şekil 5).

FENOLOJİ	AYLAR											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Vejetatif Evre	■											
Generatif Evre	Çiçeklenme					■	■					
	Meyva ve Tohum						■	■	■			

Şekil 5. Tuzkırğını (*A. lycanicus*) bitkisinin fenolojisi

Bitkinin kök anatomisi özetlenecek olursa; epiderma, çoğunlukla parçalanmış olup, dış yüzeyde emici tüyler görülebilir. Hipoderma 4-5 sıralı, kahverengi çift çeperli, karakteristik şekilleri olmayan hücreler halinde de olabilir. Hipodermmanın hemen altındaki birkaç sıra korteks parankiması ezilmiş hücrelerden; daha sonrakiler ise düzgün, yuvarlak, hücre arası boşlukları olan hücrelerden meydana gelmektedir. Endoderma at nalı şeklinde kalınlaşma gösterir. Floem ve ksilem yan yana almaç dizilmiş ve 13-15 kolludur. Floem, ince çeperli değişik büyüklükte hücrelerden oluşmaktadır. Öz bölgesi genellikle selüloz çeperli yuvarlak hücre arası boşluklara sahiptir. Rafit demetleri ise gözlenmemektedir [22]. Bitkinin gövde anatomisi özetlenecek olursa; epiderma kalın çeperli uzun hücrelerden oluşmakta olup, korteks yuvarlak, 10-11 sıralı ve rafit bulunmaz, sklerenkima 3-5 sıralı, iletim demetleri 3-4 sıralı iken, öz selülözitik ve rafit gözlenir. Kütikula ince, epiderma köşeli, palizat 3-(-4) sıralı ve rafit demeti taşır, sünger 2-3 sıralı ve rafit demeti taşır, iletim demetleri 2 büyük, 2-(3) küçük, öz; az bir (9-15) hücre odunlaşmış durumdadır. Bitkinin genel habitat özelliklerini ise tuzlu ve sodalı topraklar oluşturmakta olup, bitki bu habitat tercihinden dolayı halofitik olarak tanımlanabilir [22] (Şekil 6).



Şekil 6. Bitkinin yetiştirme ortamına ait genel görünüm

2. Materyal ve Metot

2.1. Çalışma Alanı

Tuzkırgımı (*Asparagus lycaonicus*) türüne ait arazi çalışmaları, öncelikle Konya İli Cihanbeyli İlçesi sınırları dahilinde yer alan ve daha önceden farklı bilimsel çalışmalar kapsamında tespit edilen lokasyonlar (Bolluk Gölü kıyıları) başta olmak üzere türün yayılış gösterebileceği potansiyel alanlar da belirlenerek yürütülmüştür. Türün yayılış bilgileri incelendiğinde; Bolluk Gölü dışında habitat özellikleri nedeniyle türe ait popülasyonların bulunma potansiyeli olabilecek farklı alanlar da (Konya İli Cihanbeyli İlçesi; Tersakan Gölü kıyıları, Tuz Gölü'nün batı ve güneybatı kıyıları, Konya İli Kulu İlçesi; Düden Gölü, Gök Gölü, Samsam Gölü kıyıları, Ankara İli Bala İlçesi; Çöl Gölü ve Uyuz Gölü kıyıları) dikkate alınarak arazi çalışmaları genişletilmiş, başlangıçta 1 lokasyon olarak planlanan arazi çalışmaları 8 lokasyonda, 54 noktada yapılmıştır. Arazi çalışması yapılan lokasyonlar aşağıdaki haritada gösterilmiştir (Şekil 7).



Şekil 7. Çalışma alanına ait yer bulduru haritası

2.2. Metot

Saha çalışması yapılan lokaliteler ve bu noktalarda elde edilen gözlem bilgilerine ait detaylı veriler aşağıdaki tabloda özetlenmiştir (Tablo 1). Türün daha fazla tehdit altına girmesini engellemek amacıyla tabloda koordinat bilgilerine yer verilmemiştir. Her bir gözlem lokalitesinin özellikleri arazi defterlerine kaydedilmiş olup, bu veriler arasında alanın hâkim bitki örtüsü, arazinin konumu, eğimi, genel görünümü, GPS koordinatları (enlem-boylam), deniz seviyesinden yükseklik bilgisi gibi veriler rapor edilmiştir. Bu 54 farklı lokalitede line transekt metodu ve 100, 400, 1000 metre karelik kareleme sistemleri uygulanarak, genel flora ve vejetasyon gözlemleri ile tür sayımı (vejetatif ve generatif formlar da kaydedilerek) gerçekleştirilmiştir. Türün yayılış gösterdiği habitatları tanıtıcı fotoğraflar da çekilmiştir.

Bitki örnekleme çalışmalarında bugüne kadar birçok metot geliştirilip kullanılmıştır. Bunlardan bazıları; Braun-Blanquet, nokta transekt, nokta-çizgi transekt, kare, dikdörtgen ve daire kuadrat teknikleri olarak özetlenebilir [23-29].

Kısa zamanda çabuk ve doğru sonuçlar verebilmesi, aynı anda aynı veriyi kullanarak vejetasyon yapısı ve bitki komünite parametreleri hakkında çeşitli yorumlara ulaşma imkânı sunmasından dolayı bu çalışmada tür araştırıldığı lokalitede tespit edilene kadar ‘nokta-çizgi transekt metodu’ (point intercept method) [24, 30] ile takip edilerek, gözlemlendiği noktadan itibaren ise birey sayımlarını gerçekleştirebilmek için kare kuadrat teknikleri tercih edilmiştir [23, 24].

Tablo 1. Arazi çalışmalarına ait lokalite detay bilgileri

No	Tarih	Lokalite	Rakım (m)	Açıklama
1	21.6.2019	Bolluk Gölü, Alkim Fabrikası civarı, drenaj kanalı kenarı, yağma toprak kuzey yamaçları	951	100 m ² alanda 42 <i>Asparagus lycaonicus</i> öbeği sayıldı, sayılan örneklerin toplam %30'unda meyve görüldü.
2	21.6.2019	Bolluk Gölü, Alkim Fab. civarı, drenaj kanalı kenarı, yağma toprak doğu yamaçları	950	100 m ² alanda 48 <i>Asparagus lycaonicus</i> öbeği sayıldı, sayılan örneklerin toplam %15'inde meyve görüldü.
3	21.6.2019	Bolluk Gölü, Alkim Fab. civarı, drenaj kanalı kenarı, yağma toprak doğu yamaçları	950	100 m ² alanda 72 <i>Asparagus lycaonicus</i> öbeği sayıldı, sayılan örneklerin toplam %15'inde meyve görüldü.
4	21.6.2019	Bolluk Gölü, Alkim Fab. civarı, drenaj kanalı kenarı, yağma toprak kuzeydoğu yamaçları	949	100 m ² alanda 45 <i>Asparagus lycaonicus</i> öbeği sayıldı, sayılan örneklerin toplam %10'unda meyve görüldü.
5	21.6.2019	Bolluk Gölü, Alkim Fab. güneydoğusu, drenaj kanalı kuzeyi	948	400 m ² alanda 90 <i>Asparagus lycaonicus</i> öbeği sayıldı, sayılan örneklerin toplam %30'unda meyve görüldü.
6	21.6.2019	Bolluk Gölü, Alkim Fab. güneydoğusu	949	400 m ² alanda 105 <i>Asparagus lycaonicus</i> öbeği sayıldı, sayılan örneklerin toplam %25'inde meyve görüldü.
7	21.6.2019	Bolluk Gölü, Alkim Fab. doğusu	951	400 m ² alanda 5 <i>Asparagus lycaonicus</i> öbeği sayıldı, sayılan örneklerin toplam %20'sinde meyve görüldü.
8	21.6.2019	Bolluk Gölü, Alkim Fab. doğusu	952	400 m ² alanda hiç <i>Asparagus lycaonicus</i> örneği görülmedi.
9	22.6.2019	Bolluk Gölü, Alkim Fab. civarı, drenaj kanalı kenarı, yağma toprak kuzey yamaçları	965	100 m ² alanda 2 <i>Asparagus lycaonicus</i> öbeği sayıldı, sayılan örneklerde meyve görülmedi.
10	22.6.2019	Bolluk Gölü, Alkim Fab. civarı, drenaj kanalı kenarı, yağma toprak kuzey yamaçları	946	100 m ² alanda 152 <i>Asparagus lycaonicus</i> öbeği sayıldı, sayılan örneklerin toplam %25'inde meyve görüldü.

11	22.6.2019	Bolluk Gölü, Alkim Fab. civarı, drenaj kanalı kenarı, yığma toprak kuzey yamaçları	922	100 m ² alanda 180 <i>Asparagus lycaonicus</i> öbeği sayıldı, sayılan örneklerin toplam %15'inde meyve görüldü.
12	5.7.2019	Tersakan Gölü kuzeybatı kıyıları	921	100 m ² alanda hiç <i>Asparagus lycaonicus</i> örneği görülmedi.
13	5.7.2019	Tersakan Gölü kuzeybatı kıyıları	923	100 m ² alanda hiç <i>Asparagus lycaonicus</i> örneği görülmedi. 60 cm boyunda bir <i>Asparagus persicus</i> öbeği görüldü.
14	5.7.2019	Tersakan Gölü kuzeybatı kıyıları	922	100 m ² alanda hiç <i>Asparagus lycaonicus</i> örneği görülmedi. 55 cm boyunda bir <i>Asparagus persicus</i> öbeği görüldü.
15	5.7.2019	Tersakan Gölü kuzeybatı kıyıları	922	100 m ² alanda hiç <i>Asparagus lycaonicus</i> örneği görülmedi. 35-50 cm boylarında dört <i>Asparagus persicus</i> öbeği görüldü.
16	5.7.2019	Tersakan Gölü kuzeybatı kıyıları	923	100 m ² alanda hiç <i>Asparagus lycaonicus</i> örneği görülmedi. 25 cm boyunda bir <i>Asparagus persicus</i> öbeği görüldü.
17	5.7.2019	Tersakan Gölü kuzeybatı kıyıları	923	100 m ² alanda hiç <i>Asparagus lycaonicus</i> örneği görülmedi. 40 cm boyunda bir <i>Asparagus persicus</i> öbeği görüldü.
18	5.7.2019	Tersakan Gölü kuzeybatı kıyıları	924	100 m ² alanda hiç <i>Asparagus lycaonicus</i> örneği görülmedi. 60 -65 cm boylarında iki <i>Asparagus persicus</i> öbeği görüldü.
19	5.7.2019	Bolluk Gölü, Alkim Fab. kuzeydoğusu	950	400 m ² alanda hiç <i>Asparagus lycaonicus</i> örneği görülmedi.
20	5.7.2019	Bolluk Gölü, Alkim Fab. kuzeydoğusu	950	400 m ² alanda hiç <i>Asparagus lycaonicus</i> örneği görülmedi.
21	5.7.2019	Bolluk Gölü, Alkim Fab. kuzeyi	951	400 m ² alanda 5 <i>Asparagus lycaonicus</i> öbeği sayıldı, sayılan örneklerin toplam %20'sinde meyve görüldü.
22	5.7.2019	Bolluk Gölü, Alkim Fab. kuzeyi	953	400 m ² alanda hiç <i>Asparagus lycaonicus</i> örneği görülmedi.
23	5.7.2019	Bolluk Gölü, Alkim Fab. kuzeyi	953	400 m ² alanda 6 <i>Asparagus lycaonicus</i> öbeği sayıldı, sayılan örneklerde meyve görülmedi.
24	5.7.2019	Bolluk Gölü, Alkim Fab. kuzeydoğusu	957	400 m ² alanda 1 <i>Asparagus lycaonicus</i> öbeği sayıldı, sayılan örnekte meyve görülmedi.
25	5.7.2019	Bolluk Gölü, Alkim Fab. kuzeydoğusu	962	400 m ² alanda hiç <i>Asparagus lycaonicus</i> örneği görülmedi.
26	5.7.2019	Bolluk Gölü, Alkim Fab. doğusu	960	400 m ² alanda 1 <i>Asparagus lycaonicus</i> öbeği sayıldı, sayılan örnekte meyve görülmedi.
27	5.7.2019	Bolluk Gölü, Alkim Fab. doğusu	958	400 m ² alanda 5 <i>Asparagus lycaonicus</i> öbeği sayıldı, sayılan örneklerin toplam %20'sinde meyve görüldü.
28	6.7.2019	Bolluk Gölü, Alkim Fab. güneydoğusu	948	1000 m ² alanda 90 <i>Asparagus lycaonicus</i> öbeği sayıldı, sayılan örneklerin toplam %20'sinde meyve görüldü.
29	19.7.2019	Bolluk Gölü, Alkim Fab. güneybatısı	890	1000 m ² alanda hiç <i>Asparagus lycaonicus</i> örneği görülmedi.
30	19.7.2019	Bolluk Gölü, Alkim Fab. güneybatısı	891	1000 m ² alanda hiç <i>Asparagus lycaonicus</i> örneği görülmedi.
31	19.7.2019	Bolluk Gölü, Alkim Fab. güneybatısı, jipsli toprak	893	1000 m ² alanda hiç <i>Asparagus lycaonicus</i> örneği görülmedi. 8-30 cm boylarında 9 <i>Asparagus persicus</i> öbeği görüldü.

32	19.7.2019	Bolluk Gölü, Alkim Fab. güneybatısı, jipsli toprak	893	1000 m ² alanda hiç <i>Asparagus lycaonicus</i> örneği görülmedi. 10-35 cm boylarında 38 <i>Asparagus persicus</i> öbeği görüldü.
33	19.7.2019	Bolluk Gölü, Alkim Fab. güneybatısı, jipsli toprak	893	1000 m ² alanda hiç <i>Asparagus lycaonicus</i> örneği görülmedi. 10-45 cm boylarında 24 <i>Asparagus persicus</i> öbeği görüldü.
34	20.7.2019	Bolluk Gölü, Alkim Fab. batısı	891	1000 m ² alanda hiç <i>Asparagus lycaonicus</i> örneği görülmedi. 20-30 cm boylarında 2 <i>Asparagus persicus</i> öbeği görüldü.
35	20.7.2019	Bolluk Gölü, Alkim Fab. batısı	894	1000 m ² alanda hiç <i>Asparagus lycaonicus</i> örneği görülmedi.
36	20.7.2019	Bolluk Gölü, Alkim Fab. batısı	895	1000 m ² alanda 10-25 cm boylarında 4 adet <i>Asparagus lycaonicus</i> öbeği sayıldı. 15-35 cm boylarında 3 <i>Asparagus persicus</i> öbeği görüldü.
37	21.7.2019	Bolluk Gölü, Alkim Fab. Kuzeybatısı, köprünün kuzeybatısı mevki	896	1000 m ² alanda hiç <i>Asparagus lycaonicus</i> örneği görülmedi.
38	21.7.2019	Bolluk Gölü, Alkim Fab. kuzeyi, köprünün güneydoğusu	900	1000 m ² alanda 10-28 cm boylarında 5 adet <i>Asparagus lycaonicus</i> öbeği sayıldı. 65-70 cm boylarında 1 <i>Asparagus persicus</i> öbeği görüldü.
39	7.7.2019	Tuz Gölü batı ve güneybatı kıyıları	912	1000 m ² alanda hiç <i>Asparagus lycaonicus</i> örneği görülmedi.
40	7.7.2019	Tuz Gölü batı ve güneybatı kıyıları	909	1000 m ² alanda hiç <i>Asparagus lycaonicus</i> örneği görülmedi.
41	8.7.2019	Samsam Gölü çevresi	970	1000 m ² alanda hiç <i>Asparagus lycaonicus</i> örneği görülmedi.
42	8.7.2019	Samsam Gölü çevresi	968	1000 m ² alanda hiç <i>Asparagus lycaonicus</i> örneği görülmedi.
43	9.7.2019	Düden Gölü çevresi	1027	1000 m ² alanda hiç <i>Asparagus lycaonicus</i> örneği görülmedi.
44	9.7.2019	Düden Gölü çevresi	1027	1000 m ² alanda hiç <i>Asparagus lycaonicus</i> örneği görülmedi.
45	10.7.2019	Gök Gölü çevresi	987	1000 m ² alanda hiç <i>Asparagus lycaonicus</i> örneği görülmedi.
46	10.7.2019	Gök Gölü çevresi	986	1000 m ² alanda hiç <i>Asparagus lycaonicus</i> örneği görülmedi.
47	11.7.2019	Çöl Gölü batı kıyıları	1056	1000 m ² alanda hiç <i>Asparagus lycaonicus</i> örneği görülmedi.
48	11.7.2019	Çöl Gölü doğu kıyıları	1057	1000 m ² alanda hiç <i>Asparagus lycaonicus</i> örneği görülmedi.
49	11.7.2019	Uyuz Gölü çevresi	1193	1000 m ² alanda hiç <i>Asparagus lycaonicus</i> örneği görülmedi.
50	11.7.2019	Uyuz Gölü çevresi	1193	1000 m ² alanda hiç <i>Asparagus lycaonicus</i> örneği görülmedi.
51	2.8.2019	Bolluk Gölü kuzey kıyıları	939	1000 m ² alanda hiç <i>Asparagus lycaonicus</i> örneği görülmedi.
52	25.8.2019	Bolluk Gölü kuzey kıyıları	940	1000 m ² alanda hiç <i>Asparagus lycaonicus</i> örneği görülmedi.
53	31.8.2019	Bolluk Gölü kuzey kıyıları	942	1000 m ² alanda hiç <i>Asparagus lycaonicus</i> örneği görülmedi.
54	1.9.2019	Bolluk Gölü kuzey kıyıları	944	1000 m ² alanda hiç <i>Asparagus lycaonicus</i> örneği görülmedi.

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Floristik bulgular

Yapılan arazi çalışmaları sonucunda eldeki veriler değerlendirildiğinde; tek bir lokalitenin farklı noktalarından farklı alt populasyonlara ait toplamda 858 bireyin sayıldığı, bunların 445'inin erkek, 413'ünün dişi ve dişilerin de yaklaşık %45'inin (182 birey) meyve formunda olduğu da anlaşılmaktadır. Tablo 1'de yer alan veriler değerlendirildiğinde; türe ait önceden bilinen mevcut lokasyonların haricinde türün yaşama ve/veya yayılış gösterme potansiyeli bulunan alternatif habitatlarda kaydedilmediği veya tespit edilemediği ifade edilmelidir. Dolayısıyla Türkiye populasyonları özelinde yorum yapılacaksa türün ilk kaydedildiği andan bugüne geçmişte olduğu gibi günümüzde de Bolluk Gölü kıyılarının türün ana yaşam alanları olduğu ifade edilmelidir.

Bolluk Gölü özelinde de ALKİM Alkali Kimya A.Ş.'ne ait Cihanbeyli-Bolluk Tesisleri'nin hemen arkasında bulunan ve üç tarafı kanallar ile doğu bölümü de Bolluk Gölü kıyıları ile izole olmuş bir nevi adacık şeklindeki parsel türün ana sığınma ve yaşam alanı olarak birinci derecede önem arz etmektedir. İlgili işletmenin giriş bölümünde ve işletme içerisindeki bağlantı yolları üzerinde de daha az yoğunlukta karşılaşılan populasyonlar ise koruma biyolojisi açısından nispeten ikincil önem arz etmektedir (Şekil 8). Bahsi geçen bu bölgenin mülkiyeti tamamen devlete ait olmakla birlikte yapılan protokoller kapsamında üst kullanım haklarının ALKİM Alkali Kimya A.Ş.'ne devredildiği de bilinmektedir. Öte yandan, bu tesisin uzun yıllardır bölgede Tuzkırımı'nın arazi işgalleri, anız, otlatma gibi faaliyetlerden dolayı yok olmasının önüne geçilmesinde büyük bir sorumluluk yüklenmiş olması da türün geleceği açısından fırsat yaratmaktadır. Bu nedenle gerçekleştirilecek uzun vadeli koruma planlarında bu tesisle işbirliği büyük önem taşımaktadır. Dolayısıyla türün yaşam alanı üzerindeki ana paydaş ALKİM Alkali Kimya A.Ş. olup, bu durum koruma biyolojisi açısından birçok avantaj sağlamakla beraber, ilgili işletmenin türün korunmasına yönelik personeline ve taşeronlarına sürdürülebilir bir eğitim ve izleme sunmadığı takdirde büyük bir risk de söz konusudur.



Şekil 8. Tuzkırımı'nın mevcut yayılış alanları

(Kırmızı renk: Mutlak Korunması Gereken Alan. Turuncu Renk: Kritik habitat. Mavi renk: Sekonder habitat)

Türe ait bireylerin tespit edildiği yoğun tuzcul ve sodalı bozkır habitatlarında; *Noaea mucronata* (Forssk.) Asch. & Schweinf., *Chenopodium glaucum* L., *Artemisia austriaca* L., *Jurinea pontica* Hausskn. & Freyn ex Hausskn., *Cousinia halysensis* Hub.-Mor., *Centaurea carduiiformis* DC., *Scorzonera cana* (C.A.Mey.) Griseb., *Nitraria schoberi* L., *Salicornia freitagii* Yaprak & Yurdak., *Salsola kali* L., *Halocnemum strobilaceum* (Pall.) M.Bieb., *Juncus gerardi* Loisel., *Limonium iconicum* (Boiss. & Heldr.) Kuntze, *Plantago maritima* L., *Salvia halophila* Hedge ve *Verbascum pyroliforme* (Boiss. & Heldr.) Kuntze gibi diğer tuzcul bozkır bitkileri ile birlikte yaşadığı gözlenmiştir.

Türün yaşadığı bilinen ve tarafımızca da güncel durumu teyit edilen tek lokalite olan Bolluk Gölü kıyısı boyunca gözlenen halofit (tuzcul) bozkırlar ve bölgede yaygın dağılışı arz eden esas bozkır tipi ise İran-Anadolu Bozkırlarıdır.

Bununla beraber her ne kadar bölge genellikle düz bir topoğrafya arz etse de zaman zaman gözlenen hafif yükselti çıkışlarının gözlemlendiği mıntikalarda ilgili sahanın jeolojik formasyonlarına ve coğrafik oluşumlarına bağlı olarak ortaya çıkan kireçtaşı kayalık bozkır habitatları da bir başka habitat tipini teşkil etmektedir. Bahsi geçen bu habitat tipinin baskın bitki türleri olarak genellikle *Thymus*, *Astragalus*, *Acanthalimon* cinslerine ve Poaceae familyasına ait bazı taksonlar yaygındır. İç Anadolu bozkırlarını domine eden *Festuca valesiaca* Schleich. ex Gaudin, *Acanthus hirsutus* Boiss., *Gundelia tournefortii* L., var. *tournefortii*, *Thymus sipyleus* Boiss., *Globularia trichosantha* Fisch. & C.A.Mey., *Astragalus microcephalus* Willd., *Senecio vernalis* Waldst. & Kit., *Xeranthemum annuum* L., *Echinophora tournefortii* L., *Carthamus lanatus* L., *Eryngium campestre* L., *Onosma briquetii* Czezcott, *Peganum harmala* L., *Achillea aleppica* DC. subsp. *zederbaueri* (Hayek) Hub.-Mor., *Achillea arabica* Kotschy, *Acantholimon acerosum* L. subsp. *acerosum* var. *acerosum* ve *Salvia absconditiflora* (Montbret & Aucher ex Benth.) Greuter & Burdet taksonları türün yayılışı gösterdiği habitatın yakın çevresindeki bozkır alanlarında da belirgin bir şekilde baskındır.

Bozkırlarda seyrek olarak *Rosa canina* L., *Berberis crataegina* DC. ve *Juniperus oxycedrus* L. subsp. *oxycedrus* gibi çalılara da rastlanılmaktadır. Öte yandan Tuzkırgını'nın gözlemlendiği lokalitenin yakın çevresinde yer alan kanallar boyunca da Bolluk Gölü ile etkileşim halinde olan çeşitli sürekli ve mevsimsel dereler ile kanal yapılarına bağlı olarak gelişen riparyan vejetasyon bünyesinde *Tamarix smyrnensis* Bunge, *Elaeagnus angustifolia* L., *Lythrum salicaria* L., *Arundo donax* L., *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud., *Ranunculus repens* L. gibi su seven ağaç, çalı ve otsu türleri barındırmaktadır. Tuzkırgını türünün yayılışı gösterdiği lokalitenin çevresinde gözlenen yol kenarlarında, tarla içlerinde ve tarla kenarlarında en çok rastlanan bitkiler ise *Camelina laxa* C.A.Mey., *Capsella bursa-pastoris* (L.) Medik., *Brassica nigra* (L.) W.D.J.Koch, *Sisymbrium altissimum* L., *Reseda lutea* L. var. *lutea*, *Chenopodium botrys* L., *Centaurea solstitialis* L. subsp. *solstitialis*, *Cichorium intybus* L., *Anchusa azurea* Mill. var. *azurea*, *Anchusa leptophylla* Roem. & Schult. subsp. *leptophylla*, *Heliotropium hirsutissimum* Grauer, *Convolvulus arvensis* L., *Echium italicum* L., *Fumaria asepala* Boiss., *Euphorbia rhabdotosperma* Radcl.-Sm., *Centaurea virgata* Lam., *Microthlaspi perfoliatum* (L.) F.K.Mey., *Vicia cracca* Vel. subsp. *stenophylla*, *Rumex crispus* L., *Alcea biennis* Winterl ve *Erodium cicutarium* (L.) L Hér. subsp. *cutarium*'dur.

3.2. Türün Türkiye'deki ve dünyadaki durumu

Tuzkırgını; Türkiye ve İran'da yayılışı gösteren bir İran-Turan fitocoğrafik bölgesine özgü bir tür ve elementidir. İran'da Ostan-e Markazi (Arak), Kavir-e Meyghan'ın güneydoğusunda yer alan Arak Tuz Gölü'nün yüksek derecede tuzluluk arz eden kıyı bölümlerinden bilinmektedir. Türün İran popülasyonuna ait güncel durum bilgisi bu bölgede türü toplayıp bilim dünyasına sunan Dr. Akhane tarafından aktarılmış olup, ilk topladığı zaman diliminden bu yana geçen zaman diliminde bölgede türe ait bireylere rastlanılmadığı bilgisi verilmiştir. Ancak daha detaylı ve sistematik çalışmalar ışığında bu bölgedeki popülasyon dinamiklerinin daha doğru biçimde ortaya çıkartılabileceği de ifade edilmiştir.

Türkiye'de tespit edildiği 1960'lı yıllardan Türkiye Florası'na kaydedildiği 1980'li yıllara, akabinde 1990'lı ve 2000'li yıllarda çeşitli botanik uzmanları ve farmakoloji uzmanlarının araştırmaları neticesinde de bilinen tek lokalitesi tarafımızca 2019 yılı Haziran-Eylül dönemi arasında gerçekleştirilen arazi çalışmaları sonucunda da değişmemiş olup, dolayısıyla tür Türkiye'den halen tek bir lokaliteden (Konya İli Cihanbeyli İlçesi sınırlarında yer alan Bolluk Gölü'nün yoğun tuzlu ve sodalı kıyıları) bilinmektedir. Güncel arazi çalışmaları sonucunda tamamı ALKİM Alkali Kimya A.Ş.'ne ait fabrika yapılarının etrafında yaşayan yaklaşık 10 farklı popülasyonun sayımı sonucunda 182'si meyve formunda olan 858 birey ile karşılaşılmaktadır. Hali hazırda türün Türkiye popülasyonlarına ait güncel dağılım haritası Şekil 7'de sunulmuştur. Tuzkırgını'nın Türkiye ile İran Popülasyonları arasındaki mesafe ise yaklaşık olarak 1500 km olup, Dünya ölçeğindeki dağılım haritası ise aşağıda sunulmuştur (Şekil 9).



Şekil 9. Tuzkırımı'nın dünyadaki bilinen yayılış noktaları

3.3. Türü tehdit eden ana faktörler

Tuzkırımı bitkisini tehdit eden ve sınırlayıcı faktör olarak ele alınabilecek çeşitli problemler de bu çalışma kapsamında detaylı olarak ele alınmıştır. Tehdit unsurları aşağıdaki gibi 4 farklı öncelik düzeyinde ele alınmış olup, öncelik sırasının belirlenmesinde kullanılan ölçütler aşağıdaki gibidir [4];

- **Kritik:** Türün tamamen yok olmasına sebebiyet verebilecek sorunlar.
- **Yüksek:** 20 yıl veya daha az zamanda popülasyonunun %20'sinden fazlasının yok olmasına sebebiyet verebilecek bir faktör.
- **Orta:** 20 yıl veya daha az zamanda popülasyonunun %20'sinden azının yok olmasına sebebiyet verebilecek bir faktör.
- **Düşük:** Yerel popülasyon düşüşünün veya tüm ülke popülasyonunda küçük etki yapabilecek olan faktörler.

Literatür incelemesi ve arazi çalışmaları sırasında elde edilen bulguların değerlendirmesini takiben, türü tehdit eden altı ana problem tespit edilmiştir. Tehditler ve tehdit düzeyleri aşağıdaki tabloda gösterilmiş olup, tehditlerle ilgili ayrıntılı bilgiler aşağıda verilmiştir (Tablo 2).

Tablo 2. Tuzkırımı bitkisine yönelik tehditler ve tehdit düzeyleri

ALKİM Alkali Kimya A.Ş. (Cihanbeyli-Bolluk Tesisleri)'ne bağlı hafriyat, depolama, trafik ve diğer arazi kullanımları	Türün habitatını bozar, yayılış alanını ortadan kaldırır, popülasyonun genişlemesini engeller	Kritik
Yaşam alanlarının yakın çevresinin tarım arazisine dönüştürülmesi	Popülasyonun genişlemesini engeller	Yüksek
İklim değişimi	Türün habitat özelliklerini değişime uğratar	Yüksek
Otlama baskısı	Popülasyonun genişlemesini engeller	Orta
Anız yakma	Popülasyonun genişlemesini engeller	Orta
Yöre halkı başta olmak üzere paydaşların türün önemi hakkında yeterince bilgi sahibi olmaması	Koruma çalışmalarında paydaşların katkısı olmayışı veya yetersizliği	Düşük

3.4. Türün ulusal ve uluslararası koruma mevzuatı açısından güncel durumu

Tuzkırgını'nın korunmasına yönelik ilgili ulusal mevzuat ve uluslararası sözleşmeler ışığında değerlendirmesi yapıldığında; Bern Sözleşmesi çerçevesinde Tuzkırgını (*Asparagus lycaonicus*) "Ek Liste-I"de, yani "Avrupa Kıtası Ölçeğinde Kesin Olarak Koruma Altına Alınan Flora Türleri" listesinde yer almaktadır [31]. İş bu nedenden dolayı türe ilişkin gerçekleştirilecek eylem planı kapsamında düzenli olarak "Akit Taraflar" ile işbirliği yapılması ve Sözleşmeyi yürüten Sekreteryaya ile iletişim halinde bulunmak yararlı gözükmemektedir. Öte yandan, uluslararası koruma statüsünde olan Tuzkırgını (*Asparagus lycaonicus*) bitkisinin CITES Sözleşmesi kapsamında "Liste dışı" olarak yer aldığı tespit edilmiştir [32]. Tuzkırgını (*Asparagus lycaonicus*) türü Dünya'da ve Türkiye'de 2 lokasyondan bilinmektedir. Türkiye Bitkileri Kırmızı Kitabı'nda ise ulusal Dünya Doğayı Koruma Birliği (IUCN) tehlike kategorisi Endangered (EN) - Tehlikede şeklinde belirlenmiştir [9]. Tuzkırgını'nın tehlike sınıfı mevcut IUCN kriterlerine göre değerlendirildiğinde şöyle belirlenebilir [33]:

Tehlike Altında (EN): Bir taksonun EN kategorisi içerisinde tanımlanmasının yapılabilmesi ve doğada somut anlamda gerçekten ne ölçüde bir tehdit ile karşı karşıya kaldığının sınıflandırılabilmesi için aşağıda A'dan E'ye sıralanmış listeler içerisindeki ilgili maddelerden ve kriterlerden bir veya birkaçının karşılanması gerekmektedir;

A. Aşağıdakilerden herhangi birine dayanarak Popülasyon Büyüklüğü:

1. Son 10 yıl veya üç kuşak boyunca, hangisi daha uzun olursa olsun, azaltma nedenlerinin açıkça geri dönüşümlü olduğu gözlenen, tahmin edilen, çıkarılan veya şüphelenilen %70'in üzerinde bir popülasyon büyüklüğü azalması; aşağıdakilerden herhangi birine dayanarak (ve belirtilerek) anlaşıldı ise:

- a) doğrudan gözlem
- b) taksona uygun bir bolluk endeksi
- c) doluluk alanında, meydana gelme derecesi ve / veya yaşam alanı kalitesinde düşüş
- d) fiili veya potansiyel sömürü seviyeleri
- e) ilgili taksonda gözlenen hibridizasyonun, patojenlerin, kirleticilerin, rakiplerin veya parazitlerin etkileri.

2. A1 uyarınca (a) ile (e)'den herhangi birine dayanarak (ve belirtilerek) son 10 yıl veya üç kuşak boyunca popülasyon büyüklüğünde $\geq 50\%$ gözlenen, tahmin edilen, çıkarım veya şüpheli bir küçülme,

3. A1 altında b'den e'ye herhangi birine dayanarak (ve belirterek), önümüzdeki 10 yıl veya üç kuşak içinde öngörülen veya öngörüldüğünden şüphelenilen nüfusun $\geq 50\%$ 'lik bir popülasyon büyüklüğü azalması durumunda.

4. Gözlemlenen, tahmin edilen, çıkarılan, öngörülen veya kuşkuyla bilinen popülasyonun, herhangi bir 10 yıl veya üç nesil boyunca % 50'den fazla azalması, hangisi daha uzunsa (gelecekte maksimum 100 yıl), burada sürenin her ikisini de içermesi gerekir. Geçmiş ve gelecek ve azaltma veya sebeplerinin sona ermeyeceği veya anlaşılmadığı durumlarda, A1 uyarınca (a) ile (e) 'den herhangi birine dayanarak (ve belirterek) geri dönüşümlü olmadığı durumlarda.

B. Coğrafik Dağılım Alanı B1 (oluşma derecesi) veya B2 (doluluk alanı) veyaher ikisi birlikte:

1. 5000 km²'den az olduğu tahmin edilen dağılım alanı ve a bendinden c'ye en az ikisini gösteren tahminler:

- a) En fazla beş yerde var olduğu ve ciddi şekilde popülasyonlarının parçalandığı bilinmektedir.
- b) Aşağıdakilerin herhangi birinde gözlemlenen, çıkarılan veya öngörülen sürekli düşüş:
 - (i) meydana gelme derecesi
 - (ii) doluluk alanı
 - (iii) alan, kapsam ve / veya habitat kalitesi
 - (iv) yer veya alt popülasyon sayısı
 - (v) yetişkin birey sayısı.
- c) Aşağıdakilerden herhangi birinde aşırı dalgalanmalar:
 - (i) oluşma derecesi
 - (ii) doluluk alanı
 - (iii) yer sayısı veya alt nüfus
 - (iv) yetişkin birey sayısı.

2. Dağılım alanının 500 km²'den az olduğu tahmin edilmektedir ve a bendinden c'ye en az ikisini gösteren tahminler:

- a) En fazla beş yerde var olduğu ve ciddi şekilde popülasyonlarının parçalandığı bilinmektedir.
- b) Aşağıdakilerin herhangi birinde gözlemlenen, çıkarılan veya öngörülen sürekli düşüş:
 - (i) meydana gelme derecesi
 - (ii) doluluk alanı
 - (iii) alan, kapsam ve / veya habitat kalitesi
 - (iv) yer veya alt popülasyon sayısı
 - (v) yetişkin birey sayısı.
- c) Aşağıdakilerden herhangi birinde aşırı dalgalanmalar:
 - (i) oluşma derecesi
 - (ii) doluluk alanı
 - (iii) yer sayısı veya alt nüfus
 - (iv) yetişkin birey sayısı.

C. Nüfus büyüklüğü olarak 2500 bireyden daha az yetişkin bireyin sayıldığı tahmin edilmekle beraber;

1. Beş yıl veya iki kuşak içinde, hangisi daha uzunsa (gelecekte maksimum 100 yıla kadar) en az% 20'lik bir tahmini devam eden düşüş beklenmektedir.

2. Yetişkin bireylerin sayısında gözlenen, öngörülen veya çıkarılan ve devam eden bir düşüş ve aşağıdakilerden en az biri (a-b):

- a) Aşağıdakilerden biri biçimindeki popülasyon yapısı:
 - (i) alt popülasyonda 250'den fazla yetişkin bireyin bulunmadığı tahmin edilmektedir, VEYA
 - (ii) alt popülasyondaki bireylerin en az % 95'i yetişkin bireylerden oluşmaktadır.
- b) Yetişkin birey sayısında aşırı dalgalanmalar tespit edilmektedir.

D. Nüfus büyüklüğünün 250 yetişkin bireyden daha az olduğu tahmin edilmektedir.

E. Yabani tükenme olasılığını gösteren kantitatif analiz, 20 yıl veya beş kuşak içinde, hangisi daha uzunsa (en fazla 100 yıla kadar) en az % 20 olarak tahmin edilmektedir.

4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada Türkiye ve İran'da yayılış gösteren bir İran-Turan endemiği ve elementi olan Tuzkırğını (*Asparagus lycanicus* P.H. Davis) türünün koruma biyolojisi açısından güncel değerlendirmesinin yapılması hedeflenmiştir.

Tuzkırğını türünün her ne kadar İran popülasyonu da tanımlanmış olsa da güncel durum itibarıyla, İran'da tespit edildiği noktadan son 10 yıldır türe ilişkin güncel bir gözlem kaydı olmadığı da göz önünde tutulmalıdır. Bunun yanı sıra bu araştırma kapsamında gerçekleştirilen güncel arazi çalışmaları sonucunda da literatürden verilen yayılış lokalitesi bilgileri değişmemiş olup, dolayısıyla tür Türkiye'den halen daha tek bir lokaliteden (Konya İli Cihanbeyli İlçesi sınırlarında yer alan Bolluk Gölü'nün yoğun tuzlu ve sodalı kıyıları) bilinmektedir. Sonuç olarak tamamı ALKİM Alkali Kimya A.Ş.'ne ait fabrika yapılarının etrafında yaşayan yaklaşık 10 farklı popülasyonun sayımı sonucunda 182'si meyve formunda olan 858 birey ile karşılaşılmıştır. Türün yaşadığı bilinen ve tarafımızca da güncel durumu teyit edilen tek lokalite olan Bolluk Gölü kıyısı boyunca gözlenen halofit (tuzcul ve sodalı) bozkırlar ve bölgede yaygın dağılış arz eden esas bozkır tipi ise İran-Anadolu Bozkırları'dır.

A. *lycaonicus*, Orta ve Kuzeydoğu İran'da birkaç yerden bilinen bir başka halofitik tür olan A. *griffithii* ile uzaktan ilişkili olan izole edilmiş bir tür gibi görünmektedir [8, 34]. Esasen Türkiye ve İran popülasyonları arasındaki yaklaşık 1500 km'lik mesafe göz önüne alındığında; bu türün coğrafik ayrımı fitocoğrafik açıdan büyük ilgi çekmektedir. Buna duruma benzer örnekler sıklıkla farklı türler arasında da rapor edilmiştir [35]. Popülasyonların bu denli uzak coğrafik ayrışmaları ve görece çok uzak dağılımlarını açıklayıcı çeşitli yorumlar bulunmakla beraber bu durumu en iyi açıklayacak olgu son buzul dönemlerinde yaşanan biyocoğrafik dönüşümler olarak göze çarpmaktadır. Öyle ki, baskın bitki örtüsünün *Artemisia* ve *Chenopodiaceae* türlerinden oluştuğu Pleistosen ve erken Holosen sırasındaki daha kuru iklim koşullarına dönme süreci bu ayrışmayı tetiklemiş olabilir [35].

Bununla birlikte türün İran popülasyonunu uzun yıllardır araştıran Dr. Akhani, *A. lycaonicus*'un filogenetik ilişkisini ortaya çıkarmak ve Türk ve İran popülasyonlarını karşılaştırmak için Güneybatı Asya'daki *Asparagus* cinsi üzerine bizim de öngördüğümüz gibi moleküler çalışma yapılmasını önermektedir (Akhani; Kişisel yorum, 2019). Bu bilgiler doğrultusunda bölgedeki *Asparagus* cinsinin moleküler revizyonunun detaylı hesaplanacak uygun bir bütçe, uzman ekip ve yeterli zaman temin edilerek uluslararası bir proje ile yürütülebileceği anlaşılmaktadır. Bu çalışmalar tamamlandığı takdirde hem türün endemizm özellikleri hem de ulusal ve uluslararası koruma statüleri hakkında daha doğru tanımlamalar yapılabilecektir.

Türün İran'daki örneklerinin kendisi tarafından yalnızca bir kez toplandığını ve popülasyonun yaşadığı lokalitelerde son 10 yılda düzenli olarak yaptığı yeniden keşif çabalarının şu ana kadar başarısız olduğunu belirten Akhani, hidrolojik sebepler veya habitat değişimi nedeniyle bu küçük popülasyonun neslinin tükenmiş olabileceğini ifade etmektedir. Bu verileri üst üste eklediğimizde her ne kadar tür mevcut durumu itibarıyla şu an için yalnızca Orta Anadolu'daki popülasyonlarından biliniyor olsa da halen daha İran'da türe ait popülasyonların yaşama potansiyeli nazara dikkate alındığında türe yönelik endemizm tanımından kaçınmak gerektiği bunun yerine İran-Turan Fitocoğrafik Bölgesi'ne özgü bir tür olarak tanımlamanın uygun olacağı tarafımızca önerilmektedir. Yapılacak olan daha ileri düzey botanik araştırmalar neticesinde, türün İran'daki popülasyonlarının artık tamamen ortadan kalktığı anlaşılmaması durumunda Türkiye endemiği statüsünü alabileceği göz önünde tutulmalıdır.

Türe yönelik en kritik tehdidin türün habitatını doğrudan bozma ve yayılış alanını geri dönüşsüz biçimde yok etme, popülasyonun genişlemesini engelleme riskinden dolayı ALKİM Alkali Kimya A.Ş. (Cihanbeyli-Bolluk Tesisleri)'ne bağlı hafriyat, depolama, trafik ve diğer arazi kullanımları ile birlikte yaşam alanlarının yakın çevresinin tarım arazisine dönüştürülmesi olduğu anlaşılmıştır.

Mevcut literatür ve arazi çalışmalarına göre Tuzkırğını türünün biri ülkemizin Orta Anadolu Bölümü'nde yer alan Konya İli Cihanbeyli İlçesi sınırlarındaki Bolluk Gölü'nün yoğun tuzcul kıyı habitatlarından, bir diğeri de 1500 km uzaklıktaki İran'ın orta-kuzeybatı bölümünde yer alan Arak Bölgesi'nde bulunan Meighan-Arak Tuz Gölü'nün yoğun tuzcul kıyı habitatlarından olmak üzere 2 popülasyona sahip olması dolayısıyla B1-a) kriterini, oldukça dar bir yayılış ve yaşam alanına sahip olması, yapılan güncel sayımlarda 2500'ün altında birey sayımı ve bunların 250'den daha azının olgun bireyler olmasından dolayı da C2-a(i) kriterini sağladığı anlaşılmaktadır. Öte yandan, araştırmanın yapıldığı Türkiye popülasyonu özelinde; özel sektöre ait sodyum sülfat üretim faaliyetleri ve otlama faaliyetleri nedeniyle yüksek tehdit altında bulunması da göz önüne alınarak bu türün IUCN tehlike kategorisinin **EN B1-a, C2-a(i)** statüsünde değerlendirilmesi önerilmektedir. Bununla beraber yapılan bu değerlendirme çerçevesinde yalnızca Türkiye popülasyonunun dikkate alındığı, İran popülasyonuna ait güncel verilerin de değerlendirmeye eklenmesine bağlı olarak ilgili kriterlerin ve statünün revize edilmesinin de yüksek olasılık dahilinde bulunduğu ifade edilmelidir. Sonuç olarak, esasen bu taksona ait ulusal koruma statüsü mevcut metotlar ışığında CR (Critically Endangered)/Kritik Düzeyde Tehlike Altında olması gerekirken, İran popülasyonuna ait verilerden dolayı bir alt statü olan EN içerisinde tanımlanmış, ancak bu statü uluslararası ölçekte doğru iken, ulusal ölçekte CR statüsünde tanımlanması gerektiği önerilmektedir.

Türe yönelik farklı ölçeklerdeki tehditleri bertaraf edebilmek ve türün sürdürülebilir biçimde uzun vadede yaşamını sağlıklı popülasyonlarla devam ettirebilmek amacıyla bilinen yaşam alanlarının mevcut haliyle korunmasını sağlayabilmek ve bu alanları belirli periyotlarda izleyebilmek, paydaşlar ve farklı yaş grupları arasında koruma motivasyonunu arttırabilmek amacıyla yerel ve ulusal düzeyde türün bilinirliğini arttırabilmek ve bilgi boşluklarını doldurabilmek temel koruma hedefleri olarak değerlendirilmelidir. Bu hedeflere ulaşabilmek içinse;

- Türün yayılım alanlarında izleme parselleri oluşturularak türü izlemek,
- Kolluk kuvvetlerini ve türün yayılış gösterdiği alanın kullanımından sorumlu ALKİM Alkali Kimya A.Ş. (Cihanbeyli-Bolluk Tesisleri) personelini tarafından arazi kullanımına yönelik düzenli denetimlere teşvik etmek ve bu gruba tür ve habitatı hakkında düzenli eğitimler vermek,
- Türün yayılış alanının iklim, hidroloji ve toprak özelliklerinin Tuzkırğını bitkisinin yayılışına olan etkilerini araştırmak,
- Türün yaşam alanlarının yakın çevresinin tarım arazisine dönüştürülmesinin önlenmesine yönelik önlemler almak,

- Türün üreme başarısını ve diğer canlı türleri ile olan etkileşimini araştırmak,
- İran populasyonu ile karşılaştırmalı moleküler biyoloji çalışmalarını gerçekleştirmek,
- Tuzkırğını'nın doğal alanı dışında (ex-situ) korunması olanaklarını araştırmak gibi alt hedeflere yönelik kısa, orta ve uzun vadeli olarak belirlenen faaliyetler kapsamında bir eylem planı çerçevesinde uygulamaya geçirilmesi gerekmektedir.

Teşekkür

Bu araştırma, Doğa Koruma ve Milli Parklar Genel Müdürlüğü, VIII. Bölge Müdürlüğü, Konya İl Şube Müdürlüğü uhdesinde, 2019 yılı içerisinde "NARTUS Enerji ve Çevre Yat. Müş. Mad. San. ve Dış Tic. Ltd. Şti." tarafından yürütülen "TUZKIRGINI (*Asparagus lycaonicus* P.H. Davis) TÜR KORUMA EYLEM PLANI" işi kapsamında tamamlanmıştır. Araştırmanın arazi çalışmaları sırasındaki desteklerinden ve haritalama çalışmalarındaki katkılarından dolayı "NARTUS Enerji ve Çevre Yat. Müş. Mad. San. ve Dış Tic. Ltd. Şti." çalışanlarına, araştırmanın her aşamasındaki gerekli izinlerin ve bilgilerin sağlanması, lojistik desteklerin sunulması ve diğer katkılarından dolayı Doğa Koruma ve Milli Parklar Genel Müdürlüğü özelinde tüm T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, VIII. Bölge Müdürlüğü, Konya İl Şube Müdürlüğü yetkililerine ve çalışmaya gösterdikleri özel ilgi ve desteklerinden dolayı Cihanbeyli Kaymakamı Sn. Mustafa KUTLU'ya teşekkürlerimizi sunarız.

Yazarların Katkısı

Çalışmaya yazarlar eşit oranda katkı sunmuşlardır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada, araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur. Araştırma etik kurul izni gerektirmemektedir.

Kaynaklar

- [1] Demirayak F. 2002. Biyolojik Çeşitlilik-Doğa Koruma Ve Sürdürülebilir Kalkınma. TÜBİTAK VIZYON 2023 Projesi Çevre ve Sürdürülebilir Kalkınma Paneli.
- [2] Özhatay N., Byfield A., Atay S., 2005. Türkiye'nin 122 Önemli Bitki Alanı. Doğal Hayatı Koruma Vakfı (WWF Türkiye) yayını, İstanbul.
- [3] Eken G., Bozdoğan M., İsfendiyaroğlu S., Kılıç D.T., Lise Y. (eds.). 2006. Türkiye'nin Önemli Doğa Alanları. 2 Cilt. Doğa Derneği, Ankara.
- [4] Doğa Araştırmaları Derneği, 2014. Tür Eylem Planı Hazırlama Rehberi. 31 Syf., Ankara. http://www.turkiyeninturnalari.org/tr/wp-content/uploads/2016/05/eylem_plani_rehber.pdf (Erişim tarihi: 20.04.2020).
- [5] Davis P.H. 1983. Notes R.B.G. Edinb. University Press, Edinburgh, 41: 48.
- [6] Davis P.H., 1984. *Asparagus* L. In: Davis P.H. (ed.), Flora of Turkey and the East Aegean Islands, Vol. 8, University Press, Edinburgh, pp. 75-81.
- [7] Akhane H. 2002. Notes On The Flora Of Iran: 1. *Asparagus* (Asparagaceae) and Nitraria (Zygophyllaceae). Edinburgh Journal Of Botany, 59 (2): 295-302.
- [8] Browicz K. 1990. *Asparagus*. In: Rechinger K.H. (ed.) Flora Iranica. Graz, Akademische Druck-u.-Verlagsanstalt, 165:167-176.
- [9] Ekim T., Koyuncu M., Vural M., Duman H., Ayaç Z., Adıgüzel N. 2000. Türkiye Bitkileri Kırmızı Listesi, (Red Data Book of Turkish Plants (Pteridophyta and Angiospermae)). Türkiye Tabiatını Koruma Derneği ve Van 100. Yıl Üniversitesi Yayını, Ankara, 1-246.
- [10] Güner A., Aslan S., Ekim T., Vural M., Babaç M.T. 2012. Türkiye Bitkileri Listesi (Damarlı Bitkiler). Nezahat Gökyiğit Botanik Bahçesi ve Flora Araştırmaları Derneği Yayını, İstanbul, 1-1290.

- [11] Güvenç A. 1996. Türkiye'de yetişen *Asparagus* (Kuşkonmaz) türleri üzerinde farmasötik botanik yönünden araştırmalar. Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [12] Özler H. 2001. *Asparagus* L., *Allium* L., *Muscari* Miller ve *Fritillaria* L. (Liliaceae) cinslerine ait bazı türlerin polenlerinin morfolojik yapılarının incelenmesi. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [13] Plant Dergisi, 2017. NGBB'de Kurak ve Çorak Bahçe. <https://www.plantdergisi.com/ngbb-de-kurak-ve-corak-bahce.html> (Erişim tarihi: 15.04.2020).
- [14] Atlas Dergisi, 2010. Yok Olmadan Önce Görülmesi Gereken - Son Cennetler Atlası. Atlas Özel Koleksiyon, İstanbul, 96.
- [15] Angiosperm Phylogeny Group, 2016. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG IV. Botanical Journal of the Linnean Society, 181 (1): 1-20.
- [16] Dahlgren R.M.T., Clifford H.T., Yeo P.F. 1985. The families of monocotyledons: structure, evolution, and taxonomy. Springer, Berlin.
- [17] Clifford H.T., Conran J.G. 1987. Asparagaceae. In: George AS (ed) Flora of Australia. Australian Government Publishing Service, Canberra, 159-164.
- [18] Güvenç A. 1997. *Asparagus* Türlerinin taşıdığı etken bileşikler ve kullanılışları. A.Ü. Ecz. Fak. Der., 26 (1): 52-75.
- [19] Bailey L.H. 1950. The Standart Cyclopedia of Horticulture. In Three Vol, 1A-E, The Mcmillan Company, 406-411.
- [20] Tutin T.G., Heywood V.H., Burges N.A., Moore D.M., Valentine D.H., Walters S.M., Webb D.A. 1980. Flora Europaea. Vol.5, Cambridge University Press, Cambridge, 71-73.
- [21] Güvenç A. 1998. Türkiye'de yetişen *Asparagus* türlerinin gövde anatomisi. Ankara Ecz. Fak. Derg., 27 (1): 73-91.
- [22] Güvenç A., Koyuncu M. 1999. Türkiye'de Yetişen *Asparagus* L. (Kuşkonmaz) Türlerinin Kök Anatomisi. Ankara Ecz. Fak. Derg., 28 (1):15-36.
- [23] Braun-Blanquet J. 1932. Plant Sociology: the Study of Plant Communities. English translation of Pflanzensoziologie (Translated by Fuller, G.D. and H.S. Conard), McGraw-Hill. New York.
- [24] Canfield R.H. 1941. Application of the Line Interception Method in Sampling Range Vegetation. Journal of Forestry, 39: 388-394.
- [25] Thanos C.A., Marcou S. 1991. Post-fire regeneration in *Pinus brutia* ecosystems of Samos Island (Greece): 6 years after. Acta Oecologica, 12 (5): 633-642.
- [26] Diersing V.E., Shaw R.B., Tazik D.J. 1992. US Army Land Condition-Trend Analysis (LCTA) Programme. Environmental Management, 16: 405-414.
- [27] Tazik D.J., Warren S.D., Diersing V.E., Shaw R.B., Brozka R.J., Bagley C.F., Whitworth W.R. 1992. U.S. Army Land Condition-Trend Analysis (LCTA) Plot Inventory Field Methods. USACERL Technical Report N-92/03. Champaign, IL.
- [28] Carrington M.E., Keeley J.E. 1999. Comparison of post-fire seedling establishment between scrub communities in Mediterranean and non-Mediterranean climate ecosystems. Journal of Ecology, 87: 1025-1036. [29]
- [29] Stylinski C.D., Allen E.B. 1999. Lack of native species recovery following severe exotic disturbance in southern Californian shrublands. Journals of Applied Ecology, 36: 544-554.
- [30] Bonham C.D. 1989. Measurements for terrestrial vegetation. Wiley Intersciences Series, N.Y., 1-346.
- [31] Avrupa Çevre Ajansı, 2020. Bern Sözleşmesi Ekleri. <https://www.coe.int/en/web/bern-convention/appendices> (Erişim tarihi: 07.07.2020).
- [32] CITES, 1983. Nesli Tehlike Altında Olan Yabani Hayvan ve Bitki Türlerinin Uluslararası Ticaretine İlişkin Sözleşme Sözleşmesi (CITES SÖZLEŞMESİ), Ek Liste-II.
- [33] International Union for Conservation of Nature-IUCN, 2020. Red List Categories and Criterias, Gland-Switzerland. www.iucnredlist.org, IUCN Red List 2020.1, Gland-Switzerland (Erişim tarihi: 10.04.2020).
- [34] Akhane H. 1998. Plant biodiversity of Golestan National Park, Iran. Stapfia, 53: 1-411.
- [35] Hedge I.C. 1997. *Microcnemum* Ungern-Sternb. (Chenopodiaceae). In: Rechinger, K. H. (ed.) Flora Iranica, Graz: Akademische Druck-u.-Verlagsanstalt, 172: 132-133.

Araştırma Makalesi / Research Article

Tatvan'da Tüketime Sunulan Tavuk Dönerlerin Mikrobiyolojik Kalitesi

Hakan SANCAK^{1*}, Özgür İŞLEYİCİ², Emrullah SAĞUN², Kamil EKİCİ²,
Dilara BAŞAT DERELİ³, Yakup Can SANCAK²

¹Bitlis Eren Üniversitesi, Tatvan Meslek Yüksekokulu, Gıda İşleme Bölümü, Bitlis

²Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Besin Hijyeni ve Teknolojisi Bölümü, Zeve Kampüsü, Van

³Bitlis Eren Üniversitesi, Tatvan Meslek Yüksekokulu, Kimya ve Kimyasal İşleme Teknolojileri Bölümü, Bitlis
(ORCID: 0000-0002-2769-1855) (ORCID: 0000-0001-6319-3880) (ORCID: 0000-0003-4555-9193)
(ORCID: 0000-0002-6413-4361) (ORCID: 0000-0003-1328-077X) (ORCID: 0000-0003-4490-9606)

Öz

Bu araştırma, Bitlis'in Tatvan ilçesinde farklı lokanta ve işletmelerde pişirilmiş olarak tüketime sunulan tavuk dönerlerin mikrobiyolojik ve fiziko-kimyasal kalitesini tespit etmek amacıyla yapılmıştır. Bu amaçla 50 adet tavuk döner numunesi incelenmiştir. Numunelerin mikrobiyolojik analizleri sonucunda ortalama toplam aerob mezofilik mikroorganizma (TAMM), koliform grubu mikroorganizma, *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, koagulaz (+) *S. aureus*, laktobasiller, *Enterobacteriaceae* grubu mikroorganizma, *Pseudomonas* spp. ile maya-küf sayıları sırasıyla $4.86 \pm 0.94 \log_{10}$ kob/g, $2.34 \pm 1.17 \log_{10}$ kob/g, $2.84 \pm 0.85 \log_{10}$ kob/g, $4.00 \pm 1.04 \log_{10}$ kob/g, $3.79 \pm 1.23 \log_{10}$ kob/g, $3.70 \pm 1.41 \log_{10}$ kob/g, $2.64 \pm 1.04 \log_{10}$ kob/g, $3.19 \pm 0.63 \log_{10}$ kob/g ve $2.39 \pm 1.02 \log_{10}$ kob/g olarak belirlenmiştir. İncelenen numunelerde *Salmonella* spp. ve sülfid indirgeyen anaerob mikroorganizmalara rastlanmamıştır. Fiziko-kimyasal analizler sonucunda da numunelerdeki ortalama pH ve su aktivitesi (a_w) değerleri sırasıyla 6.12 ± 0.20 ve 0.985 ± 0.01 olarak tespit edilmiştir. İncelenen numunelerin sadece *Salmonella* spp. yönünden standartlarda belirtilen kriterlere uygun olduğu görülmüştür. Bununla birlikte, mikrobiyolojik özellikler yönünden pişirilmiş haldeki tavuk dönerlerin bazı mikroorganizmalar yönünden hijyenik kalitesinin iyi olmadığı, ayrıca incelenen numunelerin %8'inin *E. coli* ve %22'sinin de *S. aureus* yönünden standartlara uygun olmadığı tespit edilmiştir. Sonuç olarak; üretimde kaliteli hammadde kullanıldığında, etkin ve yeterli pişirme işlemleri uygulandığında, üretim/servis sırasında hijyenik kurallara gerekli özen gösterildiğinde ve personeller hijyen konusunda yeterli bilgiye sahip olduklarında halk sağlığı açısından risk oluşturmayacak daha kaliteli ürünlerin elde edilmesi mümkün olacaktır.

Anahtar kelimeler: Tavuk döner, Isıl işlem, Mikrobiyolojik kalite, Hijyen, Tatvan

Microbiological Quality of Chicken Doners Presented for Consumed in Tatvan

Abstract

This study was carried out in order to determine the microbiological and physicochemical quality of cooked chicken doners in different restaurant and food businesses in the Tatvan district of Bitlis province in Turkey. For this purpose, 50 chicken doner samples were examined. As a result of microbiological analysis of samples, the average total aerobic mesophilic microorganism (TAMM), coliform group microorganism, *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, coagulase-positive *S. aureus*, lactobacilli, *Enterobacteriaceae*, *Pseudomonas* spp. and the yeast-mold numbers were detected as $4.86 \pm 0.94 \log_{10}$ kob/g, $2.34 \pm 1.17 \log_{10}$ kob/g, $2.84 \pm 0.85 \log_{10}$ kob/g, $4.00 \pm 1.04 \log_{10}$ kob/g, $3.79 \pm 1.23 \log_{10}$ kob/g, $3.70 \pm 1.41 \log_{10}$ kob/g, $2.64 \pm 1.04 \log_{10}$ kob/g, $3.19 \pm 0.63 \log_{10}$ kob/g and $2.39 \pm 1.02 \log_{10}$ kob/g, respectively. No *Salmonella* spp. and sulfide-reducing anaerobic microorganisms were found in the analyzed samples. As a result of physicochemical analysis, the average pH and water activity (a_w) values in the samples were determined as 6.12 ± 0.20 and 0.985 ± 0.01 , respectively. It was observed that the samples met the criteria specified in the standards only in terms of *Salmonella* spp. However, it was noted that cooked chicken doners are not hygienic in terms of some microorganisms, and 8% of the samples examined were not in compliance with the standards in terms of *E. coli* and 22% were not suitable in terms of *S. aureus*. In conclusion, if the quality raw material is used during production, effective and sufficient cooking processes are used, attention

*Sorumlu yazar: hsancak@beu.edu.tr

Geliş Tarihi: 26.06.2020, Kabul Tarihi: 13.07.2020

is paid to hygienic rules during production/service, and personnel have sufficient knowledge about hygiene, it will be possible to obtain higher quality products that will not pose a risk for public health.

Keywords: Chicken doner, Heat treatment, Microbiological quality, Hygiene, Tatvan

1. Giriş

Yeterli ve dengeli beslenmede hayvansal kökenli besinlerin önemi büyük olup, bunların bir kısmını et ve et ürünleri oluşturmaktadır. Biyolojik değeri yüksek proteinler, özellikle B grubu vitaminler ve mineral maddeler bakımından zengin olan kırmızı et ve kanatlı etlerinin beslenmede önemli fonksiyonları bulunmaktadır [1-3]. İnsanların yaşam tarzları ve çalışma şartlarındaki değişimlere bağlı olarak hazır gıdalara olan talebin artmasıyla birlikte, standartlara uygun olmayan ve hijyenik şartlarda üretilmeyen gıdaların tüketilmesi sonucunda da sağlık problemleri yaşanabilmektedir. Kırmızı etten ve kanatlı etlerinden üretilen dönerlerin hazır yiyecekler açısından piyasada oldukça rağbet gördüğü, özellikle tavuk dönerlerin de ekonomik açıdan dar gelirli tüketiciler tarafından tercih edildiği gözlenmektedir.

Döner, Türk Gıda Kodeksi Et, Hazırlanmış Et Karışımları ve Et Ürünleri Tebliği [4]'nde "Büyükbaş ve küçükbaş hayvan karkas etlerinin ve/veya kıymalarının ya da kanatlı hayvan karkas etlerinin ve/veya kıymalarının bu Tebliğ'e uygun olacak şekilde biri veya birkaçının karışımına, aynı ve/veya farklı tür hayvanların yağları, lezzet vericiler ile diğer gıda bileşenlerinden biri veya birkaçı ilave edilerek hazırlanan ve döner şişine dizilerek silindir formu verilmiş pişirilmeye hazır kırmızı veya kanatlı et karışımının yatay veya dikey olarak döndürülerek pişirilmesiyle elde edilen et ürününü ifade eder" şeklinde tanımlanmıştır. Aynı tebliğde dönerlerin piyasaya sunuş şekillerinin çiğ kırmızı etten üretilenler için 'yaprak döner', 'kıyma döner' ve 'karışık döner' olmak üzere üç çeşide ayrıldığı, çiğ kanatlı etinden üretilenler için ise 'yaprak kanatlı eti döneri' ve 'karışık kanatlı eti döneri' olmak üzere ikiye ayrıldığı belirtilmiştir.

Türkiye'de yaygın olarak tüketilen ve fast-food kültürünün önemli yiyecekleri arasında yer alan döner, bazı ülkelerde doner kebab, gyro, gyros, yeeros, souvlaki, chawarma ve shawarma gibi farklı isimlerle bilinmektedir. TS 11658 Döner Yapım Kurallarına göre [5] döner yapılacak tavuk ve hindi gövde etleri, ekstra birinci ve ikinci sınıf olacak şekilde iri gövde etlerinden seçilmelidir. Kanatlı eti dönerinin üretiminde kemik, tüy, dipcik, damar, yemek borusu, nefes borusu ve barsak parçalarından arındırılan iri gövdeli tavuk ve hindi etleri derileriyle beraber parçalanır ve etler yaprak veya kıyma haline getirilerek kullanılır [5, 6]. Genellikle yaprak şeklinde kesilen veya kıyma haline getirilen döner yapılacak ete tuz-baharat karışımı serpilir ve iki saat bekletilen yapraklar marinasyon harcı ile iyice karıştırılır [3]. Standart döner yapımına [5] göre de parçalanan etlere tuz ve baharat karışımları eklendikten sonra yemeklik zeytinyağı, süt, yoğurt, yumurta, soğan, domates veya salça, limon suyu, sirke, üzüm şırası ve beyaz şeker gibi lezzet verici maddeler katılarak terbiye edilir. Dinlendirilmiş bu karışım temel oluşturulması amacıyla dik şeklindeki döner hazırlama aparatının en altına sağlam yapraklar yerleştirilecek şekilde üst üste dizilir ve bastırarak sıkıştırılır. Sarkan fazlalıklar tıraşlanarak alınıp ters yumurta şekli verilir ve pişirilmeye hazır hale getirilir. İsteğe bağlı olarak döner katları arasına yeşilbiber ve dilimlenmiş domates bırakılabilir. Döner genellikle gazla ve elektrikle çalışan ocaklarda, odun ateşi veya robax camlı ısıtıcı önünde yavaşça çevrilerek pişirilir ve sonrasında ince/küçük parçalı dilimler halinde kesilerek servis edilir. Dönerin kömür veya zehirli gazlarla temasını önleyen robax camlı ocakların kullanılması en sağlıklı yöntemdir [3].

Uygun ısı derecelerinde ve yeterli sürelerde pişirilen dönerlerin yüzey kısımları mikrobiyolojik açıdan güvenilir olarak değerlendirilebilir [7]. Ancak yoğunluğa bağlı olarak genellikle öğlen saatlerinde dönerlerin yeterli pişirme süresine riayet edilmeden servis edilmesi ve talebi hızlı bir şekilde karşılayabilmek için dönerin kalınca kesilerek ısının temas etmediği iç kısımlarının da alınması mikrobiyolojik riskleri arttırmaktadır. Nitekim Todd ve ark. [8], dönerin iç kısımlarına kadar yeterli sıcaklık ulaşmadan kesilen ve hızlı servisten dolayı yetersiz pişirilen dönerlerdeki patojen mikroorganizmaların inaktivasyonunda başarıya ulaşmanın mümkün olmayacağını bildirmişlerdir.

Isıl işlem görmüş ürünlerin uygun olmayan sağlıklı şartlarda uzun süre bekletilmesi, canlılığını kaybetmemiş veya çeşitli kontaminasyonlara bağlı olarak gelişen mikroorganizmaların üründe hızla çoğalması açısından tehlikelidir [9]. Dönerlerin bazen kesilmiş halde bekletilmesi veya müşterilere paket servis yapılması sırasında belirli bir zamanın geçmesi de, tüketicilerin sağlığı açısından potansiyel

riskler oluşturabilmektedir. Küpeli Gençer ve Kaya [10] ile Cebirbay [11], gün içinde tüketilmeyen dönerlerin ertesi gün tekrar müşteriye sunulma çabalarının ilgili ürünlerin mikrobiyolojik kalitesini sakıncalı hale getirdiğini bildirmişlerdir. Kırmızı et ve kanatlı etinden üretilen dönerlerin satış noktalarındaki raf ömrünün, pişirme işleminin başlamasından itibaren en fazla 12 saat olması gerektiği ifade edilmektedir [4].

Et ve et ürünlerinin patojen mikroorganizmalarla kontamine olma riski diğer gıdalara göre daha fazladır. Bunun en büyük nedenleri üretimde kullanılan hammaddelerin kalitesinin düşük olması veya hijyenik olmaması, üretimin yapıldığı gıda işletmelerindeki olumsuz sanitasyon koşulları, çapraz kontaminasyonların oluşması ve ürünlerin satış için çoğu zaman uzun süre bekletilmeleridir. Bunların yanında gıda üretiminde çalışan personel ile işletmede kullanılan sulardan ve çevreden de bulaşma olabilmektedir [12]. Nitekim Tatvan ilçesine yakın olan yerlerde daha önce yapılan araştırmalarda [13-18] birçok kırmızı et ve kanatlı ürünlerinin mikrobiyolojik kalitesinin çok iyi olmadığı, bunun da bölgedeki gıda işletmelerinde hijyen ve sanitasyon kurallarına hassasiyet gösterilmemesi ve çalışanların hijyen bilincinden yoksun olmaları gibi sebeplere bağlı olabileceği ifade edilmiştir. Bazı bölgelerde yapılan çalışmalarda da [10, 19-26] çeşitli dönerlerin mikrobiyolojik kalitelerinin çok iyi olmadığı bildirilmiştir.

Patojenlerle kontaminasyon riski oldukça fazla olan et ve et ürünlerinin hijyenik şartlarda üretimleri sağlanmazsa, bu ürünlerin tüketilmesi sonucunda önemli sağlık problemleri hatta ölümler meydana gelebilir. Bu nedenle günümüzde gıda üretimi yapan işletmelerde Tehlike Analizi ve Kritik Kontrol Noktaları (Hazard Analysis and Critical Control Points, HACCP)'nin belirlenmesi ve İyi Üretim Uygulamaları (Good Manufacturing Practices, GMP) sayesinde sağlık açısından risk oluşturmayacak ürünlerin elde edilmesinin yolları aranmaktadır. Uygulanan farklı işlemler sonucunda mikroorganizmaların üremesine müsait gıdalardan olan tavuk etinden yapılan dönerlerin, tüketicilere ulaşıncaya kadar geçen sürelerde kontaminasyon kaynaklarından etkilenip etkilenmedikleri ile ilgili araştırmaların yapılması halk sağlığı ve alınabilecek tedbirlerin belirlenmesi açısından önemlidir. Bu çalışma Bitlis'in Tatvan ilçesindeki lokanta ve işletmelerden müşteri yoğunluğunun fazla olduğu öğlen saatlerinde pişirilmiş olarak alınan tavuk dönerlerin mikrobiyolojik ve fiziko-kimyasal özelliklerinin belirlenmesi amacıyla yapılmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Numunelerin alınması

Bu araştırmada, Bitlis'in Tatvan ilçesindeki farklı lokanta ve işletmelerde pişirilmiş olarak tüketime sunulan toplam 50 adet tavuk döner numunesi materyal olarak kullanılmıştır. Tüketimin en yoğun olduğu öğlen saatlerinde aseptik şartlarda steril kaplara alınan yaklaşık 200 g civarındaki numuneler soğutucu kaplarda (+4°C) laboratuvara getirilmiş ve en kısa sürede analizler yapılmıştır [27].

2.2. Numunelerin mikrobiyolojik ve fiziko-kimyasal analizlere hazırlanması

Mikrobiyolojik analizler için; laboratuvara getirilen numuneler aseptik şartlarda steril bistüri ve bıçaklarla çok küçük parçalara ayrılmış, steril stomacher torbalarında 10 g numune ve 90 ml steril peptonlu su olacak şekilde homojenize edilmiştir. Daha sonra, 9'ar ml steril peptonlu su bulunan tüplerde 10^{-8} 'e kadar hazırlanan dilüsyonlardan ekimler yapılmıştır. Homojen hale getirilen numunelerden 25'er g daha alınarak *Salmonella* spp. analizleri için ön zenginleştirme işlemleri gerçekleştirilmiş ve ekimler yapılmıştır [27]. Parçalanmış numunelerden kalan kısımlar da fiziko-kimyasal analizler için kullanılmıştır.

2.3. Toplam aerob mezofilik mikroorganizmaların belirlenmesi

Plate Count Agar (Oxoid, CM0463)'a dökme plak yöntemiyle ekim yapılmış ve petriler $32\pm 1^\circ\text{C}$ 'de 48 saat aerob olarak inkube edildikten sonra üreyen koloniler sayılmıştır [28].

2.4. Koliform grubu mikroorganizmaların belirlenmesi

Violet Red Bile Agar (Oxoid, CM0107)'a dökme plak yöntemi ile ekim yapılmış ve petriler 37°C'de 24 saat aerob olarak inkube edildikten sonra üreyen 1-2 mm çapındaki koyu kırmızı renkte ve presipitasyon oluşturan koloniler sayılmıştır [29].

2.5. *Escherichia coli*'nin belirlenmesi

Tryptone Bile X-Glucuronide Medium (TBX) (Oxoid, CM0945)'a yayma plak yöntemi ile ekim yapılmış ve petriler 44°C'de 18-24 saat aerob olarak inkube edildikten sonra üreyen mavi-yeşil renkli koloniler sayılmıştır [29, 30].

2.6. *Staphylococcus aureus* ve koagulaz (+) *S. aureus*'un belirlenmesi

Egg Yolk Tellurit Emulsion (Oxoid SR0054) ilave edilerek hazırlanan Baird-Parker Agar (Oxoid CM0275)'a yayma plak yöntemiyle ekim yapılmış ve petriler 37°C'de 24-48 saat aerob olarak inkube edilmiştir. İnkubasyondan sonra 1-2.5 mm çapında parlak, siyah renkli (tellürit reaksiyonu pozitif) ve etrafı halesiz koloniler (atipik) ile etrafında bir hale oluşan (yumurta sarısı veya lesitinaz reaksiyonu pozitif) koloniler (tipik) *S. aureus* olarak değerlendirilmiştir. Ayrıca, seçilen tipik beş koloniye koagulaz ve Staphylect Plus (Oxoid DR0850) testleri uygulanmış, bu testlerde pozitif sonuç veren koloni sayısı *S. aureus* sayısı ile oranlanarak koagulaz (+) *S. aureus* sayısı belirlenmiştir [31, 32].

2.7. *Salmonella* spp.'nin belirlenmesi

Numunelerden steril cam şişelere 25'er g tartılarak üzerine 225'er ml tamponlanmış peptonlu su (Merck 1.07228) ilave edilmiş ve karışım homojenize edilmiştir. Homojenizatlar ön zenginleştirme için 37°C'de 24 saat inkube edilmiş, daha sonra numunelerden 0.1'er ml alınarak içlerinde 10'ar ml Rappaport-Vassiliadis Broth (Oxoid CM0866) bulunan tüplere ekim yapılmış ve tüpler 43°C'de 18-24 saat inkube edilerek selektif zenginleştirme işlemi gerçekleştirilmiştir. İnkubasyon sonrası bu besiyerlerinden öze ile Brilliant-green Phenol-red Lactose Sucrose (BPLS) Agar (Merck 107237)'a ekim yapılmış, petriler 37°C'de 24-48 saat inkube edilmiş ve üreyen tipik kolonilere Gram boyama ile biyokimyasal testler (indol, motilite, oksidaz, üreaz, sülfür, laktoz, glukoz, sukroz, lizin dekarboksilaz, D-mannitol fermantasyon) uygulanmıştır. Alınan sonuçlar ve Lateks aglutinasyon testine (Microgen, *Salmonella* M42) verilen reaksiyonlara göre de değerlendirme yapılmıştır [33].

2.8. Laktobasil'lerin belirlenmesi

Bu amaçla de Man, Rogosa and Sharpe (MRS) Agar (Merck, 110660) kullanılmış ve dökme plak yöntemiyle ekim yapılmıştır. Eritilen MRS Agar 50°C'ye soğutulmuş ve glasiyel asetik asit ile pH'sı 5.4'e ayarlanarak petrilere aktarılmıştır. Katılaştıran besiyerinin üzeri ikinci bir kat MRS Agar dökülerek örtülmüş ve böylece oksijenle besiyerinin irtibatı kesilmiştir. Petriler 37±1°C'de 72-96 saat inkube edildikten sonra üreyen en az 1 mm büyüklüğünde ve katalaz negatif olan koloniler sayılmıştır [34].

2.9. *Enterobacteriaceae* grubu mikroorganizmaların belirlenmesi

Violet Red Bile Glucose Agar (Oxoid CM0485)'a dökme plak yöntemiyle ekim yapılmış ve petrilereki besiyeri katılaştıktan sonra tekrar üzerlerine aynı besiyerinden 5 ml kadar daha dökülerek petriler 30°C'de 24 saat inkube edilmiştir. İnkubasyon sonrası yuvarlak ve mor renkli 1-2 mm çapındaki presipitasyon oluşturan tipik koloniler sayılmıştır [35].

2.10. *Pseudomonas* spp.'nin belirlenmesi

Pseudomonas CFC Selective Agar Supplement (Oxoid SR0103) ilave edilen *Pseudomonas* Agar Base (Oxoid CM0559)'e yayma plak yöntemiyle ekim yapılan petriler 25°C'de 72 saat inkube edildikten sonra üreyen 1 mm çapından büyük ve oksidaz pozitif olan koloniler sayılmıştır [36].

2.11. Sülfite indirgeyen anaerob mikroorganizmaların belirlenmesi

Sulphite Polymyxine Sulphadiazine Agar (Merck 110235)'a "roll tüp" tekniği ile ekim yapılmış, katılaştıran besiyeri üzerine aynı besiyerinden yaklaşık 1 ml daha ilave edilerek anaerob ortam sağlanmış ve 37°C'de 24 saat inkubasyondan sonra siyah renkli kolonilerin oluşup oluşmadığına göre değerlendirme yapılmıştır [27].

2.12. Maya-küf'lerin belirlenmesi

Potato Dextrose Agar (Oxoid CM0139) eritilerek 121°C'de 15 dk sterilize edilmiş ve 50°C'de steril %10'luk tartarik asitle pH'sı 3.5±0.1'e ayarlanmıştır. Dökme plak yöntemiyle ekim yapılan petripler 20-25°C'de 5-7 gün inkube edilmiş ve üreyen koloniler sayılmıştır [37].

2.13. pH ve su aktivitesi (a_w) değerlerinin belirlenmesi

Numunelerde pH değeri [38] pH-metrede (Hanna® HI 221, Romanya) ve a_w değeri [39] a_w-metrede (Novasina® MS 1 Set, İsviçre) belirlenmiştir.

2.14. İstatistiksel analizler

Analizler sonucunda elde edilen bulguların istatistiksel analizleri SPSS 22.0 programı kullanılarak yapılmıştır [40].

3. Bulgular ve Tartışma

İncelenen numunelerde tespit edilen toplam aerob mezofilik mikroorganizmalar (TAMM), koliform grubu mikroorganizmalar, *E. coli*, *S. aureus*, koagülaz (+) *S. aureus*, *Salmonella* spp., laktobasiller, *Enterobacteriaceae* grubu mikroorganizmalar, *Pseudomonas* spp., sülfite indirgeyen anaerob mikroorganizmalar ile maya-küflere ait mikrobiyolojik analiz bulguları (log₁₀ kob/g) Tablo 1'de, tespit edilen mikroorganizma gruplarının sıklık dağılımları (log₁₀ kob/g) Tablo 2'de ve fiziko-kimyasal analiz bulguları ise Tablo 3'de sunulmuştur.

Tatvan'da tüketime sunulan 50 adet tavuk döner numunesinde TAMM sayısı 3.30-7.42 log₁₀ kob/g arasında ve ortalama 4.86±0.94 log₁₀ kob/g olarak belirlenmiştir. Bu çalışmada tespit edilen ortalama TAMM sayısı, Yüksek ve ark. [41]'nin bildirdikleri ortalama 4.2x10³ kob/g değerinden yüksek bulunmuştur. Pişmiş tavuk dönerlerde ortalama TAMM sayısını Ünver Alçay [26] 4.353±0.149 log₁₀ kob/g, Bostan ve ark. [21] 4.45±0.27 log₁₀ kob/g, Kayisoglu ve ark. [19] 4.86 log₁₀ kob/g, Öksüztepe ve Beyazgül [22] 5.11±0.31 log₁₀ kob/g ve Easa [42] 5.28 log₁₀ kob/g olarak bildirmişlerdir. Bu çalışmada numunelerde belirlenen TAMM sayıları ile diğer çalışmalarda tespit edilen sonuçlar arasındaki farklılıkların ana hammadde olarak kullanılan tavuk etleri ile üretimde kullanılan baharatların hijyenik kalitesinden, pişirme işlemlerinden, pişirme sırasındaki ısının yeterli derinliğe kadar ulaşmamasından ve pişirme sonrası oluşan kontaminasyonlardan kaynaklandığı düşünülmektedir. Seyitoğlu ve Ceylan [23] Erzurum'da inceledikleri 40 adet pişmiş tavuk döner örneğinde TAMM sayısının 3.36-4.61 log₁₀ kob/g arasında belirlendiğini bildirmişlerdir. Vazgecer ve ark. [43] Ankara'da inceledikleri 72 adet pişmiş tavuk döner örneğinde TAMM sayısının 10²-6.4x10⁵ kob/g arasında belirlendiğini ve örneklerin yarısında bu sayının 10³-10⁴ kob/g düzeyinde olduğunu bildirmişlerdir. Elazığ'da satışa sunulan 40 adet pişmiş tavuk dönerin %12.5'inde [22] ve İstanbul'da incelenen 30 adet pişmiş tavuk dönerinin de %30'unda [26] TAMM sayısının 5 log₁₀ kob/g seviyesinden yüksek olarak belirlendiği bildirilmiştir. Yine İstanbul'da incelenen 14 adet pişmiş kanatlı eti dönerinde de TAMM sayısının genel olarak 10³-10⁴ kob/g düzeyinde olduğu ve bu sayının bazı örneklerde 10⁶ kob/g düzeylerine ulaştığı belirtilmiştir [21]. Ayaz ve ark. [44] Riyad'da (Suudi Arabistan) inceledikleri 30 adet pişmiş tavuk dönerinde (shawarma) TAMM sayısının 10²-3x10⁸ kob/g arasında belirlendiğini ve bunların %83'ünde bu sayının 1.1x10³-10⁶ kob/g arasında olduğunu belirtmişlerdir. Pişmiş tavuk dönerler üzerine yapılan çalışmaların bazılarında ve bu çalışmada TAMM sayısının çok yüksek seviyelerde bile tespit edildiği görülmektedir. Stolle ve ark. [45] pişirilmiş dönerlerde tespit edilen TAMM sayısının bu ürünlerdeki mikrobiyolojik kalitenin belirlenmesindeki önemli kriterlerden biri olduğunu belirtmişlerdir. Dönerlerin

üretiminde kullanılan etlerdeki mevcut mikrobiyal yük, hazırlama aşamalarında uygulanan işlemler, sunum sırasında kullanılan salata malzemeleri ve pişirilme işleminden sonra tüketime kadar geçen sürelerde oluşan kontaminasyonlar halk sağlığı açısından önemli riskler oluşturabilmektedir. Bu araştırmada incelenen numunelerde belirlenen TAMM sayısı ile koliform grubu mikroorganizmalar, *E. coli* ve *Enterobacteriaceae*'lar arasında istatistiksel olarak $p < 0.01$ düzeyinde önemli bir ilişki bulunması oluşabilecek riskleri gözler önüne sermektedir. Kanatlıların kesim aşamalarında hijyenik tedbirlere riayet edilmediğinde özellikle deride mikrobiyal yükün artması kaçınılmazdır [9,12]. Ancak, kanatlı eti dönerlerinin üretiminde kanatlıların derisinin de kullanılmasına izin verilmektedir [4,5]. Mikrobiyal yükün yoğun olabileceği derilerin kullanıldığı ürünler her ne kadar ısıl işleme tabi tutulsalar dahi, bu deri parçalarının son ürünün mikrobiyolojik kalitesi üzerinde oluşturabileceği olumsuz etkilerin göz ardı edilmemesi gerekmektedir. Nitekim hem kırmızı etten hem de kanatlı etinden üretilen pişmiş dönerlerin mikrobiyolojik kalitelerinin incelendiği ve karşılaştırıldığı bazı çalışmalarda [7,19,21,22,25,41], kanatlı etinden üretilen dönerlerin daha yüksek seviyelerde mikroorganizma yüküne sahip oldukları bildirilmiştir.

Tablo 1. Pişirilmiş tavuk dönerlerin mikrobiyolojik analiz bulguları (\log_{10} kob/g) (50 Adet)

	TAMM	Koliform	<i>E. coli</i> *	<i>S. aureus</i> *	Koagulaz (+) <i>S. aureus</i>	<i>Salmonella</i> spp.*	Laktobasil	<i>Enterobacteriaceae</i>	<i>Pseudomonas</i> spp.	Sülfid ind. anaerob	Maya-küf
Min.	3.30	<1.00	<2.00	<2.00	<2.00	TE	<1.00	<1.00	<2.00	<1.00	<1.00
Maks.	7.42	4.62	4.20	6.91	6.91	TE	7.44	4.74	4.15	-	4.41
Ort.±SS	4.86±0.94	2.34±1.17	2.84±0.85	4.00±1.04	3.79±1.23	TE	3.70±1.41	2.64±1.04	3.19±0.63	-	2.39±1.02

*: Standartlarda limitleri verilen mikroorganizmalar; TE: Tespit edilmedi

Tablo 2. Pişirilmiş tavuk dönerlerdeki mikroorganizma gruplarının sıklık dağılımları (\log_{10} kob/g)

	<1.0	1.0-1.99	<2.0	2.0-2.99	3.0-3.70	3.71-3.99	4.0-4.99	5.0-5.99	≥6.0
	n (%)	n (%)	n (%)	n (%)	n (%)	n (%)	n (%)	n (%)	n (%)
TAMM	-	-	-	-	3 (%6)	4 (%8)	22 (%44)	12 (%24)	9 (%18)
Koliformlar	30 (%60)	9 (%18)	-	6 (%12)	1 (%2)	1 (%2)	3 (%6)	-	-
<i>E. coli</i>	-	-	41 (%82)	5 (%10)	2 (%4)	-	2 (%4)	-	-
<i>S. aureus</i>	-	-	29 (%58)	2 (%4)	8 (%16)	3 (%6)	5 (%10)	1 (%2)	2 (%4)
Koagulaz (+) <i>S. aureus</i>	-	-	29 (%58)	5 (%10)	5 (%10)	3 (%6)	5 (%10)	1 (%2)	2 (%4)
Laktobasiller	1 (%2)	1 (%2)	-	15 (%30)	11 (%22)	4 (%8)	6 (%12)	9 (%18)	3 (%6)
<i>Enterobacteriaceae</i>	27 (%54)	7 (%14)	-	9 (%18)	2 (%4)	-	5 (%10)	-	-
<i>Pseudomonas</i> spp.	-	-	34 (%68)	6 (%12)	6 (%12)	3 (%6)	1 (%2)	-	-
Sülf. ind. anaeroblar	50 (%100)	-	-	-	-	-	-	-	-
Maya-küf	6 (%12)	18 (%36)	-	14 (%28)	6 (%12)	-	6 (%12)	-	-

Tablo 3. Pişirilmiş tavuk dönerlerin fiziko-kimyasal analiz bulguları (50 Adet)

	pH değeri	a_w değeri
Minimum	5.69	0.960
Maksimum	6.40	0.999
Ortalama±SS	6.12±0.20	0.985±0.01

Bu araştırmada incelenen pişmiş tavuk döner numunelerinin 30 (%60)'unda koliform grubu mikroorganizmaya rastlanmamış olup (<1.00 \log_{10} kob/g), bu mikroorganizma sayısı diğer numunelerde 1.00-4.62 \log_{10} kob/g arasında ve ortalama 2.34±1.17 \log_{10} kob/g olarak belirlenmiştir. Pişmiş tavuk döner örneklerinde Kayisoglu ve ark. [19]'nın 2.42 \log_{10} kob/g ve Öksüztepe ve Beyazgül [22]'ün 2.13±0.21 \log_{10} kob/g olarak bildirdikleri ortalama koliform grubu mikroorganizma sayıları, bu araştırmada belirlenen ortalama değer ile benzerlik göstermektedir. Ayaz ve ark. [44], inceledikleri shawarma örneklerinin %66'sında koliform grubu mikroorganizmaya rastlanmadığını (<10 kob/g) ve diğer örneklerde 10^1 - 10^5 kob/g arasında belirlendiğini bildirmişlerdir. Vazgecer ve ark. [43] da

inceledikleri pişmiş tavuk dönerlerin %39'unda bu grup mikroorganizmaların 10^2 kob/g seviyesinin üzerinde tespit edildiğini ifade etmişlerdir. Seyitoğlu ve Ceylan [23] inceledikleri pişmiş tavuk dönerlerde koliform grubu mikroorganizma sayısının $<1-3.23 \log_{10}$ kob/g arasında belirlendiğini ve örneklerin %72.50'sinde bu mikroorganizma sayısının 100 kob/g'dan az olduğunu bildirmişlerdir. Pişirilmiş gıdalarda koliform grubu mikroorganizmaların belirlenmesi, yetersiz ısı işlem uygulamalarından veya sonraki aşamalarda kontaminasyonlardan kaynaklanmaktadır [9, 46]. Öksüztepe ve Beyazgül [22] Elazığ'da satışa sunulan pişmiş tavuk döner örneklerinin %75'inde koliform grubu mikroorganizma tespit edilmesinin, hijyen yetersizliğinden ve tavuk derisinin üretimde kullanılmış olmasından kaynaklanabileceğini belirtmişlerdir. Bu araştırmada da yetersiz pişirme işlemlerinin, işletmelerde hijyen bilgisi eksik veya sağlıksız olan personel çalıştırılmasının ve yeterince hijyenik olmayan alet-ekipmanın kullanılmasının incelenen pişmiş dönerlerde koliform grubu mikroorganizmaların tespit edilmesindeki etkili faktörler olabileceği düşünülmektedir.

Yapılan mikrobiyolojik analizler sonucunda incelenen tavuk döner numunelerinin %82'sinde *E. coli*'ye rastlanmamış olup ($<2.00 \log_{10}$ kob/g), bu mikroorganizma sayısı 9 (%18) numunede $2.00-4.20 \log_{10}$ kob/g arasında ve ortalama $2.84 \pm 0.85 \log_{10}$ kob/g olarak belirlenmiştir. Bu araştırmada incelenen numunelerin çoğunda *E. coli* tespit edilmemesi, inceledikleri pişmiş tavuk dönerlerin %61'inde [43], %64.29'unda [21] ve %90'ında [26] *E. coli*'ye rastlamadıklarını bildiren araştırmacıların bulguları ile benzerlik göstermektedir. Et ürünlerinde ana kontaminasyon kaynakları başta hammadde olarak kullanılan et olmak üzere et işleme üniteleridir. Buralarda kesim, parçalama ve üretim işlemleri sırasında et ve et ürünleri çeşitli patojen ve patojen olmayan mikroorganizmalarla kontamine olabilmektedir [3]. Legnani ve ark. [47] İtalya'da 27 yemek fabrikasında yaptıkları bir araştırmada; ekipman ve çalışma yüzeylerinin %10'unun kabul edilemeyecek oranda kontamine olduğunu, çiğ et ve et ürünlerinden oluşan gıda örneklerinden %10.8'inin *E. coli* ile enfekte olduğunu bildirmişler, hijyenik kaliteyi iyileştirmek için personel eğitim programlarının ve HACCP uygulamalarının gerekli olduğunu belirtmişlerdir. *E. coli*'nin pişirilmiş ürünlerde bulunması fekal bir kontaminasyona işaret eder ve üretimde hijyen kriterlerine uyulmadığını gösterir [48]. TS 11859 Pişmemiş Döner Eti Standardı [49]'nda incelenen beş örneğin ikisinde bulunabilecek kabul edilebilir en fazla *E. coli* sayısının 1×10^3 kob/g olabileceği belirtilmiştir. Buna göre incelenen 4 numunenin (%8) bu mikroorganizma yönünden ilgili standartta belirtilen kritere uygun olmadığı görülmektedir (Tablo 2). Bu araştırmada numunelerde $3-4 \log_{10}$ kob/g seviyelerinde *E. coli* belirlenmesinde, pişirme işlemlerinde yapılan hatalar ile üretim sırasında hijyenik tedbirlere riayet edilmemesi etkili olmuş olabilir. Nitekim, gıdalarda bulunan *E. coli*'nin, yapılacak standart pişirme uygulamaları ile aktivitelerini yitirebileceği ifade edilmektedir [9].

Doğada yaygın olarak bulunduğu gıdalarda ve gıdaların işlenmesinde kullanılan ekipmanlarda da bulunabilen *S. aureus*, insan ve hayvanlarda çeşitli intoksikasyonlara ve buna bağlı olarak da besin zehirlenmelerine neden olan patojen bir mikroorganizmadır [50]. Bu patojen mikroorganizma ısı işlemleri sırasında inaktif hale gelse de, salgıladığı enterotoksinler aktivitesini kaybetmez [51,52]. Toksin oluşmuş gıdanın alınması, ilk saatlerde karın ağrısı, kas ve karın krampları, bulantı, kusma ve ishal gibi şiddetli belirtilerle kendini gösteren bir toksikasyona neden olur [50,53]. Tatvan'da incelenen tavuk döner numunelerinin 29 (%58)'unda *S. aureus* ve koagülaz (+) *S. aureus*'a rastlanmamış olup ($<2.00 \log_{10}$ kob/g), diğer numunelerde ortalama *S. aureus* sayısı $4.00 \pm 1.04 \log_{10}$ kob/g ve koagülaz (+) *S. aureus* sayısı ise $3.79 \pm 1.23 \log_{10}$ kob/g olarak belirlenmiştir. Vazgecer ve ark. [43] inceledikleri pişmiş tavuk dönerlerin %50'sinde stafilkokların 10^2 kob/g'dan yüksek bulunduğunu, ancak hiçbir örnekte koagülaz (+) *S. aureus*'a rastlanmadığını ifade etmişlerdir. Topçu [54] 25 adet pişmiş tavuk dönerin dördünde, Nur ve ark. [24] ise 50 adet tavuk dönerin ikisinde koagülaz (+) *S. aureus* belirlendiğini, ancak bu örneklerdeki seviyenin gıda güvenilirliğini tehdit eden değerlerin altında bulunduğunu bildirmişlerdir. Bostan ve ark. [21] ile Öksüztepe ve Beyazgül [22] pişmiş tavuk dönerlerde *S. aureus*'a rastlanmamasının kullanılan hammaddelerden özellikle et ve baharatlarla ilişkilendirilebileceğini ifade etmişlerdir. Todd ve ark. [8] pişirilmiş dönerlerin bekletilmesi ile ilgili olarak yaptıkları çalışmada, dönerin pişirildikten sonra ısı kaynağının kapatılarak bekletilmesi durumunda *S. aureus* sayısının 10^4 kob/g'ı geçmediğini bildirmişlerdir. Bostan ve ark. [21] deneysel olarak yaptıkları çalışmada, ısı işlem görmüş dönerlerin 6 saat oda sıcaklığında bekletildiğinde *S. aureus* sayısında bir artış görülmediğini, ancak pişirilmiş dönerlerin 18 saat oda sıcaklığında bekletildiğinde ise bu sayıda önemli bir artış olduğunu belirtmişler, ayrıca gün içinde tüketilemeyen dönerlerin şişte takılı bekletilerek ertesi gün tüketime sunulmasının halk sağlığı açısından risk oluşturabileceğini vurgulamışlardır. TS 11859 Pişmemiş Döner Eti Standardı [49]'nda incelenen beş

örneğin ikisinde bulunabilecek kabul edilebilir en fazla *S. aureus* sayısının 5×10^3 kob/g ($3.70 \log_{10}$ kob/g) olabileceği belirtilmiştir. Buna göre incelenen 11 numunenin (%22) bu mikroorganizma yönünden ilgili standartta belirtilen kritere uygun olmadığı görülmektedir (Tablo 2). Bu sonucun ortaya çıkmasında işletmelerde görev alan personellerin hijyen kurallarına uymaması etkili olmuş olabilir. Bu araştırmada tespit edilen TAMM sayısı ile *S. aureus* ve koagülaz (+) *S. aureus* arasında önemli bir ilişkinin ($p < 0.05$) olması bu düşünceyi destekler mahiyettedir. *S. aureus*'un pişirilmiş ürünlerdeki varlığı, yetersiz ısıtma işlemleri ile sonradan oluşan kontaminasyonlardan kaynaklanmaktadır [50,53]. Mikroorganizmaların inaktivasyonu için gıdalara uygulanan ısı işlemin etkinliği önemlidir. Ancak yetersiz yapılan ısı işlemler sonrasında gıdalarda mikroorganizmaların canlı kalabileceği unutulmamalı ayrıca pişirme sonrasında oluşabilecek kontaminasyonların önlenmesi için de gerekli hijyenik tedbirler alınmalıdır. Genel olarak el hijyenine dikkat eden sağlıklı ve eğitimli personelle birlikte hijyen kurallarına uyularak yapılacak üretim sayesinde olası gıda zehirlenmelerinin önüne geçilebilecektir.

Bu araştırmada incelenen pişmiş tavuk döner numunelerinin hiçbirinde *Salmonella* spp. tespit edilmemiştir (Tablo 1). Bu sonuç inceledikleri örneklerde *Salmonella* spp. izole edilmediğini bildiren araştırmacıların [6,25,43,45] bulguları ile benzerdir. Pişmiş kanatlı eti dönerleri üzerine yapılan bazı çalışmalarda da %3.33 [26], %5.55 [55], %14 [24] ve %80 [19] gibi farklı oranlarda *Salmonella* spp. tespit edildiği bildirilmiştir. Türk Gıda Kodeksi Mikrobiyolojik Kriterler Yönetmeliği [56]'nda ısı işlem görmüş dönerlerde ve TS 11859 Pişmemiş Döner Eti Standardı [49]'nda *Salmonella* spp. bulunmasına izin verilmemektedir. Bu araştırmada Tatvan'da tüketime sunulan tavuk dönerlerin hiçbirinde *Salmonella* spp.'nin bulunmaması, incelenen numunelerin bu mikroorganizma açısından ilgili standartlara uygun olduğunun görülmesi açısından önemli ve tüketicilerde risk oluşturmaması yönünden de sevindirici bir sonuç olarak değerlendirilmiştir. *Salmonella* spp. ısı işleme duyarlıdır ve 60°C 'de birkaç dakikada canlılığını yitirir [51]. Et içeriği fazla olan gıdalar mikroorganizmaların üremesi için uygun ortamlar olduğundan ve yetersiz şekilde yapılan ısı işlemler sonucunda da canlı kalabilen patojen mikroorganizmalar gıda zehirlenmelerine neden olabildiğinden dolayı, pişirme işlemleri etkili ısıda yapılmalı ve üretimde hijyen kurallarına özen gösterilerek elde edilen ürünlerin mikrobiyolojik kalitesinin iyi olması sağlanmalıdır.

Isıl işlem görmüş tavuk dönerlerde laktobasillerin sayısı $< 1.00-7.44 \log_{10}$ kob/g arasında ve ortalama $3.70 \pm 1.41 \log_{10}$ kob/g olarak belirlenmiştir. Bu araştırmada laktobasiller yönünden elde edilen bulgular, incelen pişmiş tavuk dönerlerinde laktobasillerin $10-10^5$ kob/g arası ve ortalama 3.38×10^3 kob/g [7] ve *Lactobacillus-Leuconostoc-Pediococcus*'ların $1.89-5.76 \log_{10}$ kob/g arası ve ortalama $3.64 \pm 0.43 \log_{10}$ kob/g [22] olarak belirlendiği bildirilen araştırmaların ortalama bulguları ile benzerdir. Bu araştırmada belirlenen TAMM sayısı ile laktobasiller arasında istatistiksel olarak önemli bir ilişki ($p < 0.01$) bulunmuştur. İncelenen numunelerde dominant florayı oluşturan bu mikroorganizmalar arasındaki önemli ilişki, hijyenik kalitenin çok iyi olmadığını göstermektedir.

İncelenen pişmiş tavuk döner numunelerinde *Enterobacteriaceae* sayısı $< 1.00-4.74 \log_{10}$ kob/g arasında ve ortalama $2.64 \pm 1.04 \log_{10}$ kob/g olarak belirlenmiştir. Pişirilmiş olarak tüketime sunulan tavuk dönerler üzerine yapılan bazı çalışmalarda da *Enterobacteriaceae*'ların varlığı farklı seviyelerde tespit edilmiştir. Öksüztepe ve Beyazgül [22] inceledikleri örneklerde *Enterobacteriaceae* sayısının $< 1.00-4.89 \log_{10}$ kob/g arasında ve ortalama $4.03 \pm 0.19 \log_{10}$ kob/g olarak belirlendiğini, ayrıca örneklerin %42.5'inde bu mikroorganizmanın tespit edilebilir seviyenin ($< 1.0 \log_{10}$ kob/g) altında ve %10'unda da $4.0 \log_{10}$ kob/g'ın üstünde olduğunu bildirmişlerdir. Ünver Alçay [26] pişmiş tavuk dönerlerin %50'sinde *Enterobacteriaceae* tespit edilmediğini (< 10 kob/g) ve bu mikroorganizma sayısının ortalama 1.902 ± 0.276 kob/g olarak belirlendiğini belirtmiştir. Seyitoğlu ve Ceylan [23] inceledikleri tavuk dönerlerde *Enterobacteriaceae* sayısının $< 1-3.09 \log_{10}$ kob/g arasında belirlendiğini ve örneklerin %75'inde bu mikroorganizma sayısının 100 kob/g'dan az olduğunu bildirmişlerdir. Bostan ve ark. [21] 14 pişmiş kanatlı eti dönerinin 5'inde *Enterobacteriaceae*'ların tespit edilmediğini ($< 10 \log_{10}$ kob/g), 6'sında 10^2-10^3 kob/g seviyesinde ve 1'inde de 10^4 kob/g seviyesinde belirlendiğini bildirmişlerdir. Araştırmacılar *Enterobacteriaceae*'ların 10^4 kob/g seviyesinde bulunmasının, döner işletmelerindeki üretim, pişirme ve servis aşamalarındaki hijyen standartları ve gıda güvenliği uygulamalarındaki farklılıklara işaret ettiğini ifade etmişlerdir. İncelenen ürünlerde toplam mikroorganizma sayısının tespit edilmesi genel olarak gıdaların mikrobiyolojik kalitesi hakkında bir fikir verse de, diğer indikatör ve patojen mikroorganizmaların da varlığının belirlenmesi önemlidir. Yapılacak çalışmalarda genellikle çevrede yaygın olarak bulunan ve canlıların bağırsak içeriğinde yaşayan *Enterobacteriaceae*'ların tespit edilmesi, ürünlerin işlenmesi ve servisi sırasında hijyen kriterlerine ne

kadar dikkat edildiğini ortaya koyacaktır. Ayrıca, ısıl işleme tabi tutulan et ürünlerinde *Enterobacteriaceae*'ların canlı kalması ısıl işlemlerin yetersiz yapıldığına işaret etmektedir [51]. Bu çalışmada da *Enterobacteriaceae* sayısının incelenen numunelerin ikisinde 3 log₁₀ kob/g ve beşinde 4 log₁₀ kob/g seviyelerinde tespit edilmesi fekal bir kontaminasyon varlığını, uygulanan pişirme işlemlerinin etkin olmadığını veya üretim sırasında hijyen/sanitasyon kurallarına yeterince uyulmadığını göstermektedir. Bu mikroorganizma grubu ile TAMM, koliformlar, *E. coli*, *S. aureus* ve koagulaz (+) *S. aureus* arasında da istatistiksel olarak önemli bir ilişki (p<0.01) bulunması bunu destekler mahiyettedir. Doğru ve etkin bir şekilde yapılacak pişirme işlemleri ile üretimde görev alan personellere verilecek hijyen eğitimleri sayesinde, üretim/servis aşamalarında alınacak hijyenik önlemlerin artması ve son ürünün mikrobiyolojik yükünün azalması sağlanabilecektir.

Tatvan'da ısıl işlem görmüş tavuk döner numunelerinde *Pseudomonas* spp. sayısı <2.00-4.15 log₁₀ kob/g arasında ve ortalama 3.19±0.63 log₁₀ kob/g olarak belirlenmiştir. Easa [42] El Qassium (Suudi Arabistan)'da satışa sunulan salatalı pişmiş tavuk dönerlerin (shawarma) hiçbirinde *Pseudomonas*'ların tespit edilmediğini bildirirken, Acar [7] İstanbul'da incelediği 30 adet pişmiş tavuk döner örneğinin 19'unda bu mikroorganizmaların 10-10⁵ kob/g arasında ve ortalama 1.68x10³ kob/g olarak belirlendiğini bildirmiştir. Kaliteli hammadde kullanılmadan, tekniğine uygun olarak hazırlanmadan ve servis sırasında hijyenik şartlara uyulmadan satışa sunulan dönerler patojen mikroorganizmalar yönünden ciddi sağlık problemlerine yol açabilirler. Ayrıca dönerlerin ateşten ayrılarak tekrar tekrar ısıtılması mikroorganizma gelişiminin artmasına neden olur [6, 57], bu ürünlerin genellikle kontrolsüz bir şekilde ve hijyen bilgisinden yoksun kişiler tarafından üretilmesi de olası riskleri artırır. Diğer çalışmaların bulgularına benzer şekilde bu çalışmada da incelenen numunelerin %68'inde *Pseudomonas* spp. tespit edilmemiştir. Ancak, bu mikroorganizmalar ile koliformlar, *S. aureus*, koagulaz (+) *S. aureus* ve *Enterobacteriaceae* arasında p<0.01 ve *E. coli* arasında p<0.05 düzeylerinde istatistiksel yönden önemli bir ilişki olması, ayrıca *Pseudomonas* spp.'nin bazı numunelerde 3-4 log₁₀ kob/g seviyelerinde belirlenmesi ilgili ürünlerin halk sağlığı açısından potansiyel bir risk oluşturduğunu göstermektedir.

Termofilik sporlu anaerob mikroorganizmalar genellikle kullanılan hammaddeler ile ilişkilidir ve yetersiz yapılan pişirme işlemleriyle inaktif olmazlar [46]. İnceledikleri pişmiş tavuk döner örneklerinde Vazgecer ve ark. [43] sülfid indirgeyen anaeroblara (%7) rastlandığını, Kayisoglu ve ark. [19] da *Clostridium perfringens* (%60) tespit edildiğini bildirmişlerdir. Bostan ve ark. [21] ile Öksüztepe ve Beyazgül [22] ise inceledikleri örneklerde sülfid indirgeyen anaerobların belirlenmediğini bildirmişler, kullanılan hammaddelerin özellikle et ve baharatların kaliteleri ile elde edilen bu sonucun bağlantılı olabileceğini ifade etmişlerdir. Benzer bir şekilde bu çalışmada da incelenen pişmiş tavuk dönerlerin hiçbirinde bu mikroorganizmalara rastlanmaması (Tablo 1) gıda güvenliği ve halk sağlığı açısından önemlidir.

Tatvan'da pişirilmiş olarak tüketime sunulan tavuk dönerlerde 2.39±1.02 log₁₀ kob/g olarak belirlenen ortalama maya-küf sayısı, farklı çalışmalarda ortalama 3.53 log₁₀ kob/g [19] ve 4.05±0.19 log₁₀ kob/g [22] olarak bildirilen değerlerden düşük bulunmuştur. Ayrıca, bu çalışmada incelenen numunelerin %12'sinde maya-küf sayısı 4 log₁₀ kob/g seviyesinde bulunmuş, Öksüztepe ve Beyazgül [22] de aynı seviyeye inceledikleri örneklerin %12.5'inde rastlandığını bildirmişlerdir. Bu durum, araştırmacıların da benzer şekilde ifade ettikleri gibi bazı işletmelerde hijyen kurallarına yeterince uyulmadığını düşündürmektedir.

Fiziko-kimyasal özellikler yönünden Tatvan'da tüketime sunulan pişirilmiş tavuk döner numunelerinde pH değeri 5.69-6.40 arasında ve ortalama 6.12±0.20, a_w değeri ise 0.960-0.999 arasında ve ortalama 0.985±0.01 olarak belirlenmiştir (Tablo 3). Bu çalışmada belirlenen ortalama pH değeri pişmiş tavuk dönerler üzerine yapılan çalışmalarda 6.03±0.20 [43] ve 6.07 [19] olarak bildirilen ortalama pH değerlerine benzer, 6.24 [23] olarak bildirilen değerden düşük bulunmuştur. Et ve ürünleri besin içeriklerinin zenginliği ve su aktivitesi ile pH değerlerinin uygunluğundan dolayı mikroorganizmaların faaliyetleri açısından uygun ortam oluştururlar [3, 9]. Ancak, ısıl işlem uygulanmış etlerde a_w değerleri düşer ve mikroorganizmaların üremesi için gerekli olan oksijen miktarı azalır. İncelenen bazı numunelerde mikroorganizma sayıları ile a_w değerlerinin yüksek seviyelerde belirlenmiş olması, istatistiksel yönden de maya-küf sayısı ile pH (p<0.01) ve a_w (p<0.05) değerleri arasında önemli düzeylerde ilişkilerin belirlenmesi bazı işletmelerde uygulanan pişirme işlemlerinin etkin ve yeterli şekillerde yapılmadığını düşündürmektedir.

4. Sonuç ve Öneriler

Bitlis ilinin ekonomisi büyük oranda tarıma dayalı olmakla birlikte tarım sektörü içerisinde ağırlıklı kısmı canlı hayvan yetiştiriciliği oluşturmaktadır. Bölgede hayvancılığın yaygın olmasına ve yöresel tercihlere bağlı olarak et ve et ürünleri tüketimi fazladır. Ancak özellikle kırmızı et fiyatlarında meydana gelen artışa bağlı olarak, ülke genelinde olduğu gibi bu bölgede de et tüketiminde kanatlı etine doğru bir yönelme olduğu gözlenmektedir. Bölgede tüketilen kanatlı etlerinin temin edildiği merkezlerin büyük ölçüde bölgeye uzak olmaları ile taşıma ve depolama aşamalarında yapılan yanlış uygulamalar nedeniyle bu ürünlerin kontamine olma ihtimalleri artmaktadır. Bunun için kanatlıların kesimi, işlenmesi, depolanması, nakliyesi ve satışına kadar geçen bütün aşamalarda soğuk zincir korunmalı ve uygun olmayan ortamlarda yapılan tüm faaliyetler önlenmelidir.

Sonuç olarak; bu araştırma Bitlis iline bağlı ve İpek Yolu üzerinde önemli ticaret merkezlerinden biri olan Tatvan'daki gıda satış yerlerinde tüketime sunulan tavuk dönerlerde hijyen indikatörü mikroorganizmalar ile bazı önemli gıda patojenlerinin varlığının belirlenmesi açısından önem taşımaktadır. Bu çalışmada incelenen pişmiş tavuk döner numunelerinde *Salmonella* spp. ve sülfid indirgeyen anaeroblar tespit edilmemiştir. Ancak, koliform grubu mikroorganizmalar, *E. coli*, *S. aureus*, koagulaz (+) *S. aureus*, *Enterobacteriaceae* ve *Pseudomonas* spp. gibi hijyen indikatörü ve patojen mikroorganizmaların belirlenmesi bu ürünlerin halk sağlığı açısından potansiyel bir risk oluşturabileceğini göstermektedir. Isıl işlem görmüş tavuk dönerlerde bu mikroorganizmaların varlığı genel olarak; üretimde kullanılan hammadde ve diğer katkı maddelerinin ilk mikrobiyal yüklerinin yoğun olmasından, pişirme sırasındaki ısının yeterli derinliğe kadar ulaşmamasından, sektörde hijyen kurallarından yoksun kişilerin görev almasından, ürünlerin servis edilmesi ve muhafazası aşamalarında oluşan sekonder kontaminasyonlardan kaynaklanmaktadır. İncelenen pişmiş tavuk dönerlerin mikrobiyolojik kalitesinin genel olarak iyi olmadığını tespit edilmesi; üretim ve tüketim aşamalarında alınacak hijyenik tedbirlerin ne kadar önemli olduğunu, işletmelerde gıda güvenliği yönetim sistemlerinin eksiksiz bir şekilde uygulanması gerektiğini ve ilgili kurumlarca daha sık aralıklarla hijyen denetimlerinin yapılması gerekliliğini göstermektedir.

Döner üretiminde kullanılan hammaddelerin özellikleri, ürüne lezzet vermek veya marinasyon amacıyla kullanılan yardımcı maddelerin mikrobiyal yükü, pişirme teknikleri, genellikle servisin yoğun olduğu öğlen saatlerinde yapılan yetersiz pişirme veya yüzeyden içe doğru pişmemiş kısımların aceleyle kalın bir şekilde alınması, görevli personellerin kişisel hijyenlerine dikkat etmemeleri veya genel hijyen kurallarına uymamaları ve servis sırasında oluşan kontaminasyonlar ısıl işlem görmüş tavuk dönerlerin mikrobiyolojik kalitesini olumsuz yönde etkileyen önemli faktörlerdir. Bu olumsuzlukların ortadan kaldırılmasının yanında, gıda güvenliği yönetim sistemlerinin titizlikle hayata geçirilmesi de halk sağlığının korunması açısından oldukça gerekli uygulamalardır. Dönerlerin üretiminin yapıldığı mekanlar kontrol edilebilir bir şekilde havalandırılmalı, havalandırma sistemleri sık sık temizlenmeli ve sokağa açık bir şekilde pişirme/servis işlemleri yapılmamalıdır. Pişirme sırasında yeterli ısıl işlem uygulanmalı, pişmemiş kısımların alınmasından kaçınılmalı, kesilmiş dönerler bekletilmeden servis edilmeli ve kesinlikle ertesi gün satışa sunulmamalıdır.

Elde edilen bulgular ışığında, üreticilerin ve işletmelerde görev alan personellerin hijyenik üretim, HACCP ve GMP uygulamaları, çapraz kontaminasyonları önleme, soğuk zincirin önemi, personel hijyeni ve sanitasyon kurallarına dikkat edilmesi gibi konularda bilinçlendirilmesi önemlidir. Aynı zamanda, nüfus yoğunluğu ve canlı ekonomisiyle Doğu Anadolu Bölgesi'nin önemli yerleşim yerlerinden biri olan Tatvan'da tüketime sunulan gıdaların mikrobiyolojik kalitesini belirlemek üzere yapılacak çalışmalar arttırılmalı ve eğitim faaliyetlerine hız verilerek bilinçlendirme çalışmalarına katkı sunulmalıdır.

Teşekkür

Bu çalışmayı maddi yönden destekleyen Bitlis Eren Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü'ne teşekkür ederiz (Proje No: BEBAP 2018.10). Ayrıca, bugüne kadar besin hijyeni ile ilgili yapmış olduğu akademik çalışmalarla bilim dünyasına birçok eser bırakan ve bu projenin tamamlanmasına yaklaştığımız 7 Mayıs 2020 tarihinde geçirmiş olduğu beyin kanaması sonucu hayatını kaybederek aramızdan ayrılan yol arkadaşımız Prof. Dr. Özgür İŞLEYİCİ'ye sonsuz sevgi ve saygılarımızı sunar, camiamıza baş sağlığı dileriz.

Yazarların Katkısı

Hakan SANCAK yayının tüm aşamalarda aktif görev almış olup, Özgür İŞLEYİCİ, Kamil EKİCİ ve Dilara BAŞAT DERELİ numunelerin alınması, analizlerin yürütülmesi ve istatistiki verilerin değerlendirilmesinde, Emrullah SAĞUN ve Yakup Can SANCAK ise sonuçların ve istatistiki verilerin yorumlanması ile makalenin biçim ve içerik kontrollerinde katkı sağlamışlardır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada, araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur. Araştırma etik kurul izni gerektirmemektedir.

Kaynaklar

- [1] Hui Y.H. 2007. Factors affecting food quality: A primer. In: Handbook of Meat, Poultry & Seafood Quality, Edited by Nollet L.M.L., Blackwell Publishing, Iowa, USA, 3-6.
- [2] Öztan A. 2011. Et Bilimi ve Teknolojisi. 8. Baskı, TMMOB Gıda Mühendisleri Odası Yayınları Kitaplar Serisi No: 1, Filiz Matbaacılık Sanayii Tic. Ltd Şti, Cebeci, Ankara.
- [3] Arslan A. 2013. Et Muayenesi ve Et Ürünleri Teknolojisi. 2. Baskı, Medipres Matbaacılık Ltd Şti, Malatya.
- [4] Anonim, 2019. Türk Gıda Kodeksi Et, Hazırlanmış Et Karışımları ve Et Ürünleri Tebliği. Tebliğ No: 2018/52, RG: 29.01.2019, 30670, Ankara.
- [5] Anonim, 1995. Döner Yapım Kuralları-Pişmemiş. TS 11658, 12 Nisan 1995, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [6] Jöckel J., Stengel G. 1984. Döner kebab-untersuchung und beurteilung einer Türkischen spezialität. Fleischwirtschaft, 64: 527-540.
- [7] Acar M.S. 1996. Kasaplık Hayvan Etleri ve Tavuk Etinden Yapılan Döner Kebapların Mikrobiyolojik Kalitesinin Karşılaştırmalı Araştırması. Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [8] Todd E.C.D., Szabo R., Sipiring F. 1986. Donairs (Gyros) - potential hazards and control. Journal of Food Protection, 49 (5): 369-377.
- [9] Uğur M., Nazlı B., Bostan K. 2001. Gıda Hijyeni. Teknik Yayınevi, İstanbul, 1-274.
- [10] Küpeli Gençer V., Kaya M. 2004. Yaprak dönerin mikrobiyolojik kalitesi ve kimyasal bileşimi. Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences, 28 (6): 1097-1103.
- [11] Cebirbay M.A. 2007. Dönerlerde Satış Süresi Boyunca Mikrobiyolojik Kalitede Meydana Gelen Değişmelerin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- [12] Marriott N.G., Schilling M.W., Gravani R.B. 2018. Principles of Food Sanitation. 6th Ed, Springer International Publishing AG, Cham, Switzerland, 1-437.
- [13] Sancak Y.C., Boynukara B., Ağaoğlu S. 1993. Van'da tüketime sunulan kıymaların mikrobiyolojik kalitesi. Yüzüncü Yıl Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi, 4 (1-2): 73-86.
- [14] Sağun E., Sancak Y.C., Ekici K., Durmaz H. 1996. Van'da tüketime sunulan piliç but ve göğüs etlerinin hijyenik kalitesi üzerine bir araştırma. Yüzüncü Yıl Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi, 7 (1-2): 62-66.
- [15] Sancak Y.C., İşleyici Ö. 2006. Çiğ köftelerin mikrobiyolojik kalitesi üzerine bir araştırma. Yüzüncü Yıl Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi, 17 (1-2): 81-86.
- [16] Sancak Y.C., İşleyici Ö., Sağun E. 2007. Van'da tüketime sunulan bazı et ürünlerinde *Listeria monocytogenes* varlığı. Yüzüncü Yıl Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi, 18 (1): 93-99.
- [17] Atlan M., İşleyici Ö. 2012. Van İli'nde dondurulmuş olarak satışı sunulan bazı et ürünlerinin mikrobiyolojik kalitesi. Atatürk Üniversitesi Veteriner Bilimleri Dergisi, 7 (2): 93-103.

- [18] Altun S.K., Atasever M. 2018. Erzurum’da tüketime sunulan tavuk etlerinin bazı patojen bakteriler yönünden incelenmesi. *Manas Journal of Agriculture Veterinary and Life Sciences*, 8 (1): 36-50.
- [19] Kayisoglu S., Yilmaz I., Demirci M., Yetim H. 2003. Chemical composition and microbiological quality of the doner kebabs sold in Tekirdag market. *Food Control*, 14: 469-474.
- [20] Elmalı M., Ulukanlı Z., Tuzcu M., Yaman H., Cavlı P. 2005. Microbiological quality of beef doner kebabs in Turkey. *Archiv für Lebensmittelhygiene*, 56 (2): 32-34.
- [21] Bostan K., Yılmaz F., Muratoğlu K., Aydın A. 2011. Pişmiş döner kebablarda mikrobiyolojik kalite ve mikrobiyel gelişim üzerine bir araştırma. *Kafkas Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, 17 (5): 781-786.
- [22] Öksüztepe G., Beyazgül P. 2014. Elazığ’da satılan pişmiş et ve tavuk dönerlerin mikrobiyolojik kalitesi. *Fırat Üniversitesi Sağlık Bilimleri Veteriner Dergisi*, 28 (2): 65-71.
- [23] Seyitoğlu Ş., Ceylan Z.G. 2014. Erzurum piyasasında tüketime sunulan tavuk dönerde *Campylobacter* spp. varlığının araştırılması. *Atatürk Üniversitesi Veteriner Bilimleri Dergisi*, 9 (2): 104-111.
- [24] Nur G., Deveci H.A., Kırpık M.A., Nur Ö., Ayata E. 2016. Gıda güvenilirliği kriterlerine göre Hatay’da satılan tavuk dönerlerinde mikrobiyolojik kalite. *Kafkas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 9 (2): 14-22.
- [25] Kaya A., Özpınar H., Çakmak Sancar B. 2018. Investigation of microbiological quality of raw and cooked “doner kebab” consumed in Istanbul. *Asian Journal of Agriculture and Food Sciences*, 6 (2): 78-83.
- [26] Ünver Alçay A. 2019. İstanbul’da satılan pişmiş tavuk dönerlerin mikrobiyolojik kalitesinin araştırılması. *Türk Mikrobiyoloji Cemiyeti Dergisi*, 49 (2): 74-85.
- [27] Harrigan W.F. 1998. *Laboratory Methods in Food Microbiology*. 3rd Ed, Academic Press Limited, London, UK, 1-532.
- [28] Swanson K.M.J., Busta F.F., Peterson E.H., Johnson M.G. 1992. Colony count methods. In: *Compendium of Methods for the Microbiological Examination of Foods*, Edited by Vanderzant C., Splittstoesser D.F., 3rd Ed, American Public Health Association (APHA) Technical Committee on Microbiological Methods for Foods, Washington DC, USA, 75-95.
- [29] Pichhardt K. 1998. *Lebensmittel-mikrobiologie, Grundlagen für die Praxis*. Vierte Auflage, Springer Verlag, Berlin, Deutschland, 361.
- [30] Anonymous, 2001. *Microbiology of Food and Animal Feeding Stuffs - Horizontal Method for the Enumeration of beta-glucuronidase-positive Escherichia coli*. Part 2: Colony-count technique at 44 degrees C using 5-bromo-4-chloro-3-indoyl beta-D-glucuronide, International Organization for Standardization, ISO 16649-2, ISO TC 34/SC 9.
- [31] Anonymous, 2006. *The Oxoid Manual*. Compiled by Bridson E.Y., 9th Ed, Oxoid Ltd, Hampshire, UK, 1-615.
- [32] Ünlütürk A., Turantaş F. 2015. *Gıdaların Mikrobiyolojik Analizi*. 3. Baskı, Meta Basım Matbaacılık Hizmetleri, Bornova, İzmir, 1-166.
- [33] Flowers R.S., D’Aoust J.Y., Andrews W.H., Bailey J.S. 1992. *Salmonella*. In: *Compendium of Methods for the Microbiological Examination of Foods*, Edited by Vanderzant C., Splittstoesser D.F., 3rd Ed, American Public Health Association (APHA) Technical Committee on Microbiological Methods for Foods, Washington DC, USA, 371-422.
- [34] Vedamuthu E.R., Racciah M., Glatz B.A., Seitz E.W., Reddy M.S. 1992. Acid producing organisms. In: *Compendium of Methods for the Microbiological Examination of Foods*, Edited by Vanderzant C., Splittstoesser D.F., 3rd Ed, American Public Health Association (APHA) Technical Committee on Microbiological Methods for Foods, Washington DC, USA, 225-238.
- [35] Anonymous, 2004. *Microbiology of Food and Animal Feeding Stuffs - Horizontal Methods for the Detection and Enumeration of Enterobacteriaceae*. Part 2: Colony-count method, International Organization for Standardization, ISO 21528-2, ISO TC 34/SC 9.
- [36] Anonymous, 1995. *Meat and Meat Products - Enumeration of Pseudomonas spp*. International Organization for Standardization, ISO 13720, ISO TC 34/SC 6.
- [37] Koburger J.A., Marth E.H. 1984. Yeasts and molds. In: *Compendium of Methods for the Microbiological Examination of Foods*, Edited by Speck M.L., 2nd Ed, American Public Health

- Association (APHA) Technical Committee on Microbiological Methods for Foods, Washington DC, USA, 197-201.
- [38] Gökalp H.Y., Kaya M., Tülek Y., Zorba Ö. 2015. Et ve Ürünlerinde Kalite Kontrolü ve Laboratuvar Uygulama Kılavuzu. 6. Baskı, Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Ofset Tesisi, Erzurum, 1-316.
- [39] Rahman M.S., Sablani S.S. 2009. Water activity measurement methods of foods. In: Food Properties Handbook, Edited by Rahman M.S., 2nd Ed, CRC Press Taylor & Francis Group, Boca Raton, USA, 9-32.
- [40] Anonymous, 2013. IBM SPSS Statistics for Windows, Version 22.0. IBM Corp, Armonk, New York, USA.
- [41] Yuksek N., Evrensel S.S., Temelli S., Anar S., Sen M.K.C. 2009. A microbiological evaluation on the ready-to-eat red meat and chicken donair kebabs from a local catering company in Bursa. Journal of Biological & Environmental Sciences, 3 (7): 7-10.
- [42] Easa S.M.H. 2010. Microorganisms found in fast and traditional fast food. Journal of American Science, 6 (10): 515-531.
- [43] Vazgecer B., Ulu H., Oztan A. 2004. Microbiological and chemical qualities of chicken döner kebab retailed on the Turkish restaurants. Food Control, 15 (4): 261-264.
- [44] Ayaz M., Othman F.A., Bahareth T.O., Al-Sogair A.M., Sawaya W.N. 1985. Microbiological quality of shawarma in Saudi Arabia. Journal of Food Protection, 48 (9): 811-814.
- [45] Stolle A., Eisgruber H., Kerschhofer D., Krauß G. 1993. Döner kebab untersuchungen zur verkehrsauffassung und microbiologisch-hygienischen beschaffenheit im raum München. Fleischwirtschaft, 73 (9): 938-948.
- [46] Erol İ. 2007. Gıda Hijyeni ve Mikrobiyolojisi. Pozitif Matbaacılık, Ankara, 1-392.
- [47] Legnani P., Leoni E., Bervegliegi M., Mirolo G., Alvaro N. 2004. Hygienic control of mass catering establishments, microbiological monitoring of food and equipment. Food Control, 15 (3): 205-211.
- [48] Doyle M.P., Cliver D.O. 1990. *E. coli*. In: Foodborne Disease, Edited by Cliver D.O., Academic Press Inc, New York, USA, 209-215.
- [49] Anonim. 2016. Döner Eti-Pişmemiş. TS 11859, 29 Nisan 2016, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [50] Peacock S. 2006. *Staphylococcus aureus*. In: Principles and Practice of Clinical Bacteriology, Edited by Gillespie S.H., Hawkey P.M., 2nd Ed, John Wiley & Sons Ltd, UK, 73-98.
- [51] Quinn P.J., Markey B.K., Leonard F.C., FitzPatrick E.S., Fanning S., Hartigan P.J. 2011. Veterinary Microbiology and Microbial Disease. 2nd Ed, Wiley-Blackwell, UK, 1-911.
- [52] Buhunia A.K. 2018. Foodborne Microbial Pathogens-Mechanisms and Pathogenesis. 2nd Ed, Springer, New York, USA, 1-365.
- [53] Seo K.S., Bohach G.A. 2013. *Staphylococcus aureus*. In: Food Microbiology: Fundamentals and Frontiers, Edited by Doyle M.P., Buchanan R.L., 4th Ed, American Society for Microbiology (ASM) Press, Washington DC, USA, 547-573.
- [54] Topçu S. 2006. Ankara'da Satışa Sunulan Döner Kebap Çeşitlerinden *Listeria monocytogenes*, *Staphylococcus aureus*, *Aeromonas hydrophila* İzolasyonu ve Çeşitli Antibiyotiklere Direçlilikleri. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [55] Al-Shadefat B. 2011. Tüketim Sürecinde Döner Kebaplarda *Salmonella* spp. Varlığının Araştırılması. Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- [56] Anonim. 2011. Türk Gıda Kodeksi Mikrobiyolojik Kriterler Yönetmeliği. RG: 29.12.2011, 28157 (3. Mükerrer), Ankara.
- [57] Bryan F.L., Standley S.R., Henderson W.C. 1980. Time-temperature conditions of *Gyros*. Journal of Food Protection, 43 (5): 346-353.

Araştırma Makalesi / Research Article

Interdependence of Bitcoin and Other Crypto Money Indicators: CD Vine Copula Approach

Ayşe METİN KARAKAŞ^{1*}, Aslıhan DEMİR², Sinan ÇALIK²

¹Bitlis Eren University, Department of Mathematics, Bitlis, Turkey

²Fırat University, Department of Mathematics, Elazığ, Turkey

(ORCID: 0000-0003-3552-0105) (ORCID: 0000-0003-4532-1564) (ORCID: 0000-0002-4258-1662)

Abstract

In recent years, there has been a growing interest on the combination of copulas with mixture model. The combination of vine copulas incorporated into a finite mixture model is also helpful to capture secret structures in a data. This paper aims to examine the relationship between bitcoin and other crypto money indicators with the CD Vine Copula Approach method. In the study, we use closing prices of Bitcoin, Bitcoin Cash, Ethereum, Litecoin, and IOTA. The results show that there is a strong dependence between bitcoin and prominent financial indicators.

Keywords: Vine Copula, C Vine copula, D vine copula.

Bitcoin ve Diğer Kripto Para Göstergelerinin Bağımsızlığı: CD Vine Copula Yaklaşımı

Öz

Son yıllarda, kopyaların karışım modeli ile birleşimine olan ilgi giderek artmaktadır. Sonlu bir karışım modeline dahil edilen asma kopyaların kombinasyonu, bir verideki gizli yapıların yakalanmasına da yardımcı olur. Bu makale, Bitcoin ve diğer kripto para göstergeleri arasındaki ilişkiyi CD Vine Copula Approach yöntemiyle incelemeyi amaçlamaktadır. Çalışma da Bitcoin, Bitcoin Cash, Ethereum, Litecoin ve IOTA finansal göstergelerinin kapanış fiyatlarını kullanıyoruz. Sonuçlar, bitcoin ve önemli finansal göstergeler arasında güçlü bir bağımlılık olduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Vine Copula, C Vine copula, D vine copula.

1. Introduction

Bitcoin is a peer-to-peer version of electronic cash [1]. Classified as cryptocurrency, Bitcoin has become popular in recent years. The currency can be said to have an intriguing logic [2]. Although the Bitcoin world is prospering, there are several threats for users with regard to legal status and possible government sanctions [3]. Despite having detractors, Bitcoin achieved an important role and became an emerging force in the financial world after mid-2013 [4].

Rather than being issued by central organization such as a government or bank, it is completely reliant on cryptography, and the whole process of minting, storing and transfer is carried out by network of users [5]. Bitcoin was not created or controlled by a central organization, but by process called “mining”, one of the key concepts in Bitcoin world. Valid transactions are compiled in blocks, then these and previously accepted blocks are added to the ledger. All transactions must take place in the network, called block chain, thus preventing users from double spending [6]. A major problem with Bitcoin is the possibility of double-spending [7], and therefore delayed payment verification is required [8]. To avoid the double spending problem, the system depends on digital signatures to confirm ownership, and a public history of transactions [9]. There are some important general assumptions with regard to Bitcoin, such as stakeholders must accept the rules and validity of transactions, and most

*Corresponding author: akarakas@beu.edu.tr

Received: 17.07.2020, Accepted: 19.11.2020

importantly, it must be confirmed that Bitcoin has a value [10]. Bitcoin is represented by a series of signals called transaction, which have several inputs and outputs [11]. Bitcoin is established on a transaction registry dispersed across all participants [12]. Hence, this is a Proof-of-Work-based currency, in that users themselves can create crypto coin, requiring a heavy computational burden. In this paper, we used the copula approach to describe the dependence structure of variables of interest. [13] first introduced the copula theory to allow flexible description of the dependence between variables. [14] provided a thorough description of copulas from a mathematic perspective. [15] first employed the copula in the area of finance, and since has been widely applied in the field of financial risk management and portfolio decision problems. [16] made a seminal contribution to the advent of pricing multivariate option by using copula. [17] proposed Copula-GARCH models, which introduced the dynamic copula period. [18] reviewed the application of copula in financial time series. [19] supplied references, leading to the extensive list of ARCH acronyms used in the literature. [17] established model selection criteria with the ability to correctly identify the data generating process in simulated data. [21] reproduced a group of appropriately adjusted information criteria for selection of models from the AR-GARCH family. [22] examine the dependence between electricity spot markets in core European countries including France, Germany, Austria and Switzerland based on copula models. Of the ten different copulas with both time invariant and varying parameters currently in use, the empirical results show that time-varying Student-t copula is the best model for the sample data[23] explores the bivariate dependence structure between the US Dollar and four major currencies (EUR, GBP, CAD, JPY) using daily data for the time-span 1999–2014, and utilize different time-invariant and time-varying copula functions with different forms of tail dependence, and find a positive dependence between all exchange rates. In this study, we investigate the dependence among the crypto money indicators, for this, we use R vine, C vine and D vine copula modelling.

2. Material and Method

2.1. Copula Functions

The copula function is proposed to measure dependence of multivariate variables. Based on Sklar’s well-known theorem [13], copulas allow the implementation of the division of the specification of a multivariate model into two parts: the marginal distributions on one side, the dependence structure (copula) on the other. Let X and Y be random variables with continuous distribution functions F_X and F_Y , which are uniformly distributed on the interval $[0,1]$. Then, there is a copula such that for all $x, y \in R$,

$$F_{XY}(X, Y) = C(F_X(X), F_Y(Y)). \tag{1}$$

The copula C for (X, Y) is the joint distribution function for the pair $F_X(X), F_Y(Y)$ provided F_X and F_Y continuous. The copula C for (X, Y) is the joint distribution function for the pair $F_X(X), F_Y(Y)$ provided F_X and F_Y continuous. The joint probability density of the variables X and

Y is obtained from the copula density $(u, v) = \frac{\partial^2 C(u, v)}{\partial u \partial v}$, as follows:

$$f_{xy}(x, y) = c(u, v) f_x(x) f_y(y), \tag{2}$$

where $f_x(x)$ and $f_y(y)$ are the marginal densities of the random variables X and Y . According to [13], an n-dimensional joint distribution can be decomposed into its n-univariate marginal distributions and an n-dimensional copula. In the extension of Sklar’s theorem to continuous conditional distributions, [18] shows that the lower (left) and upper (right) tail dependence of two random variables is given for the copula as:

$$\lambda_l = \lim_{u \rightarrow 0} P(F_X(x) \leq u | F_Y(x) \leq u) = \lim_{u \rightarrow 0} C(u, u)/u \tag{3}$$

$$\lambda_u = \lim_{u \rightarrow 1} P(F_X(x) > u | F_Y(x) > u) = \lim_{u \rightarrow 1} 1 - 2u - C(u, u)/1 - u \tag{4}$$

where λ_j and $\lambda_u \in [0,1]$.

2.2. CD Vine Copula

A vine copula structure is simply defined as a nested set of trees describing the pairwise copula functions unconditionally at the first tree and conditionally for the rest of connected trees. This construction is presented by Bedford and Cooke as follows;

2.2.1. C Vine Copula

It is a type of regular vine distribution for which each tree has a unique node that is connected to all other nodes of the tree. It uses only star like trees and it is useful for ordering by importance. the corresponding probability density function can be written as,

$$\prod_{k=1}^n f(x_k) \prod_{j=1}^{n-1} \prod_{i=1}^{n-j} c_{j,j+i|1,\dots,j-1} F(x_j|x_1, \dots, x_{j-1}), F(x_{j+i}|x_1, \dots, x_{j-1})$$

$$f(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5) = f_1(x_1) \cdot f_2(x_2) \cdot f_3(x_3) \cdot f_4(x_4) \cdot f_5(x_5)$$

$$\cdot c_{12} \{F_1(x_1), F_2(x_2)\} \cdot c_{13} \{F_1(x_1), F_3(x_3)\} \cdot c_{14} \{F_1(x_1), F_4(x_4)\}$$

$$\cdot c_{15} \{F_1(x_1), F_5(x_5)\} \cdot c_{23|1} \{F(x_2|x_1), F(x_3|x_1)\}$$

$$\cdot c_{24|1} \{F(x_2|x_1), F(x_4|x_1)\} \cdot c_{25|1} \{F(x_2|x_1), F(x_5|x_1)\}$$

$$\cdot c_{43|12} \{F(x_4|x_1, x_2), F(x_3|x_1, x_2)\} \cdot c_{45|12} \{F(x_4|x_1, x_2), F(x_5|x_1, x_2)\}$$

$$\cdot c_{35|124} \{F(x_3|x_1, x_2, x_4), F(x_5|x_1, x_2, x_4)\} \tag{5}$$

For example, for 5 dimensional multivariate density, assuming that the first variable is selected as the root node of the first tree (T1) and the corresponding C-vine tree structure is represented in Figure 1;

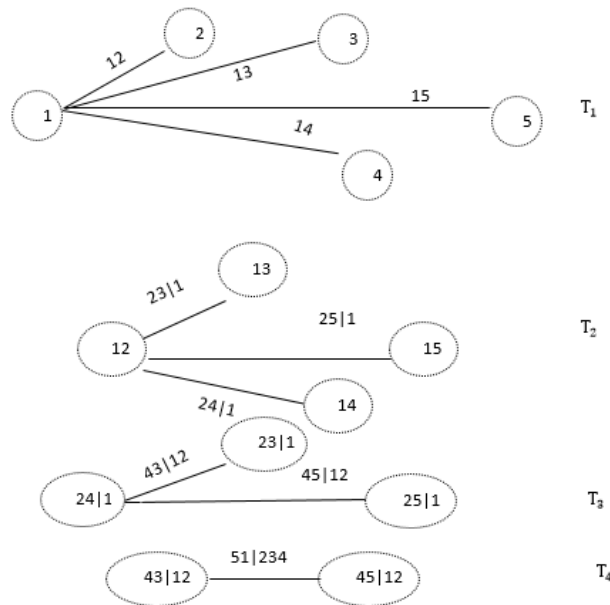


Figure 1. Tree Structure of C-Vine for 5 variables

2.2.2. D Vine Copula

D-vine is another special case for regular vine tree structure having no node in any tree is connected to more than two edges. It uses only path like trees and beneficial for temporal ordering of variables. its density function can be written as;

$$\begin{aligned}
 & \prod_{k=1}^n f(x_k) \prod_{j=1}^{n-1} \prod_{i=1}^{n-j} c_{i,i+j|i+1,\dots,i+j-1} F(x_i|x_{i+1}, \dots, x_{i+j-1}), F(x_{i+j}|x_{i+1}, \dots, x_{i+j-1}) \\
 f(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5) = & f_1(x_1) \cdot f_2(x_2) \cdot f_3(x_3) \cdot f_4(x_4) \cdot f_5(x_5) \\
 & \cdot c_{52} \{F_5(x_5), F_2(x_2)\} \cdot c_{23} \{F_2(x_2), F_3(x_3)\} \cdot c_{34} \{F_3(x_3), F_4(x_4)\} \\
 & \cdot c_{41} \{F_4(x_4), F_1(x_1)\} \cdot c_{53|2} \{F(x_5|x_2), F(x_3|x_2)\} \\
 & \cdot c_{24|3} \{F(x_2|x_3), F(x_4|x_3)\} \cdot c_{31|4} \{F(x_3|x_4), F(x_1|x_4)\} \\
 & \cdot c_{54|23} \{F(x_5|x_2, x_3), F(x_4|x_2, x_3)\} \cdot c_{21|34} \{F(x_2|x_3, x_4), F(x_1|x_3, x_4)\} \\
 & \cdot c_{51|234} \{F(x_5|x_2, x_3, x_4), F(x_1|x_2, x_3, x_4)\} \tag{6}
 \end{aligned}$$

For example, for 5 dimensional multivariate densities, D-vine model is represented by Figure 2;

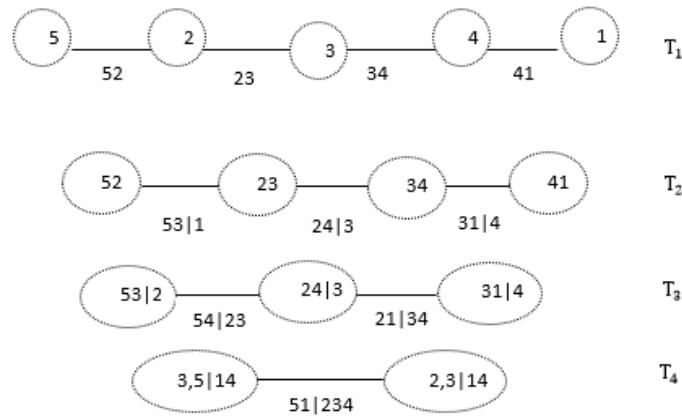


Figure 2. Tree Structure of D-Vine for 5 variables

3. Results

3.1. Data Set

We use the daily closing prices of crypto money indicators in 2018-2019. Graphical representations of the data employed are shown in figures 3, figure 4.

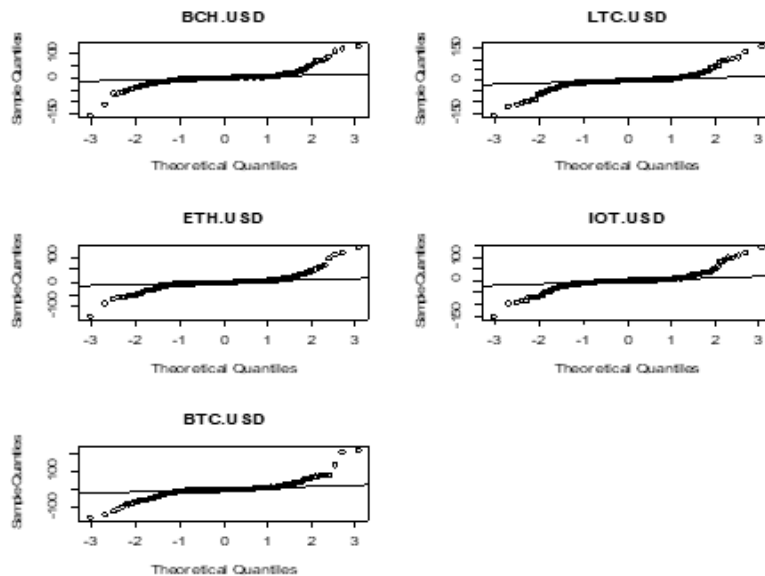


Figure 3. Quantile Graphs data of daily crypto money indicators

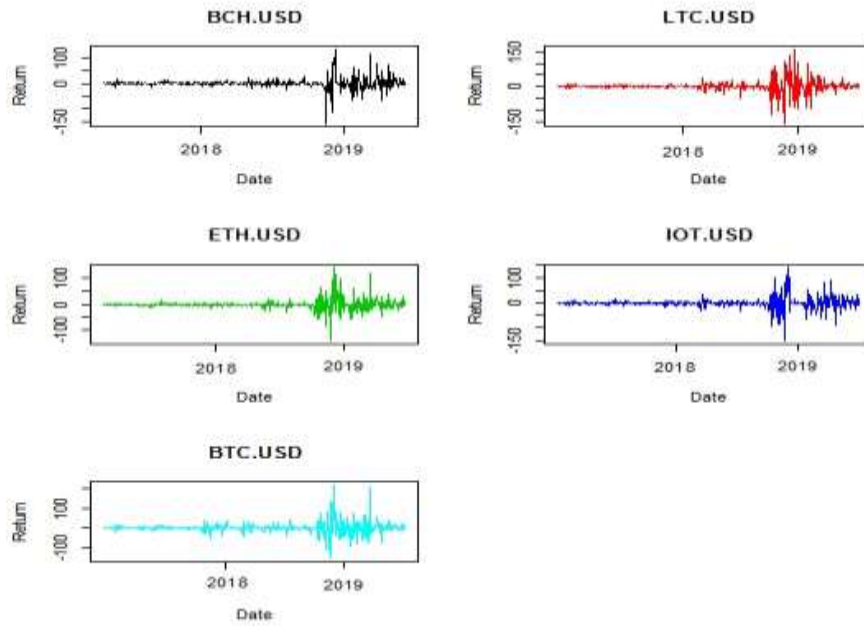


Figure 4. Returns Graphs of Daily crypto money indicators

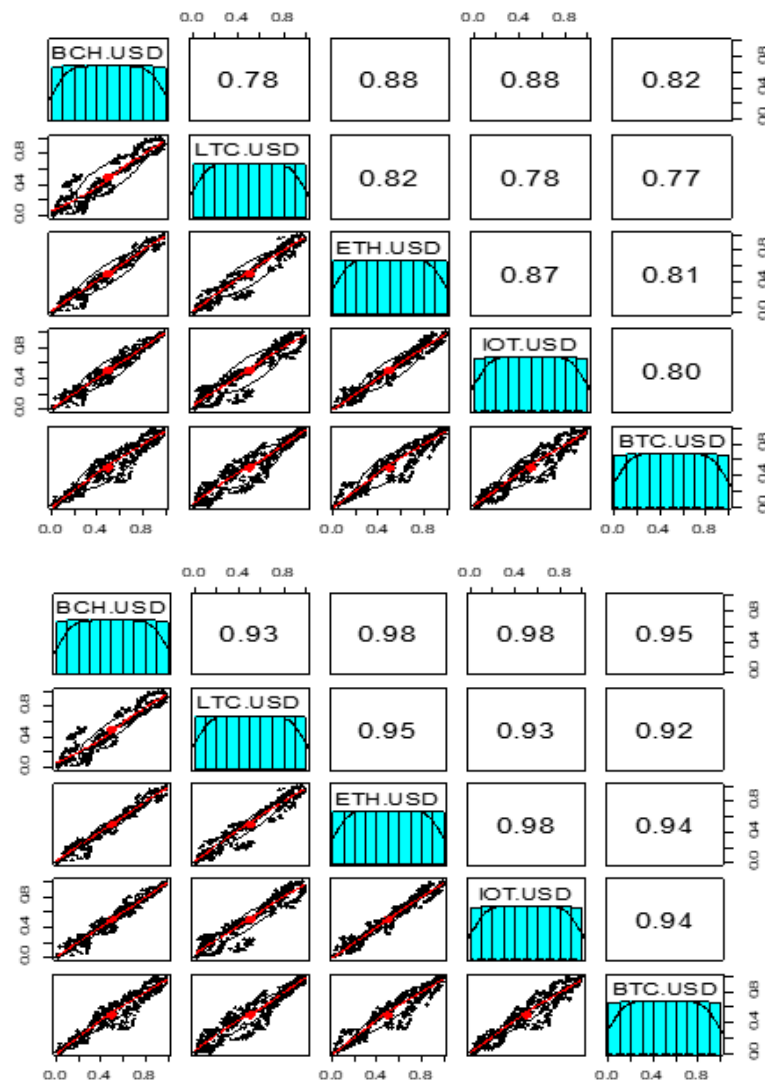


Figure 5. Kendall Tau and Spearman Rho for crypto money indicators, respectively

3.2. CD Vine Copula Approach

The empirical distribution functions used in modelling the dependence of crypto money indicators data pairs are as shown in Figure 5, 6, 7, 8 and Table 3, 4, 5, 6. For this, we used C Vine and D Vine copula. In Table 3, 4 the preferred copula families for branching and the parameter summaries of these families are given. In Figure 6 and Figure 7, for C Vine, D Vine matrix summaries and appropriate branch graphs are shown. From Table 3, 4, 5, 6 and Figure 6, 7, for dependency structure of crypto money indicators, D vine branching was found to be appropriate according to the information criteria.

3.2.1. C Vine Copula Results

Table 3. C Vine Copula Matrix Summary for crypto money indicators

1	[,1]	[,2]	[,3]	[,4]	[,5]	2	[,1]	[,2]	[,3]	[,4]	[,5]	3	[,1]	[,2]	[,3]	[,4]	[,5]
[1,]	1	0	0	0	0	[1,]	1	0	0	0	0	[1,]	1	0	0	0	0
[2,]	2	2	0	0	0	[2,]	2	2	0	0	0	[2,]	2	2	0	0	0
[3,]	5	5	5	0	0	[3,]	4	4	4	0	0	[3,]	4	4	4	0	0
[4,]	4	4	4	4	0	[4,]	5	5	5	5	0	[4,]	3	3	3	3	0
[5,]	3	3	3	3	3	[5,]	3	3	3	3	3	[5,]	5	5	5	5	5
AIC : -4874.909						AIC : -4857.973						AIC: -4850.965					
4	[,1]	[,2]	[,3]	[,4]	[,5]	5	[,1]	[,2]	[,3]	[,4]	[,5]	6	[,1]	[,2]	[,3]	[,4]	[,5]
[1,]	1	0	0	0	0	[1,]	1	0	0	0	0	[1,]	1	0	0	0	0
[2,]	2	2	0	0	0	[2,]	2	2	0	0	0	[2,]	2	2	0	0	0
[3,]	3	3	3	0	0	[3,]	3	3	3	0	0	[3,]	5	5	5	0	0
[4,]	4	4	4	4	0	[4,]	5	5	5	5	0	[4,]	3	3	3	3	0
[5,]	5	5	5	5	5	[5,]	4	4	4	4	4	[5,]	4	4	4	4	4
AIC: -4850.101						AIC : -4733.960						AIC : -4706.239					

Table 4. C Vine Copula Family Summary for crypto money indicators

Tree	Edge	Family No.	Copula	Par1	Par2	Tau	Lower tail dependency	Upper tail dependency
1	3,1	5	F	29.96	0.00	0.87	-	-
	3,2	5	F	18.75	0.00	0.81	-	-
	3,5	1	N	0.95	0.00	0.79	-	-
	3,4	5	F	27.41	0.00	0.86	-	-
2	4,1;3	7	BB1	0.73	1.20	0.39	0.22	0.45
	4,2;3	114	Tawn180	1.68	0.17	0.12	-	0.14
	4,5;3	1	N	0.30	0.00	0.19	-	-
3	5,1;4,3	10	BB8	1.99	0.88	0.24	-	-
	5,2;4,3	114	Tawn180	4.91	0.12	0.12	-	0.12
4	2,1;5,4,3	224	Tawn2_90	-1.41	0.18	- 0.09	-	-
type: C-vine logLik: 2452.45 AIC: -4874.909 BIC: -4813.68								
1 <-> BCH.USD, 2 <-> LTC.USD, 3 <-> ETH.USD, 4 <-> IOT.USD, 5 <-> BTC.USD>								

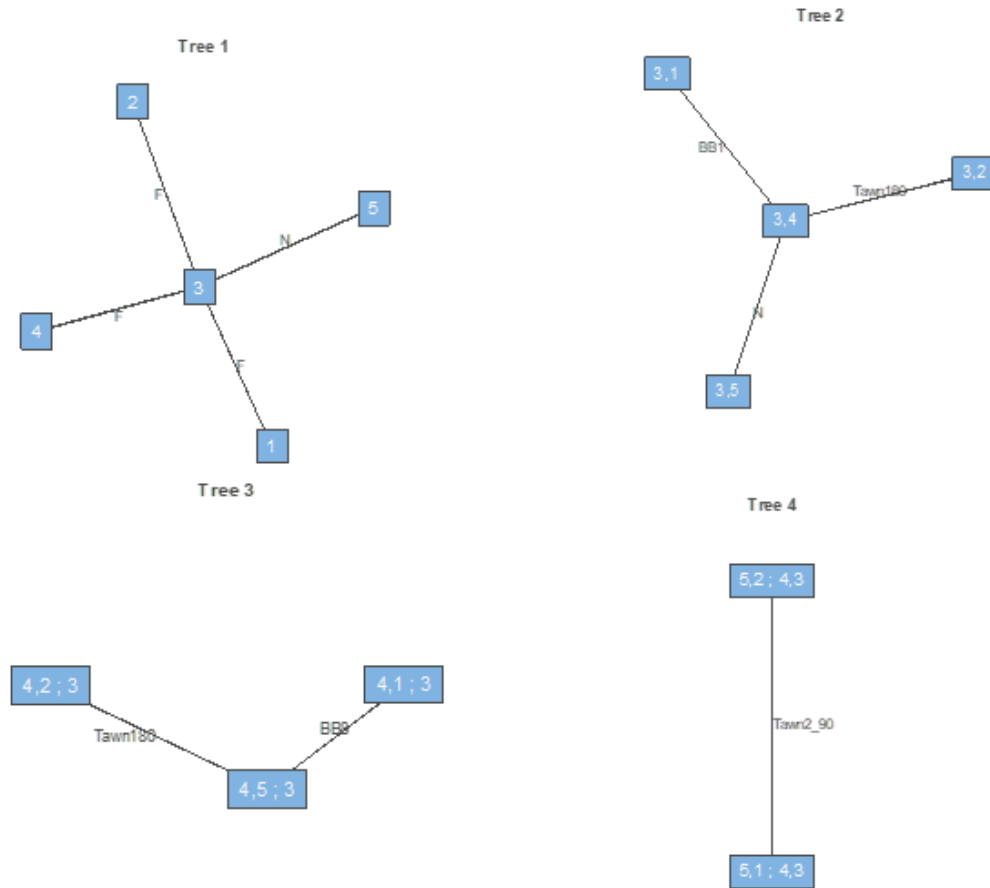


Figure 6. Tree structure of C Vine Copula Family

3.2.2. D Vine Copula Results

Table 5. D Vine Copula Matrix Summary for Depth of North Anatolian fault line

1	[,1]	[,2]	[,3]	[,4]	[,5]
[1,]	5	0	0	0	0
[2,]	1	3	0	0	0
[3,]	2	1	4	0	0
[4,]	4	2	1	2	0
[5,]	3	4	2	1	1
AIC : -4906.765					
4	[,1]	[,2]	[,3]	[,4]	[,5]
[1,]	5	0	0	0	0
[2,]	2	4	0	0	0
[3,]	1	2	3	0	0
[4,]	3	1	2	1	0
[5,]	4	3	1	2	2
AIC: -4817.077					
7	[,1]	[,2]	[,3]	[,4]	[,5]
[1,]	3	0	0	0	0
[2,]	2	5	0	0	0
[3,]	1	2	4	0	0
[4,]	4	1	2	1	0
[5,]	5	4	1	2	2
AIC : -4756.356					
10	[,1]	[,2]	[,3]	[,4]	[,5]
[1,]	4	0	0	0	0
[2,]	1	3	0	0	0
[3,]	2	1	5	0	0
[4,]	5	2	1	2	0
[5,]	3	5	2	1	1
AIC: -4708.560					
2	[,1]	[,2]	[,3]	[,4]	[,5]
[1,]	3	0	0	0	0
[2,]	2	4	0	0	0
[3,]	1	2	5	0	0
[4,]	5	1	2	1	0
[5,]	4	5	1	2	2
AIC : -4853.812					
5	[,1]	[,2]	[,3]	[,4]	[,5]
[1,]	4	0	0	0	0
[2,]	1	5	0	0	0
[3,]	2	1	3	0	0
[4,]	3	2	1	2	0
[5,]	5	3	2	1	1
AIC : -4807.290					
8	[,1]	[,2]	[,3]	[,4]	[,5]
[1,]	5	0	0	0	0
[2,]	2	3	0	0	0
[3,]	1	2	4	0	0
[4,]	4	1	2	1	0
[5,]	3	4	1	2	2
AIC : -4742.229					
11	[,1]	[,2]	[,3]	[,4]	[,5]
[1,]	5	0	0	0	0
[2,]	1	4	0	0	0
[3,]	2	1	4	0	0
[4,]	3	2	1	2	0
[5,]	4	3	2	1	1
AIC : -4653.224					
3	[,1]	[,2]	[,3]	[,4]	[,5]
[1,]	3	0	0	0	0
[2,]	1	5	0	0	0
[3,]	2	1	4	0	0
[4,]	4	2	1	2	0
[5,]	5	4	2	1	1
AIC: -4831.525					
6	[,1]	[,2]	[,3]	[,4]	[,5]
[1,]	3	0	0	0	0
[2,]	2	5	0	0	0
[3,]	1	2	4	0	0
[4,]	4	1	2	1	0
[5,]	5	4	1	2	2
AIC : -4781.940					
9	[,1]	[,2]	[,3]	[,4]	[,5]
[1,]	4	0	0	0	0
[2,]	2	3	0	0	0
[3,]	1	2	5	0	0
[4,]	5	1	2	1	0
[5,]	3	5	1	2	2
AIC: -4728.079					
12	[,1]	[,2]	[,3]	[,4]	[,5]
[1,]	3	0	0	0	0
[2,]	1	4	0	0	0
[3,]	2	1	5	0	0
[4,]	5	2	1	2	0
[5,]	4	5	2	1	1
AIC : -4612.550					

Table 6. D Vine Copula Family Summary for crypto money indicators

Tree	Edge	Family No.	Copula	Par1	Par2	Tau	Lower tail dependency	Upper tail dependency
1	3,5	1	N	0.95	0.00	0.79	-	-
	4,3	5	F	27.41	0.00	0.86	-	-
	2,4	5	F	14.84	0.00	0.76	-	-
	1,2	5	F	14.63	0.00	0.76	-	-
2	4,5;3	1	N	0.30	0.00	0.19	-	-
	2,3;4	14	SG	1.71	0.00	0.42	-	0.50
	1,4;2	7	BB1	1.39	1.70	0.65	-	0.75
3	2,5;4,3	20	SBB8	2.60	0.64	0.20	-	-
	1,3;2,4	214	Tawn2_180	1.73	0.49	0.26	-	0.33
4	1,5;2,4,3	10	BB8	1.85	0.94	0.26	-	-

type: D-vine logLik: 2467.38 AIC: -4906.765 BIC: -4849.61

1 <-> BCH.USD, 2 <-> LTC.USD, 3 <-> ETH.USD, 4 <-> IOT.USD, 5 <-> BTC.USD

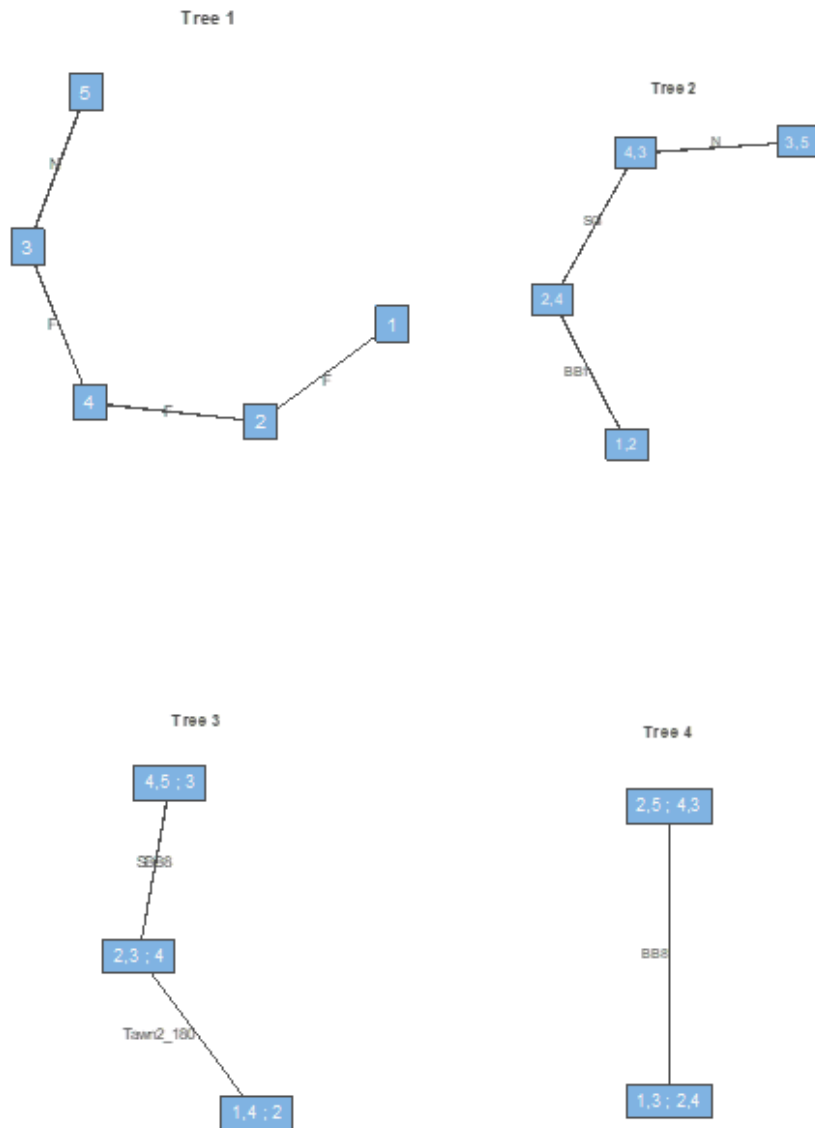


Figure 7. Tree structure of D Vine Copula Family

4. Conclusion

The bivariate copulas be formed two principal classes: elliptical and Archimedean. The elliptical copulas are the Gaussian and Student-t and Archimedean copulas are the Frank, Clayton, Joe and Gumbel. The importance of bivariate copulas of from their ability to model the symmetries and asymmetries of dependence from the joint distributions. Their important restriction from their disability to efficiently model multivariate distributions in high sizes because of their normalized practice to joint distributions that separate in characteristics. The set of the pair vine copulas contains the regular, canonical and drawable, with the canonical and drawable being specific status of the regular. The major strength of the pair vine copulas lies in their resilient modelling of dependence. In this study, we search the dependence among crypto money indicators. In conclusion, we obtain that the most suitable copula for dependence structure between crypto money indicators is dynamic D-vine copula.

Author's Contributions

All authors contributed equally.

Conflict of Interest Statement

There is no conflict of interest between the authors.

Research and Publication Ethics Statement

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

References

- [1] Nakamoto S. 2008. Bitcoin: A peer-to-peer electronic cash system. <https://bitcoin.org/en/bitcoin-paper> (Erişim tarihi: 17.06.2020).
- [2] Eyal I., Siler E.G. 2014. Majority is not enough: Bitcoin mining is vulnerable. In International conference on financial cryptography and data security. Springer, Berlin, Heidelberg, 436-454.
- [3] Grinberg R. 2012. Bitcoin: An innovative alternative digital currency. *Hastings Sci. & Tech. LJ*, 4: 159.
- [4] Yermack D. 2015. Is Bitcoin a real currency? An economic appraisal. In *Handbook of digital currency*, 31-43.
- [5] Ron D., Shamir A. 2013. Quantitative analysis of the full bitcoin transaction graph. In *International Conference on Financial Cryptography and Data Security*, Springer, Berlin, Heidelberg 6-24.
- [6] O'Dwyer K.J., Malone D. 2014. Bitcoin mining and its energy footprint. *25th IET Irish Signals & Systems Conference 2014 and 2014 China-Ireland International Conference on Information and Communities Technologies (ISSC 2014/CICT 2014)*.
- [7] Garay J., Kiayias A., Leonardos N. 2015. The bitcoin backbone protocol: Analysis and applications. In *Annual International Conference on the Theory and Applications of Cryptographic Techniques*, Springer, Berlin, Heidelberg, 281-310.
- [8] Karame G.O., Androulaki E., Capkun S. 2012. Double-spending fast payments in bitcoin. In *Proceedings of the 2012 ACM conference on Computer and communications security*, 906-917), ACM.
- [9] Reid F., Harrigan M. 2013. An analysis of anonymity in the bitcoin system. In *Security and privacy in social networks*, Springer, New York, NY, 197-223.
- [10] Kroll J.A., Davey I.C., Felten E.W. 2013. The economics of Bitcoin mining, or Bitcoin in the presence of adversaries. In *Proceedings of WEIS*, 2013: 11.
- [11] Bonneau J., Miller A., Clark J., Narayanan A., Kroll J.A., Felten E.W. 2015. Sok: Research perspectives and challenges for bitcoin and cryptocurrencies. In *Security and Privacy (SP)*, 2015 IEEE Symposium on, IEEE, 104-121.

- [12] Böhme R., Christin N., Edelman B., Moore T. 2015. Bitcoin: Economics, technology, and governance. *Journal of Economic Perspectives*, 29 (2): 213-238.
- [13] Sklar M. 1959. Fonctions de repartition an dimensions et leurs marges. *Publ. Inst. Statist. Univ. Paris*, 8: 229-231.
- [14] Nelson R.B. 1999. An Introduction to Copulas. Vol. 39, Lectures Notes in Statistics.
- [15] Embrechts P., McNeil A., Straumann D. 2002. Correlation and dependence in risk management: properties and pitfalls. *Risk management: value at risk and beyond*, 176223.
- [16] Cherubini U., Luciano E., Vecchiato W. 2004. Copula methods in finance. John Wiley & Sons, 1-310.
- [17] Mitchell H., McKenzie M.D. 2003. GARCH model selection criteria. *Quantitative Finance*, 3 (4): 262-284.
- [18] Patton A.J. 2006. Modelling asymmetric exchange rate dependence. *International economic review*, 47 (2): 527-556.
- [19] Bollerslev T. 1986. Generalized autoregressive conditional heteroskedasticity. *Journal of econometrics*, 31 (3): 307-327.
- [20] Bollerslev T. 2009. Glossary to ARCH (GARCH). In *Volatility and Time Series Econometrics: Essays in Honour of Robert F. Engle*.
- [21] Brooks C., Burke S.P. 2003. Information criteria for GARCH model selection. *The European journal of finance*, 9 (6): 557-580.
- [22] Du J., Lai K.K. 2017. Modeling Dependence between European Electricity Markets with Constant and Time-varying Copulas. *Procedia computer science*, 122: 94-101.
- [23] Albulescu C.T., Aubin C., Goyeau D., Tiwari A.K. 2018. Extreme co-movements and dependencies among major international exchange rates: A copula approach. *The Quarterly Review of Economics and Finance*, 69: 56-69.

Araştırma Makalesi / Research Article

Lucas Type Statistical Convergence of Order α

Murat KARAKAŞ*, Hacer DÖNMEZ

*Bitlis Eren University, Department of Mathematics, Bitlis, Turkey
(ORCID: 0000-0002-5174-0282) (ORCID: 0000-0002-1043-510X)*

Abstract

The main goal of the article is to establish a new regular matrix and new sequence space with the help of Lucas numbers. Also, we examine statistical convergence of order α and its some properties by using Lucas sequence which is obtained from the terms of Lucas matrix. Also, we give some topological properties and inclusion relations about these two concepts.

Keywords: Lucas sequence, Lucas numbers, Statistical Convergence, Sequence space.

Lucas Tipi α . Dereceden İstatistiksel Yakınsaklık

Öz

Bu çalışmada, Lucas sayıları yardımıyla yeni bir regüler matris ve yeni bir dizi uzayı oluşturuyoruz. Ayrıca, Lucas matrisinin terimleriyle elde edilen Lucas dizisini kullanarak α . dereceden istatistiksel yakınsaklık kavramını inceliyoruz. Bununla birlikte, bu iki kavramla ilgili bazı topolojik özellikler ve kapsama bağıntıları veriyoruz.

Anahtar kelimeler: Lucas dizisi, Lucas sayıları, İstatistiksel yakınsaklık, Dizi uzayı.

1. Introduction

Lucas number sequence which was defined by French mathematician Edward Lucas is obtained such that $L_0 = 2, L_1 = 1, L_n = L_{n-1} + L_{n-2}, n \geq 2$ similar to Fibonacci recurrence relation. Researches up to the present have proven that there are interesting and close relations between these two number sequences. Despite this relation, they possess distinct properties. Some basic characteristics of Lucas numbers can be found in Vajda [1], Kalman and Mena [2]. By using Lucas and Fibonacci numbers, some authors have introduced new sequence spaces and examined their topological and geometric properties such as, Candan and Kara [3], Kılınc and Candan [4,5], Kara [6], Kara and Başarır [7], Karakaş [8], Karakaş and Karakaş[9], Karakaş et al. [10]. The following articles can also be viewed to gain different perspectives such as Candan [11-15].

Fast [16] and Steinhaus [17] identified the notion of statistical convergence independently from each other in the same year. Throughout the years, several authors have studied this concept and its generalizations or applications such as Fridy [18], Connor [19], Cinar et al. [20], Et et al. [21,22], Işık and Akbaş [23], Mohiuddine et al. [24], Mursaleen [25], Salat [26], Srivastava and Et [27], Çolak and Bektaş [28] and many others.

During the recent years, some authors have been studying Fibonacci and Lucas numbers associated to summability theory and by viewpoint of sequence spaces. Also, the notion of statistical convergence have been working for many years by a lot of authors under different names and by distinct point of view in several areas. Lately, new results have been obtained and added to the literature. In the light of such information, we give new outcomes by combining the notions of Lucas numbers and statistical convergence with degree in this work.

*Corresponding author: mkarakas@beu.edu.tr

Received: 21.07.2020, Accepted: 03.10.2020

2. Material and Method

Let \mathbb{N} be the set of all natural numbers, $M \subseteq \mathbb{N}$ and $M(n) = \{k \leq n : k \in M\}$. The natural density of M is defined by $\delta(M) = \lim_n \frac{1}{n} |M(n)|$ if the limit exists. The vertical bars show the number of the elements in inclose set.

The sequence $x = (x_k)$ is called statistically convergent to the number L if for every $\varepsilon > 0$ $M(\varepsilon) = \{k \leq n : |x_k - L| \geq \varepsilon\}$ has natural density zero ,i.e. for every $\varepsilon > 0$

$$\lim_n \frac{1}{n} |\{k \leq n : |x_k - L| \geq \varepsilon\}| = 0.$$

The sequence $x = (x_k)$ is called statistically Cauchy sequence if for every $\varepsilon > 0$ there exists $N = N(\varepsilon)$ such that

$$\lim_n \frac{1}{n} |\{k \leq n : |x_k - x_N| \geq \varepsilon\}| = 0.$$

Gadjiev and Orhan [29] introduced the statistical convergence for degree $0 < \beta < 1$. Later, Çolak [30] studied the statistical convergence of order α and strong p -Cesaro summability of order α .

Let $x = (x_k) \in \omega$ and $\alpha \in (0, 1]$. The sequence (x_k) is named statistically convergent of order α if there is a complex number ℓ such that $\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n^\alpha} |\{k \leq n : |x_k - \ell| \geq \varepsilon\}| = 0$ i.e. for a.a.k(α) $|x_k - \ell| < \varepsilon$ for all $\varepsilon > 0$, and so we mean that x is statistically convergent of order α , to ℓ . In the present case we write $S^\alpha - \lim x_k = \ell$.

Let $\alpha \in (0, 1]$ and $p \in \mathbb{R}^+$. A sequence $x = (x_k)$ is called strongly p -Cesaro summable of order α , if there exists a complex number ℓ such that $\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n^\alpha} \sum_{k=1}^n |x_k - \ell|^p = 0$.

Now, we give two famous theorems that we will use in the continuation of this study.

Theorem 2.1. A matrix $A = (a_{nk})_{n,k=1}^\infty$ is regular if and only if the three conditions below hold:

- i. There is a $K > 0$ so much so that $\sum_{k=1}^\infty |a_{nk}| \leq K$ holds for every $n = 1, 2, 3, \dots$;
- ii. $\lim_{n \rightarrow \infty} a_{nk} = 0$ for every $k = 1, 2, 3, \dots$;
- iii. $\lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{k=1}^\infty a_{nk} = 1$ [31].

Theorem 2.2. Let X be a BK -space. Then, X_T is a BK -space such that $\|X\|_T = \|T(x)\|$ for all $x \in X_T$ [32].

3. Main Results

3.1. Lucas matrix and Lucas Sequence Space

Now, we define the following Lucas matrix

$$\hat{H} = (L_{nk}) = \begin{cases} \frac{L_k}{L_{n+2} - 3}, & 1 \leq k \leq n \\ 0, & \text{other} \end{cases}.$$

If we write the terms of this matrix, we get the following matrix:

$$H = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots \\ \frac{1}{4} & \frac{3}{4} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots \\ \frac{1}{8} & \frac{3}{8} & \frac{4}{8} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots \\ \frac{1}{15} & \frac{3}{15} & \frac{4}{15} & \frac{7}{15} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots \\ \frac{1}{26} & \frac{3}{26} & \frac{4}{26} & \frac{7}{26} & \frac{11}{26} & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots \end{bmatrix}$$

This matrix is clearly triangular, that is $L_{nn} \neq 0$ and $L_{nk} = 0$ for $k > n$. However, H is regular since the conditions of the Silverman-Toeplitz theorem are hold. On the other hand, the inverse of the matrix H is defined as follows:

$$H^{-1} = \begin{cases} \frac{L_{n+2} - 3}{L_k}, & k = n \\ -\frac{L_{n+1} - 3}{L_{k+1}}, & k = n - 1 \\ 0, & \text{other} \end{cases}$$

Now, let us describe $y = (y_k) = H_k(x)$ which is named the H – transform of a sequence $x = (x_k)$ by

$$y = (y_k) = H_k(x) = \frac{1}{L_{k+2} - 3} \sum_{i=1}^k L_i x_i. \tag{1}$$

By using this transformation, we present the Lucas sequence space

$$X(H) = \{x = (x_k) \in w : y = (y_k) \in X\}.$$

Theorem 3.1.1 The space $X(H)$ is BK – space normed by

$$\|x\|_{X(H)} = \|H(x)\|_X = \|y\|_X = \begin{cases} \sup_k |y_k|, & X = \ell_\infty, c \text{ or } c_0 \\ \left(\sum_{k=1}^\infty |y_k|^p \right)^{1/p}, & X = \ell_p (1 \leq p < \infty) \end{cases}. \tag{2}$$

Proof. Since the matrix H is triangular, the space $X(H)$ is BK – space by (2) and Theorem 2.2.

The following two theorems can be proved by similar techniques in Karakaş [7]. So, we give them without proof.

Theorem 3.1.2. The space $X(H)$ is isometrically isomorphic to the space X , that is $X(H) \cong X$.

Theorem 3.1.3. The inclusion $c_0(H) \subset c(H) \subset \ell_\infty(H)$ strictly holds.

3.2. Statistical convergence of order α defined by Lucas sequence

In this section, we'll take the sequence $Hx = (Hx_k)$ which is constructed by the terms of Lucas matrix instead of the sequence $x = (x_k)$ and give the notion of statistical convergence of order α .

Definition 3.2.1. Let $Hx = (Hx_k) \in w$ and $0 < \alpha \leq 1$. If there exists a complex number ℓ such that $\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n^\alpha} |\{k \leq n : |Hx_k - \ell| \geq \varepsilon\}| = 0$, then the sequence $Hx = (Hx_k)$ is called Lucas type statistically convergent of order α to ℓ , that is to say, if for every $\varepsilon > 0$ and $a.a.k(\alpha)$, $|Hx_k - \ell| < \varepsilon$, we state that Hx is Lucas type statistically convergent of order α to ℓ . We write for this $S^\alpha(H) - \lim x_k = \ell$

We'll use the notation $S_0^\alpha(H)$ to show the set of all Lucas type statistically convergent null sequences of order α . Lucas type statistical convergence of order α is well-defined for $\alpha \in (0, 1]$, but for $\alpha > 1$, it isn't well-defined. To see this, let us take the sequence

$$x = (x_k) = \left(0, \frac{4}{3}, -1, \frac{15}{7}, -\frac{15}{11}, \frac{44}{18}, -\frac{44}{29}, \frac{120}{47}, \dots \right).$$

Hence, we obtain the sequence $Hx = (Hx_k)$ as follows:

$$(Hx_k) = \begin{cases} 1, & k = 2n \\ 0, & k \neq 2n \end{cases} \quad n = 1, 2, 3, \dots$$

In this case, both

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n^\alpha} |\{k \leq n : |Hx_k - 1| \geq \varepsilon\}| \leq \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{n}{2n^\alpha} = 0 \quad \text{and} \quad \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n^\alpha} |\{k \leq n : |Hx_k| \geq \varepsilon\}| \leq \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{n}{2n^\alpha} = 0.$$

Accordingly, $S^\alpha(H) - \lim x_k = 1$ and $S^\alpha(H) - \lim x_k = 0$, but it is impossible.

Theorem 3.2.2. Let $\alpha \in (0, 1]$ and $x = (x_k), y = (y_k)$ be sequences of complex numbers. Then,

- i. $S^\alpha(H) - \lim cx_k = cx_0$, if $c \in \mathbb{C}$ and $S^\alpha(H) - \lim x_k = x_0$.
- ii. $S^\alpha(H) - \lim (x_k + y_k) = x_0 + y_0$, if $S^\alpha(H) - \lim x_k = x_0$ and $S^\alpha(H) - \lim y_k = y_0$.

Proof. It can be demonstrated by using similar method in Çolak [24].

Every convergent sequence is Lucas type statistically convergent of order α but the opposite is not true. For instance, if we consider the sequence $x = (x_k) = \left(1, -\frac{1}{3}, 0, 0, 0, 0, 0, \frac{120}{47}, \dots \right)$, the sequence $Hx = (Hx_k)$ is equal to

$$(Hx_k) = \begin{cases} 1, & k = n^3 \\ 0, & k \neq n^3 \end{cases} \quad (3)$$

Since $S^\alpha(H) - \lim x_k = 0$ for $\alpha > \frac{1}{3}$, the sequence is Lucas type statistically convergent of order α .

But it is not convergent.

Theorem 3.2.3. $S^\alpha(H) \subseteq S^\beta(H)$ for $0 < \alpha \leq \beta \leq 1$ and the inclusion is strict for some α and β where $\alpha < \beta$.

Proof. For every $\varepsilon > 0$, the inequality

$$\frac{1}{n^\beta} |\{k \leq n : |Hx_k - \ell| \geq \varepsilon\}| \leq \frac{1}{n^\alpha} |\{k \leq n : |Hx_k - \ell| \geq \varepsilon\}|$$

holds and so it is obtained that $S^\alpha(H) \subseteq S^\beta(H)$ for $0 < \alpha \leq \beta \leq 1$. Now, let us show the strictness of the inclusion. To do this, take the sequence

$$x = (x_k) = \left(1, -\frac{1}{3}, 0, \frac{15}{7}, -\frac{15}{11}, 0, 0, 0, \dots\right). \tag{4}$$

Then, we find the sequence $Hx = (Hx_k)$ such that $(Hx_k) = \begin{cases} 1, & k = n^2 \\ 0, & k \neq n^2 \end{cases}$ and

this gives that $S^\beta(H) - \lim x_k = 0$, that is $x \in S^\beta(H)$ for $\beta \in \left(\frac{1}{2}, 1\right]$ but $x \notin S^\alpha(H)$ for $\alpha \in \left(0, \frac{1}{2}\right]$.

From Theorem 3.2.3, we can give the result below:

Corollary 3.2.4. $S^\alpha(H) = S^\beta(H)$ if and only if $\alpha = \beta$.

Definition 3.2.5. Let $p \in \mathbb{Q}^+$ and $\alpha \in (0, 1]$. If there is a complex number ℓ such that $\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n^\alpha} \sum_{k=1}^n |Hx_k - \ell|^p = 0$, a sequence $Hx = (Hx_k)$ is called Lucas type strongly p -Cesaro summable of order α . We'll apply the notation $w_p^\alpha(H)$ for the set of all Lucas type strongly p -Cesaro summable sequences of order α .

Theorem 3.2.6. $w_p^\alpha(H) \subseteq w_p^\beta(H)$ for $0 < \alpha \leq \beta \leq 1$ and $p \in \mathbb{Q}^+$. Also, the inclusion is strict for some α and β where $\alpha < \beta$.

Proof. By using the sequence $x = (x_k)$ defined in (4), the required result is easily obtained by standard method in Çolak [24].

Corollary 3.2.7. Let $0 < \alpha \leq \beta \leq 1$ and $p \in \mathbb{Q}^+$. Then, $w_p^\alpha(H) = w_p^\beta(H)$ if and only if $\alpha = \beta$.

Theorem 3.2.8. Let $0 < p < \infty$ and α, β be fixed real numbers such that $0 < \alpha \leq \beta \leq 1$. Then, a sequence is Lucas type statistically convergent of order β if it is Lucas type strongly p -Cesaro summable of order α .

Proof. We can write $\sum_{k=1}^n |Hx_k - \ell|^p \geq \left| \left\{ k \leq n : |Hx_k - \ell|^p \geq \varepsilon \right\} \right| \cdot \varepsilon^p$ for any sequence $Hx = (Hx_k)$ and $\varepsilon > 0$. Therefore, we get

$$\frac{1}{n^\alpha} \sum_{k=1}^n |Hx_k - \ell|^p \geq \frac{1}{n^\alpha} \left| \left\{ k \leq n : |Hx_k - \ell|^p \geq \varepsilon \right\} \right| \cdot \varepsilon^p \geq \frac{1}{n^\beta} \left| \left\{ k \leq n : |Hx_k - \ell|^p \geq \varepsilon \right\} \right| \cdot \varepsilon^p.$$

From this inequality, the proof is completed.

Remark 3.2.9. If we look closely, the opposite of the previous theorem is not generally true. It is seen that a sequence is not obliged to Lucas type strongly p – Cesaro summable of order α for $\alpha \in (0,1)$ when it is bounded and Lucas type statistically convergent of order α . As an example, we consider the following sequence:

$$(Hx_k) = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{k}}, & k \neq m^3 \\ 1, & k = m^3 \end{cases}.$$

So, it is clear that $x \in S^\alpha(H)$. Now, let us remember the inequality $\sum_{k=1}^n \frac{1}{\sqrt{k}} > \sqrt{n}$ for every positive integer $n \geq 2$ and take $M_n = \{k \leq n : k \neq m^3, m = 1, 2, 3, \dots\}$ and choose $p = 1$. Due to

$$\begin{aligned} \sum_{k=1}^n |Hx_k|^p &= \sum_{k=1}^n |Hx_k| = \sum_{k \in M_n, 1 \leq k \leq n} |Hx_k| + \sum_{k \notin M_n, 1 \leq k \leq n} |Hx_k| \\ &= \sum_{k \in M_n, 1 \leq k \leq n} \frac{1}{\sqrt{k}} + \sum_{k \notin M_n, 1 \leq k \leq n} 1 > \sum_{k=1}^n \frac{1}{\sqrt{k}} > \sqrt{n} \end{aligned}$$

we obtain

$$\frac{1}{n^\alpha} \sum_{k=1}^n |Hx_k|^p = \frac{1}{n^\alpha} \sum_{k=1}^n |Hx_k| > \frac{1}{n^\alpha} \sum_{k=1}^n \frac{1}{\sqrt{k}} > \frac{1}{n^\alpha} \sqrt{n} = \frac{1}{n^{\alpha-\frac{1}{2}}} \rightarrow \infty.$$

From here, if $p = 1$, $x \notin w_p^\alpha(H)$ for $\alpha \in \left(0, \frac{1}{2}\right)$. As a consequence, $x \in S^\alpha(H) - w_p^\alpha(H)$.

4. Conclusion

Fibonacci and Lucas numbers have become a part of approximation of introducing a sequence space by the aid of matrix domain of an infinite matrix in the last decade. Accordingly, we also define new matrix and new sequence space by means of Lucas numbers. In addition to this, we investigate the notions of statistical convergence and strongly p – Cesaro summability with degree α by using the sequences obtained from the terms of the matrix we define. The results in this article can be extended and studied by researchers for different types of statistical convergence. Also, it can be considered from a different perspective.

Author’s Contributions

This study is generated by the master thesis titled “Statistical Convergence of Order α Defined By Lucas Numbers” of Hacer Dönmez and her supervisor Murat Karakaş.

Statement of Conflicts of Interest

No conflicts of interest was reported by authors.

Statement of Research and Publication Ethics

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

References

- [1] Vajda S. 1989. Fibonacci and Lucas Numbers, and the Golden Section: Theory and Applications. Dover Publications Inc., New York, 1-190.
- [2] Kalman D., Mena R. 2003. The Fibonacci Numbers: Exposed. *Mathematics Magazine*, 76 (3): 167-181.
- [3] Candan M., Kara E.E. 2015. A Study on Topological and Geometrical Characteristics of new Banach Sequence Spaces. *Gulf Journal of Mathematics*, 3 (4): 67-84.
- [4] Kılınç G., Candan M. 2017. Some Generalized Fibonacci Difference Spaces Defined by a Sequence of Modulus Functions. *Facta Universitatis, Series: Mathematics and Informatics*, 32 (1): 95-116.
- [5] Candan M., Kılınç G. 2015. A Different Look for Paranormed Riesz Sequence Space Derived by Fibonacci Matrix. *Konuralp Journal of Mathematics*, 3 (2): 62-76.
- [6] Kara E.E. 2013. Some Topological and Geometrical Properties of New Banach Sequence Spaces. *Journal of Inequalities and Applications*, 2013:38, 1-15.
- [7] Kara E.E., Başarır M. 2012. An Application of Fibonacci Numbers into Infinite Toeplitz Matrices. *Caspian Journal of Mathematics Sciences*, 1 (1): 1-6.
- [8] Karakaş M. 2015. A New Regular Matrix Defined by Fibonacci Numbers and Its Applications. *BEU Journal of Science*, 4 (2): 205-210.
- [9] Karakaş M., Karakaş A.M. 2018. A Study on Lucas Difference Sequence Spaces $\ell_p(\hat{E}(r,s))$ and $\ell_\infty(\hat{E}(r,s))$. *Maejo International Journal of Science and Technology*, 12 (1): 70-78.
- [10] Karakaş M., Akbaş T., Karakaş A.M. 2019. On the Lucas Difference Sequence Spaces Defined by Modulus Function. *Applications and Applied Mathematics*, 14 (1): 235-244.
- [11] Candan M. 2014. A New Sequence Space Isomorphic to the Space ℓ_p and Compact Operators. *Journal of Mathematical and Computational Science*, 4 (2): 306-334.
- [12] Candan M. 2014. Some New Sequence Spaces Derived from the Spaces of Bounded, Convergent and Null Sequences. *International Journal of Modern Mathematical Sciences*, 12 (2): 74-87.
- [13] Candan M. 2015. A New Approach on the Spaces of Generalized Fibonacci Difference Null and Convergent Sequences. *Mathematica Aeterna*, 5 (1): 191-210.
- [14] Candan M. 2014. Domain of the Double Sequential Band matrix in the Spaces of Convergent and Null Sequences. *Advances in Difference Equations*, 2014: 163, 1-18.
- [15] Candan M. 2015. Vector Valued Orlicz Sequence Space Generalized with an Infinite Matrix and Some of Its Specific Characteristics. *General Mathematics Notes*, 29 (2): 1-16.
- [16] Fast H. 1951. Sur La Convergence Statistique. *Colloquium Mathematicum*, 2: 241-244.
- [17] Steinhaus H. 1951. Sur la Convergence Ordinaire et La Convergence Asymptotique. *Colloquium Mathematicum*, 2: 73-74.
- [18] Fridy J.A. 1985. On Statistical Convergence. *Analysis*, 5: 301-313.
- [19] Connor J.S. 1988. The Statistical and Strong p-Cesàro Convergence of Sequences. *Analysis*, 8: 47-63.
- [20] Çınar M., Karakaş M., Et M. 2013. On Pointwise and Uniform Statistical Convergence of Order α for Sequences of Functions. *Fixed Point Theory and Applications*, 2013:33, 1-11.
- [21] Et M., Tripathy B.C., Dutta A.J. 2014. On Pointwise Statistical Convergence of Order α of Sequences of Fuzzy Mappings. *Kuwait Journal of Science*, 41 (3): 17-30
- [22] Et M., Çolak R., Altın Y. 2014. Strongly Almost Summable Sequences of Order α . *Kuwait Journal of Science*, 41 (2): 35-47.
- [23] Işık M., Akbaş K.E. 2017. On λ – Statistical Convergence of order α in Probability. *Journal of Inequalities and Special Functions*, 8 (4): 57-64.
- [24] Mohiuddine S.A., Alotaibi A., Mursaleen M. 2013. Statistical Convergence Through De La Vallee-Poussin Mean in Locally Solid Riesz Spaces. *Advances in Difference Equations*, 2013:66, 1-10.
- [25] Mursaleen M. 2000. λ – Statistical Convergence. *Mathematica Slovaca*, 50 (1): 111-115.

- [26] Salat T. 1980. On Statistically Convergent Sequences of Real Numbers. *Mathematica Slovaca*, 30 (2): 139-150.
- [27] Srivastava H.M., Et M. 2017. Lacunary Statistical Convergence and Strongly Lacunary Summable Functions of Order α . *Filomat*, 31 (6): 1573-1582.
- [28] Çolak R., Bektaş Ç.A. 2011. λ -Statistical Convergence of Order α . *Acta Mathematica Scientia*, 31 (3): 953-959.
- [29] Gadjiev A.D., Orhan C. 2002. Some Approximation Theorems via Statistical Convergence. *Rocky Mountain Journal of Mathematics*, 32 (1): 129-138.
- [30] Çolak R. 2010. Statistical Convergence of Order α . *Modern Methods in Analysis and Its Applications*, Edited by Mursaleen M., Anamaya Publishers, New Delhi, India, 121-129.
- [31] Başar F. 2011. *Summability Theory and Its Applications*. Bentham Science Publishers, İstanbul, 1-402.
- [32] Wilansky A. 2000. *Summability Through Functional Analysis*. Elsevier Science Publishers, Amsterdam, 1-317.

Araştırma Makalesi / Research Article

TiNb-esaslı β -Ti Alaşımlarının Kristal Yapı, Mikroyapı ve Dönüşüm Sıcaklıklarına Tantal Katkısının Etkileri

Ercan ERCAN^{1*}, Fethi DAĞDELEN²

¹Bitlis Eren Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, Bitlis
²Fırat Üniversitesi, Fen Fakültesi, Fizik Bölümü, Elazığ
(ORCID: 0000-0002-1583-6068) (ORCID: 0000-0001-9849-590X)

Öz

β -tipi Ti-esaslı alaşımlar yüksek sıcaklıktaki dayanıklılığı ve biyo-uyumluluğu sayesinde uzay teknolojisi ve medikal alanlarda kullanımı yaygın olan materyallerdir. Nb ve Ta gibi düşük yoğunluklu, üstün korozyon direnci ve toksik olmayan özelliklere sahip elementler ile takviye edilmesi, β -tipi Ti-esaslı alaşımları daha da çekici hale getirmiştir. Hazırlanan TiNb_(24,5-x)Ta_(x=0,1,2,3,4) (at. %) alaşımlarının kristalografik özellikleri, mikroyapısı ve dönüşüm sıcaklıkları incelendi. DSC analizlerinden 5,5 °C ile 41,1 °C aralığında sadece $\alpha \rightarrow \beta$ ters dönüşümü gözlemlenmiştir. Oda sıcaklığında yapılan XRD analizleri ile DSC sonuçlarının uyumlu olduğu görülmüştür. Baskın β fazlarına karşın α fazlarının küçük miktarlar da olduğu tespit edilmiştir. β fazının baskın olması Ta ve Nb elementlerinin fazını kararlı hale getirdiği göstermiştir. Optik mikroskop görüntülerinden, Ta ilavesi ile tane yapıları içerisindeki β fazının ve bu fazın tane sınırlarının belirginleştiği görülmüştür. α fazının, SEM-EDX görüntülerinden alınan sonuçlara göre çökelti fazı olduğu görülmüştür. Ayrıca EDX sonuçları ile Ta element konsantrasyonunun tane sınırlarında arttığı bulunmuştur. Alaşımların değerlik elektron sayısı (e_v/a) ve ortalama değerlik elektron konsantrasyonu oranları (c_v) [$(e_v/a < 5, c_v \sim 0,15)$] ile oda sıcaklığı altında dönüşüm sergilemesi, bu alaşımların düşük değerli alaşımlar olduğunu gösterir.

Anahtar kelimeler: β -tipi Ti alaşımlar, kristal yapı, mikroyapı, ters dönüşümlü martensit.

The Effects of Tantalum Additive on the Crystal Structure, Microstructure and Transformation Temperatures of TiNb-based β -Ti Alloys

Abstract

β -type Ti-based alloys are materials which widely used in the aerospace technology and medical fields because it has a sufficient biocompatibility and high temperature resistance. Reinforcement with low-density, high corrosion resistance and non-toxic elements, such as Nb and Ta alloying with β -type of Ti-based alloys even more attractive. The crystallographic properties, microstructure and transformation temperatures of TiNb (24,5-x) Ta (x = 0,1,2,3,4) (at.%) alloys were investigated. The DSC analysis showed only $\alpha \rightarrow \beta$ reverse transformation for the temperature range of 5,5 °C to 41,1 °C. DSC results were found to be compatible with X-ray analysis taken at room temperature. It was found that α phases were in small amounts despite dominant β phases. The dominance of the β phase has shown that the Ta and Nb elements are good stabilizer. It was observed from optical microscope images that the phase within the grain structures and the grain boundaries of this phase became clear with the addition of Ta. According to the results obtained from SEM-EDX images, the α phase was found to be the precipitate phase. Additionally, the EDX results showed that Ta elements concentration increased in the grain boundaries. The number of valance electrons (e_v/a) and average concentration of valance electron (c_v) values ($e_v/a < 5, c_v \sim 0,15$) and transformation below room temperature indicated that these alloys are low value alloys.

Keywords: β -type Ti, crystal structure, microstructure, reverse martensite.

*Sorumlu yazar: eercan@beu.edu.tr

Geliş Tarihi: 30.07.2020, Kabul Tarih: 03.10.2020

1. Giriş

Son zamanlarda β -tipi Ti-esaslı alaşımlar, üstün korozyon direnci, yüksek mukavemet, yüksek biyoyuymululuk ve yüksek sıcaklıkta kullanılabilme özelliklerinin yanı sıra düşük yoğunluklu olması sayesinde popüler hale gelmiştir [1-6]. β -tipi Ti alaşımlarının bahsedilen özelliklerinin yanında şekil hafıza etkisi ve süper-elastik malzemeler olması bu alaşım grubunun havacılık ve biyomedikal alanda sıklıkla kullanılmasını sağlamıştır [2, 4, 7, 8]. β -tipi Ti-esaslı alaşımlarda şekil hafıza ve süper-elastiklik etkisini sağlayan, β (düzensiz bcc), α'' (altıgen martensit) ve α (ortorombik martensit) fazların varlığı önemlidir [2, 9]. Özellikle yarı-kararlı β (düzensiz bcc) fazının ani soğutma, yaşlandırma ve deformasyon ile şekil hafıza özelliklerinin değiştiği bilinmektedir [10, 11]. Bu şekil hafıza davranışının alaşımın bileşimine bağlı olarak $\beta \leftrightarrow \alpha''$ veya $\beta \leftrightarrow \alpha$ martensitik dönüşümler sergilediği belirlenmiştir [10, 12]. Bunun yanı sıra, süper-elastikliği içeren $\beta \leftrightarrow \alpha''$ veya $\beta \leftrightarrow \alpha$ faz dönüşümlerinin, β stabilizatör (fazın dengelenmesi) element grupları olarak adlandırılan elementlerin takviyesi ile şekil hafıza özelliklerinin artırılması da mümkündür. Bahsedilen β stabilizatörlerin üç gruba ayrıldığı bilinmektedir. Bunlar [8, 11, 13, 14];

1. β -Ti'ye izomorf olan ve α -fazında sınırlı çözünürlüğe sahip katı çözeltiler oluşturan elementler: Ta, Nb, V ve Mo,
2. β -Ti'ye izomorf olan ve α ve β -Ti'de sürekli çözünürlüğe sahip katı çözeltiler oluşturan elementler: Zr ve Hf
3. α ve β -Ti'de sınırlı çözünürlüğe sahip katı çözeltiler oluşturan ve metaller arası bileşikler oluşturan elementler: Mn, Cr, Fe, Cu, Ni, Si, ve Co

olarak sıralanmaktadır. Ayrıca yüksek sıcaklıkta altıgen kristal yapıya sahip Titanyumun stabilize edici elementlerin ilave edilmesiyle ortam koşullarında (oda sıcaklığı) yarı-kararlı faz yapısını da koruduğu bilinmektedir. Bu element grupları içerisinde Ta ve Nb β -fazını en güçlü şekilde kararlı hale getirici olması bakımından önemlidir ve Ti-esaslı şekil hafızalı alaşımlara ilave edilmesi son yıllarda araştırmacıların dikkatini çekmiştir. Ta ve Nb ile oluşturulan TiNb ve TiNb-Ta alaşımların ani soğutma ile martensit fazdaki α'' - fazının oluşumuna ve β -fazının oda sıcaklığında stabilize olmasını sağlamak martensit fazlar için önemlidir. TiNb alaşımlarına Sn, Al, O, N, Mo, Pt, Pd, Ta, Zr, gibi birçok element, farklı konsantrasyonlarda katılarak oluşturulan yeni alaşım gruplarının süper-elastik özellikleri birçok araştırmacı tarafından incelenmiştir [15-23]. Ancak TiNb alaşımına bazı konsantrasyonlarda Ta elementinin ilave edilmesiyle oluşturulan alaşımların martensit faz özelliklerinin incelenmesinin hala eksik olduğu bilinmektedir. Yapılan bazı çalışmalarda artan Nb ve Ta element ilavesiyle dönüşüm sıcaklıklarının azaldığı görülmüştür. Ancak literatürde azalan Nb oranının da artan Ta ilavesi ile dönüşüm sıcaklıklarının nasıl değiştiği hakkında pek bilgi olmadığı görülmüştür.

Bu çalışmada TiNb alaşımlarına, toksik özelliği zayıf olan ve β fazını kararlı hale getiren Ta element katkısı ile farklı oranlarda yeni TiNb-Ta alaşımları üretip, atom başına değerlik elektronları (e_v/a), ve değerlik elektronlarının ortalama konsantrasyon oranları (c_v) hesaplanıp karşılaştırılması, değişen Nb ve Ta miktarı sonucundan alaşımlardaki kristal yapı, dönüşüm sıcaklığı ve mikroyapı değişimlerinin incelenmesi hedeflenmiştir.

2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada, üretilmiş olan TiNb ve TiNb-Ta alaşımlarının Tablo 1'de verilen atom başına değerlik elektronları (e_v/a), değerlik elektronlarının ortalama konsantrasyon oranları (c_v) ve atomik oranları hesaplandı. % 99,9 Ti, % 99,9 Nb ve % 99,9 saflıkta Ta (Merk marka - 325 merch) elementleri karıştırılarak toz numuneler elde edildi. Toz halindeki elementler homojen olarak karıştırılmasının ardından, yaklaşık 15 MPa basınç altında ve 13mm çapında peletler haline getirildi. Peletler, argon atmosferi altında Ark-ergitme yöntemi ile en az 5 kez yeniden eritilerek 20 gramlık numuneler üretildi. Bütün numuneleri homojenleştirilmek için kül fırını ortamına argon gazı verilerek 850 °C de 24 saat süreyle bekletilip tuzlu - buzlu suda soğutuldu.

X-ışını, optik mikroskop, SEM (Scanning Elektron Mikroskop) ve DSC (Differential Scanning Calorimeter) analizleri için Dremel 4200 elektrikli kesici yardımıyla belirli boyutlarda parçalar kesildi ve kesilen parçalardan elde edilen DSC numuneleri 850 °C de 30 dakika süreyle tekrardan ısıtılıp tuzlu-buzlu suda soğutuldu. Bu işlem dönüşüm sıcaklıkları belirlenecek numunelerdeki kesmeden kaynaklı zorların ortadan kaldırılması için yapıldı. Alaşımların X-ışını analizleri Bruker Discover D8 X-ray

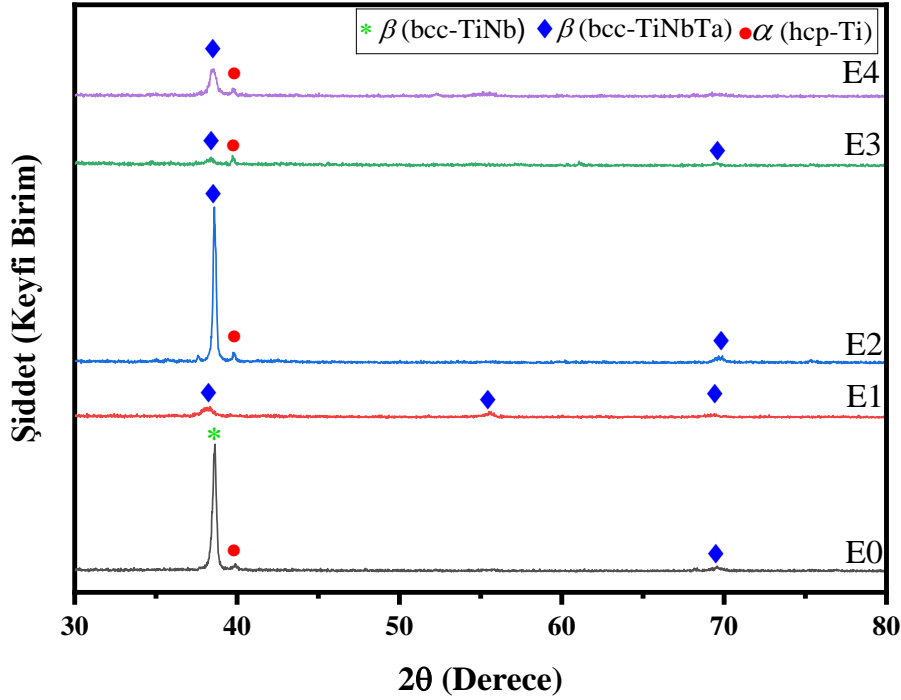
difraction (XRD) cihazı (CuK_{α} $\lambda=1,5418$) kullanılarak $30-80^{\circ}$ arasında $2^{\circ}/\text{dak}$. sabit tarama hızı ile oda sıcaklığında yapıldı. Optik mikroskop ölçümleri alınacak olan alaşımlar soğuk bakalite alınıp, METKON FORCIPOL-2 Zımparalama ve Parlatma Cihazında sırasıyla 240, 400, 600, 800, 1000, 1200 ve 2000 mesh zımpara kâğıtları kullanılarak zımparalandı. Çuha ve elmas pasta kullanılarak yüzeyleri parlatılan numuneler, $HNO_3(5\%) + HF(10\%) + H_2O(85\%)$ oranlarında hazırlanan dağlayıcı yardımıyla 10 saniye süreyle dağlandı. Saf su ve alkol ile yüzeyleri temizlenip kurutulan numuneler NIKON MA100 Ters Metal Mikroskobu cihazı ile metalografik gözlemleri yapıldı. Ardından Jeol JSM 7001F SEM-EDX cihazı kullanılarak yüzey analizleri yapıldı. Son olarak dönüşüm sıcaklıklarını belirlemek için Perkin Elmer Sapphire marka DSC cihazı ile $10^{\circ}C/\text{dak}$. ısıtma \leftrightarrow soğutma hızıyla azot gazı atmosferinde ısı akısı ölçümleri yapıldı.

Tablo 1. Hazırlanan numunelerin atomikçe (% at), ağırlıkça (% wt), atom başına değerlik elektronları ve değerlik elektronlarının ortalama konsantrasyon oranları

	Kütlece (% ağırlıkça)			Atomikçe (% atomikçe)			$\frac{e_v}{a}$ (elektron/atom)	c_v
	Ti	Nb	Ta	Ti	Nb	Ta		
E0	61,356	38,644	-	75,5	24,5	-	4,245	0,159
E1	60,452	36,521	3,027	75,5	23,5	1,0	4,225	0,156
E2	59,575	34,459	5,966	75,5	22,5	2,0	4,205	0,154
E3	58,723	32,456	8,821	75,5	21,5	3,0	4,185	0,151
E4	57,894	30,511	11,595	75,5	20,5	4,0	4,165	0,149

3. Bulgular ve Tartışma

Şekil 1’de $TiNb_{(24,5-x)}Ta_{(x=0,1,2,3,4)}$ (% at) oranlarında hazırlanan E0, E1, E2, E3 ve E4 numunelerinin oda sıcaklığında alınan X-ışını analizleri verildi. X-ışını difraktogramlarından elde edilen pikler incelendiğinde $\beta \leftrightarrow \alpha$ martensitik dönüşümü esnasında, kısmi dönüşüme bağlı olarak β fazının piklerinin belirgin olduğu görülmüştür. Ayrıca β fazının yanı sıra küçük miktarlarda α fazının varlığı mevcuttur. Artan Ta element ilavesi ile E1, E2, E3 ve E4 alaşımlarında görülen mevcut fazların pik şiddetlerinde azalmalar meydana gelmiştir. Pik şiddetlerindeki bu azalışın, yarı-kararlı β martensit fazından kaynakladığı önceki çalışmalarda rapor edilmiştir [4,7,9, 24]. TiNb ve TiNb-Ta alaşımlarındaki martensit dönüşümü sergileyen α'' ve α faz piklerinin XRD analizlerinde düşük şiddetlerde görülmesi, martensit dönüşümün oda sıcaklığının altında meydana gelmesinden kaynaklanmaktadır. Ayrıca, TiNb-esaslı alaşımlarda eklenen üçüncü element (Ta) ile β martensit fazının α martensit fazına göre daha baskın olmasıyla β martensit fazını dengelendiği de düşünülmektedir. β martensit fazının baskın bir şekilde görülmesi, ilave edilen Ta elementinin iyi bir β stabilizatör olduğu anlamına da gelmektedir. Austenit dönüşümün oda sıcaklığına yakın değerlerde meydana gelmesi, bu dönüşüm ile ilgili olan β fazının X-ışını analizinde baskın olduğunun bir başka kanıtıdır. Ancak Dubinskiy ve arkadaşlarının TiNb-Ta alaşımları için 100 ile $-150^{\circ}C$ sıcaklık aralığında yapmış oldukları XRD analizlerinde, TiNb-Ta alaşımlarında aslında $\beta \leftrightarrow \alpha''$ dönüşümünün varlığının olduğu belirlenmiştir [10].

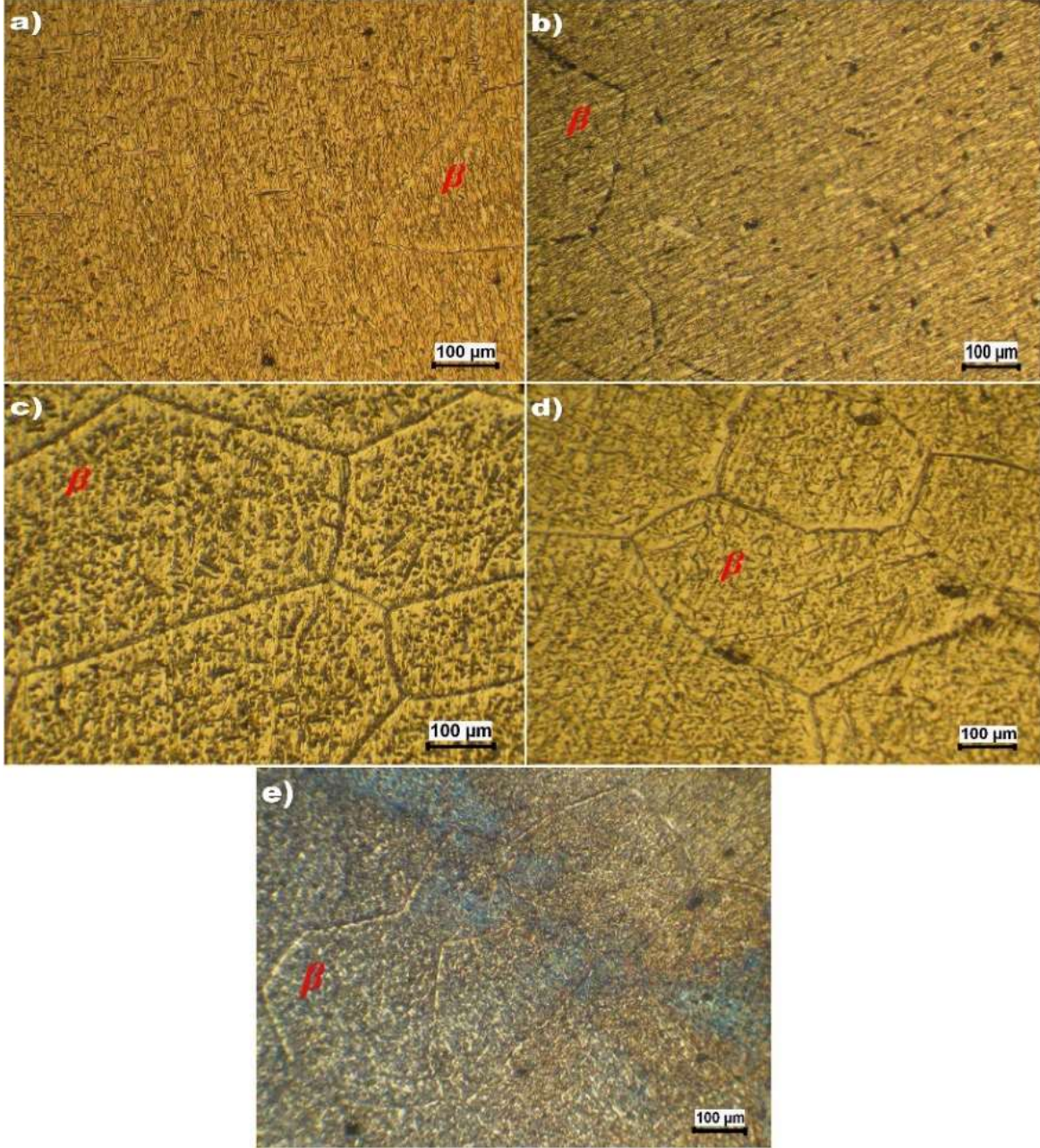


Şekil 1. Alaşımların oda sıcaklığında alınan x-ışınları difraktogramları

TiNb ve TiNb-Ta alaşımlarının Şekil 2 (a-e)'de incelenen optik mikroskop görüntüleri ile XRD analizleri ile elde edilen fazların uyumlu olduğu söylenebilir. 850 °C'de homojenleştirme işlemi için ısıtılıp ardından tuzlu-buzlu su ile ani soğutulan alaşımlarda oluşan β fazının tipik mikroyapısı tüm alaşımlardaki tane içlerinde açıkça gözlenmiştir. Buna karşın X-ışını analizlerinde küçük miktarlarda görülen α fazları optik mikroskop görüntülerinde gözlenmemiştir. Alaşımlarda azalan Nb konsantrasyonuna karşın artan Ta ile tane sınırlarının daha belirgin olduğu görülmüştür.

Şekil 3 (a-e)'de alaşımların SEM görüntüleri verilmiştir. Şekil 3 (a)'da TiNb alaşımına ait SEM fotoğrafında koyu bölgelerin α çökelti fazının olduğu düşünülmektedir. Aynı şekilde Ta ilavesi ile oluşturulan E1, E2, E3 ve E4 alaşımlarda da koyu bölgelerin α çökelti fazları olduğu tahmin edilmektedir. Bu alaşımlarda α çökelti fazının Ta element ilavesi ile arttığı Şekil 3 (b-e)'de ve EDX sonuçlarında daha net görülmektedir. Özellikle Şekil 3 (d)'deki SEM görüntülerinden, koyu bölgelerin artmasının Ta element ilavesi ile α fazının belirginleşmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Dikkat çeken Şekil 3 (e)'deki SEM görüntüsünün tüm yüzey ve tane sınırlarının birleştiği noktadan (kırmızı ok ile belirtilen kısım) alınan EDX sonuçlarının sırasıyla Ti 72,88 (% at), Nb 21,43 (% at), Ta 5,69 (% at) ve Ti 43,49 (% at), Nb 4,60 (% at), Ta 51,91 (% at) olduğu belirlenmiştir (Şekil 4). Tane sınırlarında Ta elementinin diğer elementlere göre daha fazla oranlarda çıkması, Ta element ilavesinin tane sınırlarını daha belirgin olmasını sağladığının kanıtıdır. α çökelti fazından kaynaklı taneler arası kusurlar ve dislokasyonların tane sınırları boyunca oluştuğu da bilinmelidir [4]. E1, E2 ve E3 alaşımlarında da benzer sonuçlar olduğu bilinmektedir. Ancak, E0, E1, E2 ve E3 alaşımlarında tane sınırlarının SEM görüntüleri belirgin olmayışından EDX analizleri alınamamıştır.

Şekil 5'te alaşımların -40 ile 90 °C aralığında DSC eğrileri verildi. E0, E1, E2 ve E3 alaşımlarının ısıtma eğrisinde austenit faz dönüşümünden kaynaklanan $\alpha \rightarrow \beta$ dönüşümü sergilediği gözlenmektedir. Soğutma esnasında herhangi bir dönüşüm gözlenmemiştir. Bu durum üretilen E0, E1, E2 ve E3 alaşımlarının oda sıcaklığındaki ana fazının β fazı olduğudur. Bu sonuçlar X-ışınları ve optik mikroskop analizleri ile uyumludur. $\beta \leftrightarrow \alpha$ ters dönüşümlü martensit fazın soğutma esnasında görülmemesinin birkaç sebebinden bahsedilebilir. M_s dönüşüm sıcaklığının oda sıcaklığının altında olması DSC analiz sisteminin soğutmadaki bu dönüşüm sıcaklığına düşmemesi, fazı kararlı hale getiren (stabilizatör) elementlerin eklenmesiyle oluşan TiNb-esaslı alaşımlarda ortam koşullarında yarı-kararlı β faz yapısını koruma eğiliminde olması, martensit dönüşüm entalpisinin düşük olması ve β fazından α' veya α martensit fazlarına kısmi dönüşümün olması bu sebeplerden bazılarıdır [25]. E4 alaşımının DSC eğrilerindeki ısıtma ve soğutma esnasında herhangi bir dönüşümün olmaması da bu sebeplerden kaynaklı olabileceği düşünülmektedir.



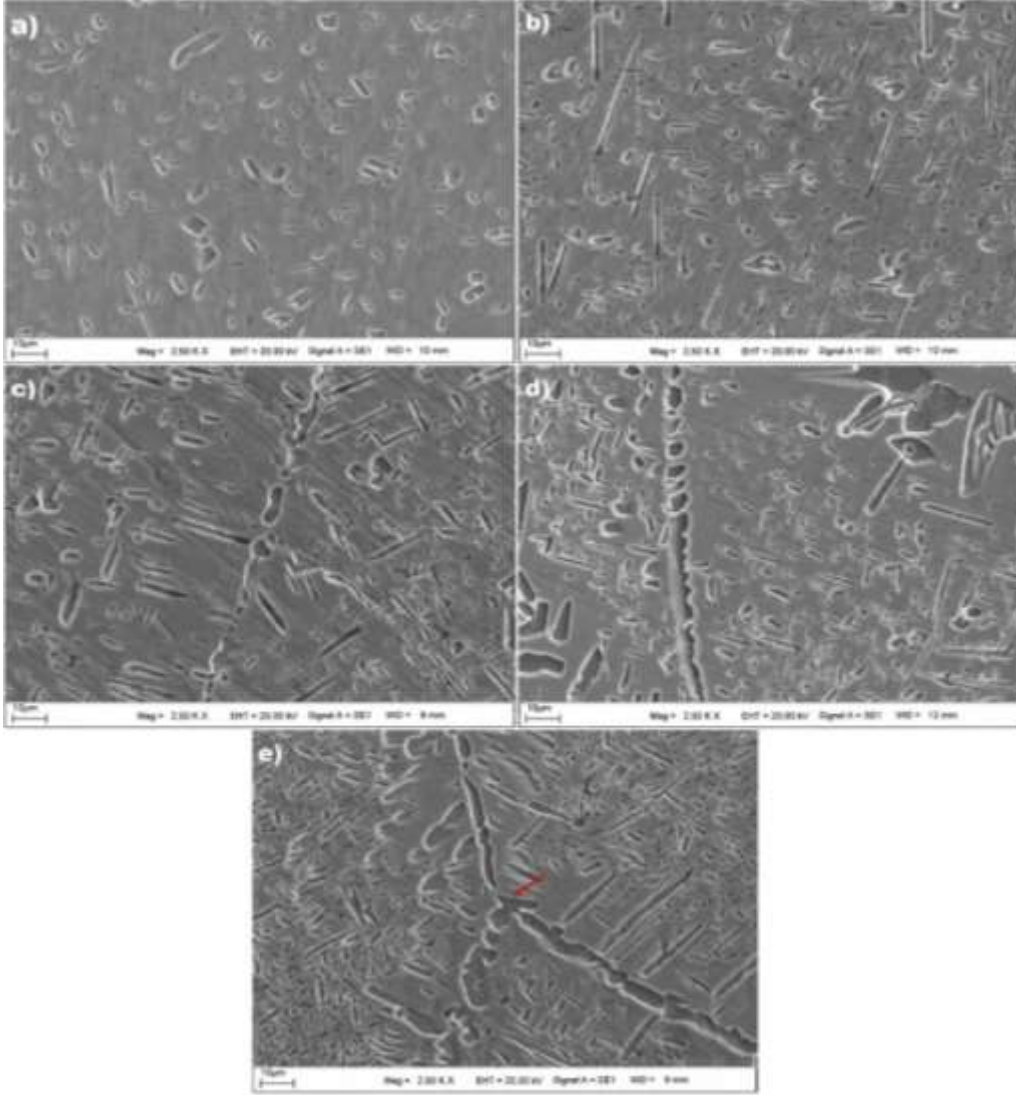
Şekil 2. TiNb ve TiNbTa alaşımlarının optik mikroskop görüntüleri a) E0, b) E1, c) E2, d) E3, e) E4

Yarı-kararlı TiNb esaslı alaşımlarda süper-esneklik ve şekil hafıza özelliklerinin ana β fazının geri dönüşümlü termoelastik martensit dönüşüm ile α'' veya α fazına dönüştürülmesi olayına dayandığı bilinmektedir [22]. Bu dönüşümün zor-zorlanma analizleri ile daha belirgin bir şekilde görüldüğü yapılan çalışmalardan bilinmektedir [13].

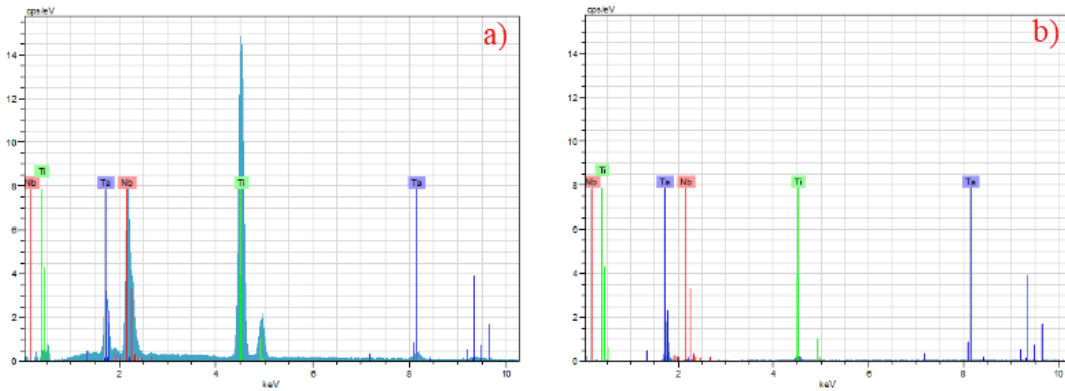
TiNb-esaslı alaşımlara Ta elementinin ilavesiyle dönüşüm sıcaklıklarının değiştiği birçok çalışmada belirlenmiştir [14, 25, 26]. Özellikle artan Nb ve Ta miktarı ile dönüşüm sıcaklığının 30 - 40K arasında azaldığı bilinmektedir [25]. Yaptığımız çalışmada azalan Nb miktarı yerine eklenen Ta elementinin dönüşüm sıcaklıklarını nasıl etkilediği bakımından önemlidir. Şekil 6'da verilen grafikte A_f dönüşüm sıcaklıkları daha net görülmektedir. Nb yerine eklenen Ta elementi ile oluşan TiNbTa alaşımının A_f dönüşüm sıcaklığında da artış ve azalmalar meydana geldiği görülmüştür. Bu düzensiz değişim yarı-kararlı β fazından kaynaklanabileceği düşünülmektedir.

Şekil hafızalı alaşımların dönüşüm sıcaklıklarının e_v/a , ve c_v 'ye bağlı olarak değiştiği Zarinejad ve Liu tarafından belirlenmiştir [27]. Dönüşüm sıcaklıklarının bağlanma enerjisiyle değiştiği de bilinmektedir [7]. Bu değişimlerin e_v/a , ve c_v ile bağlantılı olması önemlidir. Özellikle düşük değerli olarak adlandırılan ($5 > e_v/a$) şekil hafızalı alaşımların dönüşüm sıcaklıklarının da oda sıcaklığının

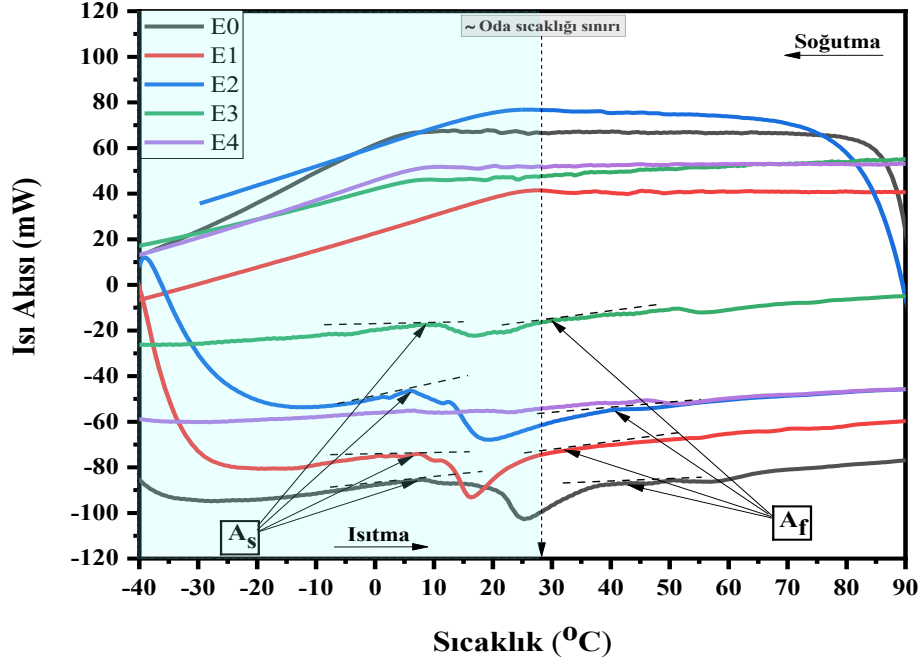
altında olduğu görülmüştür. Dönüşüm sıcaklıklarının düşük sıcaklıklarda sergilediği düşük elektron konsantrasyonlu ($c_v \sim 0,15$) ve düşük valans elektronlu ($e_v/a < 5$) sınırlı sayıda ki TiNb-esaslı alaşımlar vardır [27]. Ürettiğimiz alaşımların e_v/a , ve c_v bakımından düşük değerli olması ve düşük sıcaklıklarda dönüşüm sergilemesi önemlidir. Şekil 6'da da alaşımların e_v/a oranlarının 5'ten düşük olduğu görülmektedir. Yapılan çalışma ile düşük sıcaklıklarda dönüşüm sergileyen düşük değerli E0, E1, E2, E3 ve E4 alaşımlarının literatüre kazandırılması önemlidir.



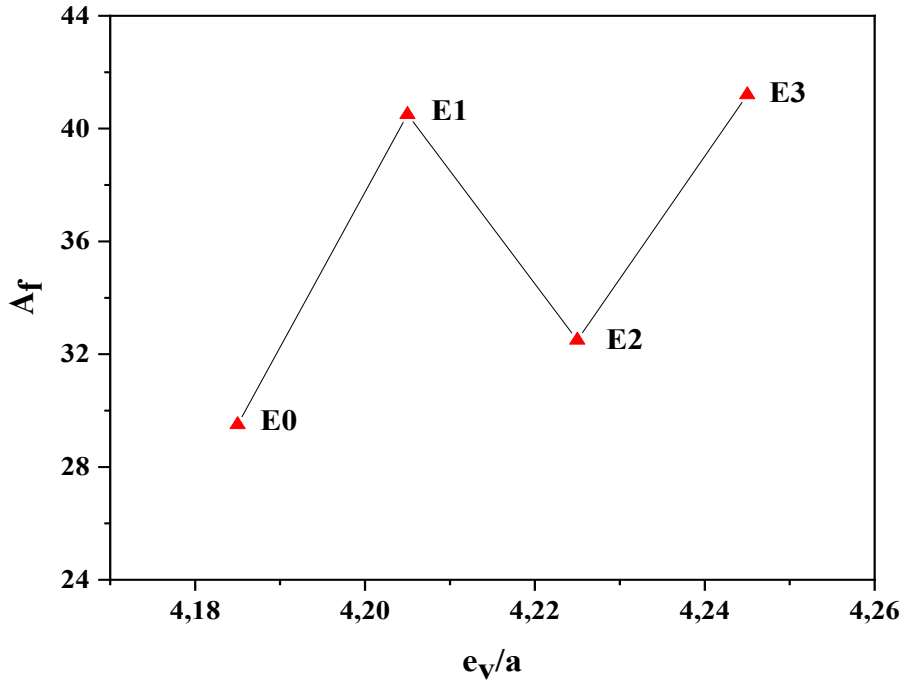
Şekil 3. TiNb ve TiNbTa alaşımlarının SEM görüntüleri a) E0, b) E1, c) E2, d) E3, e) E4



Şekil 4. E4 alaşımının a) tüm yüzey b) belirtilen bölge için EDX sonuçları



Şekil 5. TiNb ve TiNbTa alaşımlarının DSC sonuçları

Şekil 6. TiNb ve TiNbTa alaşımlarının A_f 'nin e_v/a 'ya göre grafiği

4. Sonuç ve Öneriler

Aynı oranlarda Nb elementinden alınarak yerine eklenen Ta elementi ile oluşturulan $TiNb_{(24,5-x)}Ta_{(x=0,1,2,3,4)}$ (% at) alaşımlarının X-ışını, optik mikroskop, SEM-EDX ve DSC analizleri alınarak aşağıda verilen sonuçlar elde edilmiştir.

- Oda sıcaklığında alınan X-ışını analizlerinde α fazına karşılık gelen piklerin görülmediği ve β fazına karşılık gelen piklerin baskın olduğu görülmüştür. Bu fazların yanı sıra küçük miktarlarda α çökelti fazının varlığı ile oksitlenmeden kaynaklanan TiO_2 ve Ta_2O_5 oksit fazları görülmüştür.
- Optik mikroskop ile kristalografik özellikleri incelenen alaşımlarda β martensit fazlarının varlığı görülmektedir. Ayrıca alaşımlarda ki tane ve tane sınırları gözlenmiştir.

- SEM analizleri ile α çökelti fazları olduğu düşünülen yapılar ile tane sınırları daha net bir şekilde görülüp, alaşımlardaki artan Ta elementi ile tane sınırlarında ki Ta miktarının da arttığı EDX analizi ile tespit edilmiştir.
- DSC sonuçları incelendiğinde ısıtma esnasında $\alpha \rightarrow \beta$ dönüşümünün olduğu görülmüştür. Soğutma esnasında herhangi bir dönüşüme rastlanmamıştır. E4 alaşımında ise ısıtma ve soğutma esnasında herhangi bir dönüşüm gözlenmemiştir.

Teşekkür

Bu çalışma Bitlis Eren Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi (BEBAP) tarafından 2014.3 ve Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Koordinasyonu Birimi (FÜBAP) tarafından FF.18.30 ve FF.19.06 numaralı projeler kapsamında desteklenmiştir.

Yazarların Katkısı

Yazarların makaleye olan katkıları eşit orandadır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar

- [1] Zhou Y.L., Mitsuo N., Toshikazu A., Hisao F., Hiroyuki T. 2005. Corrosion resistance and biocompatibility of Ti-Ta alloys for biomedical applications. *Materials Science and Engineering: A*, 398 (1-2): 28-36.
- [2] Kim H., Hashimoto S., Kim J.I., Hosoda H., Miyazaki S. Effect of Ta addition on shape memory behavior of Ti-22Nb alloy. 2006. *Materials Science and Engineering: A*, 417 (1-2): 120-128.
- [3] Lopes E., Cremasco A., Afonso C., Caram R. 2011. Effects of double aging heat treatment on the microstructure, Vickers hardness and elastic modulus of Ti-Nb alloys. *Materials characterization*, 62 (7): 673-680.
- [4] García-Garrido, C., Gonzalez-Gutierrez C., Torrecillas R., Perz-Pozo L., Salvo C., Chicardi. 2019. Manufacturing optimisation of an original nanostructured (beta+ gamma)-TiNbTa material. *Journal of Materials Research and Technology*, 8 (3): 2573-2585.
- [5] Dağdelen F., Ercan. 2014. The surface oxidation behavior of Ni-45.16% Ti shape memory alloys at different temperatures. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 115 (1): 561-565.
- [6] Dağdelen F., Kok M., Qader I. 2019. Effects of Ta content on thermodynamic properties and transformation temperatures of shape memory NiTi alloy. *Metals and Materials International*, 25 (6): 1420-1427.
- [7] Kent D., Wang G., Dargusch M. 2013. Effects of phase stability and processing on the mechanical properties of Ti-Nb based β Ti alloys. *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*, 28: 15-25.
- [8] Hussein A., Mohamed A., Ahmad M., Sherif K. 2014. Effect of heat treatment on the microstructure of Ti-Nb-Ta base alloys for biomedical applications. *Int. J. Chem. Appl. Biol. Sci*, 1: 119.
- [9] Mantani Y., Tajima M. 2006. Phase transformation of quenched α "martensite by aging in Ti-Nb alloys. *Materials Science and Engineering: A*, 438: 315-319.
- [10] Dubinskiy S., Prokoshkin S., Brailovski V., Inaekyan K., Korotitskiy A. 2014. In situ X-ray diffraction strain-controlled study of Ti-Nb-Zr and Ti-Nb-Ta shape memory alloys: crystal lattice and transformation features. *Materials characterization*, 88: 127-142.

- [11] Dubinskiy S., Prokoshkin S.D., Brailovski V., Inaekyan K.E., Korotitskiy A.V., Filonov M.R., Petrzhik M.I. 2011. Structure formation during thermomechanical processing of Ti-Nb-(Zr, Ta) alloys and the manifestation of the shape-memory effect. *The physics of metals and metallography*, 112 (5): 503-516.
- [12] Inaekyan K., Brailovski V., Prokoshkin S., Pushin V., Dubinskiy S., Sheremetyev V. 2015. Comparative study of structure formation and mechanical behavior of age-hardened Ti-Nb-Zr and Ti-Nb-Ta shape memory alloys. *Materials Characterization*, 103: 65-74.
- [13] Dubinskiy S., Brailovski V., Pokoshkin A., Pushin V., Inaekyan K., Sheremetyev V., Petrzhik M., Filonov M. 2013. Structure and properties of Ti-19.7 Nb-5.8 Ta shape memory alloy subjected to thermomechanical processing including aging. *Journal of materials engineering and performance*, 22 (9): 2656-2664.
- [14] Brailovski V., Prokoshkin S., Gauthier M., Inaekyan K., Dubinskiy S., Petrzhik M., Filonov. 2011. Bulk and porous metastable beta Ti-Nb-Zr (Ta) alloys for biomedical applications. *Materials Science and Engineering: C*, 31 (3): 643-657.
- [15] Takahashi E., Sakurai T., Watanabe S., Masahashi N., Hanada S. 2002. Effect of heat treatment and Sn content on superelasticity in biocompatible TiNbSn alloys. *Materials Transactions*, 43 (12): 2978-2983.
- [16] Fukui Y., Inamura T., Hosoda H., Wakashima K., Miyazaki S. 2004. Mechanical properties of a Ti-Nb-Al shape memory alloy. *Materials Transactions*, 45 (4): 1077-1082.
- [17] Kim J.I., Kim H.Y., Hosoda H., Miyazaki S. 2005. Shape memory behavior of Ti-22Nb-(0.5-2.0) O (at%) biomedical alloys. *Materials transactions*, 46 (4): 852-857.
- [18] Tahara M., Kim H.Y., Hosoda H., Miyazaki S. 2009. Shape memory effect and cyclic deformation behavior of Ti-Nb-N alloys. *Functional Materials Letters*, 2 (02): 79-82.
- [19] Al-Zain Y., Kim H.Y., Hosoda H., Nam T.H., Miyazaki S. 2010. Shape memory properties of Ti-Nb-Mo biomedical alloys. *Acta Materialia*, 58 (12): 4212-4223.
- [20] Kim H.Y., Oshika N., Kim J., Inamura T., Hosoda H., Miyazaki S. 2007. Martensitic transformation and superelasticity of Ti-Nb-Pt alloys. *Materials transactions*, 48 (3): 400-406.
- [21] Ping, D., Mitarai Y., Yin F. 2005. Microstructure and shape memory behavior of a Ti-30Nb-3Pd alloy. *Scripta materialia*, 52 (12): 1287-1291.
- [22] Kim H., Sasaki T., Okutsu K., Kim J., Inamura T., Hosoda H., Miyazaki S. 2006. Texture and shape memory behavior of Ti-22Nb-6Ta alloy. *Acta Materialia*, 54 (2): 423-433.
- [23] Bertrand E., Gloriant T., Gordin D.M., Vasilescu E., Drob P., Vasilescu C., Drob S.I. 2010. Synthesis and characterisation of a new superelastic Ti-25Ta-25Nb biomedical alloy. *Journal of the mechanical behavior of biomedical materials*, 3 (8): 559-564.
- [24] Hussein A.H., Gepreel H., Gouda M.K., Hefnawy A.M., Kandil S.H., 2016. Biocompatibility of new Ti-Nb-Ta base alloys. *Materials Science and Engineering: C*, 61: 574-578.
- [25] Qu, W.-T., Gong H., Wang J., Nie Y-S., Li Y. 2019. Martensitic transformation, shape memory effect and superelasticity of Ti-xZr-(30-x) Nb-4Ta alloys. *Rare Metals*, 38 (10): 965-970.
- [26] Kim H.Y., Miyazaki S. 2016. Several issues in the development of Ti-Nb-based shape memory alloys. *Shape Memory and Superelasticity*, 2 (4): 380-390.
- [27] Zarinejad M., Liu Y. 2010. Dependence of transformation temperatures of shape memory alloys on the number and concentration of valence electrons, Nova Science Publishers, Inc., New York, 339.

Araştırma Makalesi / Research Article

Van Gölü Martısı (*Larus armenicus* Buturlin, 1934)'nın Dışkı Muayenesinde Görülen Helmintler

Ali Bilgin YILMAZ^{1*}, Erkan AZİZOĞLU², Özdemir ADİZEL³, Ferhat ALGÜR³

¹Van Yüzyüncü Yıl Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, 65080, Van, Türkiye

²Hakkâri Üniversitesi, Çölemerik Meslek Yüksekokulu, Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü, 30100, Hakkâri

³Van Yüzyüncü Yıl Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü, 65080, Van, Türkiye

(ORCID: 0000-0003-0749-2418) (ORCID:0000-0002-4895-4298)

(ORCID:0000-0002-0432-0277) (ORCID: 0000-0002-2758-0127)

Öz

Bu çalışma Van Gölü ve çevresinde yaşam alanı bulan *Larus armenicus*'un gastro intestinal sisteminde parazitlenen helmint türlerini tespit etmek için yapıldı. Araştırmada Van Gölü içerisinde dört ayrı noktada bulunan adalardan 25'er adet olmak üzere toplamda 100 adet taze martı dışkısı toplandı. Dışkılar üzerinde lokasyon, kuş türü ve tarih bilgisi bulunan plastik kaplara alınarak laboratuvara getirildi. Flotasyon ve sedimentasyon yöntemleri ile analiz edilen dışkılardan %3 oranında *Hymenolepis spp.*, %6 oranında *Capillaria spp.*, %27 oranında *Echinostoma revolutum* türü parazit yumurtaları tespit edildi. Bu çalışma ile Türkiye'de *Hymenolepis spp.*'nin türü helmintin *Larus armenicus* türü martıda parazitlik yaptığı ilk kez tespit edildi.

Anahtar kelimeler: Van Gölü, *Larus armenicus*, helmint, parazit.

Helminths Seen in the Stool Examination of the Armenian Gull (*Larus armenicus* Buturlin, 1934)

Abstract

This study was carried out to identify the Helminth species parasitized in the gastro intestinal system of *Larus armenicus*, which found habitat in Lake Van and its surroundings. In the research, a total of 100 fresh gull feces, 25 of which are located in four different points in Lake Van, were collected. The feces were brought to the laboratory in plastic containers with location, bird species and history on the feces. From the feces analyzed by flotation and sedimentation methods, 3% *Hymenolepis spp.*, 6% *Capillaria spp.*, 27% *Echinostoma revolutum* type parasite eggs were detected. With this study in Turkey *Hymenolepis spp.* helminth species of gull *Larus armenicus* type his parasitism was detected for the first time.

Keywords: Lake Van, *Larus armenicus*, helminth, parasite.

1. Giriş

Van Gölü Martısı, Van ve Erçek gölleri havzasında ve çevredeki diğer havzalarda yayılış gösteren dominant, bayrak türlerin başında gelmektedir. Akdamar, Çarpanak, Adır, Kuzu adaları ve havzalardaki diğer adalar türün üreme alanlarıdır. Yıl boyunca adalarda, sulak alanlarda ve çöplüklerde yoğunlukla bulunurlar. Besin bulmak için sık sık yerleşim birimlerinde karşımıza çıkarlar. Bu nedenle tür insanlarla temas halindedir.

Van Gölü Martısı Türkiye'nin doğusunda (Van Gölü adaları), Ermenistan'da (Sevan ve Arpilich Gölleri), Güney Gürcistan'da ve Kuzeybatı İran'da (Urumiye Gölü) endemiktir. Türkiye'de 12 ile 3500 çift arasında değişen birkaç koloninin olduğu rapor edilmiştir [1, 2]. Evcil veya yabani kuş türlerini kullanan birçok parazit türü bulunmaktadır. Bunların kuş türleri üzerinde ciddi patolojik etkilerinin olduğu bilinmekte ve bu durum kuşlarda çeşitli morbidite ve mortalite oranlarında ciddi artışa sebebiyet

*Sorumlu yazar: alibilginvilmaaz@yyu.edu.tr

Geliş Tarihi: 13.08.2020, Kabul Tarihi: 14.10.2020

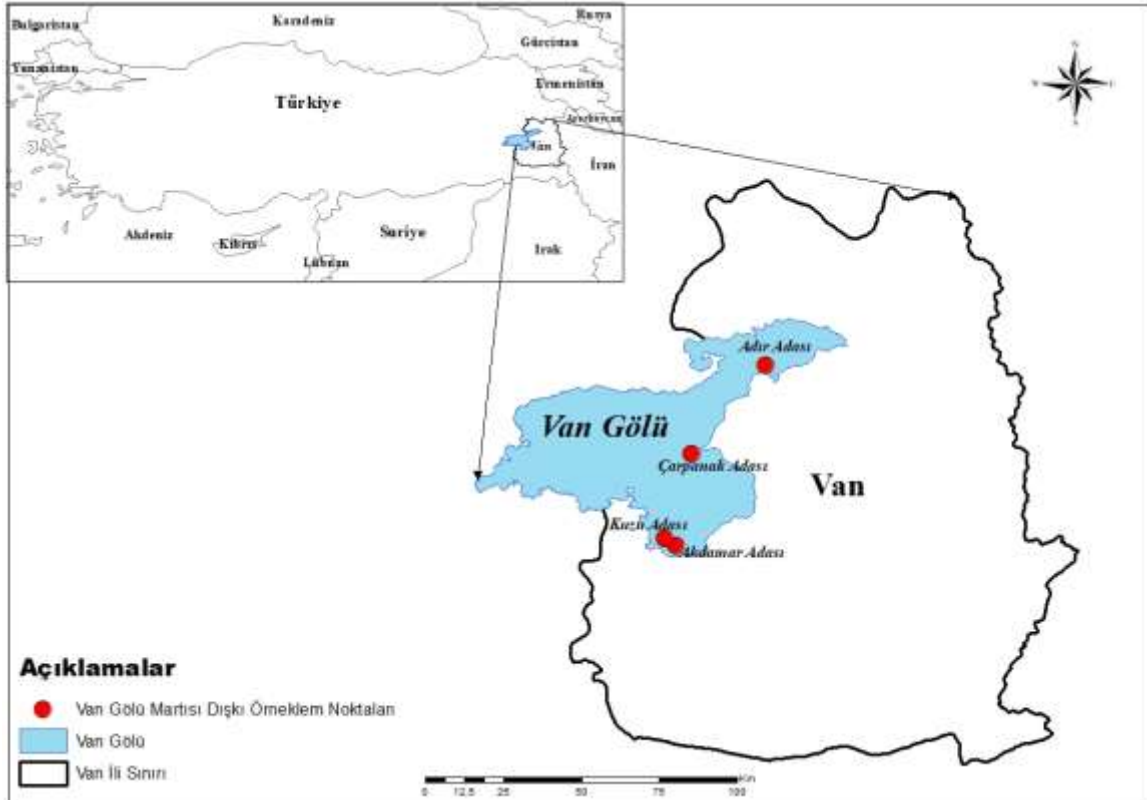
vermektedir [3]. Ayrıca parazitlerin kuşların vücut durumu (eş çekiciliği, tüy parlaklığı gibi), beslenme, üreme, hayatta kalma ve göç davranışları üzerinde de çeşitli etkiler gösterdiği bilinmektedir [4-10].

Birçok parazit türü yabancı kuşların gastrointestinal sisteminde bulunur ve sağlık durumuna ve habitat koşullarına göre olumsuz etki gösterir. Gastrointestinal parazitler genellikle serbest dolaşan yabancı kuşlarda subklinik etkiler meydana getirmesine rağmen, bağışıklık yetersizliği olanlarda ölümcül olabilirler [11-12]. Yabancı kuşlar arasında parazitlerin yayılması, dışkıdaki enfektif yumurta, larva, ookistler veya enfekte olmuş ara konakçılarınin yutulması yoluyla gerçekleşir. Serbest dolaşan kuşların gastrointestinal parazitleri, dünya çapında %15 ila%80 arasında değişen oranlarda rapor edilmiştir [13-16].

Bu çalışmada Van Gölü'nü beslenme, konaklama ve üreme amacıyla sık kullanılan Van Gölü martılarının gastrointestinal sisteminde bulunan helmintleri tespit etmek amaçlanmıştır. Dünya'da ve ülkemizde kuşlardaki parazitleri tespit etmeye yönelik çalışmalar olmasına karşın konunun önemli olduğu ve bu araştırmanın literatüre önemli katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada Van Gölü Martısı'nın önemli yaşam alanlarından biri olan Van Gölü'nde gerçekleştirilmiştir. Çalışmada Van Gölü Martısı (*Larus armenicus*)'a ait 4 farklı noktadan (Akdamar adası, Çarpanak adası, Kuzu adası, Adır adası) 25'er örnekle toplamda 100 adet dışkı toplandı (Şekil 1). Her bölgeye ait dışkılar farklı tarihlerde taze olması koşulu ile ağız kapalı dışkı kaplarına ayrı ayrı alınarak üzerlerine tarih, toplandığı bölge ve kuş türünü gösteren etiketler yapıştırıldı. Numuneler aynı gün laboratuvara getirildi ve gün içerisinde sedimentasyon ve flotasyon yöntemleri kullanılarak analizler yapıldı. Flotasyon yönteminde fındık büyüklüğündeki dışkı tüpte %33'lük Çinko Sülfat içinde homojenize edildi. Tüpün üstü bir lamel ile kapatıldı ve 30 dakika bekletildikten sonra lamel lam üzerine alındı. Sedimentasyon yönteminde dışkı serum fizyolojik ile süspansiyon haline getirildi ve süzüldü, 400-500xg'de 2 dakika santrifüj edildikten sonra üst sıvı döküldü. Çökeltiden bir miktar alınarak yayma hazırlandı. Yaymaların üzeri lam ile kapatılarak mikroskopta (Leica DM500) 10x ve 40x objektifler ile incelendi. Tespit edilen helmint yumurtaları ilgili literatürler yardımı ile teşhis edildi ve fotoğraflandı (Mshot Md 90) [17,18].



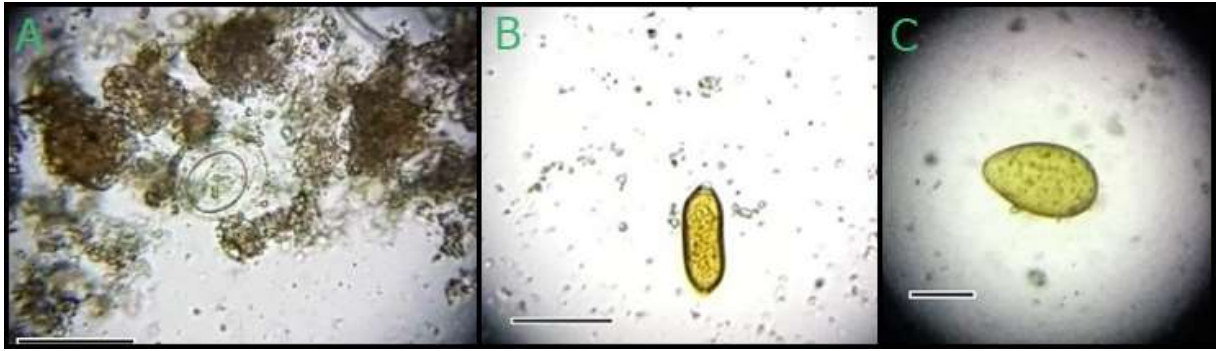
Şekil 1. Çalışma alanının lokasyonu ve örneklem alanını gösteren harita

3. Bulgular ve Tartışma

Çalışmamızda *Larus armenicus*'un 3 farklı helmint türü ile %36 oranında enfekte olduğu bulundu. *Hymenolepis* spp. %3, *Capillaria* spp. %6, *Echinostoma revolutum* ise %27 oranında tespit edildi (Tablo 1). Ölçülen yumurtaların ortalama büyüklükleri *Hymenolepis* spp. ~50x35 µ, *Capillaria* spp. ~44x23 µ, *Echinostoma revolutum* yumurtasının ise ~92x61 µ olduğu görüldü (Şekil 2).

Tablo 1. *Larus armenicus* dışkısında tespit edilen helmint parazitler ve görülme oranları

Muayene edilen dışkı sayısı	Helmint türleri	Pozitif örnek sayısı	Enfeksiyon oranı
100	<i>Hymenolepis</i> spp	3	%3
	<i>Capillaria</i> spp.	6	%6
	<i>Echinostoma revolutum</i>	27	%27



Şekil 2. Dışkı muayenesinde tespit edilen helmint yumurtaları A: *Hymenolepis* spp. B: *Capillaria* spp. C: *Echinostoma revolutum* (Bar:50µm)

Türkiye'de Van ilinde Gümüşi martı (*Larus michahellis*)'nin helmintlerini tespit etmek için dışkı muayene yöntemleri ile yapılan bir çalışmada *Echinostoma revolutum* ve *Capillaria* spp. olmak üzere iki tür bulunduğu bildirilmiştir [19]. Daha sonrasında Bursa'da nekroskopik olarak 35 martı üzerinde yapılan çalışmada *Acanthotrema armata*, *Brachylaima aspersae*, *Cryptocotyle lingua*, *Diplostomum spathaceum*, *Knipowitschiatrema* sp., *Stephanoprora denticulata*, *Alcataenia microcantha*, *Diphyllobothrium dentriticum*, *Microsomacanthus ductilis*, *Monopylidium galbulae*, *Tetrabothrius erostris*, *Contracaecum rudolphii* ve *Synhimanthus* spp. türlerinin bulunduğu bildirilmiştir [20].

Çalışmamızda ise trematod sınıfından *Echinostoma revolutum*, cestod sınıfından *Hymenolepis* spp. ve nematod sınıfından ise *Capillaria* spp. tespit edildi. *Echinostoma revolutum* başta ördek ve kazlar olmak üzere evcil ve yabani kazların çekum ve rektumuna yerleşen ve nadiren memelilerde de enfeksiyona yol açar. Bu türün arakonağı tatlı salyangozları olup son konak olan kanatlıların bu canlıları yemesi ile enfeksiyona yakalandıkları bildirilmektedir [21]. Kılınç ve ark., [19] Van'da yaptıkları çalışmada *Echinostoma revolutum*'u %49.41 oranında tespit ettikleri bildirilmiştir. Rusya'da Nekrasov ve ark., [22] yaptıkları çalışmada da *Echinostoma revolutum*'u tespit ettikleri bildirilmiştir. Çalışmamızda 100 martı dışkısının 27'sinde *Echinostoma revolutum* yumurtası tespit edildi.

Dünyanın birçok yerinde kanatlıların ince bağırsaklarında görülen *Hymenolepis* spp., yoğun enfeksiyonlara eden olmaktadır [22,23]. Türkiye'de Kılınç ve ark. [19] ve Poyraz [20] yaptıkları çalışmalarda *Hymenolepis* spp.'ye rastlamadıklarını bildirmişlerdir. Threlfall (1967)'in *Larus argentatus* üzerinde yaptığı çalışmasında *Hymenolepis cirrosa* türü helmint'i tespit ettiğini bildirmiştir. Çalışmamızda en düşük oranda tespit ettiğimiz tür % 3 oranında *Hymenolepis* spp. olmuştur. Türkiye'de martılar üzerinde yapılmış olan çalışmalarda *Hymenolepis* spp. türü helmint'in bulunmamasının, bu parazit türünün görülme oranının çok düşük olması ve bölgesel farklılıklardan kaynaklandığı kanısına varılmıştır.

Capillaria türleri üst gastrointestinal sistemini tutar, kursağın iltihaplı dilatasyonuna, mukozada özofagus kalınlaşmasına, ülserasyona, bakteriyel kolonizasyon eksüdasyonuna ve fibrinonekrotik plaklara neden olabilir. Genellikle üst gastrointestinal sisteme yerleşen *Capillaria* türleri, bağırsağa

yerleşen türlerden daha patojenik olarak kabul edilir [24,25]. Kılınç ve ark., [19] Van ilinde dışkı muayenesi yöntemi ile yaptıkları çalışmada *Capillaria* spp.'i %19.41 oranında tespit ettikleri bildirilmiştir. Poyraz [20]'ın yaptığı nekroskopik çalışmada ise *Capillaria* türlerine rastlanmadığı bildirilmiştir. Diğer ülkelerde *Larus michahellis* üzerinde yapılan çalışmalarda *Capillaria* ailesine ait *Capillaria* spp. [26], *Capillaria contorta* [27], *Capillaria mergi* [28] türü helmintlerin bulunduğu bildirilmiştir. Çalışmamızda *Capillaria* spp.'i toplanan 100 dışkıdan 6'sında (%6) tespit edildi. Kılınç ve ark., [19] yaptıkları çalışma ile çalışmamız arasındaki oransal farklılığın, dışkıların toplandığı mevsimlerden kaynaklanabileceği düşünüldü.

4. Sonuç ve Öneriler

Çalışmamızda tespit ettiğimiz *Hymenolepis* spp. türü helmint Türkiye'de martılarda ilk kez bu çalışma ile tespit edilmiştir. Kılınç ve ark., [19]'nın Van ilinde yaptıkları çalışmada *Larus michahellis*'den örnek aldıklarını bildirmiş olmalarına karşın havzada yaşayan baskın tür *Larus armenicus*'tur. Bu durumun muhtemel bir yazım hatasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Yazarların Katkısı

Çalışmaya tüm yazarlar eşit oranda katkı sunmuştur.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar

- [1] Burger J., Gochfeld M., Sharpe C.J. 2015. Armenian Gull (*Larus armenicus*). Handbook of the Birds of the World Alive, Lynx Edicions, Barcelona.
- [2] Bird Life International. 2015. European Red List of Birds. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.
- [3] Atkinson C.T., Thomas N.J., Hunter D.B. 2008. Parasitic diseases of wild birds. New York, Wiley-Blackwell, 1-592.
- [4] Gustafsson L., Nordling D., Andersson M.S., Sheldon B.C., Qvarnstrom A. 1994. Infectious diseases, reproductive effort and the cost of reproduction in birds. Philosophical transactions of the Royal Society of London, Series B, Biological sciences, 346: 323-331.
- [5] Dawson R.D., Bortolotti G. 2000. Effects of hematozoan parasites on condition and return rates of American kestrels. The Auk, 117: 373-380.
- [6] Sol D., Jovani R., Torres J. 2003. Parasite mediated mortality and host immune response explain age-related differences in blood parasitism in birds. Oecologia, 135: 542-547.
- [7] Garvin M.G., Szell G.G., Moore F.R. 2006. Blood parasites of Neartic-Neotropical migrant passerine birds during spring trans-gulf migration: impact on host body condition. Journal of Parasitology, 92: 990-996.
- [8] Ashgar M., Hasselquist D., Bensch S. 2011. Are chronic avian haemosporidian infections costly in wild birds? Journal of Avian Biology, 42: 530-537.
- [9] Lachish S., Knowles S.C.L., Alves R., Wood M.J., Sheldon B.C. 2011. Fitness effects of endemic malaria infections in a wild bird population: the importance of ecological structure. Journal Animal Ecology, 80: 1196-1206.
- [10] López G., Muñoz J., Soriguer R., Figuerola J. 2013. Increased Endoparasite Infection in Late-Arriving Individuals of a Trans-Saharan Passerine Migrant Bird. PLoS ONE, 8 (4): e61236.

- [11] Lyles A.M., Dobson A.P. 1993. Infectious disease and intensive management: population dynamics, threatened hosts, and their parasites. *Journal of Zoo and Wildlife Medicine*, 24 (3): 315-326.
- [12] McLaughlin J.D. 2008. Cestodes. In: *Parasitic diseases of wild birds*. Ames, Iowa, USA, John Wiley & Sons, 261-276.
- [13] Carrera-Ja'tiva P., Rodri'guez-Hidalgo R., Sevilla C., Jime'nez-Uzca'tegui G. 2014. Gastrointestinal parasites in the Gala'pagos penguin *Spheniscus mendiculus* and the flightless cormorant *Phalacrocorax harrisi* in the Gala'pagos Islands. *Marine Ornithology*, 42:77-80.
- [14] Fallacara D.M., Monahan C.M., Morishita T.Y., Catherine A., Wack R.F. 2004. Survey of parasites and bacterial pathogens from free-living waterfowl in zoological settings. *Avian Diseases*, 48 (4):759-767.
- [15] Holsback L., Cardoso M.J.L., Fagnani R., Patelli T.H.C. 2013. Natural infection by endoparasites among freelifving wild animals. *The Revista Brasileira de Parasitologia Veterinária*, 22 (2): 302-306.
- [16] Ozmen O., Adanir R., Haligur M., Albayrak T., Kose O., Ipek V. 2013. Parasitologic and pathologic observations of the house sparrow (*Passer domesticus*). *Journal of Zoo and Wildlife Medicine*, 44 (3): 564-569.
- [17] Kaufman J. 1996. *Parasitic infections of domestic animals. A Diagnostic Manual*. Birkhäuser Verlag AG, Basel, Switzerland, 1-423.
- [18] Fernando MA, Barta JR. 2008. Tracheal Worms: In: *Parasitic Diseases of Wild Birds*. Blackwell Publishing, 343-354.
- [19] Kılınç Ö., Çiçek M., Akkaş Ö. 2011. Van Gölü Çevresinde Yaşayan Gümüşi Martı (*Larus michahellis*) Dışkılarının Helmintolojik Yönden İncelenmesi. *Y.Y.U. Veteriner Fakültesi Dergisi*, 22 (2): 101-103.
- [20] Poyraz E. 2017. Bursa'da Yaşayan Gümüş Martı (*Larus michahellis* Naumann, 1840)'nın Helmint Faunası. Yüksek Lisans Tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
- [21] Permin A., Hansen S.W. 1998. *Epidemiology, diagnosis and control of poultry parasites*. FAO Animal Health Manuals 4. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 36-37.
- [22] Nekrasov A.V., Pronin N.M., Sanzhieva S.D., Timoshenko T.M. 1999. Diversity of helminth fauna in the Herring gull (*Larus argentatus*) from the Baikal Lake: Peculiarities of spatial distribution and invasion. *Parazitologiya*, 33 (5): 426-436.
- [23] Baker D.G. 2007. *Flynn's parasites of Laboratory Animals*. Blackwell Publishing, USA.
- [24] Helmboldt C.F., Eckerlin R.P., Penner L.R., Wyand D.S. 1971. The pathology of capillariasis in the blue jay. *Journal of Wildlife Diseases*, 7: 157-161.
- [25] Hurst G.A., Turner L.W., Tucker F.S. 1979. Capillariasis in penned wild turkeys. *Journal of Wildlife Diseases*, 15: 395-397.
- [26] Kuklin V.V., Kimsova N.E. 2007. Helminths of the gulls (Genus *Larus*) of the Barents Sea. *Parazitologiya*, 3 (2): 64-71.
- [27] Threlfall W. 1967. Studies on the helminth parasites of the herring gull, *Larus argentatus* Pontopp., in Northern Caernarvonshire and Anglesey. *Parasitology*, 57: 431-453.
- [28] Kuklin V.V. 2011. The Peculiarities of the helminth fauna of Herring Gulls of the synanthropic Murmansk Population. *Doklady Biological Sciences*, 440: 309-312.

Araştırma Makalesi / Research Article

Hankendi–Baskil–Kömürhan (Elazığ) arasında kalan alanın florası

İbrahim GÜLTÜRK^{1*}, Murat KURSAT², Semsettin CIVELEK¹

¹Fırat Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Elazığ, Türkiye

²Bitlis Eren Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Bitlis, Türkiye

(ORCID: 0000-0002-8074-6069) (ORCID: 0000-0002-0861-4213) (ORCID: 0000-0002-6868-4125)

Öz

Bu çalışma ile Hankendi–Baskil–Kömürhan (Elazığ) arasında kalan alanın florasının tespit edilmesi amaçlanmıştır. Çalışmada araştırma alanından 2011-2013 yılları arasında toplanan 3128 bitki örneği kullanılmıştır. Örneklerin sistematik olarak değerlendirilmesi sonucunda, araştırma alanından 74 familyaya ait 338 cins ve bu cinslere ait 469 tür, 133 alttür ve 80 varyete olmak üzere toplamda 660 takson tespit edilmiştir. Belirlenen bu 660 taksonun 2'si Pteridophyta 658'i Magnoliophyta bölümüne dâhildir. Magnoliophyta bölümüne ait olan 658 taksonun 5'i Pinophytina (Gymnospermae) 653'ü Magnoliophytina (Angiospermae) alt bölümüne aittir. Magnoliophytina alt bölümünde yer alan 653 taksonun 565'i Dicotyledonae, 88'i Monocotyledoneae sınıflarında yer almaktadır. Araştırma alanında en fazla takson içeren ilk 10 familyanın takson sayıları ve oranları: Asteraceae 91 (%13.8), Fabaceae 76 (%11.5), Lamiaceae 56 (%8.5), Poaceae 49 (%7.4), Brassicaceae 43 (%6.5), Caryophyllaceae 36 (%5.4), Apiaceae 34 (%5.2), Rosaceae 26 (%3.9), Boraginaceae 25 (%3.8), Ranunculaceae 17 (%2.6) şeklindedir. En çok takson içeren ilk 3 cins ise *Astragalus* (% 3.5), *Centaurea* (%1.7), *Salvia* (%1.5) olmuştur. Araştırma alanında belirlenen bu taksonların fitocoğrafik bölgelere göre takson sayıları ve oranları: Çok Bölgeli ve Bilinmeyen 358 (%54.2), İran–Turan 236 (%35.8), Avrupa Sibirya 37 (% 5.6), Akdeniz 29 (%4.4) olarak gerçekleşmiştir. Araştırma alanımızdaki taksonların Raunkiaer sistemine göre hayat formları dağılımı ise şöyledir: Hemikriptofit 277 (%42), Terofit 210 (%31.8), Kamefit 65 (%9.8), Kriptofit 58 (%8.8), Fanerofit 50 (%7.6). Araştırma alanımızda belirlenen 660 taksonun 60'ı endemiktir. Buna göre alanımızdaki taksonların endemizm oranı %9.1 olmuştur. En çok takson içeren ilk 3 familyadaki endemik türlerin oranları Asteraceae %31.5, Fabaceae %20.5, Lamiaceae %13.6'dır.

Anahtar kelimeler: Baskil, Flora, Hankendi, Kömürhan, Türkiye

The flora of the area between Hankendi–Baskil and Kömürhan (Elazığ)

Abstract

In this study it is intended to detect the flora of the area between Hankendi–Baskil–Kömürhan (Elazığ). In this survey, 3128 plant samples which were collected from the research area in 2011-2013 were used. As a result of the systematic evaluation of the samples, from the research area, 338 species belonging to 74 families and 469 species belonging to this genus, 133 subspecies and 80 varieties, 660 taxons in total, have been identified. 2 of these determined 660 taxons are included in the Magnoliophyta. The 5 of 658 taxons belonging to Magnoliophyta belong to Pinophytina and the remaining 653 belong to Magnoliophytina (Angiospermae) sub-section. The 565 of 653 taxons located in Magnoliophytina sub-section are located in Dicotyledonae class and the remaining 88 are located in Monocotyledoneae class. The taxon rates and the numbers of the first 10 families that contain the most taxon in the research area are Asteraceae 91 (%13.8), Fabaceae 76 (%11.5), Lamiaceae 56 (%8.5), Poaceae 49 (%7.4), Brassicaceae 43 (%6.5), Caryophyllaceae 36 (%5.4), Apiaceae 34 (%5.2), Rosaceae 26 (%3.9), Boraginaceae 25 (%3.8), Ranunculaceae 17 (%2.6). The first three genres that contain the most taxon are *Astragalus* (% 3.5), *Centaurea* (%1.7), *Salvia* (%1.5). The taxon numbers and the rates according to the phytogeographical regions of these taxons identified in the research area are Multi-Zone and unknown 358 (%54.2), İran – Turan 236 (%35.8), The Euro-Siberian 37 (%5.6), and Mediterranean 29 (%4.4). The life forms distribution according to Raunkiaer system of taxons in our research area are Hemicryptophyte 277 (%42), Therophyte 210 (%31.8), Chamaephyte 65 (%9.8), Cryptophyte 58 (%8.8), and Phanerophyte 50 (% 7.6). The 60 of 660 taxons identified in our research area are endemic. According to this, the rate of taxons endemism in our area is %9.1. The rates of endemic species in the first three families that contain the most taxons are Asteraceae %31.5, Fabaceae %20.5, Lamiaceae %13.6.

Keywords: Baskil, Flora, Hankendi, Kömürhan, Turkey

*Sorumlu yazar: igulturk@hotmail.com

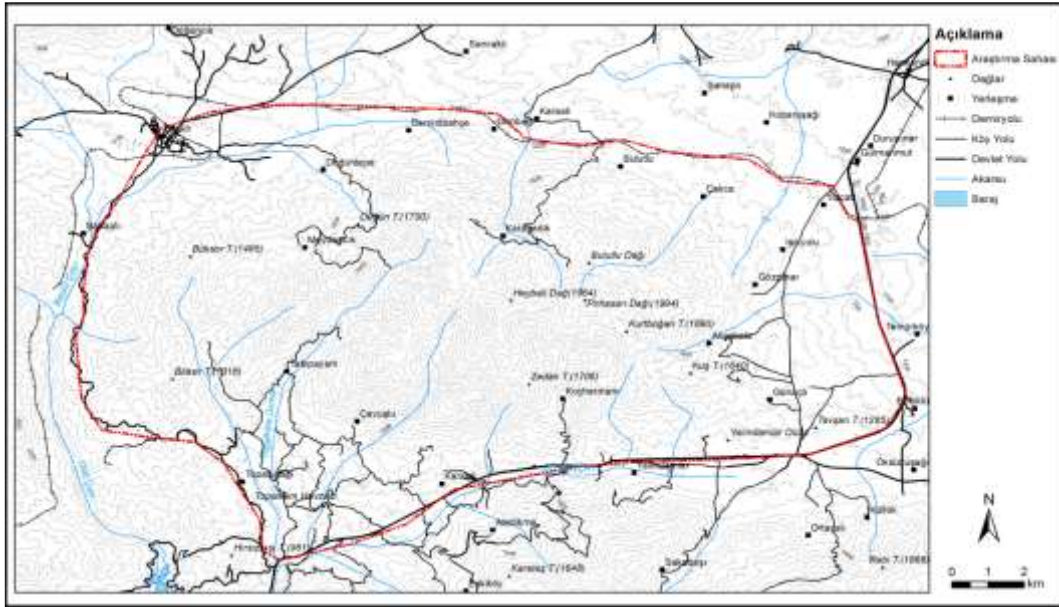
Geliş Tarihi: 19.08.2020, Kabul Tarihi: 21.10.2020

1. Giriş

1.1. Alanın coğrafik konumu

Tamamı Elazığ ili sınırları içinde olan araştırma alanı, Anadolu diyagonalinin doğusunda, İran–Turan fitocoğrafik bölgesinde ve P.H. Davis'in grid sistemine göre B7 karesi içerisinde yer almaktadır [1].

Araştırma alanının doğu ve güney sınırları Büyük Çay Havzasının batısı ile çevrelenmiştir. Doğuda Yolçatı, Işıkyolu ve Günaçtı köyleri, güneyde Yalındamlar, Karaali ve Kemuşağı köyleri yer alır. Alanın batısı Baskil Çayı Havzası ile sınırlanmıştır. Batıda Topaluşağı ve Şahaplı köyleri bulunur. Alanın kuzey sınırları ise Bulutlu Dağı'nın kuzey etekleri ile sınırlanmıştır. Kuzeyde Demirlibahçe, Bulutlu ve Yenicami köyleri yer almaktadır. Ayrıca Ağılıcık, Akcakale, Kopuzlu, Sakabaşı, Günbağı, Torsuşağı, Cansızlar ve şahaplı köyleri araştırma alanımızın içinde yer almaktadır. Alanın bir bölümü Elazığ Merkez ilçe sınırları içinde yer alırken, bir bölümü de Baskil ilçesi sınırları içerisinde yer almaktadır. Çalışma alanının alanı yaklaşık 217 km²'dir. Çevresi ise 61.1 km²'dir Şekil 1 [2].



Şekil 1. Çalışma alanının topoğrafik haritası ve sınırları [3].

Alanın Kuzeybatı-Güneydoğu doğrultusunda uzanan Bulutlu Dağı, yöresel olarak Heybeli ve Pirhasan olmak üzere iki dağ adı ile de isimlendirilmiştir. Bu yükseltiler dağın farklı bölümlerini oluşturmaktadır. Alanın en yüksek yeri Pirhasan Dağı üzerindeki Karataş tepesinde 2034 m'dir. Alanın en alçak yeri ise 771 m'dir [4].

1.2. İklim yorumu

Sahamız Güneydoğu Toroslar'daki geçitlerden biri olan Kömürhan Boğazı'nın bulunduğu alanda, yani kış mevsimlerinde Elazığ'a doğru sokulan ılık-nemli hava kütlelerinin giriş yaptığı kısımda yer almaktadır. Bu konumu inceleme alanımızın farklı bir iklimi bulunan yörede daha farklı bir mikroklimaya sahip olmasını sağlamıştır [5].

Çalışma alanı tümüyle Elazığ merkez ve Baskil ilçesi sınırları içerisinde olduğundan, sıcaklık verileri Elazığ merkez ve Baskil meteoroloji istasyonlarından alınan verilere göre değerlendirilmiştir. Elazığ merkez ve Baskil meteoroloji istasyonlarından elde edilen ortalama sıcaklık değerleri Tablo 1'de gösterilmiştir [2].

Tablo 1. Elazığ ve Baskil'in aylık ve yıllık ortalama sıcaklıkları (°C) [6].

İstasyon	I	II	III	IV	V	VI	VI	VII	IX	X	X	XI	Yıllı
Elazığ	-0.8	0.	5.8	11.9	17.2	22.	27.	26.	21.6	14.6	7.	1.9	13
Baskil	-1.7	-	4.9	11.0	15.4	21.	25.	24.	20.0	13.3	5.	0.	11.6

Elazığ ve Baskil rasat istasyonlarının verilerine göre ortalama toplam yıllık yağış değerleri Elazığ'da 408.9 mm, Baskil'de ise 396 mm'dir. En fazla yağış her iki istasyonun verilerine göre sırasıyla 65.1 mm ve 61.0 mm ile Nisan ayında görülmektedir. Yağışın en az olduğu ay ise yine sırasıyla 0.7 mm ve 2.4 mm ile Temmuz ayıdır [6].

Tablo 2'de Elazığ ve Baskil'de yıllık yağışın mevsimlere göre dağılımı verilmiştir. Her iki istasyonun verilerine göre en fazla yağış Elazığ'da 169.8 mm ve Baskil'de 162.1 mm ile ilkbahar mevsiminde görülmektedir. kış mevsimi Elazığ'da 125.4 mm ve Baskil'de 115.5 mm ile ikinci sırayı alırken, üçüncü sırayı Elazığ'da 98.2 mm ve Baskil'de 97.3 mm yağış değerleri ile sonbahar mevsimi almaktadır. Yaz mevsiminde Türkiye genelinde olduğu gibi araştırma alanımızda da yağışlar azalmakta, Elazığ'da 15.5 mm ve Baskil'de 21.1 mm ile en düşük seviyeye ulaşmaktadır [2]. Buna göre Elazığ ve Baskil rasat istasyonlarının azalan yağış miktarına göre yağış rejimi ilkbahar, kış, sonbahar ve yaz (İ.K.S.Y.) şeklinde sıralanır. Bu veriler ışığında araştırma alanı Doğu Akdeniz yağış rejiminin 2. tipine dâhildir [7].

Tablo 2. Elazığ ve Baskil'de yıllık yağışın mevsimlere göre dağılımı (mm) [6].

İstasyon	İlkbahar	Yaz	Sonbahar	Kış	Yağış Rejimi
Elazığ	169.8	15.5	98.2	125.4	(İ.K.S.Y. (Doğu Akdeniz 2. Tip))
Baskil	162.1	21.1	97.3	115.5	(İ.K.S.Y. (Doğu Akdeniz 2. Tip))

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Materyal

Araştırma materyalini 2011-2013 yılları arasında farklı vejetasyon dönemlerinde toplanan 3128 bitki örneği oluşturmaktadır [2].

2.2. Yöntem

Araştırma materyalini 2011-2013 yılları arasında farklı vejetasyon dönemlerinde toplanan 3128 bitki örneği oluşturmaktadır. Bitki örneklerinin teşhis edilebilmesi için gerekli materyalin eksiksiz olarak alınmasına özen gösterilmiştir. Bitkiler toplanırken teşhiste kullanılan bazı özellikler arazi kayıt defterine not edilmiştir. Toplanan örneklerde kök, gövde, çiçek ve meyvenin bulunmasına dikkat edilmiştir. Ancak, bir bitki üzerinde çiçek ve meyve aynı anda bulunmayabilmektedir. Bu nedenle Mart-Kasım ayları arasında periyodik arazi çalışmaları yapılarak bitkinin çiçekli ve meyveli örnekleri ayrı ayrı toplanmıştır. Otsu bitkiler toplanırken kök, gövde, yaprak, çiçek, meyve gibi tüm bitki organlarının, odunsu bitkilerde ise yapraklı, çiçekli, meyveli, kozalaklı, tohumlu sürgün örneklerinin toplanmasına dikkat edilmiştir [2].

Bitkilerin teşhisinde "Flora of Turkey and the East Aegean Island's [1] adlı eserin 9 cildi, Flora of Turkey and the East Aegean Island's Supply. Vol: 10 cildi [8], Flora of Turkey and the East Aegean Island's Supply. Vol: 11. cildinden [9] yararlanılmıştır. Bitki listesinin hazırlanmasında taksonların Türkçe isimleri, coğrafik bölgeleri ve bölümleri "Türkiye Bitkileri Listesi (Damarlı Bitkiler)" adlı eserden faydalanılmıştır [10].

Bulgular kısmındaki taksonlar ise aşağıdaki sıraya göre verilmiştir:

1. Familya adı, 2. Tür adı, varsa tür altı taksonlar, 3. Toplandığı yer ve mevki adı, 4. Yetiştirme ortamları, 5. Enlem ve boylamları, 6. Toplandığı yükseklik ve tarih, 7. Toplayıcı soyadı ve toplayıcı numarası, 8. Endemik olup-olmadığı, 10. Bağlı olduğu fitocoğrafik bölgesi [2].

Familya sırası Flora of Turkey'e göre verilmiştir. [1,8,10]. Pozisyonu değişen cinsler aktarıldıkları familya içerisinde o familyada bulunan cinslerden sonra floradaki sıraları göz önünde bulundurularak verilmiştir. Araştırma alanımızdan tespit edilen bazı cinslerin familyaları değişmiştir [10]. Bitkilerin yaşam formları Raunkier'e göre verilmiştir [11].

Bitkilerin Toplandığı Lokaller:

1. Karagedik Köyü ve çevresi, dere içleri - yamaçlar, 38° 32' 14.2" N, 38° 55' 26.1" E, 1440-1560 m.
2. Karagedik Köyü Pirhasan Dağı zirveler ve dere içleri, 38° 31' 43.0" N, 38° 55' 25.8" E, 1440-1680 m.
3. Demirlibağçe Köyü Belhan mevkii, dere içleri ve yamaçlar 38° 34' 12.6" N, 38° 54' 23.2" E, 1450-1500 m.,
4. Demirlibağçe Köyü Kozaklı mevkii, 38° 33' 56.7" N, 38° 55' 11.5" E, kuzey yamaçları, 1450-1650 m.
5. Demirlibağçe Köyü Ziyaret mevkii, kuzey ve güney yamaçları, 38° 33' 47.7" N, 38° 54' 28.8" E, 1450-1500 m.
6. Aşağı Bulutlu Köyü Tapkan mevkii step-yamaçlar, 38° 32' 52.5" N, 38° 56' 22.8" E, 1500-1620 m.
7. Aşağı Bulutlu Köyü, tarla kenarları ve meşelikler, 38° 33' 26.1" N, 38° 57' 37.9" E, 1400-1450 m.
8. Yukarı Bulutlu Köyü girişi, yamaçlar ve meşelikler, 38° 33' 15.4" N, 38° 57' 56.9" E, 1380-1430 m.
9. Yenicami Köyü ve çevresi, bahçe içleri, 38° 33' 28.4" N, 39° 01' 21.9" E, 1220-1280 m.
10. Yenicami Köyü – Ağlıcık Köyü arası, tarla ve bahçe içleri, 38° 33' 25.7" N, 39° 00' 58.5" E, 1250-1300 m.
11. Ağlıcık Köyü ve çevresi, bahçe içleri ve yamaçlar, 38° 32' 27.7" N, 38° 58' 31.8" E, 1300-1450 m.
12. Şefkat Köyü – Demirlibağçe Köyü arası, Solğan Deresi ve çevresi, 38° 34' 19.5" N, 38° 53' 20.4" E, 1400-1450 m.
13. Şefkat Köyü ve çevresi, tarla ve bahçe içleri, 38° 34' 5.6" N, 38° 51' 33.4" E, 1410-1480 m.
14. Cansızlar Köyü çesmesi üst kesimleri, tarla ve bahçe içleri, step-yamaçlar, 38° 32' 9.8" N, 39° 00' 10.3" E, 1330-1400 m.
15. Yolçatı Köyü ve çevresi, 38° 32' 26.0" N, 39° 01' 50.7" E, 1240-1260 m.
16. Torsuşağı Köyü ve çevresi, 38° 28' 36.4" N, 39° 00' 58.0" E, 1270-1300 m.
17. Işıkyolu Köyü çevresi, yol boyu-tarla kenarları, 38° 31' 42.8" N, 39° 01' 6.6" E, 1270-1300 m.
18. Günaçtı Köyü tarla kenarları ve bahçe içleri, 38° 29' 32.8" N, 39° 00' 15.3" E, 1330-1380 m.
19. Akçakale Köyü ve çevresi, 38° 30' 28.4" N, 38° 59' 53.0" E, 1380-1440 m.
20. Günbağı Köyü üst kesimleri ve yamaçlar, 38° 33' 39.5" N, 38° 55' 37.3" E, 1450-1500 m.
21. Sakabaşı Köyü Petrol İstasyonu üstü kuzey ve güney yamaçları, 38° 28' 49.1" N, 39° 00' 33.1" E, 1270-1310 m.
22. Kopuzlu Köyü üst kesimleri, step-yamaçlar, 38° 31' 57.9" N, 38° 53' 34.8" E, 1450-1600 m.
23. Öksüzüzağı Köyü Kutuşağı Mezrası, yamaçlar ve meşelikler, 38° 28' 53.2" N, 38° 58' 45.5" E, 1160-1200 m.
24. Elazığ – Malatya yolu 30. km., tarla içleri, tepeliklerin kuzey ve güney kesimleri, 38° 28' 41.5" N, 38° 58' 13.1" E, 1100-1300 m.
25. Kömürhan mevkii - Baskil yolu 3. km. batı yamaçları, 38° 27' 23.5" N, 38° 50' 48.5" E, 800-850 m.
26. Çavuşlar Mezrası üst kesimleri, yamaçlar ve zirveler, 38° 32' 14.2" N, 38° 59' 27.6" E, 1370-1500 m.
27. Yalındamlar Köyü üst kesimler, kuzey ve güney yamaçları, 38° 28' 48.4" N, 38° 57' 59.7" E, 1250-1400 m.
28. Koçharmalı Köyü ve çevresi, 38° 29' 26.4" N, 38° 56' 36.2" E, 1550-1570 m.
29. Gözünarı Köyü alt kesimleri, tarla içleri ve yamaçlar, 38° 31' 6.1" N, 39° 00' 29.0" E, 1270-1310m.
30. Şahaplı Köyü Camii çevresindeki dere içleri ve stepler, 38° 32' 36.6" N, 38° 47' 51.4" E, 1220-1270 m.
31. Karaali Köyü ve çevresi, 38° 28' 39.8" N, 38° 54' 30.7" E, 1400-1450 m.

3. Bulgular

3.1. Araştırma alanının florası

PTERIDOPHYTA / EĞRELTİLER
 1.EQUISETACEAE / ATKUYRUĞUGİLLER
 1. *EQUISETUM* L. / ATKUYRUĞU

1. *E. giganteum* L. / kırkkilitotu; 1, 17.VI.2012, İ.G. 2809; 2, 20.VI.2013, İ.G. 3449.
- 2.ASPLENIACEAE/SAÇAKOTUGİLLER
 2. ASPLENIUM L. / SAÇAK OTU
 2. *A. ceterach* L. / dalakotu; 6, 09.VI.2012, İ.G. 2656; 1, 17.VI.2012, İ.G. 2807; 2, 06.IV.2013, İ.G. 3194.
- SPERMATOPHYTA / MAGNOLIOPHYTA / TOHURLU BİTKİLER PINOPHYTINA / GYMNOSPERMAE / AÇIK TOHURLULAR
 3.PINACEAE / ÇAMGİLLER
 3. CEDRUS Trew / SEDİR
 3. *C. libani* A. Rich. var. *libani* / katranağacı; 28, 15.VI.2012, İ.G. 2742; 3, 28.VIII.2013, İ.G. 3888. Akdeniz (dağ) elementi.
4. PINUS L. / ÇAM
 4. *P. nigra* J.F.Arnold subsp. *pallasiana* (Lamb.) Holmboe. / karaçam; 9, 30.III.2013, İ.G. 3137; 2, 20.VI.2013, İ.G. 3461; 2, 10.VII.2013, İ.G. 3535; 3, 28.VIII.2013, İ.G. 3885. Endemik.
- 3.CUPRESSACEAE / SERVİGİLLER
 5. JUNIPERUS L. / ARDIÇ
 5. *J. communis* L. var. *communis* / ardıç; 14, 01.V.2012, İ.G. 1843; 1, 01.V.2013, İ.G. 3393.
6. *J. excelsa* M.Bieb. subsp. *excelsa* / boz ardıç; 11, 29.IV.2012, İ.G. 1779; 11, 29.IV.2012, İ.G. 1813; 6, 09.VI.2012, İ.G. 2633; 1, 28.VII.2013, İ.G. 3618. Akdeniz Bögesi.
7. *J. oxycedrus* L. subsp. *oxycedrus* / katran ardıcı; 14, 01.V.2012, İ.G. 1830; 3, 12.V.2012, İ.G. 1970.
- MAGNOLIOPHYTINA / ANGIOSPERMAE /KAPALI TOHURLULAR
 MAGNOLIOPSIDA/ DICOTYLEDONAE / İKİÇENEKLİLER
 4.RANUNCULACEAE/DÜĞÜNÇİÇEĞİGİLLER
 6. NIGELLA L. / ÇÖREK OTU
 8. *N. oxypetala* Boiss. / firat çörekotu; 11, 13.VI.2011, İ.G. 1521; 23, 25.VI.2011, İ.G. 1633; 9, 30.III.2013, İ.G. 3127. İran–Turan elementi.
9. *N. latisepta* P.H. Davis / ekin çörekotu; 6, 09.VI.2012, İ.G. 2580; 28, 15.VI.2012, İ.G. 2754; 15, 15.VI.2012, İ.G. 2911. İran–Turan elementi.
10. *N. arvensis* L. var. *glauca* Boiss. / tarla çörekotu; 15, 15.VI.2012, İ.G. 2989; 29, 05.VII.2012, İ.G. 2998; 15, 12.VIII.2013, İ.G. 3769.
7. DELPHINIUM L. / HEZAREN
 11. *D. peregrinum* L. / tel hezaren; 29, 05.VII.2012, İ.G. 3015; 1, 10.VII.2013, İ.G. 3583; 30, 05.VIII.2013, İ.G. 3715; 3, 04.IX.2013, İ.G. 4012. Akdeniz elementi.
8. CONSOLIDA (D.C.) S.F. Gray./ MAHMUZOTU
 12. *C. orientalis* (J.Gay.) Schröd. / morçenek; 11, 28.V.2012, İ.G. 2413; 6, 09.VI.2012, İ.G. 2608; 2, 06.IV.2013, İ.G. 3206.
13. *C. glandulosa* (Boiss. & Huet) Bornm. / yağlı mahmuz; 23, 25.VI.2011, İ.G. 1656; 10, 23.V.2012, İ.G. 2285; 11, 28.V.2012, İ.G. 2418. Endemik. LC. İran–Turan elementi.
14. *C. cornuta* (P.H.Davis & Hossain) P.H.Davis / hilal mahmuz; 11, 13.VI.2011, İ.G. 1520; 26, 01.IX.2013, İ.G. 3998. Endemik. EN. İran–Turan elementi.
9. CLEMATIS L. / AKASMA
 15. *C. orientalis* L. / köpektutağı; 25, 18.V.2012, İ.G. 2132; 30, 05.VIII.2013, İ.G. 3682; 3, 28.IV.2013, İ.G. 3306.
10. ADONIS L. / KANDAMLASI
 16. *A. aestivalis* L. subsp. *aestivalis* / kandamlası; 8, 10.V.2011, İ.G. 1232; 28, 15.VI.2012, İ.G. 2726.
17. *A. aestivalis* L. subsp. *parviflora* (Fisch. ex. DC.) N.Busch. / kuşlalesi; 6, 30.IV.2011, İ.G. 1109; 18, 01.V.2011, İ.G. 1170; 23, 25.VI.2011, İ.G. 1610.
11. RANUNCULUS L. / DÜĞÜNÇİÇEĞİ
 18. *R. constantinopolitanus* (DC.) D'URV. / kağıthane çiçeği; 6, 30.IV.2011, İ.G. 1115; 18, 01.V.2011, İ.G. 1173; 9, 01.V.2011, İ.G. 1203;
19. *R. cuneatus* Boiss. / körukotu; 8, 10.V.2011, İ.G. 1244; 11, 10.V.2011, İ.G. 1254; 14, 01.V.2012, İ.G. 1828;
20. *R. rumelicus* Griseb. / rumeli yağotu; 8, 10.V.2011, İ.G. 1226; 3, 15.V.2011, İ.G. 1272. Akdeniz elementi.
21. *R. isthmicus* Boiss. subsp. *stepporum* P.H.Davis / kır köstebekotu; 9, 01.V.2011, İ.G. 1196; 31, 10.V. 2011, İ.G. 1270; 22, 15.V.2011, İ.G. 1342; 2, 20.IV.2013, İ.G. 3290.

22. *R. arvensis* L. / mustafaçeği; 14, 22.V.2011, İ.G. 1408; 23, 09.V.2011, İ.G. 1946; 3, 12.V.2012, İ.G. 1982.
23. *R. kochii* Ledeb. / karçiği; 3, 20.III.2011, İ.G. 1017; 23, 09.V.2011, İ.G. 1901; 9, 30.III.2013, İ.G. 3180; 2, 20.IV.2013, İ.G. 3238; İran-Turan elementi.
12. CERATOCEPHALA Moench, Meth. / YELOTU
24. *C. falcata* (L.) Pers. / yelotu; 23, 09.V.2011, İ.G. 1938; 26, 22.V.2012, İ.G. 2195; 9, 30.III.2013, İ.G. 3154. Türkiye Geneli.
5. PAPAVERACEAE / HAŞHAŞGİLLER
13. GLAUCIUM Mill. / ÇÖMLEKÇATLATAN
25. *G. acutidentatum* Hausskn. & Bornm. / tavukgötu; 12, 04.VI.2011, İ.G. 1433; 29, 05.VII.2012, İ.G. 3060; 3, 28.VIII.2013, İ.G. 3868. Endemik. LC. İran-Turan elementi.
14. ROEMERIA Medik. / CİNHAŞHAŞI
26. *R. hybrida* (L.) DC. subsp. *hybrida* / pıtpıtotu; 23, 25.VI.2011, İ.G. 1641; 24, 14.V.2012, İ.G. 2104; 28, 15.VI.2012, İ.G. 2736.
15. PAPAVER L. / GELİNCİK
27. *P. fugax* Poir. var. *fugax* / gelingülü; 1, 28.VII.2013, İ.G. 3625; 11, 09.VI.2012, İ.G. 2599; 7, 28.VIII.2013, İ.G. 3927.
28. *P. rhoeas* L. / gelincik; 9, 13.VI.2011, İ.G. 1398; 13, 20.VI.2011, İ.G. 1595; 2, 10.VII.2013, İ.G. 3567.
29. *P. dubium* L. subsp. *dubium* / köpekyığı; 22, 15.V.2011, İ.G. 1318; 12, 04.VI.2011, İ.G. 1458; 25, 18.V.2012, İ.G. 2178; 28, 15.VI.2012, İ.G. 2669;
30. *P. arenarium* M. Bieb. / karagöz; 3, 15.V.2011, İ.G. 1274; 24, 14.V.2012, İ.G. 2080; 3, 28.IV.2013, İ.G. 3331.
31. *P. argemone* L. subsp. *argemone* / kum haşhaşı; 11, 28.V.2012, İ.G. 2340; 7, 28.VIII.2013, İ.G. 3922.
16. HYPECOUM L. / HİDRELLEZOTU
32. *H. dimidatum* Delile / boynuzlu kimyon; 23, 09.V.2011, İ.G. 1924; 28, 15.VI.2012, İ.G. 2740.
17. CORYDALIS DC. / KAZGAGASI
33. *C. erdelii* Zucc. / kazgagası; 4, 03.IV.2011, İ.G. 1026; 3, 28.IV.2013, İ.G. 3328.
18. FUMARIA L. / ŞAHTERE
34. *F. parviflora* Lam. / tarla şahteresi; 6, 09.VI.2012, İ.G. 2635; 2, 06.VI.2013, İ.G. 3183; 26, 01.IX.2013, İ.G. 3989.
35. *F. asepala* Boiss. / ak şahtere; 14, 22.V.2011, İ.G. 1414; 25, 18.V.2012, İ.G. 2135; 11, İran-Turan elementi.
7. BRASSICACEAE / TURPGİLLER
19. BRASSICA L. / LAHANA
36. *B. elongata* Ehrh. / uzun şalgam; 10, 23.V.2012, İ.G. 2300; 2, 06.IV.2013, İ.G. 3202; 26, 01.IX.2013, İ.G. 3963.
20. SINAPIS L. / HARDAL
37. *S. arvensis* L. / hardal; 11, 15.VII.2011, İ.G. 1749; 24, 14.V.2012, İ.G. 2048; 21, 05.VI.2012, İ.G. 2512. Türkiye.
21. RAPHANUS L. / TURP
38. *R. raphanistrum* L. subsp. *raphanistrum* / eşek turpu; 17, 23.III.2013, İ.G. 3110; 9, 30.III.2013, İ.G. 3162;
22. CONRINGIA Heist. ex Fabr. / TELKARİOTU
39. *C. orientalis* (L.) Dumort. / kocatelkari; 18, 01.V.2011, İ.G. 1178; 23, 09.V.2011, İ.G. 1941; 9, 30.III.2013, İ.G. 3150.
23. LEPIDIUM L. / TERE
40. *L. draba* L. / diğnik; 21, 01.V.2011, İ.G. 1181; 15, 12.VIII.2013, İ.G. 3757.
24. ISATIS L. / ÇİVİTOTU
41. *I. candolleana* Boiss. / temren çiviotu; 19, 01.V.2011, İ.G. 1215; 6, 09.VI.2012, İ.G. 2600. Endemik. LC. İran-Turan elementi.
42. *I. glauca* Aucher ex Boiss. subsp. *glauca* / soğutot; 2, 10.VII.2013, İ.G. 3576; 7, 28.VIII.2013, İ.G. 3942. İran-Turan elementi.
25. COLUTEOCARPUS Boiss. / PATARIKOTU
43. *C. vesicaria* (L.) Holmboe subsp. *vesicaria* / turan patarığı; 19, 17.IV.2011, İ.G. 1064; 11, 29.IV.2012, İ.G. 1777; 11, 28.V.2012, İ.G. 2307. İran-Turan elementi.
26. AETHIONEMA Aiton, Hortus Kew. / KAYAGÜLÜ
44. *A. carneum* (Banks & Sol.) Fedtsch. / al kayagülü; 24, 14.V.2012, İ.G. 2025; 27, 05.VI.2012, İ.G. 2453; 21, 05.VI.2012, İ.G. 2490. İran-Turan elementi.
45. *A. arabicum* (L.) Andr. ex DC. / arap taşçantası; 6, 30.IV.2011, İ.G. 1130; 3, 30.IV.2011, İ.G. 1143; 22, 15.V.2011, İ.G. 1340; 3, 12.V.2012, İ.G. 1986; 25, 18.V.2012, İ.G. 2166.
46. *A. iberideum* (Boiss.) Boiss. / ak kayagülü; 1, 28.VII.2013, İ.G. 3652; 3, 04.IX.2013, İ.G. 4014.
47. *A. armenum* Boiss. / taşçantası; 26, 22.V.2012, İ.G. 2224; 2, 10.VII.2013, İ.G. 3554. İran-Turan elementi.
27. MICROTHLASPI F.K. Mey. / GİYLE
48. *M. perfoliatum* (L.) F.K. Mey. / giyle; 4, 03.IV.2011, İ.G. 1040; 8, 30.IV.2011, İ.G. 1104; 3, 30.IV.2011, İ.G. 1140; 2, 20.VI.2013, İ.G. 3441.
28. CAPSELLA Medik. / ÇOBANÇANTASI
49. *C. bursa-pastoris* (L.) Medik. / çobançantası; 17, 17.IV.2011, İ.G. 1056; 20, 30.IV.2011, İ.G. 1076.
29. BOREAVA Jaub & Spach / SARIOT
50. *B. orientalis* Jaub. & Spach / sarıot; 9, 15.V.2011, İ.G. 1292; 23, 09.V.2011, İ.G. 1896.
30. MYAGRUM L. / ÜÇODAOTU
51. *M. perfoliatum* L. / üçodaotu; 18, 01.V.2011, İ.G. 1172; 9, 01.V.2011, İ.G. 1201; 17, 23.III.2013, İ.G. 3115.
31. NESLIA Desv. / TOPHARDAL
52. *N. paniculata* (L.) Desv. subsp. *thracica* (Velen.) Bornm. / göçmen hardalı; 21, 05.VI.2012, İ.G. 2504.
32. FIBIGIA Medik. / SİKKE OTU
53. *F. clypeata* (L.) Medik. var. *eriocarpa* (D.C.) Post / sikkeotu; 5, 01.V.2011, İ.G. 1158; 14, 01.V.2012, İ.G. 1833.
33. ALYSSUM L. / KUDUZOTU
54. *A. linifolium* Steph. ex Willd. var. *linifolium* / çıplak kuduzotu; 19, 17.IV.2011, İ.G. 1070; 24, 14.V.2012, İ.G. 2007; 6, 09.VI.2012, İ.G. 2637.
55. *A. aureum* (Fenzl) Boiss. / altın kuduzotu; 19, 17.IV.2011, İ.G. 1072; 14, 22.V.2011, İ.G. 1407. İran-Turan elementi.
56. *A. alyssoides* (L.) L. / deliotu; 20, 30.IV.2011, İ.G. 1081; 23, 09.V.2011, İ.G. 1921; 24, 14.V.2012, İ.G. 2011. Endemik. LC. İran-Turan elementi.
57. *A. desertorum* Stapf. / dumanotu; 20, 30.IV.2011, İ.G. 1086; 11, 29.IV.2012, İ.G. 1770; 10, 23.V.2012, İ.G. 2266.
58. *A. strictum* Willd. / dik kuduzotu; 26, 22.V.2012, İ.G. 2210; 27, 05.VI.2012, İ.G. 2451. İran-Turan elementi.
59. *A. szowitsianum* Fisch. & Mey. / çar kuduzotu; 31, 10.V.2011, İ.G. 1264; 3, 04.IX.2013, İ.G. 4018.
60. *A. strigosum* Banks & Sol. subsp. *strigosum* / dökük kuduzotu; 8, 10.V.2011, İ.G. 1236; 14, 01.V.2012, İ.G. 1845.
61. *A. pateri* Nyar. subsp. *pateri* / kanatlı kekke; 14, 01.V.2012, İ.G. 1826; 26, 22.V.2012, İ.G. 2206. Endemik. LC. İran-Turan elementi.
62. *A. murale* Waldst. & Kit. subsp. *murale* var. *murale* / seki kuduzotu; 23, 09.V.2011, İ.G. 1925; 27, 05.VI.2012, İ.G. 2486.
34. CLYPEOLA L. / AKÇEOTU
63. *C. aspera* (Grauer) Turrill / kılı akçeotu; 23, 09.V.2011, İ.G. 1926; 10, 23.V.2012, İ.G. 2287. İran-Turan elementi.
35. DRABA L. / KAYADOLAMASI
64. *D. verna* L. / çırçırotu; 14, 01.V.2012, İ.G. 1819; 10, 23.V.2012, İ.G. 2299.
36. NASTURTIUM R.Br. / SUTERESİ
65. *N. officinale* R.Br. / suteresi; 3, 15.V.2011, İ.G. 1278; 12, 04.VI.2011, İ.G. 1437; 13, 20.VI.2011, İ.G. 1560.
37. BARBAREA W. Aiton / NİCAROTU
66. *B. auriculata* Hausskn. ex. Bornm. var. *auriculata* / kulaklı nicarotu; 10, 22.V.2011, İ.G. 1352; 26, 22.V.2012, İ.G. 2220. Endemik. CD. İran-Turan elementi.
38. CHORISPORA DC. / ALAKÜLÜNK
67. *C. purpurascens* (Banks & Sol.) Eig / ala külünk; 8, 10.V.2011, İ.G. 1227; 4, 03.IV.2011, İ.G. 1038; 30, 05.VIII.2013, İ.G. 3734. İran-Turan elementi.
39. HESPERIS L. / AKŞAMYILDIZI
68. *H. pendula* D.C. subsp. *pendula* / dingildek; 9, 15.V.2011, İ.G. 1301; 3, 04.IX.2013, İ.G. 4021. Akdeniz elementi.
40. STERIGMOSTEMUM M. Bieb. / HIRIKSÜSÜN
69. *S. incanum* M. Bieb. / boz süsün; 10, 22.V.2011, İ.G. 1361; 26, 22.V.2012, İ.G. 2241. İran-Turan elementi.
41. ERYSIMUM L. / ZARİFEOTU
70. *E. cuspidatum* (M.Bieb.) DC. / kuyruklu zarife; 14, 01.V.2012, İ.G. 1868; 26, 22.V.2012, İ.G. 2240.
71. *E. leucanthemum* (Stephan ex Willd.) B. Fedtsch. / bayır zarifesi; 11, 28.V.2012, İ.G. 2327; 26, 01.IX.2013, İ.G. 3981.
72. *E. sintenisianum* Bornm. / köşeli zarifeotu; 6, 17.VI.2012, İ.G. 2792; 1, 01.V.2013, İ.G. 3402; 2, 20.VI.2013, İ.G. 3482; 3, 04.IX.2013, İ.G. 4022. Endemik. LC. İran-Turan elementi.
73. *E. crassipes* Fisch. & Mey. / zarifeotu; 6, 09.VI.2012, İ.G. 2578; 28, 15.VI.2012, İ.G. 2753.

74. *E. smyrnaeum* Boiss. & Balansa / zeybek zarifesi; 21, 01.V.2011, İ.G. 1188; 3, 04.IX.2013, İ.G. 4023.
75. *E. repandum* L. / çatal zarife; 8, 30.IV.2011, İ.G. 1087; 6, 30.IV.2011, İ.G. 1129; 18, 01.V.2011, İ.G. 1175.
42. SISYMBRIUM L. / BÜLBÜLOTU
76. *S. altissimum* L. / ergelenotu; 9, 15.V.2011, İ.G. 1294; 21, 05.VI.2012, İ.G. 2514; 6, 17.VI.2012, İ.G. 2790.
43. DESCURAINIA Webb & Berth. / SADIROTU
77. *D. sophia* (L.) Webb ex Prantl subsp. *sophia* / sadrotu; 16, 17.IV.2011, İ.G. 1049; 14, 22.V.2011, İ.G. 1387; 23, 25.VI.2011, İ.G. 1627.
44. CAMELINA Crantz. / KETENTERE
78. *C. rumelica* Vel. / ketentere; 6, 30.IV.2011, İ.G. 1133; 3, 26, 22.V.2012, İ.G. 2217; 29, 05.VII.2012, İ.G. 3042.
8. CLEOMACEAE / SAÇAKGÜL GİLLER
45. CLEOME L. / SAÇAKGÜLÜ
79. *C. ornithopodioides* L. / taş saçakgülü; 21, 05.VI.2012, İ.G. 2498; 30, 05.VIII.2013, İ.G. 3692. Akdeniz elementi.
9. CAPPARACEAE / KEBEREGİLLER
46. CAPPARIS L. / KEBERE
80. *C. spinosa* L. / kebere; 24, 14.V.2012, İ.G. 2021; 25, 18.V.2012, İ.G. 2140; 27, 05.VI.2012, İ.G. 2455.
10. RESEDACEAE / GERDANLIK GİLLER
47. RESEDA L. / GERDANLIK
81. *R. lutea* L. var. *lutea* / muhabbet çiçeği; 8, 10.V.2011, İ.G. 1228; 11, 30.VI.2011, İ.G. 1696; 9, 30.III.2013, İ.G. 3179.
11. CISTACEAE / LADENGİLLER
48. HELIANTHEMUM Miller / GÜNGÜLÜ
82. *H. salicifolium* (L.) Miller / söğüt güngülü; 10, 22.V.2011, İ.G. 1349; 26, 22.V.2012, İ.G. 2218.
12. VIOLACEAE / MENEKŞE GİLLER
49. VIOLA L. / MENEKŞE
83. *V. occulta* Lehm. / saklı menekşe; 11, 29.IV.2012, İ.G. 1809; 23, 09.V.2011, İ.G. 1934; İ.G. 3516.
13. POLYGALACEAE / SÜTOTUGİLLER
50. POLYGALA L. / SÜTOTU
84. *P. pruinosa* Boiss. subsp. *pruinosa* / puslu sütotu; 3, 06.III.2011, İ.G. 1001; 13, 20.VI.2011, İ.G. 1576.
14. PORTULACACEAE / SEMİZOTUGİLLER
51. PORTULACA L. / SEMİZOTU
85. *P. oleracea* L. / semizotu; 15, 15.VI.2012, İ.G. 2939; 15, 12.VIII.2013, İ.G. 3766.
15. CARYOPHYLLACEAE / KARANFİLGİLLER
52. ARENARIA L. / KUMOTU
86. *A. serphyllifolia* L. subsp. *leptoclados* (Reichb.) Nyman / kuru kumotu; 22, 15.V.2011, İ.G. 1335; 13, 20.VI.2011, İ.G. 1548; 3, 12.V.2012, İ.G. 1978; 3, 28.IV.2013, İ.G. 3346.
87. *A. serphyllifolia* L. subsp. *serphyllifolia* / tarla kumotu; 5, 01.V.2011, İ.G. 1167; 22, 15.V.2011, İ.G. 1344.
53. EREMOGONE Fenzl / İGNEKUMOTU
88. *E. acerosa* (Boiss.) Ikonn. / sivri kumotu; 26, 22.V.2012, İ.G. 2223; 2, 20.IV.2013, İ.G. 3253. Endemik. LC.
54. MINUARTIA L. / TISTİSOTU
89. *M. montana* L. / demet tıstısı; 27, 05.VI.2012, İ.G. 2457; 17, 23.III.2013, İ.G. 3121. İran-Turan elementi.
90. *M. hamata* (Hauskn.) Mattf. / kuruotu; 1, 01.V.2013, İ.G. 3351; 2, 20.VI.2013, İ.G. 3489; 1,28.VII.2013, İ.G. 3598.
91. *M. hybrida* (Vill.) Sch. subsp. *hybrida* / çayır tıstısı; 23, 25.VI.2011, İ.G. 1603; 27, 05.VI.2012, İ.G. 2480.
55. STELLARIA L. / KUŞOTU
92. *S. media* (L.) Vill. / kuşotu; 14, 01.V.2012, İ.G. 1861; 25, 18.V.2012, İ.G. 2148; 27, 17.IX.2013, İ.G. 4128.
56. CERASTIUM L. / BOYNUZOTU
93. *C. dubium* (Bastard) O. Schwarz / mızrak boynuzotu; 21, 05.VI.2012, İ.G. 2538; 17, 23.III.2013, İ.G. 3084; 10, 06.IV.2013, İ.G. 3225.
94. *C. armeniacum* Gren. / pek boynuzotu; 6, 20.IV.2013, İ.G. 3269; 1,01.V.2013, İ.G. 3403. Endemik. LC. İran-Turan elementi.
95. *C. perfoliatum* L. / ekin boynuzotu; 20, 30.IV.2011, İ.G. 1075; 9, 15.V.2011, İ.G. 1296.
96. *C. dichotomum* L. subsp. *dichotomum* / çatal boynuzotu; 24, 14.V.2012, İ.G. 2008; 10, 23.V.2012, İ.G. 2301.
97. *C. semidecandrum* / çengel boynuzotu; 4, 03.IV.2011, İ.G. 1029; 14, 04.IV.2012, İ.G. 1765; 9, 30.III.2013, İ.G. 3153.
57. HOLOSTEUM L. / ŞEYTANKÜPESİ
98. *H. umbellatum* L. var. *umbellatum* / şeytan küpesi; 23, 09.V.2011, İ.G. 1932; 17, 23.III.2013, İ.G. 3082.
58. BUFONIA L. / HATUNOTU
99. *B. virgata* L. / tel hatunotu; 30, 05.VIII.2013, İ.G. 3691; 3, 28.VIII.2013, İ.G. 3820.
59. TELEPHIUM L. / ZULZULA
100. *T. imperati* L. subsp. *orientale* (Boiss.) Nyman / zulzula; 23, 09.V.2012, İ.G. 1923; 21, 05.VI.2012, İ.G. 2488; 29, 05.VII.2012, İ.G. 3030.
60. DIANTHUS L. / KARANFİL
101. *D. floribundus* Boiss. / kırk karanfil; 6, 17.VI.2012, İ.G. 2802; 2, 20.IV.2013, İ.G. 3294; 7, 28.VIII.2013, İ.G. 3944. İran-Turan elementi.
61. PETRORRHAGIA (Ser.) Link. / FERACEOTU
102. *P. cretica* (L.) P.W.Ball. & Heywood / ada zarçiçeği; 12, 04.VI.2011, İ.G. 1472; 30, 05.VIII.2013, İ.G. 3689.
62. VELEZIA L. / TIĞOTU
103. *V. rigida* L. / tığotu; 27, 05.VI.2012, İ.G. 2460; 29, 05.VII.2012, İ.G. 3040.
63. SAPONARIA L. / SABUNOTU
104. *S. orientalis* L. / deli sabunotu; 11, 28.V.2012, İ.G. 2352; 1,28.VII.2013, İ.G. 3667; 26, 01.IX.2013, İ.G. 3969.
105. *S. prostrata* Willd. subsp. *prostrata* / ebemterliği; 20, 30.IV.2011, İ.G. 1084; 6, 30.IV.2011, İ.G. 1126; 1,28.VII.2013, İ.G. 3654. Endemik. LC. İran-Turan elementi.
106. *S. prostrata* Willd. subsp. *anatolica* Hedge / ana sabunotu; 9, 13.VI.2011, İ.G. 1487; 6, 09.VI.2012, İ.G. 2571. Endemik. LC. İran-Turan elementi.
64. GYPSOPHILA L. / ÇÖVEN
107. *G. pilosa* Hudson / tarla çöveni; 14, 01.V.2012, İ.G. 1846; 29, 05.VII.2012, İ.G. 3008. İran-Turan elementi.
108. *G. pallida* Stapf. / şark çöveni; 15, 15.VI.2012, İ.G. 2948; 29, 05.VII.2012, İ.G. 2997. İran-Turan elementi.
65. ACANTHOPHYLLUM C.A.Mey. / TAKACAK
109. *A. verticillatum* C.A.Mey. / takacak; 6, 20.IV.2013, İ.G. 3275; 1,28.VII.2013, İ.G. 3643. İran-Turan elementi.
66. VACCARIA Medik. / EKİNEBESİ
110. *V. hispanica* (Mill.) Rauschert / ekinebesi; 27, 05.VI.2012, İ.G. 2430; 21, 05.VI.2012, İ.G. 2489.
7. SILENE L. / NAKİL
111. *S. marschallii* C.A. Mey. subsp. *marschallii* / salkım çiçeği; 29, 05.VII.2012, İ.G. 3024. İran-Turan elementi.
112. *S. chlorifolia* Sm. / puşkullu; 23, 09.V.2012, İ.G. 1909; 29, 05.VII.2012, İ.G. 3035. İran-Turan elementi.
113. *S. spergulifolia* (Desf.) M. Bieb. / ana nakılı; 2, 10.VII.2013, İ.G. 3559. İran-Turan elementi.
114. *S. arguta* Fenzl / saman nakılı; 6, 09.VI.2012, İ.G. 2653; 3, 04.IX.2013, İ.G. 4043.
115. *S. vulgaris* (Moench) Garcke var. *vulgaris* / ecibücü; 28, 15.VI.2012, İ.G. 2682; 1,28.VII.2013, İ.G. 3638.
116. *S. armeria* L. / horozpipiği; 29, 05.VII.2012, İ.G. 3021; 15, 12.VIII.2013, İ.G. 3739.
117. *S. compacta* Fisch. ex Hornem. / kanlı basıraotu; 1, 01.V.2013, İ.G. 3405; 7, 28.VIII.2013, İ.G. 3939.
118. *S. dichotoma* Ehrh. subsp. *dichotoma* / çatal; 23, 09.V.2011, İ.G. 1908; 24, 14.V.2012, İ.G. 2117.
68. AGROSTEMMA L. / BUĞDAYKARAMUĞU
119. *A. githago* L. / buğday karamuğu; 4, 03.IV.2011, İ.G. 1036; 22, 15.V.2011, İ.G. 1332; 13, 20.VI.2011, İ.G. 1556.
69. HERNIARIA L. / ATYARAN
120. *H. incana* Lam. / kabayaran; 6, 30.IV.2011, İ.G. 1121; 11, 09.VI.2012, İ.G. 2585; 29, 05.VII.2012, İ.G. 3011.
70. PARONYCHIA Mill. / ETYARAN
121. *P. kurdica* Boiss. subsp. *kurdica* var. *kurdica* (Boiss.) Mcneill / boz kepekotu; 12, 04.VI.2011, İ.G. 1470; 26, 22.V.2012, İ.G. 2194; 30, 05.VIII.2013, İ.G. 3678.
16. POLYGONACEAE / MADIMAK GİLLER
71. ATRAPHAXIS L. / DEVEKIRAN
122. *A. billardieri* Jaub. & Spach. var. *billardieri* / teke buğdayı; 23, 25.VI.2011, İ.G. 1629; 10, 06.IV.2013, İ.G. 3231; 19, 10.IX.2013, İ.G. 4077. İran-Turan elementi.
72. RHEUM L. / İŞGIN
123. *R. ribes* L. / işgin; 22, 15.V.2011, İ.G. 1343. İran-Turan elementi.
73. POLYGONUM L. / MADIMAK

124. *P. lapathifolium* L. / tirşon; 10, 23.V.2012, İ.G. 2257; 15, 12.VIII.2013, İ.G. 3776.
125. *P. cognatum* Meissn. / madımak; 26, 22.V.2012, İ.G. 2236; 10, 23.V.2012, İ.G. 2270.
126. *P. arenastrum* Boreau / bezmeceotu; 10, 23.V.2012, İ.G. 2254; 15, 15.VI.2012, İ.G. 2902.
127. *P. arenarium* Waldst. & Kit. / yer madımağı; 5, 30.IV.2011, İ.G. 1153; 23, 09.V.2011, İ.G. 1897; 24, 14.V.2012, İ.G. 2003.
128. *P. convolvulus* L. / yayılğan; 20, 30.IV.2011, İ.G. 1073; 1,10.VII.2013, İ.G. 3561; 30, 05.VIII.2013, İ.G. 3701.
74. RUMEX L. / LABADA
129. *R. acetosella* L. / kuzukulağı; 10, 23.V.2012, İ.G. 22; 2, 10.VII.2013, İ.G. 3546; 1,28.VII.2013, İ.G. 3660.
130. *R. scutatus* L. / ekşimen; 6, 30.IV.2011, İ.G. 1127; 10, 23.V.2012, İ.G. 2279; 11, 28.V.2012, İ.G. 2402.
131. *R. crispus* L. / labada; 2, 2.VI.2013, İ.G. 3479; 7, 28.VIII.2013, İ.G. 3896.
17. AMARANTHACEAE / HOROZİBİĞİGİLLER
75. CHENOPODIUM L. / SİRKEN
132. *C. botrys* L. / kızılbaşak; 6, 20.IV.2013, İ.G. 3274; 30, 05.VIII.2013, İ.G. 3679; 7, 28.VIII.2013, İ.G. 3894.
133. *C. album* L. subsp. *album* var. *album* / aksirken; 15, 15.VI.2012, İ.G. 2920; 30, 05.VIII.2013, İ.G. 3711.
76. NOAEA Moq. / HÖLMEZOTU
134. *N. mucronata* (Forssk.) Asch. & Schweinf. subsp. *mucronata* / hölmezotu; 29, 05.VII.2012, İ.G. 3038; 30, 05.VIII.2013, İ.G. 3707.
77. AMARANTHUS L. / HOROZİBİĞİ
135. *A. retroflexus* L. / tilkikuyruğu; 28, 15.VI.2012, İ.G. 2737; 17, 23.III.2013, İ.G. 3114.
136. *A. albus* L. / kömüşi mancarı; 9, 15.V.2011, İ.G. 1311.
18. TAMARICACEAE / İLGİNGİLLER
78. TAMARIX L. / İLGIN
137. *T. smyrnensis* Bunge, Tent. Gen. Tamar. / İlgin; 25, 18.V.2012, İ.G. 2155; 30, 05.VIII.2013, İ.G. 3729.
19. HYPERICACEAE (GUTTIFERAE) / KANTARONGİLLER
79. HYPERICUM L. / KANTARON
138. *H. lysimachioides* Boiss. & Noe var. *lysimachioides* / eğin kantaronu; 21, 05.VI.2012, İ.G. 2492; 2, 06.IV.2013, İ.G. 3214. İran-Turan elementi.
139. *H. uniglandulosum* Hausskn. ex Bornm. / kemaliye kantaronu; 11, 28.V.2012, İ.G. 2359; 29, 05.VII.2012, İ.G. 3001.. Endemik. NT. İran-Turan elementi.
140. *H. scabroides* N.Robson & Poulter. / kepirotu; 24, 14.V.2012, İ.G. 2055; 26, 22.V.2012, İ.G. 2192; 16, 17.IX.2013, İ.G. 4103. Endemik. İran-Turan elementi.
141. *H. scabrum* L. / karahasıncayı; 24, 14.V.2012, İ.G. 2012;; 26, 22.V.2012, İ.G. 2239; 26, 01.IX.2013, İ.G. 3994. İran-Turan elementi.
142. *H. perforatum* L. / kantaron; 29, 05.VII.2012, İ.G. 3010.
143. *H. triquetrifolium* Turra / purpirotu; 23, 25.VI.2011, İ.G. 1640; 28, 15.VI.2012, İ.G. 2683; 16, 17.IX.2013, İ.G. 4101.
20. MALVACEAE / EBEGÜMECİGİLLER
80. HIBISCUS / KERKEDE
144. *H. trionum* L. / kerkede; 6, 17.VI.2012, İ.G. 2811; 9, 30.III.2013, İ.G. 3159; 3, 28.VIII.2013, İ.G. 3889.
81. MALVA L. / EBEGÜMECİ
145. *M. neglecta* Wallr., Syll. Ratisb. / çobançoğreği; 2, 20.IV.2013, İ.G. 3256; 30, 05.VIII.2013, İ.G. 3735.
82. ALCEA L. / HATMI
146. *A. striata* (DC.) Alef. subsp. *rufescens* (Boiss.) Culten / kaya hatmisi; 24, 14.V.2012, İ.G. 2046; 28, 15.VI.2012, İ.G. 2703. İran-Turan elementi.
147. *A. calvertii* (Boiss.) Boiss. / hıraççeği; 14, 01.V.2012, İ.G. 1839; 24, 14.V.2012, İ.G. 2017; 29, 05.VII.2012, İ.G. 3059. İran-Turan elementi.
20. LINACEAE / KETENGİLLER
83. LINUM L. / KETEN
148. *L. mucronatum* Bertol subsp. *mucronatum* / sarı keten; 12, 04.VI.2011, İ.G. 1420; 9, 13.VI.2011, İ.G. 1486; 11, 18.VI.2012, İ.G. 2887. İran-Turan elementi.
149. *L. mucronatum* Bertol subsp. *armenum* (Bordz.) P.H.Davis / sarıkamış keteni; 14, 22.V.2011, İ.G. 1415; 23, 25.VI.2011, İ.G. 1601; 27, 05.VI.2012, İ.G. 2470; 21, 05.VI.2012, İ.G. 2526. İran-Turan elementi.
150. *L. nodiflorum* L. / yaban keteni; 12, 04.VI.2011, İ.G. 1440; 9, 10.VII.2011, İ.G. 1713.
24. GERANIACEAE / TURNAGAGASIGİLLER
84. GERANIUM L. / TURNAGAGASI
151. *G. purpureum* Vill. / ebedön; 18, 01.V.2011, İ.G. 1171; 8, 10.V.2011, İ.G. 1234; 9, 15.V.2011, İ.G. 1288.
152. *G. tuberosum* L. / çakmuz; 17, 17.IV.2011, İ.G. 1054; 8, 30.IV.2011, İ.G. 1093; 22, 15.V.2011, İ.G. 1321.
85. ERODIUM L'Her. Ex Ailton / DÖNBABA
153. *E. cicutarium* (L.) L'Herit subsp. *cicutarium* / iğnelik; 9, 15.V.2011, İ.G. 1302; 22, 15.V.2011, İ.G. 1334.
23. ZYGOPHYLLACEAE / ÇOBANÇÖKERTENGİLLER
86. TRIBULUS L. / ÇOBANÇÖKERTEN
154. *T. terrestris* L. / çobançökerten; 12, 04.VI.2011, İ.G. 1425; 30, 05.VIII.2013, İ.G. 3695.
24. RUTACEAE / TURUNÇGİLLER
87. RUTA L. / SEDEFOTU
155. *R. suaveolens* DC. / taş sedefotu; 14, 01.V.2012, İ.G. 1850; 6, 17.VI.2012, İ.G. 2782; 29, 05.VII.2012, İ.G. 2992.
156. *R. buxbaumii* Poir. / sedefotu; 11, 28.V.2012, İ.G. 2379; 6, 09.VI.2012, İ.G. 2570; 3, 04.IX.2013, İ.G. 4048.
25. VITACEAE / ASMAGİLLER
88. VITIS L. / ASMA
157. *V. vinifera* L. / asma; 14, 04.IV.2012, İ.G. 1761.
26. ANACARDIACEAE / MENENGİÇGİLLER
89. RHUS L. / SUMAK
158. *R. coriaria* L. / sumak; 1, 17.VI.2012, İ.G. 2838; 3, 04.IX.2013, İ.G. 4008.
27. FABACEAE / BAKLAGİLLER
90. GLEDITSIA L. / GİLEDİÇYA
159. *G. triancanthos* L. / gilediçya; 11, 18.VI.2012, İ.G. 2857; 9, 30.III.2013, İ.G. 3141; 2, 20.VI.2013, İ.G. 3526.
91. ACACIA Mill. / AKASYA
160. *A. karroo* Hayne / akasya; 9, 30.III.2013, İ.G. 3140; 2, 06.IV.2013, İ.G. 3178; 3, 04.IX.2013, İ.G. 4044.
92. ROBINIA L. / YALANCI AKASYA
161. *R. pseudoacacia* L. / yalancı akasya; 9, 30.III.2013, İ.G. 3149; 30, 05.VIII.2013, İ.G. 3685.
93. COLUTEA L. / PATLANGAÇ
162. *C. cilicica* Boiss. & Balansa / patlangaç; 6, 09.VI.2012, İ.G. 2552; 2, 20.IV.2013, İ.G. 3241; 2, 10.VII.2013, İ.G. 3569.
94. ASTRAGALUS L. / GEVEN
163. *A. cretaceus* Boiss / gök geven; 6, 09.VI.2012, İ.G. 2621; 1,01.V.2013, İ.G. 3412. İran-Turan elementi.
164. *A. densifolius* Lam. subsp. *densifolius* / gümüş geven; 19, 17.IV.2011, İ.G. 1068. İran-Turan elementi.
165. *A. caraganae* Fisch. & C.A.Mey. / azer geveni; 11, 28.V.2012, İ.G. 2424. İran-Turan elementi.
166. *A. christianus* L. subsp. *christianus* / dallı geven; 10, 22.V.2011, İ.G. 1362. Endemik. LC.
167. *A. leporinus* Boiss. var. *hirsutus* (Post) D.F.Chamb. / ırız geveni; 6, 09.VI.2012, İ.G. 2622; 1,28.VII.2013, İ.G. 3655; 26, 01.IX.2013, İ.G. 3985. Endemik. LC. İran-Turan elementi.
168. *A. gummifer* Labill. / sakızlı geven; 1, 01.V.2013, İ.G. 3410; 2, 20.VI.2013, İ.G. 3497. İran-Turan elementi.
169. *A. pycnocephalus* Fisch. / bozuk geven; 28, 15.VI.2012, İ.G. 2719; 26, 01.IX.2013, İ.G. 3990. İran-Turan elementi.
170. *A. compactus* Lam. subsp. *compactus* / guni; 12, 04.VI.2011, İ.G. 1432. İran-Turan elementi.
171. *A. lamarckii* Boiss. / eğin geveni; 24, 14.V.2012, İ.G. 2050. Endemik. LC. İran-Turan elementi.
172. *A. kurdicus* Boiss. / ahır geveni; 14, 01.V.2012, İ.G. 1864. İran-Turan elementi.
173. *A. cephalotes* Banks & Sol. var. *cephalotes* / başlı geven; 24, 14.V.2012, İ.G. 2042; 21, 05.VI.2012, İ.G. 2535; 29, 05.VII.2012, İ.G. 3050;
174. *A. cephalotes* Banks & Sol. var. *sintenisianus* (Sirj.) D.F.Chamb. & Matthews / başlı geven; 11, 28.V.2012, İ.G. 2406; 6, 09.VI.2012, İ.G. 2620.
175. *A. lagopoides* Lam. / som geven; 2, 10.VII.2013, İ.G. 3577; 1,28.VII.2013, İ.G. 3647; 7, 28.VIII.2013, İ.G. 3937. İran-Turan elementi.
176. *A. anthylloides* Lam. / torbalı geven; 19, 10.IX.2013, İ.G. 4054; 19, 10.IX.2013, İ.G. 4076. İran-Turan elementi.
177. *A. decurrens* Boiss. / kulaklı geven; 23, 25.VI.2011, İ.G. 1625; 28, 15.VI.2012, İ.G. 2730. İran-Turan elementi.

178. *A. macrocephalus* Willd. subsp. *finitimus* (Bunge) D.F. Chamb. / topaç geveni; 1,01.V.2013, İ.G. 3406; 2, 20.VI.2013, İ.G. 3518; 26, 01.IX.2013, İ.G. 3970. İran-Turan elementi.
179. *A. odoratus* Lam. / misk geveni; 12, 04.VI.2011, İ.G. 1479; 13, 20.VI.2011, İ.G. 1558; 3, 12.V.2012, İ.G. 1972.
180. *A. aduncus* Wild. / çengel geveni; 11, 30.VI.2011, İ.G. 1704; 25, 18.V.2012, İ.G. 2131; 27, 05.VI.2012, İ.G. 2471.
181. *A. psoraloides* Lam. / bayburt geveni; 9, 30.III.2013, İ.G. 3164; 16, 17.IX.2013, İ.G. 4093. İran-Turan elementi.
182. *A. onobrychis* L. / korunga geveni; 9, 13.VI.2011, İ.G. 1518; 26, 01.IX.2013, İ.G. 3960.
183. *A. bicolor* subsp. *bicolor* Lam. / hoş geveni; 11, 28.V.2012, İ.G. 2394; 26, 01.IX.2013, İ.G. 3948. İran-Turan elementi.
184. *A. tigridis* Boiss. / dicle geveni; 12, 04.VI.2011, İ.G. 1424; 23, 09.V.2011, İ.G. 1887. İran-Turan elementi.
185. *A. nitens* Boiss. & Heldr. / parlak geveni; 11, 28.V.2012, İ.G. 2389; 15, 23.III.2013, İ.G. 3125. İran-Turan elementi.
95. CICER L. / NOHUT
186. *C. pinnatifidum* Jaub. & Spach / çakıl nohutu; 9, 16.III.2013, İ.G. 3067; 3, 28.VIII.2013, İ.G. 3841.
96. VICIA L. / FİĞ
187. *V. cracca* L. subsp. *stenophylla* Vel. / meşe fiği; 12, 04.VI.2011, İ.G. 1454; 9, 13.VI.2011, İ.G. 1512; 23, 25.VI.2011, İ.G. 1614; 6, 09.VI.2012, İ.G. 2586; 17, 23.III.2013, İ.G. 3096.
188. *V. ervilia* (L.) Willd. / küşne; 15, 15.VI.2012, İ.G. 2930; 9, 16.III.2013, İ.G. 3063; 2, 20.IV.2013, İ.G. 3261.
189. *V. noeana* Boiss. & Reuter ex Boiss. var. *noeana* / salkım bakla; 3, 06.III.2011, İ.G. 1006; 12, 04.VI.2011, İ.G. 1445; 3, 28.VIII.2013, İ.G. 3844. İran-Turan elementi.
190. *V. peregrina* L. / kavli; 24, 14.V.2012, İ.G. 2088; 28, 15.VI.2012, İ.G. 2741.
191. *V. sericocarpa* Fenzl var. *sericocarpa* / çitfiği; 12, 04.VI.2011, İ.G. 1419; 27, 05.VI.2012, İ.G. 2475; 28, 15.VI.2012, İ.G. 2727; 3, 28.IV.2013, İ.G. 3314.
192. *V. sativa* L. subsp. *sativa* / fiğ; 11, 28.V.2012, İ.G. 2398; 9, 30.III.2013, İ.G. 3167; 2, 20.VI.2013, İ.G. 3519.
193. *V. sativa* L. subsp. *nigra* (L.) Ehrh. var. *nigra* / eşek gürlülü; 3, 28.IV.2013, İ.G. 3330; 15, 12.VIII.2013, İ.G. 3768.
194. *V. narbonensis* L. var. *narbonensis* / koca fiğ; 3, 06.III.2011, İ.G. 1005; 12, 04.VI.2011, İ.G. 1431.
97. LENS Mill. / MERCİMEK
195. *L. culinaris* Medik. subsp. *culinaris* / mercimek; 29, 05.VII.2012, İ.G. 3057.
98. LATHYRUS L. / MÜRDÜMÜK
196. *L. pratensis* L. / yılan gürlülü; 9, 30.III.2013, İ.G. 3169; 1,28.VII.2013, İ.G. 3600. Avrupa-Sibirya elementi.
197. *L. vinealis* Boiss. & Noe / bağ burçağı; 11, 30.VI.2011, İ.G. 1703; 11, 28.V.2012, İ.G. 2396. İran-Turan elementi.
198. *L. inconspicuus* L. var. *inconspicuus* / yılan mürdümüğü; 2, 20.VI.2013, İ.G. 3480; 7, 28.VIII.2013, İ.G. 3935.
199. *L. cicera* L. / colban; 9, 30.III.2013, İ.G. 3161; 3, 28.VIII.2013, İ.G. 3824. Akdeniz elementi.
200. *L. sativus* L. / mürdümük; 2, 20.VI.2013, İ.G. 3524; 7, 28.VIII.2013, İ.G. 3931. Akdeniz elementi.
99. ONONIS L. / KAYIŞKIRAN
201. *O. spinosa* L. subsp. *leiosperma* (Boiss.) Sirj. / demirdelen; 30, 05.VIII.2013, İ.G. 3727.
100. TRIFOLIUM L. / YONCA
202. *T. repens* L. var. *repens* / ak üçgül; 26, 22.V.2012, İ.G. 2199; 11, 28.V.2012, İ.G. 2356; 9, 30.III.2013, İ.G. 3152.
203. *T. campestre* Schreb. subsp. *campestre* var. *campestre* / üçgül; 12, 04.VI.2011, İ.G. 1429; 9, 13.VI.2011, İ.G. 1513.
204. *T. physodes* Stev. ex Bieb. var. *physodes* / meşe üçgülü; 26, 22.V.2012, İ.G. 2289; 11, 28.V.2012, İ.G. 2364.
205. *T. pratense* L. var. *pratense* / çayır üçgülü; 9, 16.III.2013, İ.G. 3068; 1,01.V.2013, İ.G. 3414; 1,28.VII.2013, İ.G. 3612.
206. *T. arvense* L. var. *arvense* / tavşanayağı; 14, 01.V.2012, İ.G. 1852; 21, 05.VI.2012, İ.G. 2536; 1,28.VII.2013, İ.G. 3661.
207. *T. pauciflorum* d'Urv. / sütlün üçgülü; 23, 25.VI.2011, İ.G. 1657; 21, 05.VI.2012, İ.G. 2530. D. Akdeniz elementi.
101. MELILOTUS L. / TAŞYONCASI
208. *M. officinalis* (L.) Desr. / kokulu yonca; 25, 18.V.2012, İ.G. 2130; 6, 09.VI.2012, İ.G. 2646.
209. *M. albus* Desr. / ak taşyoncası; 11, 13.VI.2011, İ.G. 1529; 13, 20.VI.2011, İ.G. 1588; 27, 05.VI.2012, İ.G. 2468.
102. TRIGONELLA L. / ÇEMENOTU
210. *T. spruneriana* Boiss. / koç boyotu; 23, 09.V.2011, İ.G. 1910; 24, 14.V.2012, İ.G. 2021; 25, 18.V.2012, İ.G. 2173.
211. *T. mesopotamica* Hub.-Mor. / dicle boyotu; 13, 20.VI.2011, İ.G. 1590; 27, 17.IX.2013, İ.G. 4112.
212. *T. velutina* Boiss. / ipek boyotu; 9, 13.VI.2011, İ.G. 1491; 3, 04.IX.2013, İ.G. 4041.
213. *T. spicata* Sibth. & Sm. / başak boyotu; 11, 18.VI.2012, İ.G. 2855; 9, 30.III.2013, İ.G. 3177.
103. MEDICAGO L. / KARAYONCA
214. *M. biflora* (Griseb.) E.Small / ikiz yonca; 27, 05.VI.2012, İ.G. 2449; 15, 15.VI.2012, İ.G. 2903. İran-Turan elementi.
215. *M. monantha* (C. A. Mey.) Trautv. / dağ gurniği; 24, 14.V.2012, İ.G. 2078; 11, 28.V.2012, İ.G. 2350. İran-Turan elementi.
216. *M. sativa* L. subsp. *sativa* / karayonca; 21, 01.V.2011, İ.G. 1187. İran-Turan elementi.
217. *M. x varia* Martyn / yaban yoncası; 13, 20.VI.2011, İ.G. 1569; 3, 28.IV.2013, İ.G. 3300; 2, 20.VI.2013, İ.G. 3452.
218. *M. minima* (L.) Bartal var. *minima* / gurnik; 21, 05.VI.2012, İ.G. 2518; 28, 15.VI.2012, İ.G. 2748.
219. *M. polymorpha* L. var. *polymorpha* / kırkyonca; 13, 20.VI.2011, İ.G. 1567; 3, 28.IV.2013, İ.G. 3307.
220. *M. rigidula* (L.) All var. *rigidula* / kaba yonca; 7, 28.VIII.2013, İ.G. 3933.
221. *M. rigidula* (L.) / kaba yonca; 14, 22.V.2011, İ.G. 1412; 21, 05.VI.2012, İ.G. 2500.
104. LOTUS L. / GAZALBOYNUZU
222. *L. corniculatus* L. var. *alpinus* / gazalboynuzu; 9, 13.VI.2011, İ.G. 1493; 23, 25.VI.2011, İ.G. 1632.
223. *L. corniculatus* L. var. *corniculatus* / gazalboynuzu; 12, 04.VI.2011, İ.G. 1476; 16, 17.IX.2013, İ.G. 4099.
224. *L. gebelia* Vent. var. *gebelia* / gül gazalboynuzu; 24, 14.V.2012, İ.G. 2056. İran-Turan elementi.
225. *L. gebelia* Vent. var. *anthylloides* Boiss. / gül gazalboynuzu; 27, 05.VI.2012, İ.G. 2472; 28, 15.VI.2012, İ.G. 2705. Endemik. NT. İran-Turan elementi.
105. SECURIGERA DC. / KÖRİGEN
226. *S. orientalis* (Mill.) Lassen subsp. *orientalis* / ala köriğen; 14, 22.V.2011, İ.G. 1394.
227. *S. varia* (L.) Lassen / köriğen; 1,28.VII.2013, İ.G. 3608. D. Akdeniz elementi.
106. CORONILLA L. / BURÇAK
228. *C. scorpioides* (L.) W.D.J.Koch / akrep burçağı; 3, 15.V.2011, İ.G. 1276; 12, 04.VI.2011, İ.G. 1465.
107. HEDYSARUM L. / BATALAK
229. *H. pogonocarpum* Boiss. / taş batalağı; 9, 13.VI.2011, İ.G. 1597; 11, 28.V.2012, İ.G. 2382. Endemik. LC.
108. ONOBRYCHIS Mill. / KORUNGA
230. *O. caput-galli* (L.) Lam. / pıtrak korunga 3, 12.V.2012, İ.G. 1996. Akdeniz elementi.
231. *O. fallax* Freyn & Sint. ex Freyn var. *fallax* / yalancı korunga; 12, 04.VI.2011, İ.G. 1421; 9, 13.VI.2011, İ.G. 1514. Endemik. LC. İran-Turan elementi.
232. *O. galegifolia* Boiss. / darp korungası; 10, 23.V.2012, İ.G. 2248; 9, 16.III.2013, İ.G. 3079. İran-Turan elementi.
233. *O. cappadocica* Boiss. / athelvası; 28, 15.VI.2012, İ.G. 2690. Endemik. LC. İran-Turan elementi.
109. EBENUS L. / MORGEVEN
234. *E. haussknechtii* Bornm. ex Hub.-Mor. / harput morgeveni; 2, 06.IV.2013, İ.G. 3173. Endemik. NT. İran-Turan elementi.
- 28.ROSACEAE / GÜLGİLLER
110. PRUNUS L. / ERİK
235. *P. domestica* L. / erik; 16, 17.IX.2013, İ.G. 4098.
236. *P. divaricata* Ledeb. var. *divaricata* / yunus eriği; 1,28.VII.2013, İ.G. 3641; 7, 28.VIII.2013, İ.G. 3895.
111. CERASUS Mill. / KIRAZ
237. *C. microcarpa* (C.A. Mey) Boiss. subsp. *turtuosa* (Boiss. & Hausskn) Browicz / sarıdağ kirazı; 17, 23.III.2013, İ.G. 3091; 9, 30.III.2013, İ.G. 3148. İran-Turan elementi.
238. *C. mahaleb* (L.) Miller var. *mahaleb* / mahlep; 1, 01.V.2013, İ.G. 3379; 2, 01.V.2013, İ.G. 3456.
112. AMYGDALUS L. / BADEM
239. *A. communis* L. / badem; 17, 23.III.2013, İ.G. 3086; 9, 30.III.2013, İ.G. 3136; 15, 12.VIII.2013, İ.G. 3744.

240. *A. trichamydalis* (Hand.-Mazz.) Woronow var. *trichamydalis* / haşmet bademi; 2, 10.VII.2013, İ.G. 3563. İran-Turan elementi.
241. *A. orientalis* Mill. / payam; 8, 20.III.2011, İ.G. 1025; 23, 25.VI.2011, İ.G. 1635. İran-Turan elementi.
113. RUBUS L. / BÖĞÜRTLEN
242. *R. sanctus* Schreber. / böğürtlen; 25, 18.V.2012, İ.G. 2168; 28, 15.VI.2012, İ.G. 2755; 9, 30.III.2013, İ.G. 3166.
244. *R. canescens* DC. var. *canescens* / çoban kösteği; 28, 15.VI.2012, İ.G. 2751. Avrupa-Sibirya elementi.
114. POTENTILLA L. / BEŞPARMAKOTU
244. *P. recta* L. / su parmakotu; 11, 28.V.2012, İ.G. 2346; 2, 20.IV.2013, İ.G. 3264; 3, 28.VIII.2013, İ.G. 3852.
245. *P. reptans* L. / reşatnotu; 11, 30.VI.2011, İ.G. 1699; 14, 01.V.2012, İ.G. 1854; 15, 12.VIII.2013, İ.G. 3760;
115. FRAGARIA L. / ÇİLEK
246. *F. vesca* L. / dağ çileği; 3, 15.V.2011, İ.G. 1284; 14, 01.V.2012, İ.G. 1821. Avrupa-Sibirya elementi.
116. GEUM L. / MERYEMOTU
247. *G. urbanum* L. / meryemotu; 12, 04.VI.2011, İ.G. 1457; 7, 28.VIII.2013, İ.G. 3909. Avrupa-Sibirya elementi.
117. AGRIMONIA L. / FITİKOTU
248. *A. eupatoria* L. / fitikotu; 1, 01.V.2013, İ.G. 3362; 2, 10.VII.2013, İ.G. 3540; 7, 28.VIII.2013, İ.G. 3901.
118. SANGUISORBA L. / ÇAYIRDÜĞMESİ
249. *S. minor* L. subsp. *minor* / çayirdüğmesi; 19, 01.V.2011, İ.G. 1221; 27, 05.VI.2012, İ.G. 2467.
250. *S. minor* L. subsp. *lasiocarpa* (Boiss. & Hausskn.) Nordborg / karagöndürme; 3, 06.III.2011, İ.G. 1010; 10, 22.V.2011, İ.G. 1360.
119. ROSA L. / GÜL
251. *R. hemisphaerica* J. Herrm. / kadingöbeği; 14, 01.V.2012, İ.G. 1832; 24, 14.V.2012, İ.G. 2070. İran-Turan elementi.
252. *R. pulverulenta* M.Bieb. / bodur gül; 9, 15.V.2011, İ.G. 1287; 3, 28.VIII.2013, İ.G. 3856.
253. *R. canina* L. / kuşburnu; 15, 15.VI.2012, İ.G. 2954; 9, 30.III.2013, İ.G. 3151.
120. CRATAEGUS L. / ALIÇ
254. *C. orientalis* Pallas ex Bieb. var. *orientalis* / alıç; 24, 14.V.2012, İ.G. 2083; 17, 23.III.2013, İ.G. 3092; 27, 17.IX.2013, İ.G. 4125. İran-Turan elementi.
255. *C. azarolus* L. var. *azarolus* / müzmüldek; 11, 29.IV.2012, İ.G. 1795; 29, 05.VII.2012, İ.G. 3032.
256. *C. meyeri* Pojark. / roğuk; 8, 10.V.2011, İ.G. 1229; 7, 28.VIII.2013, İ.G. 3898.
257. *C. monogyna* Jacq. var. *monogyna* / yemişen; 10, 30.VI.2011, İ.G. 1669; 23, 09.V.2011, İ.G. 1883.
121. PYRUS L. / ARMUT
258. *P. communis* L. subsp. *sativa* (DC.) Hegi / armut; 9, 30.III.2013, İ.G. 3163; 3, 28.VIII.2013, İ.G. 3849.
259. *P. communis* L. subsp. *caucasica* (Fed.) Browicz / kaf armudu; 23, 09.V.2011, İ.G. 1952; 17, 23.III.2013, İ.G. 3090.
260. *P. elaeagnifolia* Pallas subsp. *kotschyana* (Boiss. Browicz) / dağ armudu; 8, 30.IV.2011, İ.G. 1096; 28, 15.VI.2012, İ.G. 2752.
29. LYTHRACEAE / AKLAROTUGİLLER
122. LYTHRUM L. / AKLAROTU
261. *L. salicaria* L. / hevhulma; 12, 04.VI.2011, İ.G. 1452; 30, 05.VIII.2013, İ.G. 3683. Avrupa-Sibirya elementi.
30. ONAGRACEAE / YAKIOTUGİLLER
123. EPILOBIUM L. / YAKIOTU
262. *E. parviflorum* Schreber. / iraz yakiotu; 15, 12.VIII.2013, İ.G. 3782; 3, 04.IX.2013, İ.G. 4011.
263. *E. munuiflorum* Hausskn. / körpe yakiotu; 13, 20.VI.2011, İ.G. 1593; 30, 05.VIII.2013, İ.G. 3700. İran-Turan elementi.
31. CUCURBITACEAE / KABAKGİLLER
124. BRYONIA L. / BİNKULAÇ
264. *B. aspera* Stev. ex Ledeb. / şeytan şalgamı; 11, 15.VII.2011, İ.G. 1734; 10, 23.V.2012, İ.G. 2255.
32. CRASSULACEAE / DAMKORUGUGİLLER
125. ROSULARIA (DC.) Stapf. / KAYAKORUĞU
265. *R. haussknechtii* (Boiss. & Reuter) Berger / urfa kuruğu; 29, 05.VII.2012, İ.G. 3051; 2, 06.IV.2013, İ.G. 3199. Endemik. LR. İran-Turan elementi.
126. SEDUM L. / DAMKORUĞU
266. *S. album* L. / çobankavurgası; 11, 09.VI.2012, İ.G. 2559; 2, 20.VI.2013, İ.G. 3509.
267. *S. pallidum* Bieb. / koyunörmece; 6, 09.VI.2012, İ.G. 2638; 1, 01.V.2013, İ.G. 3353. Karadeniz elementi.
33. APIACEAE (UMBELLIFERAE) / MAYDANOZGİLLER
127. ACTINOLEMA Fenzl. / AKLEMA
268. *A. macrolema* Boiss. / koca aklema; 21, 05.VI.2012, İ.G. 2533; 15, 15.VI.2012, İ.G. 2968. İran-Turan elementi.
128. ERYNGIUM L. / BOĞADİKENİ
269. *E. billardiieri* F. Delaroché / hıyarok; 25, 18.V.2012, İ.G. 2162; 28, 29, 05.VII.2012, İ.G. 3017. İran-Turan elementi.
270. *E. campestre* L. var. *virens* Link. / yer kestanesi; 24, 14.V.2012, İ.G. 2034; 6, 09.VI.2012, İ.G. 2634; 28, 15.VI.2012, İ.G. 2674.
129. ECHINOPHORA L. / ÇÖRDÜK
271. *E. tenuifolia* L. subsp. *sibthorpiana* (Guss.) Tutin. / sarıçördük; 9, 10.VII.2011, İ.G. 1747; 15, 15.VI.2012, İ.G. 2908; 1, 10.VII.2013, İ.G. 3590. İran-Turan elementi.
130. CHAEROPHYLLUM L. / HANDOK
272. *C. bulbosum* L. / handok; 9, 13.VI.2011, İ.G. 1481; 29, 05.VII.2012, İ.G. 3052. Avrupa-Sibirya elementi.
131. GRAMMOSCIADIUM DC. / KAMİ
273. *G. platycarpum* Boiss. & Hausskn. / yassı kami; 26, 01.IX.2013, İ.G. 3954. İran-Turan elementi.
132. ANTHRISCUS Pers. / PEÇEK
274. *A. nemorosa* (M.Bieb.) Sprengel / peçek; 1, 01.V.2013, İ.G. 3395; 7, 28.VIII.2013, İ.G. 3903.
133. SCANDIX L. / KİŞKİŞ
275. *S. stellata* Banks. & Sol. / dağ kişkişi; 22, 15.V.2011, İ.G. 1325; 23, 09.V.2011, İ.G. 1951.
276. *S. iberica* Bieb. / atkişneketu; 8, 30.IV.2011, İ.G. 1103; 6, 30.IV.2011, İ.G. 1113.
277. *S. pecten-veneris* L. / zühretarağı; 5, 01.V.2011, İ.G. 1159; 13, 20.VI.2011, İ.G. 1568; 23, 25.VI.2011, İ.G. 1615.
134. SMYRNIUM L. / YABANİKEREVİZ
278. *S. cordifolium* Boiss. / kokarbalıran; 13, 20.VI.2011, İ.G. 1572; 3, 28.VIII.2013, İ.G. 3876. İran-Turan elementi.
135. BUNIUM L. / AKSAR
279. *B. paucifolium* DC. / koçkuzu; 11, 13.VI.2011, İ.G. 1519; 26, 22.V.2012, İ.G. 2222. İran-Turan elementi.
280. *B. elegans* (Fenzl) Freyn var. *elegans* / hoş aksar; 3, 12.V.2012, İ.G. 1987; 15, 12.VIII.2013, İ.G. 3759.
136. PIMPINELLA L. / ANASON
281. *P. kotschyana* Boiss. / kır anasonu; 19, 17.IV.2011, İ.G. 1069; 26, 01.IX.2013, İ.G. 3946. İran-Turan elementi.
282. *P. tragium* Vill. subsp. *lithophila* (Schischkin) Tutin. / teke anasonu; 24, 14.V.2012, İ.G. 2035.
137. PRANGOS Lindl. / DELİÇAKŞIR
283. *P. pabularia* Lindl. / beyik; 12, 04.VI.2011, İ.G. 1461; 19, 10.IX.2013, İ.G. 4052. İran-Turan elementi.
284. *P. peucedanifolia* Fenzl. / kaya çakşırı; 26, 22.V.2012, İ.G. 2228; 11, 28.V.2012, İ.G. 2345. İran-Turan elementi.
138. BUPLEURUM L. / ŞEYTANAYAĞI
285. *B. rotundifolium* L. / soluk şeytanayağı; 23, 25.VI.2011, İ.G. 1655; 28, 15.VI.2012, İ.G. 2679.
286. *B. gerardii* All. / çalı şeytani; 6, 09.VI.2012, İ.G. 2593; 11, 18.VI.2012, İ.G. 2879; 2, 06.IV.2013, İ.G. 3190; 1, 01.V.2013, İ.G. 3366; 7, 28.VIII.2013, İ.G. 3892.
139. FALCARIA Fabr. / ORAKOTU
287. *F. vulgaris* Bernh. / orakotu; 9, 10.VII.2011, İ.G. 1715; 28, 15.VI.2012, İ.G. 2698.
288. *F. falcarioides* (Bornm. & H. Wolff) H. Wolff / has orakotu; 28, 15.VI.2012, İ.G. 2770; 1, 17.VI.2012, İ.G. 2835.
140. FERULA L. / ÇAKŞIR
289. *F. orientalis* L. / kingor; 12, 04.VI.2011, İ.G. 1459; 3, 28.VIII.2013, İ.G. 3882. İran-Turan elementi.
141. MALABAILA Hoffm. / KOYUNEKMEĞİ
290. *M. dasyantha* (K. Koch) Grossh. / dudakpatlatan; 21, 05.VI.2012, İ.G. 2528; 19, 10.IX.2013, İ.G. 4051. İran-Turan elementi.
291. *M. secacul* (Mill.) Boiss. subsp. *secacul* / davarotu; 23, 25.VI.2011, İ.G. 1646; 1, 01.V.2013, İ.G. 3369.
142. ZOSIMA Hoffm. / PEYNIROTU
292. *Z. absinthifolia* (Vent) Link. / peynirotu; 25, 18.V.2012, İ.G. 2164.
143. ORMOSCIADIUM Boiss. / AYIELİ
293. *O. aucheri* Boiss. / ayieli; 18.V.2012, İ.G. 2154; 28, 15.VI.2012, İ.G. 2715.

144. TORILIS Adans. / DERCİKOTU
 294. *T. arvensis* (Huds.) Link subsp. *arvensis* / dercikotu; 13, 20.VI.2011, İ.G. 1587; 3, 12.V.2012, İ.G. 1965.
 295. *T. leptophylla* (L.) Reichb. f. / ince dercikotu; 13, 20.VI.2011, İ.G. 1579; 27, 05.VI.2012, İ.G. 2461.
 145. ASTRODAUCUS Drude. / HAVYILDIZ
 296. *A. orientalis* (L.) Drude. / havyııldız; 28, 15.VI.2012, İ.G. 2704. İran-Turan elementi.
 146. CAUCALIS L. / KAVKAL
 297. *C. platycarpus* L. / kavkal; 21, 05.VI.2012, İ.G. 2525; 3, 28.VIII.2013, İ.G. 3881.
 147. TURGENIA Hoffm. / KARAHECİ
 298. *T. latifolia* (L.) Hoffm. / karaheci; 10, 23.V.2012, İ.G. 2293; 21, 05.VI.2012, İ.G. 2503.
 148. LISAEA Boiss. / GELİNPİTRAĞI
 299. *L. strigosa* (Banks. & Sol.) Eig. / dik gelinpıtrağı; 23, 25.VI.2011, İ.G. 1660; 6, 09.VI.2012, İ.G. 2605. İran-Turan elementi.
 149. DAUCUS L. / HAVUÇ
 300. *D. carota* L. / yabani havuç; 30, 05.VIII.2013, İ.G. 3713.
 150. ARTEDIA L. / KARABENEK
 301. *A. squamata* L. / karabenek; 13, 20.VI.2011, İ.G. 1542; 3, 28.IV.2013, İ.G. 3303.
 34. CAPRIFOLIACEAE / HANİMELİĞİLLER
 151. VALERIANELLA Mill. / KUZUGEVRİĞİ
 302. *V. coronata* (L.) DC. / taçlı kuzugevriği; 24, 14.V.2012, İ.G. 2106; 10, 23.V.2012, İ.G. 2265; 27, 05.VI.2012, İ.G. 2464; 21, 05.VI.2012, İ.G. 2521. Y. Murat-Van ve Hakkari Bölümleri;
 303. *V. glomerata* (Boiss. & Balansa) / öz kuzugevriği; 21, 05.VI.2012, İ.G. 2499; 16, 17.IX.2013, İ.G. 4106. Endemik. LC. İran-Turan elementi.
 304. *V. pumila* (L.) DC. / bağ kuzugevriği; 21, 01.V.2011, İ.G. 1193; 25, 18.V.2012, İ.G. 2177; 19, 10.IX.2013, İ.G. 4067.
 305. *V. vesicaria* (L.) Moench / kuzugevriği; 12, 04.VI.2011, İ.G. 1438; 27, 05.VI.2012, İ.G. 2458.
 152. CEPHALARIA Schrader ex Roemer & Schult. / PELEMİR
 306. *C. syriaca* (L.) Schrader / pelemir; 15, 12.VIII.2013, İ.G. 3747; 16, 17.IX.2013, İ.G. 4107.
 153. SCABIOSA L. / UYUZOTU
 307. *S. argentea* L. / Yazı süpürgesi; 14, 01.V.2012, İ.G. 1875; 15, 12.VIII.2013, İ.G. 3750.
 154. PTEROCEPHALUS Adans. / CÜCÜKOTU
 308. *P. plumosus* (L.) Coulter / gök cücükotu; 11, 18.VI.2012, İ.G. 2848; 29, 05.VII.2012, İ.G. 3005.
 35. RUBIACEAE / KÖKBOYAGİLLER
 155. ASPERULA L. / BELUMOTU
 309. *A. glomerata* (M.Bieb.) Griseb. subsp. *glomerata* / yumumotu; 2, 10.VII.2013, İ.G. 3555; 1, 28.VII.2013, İ.G. 3651; 7, 28.VIII.2013, İ.G. 3891.
 310. *A. stricta* Boiss. subsp. *latibracteata* (Boiss.) Ehrend. / berit belumotu; 24, 14.V.2012, İ.G. 2020; 26, 22.V.2012, İ.G. 2193; 11, 28.V.2012, İ.G. 2397; 6, 09.VI.2012, İ.G. 2642; 11, 18.VI.2012, İ.G. 2874. Endemik. LC. İran-Turan elementi.
 311. *A. arvensis* L. / tarla belumotu; 27, 05.VI.2012, İ.G. 2465; 9, 30.III.2013, İ.G. 3144.
 156. GALIUM L. / YAPIŞKANOTU
 312. *G. verum* L. subsp. *verum* / boyalık; 26, 22.V.2012, İ.G. 2204. Avrupa-Sibirya elementi.
 313. *G. galiopsis* (Hand.-Mazz.) Ehrend. / elaziğ yoğurotu; 8, 10.V.2011, İ.G. 1240; 6, 09.VI.2012, İ.G. 2628; 1, 01.V.2013, İ.G. 3407. Endemik. EN. İran-Turan elementi.
 314. *G. spurium* L. subsp. *spurium* / arsız iplikçik; 23, 09.V.2011, İ.G. 1922; 17, 23.III.2013, İ.G. 3104. Avrupa-Sibirya elementi.
 315. *G. aparine* L. / çoban süzgeci; 23, 09.V.2011, İ.G. 1899; 27, 05.VI.2012, İ.G. 2476.
 316. *G. nigricans* Boiss. / kara iplikçik; 6, 09.VI.2012, İ.G. 2591; 7, 28.VIII.2013, İ.G. 3893. İran-Turan elementi.
 157. CALLIPELTIS Steven / NERMİK
 317. *C. cucullaris* (L.) Stewen. / nermik; 13, 20.VI.2011, İ.G. 1586; 3, 28.VIII.2013, İ.G. 3851. İran-Turan elementi.
 158. CRUCIATA Miller / SARILIKOTU
 318. *C. taurica* (Pallas ex Willd.) Ehrend. / kırım güzeli; 8, 30.IV.2011, İ.G. 1097; 19, 01.V.2011, İ.G. 1220; 2, 20.IV.2013, İ.G. 3284. İran-Turan elementi.
 319. *C. articulata* (L.) Ehrend. / kulaklı sarılıkotu; 24, 14.V.2012, İ.G. 2105. İran-Turan elementi.
 159. RUBIA L. / KÖKBOYASI
 320. *R. tinctorum* L. / kökboyası; 10, 23.V.2012, İ.G. 2302; 27, 05.VI.2012, İ.G. 2459. İran-Turan elementi.
 36. ASTERACEAE (COMPOSITAE) / PAPATYAGİLLER
 160. HELIANTHUS L. / AYÇİÇEĞİ
 321. *H. tuberosus* L. / yerelması; 11, 15.VII.2011, İ.G. 1752; 3, 28.IV.2013, İ.G. 3299; 1, 01.V.2013, İ.G. 3399.
 161. BIDENS L. / SUKETENİ
 322. *B. tripartita* L. / üç suketeni; 14, 21.IV.2012, İ.G. 1764; 30, 05.VIII.2013, İ.G. 3681.
 162. XANTHIUM L. / PITRAK
 323. *X. spinosum* L. / pıtrak; 30, 05.VIII.2013, İ.G. 3708; 7, 28.VIII.2013, İ.G. 3941
 324. *X. strumarium* L. subsp. *strumarium* / koca pıtrak; 11, 29.IV.2012, İ.G. 1797; 15, 15.VI.2012, İ.G. 2987.
 163. CHRYSOPHTALMUM Sch. Bip. / TUTÇA
 325. *C. montanum* (DC.) Boiss. / tutça; 18, 17.IV.2011, İ.G. 1061; 17, 23.III.2013, İ.G. 3088. İran-Turan elementi.
 164. INULA L. / ANDIZOTU
 326. *I. oculus-christi* L. / yolotu; 30, 05.VIII.2013, İ.G. 3724; 3, 04.IX.2013, İ.G. 4003. Avrupa-Sibirya elementi.
 165. HELICHRYSUM Mill., Gaertner / ÖLMEZÇİÇEK
 327. *H. plicatum* DC. subsp. *plicatum* / mantuvar; 11, 18.VI.2012, İ.G. 2859; 6, 20.IV.2013, İ.G. 3293.
 328. *H. plicatum* DC. subsp. *pseudoplicatum* (Nabelek) P.H.Davis & Kupicha / bozoğlan; 6, 17.VI.2012, İ.G. 2819; 15, 15.VI.2012, İ.G. 2892; 10, 06.IV.2013, İ.G. 3230; 1, 01.V.2013, İ.G. 3382.
 166. FILAGO L. / KEÇEOTU
 329. *F. arvensis* L. / keçeotu; 9, 13.VI.2011, İ.G. 1507; 13, 20.VI.2011, İ.G. 1577; 19, 10.IX.2013, İ.G. 4066.
 167. ERIGERON L. / ŞİFAOTU
 330. *E. acris* L. subsp. *acris* / mavi şifaotu; 10, 23.V.2012, İ.G. 2290; 27, 05.VI.2012, İ.G. 2435. Avrupa-Sibirya elementi.
 168. CONYZA Less. / ÇAKALOTU
 331. *C. canedensis* (L.) Cronquist. / selviotu; 3, 15.V.2011, İ.G. 1280; 22, 15.V.2011, İ.G. 1322.
 169. BELLIS L. / KOYUNGÖZÜ
 332. *B. perennis* L. / koyungözü; 8, 30.IV.2011, İ.G. 1088; 11, 29.IV.2012, İ.G. 1771. Avrupa-Sibirya elementi.
 170. SENECIO L. / KANARYAOTU
 333. *S. cilicus* Boiss. / ak kanaryaotu; 23, 25.VI.2011, İ.G. 1634; 28, 15.VI.2012, İ.G. 2762; Endemik. LC. İran-Turan elementi.
 334. *S. vernalis* Waldst. & Kit. / kanaryaotu; 17, 17.IV.2011, İ.G. 1057; 18, 01.V.2011, İ.G. 1177; 21, 01.V.2011, İ.G. 1189.
 171. TUSSILAGO L. / ÖKSÜRÜKOTU
 335. *T. farfara* L. / öksürükotu; 18, 17.IV.2011, İ.G. 1059; 23, 25.VI.2011, İ.G. 1658.
 172. EUPATORIUM L. / KOYUNTIRPAĞI
 336. *E. cannabinum* L. / koyuntırpağı; 13, 20.VI.2011, İ.G. 1562; 30, 05.VIII.2013, İ.G. 3680. Avrupa-Sibirya elementi.
 173. ANTHEMIS L. / PAPATYA
 337. *A. cretica* L. subsp. *pontica* (Willd.) Grierson / laz papatyası; 6, 17.VI.2012, İ.G. 2814.
 338. *A. cotula* L. / hozan çiçeği; 21, 01.V.2011, İ.G. 1179; 14, 22.V.2011, İ.G. 1401.
 339. *A. pseudocotula* Boiss. / acem papatyası; 15, 15.VI.2012, İ.G. 2961; 30, 05.VIII.2013, İ.G. 3712.
 174. COTA J.Gay ex Guss. / BABUÇÇA
 340. *C. tinctoria* (L.) J. Gay ex Guss. var. *tinctoria* / boyacıpapatyası; 9, 13.VI.2011, İ.G. 1504; 13, 20.VI.2011, İ.G. 1575.
 341. *C. austriaca* (Jacq.) Sch. Bip. / babuçça; 31, 10.V. 2011, İ.G. 1267; 9 21, 05.VI.2012, İ.G. 2523.
 342. *C. wiedemanniana* (Fisch. & C.A.Mey.) Holub / bodur babuçça; 26, 22.V.2012, İ.G. 2212; 21, 05.VI.2012, İ.G. 2501.
 175. ACHILLEA L. / CİVANPERÇEMİ
 343. *A. santolinoides* Lag. subsp. *wilhelmsii* (K. Koch.) Greuter / kardaşkinası; 21, 01.V.2011, İ.G. 1192; 23, 25.VI.2011, İ.G. 1628. İran-Turan elementi.
 344. *A. schischkinii* Sosn. / deli civanperçemi; 26, 01.IX.2013, İ.G. 3977. Endemik. LC. İran-Turan elementi.
 345. *A. pseudoaleppica* Hausskn. / harput perçemi; 6, 09.VI.2012, İ.G. 2567; 28, 15.VI.2012, İ.G. 2732; 7, 28.VIII.2013, İ.G. 3900. Endemik. CD. İran-Turan elementi.

346. *A. millefolium* L. subsp. *millefolium* var. *millefolium* / civanperçemi; 21, 01.V.2011, İ.G. 1180; 3, 12.V.2012, İ.G. 1979. Avrupa-Sibirya elementi.
347. *A. arabica* Kotschy / hanzabel; 23, 25.VI.2011, İ.G. 1654; 28, 15.VI.2012, İ.G. 2743. İran-Turan elementi.
176. TANACETUM L. / PİREOTU
348. *T. cadmeum* (Boiss.) Heywood subsp. *orientale* Grierson. / hoş dağçiçeği; 2, 20.VI.2013, İ.G. 3498; 7, 28.VIII.2013, İ.G. 3911. Endemik. LC. İran-Turan elementi.
349. *T. densum* (Lab.) Sch. Bip. subsp. *amani* Heywood / kırk pireotu; 11, 29.IV.2012, İ.G. 1771. Endemik. LC.
177. TRIPLEUROSPERMUM Sch. Bip. / AKPAPATYA
350. *T. transcaucasicum* (Manden.) Pobed. / yayla gödeşi; 10, 23.V.2012, İ.G. 2289; 16, 17.IX.2013, İ.G. 4097.
178. ARTEMISIA L. / YAŞAN
351. *A. vulgaris* L. / kaba yavşan; 11, 13.VI.2011, İ.G. 1533; 11, 18.VI.2012, İ.G. 2875; 26, 01.IX.2013, İ.G. 3950.
352. *A. scoparia* Waldst. & Kit. / kara süpürge; 13, 20.VI.2011, İ.G. 1564; 30, 05.VIII.2013, İ.G. 3698.
179. GUNDELIA L. / KENGER
353. *G. tournefortii* L. var. *armata* Freyn & Sint. / has kenger; 10, 23.V.2012, İ.G. 2247. Endemik. LC. İran-Turan elementi.
180. COUSINIA Cass. / KIZANDİKENİ
354. *C. sintenisii* Freyn / bayır kızama; 25, 18.V.2012, İ.G. 2115; 21, 05.VI.2012, İ.G. 2519. Endemik. VU. İran-Turan elementi.
181. ARCTIUM L. / LÖŞLEK
355. *A. minus* (Hill.) Bernh. / löslek; 14, 01.V.2012, İ.G. 1867; 30, 05.VIII.2013, İ.G. 3723. Avrupa-Sibirya elementi.
182. ONOPORDUM L. / KANGAL
356. *O. candidum* Nabelek / kalafat dikenini; 9, 01.V.2011, İ.G. 1198; 10, 22.V.2011, İ.G. 1351; 11, 29.IV.2012, İ.G. 1790. İran-Turan elementi.
357. *O. carduchorum* Bornm. & Beauverd / kav dikenini; 27, 05.VI.2012, İ.G. 2431; 30, 05.VIII.2013, İ.G. 3717. İran-Turan elementi.
358. *O. acanthium* L. / galagan; 24, 14.V.2012, İ.G. 2047; 29, 05.VII.2012, İ.G. 3025.
183. CIRSIIUM Miller. / KÖYGÖÇÜREN
359. *C. haussknechtii* Boiss. / ince kangal; 16, 17.IV.2011, İ.G. 1052; 29, 05.VII.2012, İ.G. 3062. İran-Turan elementi.
360. *C. arvense* (L.) Scop. / köygöçüren; 2, 10.VII.2013, İ.G. 3588; 30, 05.VIII.2013, İ.G. 3731.
184. PICNOMON Adans. / KILÇIKDİKENİ
361. *P. acarna* (L.) Cass. / kılçık dikenini; 10, 30.VI.2011, İ.G. 1679; 27, 05.VI.2012, İ.G. 2447.
185. PTILOSTEMON Cass. / BOZLANOTU
362. *P. afer* (Jacq.) Greuter subsp. *eburneus* Greuter / has bozlanotu; 8, 10.V.2011, İ.G. 1233; 7, 28.VIII.2013, İ.G. 3945. Endemik. LC.
186. CARDUUS L. / EŞEKDİKENİ
363. *C. nutans* L. subsp. *nutans* / eşek dikenini; 8, 10.V.2011, İ.G. 1235; 23, 25.VI.2011, İ.G. 1651; 7, 28.VIII.2013, İ.G. 3910.
364. *C. pycnocephalus* L. subsp. *albidus* (M.Bieb.) Kazmi / eşek soymaçı; 11, 30.VI.2011, İ.G. 1693; 28, 15.VI.2012, İ.G. 2670.
187. JURINEA Cass. / GEYİKGÖBEĞİ
365. *J. ancyrensis* Bornm. / eğri göbek; 29, 05.VII.2012, İ.G. 3049. Endemik. LC. İran-Turan elementi.
188. CENTAUREA L. / PEYGAMBERÇİÇEĞİ
366. *C. balsamita* Lam., Encycl. / süslü Sarıbaş; 1,01.V.2013, İ.G. 3383. İran-Turan elementi.
367. *C. aggregata* Fisch. & C.A.Mey. ex DC. subsp. *aggregata* / kümedüğme; 23, 09.V.2011, İ.G. 1893; 26, 22.V.2012, İ.G. 2203.
368. *C. virgata* Lam. / acı süpürge; 27, 05.VI.2012, İ.G. 2479; 28, 15.VI.2012, İ.G. 2734. İran-Turan elementi.
369. *C. drabifolia* Sibth & Sm. subsp. *floccosa* (Boiss.) Wagenitz & Greuter / çakır Sarıbaş; 29, 05.VII.2012, İ.G. 3027. Endemik. LC.
370. *C. derderiifolia* Wagenitz / başsarıbaşı; 10, 23.V.2012, İ.G. 2291. Endemik. CD. İran-Turan elementi.
371. *C. kurdica* Reichardt / pamukdikenini; 1, 28.VII.2013, İ.G. 3620. Endemik. NT. İran-Turan elementi.
372. *C. solstitialis* L. subsp. *solstitialis* / çakırdikenini; 28, 15.VI.2012, İ.G. 2673; 15, 15.VI.2012, İ.G. 2941.
373. *C. iberica* Trev. ex Sprengel / deligözdikenini; 5, 01.V.2011, İ.G. 1156; 13, 20.VI.2011, İ.G. 1540; 29, 05.VII.2012, İ.G. 3019.
374. *C. urvillei* DC. subsp. *armata* Wagenitz / kötürüm; 25, 18.V.2012, İ.G. 2151; 26, 22.V.2012, İ.G. 2231.
375. *C. urvillei* DC. subsp. *hayekiana* Wagenitz / yozkötürüm; 6, 17.VI.2012, İ.G. 2820; 2, 01.V.2013, İ.G. 3448; 7, 28.VIII.2013, İ.G. 3913. İran-Turan elementi.
376. *C. carduiiformis* DC. subsp. *carduiiformis* var. *carduiiformis* / kavgalaz; 15, 15.VI.2012, İ.G. 2898; 10, 06.IV.2013, İ.G. 3226; 7, 28.VIII.2013, İ.G. 3912; 26, 01.IX.2013, İ.G. 3968.
189. CYANUS Mill. / GÖKBAŞ
377. *C. pichleri* (Boiss.) Holub subsp. *pichleri* / düğmeliot; 22, 15.V.2011, İ.G. 1327; 10, 22.V.2011, İ.G. 1379; 11, 29.IV.2012, İ.G. 1778.
378. *C. triumfetti* (All.) Dostal ex A.Löve & D. Löve subsp. *triumfetti* / deli kapele; 8, 10.V.2011, İ.G. 1237; 10, 23.V.2012, İ.G. 2258.
379. *C. depressus* (M. Bieb.) Sojak / Gökbaş; 13, 20.VI.2011, İ.G. 1565; 28, 15.VI.2012, İ.G. 2769.
190. CRUPINA (Pers.) DC. / GELİNDÖNDÜREN
380. *C. crupinastrum* (Moris) Vis. / gelindöndüren; 23, 25.VI.2011, İ.G. 1608; 28, 15.VI.2012, İ.G. 2680.
191. CNICUS L. / TOPDİKENİ
381. *C. benedictus* L. / topdikenini; 28, 15.VI.2012, İ.G. 2694; 7, 28.VIII.2013, İ.G. 3890.
192. CARTHAMUS L. / ASPİR
382. *C. persicus* Desf. ex Willd. / ihrız; 15, 15.VI.2012, İ.G. 2919; 30, 05.VIII.2013, İ.G. 3697. İran-Turan elementi.
383. *C. dentatus* (Forssk.) Vahl. / kınadikenini; 28, 15.VI.2012, İ.G. 2691; 15, 15.VI.2012, İ.G. 2935.
193. CARLINA L. / DOMUZDİKENİ
384. *C. oligocephala* Boiss. & Kotschy subsp. *oligocephala* / domuz dikenini; 2, 10.VII.2013, İ.G. 3527; 1,28.VII.2013, İ.G. 3666; 7, 28.VIII.2013, İ.G. 3908.
194. XERANTHEMUM L. / KAĞITÇİÇEĞİ
385. *X. annuum* L. / kağıtçiçeği; 24, 14.V.2012, İ.G. 2087.
195. SIEBERA J. Gay. / FEZAÇİÇEĞİ
386. *S. pungens* (Lam.) J.Gay. / fezaçiçeği; 29, 05.VII.2012, İ.G. 2993; 1,01.V.2013, İ.G. 3385. İran-Turan elementi.
387. *S. nana* (DC.) Bornm. / bodur fezaçiçeği; 30, 05.VIII.2013, İ.G. 3726. İran-Turan elementi.
196. CHARDINIA Desf. / ÇAĞLAOTU
388. *C. orientalis* (L.) Kuntze / çağlaotu; 23, 25.VI.2011, İ.G. 1606; 6, 09.VI.2012, İ.G. 2582. İran-Turan elementi.
197. ECHINOPS L. / TOPUZ
389. *E. pungens* Trautv. var. *pungens* / bongıl; 27, 17.IX.2013, İ.G. 4120. İran-Turan elementi.
390. *E. orientalis* Trautv. / dağşekeri; 14, 01.V.2012, İ.G. 1873; 29, 05.VII.2012, İ.G. 3048. İran-Turan elementi.
198. CICHORIUM L. / HİNDİBA
391. *C. intybus* L. / hindiba; 10, 06.IV.2013, İ.G. 3233; 26, 01.IX.2013, İ.G. 3965.
199. SCORZONERA L. / TEKESAKALI
392. *S. mollis* M. Bieb. subsp. *mollis* / iskorçına; 8, 30.IV.2011, İ.G. 1090; 25, 18.V.2012, İ.G. 2128.
393. *S. semicana* DC. / kıvrım; 5, 01.V.2011, İ.G. 1157. Endemik. LC. İran-Turan elementi.
394. *S. pseudolanata* Grossh. / keçimemesi; 8, 30.IV.2011, İ.G. 1092; 6, 20.IV.2013, İ.G. 3283. İran-Turan elementi.
395. *S. tomentosa* L. / alabent; 6, 17.VI.2012, İ.G. 2797; 1,01.V.2013, İ.G. 3401. Endemik. LC. İran-Turan elementi.
200. TRAGOPOGON L. / YEMLİK
396. *T. porrifolius* L. subsp. *longirostris* (Sch. Bip.) Greuter / helevan; 3, 12.V.2012, İ.G. 1999; 25, 18.V.2012, İ.G. 2129; 27, 05.VI.2012, İ.G. 2429.
397. *T. latifolius* Boiss. var. *angustifolius* / ısrık; 24, 14.V.2012, İ.G. 2094. İran-Turan elementi.
201. LEONTODON L. / ASLANDIŞI
398. *L. asperimus* (Willd.) Endl. / aşemliği; 27, 05.VI.2012, İ.G. 2437; 16, 17.IX.2013, İ.G. 4096. İran-Turan elementi.
399. *L. crispus* Vill. subsp. *asper* (Waldst Et. Kit.) Röhl. var. *asper* / aslandışi; 9, 01.V.2011, İ.G. 1199; 11, 13.VI.2011, İ.G. 1530.
202. PICRIS L. / ACIŞİRO
400. *P. kotschy* Boiss. / arap şirosu; 4, 03.IV.2011, İ.G. 1037; 22, 15.V.2011, İ.G. 1336.
203. SONCHUS L. / EŞEKGEVREĞİ

401. *S. asper* (L.) Hill. subsp. *glaucescens* (Jord.) Ball / gevirtlek; 10, 22.V.2011, İ.G. 1378; 10, 06.IV.2013, İ.G. 3232.
204. REICHARDIA Roth. / KARASAKIZ
402. *R. dichotoma* (Vahl) Freyn / karasakız; 5, 01.V.2011, İ.G. 1162; 16, 17.IX.2013, İ.G. 4095. İran-Turan elementi.
205. LACTUCA L. / MARUL
403. *L. serriola* L. / eşekhelvası; 10, 30.VI.2011, İ.G. 1670; 9, 10.VII.2011, İ.G. 1724.
404. *L. orientalis* (Boiss.) Boiss. / sızıkamışkan; 27, 05.VI.2012, İ.G. 2445; 6, 09.VI.2012, İ.G. 2618; 1,01.V.2013, İ.G. 3384. İran-Turan elementi.
206. LAPSANA L. / ŞEBREK
405. *L. communis* L. subsp. *intermedia* (M.Bieb.) Hayek / şebrek; 12, 04.VI.2011, İ.G. 1417; 9, 13.VI.2011, İ.G. 1501. Endemik.
207. TARAXACUM F.H.Wigg. / KARAHİNDİBA
406. *T. montanum* (C. A. Meyer) DC. / dağ hindibası; 7, 28.VIII.2013, İ.G. 3938. İran-Turan elementi.
407. *T. hybernum* Stev. / kış çitliği; 8, 30.IV.2011, İ.G. 1089; 14, 01.V.2012, İ.G. 1842; 6, 09.VI.2012, İ.G. 2636.
208. CHONDRILLA L. / KARAKAVUK
408. *C. juncea* L. / karakavuk; 11, 15.VII.2011, İ.G. 1743; 28, 15.VI.2012, İ.G. 2693; 29, 05.VII.2012, İ.G. 3020.
209. CREPIS L. / KISKI
409. *C. alpina* L. / yürekotu; 27, 05.VI.2012, İ.G. 2487; 21, 05.VI.2012, İ.G. 2506.
410. *C. foetida* L. subsp. *rhoeadifolia* (M.Bieb.) Celak / sakarkanak; 9, 10.VII.2011, İ.G. 1717.
411. *C. sancta* (L.) Bornm. subsp. *sancta* / yaban kıskısı; 23, 09.V.2011, İ.G. 1929; 25, 18.V.2012, İ.G. 2180; 29, 05.VII.2012, İ.G. 3018.
37. CAMPANULACEAE / ÇANÇİÇEĞİGİLLER
210. CAMPANULA L. / ÇANÇİÇEĞİ
412. *C. glomerata* L. subsp. *hispidula* (Witasek) Hayek. / yumak çam; 14, 01.V.2012, İ.G. 1847; 11, 28.V.2012, İ.G. 2358.
413. *C. stricta* L. var. *stricta* / güir çançiceği; 9, 30.III.2013, İ.G. 3142; 2, 06.VI.2013, İ.G. 3187.
414. *C. strigosa* Banks & Sol. / kıraç çanı; 23, 25.VI.2011, İ.G. 1661; 25, 18.V.2012, İ.G. 2156.
211. ASYNEUMA Griseb. & Schenk. / ÇİÇEKLİDEĞNEK
415. *A. amplexicaule* (Willd.) Hand-Mazz. subsp. *amplexicaule* var. *amplexicaule* / hoşdeğnek; 3, 20.III.2011, İ.G. 1020; 23, 09.V.2011, İ.G. 1935.
416. *A. limonifolium* (L.) Janehen subsp. *pestalozzae* (Boiss.) Damboldt / tavşankatığı; 14, 01.V.2012, İ.G. 1841; 6, 09.VI.2012, İ.G. 2666. Endemik. LC.
212. LEGOUSIA Durande. / KADINAYNASI
417. *L. hybrida* (L.) Delarbre / melez kadınaynası; 1, 15.VI.2012, İ.G. 2774. Akdeniz elementi.
38. PRIMULACEAE / ÇUHAÇİÇEĞİGİLLER
213. PRIMULA L. / ÇUHAÇİÇEĞİ
418. *P. auriculata* Lam. / felçotu; 8, 30.IV.2011, İ.G. 1107; 10, 23.V.2012, İ.G. 2275. İran-Turan elementi.
214. ANDROSACE L. / TAVUKKURSAĞI
419. *A. maxima* L. / tavukkursağı; 20, 30.IV.2011, İ.G. 1080; 5, 01.V.2011, İ.G. 1166.
215. ANAGALLIS L. / FAREKULAĞI
420. *A. foemina* Miller / bağırsakotu; 21, 05.VI.2012, İ.G. 2532; 27, 17.IX.2013, İ.G. 4113.
39. APOCYNACEAE / ZAKKUMGİLLER
216. NERIUM L. / ZAKKUM
421. *N. oleander* L. / zakkum; 17, 23.III.2013, İ.G. 3116; 3, 28.IV.2013, İ.G. 3327. Akdeniz elementi.
217. VINCETOXICUM Wolf / ZILASUR
422. *V. canescens* (Willd.) Decne. subsp. *canescens* / zilasur; 25, 18.V.2012, İ.G. 2123; 28, 15.VI.2012, İ.G. 2686.
40. GENTIANACEA / GENTİYANGİLLER
218. CENTAURIUM Hill, Brit. Herb. / GELİNDÜĞMESİ
423. *C. erythraea* Rafn., Danm. Holst. subsp. *turcicum* (Velen) Melderis / tukulotu; 2, 10.VII.2013, İ.G. 3541; 1, 28.VII.2013, İ.G. 3634; 30, 05.VIII.2013, İ.G. 3694; 3, 04.IX.2013, İ.G. 4039.
424. *C. pulchellum* (Swartz) Druce / pembe tukul; 6, 09.VI.2012, İ.G. 2610; 28, 15.VI.2012, İ.G. 2677.
41. CONVULVULACEAE / TARLASARMAŞIĞIGİLLER
219. CONVULVULUS L. / TARLASARMAŞIĞI
425. *C. lineatus* L. / top yayılğan; 10, 23.V.2012, İ.G. 2243; 29, 05.VII.2012, İ.G. 3041; 3982.
426. *C. holosericeus* M.Bieb. subsp. *holosericeus* / gündüzsefası; 23, 25.VI.2011, İ.G. 1652; 27, 17.IX.2013, İ.G. 4119. İran-Turan elementi.
427. *C. arvensis* L. / tarla sarmaşığı; 10, 23.V.2012, İ.G. 2297; 11, 28.V.2012, İ.G. 2322; 19, 10.IX.2013, İ.G. 4070.
428. *C. galaticus* Rostan ex Choisy / boz sarmaşık; 12, 04.VI.2011, İ.G. 1443; 15, 12.VIII.2013, İ.G. 3748. İran-Turan elementi.
429. *C. betonicifolius* Miller subsp. *peduncularis* (Boiss.) Parris / kuzu sarmaşığı; 12, 04.VI.2011, İ.G. 1460; 3, 28.VIII.2013, İ.G. 3821. İran-Turan elementi.
42. BORAGINACEAE / HODANGİLLER
220. HELIOTROPIUM L. / BAMBULOTU
430. *H. europaeum* L. / akrepotu; 28, 15.VI.2012, İ.G. 2739; 6, 17.VI.2012, İ.G. 2783; 2, 10.VII.2013, İ.G. 3593. İran-Turan elementi.
221. ROCHELIA Rehb. / KUŞCIRNAĞI
431. *R. disperma* (L. fil.) K. Koch var. *disperma* / kuşcırnağı; 10, 22.V.2011, İ.G. 1357; 26, 01.IX.2013, İ.G. 3972.
222. ASPERUGO L. / NEVAZİLOTU
432. *A. procumbens* L. / nevazilotu; 6, 17.VI.2012, İ.G. 2779; 2, 20.VI.2013, İ.G. 3510. Avrupa-Sibirya elementi.
223. MYOSOTIS L. / UNUTMABENİ
433. *M. alpestris* F.W. Schmidt. / boncukotu; 6, 20.IV.2013, İ.G. 3273; 2, 01.V.2013, İ.G. 3478; 7, 28.VIII.2013, İ.G. 3943.
434. *M. lithospermifolia* (Willd.) Hornem. / taş boncukotu; 10, 23.V.2012, İ.G. 2261; 14, 01.V.2012, İ.G. 1818.
224. PARACARYUM (DC.) Boiss. / ÇARŞAKOTU
435. *P. strictum* (K.Koch) Boiss. / meşe çarşakotu; 24, 14.V.2012, İ.G. 2052; 10, 23.V.2012, İ.G. 2249; 27, 05.VI.2012, İ.G. 2450. İran-Turan elementi.
225. CYNOGLOSSUM L. / PİSİKTETİĞİ
436. *C. montanum* L. / dağ köpek dili; 13, 20.VI.2011, İ.G. 1584; 1,01.V.2013, İ.G. 3364; 26, 01.IX.2013, İ.G. 3958. Avrupa-Sibirya elementi.
226. BUGLOSSOIDES Moench. / TARLATAŞKESENİ
437. *B. arvensis* (L.) I.M.Johnston / tarla taşkeseni; 6, 30.IV.2011, İ.G. 1117; 3, 15.V.2011, İ.G. 1273; 24, 14.V.2012, İ.G. 2112.
227. ECHIUM L. / ENGEREKOTU
438. *E. italicum* L. / kurtkuyruğu; 13, 20.VI.2011, İ.G. 1573; 28, 15.VI.2012, İ.G. 2702. Akdeniz elementi.
228. MOLTOKIA Lehm. / KESENOTU
439. *M. coerulea* (Willd.) Lehm. / mavi kesen; 23, 25.VI.2011, İ.G. 1612; 25, 18.V.2012, İ.G. 2144; 28, 15.VI.2012, İ.G. 2756. İran-Turan elementi.
229. ONOSMA L. / EMZİKOTU
440. *O. sericea* Willd. / kağıt emcek; 3, 06.III.2011, İ.G. 1009; 23, 25.VI.2011, İ.G. 1637; 25, 18.V.2012, İ.G. 2153; 21, 05.VI.2012, İ.G. 2494. İran-Turan elementi.
441. *O. mollis* DC. / divanköşk; 28, 15.VI.2012, İ.G. 2700; 6, 17.VI.2012, İ.G. 2784; 29, 05.VII.2012, İ.G. 3026; 15, 12.VIII.2013, İ.G. 3741. İran-Turan elementi.
442. *O. rascheyana* Boiss. / van emceği; 12, 04.VI.2011, İ.G. 1447; 3, 04.IX.2013, İ.G. 4038. İran-Turan elementi.
443. *O. roussaei* DC. / yamaç emceği; 22, 15.V.2011, İ.G. 1319; 11, 28.V.2012, İ.G. 2403. İran-Turan elementi.
444. *O. auriculata* DC. / altın damlası; 24, 14.V.2012, İ.G. 2053; 28, 15.VI.2012, İ.G. 2709. İran-Turan elementi.
230. CERINTHE L. / ALACAKIZ
445. *C. minor* L. var. *auriculata* (Ten) Domac. / livarotu; 2, 01.V.2013, İ.G. 3450; 3, 28.VIII.2013, İ.G. 3816.
231. BRUNNERA Steven / GÖĞCEGÖZÜ
446. *B. orientalis* I.M.Johnst. / minik göğce; 8, 30.IV.2011, İ.G. 1094; 5, 01.V.2011, İ.G. 1160; 10, 23.V.2012, İ.G. 2264. Karadeniz elementi.
232. ANCHUSA L. / SIĞIRDILI
447. *A. leptophylla* Roemer & Schultes subsp. *tomentosa* (Boiss.) D.F.Chamb. / yünlü ballık; 23, 25.VI.2011, İ.G. 1602. Endemik. LC. İran-Turan elementi.
448. *A. azurea* Mill. var. *azurea* / siğirdili; 8, 10.V.2011, İ.G. 1225; 14, 01.V.2012, İ.G. 1838.
449. *A. strigosa* Banks & Sol. / gelezan; 28, 15.VI.2012, İ.G. 2697; 29, 05.VII.2012, İ.G. 3055; 2, 10.VII.2013, İ.G. 3573.
233. NONEA Medik. / SORMUKOTU
450. *N. melanocarpa* Boiss. / gelin sormuğu; 28, 15.VI.2012, İ.G. 2714; 2, 20.VI.2013, İ.G. 3503. İran-Turan elementi.

451. *N. persica* Boiss. / acem sormuğu; 22, 15.V.2011, İ.G. 1328; 3, 28.IV.2013, İ.G. 3338. İran-Turan elementi.
452. *P. stenosolen* Boiss. & Balansa / sormukotu; 6, 30.IV.2011, İ.G. 1111; 14, 01.V.2012, İ.G. 1820; 23, 09.V.2011, İ.G. 1914; 11, 28.V.2012, İ.G. 2388. Endemik. LC. İran-Turan elementi.
234. PHYLLOCARA Guşul. / KARADİNDİK
453. *P. aucheri* (A.DC.) Guşul. / karadindik; 22, 15.V.2011, İ.G. 1337; 12, 04.VI.2011, İ.G. 1449; 3, 28.IV.2013, İ.G. 3340.
235. ALKANNA Tausch. / HAVACIVAOTU
454. *A. megacarpa* A.DC. / yamaç havacıvası; 20, 30.IV.2011, İ.G. 1085; 31, 10.V. 2011, İ.G. 1265; 14, 22.V.2011, İ.G. 1396; 27, 17.IX.2013, İ.G. 4114. Endemik. LC. İran-Turan elementi.
43. SOLANACEAE / PATLICANGİLLER
236. SOLANUM L. / İTÜZÜMÜ
455. *S. americanum* Mill. / itüzümü; 27, 05.VI.2012, İ.G. 2436; 28, 15.VI.2012, İ.G. 2750.
456. *S. dulcamara* L. / sofrur; 28, 15.VI.2012, İ.G. 2720; 30, 05.VIII.2013, İ.G. 3719. Avrupa-Sibirya elementi.
237. HYOSCYAMUS L. / BANOTU
457. *H. niger* L. / banotu; 23, 09.V.2011, İ.G. 1884; 11, 18.VI.2012, İ.G. 2862; 1,28.VII.2013, İ.G. 3644.
44. SCROPHULARIACEAE / SIRACAOTUGİLLER
238. VERBASCUM L. / SIĞIRKUYRUĞU
458. *V. oocarpum* Murb. / sipikor siğirkuyruğu; 11, 28.V.2012, İ.G. 2420; 6, 09.VI.2012, İ.G. 2572; 15, 15.VI.2012, İ.G. 2922; 29, 05.VII.2012, İ.G. 3058. Endemik. VU. İran-Turan elementi.
459. *V. diversifolium* Hochst. / nızıp siğirkuyruğu; 14, 01.V.2012, İ.G. 1836; 6, 09.VI.2012, İ.G. 2549; 1,25.VIII.2013, İ.G. 3803. Endemik. VU. İran-Turan elementi.
460. *V. glomeratum* Boiss / siğirkulağı; 11, 15.VII.2011, İ.G. 1754; 11, 29.IV.2012, İ.G. 1811; 21, 05.VI.2012, İ.G. 2515; 28, 15.VI.2012, İ.G. 2735. İran-Turan elementi.
461. *V. kotschyi* Boiss. & Hohen. / meçelik 6, 17.VI.2012, İ.G. 2799; 11, 18.VI.2012, İ.G. 2863; 26, 01.IX.2013, İ.G. 4000; 19, 10.IX.2013, İ.G. 4063. İran-Turan elementi.
462. *V. cheiranthifolium* Boiss. var. *cheiranthifolium* / bozkulak; 9, 15.V.2011, İ.G. 1307; 11, 28.V.2012, İ.G. 2341.
239. SCROPHULARIA L. / SIRACAOTU
463. *S. rimarum* Bornm. / sadırlı siraca; 15, 15.VI.2012, İ.G. 2971; 1,01.V.2013, İ.G. 3357.
464. *S. xanthoglossa* Boiss. var. *xanthoglossa* / serkele; 23, 09.V.2011, İ.G. 1918. İran-Turan elementi.
45. OROBANCHACEAE / CANAVAROTUGİLLER
240. OROBANCHE L. / CANAVAROTU
465. *O. aegyptiaca* Pers / dinlendiren; 6, 09.VI.2012, İ.G. 2616; 2, 10.VII.2013, İ.G. 3574.
466. *O. anatolica* Boiss. & Reut. ex Reut. / ana canavarotu; 22, 15.V.2011, İ.G. 1338; 3, 28.VIII.2013, İ.G. 3850; 7, 28.VIII.2013, İ.G. 3917.
241. ODNONTITES Ludwig / DAVUNOTU
467. *O. vulgaris* Moench / davunotu; 30, 05.VIII.2013, İ.G. 3721; 15, 12.VIII.2013, İ.G. 3775. Avrupa-Sibirya elementi.
242. BUNGEA C.A.Mey. / ÜÇ KERNEKOTU
468. *B. trifida* (Vahl) C.A.Mey. / üç kernekotu; 9, 30.VII.2013, İ.G. 3134. İran-Turan elmenti.
46. ACANTHACEAE / AYİPENÇESİGİLLER
243. ACANTHUS L. / AYİPENÇESİ
469. *A. discoridis* L. var. *discoridis* / lokman ayıpençesi; 6, 09.VI.2012, İ.G. 2661; 2, 06.IV.2013, İ.G. 3201; 7, 28.VIII.2013, İ.G. 3885.
47. VERBENACEAE / MİNEÇİÇEĞİGİLLER
244. VERBENA L. / MİNEÇİÇEĞİ
470. *V. officinalis* L. / mineçiçeği; 20, 30.IV.2011, İ.G. 1082; 3, 15.V.2011, İ.G. 1279; 17, 23.VI.2013, İ.G. 3120; 27, 17.IX.2013, İ.G. 4117.
48. LAMIACEAE (LABIATAE) / BALLIBABAGİLLER
245. AJUGA L. / MAYOTU
471. *A. chamaepitys* (L.) Schreb. subsp. *chia* (Schreb.) Arcang. / acıgıcı; 10, 22.V.2011, İ.G. 1373; 14, 22.V.2011, İ.G. 1413; 14, 04.IV.2012, İ.G. 1757; 23, 09.V.2011, İ.G. 1854.
472. *A. chamaeptys* (L.) Schreber subsp. *euphratica* P. H. Davis / firatmayı; 27, 05.VI.2012, İ.G. 2454; 29, 05.VII.2012, İ.G. 2999. Endemik. NT. İran-Turan elementi.
246. TEUCRIUM L. / KISAMAHMUT
473. *T. multicaule* Montbret & Aucher ex Bentham / haptutan; 24, 14.V.2012, İ.G. 2013; 27, 05.VI.2012, İ.G. 2484; 29, 05.VII.2012, İ.G. 3000. İran-Turan elementi.
474. *T. parviflorum* Schreber, Pl. Vert. / koyunotu; 23, 25.VI.2011, İ.G. 1642; 14, 01.V.2012, İ.G. 1825; 24, 14.V.2012, İ.G. 2030; 21, 05.VI.2012, İ.G. 2529. İran-Turan elementi.
475. *T. chamaedrys* subsp. *sinuatum* (Celak) Rech. / sancıotu; 3, 04.IX.2013, İ.G. 4049. İran-Turan elementi.
476. *T. polium* L. subsp. *polium* / acıyaşan; 12, 04.VI.2011, İ.G. 1430; 2, 10.VII.2013, İ.G. 3530; 27, 17.IX.2013, İ.G. 4115.
247. SCUTELLARIA L. / KASİDE
477. *S. orientalis* L. subsp. *orientalis* / sarı kaside; 28, 15.VI.2012, İ.G. 2711. İran-Turan elementi.
478. *S. orientalis* L. subsp. *bicolor* (Hochst.) J.R.Edm. / alaca kaside; 10, 22.V.2011, İ.G. 1374; 28, 15.VI.2012, İ.G. 2687; 19, 10.IX.2013, İ.G. 4071. Endemik. LC. İran-Turan elementi.
479. *S. orientalis* L. subsp. *sintenisii* (Hausskn. ex Bornm.) / eğin kasidesi; 26, 01.IX.2013, İ.G. 3962. Endemik. VU. İran-Turan elementi.
248. EREMOSTACHYS Bunge / BENLİSULTAN
480. *E. mollucelloides* Bunge / benlisultan; 14, 01.V.2012, İ.G. 1817; 9, 16.III.2013, İ.G. 3066; 16, 17.IX.2013, İ.G. 4091. İran-Turan elementi.
249. PHLOMIS L. / ÇALBA
481. *P. pungens* Willd. var. *pungens* / silvanok; 2, 06.IV.2013, İ.G. 3184; 26, 01.IX.2013, İ.G. 3973.
482. *P. rigida* Labill / diri çalba; 29, 05.VII.2012, İ.G. 3044; 1,28.VII.2013, İ.G. 3621. İran-Turan elementi.
483. *P. oppositiflora* Boiss. & Hausskn. / has çalba; 25, 18.V.2012, İ.G. 2169; 19, 10.IX.2013, İ.G. 4072. Endemik. LC. İran-Turan elementi.
484. *P. linearis* Boiss. & Bal. / yaylaotu; 29, 05.VII.2012, İ.G. 2995; 2, 06.IV.2013, İ.G. 3196; 19, 10.IX.2013, İ.G. 4061. Endemik. LC. İran-Turan elementi.
485. *P. kurdica* Rech., f. Oesterr. / gubel; 26, 22.V.2012, İ.G. 2196; 21, 05.VI.2012, İ.G. 2509. İran-Turan elementi.
250. LAMIUM L. / BALLIBABA
486. *L. garganicum* L. subsp. *striatum* (Sm.) Hayek var. *striatum* / tel balıca; 9, 15.V.2011, İ.G. 1293; 22, 15.V.2011, İ.G. 1339. Akdeniz elementi.
487. *L. amplexicaule* L. var. *amplexicaule* / baltutan; 16, 17.IV.2011, İ.G. 1048; 17, 17.IV.2011, İ.G. 1055; 20, 30.IV.2011, İ.G. 1074.
488. *L. macrodon* Boiss. & Huet / balbaşı; 3, 30.IV.2011, İ.G. 1154; 14, 22.V.2011, İ.G. 1404. İran-Turan elementi.
489. *L. tomentosum* Willd. / boz balıca; 13, 20.VI.2011, İ.G. 1583; 23, 09.V.2011, İ.G. 1916.
490. *L. orientale* (Fisch. & C.A. Mey.) E.H.L.Krause / güzelce; 20, 23.V.2012, İ.G. 2281; 2, 20.VI.2013, İ.G. 3471. Endemik. İran - Turan elementi.
491. *L. multifidum* L. / güzelce; 20, 30.IV.2011, İ.G. 1083; 5, 01.V.2011, İ.G. 1165; 9, 01.V.2011, İ.G. 1204. İran - Turan elementi.
252. MOLUCCELLA L. / ÇANAKÇİÇEĞİ
492. *M. laevis* L. / çanakçiçeği; 9, 10.VII.2011, İ.G. 1730; 28, 15.VI.2012, İ.G. 2672; 15, 15.VI.2012, İ.G. 2895. İran-Turan elementi.
253. BALLOTA L. / NEMNEMOTU
493. *B. nigra* L. subsp. *anatolica* P.H. Davis / gripotu; 12, 04.VI.2011, İ.G. 1469. İran-Turan elementi.
254. MARRUBIUM L. / BOZOTU
494. *M. parviflorum* Fisch. & C.A.Mey subsp. *parviflorum* / bozotu; 13, 20.VI.2011, İ.G. 1580; 23, 09.V.2011, İ.G. 1888; 10, 23.V.2012, İ.G. 2294. İran-Turan elementi.
495. *M. cuneatum* Banks & Sol. / elkuraran; 29, 05.VII.2012, İ.G. 3033; 7, 28.VIII.2013, İ.G. 3929. İran-Turan elementi.
255. SIDERITIS L. / DAĞÇAYI
496. *S. montana* L. subsp. *montana* / karaçay; 12, 04.VI.2011, İ.G. 1428; 28, 15.VI.2012, İ.G. 2766; 3, 28.VIII.2013, İ.G. 3837. D. Akdeniz elementi.
256. STACHYS L. / DELİÇAY
497. *S. cretica* L. subsp. *garana* (Boiss.) Rech.f., Ann. / kabaçay 19, 01.V.2011, İ.G. 1218; 29, 05.VII.2012, İ.G. 2996; 16, 17.IX.2013, İ.G. 4090. İran-Turan elementi.

498. *S. cretica* L. subsp. *anatolica* Rech.f., Ann. / yağlıkara; 12, 04.VI.2011, İ.G. 1423; 3, 28.IV.2013, İ.G. 3341; 3, 28.VIII.2013, İ.G. 3845. Endemik. LC.
499. *S. lavandulifolia* Vahl, Symb. / tüylü çay; 11, 30.VI.2011, İ.G. 1689; 11, 29.IV.2012, İ.G. 1803; 26, 22.V.2012, İ.G. 2190; 6, 09.VI.2012, İ.G. 2597. Anadolu (GD. Anadolu Bölgesi hariç).
500. *S. annua* (L.) L. subsp. *annua* var. *annua* / haciosmanotu; 9, 13.VI.2011, İ.G. 1490; 26, 01.IX.2013, İ.G. 3955.
257. NEPETA L. / KEDİNANESİ
501. *N. italica* L. / eşekçayı; 4, 03.IV.2011, İ.G. 1031; 9, 15.V.2011, İ.G. 1306. Akdeniz elementi.
258. LALLEMANTIA Fisch. & C.A.Mey. / AJDARBAŞI
502. *L. iberica* (M.Bieb) Fisch. & C.A.Mey. / ajdarbaşı; 22, 15.V.2011, İ.G. 1323; 2, 20.VI.2013, İ.G. 3462. İran-Turan elementi.
259. PRUNELLA L. / ACIFESLEĞEN
503. *P. vulgaris* L. / gelinciklemeotu; 12, 04.VI.2011, İ.G. 1451; 7, 28.VIII.2013, İ.G. 3925. Avrupa-Sibirya elementi.
260. ORIGANUM L. / MERCANKÖŞK
504. *O. vulgare* L. subsp. *gracile* (K.Koch) Ietsw / kuş zemulu; 30, 05.VIII.2013, İ.G. 3730; 15, 12.VIII.2013, İ.G. 3784; 3, 28.VIII.2013, İ.G. 3857. İran-Turan elementi.
261. SATUREJA L. / KAYAKEKİĞİ
505. *S. hortensis* L. / çibriska; 20, 30.IV.2011, İ.G. 1079; 3, 12.V.2012, İ.G. 1959; 30, 05.VIII.2013, İ.G. 3690; 3, 04.IX.2013, İ.G. 4034.
262. CLINOPODIUM L. / YABANİFESLEĞEN
506. *C. graveolens* (M. Bieb.) Kuntze subsp. *graveolens* / filiskin; 24, 14.V.2012, İ.G. 2097; 10, 23.V.2012, İ.G. 2268; 6, 09.VI.2012, İ.G. 2606.
263. THYMUS L. / KEKİK
507. *T. haussknechtii* Velen. / fırat kekiği; 27, 05.VI.2012, İ.G. 2443; 29, 05.VII.2012, İ.G. 3037. Endemik. NT. İran-Turan elementi.
508. *T. leucotrichus* Hal. subsp. *leucotrichus* / tağ kekiği; 29, 05.VII.2012, İ.G. 3014; 2, 10.VII.2013, İ.G. 3560.
509. *T. kotschyanus* Boiss. & Hohen. / kekik; 2, 10.VII.2013, İ.G. 3557; 26, 01.IX.2013, İ.G. 3951. İran-Turan elementi.
264. MENTHA L. / NANE
510. *M. aquatica* L. / su nanesi; 1, 28.VII.2013, İ.G. 3635; 30, 05.VIII.2013, İ.G. 3625.
511. *M. longifolia* (L.) L. subsp. *longifolia* / pünk; 14, 01.V.2012, İ.G. 1857; 11, 28.V.2012, İ.G. 2334.
512. *M. longifolia* (L.) L. subsp. *typhoides* (Briq) Harley / dere nanesi; 14, 01.V.2012, İ.G. 1856; 2, 20.VI.2013, İ.G. 3468; 1, 28.VII.2013, İ.G. 3673; 30, 05.VIII.2013, İ.G. 3722; 15, 12.VIII.2013, İ.G. 3781; 27, 17.IX.2013, İ.G. 4116.
265. LYCOPUS L. / KURTAYAĞI
513. *L. europaeus* L. / kurtayağı; 30, 05.VIII.2013, İ.G. 3696; 15, 12.VIII.2013, İ.G. 3788; 3, 28.VIII.2013, İ.G. 3868; 3, 04.IX.2013, İ.G. 4026.
266. ZIZIPHORA L. / ANUK
514. *Z. capitata* L. / anuk; 24, 14.V.2012, İ.G. 2063; 26, 22.V.2012, İ.G. 2200; 6, 09.VI.2012, İ.G. 2607.
515. *Z. persica* Bunge. / kara reyhan; 27, 05.VI.2012, İ.G. 2441; 21, 05.VI.2012, İ.G. 2508. İran-Turan elementi.
516. *Z. taurica* M.Bieb. subsp. *taurica* / çöl reyhanı; 9, 13.VI.2011, İ.G. 1489; 25, 18.V.2012, İ.G. 2181; 27, 05.VI.2012, İ.G. 2452; 6, 09.VI.2012, İ.G. 2566.
267. SALVIA L. / ADAÇAYI
517. *S. trichoclada* Benth. / meşe şalbası; 19, 01.V.2011, İ.G. 1224; 24, 14.V.2012, İ.G. 2018; 26, 22.V.2012, İ.G. 2191; 28, 15.VI.2012, İ.G. 2721. İran-Turan elementi.
518. *S. suffruticosa* Montbret & Aucher ex Benth. / kalın şalba; 14, 22.V.2011, İ.G. 1392; 14, 01.V.2012, İ.G. 1823; 15, 15.VI.2012, İ.G. 2967. İran-Turan elementi.
519. *S. multicaulis* Vahl / kürt reyhanı; 19, 01.V.2011, İ.G. 1217; 25, 18.V.2012, İ.G. 2150; 2, 20.VI.2013, İ.G. 3481. İran-Turan elementi.
520. *S. syriaca* L. / çevlikotu; 12, 04.VI.2011, İ.G. 1442; 28, 15.VI.2012, İ.G. 2688. İran-Turan elementi.
521. *S. aethiopsis* L. / habes adaçayı; 13, 20.VI.2011, İ.G. 1544; 3, 12.V.2012, İ.G. 1960; 3, 04.IX.2013, İ.G. 4027.
522. *S. ceratophylla* L. / tarak şalba; 12, 04.VI.2011, İ.G. 1450; 3, 28.VIII.2013, İ.G. 3843. İran-Turan elementi.
523. *S. frigida* Boiss. / sağır şalba; 14, 01.V.2012, İ.G. 1816; 23, 09.V.2011, İ.G. 1892; 27, 05.VI.2012, İ.G. 2448. İran-Turan elementi.
524. *S. virgata* Jacq., Hort. / fatmanotu; 24, 14.V.2012, İ.G. 2006; 15, 12.VIII.2013, İ.G. 3758. İran-Turan elementi.
525. *S. verticillata* L. subsp. *amasiaca* (Freyn & Bornm.) Bornm. Bull. Herb. Boiss. / hart şalbası; 11, 28.V.2012, İ.G. 2319; 1, 28.VII.2013, İ.G. 3637; 7, 28.VIII.2013, İ.G. 3920; 19, 10.IX.2013, İ.G. 4059. İran-Turan elementi.
526. *S. russellii* Benth. / kurdeş; 31, 10.V. 2011, İ.G. 1263; 24, 14.V.2012, İ.G. 2024. İran-Turan elementi.
49. PLUMBAGINACEAE / KARDİKENİĞİLLER
268. ACANTHOLIMON Boiss. / KARDİKENİ
527. *A. acerosum* (Willd.) Boiss. var. *acerosum* / pişikkeveni; 6, 09.VI.2012, İ.G. 2581; 6, 17.VI.2012, İ.G. 2821; 29, 05.VII.2012, İ.G. 3039; 2, 10.VII.2013, İ.G. 3538; 1, 28.VII.2013, İ.G. 3672. İran-Turan elementi.
528. *A. saxifragiforme* Hausskn. & Sint. ex Bokhari / harput kardikeni; 17, 23.III.2013, İ.G. 3102; 2, 20.IV.2013, İ.G. 3305. İran-Turan elementi.
50. PLANTAGINACEAE / SİNİROTUGİLLER
269. ANARRHINUM Desf. / SÜPÜRGEOTU
529. *A. orientale* Benth. / süpürgeotu; 27, 05.VI.2012, İ.G. 2482; 6, 17.VI.2012, İ.G. 2793; 15, 15.VI.2012, İ.G. 2953. İran-Turan elementi.
270. LINARIA Miller / NEVRUZOTU
530. *L. kurdica* Boiss. & Hohen. subsp. *kurdica* / sarı nevruzotu; 13, 20.VI.2011, İ.G. 1552; 23, 25.VI.2011, İ.G. 1664; 30, 05.VIII.2013, İ.G. 3736. İran-Turan elementi.
271. KICKXIA Dumort. / FUKARAOTU
531. *K. spuria* (L.) Dumort. subsp. *integrifolia* (Brot.) R. Fernandes / sivri fukaraotu; 10, 30.VI.2011, İ.G. 1673.
272. VERONICA L. / MAVİŞOT
532. *V. campylopeda* Boiss. / kırk maviş; 11, 28.V.2012, İ.G. 2367; 19, 10.IX.2013, İ.G. 4079. İran-Turan elementi.
533. *V. triloba* Opiz / üç maviş; 26, 22.V.2012, İ.G. 2227; 19, 10.IX.2013, İ.G. 4056.
534. *V. anagallis-aquatica* L. / sugedemesi; 11, 09.VI.2012, İ.G. 2643; 28, 15.VI.2012, İ.G. 2759; 1, 10.VII.2013, İ.G. 3545.
535. *V. oxycarpa* Boiss. / dere mavişi; 2, 20.VI.2013, İ.G. 3522. İran-Turan elementi.
536. *V. macrostachya* Vahl. subsp. *mardinensis* (Bornm.) M.A.Fisch. / mardin mavişi; 23, 25.VI.2011, İ.G. 1648; 14, 01.V.2012, İ.G. 1815; 23, 09.V.2011, İ.G. 1895; 24, 14.V.2012, İ.G. 2032. Endemik. VU. İran-Turan elementi.
537. *V. orientalis* Miller subsp. *orientalis* / gözümucuğu; 11, 10.V.2011, İ.G. 1256; 31, 10.V. 2011, İ.G. 1266; 14, 01.V.2012, İ.G. 1878; 24, 14.V.2012, İ.G. 2069.
538. *V. orientalis* Miller subsp. *nimrodi* (Richter ex Stapf) M.A.Fischer / nemrut mavişi; 23, 09.V.2011, İ.G. 1913; 28, 15.VI.2012, İ.G. 2706; 19, 10.IX.2013, İ.G. 4059; 16, 17.IX.2013, İ.G. 4089. Endemik. LC.
273. GLOBULARIA L. / KÜRE ÇİÇEĞİ
539. *G. trichosantha* Fisch. & C.A.Mey. subsp. *trichosantha* / köse yayılımı; 11, 29.IV.2012, İ.G. 1786; 28, 15.VI.2012, İ.G. 2712; 26, 01.IX.2013, İ.G. 4001. İran-Turan elementi.
274. PLANTAGO L. / SİNİROTU
540. *P. major* L. subsp. *intermedia* (Gilib.) Lange / yedidamarotu; 30, 05.VIII.2013, İ.G. 3704; 3, 04.IX.2013, İ.G. 4033; 19, 10.IX.2013, İ.G. 4057. Akdeniz.
541. *P. lanceolata* L. / damarlıca; 12, 04.VI.2011, İ.G. 1473; 10, 30.VI.2011, İ.G. 1668.
51. THYMELAEACEAE / SIYIRCIKGİLLER
275. THYMELAEA Mill. / ÇEKEM
542. *T. passerina* (L.) Coss. & Germ. / çekem; 9, 15.V.2011, İ.G. 1308; 15, 15.VI.2012, İ.G. 2934.
52. ELAEAGNACEAE / İĞDEĞİLLER
276. ELAEAGNUS L. / İĞDE
543. *E. angustifolia* (L.) var. *angustifolia* / iğde; 15, 15.VI.2012, İ.G. 2943; 3, 28.VIII.2013, İ.G. 3829; 19, 10.IX.2013, İ.G. 4058.
53. SANTALACEAE / GÜVELEKĞİLLER
277. THESCIUM L. / TEZGÜVELEK
544. *T. billardieri* Boiss. / meşe güveleği; 10, 23.V.2012, İ.G. 2262; 11, 28.V.2012, İ.G. 2399; 6, 09.VI.2012, İ.G. 2589. İran-Turan elementi.

545. *T. kotschyani* Boiss. / koç güveleği; 15, 23.III.2013, İ.G. 3087; 3, 04.IX.2013, İ.G. 4032. İran-Turan elementi.
54. ARISTOLOCHIACEAE/LOHUSAOTUGİLLER
278. ARISTOLOCHIA L. / LOHUSAOTU
546. *A. maurorum* L. / kargabardağı; 14, 01.V.2012, İ.G. 1837; 24, 14.V.2012, İ.G. 2091; 1,01.V.2013, İ.G. 3439. İran-Turan elementi.
55. PHYLLANTHACEAE/DUVARNOHUTUGİLLER
279. ANDRACHNE L. / DUVARNOHUTU
547. *A. telephioides* L. / duvarnohutu; 6, 09.VI.2012, İ.G. 2658; 9, 30.III.2013, İ.G. 3143.
56. EUPHORBIACEAE / SÜTLEĞENGİLLER
280. CHROZOPHORA Neck. ex A. Juss. / SİĞİLOTU
548. *C. tinctoria* (L.) A.Juss. / siğılotu; 10, 23.V.2012, İ.G. 2253; 11, 28.V.2012, İ.G. 2330.
281. EUPHORBIA L. / SÜTLEĞEN
549. *E. chamaesyce* L. / şebrem; 12, 04.VI.2011, İ.G. 1475; 3, 12.V.2012, İ.G. 1967; 30, 05.VIII.2013, İ.G. 3733.
550. *E. altissima* Boiss. var. *altissima* / kabargaç; 10, 06.IV.2013, İ.G. 3236; 7, 28.VIII.2013, İ.G. 3932. İran-Turan elementi.
551. *E. eriophora* Boiss. / şiremara; 11, 13.VI.2011, İ.G. 1536; 6, 09.VI.2012, İ.G. 2660. İran-Turan elementi.
552. *E. aleppica* L. / haşul; 23, 25.VI.2011, İ.G. 1610; 10, 30.VI.2011, İ.G. 1676; 21, 05.VI.2012, İ.G. 2497; 29, 05.VII.2012, İ.G. 3009.
553. *E. szovitsii* Fisch. & Mey. var. *kharputensis* Aznav. ex M.S.Khan. / urus sütleğeni; 24, 14.V.2012, İ.G. 2038; 27, 05.VI.2012, İ.G. 2463; 29, 05.VII.2012, İ.G. 3029. İran-Turan elementi.
554. *E. denticulata* Lam. / karasütlük; 19, 17.IV.2011, İ.G. 1065; 20, 30.IV.2011, İ.G. 1077; 5, 01.V.2011, İ.G. 1164. İran-Turan elementi.
555. *E. macrolada* Boiss. / neblul; 23, 25.VI.2011, İ.G. 1663; 9, 10.VII.2011, İ.G. 1729. İran-Turan elementi.
556. *E. cheiradenia* Boiss. & Hohen / şirker; 19, 01.V.2011, İ.G. 1223; 22, 15.V.2011, İ.G. 1329; 3, 12.V.2012, İ.G. 1957; 2, 20.VI.2013, İ.G. 3496. İran-Turan elementi.
557. *E. herniariifolia* Willd. var. *glaberrima* Halacsy / boncuk sütleğeni; 11, 30.VI.2011, İ.G. 1686; 9, 10.VII.2011, İ.G. 1716; 14, 01.V.2012, İ.G. 1814.
57. URTICACEAE / ISIRGANGİLLER
282. URTICA L. / ISIRGAN
558. *U. dioica* subsp. *dioica* / ısırgan; 4, 03.IV.2011, İ.G. 1032. Avrupa-Sibirya elementi.
283. MORUS L. / DUT
559. *M. alba* L. / ak dut; 9, 30.III.2013, İ.G. 3174; 2, 10.VII.2013, İ.G. 3565; 1,28.VII.2013, İ.G. 3626; 3, 28.VIII.2013, İ.G. 3842.
560. *M. nigra* L. / kara dut; 9, 30.III.2013, İ.G. 3131; 30, 05.VIII.2013, İ.G. 3676; 1,25.VIII.2013, İ.G. 3804.
284. FICUS L. / İNCİR
561. *F. carica* L. subsp. *carica* / incir; 9, 30.III.2013, İ.G. 3176; 7, 28.VIII.2013, İ.G. 3924. Akdeniz elementi.
59. JUGLANDACEAE / CEVİZGİLLER
285. JUGLANS L. / CEVİZ
562. *J. regia* L. / ceviz; 9, 30.III.2013, İ.G. 3128; 7, 28.VIII.2013, İ.G. 3925; 19, 10.IX.2013, İ.G. 4081;
60. PLATANACEAE / ÇINARGİLLER
286. PLATANUS L. / ÇINAR
563. *P. orientalis* / çınar; 11, 18.VI.2012, İ.G. 2866; 15, 15.VI.2012, İ.G. 2904; 9, 30.III.2013, İ.G. 3145; 2, 20.VI.2013, İ.G. 3447; 30, 05.VIII.2013, İ.G. 3737.
61. FAGACEAE / KAYINGİLLER
287. QUERCUS L. / MEŞE
564. *Q. infectoria* Oliv. subsp. *veneris* (A. Kern.) Meikle / zindiyen; 23, 09.V.2011, İ.G. 1955; 9, 30.III.2013, İ.G. 3156.
565. *Q. cerris* L. / saçlımeşe; 2, 10.VII.2013, İ.G. 3582; 30, 05.VIII.2013, İ.G. 3677; 7, 28.VIII.2013, İ.G. 3928. Akdeniz elementi.
566. *Q. brantii* Lindl. / karamişe; 23, 09.V.2011, İ.G. 1928; 28,15.VI.2012, İ.G. 2745. İran-Turan elementi.
567. *Q. libani* Oliv. / lübnan meşesi; 23, 09.V.2011, İ.G. 1905; 1, 28.VII.2013, İ.G. 3615. İran-Turan elementi.
62. SALICACEAE / SÖĞÜTGİLLER
288. SALIX L. / SÖĞÜT
568. *S. bommuelleri* Hausskn. / köy söğüdü; 9, 30.III.2013, İ.G. 3165; 1, 01.V.2013, İ.G. 3421. İran-Turan elementi.
569. *S. alba* L. subsp. *alba* / ak söğüt; 30, 05.VIII.2013, İ.G. 3686; 3, 28.VIII.2013, İ.G. 3858. Avrupa-Sibirya elementi.
570. *S. caprea* L. / sorgun; 9, 30.III.2013, İ.G. 3177; 1,28.VII.2013, İ.G. 3603; 30, 05.VIII.2013, İ.G. 3705. Avrupa-Sibirya elementi.
289. POPULUS L. / KAVAK
571. *P. alba* L. var. *alba* / akkavak; 9, 30.III.2013, İ.G. 3138; 2, 20.IV.2013, İ.G. 3281. Avrupa-Sibirya elementi.
572. *P. nigra* L. subsp. *nigra* / karakavak; 9, 15.V.2011, İ.G. 1300; 24, 14.V.2012, İ.G. 2043; 1, 01.V.2013, İ.G. 3387; 3, 28.VIII.2013, İ.G. 3863. Avrupa-Sibirya elementi.
- LILIOPSIDA / MONOCOTYLEDONAE / BİRÇENEKLİLER
63. ARACEAE / YILANYASTIĞIGİLLER
290. ARUM L. / YILANYASTIĞI
573. *A. maculatum* L. / yılanekmeği; 3, 20.III.2011, İ.G. 1018.
291. BIARUM Schott / YILANPANCARI
574. *B. carduchorum* (Schott) Engl. / kardi; 14, 22.V.2011, İ.G. 1410; 9, 10.VII.2011, İ.G. 1761; 1,01.V.2013, İ.G. 3437.
64. XANTHORRHOEACEAE / ÇİRİŞGİLLER
292. ASPHODELINE Rchb. / DELİÇİRİŞ
575. *A. damascena* (Boiss.) Baker subsp. *damascena* / çekiçlik; 14, 01.V.2012, İ.G. 1871; 24, 14.V.2012, İ.G. 2049. İran-Turan elementi.
65. ASPARAGACEAE / KUŞKONMAZGİLLER
293. PUSCHKINIA Adams / KARSÜMBÜLÜ
576. *P. scilloides* Adams / serhişing; 2, 06.VI.2013, İ.G. 3212; 2, 20.IV.2013, İ.G. 3267. İran-Turan elementi.
294. ORNITHOGALUM L. / AKYILDIZ
577. *O. persicum* Hausskn. ex Bornm. / karayıldız; 14, 01.V.2012, İ.G. 1822; 9, 16.III.2013, İ.G. 3075; 10, 06.IV.2013, İ.G. 3215; 2, 20.IV.2013, İ.G. 3263; 6, 20.IV.2013, İ.G. 3295; 2, 20.VI.2013, İ.G. 3453.
578. *O. narbonne* L. / akbaldır; 22, 15.V.2011, İ.G. 1345; 1,01.V.2013, İ.G. 3376. Akdeniz elementi.
579. *O. oligophyllum* E. D.Clarke. / kurt soğanı; 24, 14.V.2012, İ.G. 2016; 29, 05.VII.2012, İ.G. 3016.
580. *O. orthophyllum* Ten. subsp. *kochii* (Parl.) Maire & Weiller / bayır yıldızı; 6, 30.IV.2011, İ.G. 1124; 11, 10.V.2011, İ.G. 1262.
295. MUSCARI Mill. / MÜŞKÜRÜM
581. *M. comosum* (L.) Miller / morbaş; 27, 05.VI.2012, İ.G. 2434; 1, 01.V.2013, İ.G. 3415. Akdeniz elementi.
582. *M. armeniacum* Leichtlin ex Baker / gavurbaşı; 4, 03.IV.2011, İ.G. 1039; 31, 10.V.2011, İ.G. 1269. Endemik. CD.
583. *M. neglectum* Guss. ex Ten. / arapüzümü; 2, 06.VI.2013, İ.G. 3209; 2, 20.VI.2013, İ.G. 3446; 7, 28.VIII.2013, İ.G. 3905.
296. BELLEVALIA Lapeyr. / KIRSÜMBÜLÜ
584. *B. speciosa* Woronow ex Grossh. / saplı sümbül; 1,01.V.2013, İ.G. 3396; 2, 20.VI.2013, İ.G. 3474.
585. *B. gracilis* Feinbrun / aktepli; 1, 01.V.2013, İ.G. 3356; 26, 01.IX.2013, İ.G. 3959. Endemik. LC. İran-Turan elementi.
66. LILIACEAE / ZAMBAKGİLLER
297. FRITILLARIA L. / TERSLALE
586. *F. pinardii* Boiss. / Mahçup lale; 2, 06.VI.2013, İ.G. 3185; 2, 04.IX.2013, İ.G. 4010. İran-Turan elementi.
298. TULIPA L. / LALE
587. *T. armena* Boiss. var. *armena* / dağ lalesi; 9, 01.V.2011, İ.G. 1200; 21, 05.VI.2012, İ.G. 2544. İran-Turan elementi.
299. GAGEA Salisb. / SARIYILDIZ
588. *G. taurica* Steven / bozkır yıldızı; 14, 04.IV.2012, İ.G. 1758; 17, 23.III.2013, İ.G. 3107. İran-Turan elementi.
589. *G. villosa* (M.Bieb.) Sweet. var. *villosa* / tüylü yıldız; 17, 23.III.2013, İ.G. 3122. Akdeniz elementi.
67. COLCHICACEAE / ACIÇİĞDEMİGİLLER
300. COLCHICUM L. / ACIÇİĞDEM
590. *C. szovitsii* Fisch. & C.A.Mey. subsp. *szovitsii* / katır çiğdemi; 3, 20.III.2011, İ.G. 1014; 8, 20.III.2011, İ.G. 1022; 13, 20.VI.2011, İ.G. 1539. İran-Turan elementi.
68. AMARYLLIDACEAE / NERGİSGİLLER
301. ALLIUM L. / SOĞAN
591. *A. szovitsii* Regel / yayla körmeni; 14, 22.V.2011, İ.G. 1389; 29, 05.VII.2012, İ.G. 3053. Karadeniz elementi.
592. *A. stamineum* Boiss. / yaban sarımsağı; 9, 30.III.2013, İ.G. 3130; 2, 10.VII.2013, İ.G. 3584. D. Akdeniz elementi.
593. *A. ampeloprasum* L. / pırasa; 23, 25.VI.2011, İ.G. 1662; 28, 15.VI.2012, İ.G. 2767; 11, 18.VI.2012, İ.G. 2860; 3, 28.VIII.2013, İ.G. 3887. Akdeniz elementi.

594. *A. scorodoprasum* L. subsp. *rotundum* (L.) Steam / deli pırasa; 9, 10.VII.2011, İ.G. 1745; 17, 23.III.2013, İ.G. 3112; 26, 01.IX.2013, İ.G. 3961.
595. *A. sintenisii* Freyn / dikenli körmən; 21, 05.VI.2012, İ.G. 2527. Endemik. NT. İran-Turan elementi.
596. *A. kharputense* Freyn & Sint. / harput soğanı; 3, 12.V.2012, İ.G. 1995; 25, 18.V.2012, İ.G. 2174; 17, 23.III.2013, İ.G. 3124; 3, 28.IV.2013, İ.G. 3308. İran-Turan elementi.
597. *A. lycanicum* Siehe ex Hayek / konya soğanı; 14, 01.V.2012, İ.G. 1840.
- 69.IX.IOLIRIACEAE / KÖPEKOTUGİLLER
302. IXIOLIRION Fisch. ex Herb. / KÖPEKOTU
598. *I. tataricum* (Pall.) Schult. & Schult.f. var. *tataricum* / köpekotu; 26, 22.V.2012, İ.G. 2237; 2, 01.V.2013, İ.G. 3505. İran-Turan elementi.
- 70.IRIDACEAE / SÜSENGİLLER
303. IRIS L. / SÜSEN
599. *I. gatesii* Foster / sason kurtkulağı; 22, 15.V.2011, İ.G. 1316; 10, 06.IV.2013, İ.G. 3237. İran-Turan elementi.
600. *I. persica* L. / buzala; 8, 20.III.2011, İ.G. 1024 ; 9, 16.III.2013, İ.G. 3073. İran-Turan elementi.
601. *I. pseudocaucaucasica* Grossh. / van navruzu; 9, 16.III.2013, İ.G. 3071; 17, 23.III.2013, İ.G. 3093. İran-Turan elementi.
304. CROCUS L. / ÇİĞDEM
602. *C. biflorus* Miller subsp. *tauri* (Maw.) B.Mathew / berfan; 1,01.V.2013, İ.G. 3417. İran-Turan elementi.
603. *C. leichtlinii* (Dewar) Bowles, Handb. / mardin çiğdemi; 13, 20.IV.2011, İ.G. 1545. Endemik. CD. İran-Turan elementi.
305. GLADIOLUS L. / KILIÇOTU
604. *G. atrovioleaceus* Boiss. / kıraç süseni; 9, 15.V.2011, İ.G. 1299; 14, 22.V.2011, İ.G. 1391. İran-Turan elementi.
- 71.ORCHIDACEAE / SALEPGİLLER
306. ORCHIS L. / SALEP
605. *O. purpurea* Huds. subsp. *caucasica* (Regel) B.Baumann / Hasancık; 1, 28.VII.2013, İ.G. 3630. Avrupa-Sibirya elementi.
307. DACTYLORHIZA Necker ex Nevski / BALKAYMAK SALEBİ
606. *D. iberica* (M.Bieb. ex Willd.) Soo / kırım salebi; 23, 09.V.2011, İ.G. 1882. Akdeniz elementi.
607. *D. osmanica* (Klinge) P.F. Hunt & Summerh. var. *osmanica* / osmanlı salebi; 1, 01.V.2013, İ.G. 3416; 15, 12.VIII.2013, İ.G. 3786. Endemik. LC. İran-Turan elementi.
- 72.JUNCACEAE / KOFAGİLLER
308. JUNCUS L. / KOFA
608. *J. inflexus* L. / sazak; 1, 01.V.2013, İ.G. 3423; 30, 05.VIII.2013, İ.G. 3718.
- 73.CYPERACEAE / HASIROTUGİLLER
309. CAREX L. / AYAKOTU
609. *C. diandra* Schrank / çifte sazotu; 2, 20.VI.2013, İ.G. 3469; 7, 28.VIII.2013, İ.G. 3934. Avrupa-Sibirya elementi.
610. *C. stenophylla* Wahlenb. subsp. *stenophylloides* (V. I. Krecz.) Egorova / çölayakotu; 10, 22.V.2011, İ.G. 1355; 26, 01.IX.2013, İ.G. 3966. İran-Turan elementi.
611. *C. distans* L. / sina ayakotu; 14, 01.V.2012, İ.G. 1862; 25, 18.V.2012, İ.G. 2176; 1, 01.V.2013, İ.G. 3425; 26, 01.IX.2013, İ.G. 3978. Avrupa-Sibirya elementi.
- 74.POACEAE / BUĞDAYGİLLER
310. ELYMUS L. / BUĞDAYOTU
612. *E. panormitanus* (Parl.) Tzelev / kuru buğday; 26, 22.V.2012, İ.G. 2214; 7, 28.VIII.2013, İ.G. 3916; 27, 17.IX.2013, İ.G. 4124. Akdeniz elementi.
613. *E. repens* (L.) Gould / sabankıran; 9, 10.VII.2011, İ.G. 1721; 26, 22.V.2012, İ.G. 2216.
311. HETERANTHELIUM Hochst. / ÇORAKARPASI
614. *H. piliferum* (Banks & Sol.) Hochst. / çorakarpası; 17, 23.III.2013, İ.G. 3080. İran-Turan elementi.
312. AEGILOPS L. / BUĞDAYANASI
615. *A. umbellulata* Zhuk. / hanım buğdayı; 25, 18.V.2012, İ.G. 2157; 6, 09.VI.2012, İ.G. 2625; 28, 15.VI.2012, İ.G. 2708. İran-Turan elementi.
616. *A. triuncialis* L. subsp. *triuncialis* / üçkılçık; 23, 25.VI.2011, İ.G. 1597; 15, 15.VI.2012, İ.G. 2917.
617. *A. columnaris* Zhukovsky / kıl buğday; 28, 15.VI.2012, İ.G. 2695; 15, 23.III.2013, İ.G. 3097; 7, 28.VIII.2013, İ.G. 3904. İran-Turan elementi.
313. SECALE L. / ÇAVDAR
618. *S. ciliatoglume* (Boiss.) Grossh. / acem çavdarı; 26, 01.IX.2013, İ.G. 3996. İran-Turan elementi.
619. *S. cereale* L. var. *cereale* / çavdar; 3, 06.III.2011, İ.G. 1002; 11, 18.VI.2012, İ.G. 2852; 1,28.VII.2013, İ.G. 3633.
314. HORDEUM L. / ARPA
620. *H. murinum* L. subsp. *glaucum* (Steud.) Tzelev / duvar arpası; 11, 10.V.2011, İ.G. 1258; 10, 22.V.2011, İ.G. 1366; 15, 23.III.2013, İ.G. 3108; 3, 04.IX.2013, İ.G. 4030.
621. *H. bulbosum* L./boncuk arpa; 13, 20.VI.2011, İ.G. 1578; 11, 18.VI.2012, İ.G. 2850.
315. TAENIATHERUM Nevski / KILÇIKARPASI
622. *T. caput-medusae* (L.) Nevski subsp. *asper* (Simonk.) Melderis / eğri kılçık; 28, 15.VI.2012, İ.G. 2713; 7, 28.VIII.2013, İ.G. 3902.
623. *T. caput-medusae* (L.) Nevski subsp. *crinitum* (Schreb.) Melderis / kılçıkarpası; 25, 18.V.2012, İ.G. 2171; 28, 15.VI.2012, İ.G. 2761. İran-Turan elementi.
316. BROMUS L. / İBUBUKEKİNİ
624. *B. japonicus* Thunb. subsp. *japonicus* / iyeotu; 6, 30.IV.2011, İ.G. 1119; 23, 25.VI.2011, İ.G. 1624; 1,25.VIII.2013, İ.G. 3801.
625. *B. scoparius* L. / ibubuk ekini; 3, 30.IV.2011, İ.G. 1145; 12, 04.VI.2011, İ.G. 1462; 3, 28.IV.2013, İ.G. 3318.
626. *B. danthoniae* Trin. subsp. *danthoniae* / ibubukotu; 24, 14.V.2012, İ.G. 2149; 25, 18.V.2012, İ.G. 2179.
627. *B. tectorum* L. / kır bromu; 3, 12.V.2012, İ.G. 1968; 24, 14.V.2012, İ.G. 2098.
628. *B. sterilis* L. / sağır ilcan; 8, 30.IV.2011, İ.G. 1106; 11, 30.VI.2011, İ.G. 1709; 7, 28.VIII.2013, İ.G. 3930; 26, 01.IX.2013, İ.G. 3986.
629. *B. cappadocicus* Boiss. & Balansa subsp. *cappadocicus* / peri kılcanı; 27, 05.VI.2012, İ.G. 2438; 3, 28.VIII.2013, İ.G. 3848.
630. *B. tomentellus* Boiss. subsp. *tomentellus* / bozkır bromu; 27, 17.IX.2013, İ.G. 4123. İran-Turan elementi.
317. AVENA L. / YULAF
631. *A. barbata* Pott ex Link subsp. *barbata* / narın yulaf; 3, 28.IV.2013, İ.G. 3333. Akdeniz elementi.
632. *A. sativa* L. / yulaf; 15, 15.VI.2012, İ.G. 2966.
318. KOELERIA Pers. / KIRNAL
633. *K. macrantha* (Ledeb.) Schult. / koca kırmal; 6, 17.VI.2012, İ.G. 2801; 2, 10.VII.2013, İ.G. 3564.
319. CALAMAGROSTIS Adans. / KANDIRAOTU
634. *C. pseudophragmites* (Haller) Koeler / sazçimi; 28, 15.VI.2012, İ.G. 2758. Avrupa Sibirya elementi.
320. APERA Adans. / İPEKÇİMİ
635. *A. intermedia* Hack. / puslu ipekçimi; 28, 15.VI.2012, İ.G. 2746; 26, 01.IX.2013, İ.G. 3991. İran-Turan elementi.
321. AGROSTIS L. / TAVUSOTU
636. *A. gigantea* Roth / koca tavusotu; 12, 04.VI.2011, İ.G. 1436; 30, 05.VIII.2013, İ.G. 3714. Avrupa-Sibirya elementi.
322. ALOPECURUS L. / TILKİKUYRUĞU
637. *A. vaginatus* (Willd.) Kunth / benekli tilkikuyruğu; 23, 09.V.2011, İ.G. 1919; 28, 15.VI.2012, İ.G. 2676.
323. PHEUM L. / İTKUYRUĞU
638. *P. pratense* L. / çayır itkuyruğu; 9, 13.VI.2011, İ.G. 1508; 2, 10.VII.2013, İ.G. 3568. Avrupa-Sibirya elementi.
639. *P. exaratum* Griseb. subsp. *exaratum* / meşe itkuyruğu; 11, 18.VI.2012, İ.G. 2881; 26, 01.IX.2013, İ.G. 3995.
324. LOLIUM L. / ÇİM
640. *L. perenne* L. / çim; 13, 20.VI.2011, İ.G. 1574. Avrupa-Sibirya elementi.
325. VULPIA C.C.Gmel. / KİRPİKLİÇİM
641. *V. unilateralis* (L.) Stace / yamuk kirpikliçim; 25, 18.V.2012, İ.G. 2141.
326. POA L. / SALKIMOTU
642. *P. trivialis* L. / kaba salkımotu; 17, 23.III.2013, İ.G. 3109.
643. *P. sterilis* M. Bieb. / köse salkımotu; 24, 14.V.2012, İ.G. 2057; 26, 22.V.2012, İ.G. 2233; 29, 05.VII.2012, İ.G. 3056.
644. *P. bulbosa* L. / yumrulu salkımotu; 14, 22.V.2011, İ.G. 1385; 23, 09.V.2011, İ.G. 1890; 2, 20.IV.2013, İ.G. 334.
327. EREMOPOA Roshev. / YALANSALKIM
645. *E. persica* (Trin.) Roshev. / acem salkımı; 14, 01.V.2012, İ.G. 1858; 26, 22.V.2012, İ.G. 2219; İran-Turan elementi.
328. CATABROSA P. Beauv. / ÇİPİL
646. *C. aquatica* (L.) P. Beauv. / çipil; 27, 05.VI.2012, İ.G. 2447; 17, 23.III.2013, İ.G. 3100.
329. DACTYLIS L. / DOMUZAYRIĞI

647. *D. glomerata* L. subsp. *hispanica* (Roth) Nyman / kılı domuzayı; 1, 28.VII.2013, İ.G. 3616.
 330. CYNOSURUS L. / TARAKOTU
 648. *C. cristatus* L. / tarakotu; 25, 18.V.2012, İ.G. 2159; 29, 05.VII.2012, İ.G. 3031. Avrupa-Sibirya elementi.
 331. BRIZA L. / ZEMBİLOTU
 649. *B. humilis* M. Bieb. / kadımdili; 2, 20.IV.2013, İ.G. 3252; 7, 28.VIII.2013, İ.G. 3923.
 332. ECHINARIA Desf. / DİKENBAŞOTU
 650. *E. capitata* (L.) Desf. / dikenbaşotu; 23, 09.V.2011, İ.G. 1930; 24, 14.V.2012, İ.G. 2119; 16, 17.IX.2013, İ.G. 4084.
 333. MELICA L. / İNCİÇİMİ
 651. *M. persica* Kunth subsp. *inaequiglumis* (Boiss.) Bor / kireç inciotu; 1,10.VII.2013, İ.G. 3556.
 652. *M. persica* Kunth subsp. *canescens* (Regel) P.H. Davis / ipek inciotu; 27, 05.VI.2012, İ.G. 2444; 16, 17.IX.2013, İ.G. 4085. İran-Turan elementi.
 334. STIPA L. / SORGUÇOTU
 653. *S. bromoides* (L.) Dörf. / kılça; 25, 18.V.2012, İ.G. 2142; 16, 17.IX.2013, İ.G. 4110. Akdeniz elementi.

654. *S. holosericea* Trin. / dirgen kılça; 24, 14.V.2012, İ.G. 2066; 15, 23.III.2013, İ.G. 3099. İran-Turan elementi.
 655. *S. arabica* Trin. & Rupr. / buzağılık; 26, 22.V.2012, İ.G. 2234; 19, 10.IX.2013, İ.G. 4073. İran-Turan elementi.
 656. *S. ehrenbergiana* Trin & Rupr. / sorguçotu; 27, 05.VI.2012, İ.G. 2440. İran-Turan elementi.
 335. PHRAGMITES Adans. / KAMIŞ
 657. *P. australis* (Cav.) Trin. ex Steud. / kamış; 30, 05.VIII.2013, İ.G. 3703. Avrupa-Sibirya elementi.
 336. CYNODON Rich. / KÖPEKDİŞİ
 658. *C. dactylon* (L.) Pers. var. *villosus* Regel / köpekdişi; 26, 22.V.2012, İ.G. 2207; 15, 15.VI.2012, İ.G. 2918.
 337. ECHINOCHLOA P. Beauv. / DARICAN
 659. *E. crus-galli* (L.) P. Beauv. / darıcan; 14, 22.V.2011, İ.G. 1397; 10, 30.VI.2011, İ.G. 1675; 26, 22.V.2012, İ.G. 2209.
 338. SORGHUM Moench / SÜPÜRGEDARISI
 660. *S. halepense* (L.) Pers. var. *halepense* / ekin süpürgesi; 28, 15.VI.2012, İ.G. 2675.

4. Tartışma ve Sonuç

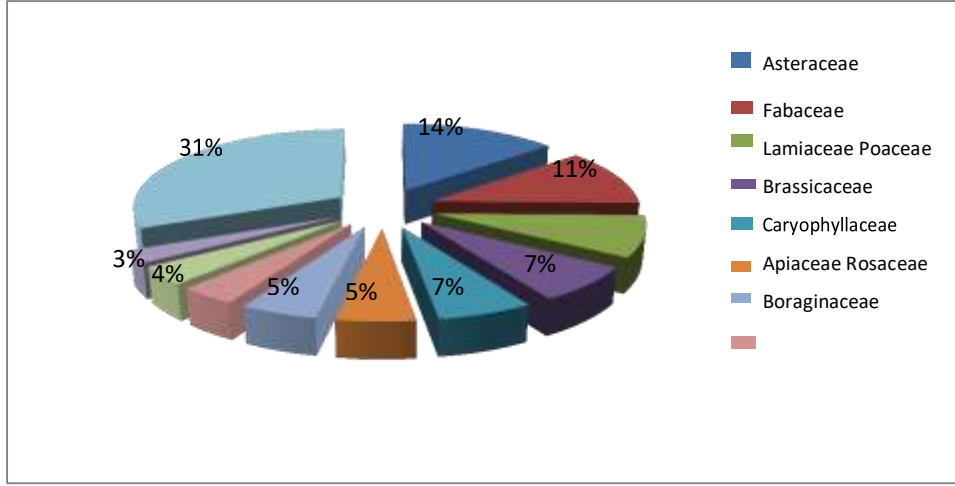
Bu çalışma, araştırma alanından 2011-2013 yılları arasında, değişik vejetasyon periyotlarında 3 yıllık bir sürede toplanmış 3128 bitki örneği kullanılarak tamamlanmıştır. Örneklerin sistematik olarak değerlendirilmesi sonucunda, araştırma alanından 74 familyaya ait 338 cins ve bu cinslere ait 469 tür, 133 alttür ve 80 varyete olmak üzere toplamda 660 takson tespit edilmiştir. Belirlenen bu 660 taksonun 2'si Pteridophyta 658'i Magnoliophyta bölümüne dâhildir. Magnoliophyta bölümüne ait olan 658 taksonun 5'i Pinophytina (Gymnospermae) 653'ü Magnoliophytina (Angiospermae) alt bölümüne aittir. Magnoliophytina alt bölümünde yer alan 653 taksonun 565'i Dicotyledonae, 88'i Monocotyledoneae sınıflarında yer almaktadır [2].

4.1. Araştırma alanında belirlenen taksonların familyalara göre dağılımı

İçerdikleri takson sayısı bakımından araştırma alanındaki ilk 10 familya Tablo 3'de verilmiştir. Araştırma alanındaki ilk 10 familyaya ait familya spektrumu da Şekil 2'de gösterilmiştir.

Tablo 3. İçerdikleri takson sayısı bakımından ilk 10 familya

Sıra No	Familya Adı	Takson Sayısı	Toplam Takson Sayısına Oranı (%)
1	<i>Asteraceae</i>	91	13.8
2	<i>Fabaceae</i>	76	11.5
3	<i>Lamiaceae</i>	56	8.5
4	<i>Poaceae</i>	49	7.4
5	<i>Brassicaceae</i>	43	6.5
6	<i>Caryophyllaceae</i>	36	5.4
7	<i>Apiaceae</i>	34	5.2
8	<i>Rosaceae</i>	26	3.9
9	<i>Boraginaceae</i>	25	3.8
10	<i>Ranunculaceae</i>	17	2.6
	Toplam	453	68.6
	Diğerleri	207	31.4



Şekil 2. En çok takson içeren ilk 10 familyaya ait familya spektrumu.

Araştırma alanında en fazla takson içeren ilk 10 familyanın, toplam takson sayısının yarısından fazlasını %68.6 içerdiği Tablo 3’de görülmektedir. Tablo 4 incelendiğinde ilk on sıraya giren familyalar arasında yurdumuzda yapılan diğer flora çalışmalarında da olduğu gibi en zengin familyanın (*Asteraceae*) olduğu görülür. Araştırma alanımızda en çok takson içeren ilk üç familyanın *Asteraceae–Fabaceae–Lamiaceae* şeklinde olduğu Tablo 4’de görülmektedir [2].

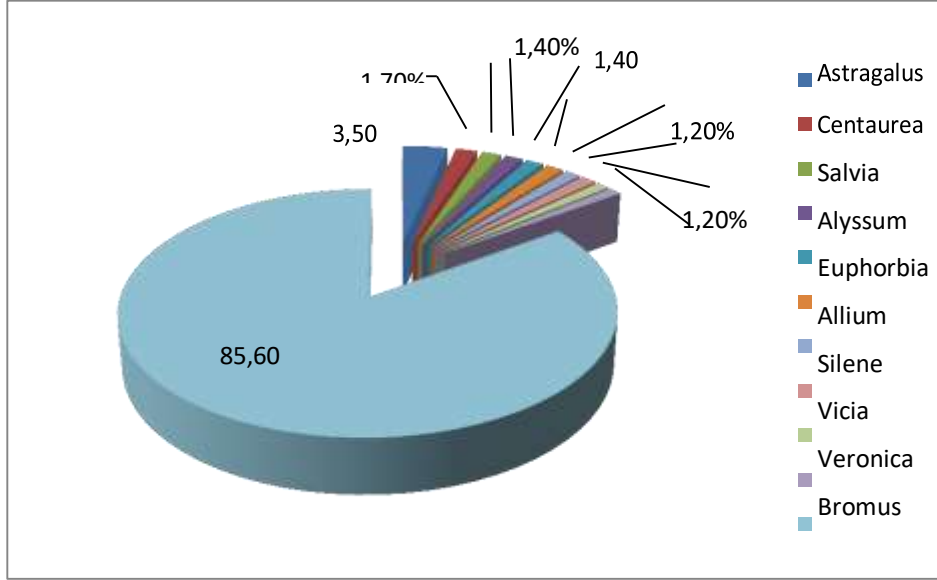
Tablo 4. Çalışma sahasımız ile yakın alanlarda yapılmış çalışmalarda içerdiği takson sayısı bakımından ilk üç familyanın karşılaştırılması.

Araştırma alanının adı	İlk üç familya
Hankendi – Baskil - Kömürhan (Elazığ) Arasında Kalan Alanın Florası [2].	<i>Asteraceae – Fabaceae – Lamiaceae</i>
Salkaya Deresi ile Dambüyük Ovası Arasında Kalan Saha [12].	<i>Asteraceae – Fabaceae – Lamiaceae</i>
Aşağıçakmak Köyü ile Keban Baraj Gölü (Elazığ) Arasındaki Sahanın Florası [13].	<i>Asteraceae – Fabaceae – Lamiaceae</i>
Tekevler – Maden (Elazığ) Arası Sahanın Florası [14].	<i>Asteraceae – Fabaceae – Lamiaceae</i>
Karga, Kamışlık ve Kuşakçı Dağları (Elazığ) Florası [15].	<i>Asteraceae – Fabaceae – Brassicaceae</i>
Elazığ Baskil Merkez ilçe-Altinkürek Köyü (Keban) Arasındaki Yüksek Sahanın Florası [16].	<i>Asteraceae – Fabaceae – Lamiaceae</i>
Harput (Elazığ) Florası [17].	<i>Asteraceae – Fabaceae – Poaceae</i>
Baskil (Elazığ) Florasına Katkılar [18].	<i>Asteraceae – Fabaceae – Lamiaceae</i>
Buzluk Mağaraları – Şüşnaz Bağları (Harput) Florası [19].	<i>Asteraceae – Brassicaceae – Poaceae</i>
Çakmakbeli (Keban-Elazığ) Florası, [20].	<i>Fabaceae – Asteraceae – Lamiaceae</i>
Baskil ve Çevresi (Elazığ) Florası Üzerine Bir Araştırma [21].	<i>Asteraceae – Fabaceae – Lamiaceae</i>
Keban Barajı Gölündeki Adaların Flora ve Faunası [22].	<i>Asteraceae – Fabaceae – Lamiaceae</i>
Mastar, Kup, Yaylın Dağları’nın (Elazığ) Florası [23].	<i>Fabaceae - Asteraceae – Brassicaceae</i>
Pütürge (Malatya) Florası [24].	<i>Fabaceae - Asteraceae – Brassicaceae</i>
Munzur Dağları (Erzincan-Tunceli) Florası [25].	<i>Asteraceae – Fabaceae – Brassicaceae</i>
Hasan Dağı (Elazığ) Florası [26].	<i>Fabaceae – Brassicaceae – Asteraceae</i>
Hazar Dağları Florası [27].	<i>Fabaceae - Asteraceae – Brassicaceae</i>

4.2. Araştırma alanında belirlenen taksonların cinslere göre dağılımı

Tablo 5. Araştırma alanında en çok takson içeren ilk 10 cins ve oranları

Sıra no	Cins adı	Takson sayısı	Toplam takson sayısına oranı (%)
1	<i>Astragalus</i>	23	3.5
2	<i>Centaurea</i>	11	1.7
3	<i>Salvia</i>	10	1.5
4	<i>Alyssum</i>	9	1.4
5	<i>Euphorbia</i>	9	1.4
6	<i>Allium</i>	9	1.4
7	<i>Silene</i>	8	1.2
8	<i>Vicia</i>	8	1.2
9	<i>Veronica</i>	7	1.0
10	<i>Bromus</i>	7	1.0
Toplam		102	15.3
Diğerleri		558	84.7



Şekil 3. En çok takson içeren ilk 10 cins spektrumu

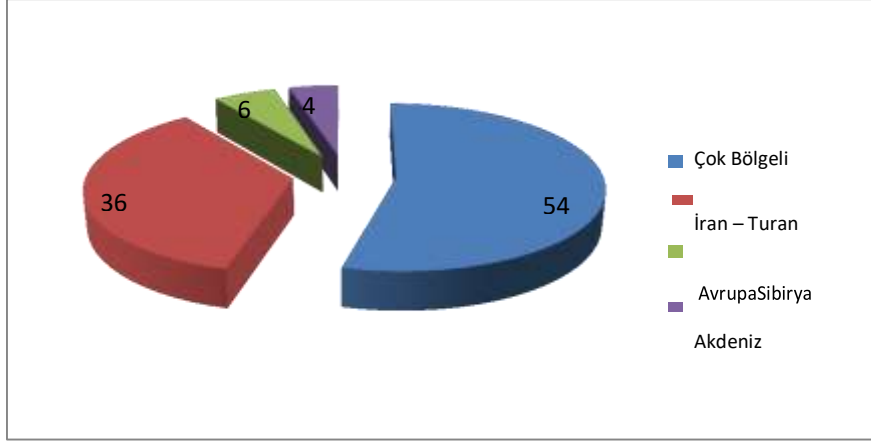
Türkiye Florası'nda ilk üç cins sırasıyla *Astragalus*, *Verbascum* ve *Centaurea* şeklindedir [28]. Tablo 5'de görüldüğü gibi alınımda en çok takson içeren ilk üç cins *Astragalus*, *Centaurea* ve *Salvia* şeklinde olup, Türkiye Florası'ndaki iki cins ile uyumludur. Araştırma alanımızda *Astragalus* cinsi 23 takson ile temsil edilmektedir. Bu cins ülkemizde en fazla taksona sahip cinstir. Araştırma alanımızdaki ikinci büyük cins 11 takson ile *Centaurea*–Peygamberçiçeği cinsi olmuştur. Bu cins Türkiye Florası'nda üçüncü sırada yer almaktadır. *Salvia*-Adaçayı cinsi 10 takson ve %1.5'lik oran ile alanımızda en çok takson içeren üçüncü cinstir. Bunu 9'ar takson ve %1.4'lük oranları ile *Alyssum*-Kuduzotu, *Euphorbia*-Sütleğen ve *Allium*-Soğan cinsleri takip etmektedir. Bu cinsler de daha önce yapılmış floristik çalışmaların çoğunda ilk sıralarda yer almıştır. Ayrıca *Silene*-akıl ve *Vicia*-Fiğ 8'er takson ve %1.2'lik oran, *Veronica*-Mavişot ve *Bromus*-İbubukekini cinsleri ise 7'şer takson ve %1'lik oranları ile ilk on cins arasında yer almışlardır. En çok takson içeren ilk 10 cins spektrumu ise Şekil 3'de görüldüğü gibidir [2].

4.3. Araştırma alanının fitocoğrafik bölge elementleri yönünden değerlendirilmesi

Araştırma alanında belirlenen bu taksonların fitocoğrafik bölgelere göre dağılımı Tablo 6'da gösterilmiştir. Ayrıca taksonların fitocoğrafik bölge spektrumu Şekil 4'de verilmiştir.

Tablo 6. Araştırma alanında belirlenen bu taksonların fitocoğrafik bölgelere göre dağılımı

Fitocoğrafik	Takson Sayısı	Oranı (%)
Çok bölgeli	358	54.2
İran-Turan	236	35.8
Avrupa-Sibirya	37	5.6
Akdeniz	29	4.4
Toplam	660	100

**Şekil 4.** Taksonların fitocoğrafik bölge spektrumu

Alanımız Davis'in kareleme sistemine göre B7 karesi içerisinde yer alır. Tümüyle İran – Turan fitocoğrafik bölgesindedir. Floristik olarak; İran – Turan fitocoğrafik bölgesi diğer komşu bölgeler ile zayıf bir ilişki gösterir. Avrupa-Sibirya, Akdeniz bölgelerinin ve bunların komşu bölgelerinin iklimleri, vejetasyonları, fitocoğrafik bakımdan tarihi geçmişleri birbirinden iyice ayrılmıştır [29]. Araştırma alanımızın İran – Turan fitocoğrafik bölgesinde yer alması ve bu bölgeye ait iklimsel özelliklere sahip olması İran – Turan elementlerinin 236 takson ve % 35.8'lik oranla ilk sırayı almasını sağlamıştır [2].

4.4. Araştırma Alanından Toplanan Endemik Taksonların Tehlike Kategorileri Bakımından Değerlendirilmesi

Araştırma alanından toplanan endemik taksonları tehlike kategorileri bakımından değerlendirdiğimizde; taksonlardan 39'unun en az endişe verici (LC), 6'sının tehlike altına girebilir (NT), 5'inin zarar görebilir (VU), 2'sinin tehlikede (EN), 1'inin az tehdit altında (LR), 2'sinin ise koruma önlemi gerektiren (CD) kategorisinde yer aldığı görülmektedir [30].

Sonuç olarak daha önce herhangi bir floristik çalışma yapılmamış olan Hankendi-Baskil-Kömürhan (Elazığ) arasında kalan alanın florası tespit edilerek çok sayıda takson belirlenmiştir. Bu sayede çalışmamız Fırat Üniversitesi herbaryumuna ve bundan sonra yapılacak çalışmalara katkı sağlayacaktır. Bu çalışmayla Elazığ ve Türkiye florasına da katkı sunulmaya çalışılmıştır [2].

Teşekkür

Projeye maddi destek sağlayan Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yönetim Birimi (FÜBAP)'ne teşekkür ederim (Proje numarası: FF.11.12).

Yazarların Katkısı

Çalışmaya tüm yazarlar eşit oranda katkı sunmuştur.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur

Kaynaklar

- [1] Davis P.H. 1965-1985. Flora of Turkey and the East Aegean Islands. Vol.1-9, Edinburgh Univ. Press, Edinburgh.
- [2] Gültürk İ. 2016. Hankendi–Baskil–Kömürhan (Elazığ) arasında kalan alanın florası. Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [3] Elazığ Bölgesi Haritası. www.openstreetmap.org. (Erişim Tarihi: 09.04.2015).
- [4] Canpolat F.A. 2016. Büyükçay Havzasındaki (Elazığ) Kırsal Yerleşmelerin Coğrafi Analizi. Fırat Üniversitesi, Sosyal Bilimler Dergisi, 26 (1): 1-20.
- [5] Siler M. 2009. Büyük Çay Havzası'nın (Elazığ Batısı) Genel ve Uygulamalı Jeomorfolojisi. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Elazığ.
- [6] Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü, 2012. İklim Verileri, Elazığ.
- [7] Akman Y. 1999. İklim ve Biyoiklim. (Biyoiklim Metodları ve Türkiye (İklimleri). Palme Yayın Dağıtım, Ankara.
- [8] Davis P.H., Tan K., Mill R.R. (eds.). 1988. Flora of Turkey and the East Aegean Islands. Vol. 10, Edinburgh Univ. Press, Edinburgh.
- [9] Davis P.H., Güner A., Özhatay N., Ekim T., Başer H.C. 2000. Flora of Turkey and the East Aegean Islands. Vol.11, Edinburgh Univ. Pres. Edinburgh.
- [10] Güner A., Aslan S., Ekim T., Vural M., Babaç M.T., (edlr.), 2012. Türkiye Bitkileri Listesi (Damarlı Bitkiler). Nezahat Gökyiğit Botanik Bahçesi ve Flora Araştırmaları Derneği Yayını, İstanbul.
- [11] Raunkier C. 1934. The Life Forms of Plants and Statical Plant Geography. Translates by Carter. Fausboll and Tansley: Oxford Univ. Press.
- [12] Hayta Ş. 2012. Salkaya Deresi ile Dambüyük Ovası arasında kalan sahanın florası. Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [13] Kılıç Ö. 2011. Aşağıçakmak Köyü ile Keban Baraj Gölü (Elazığ) arasındaki sahanın florası, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [14] Çakılcıoğlu U. 2008. Tekevler–Maden (Elazığ) arası sahanın florası. Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [15] Türkoğlu İ. 2004. Karga, Kamışlık ve Kuşakçı Dağları ile Bu Dağlar Arasında Yerleşmiş Gözeli-Kavak Yüksek Dağıçığı Ovaları (Elazığ) Florası. Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [16] Kürşat M. 2003. Elazığ, Baskil Merkez İlçe-Altinkürek Köyü (Keban) Arasındaki Yüksek Sahanın Florası. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [17] Çakılcıoğlu U. 2002. Harput (Elazığ) Florası. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [18] Behçet L. 1999. Baskil (Elazığ) Florasına Katkılar. 1st. International Symposium on Protection of Natural Environment and Ehrami Karaçam, 23-25th September, Kütahya, Türkiye.
- [19] Erkan E. 2002. Buzluk Mağaraları–Şüşnaz Bağları (Harput) Florası Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [20] Duru Ö. 2001. Çakmakbeli (Keban-Elazığ) florası. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [21] Aziret A. 1996. Baskil ve Çevresi (Elazığ) florası üzerine bir ön araştırma. Yüksek Lisans Tezi, Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [22] Ayvaz Y., Civelek S., Yaman S. 1993. Keban Baraj Gölündeki Adaların Flora ve Faunası. Fırat Üniversitesi, Fen-Müh. Bilimleri Dergisi, 5 (2):59-88.
- [23] Evren H. 1985. Mastar, Kup, Yaylım Dağlarının (Elazığ) Florası. Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [24] Altan Y. 1984. Malatya-Pütürge Florası. Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.

- [25] Yıldırım S. 1982. Munzur Dağları Florası Üzerinde Bir Araştırma. TBAG-415 no'lu Proje, Ankara.
- [26] Evren H. 1981. Hasan Dağı (Elazığ) Florası Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [27] Altan Y. 1981. Hazar Dağları Florası. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [28] Erik S., Mutlu B., Topaloglu S., Tarıkahya B., Aldemir A. 2005. *Centaurea tchihatcheffii*'nin tarihçesi, Türkiye florasındaki yeri, yayılış alanları, taksonomik özellikleri ve diğer bitkiler ile olan birlikteliği. 3. Bölüm 179-258. *Centaurea tchihatcheffii*, Ankara-Gölbaşı Sevgi Çiçeği. Bizim Büro Basımevi-Ankara 570 s.
- [29] Muratgeldiyev Y., Küçüköyük M., Bingöl Ü., Güney K., Geven F. 2000. İran-Turan Floristik Bölgesi. Selçuk Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Fen Dergisi, 1: 119-124.
- [30] IUCN, 2001. Red List Categories; Version 3.1. Prepared by the IUCN Specie Survival Commission. IUCN, Gland Switzerland and Cambridge, UK.

Araştırma Makalesi / Research Article

An Evaluation on the Sexual Mutilation in Females of *Gylippus* Simon, 1879 species (Gylippinae, Gylippidae, Solifugae)

Melek ERDEK*

*Hakkâri University, Vocational School of Health Services, Department of Medical Services and Techniques,
Hakkâri, Turkey
(ORCID: 0000-0003-1060-4265)*

Abstract

The genital sternite is differentiated from other opisthosomal sternites in female gylippids and used for identification as a distinctive characteristic. In the present study, twenty-four female specimens belong to *Gylippus* Simon genus were examined. The female specimens collected from different localities of Turkey. *Gylippus* (*Gylippus*) *ersenii* Koç&Erdek, 2019, *Gylippus* (*Gylippus*) *syriacus* Simon, 1872, *Gylippus* (*Hemigylippus*) *bayrami* Erdek, 2015, *Gylippus* (*Paragylippus*) *monoceros* Werner, 1905 and *Gylippus* sp. belong, including five different species. It has been noted that, the male exhibits aggressive and compulsive behaviours after approaching the female during the mating period. The deformations and cuticular injuries on the genital segment, caused difficulties in species identification, are derived from the coercive copulation behaviour during the mating and pre-mating process.

Key words: Solifuge, *Gylippus*, Solifugae, deformation, coercive copulation.

***Gylippus* Simon, 1879 Türlerinin Dişi Bireylerinde Eşeyssel Deformasyon Üzerine Bir Değerlendirme (Gylippinae, Gylippidae, Solifugae)**

Öz

Genital sternit dişi gylippidlerde diğer abdominal sternitlerden farklılaşmış olup ayırt edici karakter olarak teşhiste kullanılır. Bu çalışma kapsamında, *Gylippus* Simon cinsine ait 24 dişi bireyin genital segmentleri incelenmiştir. Türkiye'nin farklı bölgelerinden toplanan dişi örnekler, *Gylippus* (*Gylippus*) *ersenii* Koç&Erdek, 2019, *Gylippus* (*Gylippus*) *syriacus* Simon, 1872, *Gylippus* (*Hemigylippus*) *bayrami* Erdek, 2015, *Gylippus* (*Paragylippus*) *monoceros* Werner, 1905 ve *Gylippus* sp. olmak üzere 5 farklı türe aittir. Çiftleşme döneminde erkeğin dişiye yaklaşması sonrasında saldırgan ve zorlayıcı davranışlar sergilediği kaydedilmiştir. Zaman zaman tür teşhisinde zorlanmalara neden olan genital segmentteki bu deformasyonlar ve kütikular yaralar çiftleşme sırasında ve çiftleşme öncesindeki zorlayıcı davranışından ileri gelmektedir.

Anahtar kelimeler: Böğü, *Gylippus*, Solifugae, deformasyon, zorlayıcı çiftleşme.

1. Introduction

Solifuges are still not well-known arachnid order with 1123 species belong to 138 genera and 12 families [1-5, 8, 9]. Opisthosoma typically consists of ten segments and the 1st opisthosomal segment is known as the genital segment. The genital opercula have generally different shapes in different families' species. In gylippids genital segment consists of two parts; genital opening and genital lobes. The female genital organs of adult solifuges are divided into three different parts; genital chamber, oviducts, and ovary [7, 13].

Muma [10] summarized the mating behaviour in *Eremobates* species in three phases as attack phase, contact phase, and release phase. He emphasized that male grasping female genital segment with chelicerae especially chewing vigorously the female genital opercular area. Peretti and Willemart [12] illustrated the presence of sexual coercion during mating of *Oltacola chacoensis* Roewer, 1934

*Corresponding author: melekerdek@hakkari.edu.tr

Received: 07.09.2020, Accepted: 07.10.2020

(Ammotrechidae). They pointed to cuticular injuries on abdominal segments and genital opening in females during mating. Hrušková-Martišová et al. [5] studied the behaviour of coercive copulation in *Galeodes caspius subfuscus* Birula, 1937 (Galeodidae) and *Gluvia dorsalis* (Latreille, 1817) (Daesiidae). They also indicated injuries on the cuticles of the genital organ and 4th legs in females and broken tips on male chelicerae during copulation.

The present study examines the genital mutilation and cuticular damages in some female gylippids. The injuries and female genital deformations caused by the pedipalpal setae and chelicerae of males during capturing and forcing pre-mating and mating.

2. Material and Methods

Specimens were collected with hand-sampling method during daytime and pitfall traps techniques from different localities of Turkey from March to September in 2007-2019:

**Gylippus (Gylippus) erseni*

-(2♀♀, Figs.2h-i). Karaman Province, Karadağ Mountain, 9 km west of Dinek Village, 37°23'20"N, 33°08'18"E, 2100m a.s.l., 01.09.2012, leg. E.A. Yağmur.

**Gylippus (Gylippus) syriacus*

-(1♀, Fig.1a) Diyarbakır Province, Ergani District, 1km northwest of Salihli Village, 38°13'38"N, 39°31'05"E, 12.04.2008, leg. E.A. Yağmur.

-(1♀, Fig.1b) Diyarbakır Province, Çermik District, 38°07'11"N, 39°07'43"E, 12.04.2008. leg. E.A. Yağmur.

-(2♀♀, Fig.1c-d) Diyarbakır Province, 3 km south of Silvan District, Köçek Mountain, 38°11'21"N, 41°00'30"E, 15.04.2008, leg. E.A. Yağmur.

-(1♀, Fig.1j) Gaziantep Province, Oğuzeli District, 2km south of Çaybaşı Village, 36°59'58"N, 37°30'48"E, 729m a.s.l., 17.04.2009, leg. E.A. Yağmur.

-(1♀, Fig.1k) Mardin Province, Yeşilli District, 37°19'57.0"N, 40°48'58.8"E, 751m a.s.l., 15.03.2013, leg. M. Erdek.

-(1♀, Fig.1l) Siirt Province, 20 km southwest of Baykan District, 38°03'08"N, 41°46'50"E, 596m a.s.l., 18.0.2009, leg. E.A. Yağmur.

-(6♀♀, Fig.2a-f) Şanlıurfa Province, Birecik District, Arat Mountain, 37°19'57.0"N, 40°48'58.8"E, 663m a.s.l., 15.03.2013, leg. M. Erdek.

-(1♀, Fig. 2g) Batman Province, 5km north of Gercüş District, 17.05.2009, leg. E.A. Yağmur.

**Gylippus (Paragylippus) monoceros*

-(3♀♀, Fig.1e-g) Kayseri Province, Lifos Mountain, 38°57.0"N, 35°27'59.4"E, 1776m a.s.l., 24.05.2013, leg. M. Erdek.

-(1♀, Fig.1h) Kayseri Province, Erciyes Mountain, 38°35'11.4"N, 35°30'18.0"E, 2015m a.s.l., 20.05.2011, leg. M. Erdek.

**Gylippus (Hemigylippus) bayrami*

--(1♀, Fig.1i) Erzincan Province, Çağlayan District, Kalecik Village, 39°34'11"N, 35°29'50"E, 1776m a.s.l., 18.05.2011, leg. İ. Özgen&S. Anlaş.

**Gylippus* sp. were collected from Adana province (2j-1).

The pictures of female genital organs were illustrated using a Leica DFC295 camera attached to the Leica DFC295 stereo microscope. Birula (1913) and Roewer (1933) were used for descriptions of the species [1, 14].

3. Results

The genital sternites in different gylippid species as in Figs. 1-2 and prominently differentiated from other abdominal sternites. The genital lobes are interspecifically variable and they are not fully opened or fully unified in immature females. These lobes are not completely curling and shaping (Figs. 11, 2b).

The cuticular damages during the attack phase of mating could be evaluated under 4 headings: genital segment damages, genital lobes damages, genital opening damages, 4th leg segments, and abdominal damages.

Genital segment damages: These damages mostly consist of on the proximal side of the genital segment, close to the posterior abdominal sternite (Figs. 1a, 2c, f, g). These damages are in the form of

darkening in the color and hardening in the cuticle. And also there are folding and prominent deformities on the genital segment surface (Figs. 1d, j-k, 2e, g, j-l).

Genital lobes damages: In many examined specimens, right and left genital lobes do not seem equal and symmetrical (especially Figs. 1a, c-d, 2k-l). The width of notches at the posterior side of these lobes are also not equal in the same species (Figs. 1d, f). There are some cuticular darkening due to tissue damages on lobes and the notch edges (Figs. 1a, f, 2c, h-i).

Genital opening damages: The cuticular tissue in the genital opening prominently bulges outwardly (Figs. 1f, j-k, 2a, e, j-l). There are also some scars on the genital opening (Figs. 1a, f-g, j, 2d). **The 4th leg segments and opisthosomal damages.** The scars are observed on the 3rd opisthosomal sternite (Figs. 1h, 2e) and on the trochanteral parts of the 4th pair of walking legs (Figs 2c, g-i).

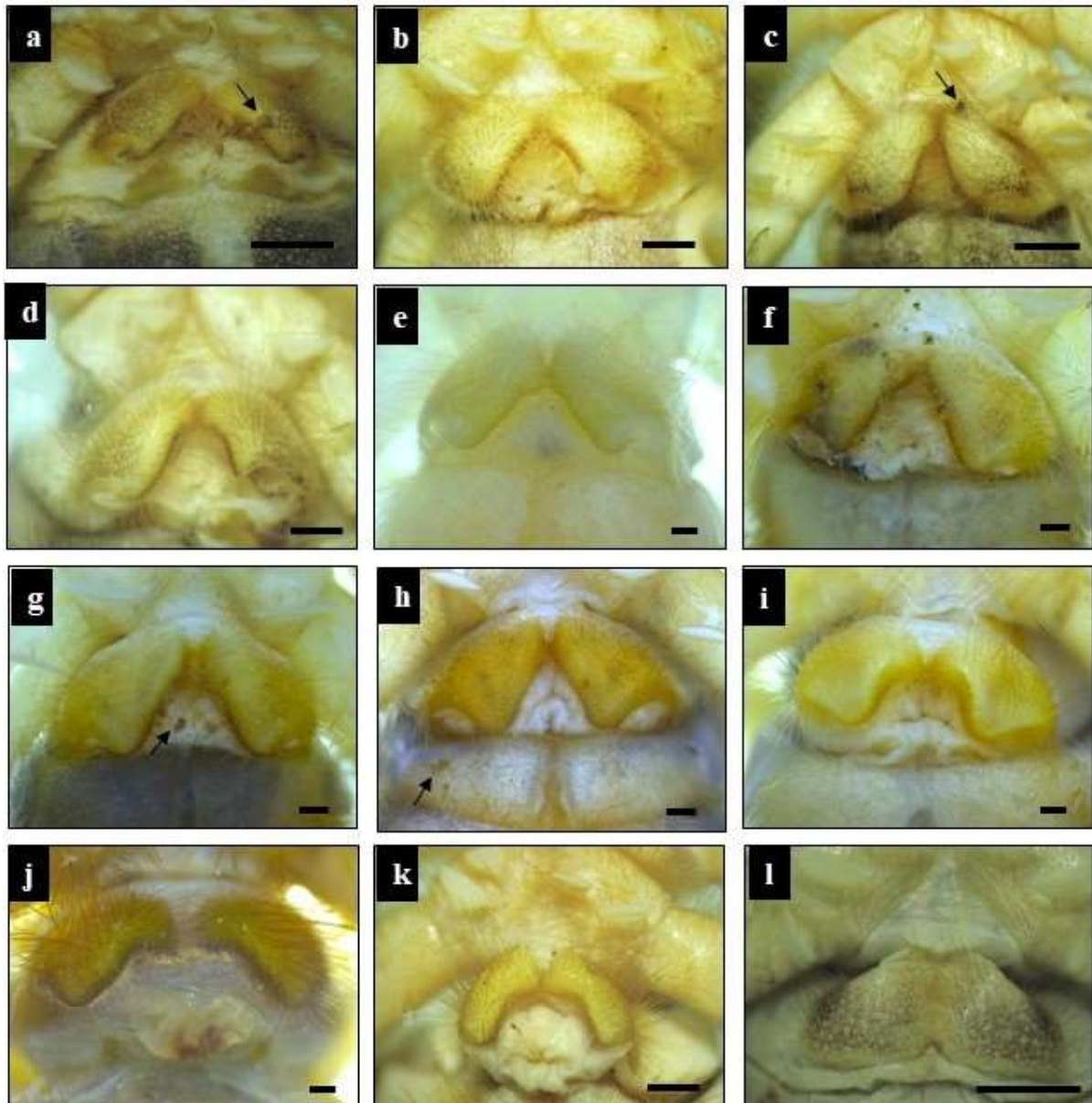


Figure 1. The genital organs of female gylippids: *Gylippus (Gylippus) syriacus* (a-d,j-l), *Gylippus (Hemigylippus) bayrami* (i), *Gylippus (Paragylippus) monoceros* (e-h). (Arrows show the cuticular damages) (Scale bars: 1mm)

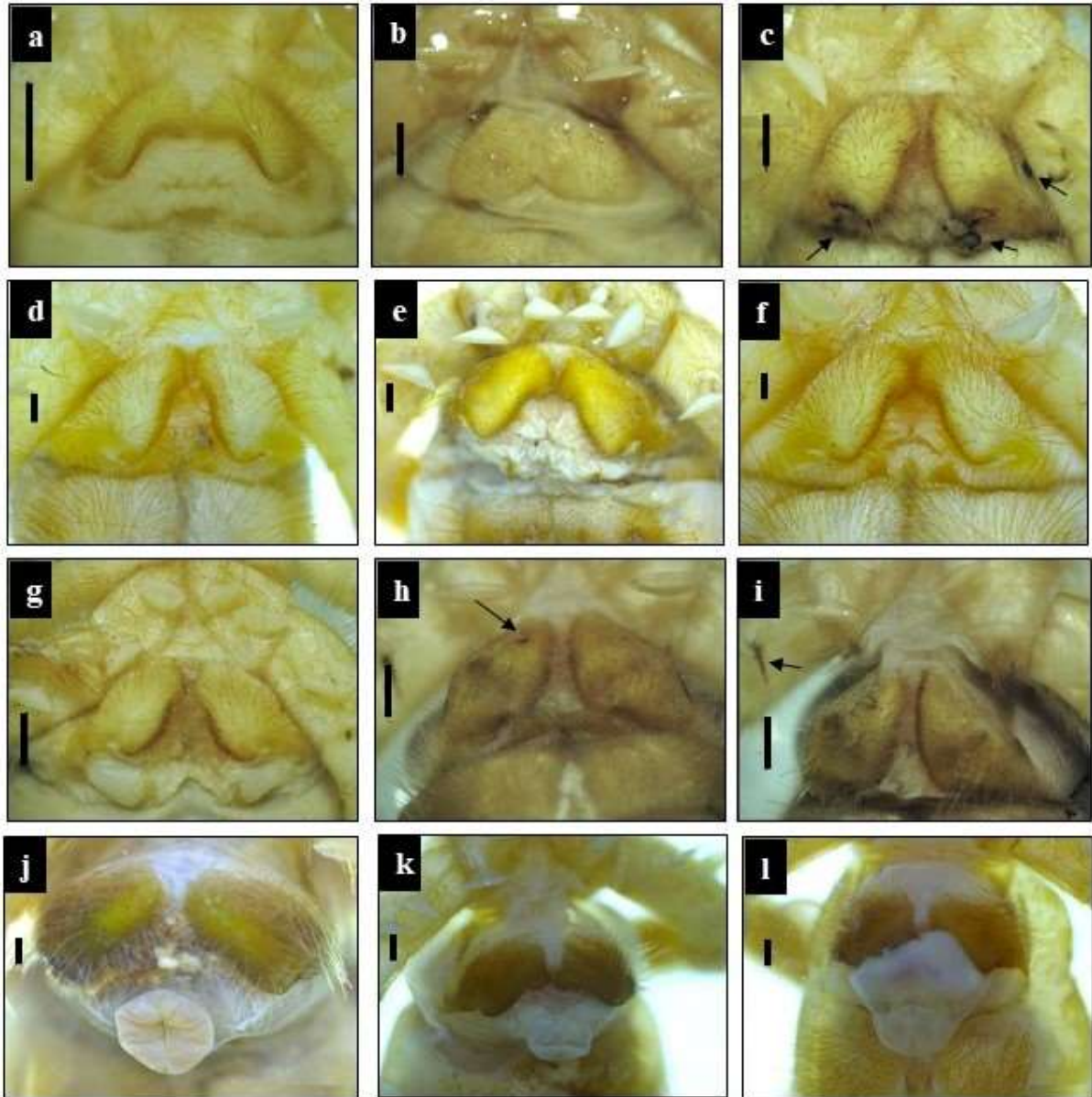


Figure 2. The genital organs of female gylippids: *Gylippus (Gylippus) erseni* (h-i), *Gylippus (Gylippus) syriacus* (a-g), *Gylippus* sp.(j-l) (Arrows show cuticular damages). (Scale bars: 1mm).

4. Conclusions

It is interpreted that female genital damages and mutilation during mating in some gylippids distributed in Turkey: *Gylippus (Gylippus) erseni*, *Gylippus (Gylippus) syriacus*, *Gylippus (Hemigylippus) bayrami*, *Gylippus (Paragylippus) monoceros*, *Gylippus* sp.

Hruskova-Martisova et al. emphasized that male solifuges could overcome female resistance by using luring behaviour and sexual coercion [6]. They described four behaviours during coercive mating: using strength or fast movement by males to grab a female, preventing females from counter-attack and escape, injuring the female during coercive copulation, and struggling to interrupt mating of females. Peretti and Willemart [12] indicated that the male *Oltacola chacoensis* clasps forcibly the female genital sternite with his chelicerae and holds the female 4th pair of legs with his pedipalp. According to these behaviours, the cuticular damages observed in this study are caused by sexual coercion during pre-mating and mating by the chelicerae and pedipalps of males. The male injures and mutilates females with the tip of his chelicerae and pedipalpal setal complex. It is observed that the male *Gylippus (Paragylippus) monoceros* cut off the left leg from the trochanter part of the female refused to mate in

laboratory conditions (Author's personal observation). It is thought that the female could be copulated in nature and eggs could be fertilized; for this reason, female must be resisting another mating.

Uhl et al. [15] showed that the genital mutilations in different female spiders are caused by males plugging their embolar parts to epigynes of females. They claimed that these genital mutilations could occur with sexual cannibalism in some species associated with monogynous and terminal investment in a single mating partner.

Nessler et al. [11] also indicated that in *Argiope bruennichi* males, damaging their paired sexual organs during copulation, limiting the copulation as one copulation per pedipalp. According to Nessler et al., if genital damage increases in female, male fitness facilitates his escaping from aggressive female or by blocking the female fertilization ducts to prevent male mating attempts from other males. As a result, they suggested that this damage in this species increases the paternity success and reduces sperm competition with breaking off male pedipalps in the virgin female. In the present study, genital opening injuries (as in Fig.1j) must have occurred while inserting spermatophore by chelicerae into the female opening. But it is believed that males do this only for securing own generation; male does not substantially want to injure females just while inserting spermatophore he also inserts his chelicerae also into the female genital opening in this process male injure female willingly or not.

Muma [10] mentioned this as chewing motion during the contact phase of mating in eremobatids. The specimens having genital openings protruding outwards in Fig. 2j-l were collected by using pitfall traps. The specimens most probably fell into the traps shortly after mating, because the genital sternites seem opened as in contact phase. These swollen and degraded structures of female genital openings may also be caused by waiting for a long time in pitfall traps in antifreeze.

The changes in genital segment complicate the diagnose of solifuges, therefore females and males of a species must collect simultaneously for reliable diagnose.

Acknowledgements

I would like to express my sincere thanks to Dr. Ersen Aydın YAĞMUR and Dr. Halil KOÇ for helping me to get some specimens from different localities and joining my field works.

Author's Contributions

All contributions belong to the author in this paper.

Statement of Conflicts of Interest

No potential conflict of interest was reported by the author.

Statement of Research and Publication Ethics

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

References

- [1] Birula, A.A. 1913. Monographie der Solifugen-Gattung Gylippus Simon. Annuaire du Musee Zoologique de l'Academie des Sciences de St.-Petersbourg, 18: 317-400, tabs. 7-11.
- [2] Botero-Trujillo R., Ott R., Mattoni C.I., Nime M.F., Ojanguren-Affilastro A.A. 2019. Two new species of the sun-spider genus *Gaucha* from Argentina and Brazil (Solifugae, Mummuciidae). Zootaxa, 4551 (2): 180-194.
- [3] Carvalho L S., Botero-Trujillo R. 2019. On the sun-spiders of the ibirapemussu species-group of the genus *Gaucha* Mello-Leitão, 1924 (Solifugae, Mummuciidae), with description of a new species. Zootaxa, 4700 (2): 289-298.
- [4] Cushing P.E., Brookhart J.O. 2016. Nine new species of the *Eremobates scaber* species group of the North American camel spider genus *Eremobates* (Solifugae, Eremobatidae). Zootaxa, 4178 (4): 503-520.

- [5] Erdek M. 2019. Description of the new solifuge *Gylippus (Paragylippus) hakkaricus* sp. n. (Gylippidae, Solifugae). *Zootaxa*, 4695 (6): 559-567.
- [6] Hrušková-Martišová M., Pekár S., Bilde T. 2010. Coercive copulation in two sexually cannibalistic camel-spider species (Arachnida: Solifugae). *Journal of Zoology*, 282 (2): 91-99.
- [7] Klann A.E. 2009. Histology and ultrastructure of solifuges. Ernst-Moritz-Arndt-Universität, Greifswald. 1-228.
- [8] Koç H., Erdek M. 2019. *Gylippus (Gylippus) erseni* sp. n. (Solifugae: Gylippidae: Gylippinae), a new solifuge species from Turkey. *Acta Zoologica Bulgarica*, 71 (2): 159-166.
- [9] Maddahi H., Aliabadian M., Moradmand M., Mirshamsi O. 2019. New insights to the taxonomy of *Rhagodes eylandti* (Walter, 1889): A remarkable sexually dimorphic species (Solifugae: Rhagodidae). *Zootaxa*, 4648 (3): 494-510.
- [10] Muma M.H. 1966. Mating behavior in the solpugid genus *Eremobates* Banks. *Animal Behavior*, 14: 346-350.
- [11] Nessler S.H., Uhl G., Schneider J.M. 2007. Genital damage in the orb-web spider *Argiope bruennichi* (Araneae: Araneidae) increases paternity success. *Behavioral Ecology*, 18 (1): 174-181.
- [12] Peretti A.V., Willemart R.H. 2007. Sexual coercion does not exclude luring behavior in the climbing camel-spider *Oltacola chacoensis* (Arachnida, Solifugae, Ammotrechidae). *Journal of Ethology*, 25 (1): 29-39.
- [13] Punzo F. 1998. *The Biology of camel-spiders (Arachnida, Solifugae)*. Kluwer Academic Publishers, Boston, MA. 1-297.
- [14] Roewer C.F. 1933. Solifugae, Palpigradi. In: Bronn, E.G., (Ed.), *Klassen und Ordnungen des Tierreichs. 5. Arthropoda. IV. Arachnoidea und kleinere ihnen nahestehende Arthropodengruppen. Vol. 5 (IV) (4) (2-3)*. Akademische Verlagsgesellschaft M.B.H., Leipzig, 161-480.
- [15] Uhl G., Nessler S.H., Schneider J.M. 2010. Securing paternity in spiders? A review on occurrence and effects of mating plugs and male genital mutilation. *Genetica*, 138 (1): 75.

Araştırma Makalesi / Research Article

Benzoat esteri içeren kumarin yapıli bileşimin deneyisel ve kuantum kimyasal hesaplamalı

Kamuran SARAÇ^{1*}, Serap ÇETİNKAYA²

¹Bitlis Eren Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümü, Bitlis

²Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Fakültesi, Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümü, Sivas
(ORCID: 0000-0001-6684-8969) (ORCID: 0000-0001-7372-1704)

Öz

Çalışmanın amacı 4-Kumarinil-4-florobenzoatı sentezleyerek deneyisel ve teorik özelliklerini tespit etmektir. 4-Kumarinil-4-florobenzoat, aroil bileşiklerinin nükleofilik katılma-ayırma reaksiyonu kullanılarak sentezlendi. Bu bağlamda 4-kumarinil 4-florobenzoat bileşimi, kuantum kimyasal hesaplamalar ve spektral teknikler kullanılarak hem deneyisel hem de teorik olarak karakterize edilmiştir. Bileşimin temel halde ¹H ve ¹³C'ün nükleer manyetik rezonansları ve infrared spektroskopik değerleri hem deneyisel olarak hem de teorik olarak hesaplandı (teorik hesaplamalar yapılırken yoğunluk fonksiyonel teorisi metodu kullanıldı). Hesaplanan infrared ve nükleer manyetik rezonans değerlerinin deneyisel değerler ile uyumlu olduğu görüldü. Bileşimin moleküler geometrisi, geometrik yapısı ve geometrik parametreler gibi kuantum kimyasal hesaplamaları 6-311G(d,p) temel seti ile hesaplandı. HOMO-LUMO arasındaki enerji farkı, kimyasal sertlik ve kimyasal yumuşaklık gibi elektronik özelliklerin kuantum kimyasal hesaplamaları yapıldı. 4-Kumarinil-4-florobenzoat'ın moleküler elektrostatik potansiyel (MEP) yüzeyi elde edildi.

Anahtar kelimeler: DFT, kumarin, HOM-LUMO, moleküler modelleme.

Experimental and quantum chemical calculations of coumarin-structured compound containing Benzoate ester

Abstract

The aim of the study was to synthesize 4-Coumarinyl-4-fluorobenzoate and detect its experimental and theoretical properties. 4-Coumarinyl-4-fluorobenzoate was synthesized using by the nucleophilic addition-separation reaction of aroyl compounds. In this context 4-coumarinyl 4-fluorobenzoate compound has been characterized both experimentally and theoretically by using quantum chemical calculations and spectral techniques. Nuclear magnetic resonances and infrared spectroscopic values of ¹H and ¹³C in the basic state of the title compound were calculated both experimentally and theoretically (Density functional theory method was used while making theoretical calculations). It was seen that the calculated infrared and nuclear magnetic resonance values were compatible with the experimental values. Quantum chemical calculations such as the molecular geometry, geometric structure, and geometric parameters of the title compound were calculated with the 6-311G (d, p) basis set. Quantum chemical calculations of electronic properties such as energy difference between HOMO-LUMO, chemical hardness and chemical softness were made. Molecular electrostatic potential (MEP) surface of 4-Coumarinyl-4-fluorobenzoate was obtained.

Keywords: DFT, coumarin, HOMO-LUMO, molecular modeling.

1. Giriş

Kumarinler bitkilerden özellikle de yeşil bitkilerden izole edilen ve oksijen içeren heterosiklik bileşiklerdir. Doğal olarak elde edilen yaklaşık 1300 kadar kumarin türevi bilinmektedir. Tonka fasülyesi, akasya, lavanta, kayısı, çilek ve tarçımı kapsayan pek çok bitkinin meyve, kabuk, gövde ve

*Sorumlu yazar: ksarac@beu.edu.tr

Geliş Tarihi: 03.11.2020, Kabul Tarihi: 27.11.2020

yapraklarında doğal olarak bulunur. Bitkilerden izole edilen doğal kumarinlerin yanında sentetik kumarin türevleri de mevcuttur. Kumarin ve türevleri farklı hastalıkların tedavisinde kullanılan antikoagulant, antialerjik, antibiyotik, diüretik, anti-HIV, antibakteriyel gibi birçok biyolojik özellikler gösterir. Biskumarinlerden olan dikumaril ve türevlerinin antikoagulant etkisi gösterdiği ve bu bileşikler kanın pıhtılaşmasında azaltıcı etkisinin olduğu ve tedavi edici ilaçların yapımında kullanıldığı bilimektedir. 4-Hidroksikumarin yapısında olan warfarin bilinen en iyi antikoagulanttır. Novabiosin ve Klorobiosin antibiyotik ve antibakteriyel özellik gösteren kumarin türevi olup kötü farmo kinetik ve toksik önleyici özelliğe sahiptir [1]. Farmokolojik özelliklerinden dolayı benzokumarin ve benzokromonlar son zamanlarda üzerinde çalışılan bileşiklerdir. Bu bileşikler ayrıca tekstil sanayiinde sentetik elyafın parlaklığını artırıcı olarak kullanılmaktadır [2]. Kumarin türevlerinin fotofiziksel özellikleri yapıda bağlı bulunan gruplara ve çözücü ortamına göre farklılık göstermektedir. Kumarin türevleri, önemli lazer boyarmaddeleri, non-lineer optik kromofor ve homojen çözeltilerdeki çözünürlük dinamiği çalışmaları için mükemmel bir yanıt verme özelliğine sahip olduklarından geniş bir çalışma alanı bulmaktadır [3]. Kumarin boyalarının önemli bir kısmı organik ışık yayıcı diyotlarda (OLEDs) mavi, yeşil ve kırmızı katkı maddesi olarak kullanılmaktadır. Ancak, kumarinboyaları moleküller arası etkileşimlerden dolayı yüksek derişimlerde kolaylıkla kendi kendine sönmleme yapmaktadır. Bu yüzden ışık yayıcı materyallerde luminesant verimliliğe sahip OLED'ler imal etmek için her zaman uygun konsantrasyonlarda kullanılması gerekir [4].

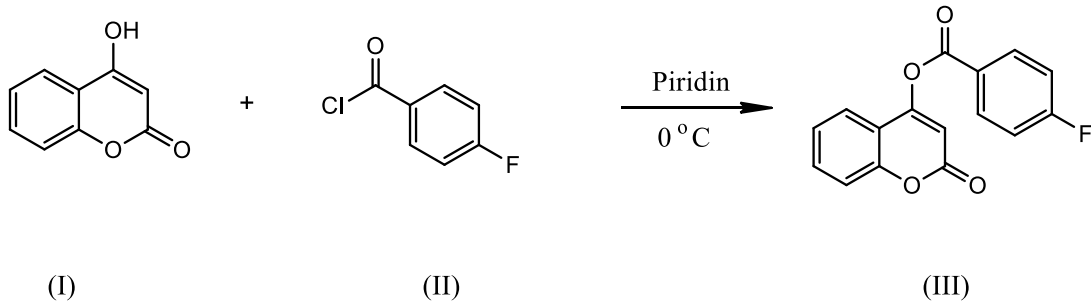
Kumarin türevlerinin bu kadar geniş ve çeşitli alanlarda kullanılmasından dolayı bu alanların en az birinde kullanılması amacı ile ilk defa bu çalışmada 4-Hidroksikumarin ve 4-florobenzoil klorür aroil bileşiklerin nükleofilik katılma ayrılma tepkimesi üzerinden gerçekleştirilmesi ile, oluşan 4-Kumarinil-4-florobenzoat'ın hem deneysel hem de kuantum kimyasal hesaplanması hedeflenmiştir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Deneysel Kısım

4-Kumarinil 4-florobenzoat Sentezi (III)

100 mL' lik bir behere 4-hidroksikumarin (1,62 g, 10 mmol) ve piridin (2mL, 25mmol) konulup hafifçe karıştırılarak 4-hidroksikumarin'in çözünmesi sağlandı. Bu çözeltiliye 4-florobenzoil klorür (10 mmol) damla damla ilave edilerek 30-40 dakika arasında karıştırıldı. Oluşan karışım seyreltik hidroklorik asit içeren buzlu su içine ilave edildi. Katımın çökmesi gözlemlendi. Madde bol su ile yıkanıp süzülükten sonra %5 lik sodyum bikarbonat içeren 100 mL çözeltiliye konup iyice karıştırıldı. Ürün su ile yıkandıktan sonra tekrar süzülüp kurumaya bırakıldı. Kurutulan madde etanolde kristallendirildi. Elde edilen ürünün yapısı spektral tekniklerle aydınlatıldı. Ürünün genel elde reaksiyonu Şekil 1'de verilmiştir. $C_{16}H_9FO_4$ (M.A = 284.24 g/mol, verim = %56)

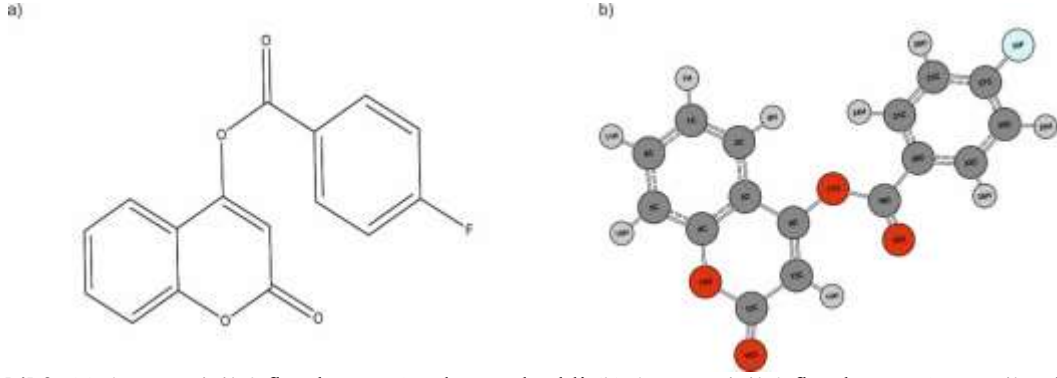


Şekil 1. 4-Kumarinil 4-florobenzoat'ın sentezi [5].

2.2. Teorik Kısım

Bütün teorik hesaplamalar Gaussian 09W[6] ve GausView 5.0[7] paket programı kullanılarak yapılmıştır. Sonuçlar GausView ile görüntülenerek değerlendirilmiştir. Hesaplamalar yapılırken 6-311G(d,p) temel seti kullanılarak enerji değerleri ve geometrik parametreler elde edildi. Hesaplamalarda Moleküllere ait geometri optimizasyonları, Mulliken yükleri, dipol momentler, IR spektrumu,

moleküllere ait minimum enerjili şekillerinin araştırması, moleküler elektrostatik potansiyel yüzeyleri, sınır orbitalleri ise yoğunluk fonksiyonel teorisi yöntemi kullanılarak elde edilmiştir. Teorik yöntemlerden elde edilen IR titreşim frekansları sonuçlarını deneysel sonuçlara yakınlaştırmak için literatürlerde yer alan düzeltme çarpanı değerleri ile çarpılması gerekmektedir. Bu düzeltme çarpanı değeri B3LYP/6-311G(d,p) için 0,9813 olarak alınmıştır [8]. Sentezlenen 4-Kumarinil 4-florobenzoat'ın optimize edilmiş hali Şekil 2'de verilmektedir.

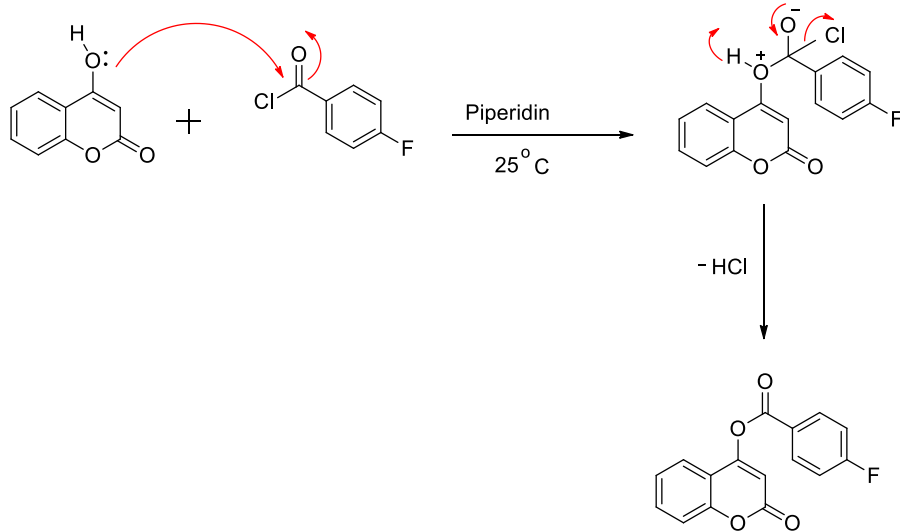


Şekil 2. (a) 4-Kumarinil 4-florobenzoat'ın deneysel şekli (b) 4-Kumarinil 4-florobenzoat'ın teorik şekli.

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Sentezlenen C₁₆H₉FO₄ Molekülünün Analizi

4-hidroksikumarin, 4-florobenzoil klorür ile aroil bileşiklerin nükleofilik katılma ayrılma tepkimesi üzerinden gerçekleştirilmiş olup, iyi bir verimle (%76) 4-Kumarinil 4-florobenzoatı oluşturur. Bileşiğin reaksiyon oluşum mekanizması şekil 3'te verilmiştir. Şekil 3'te görüldüğü gibi oksijen üzerinde bulunan ortaklanmamış elektron çiftleri kısmi pozitif halde bulunan açıl yapıdaki karbonil karbonuna nükleofilik katılma gerçekleştirir daha sonra klor atomu elektronegatifliği yüksek olduğundan elektronları alarak yapıdan bir mol hidroklorik asit (-HCl) ayrılmasıyla reaksiyon tamamlanmış olur.



Şekil 3. 4-Kumarinil 4-florobenzoat'ın oluşum mekanizması

3.2. İnfrared Spektroskopisi (IR)

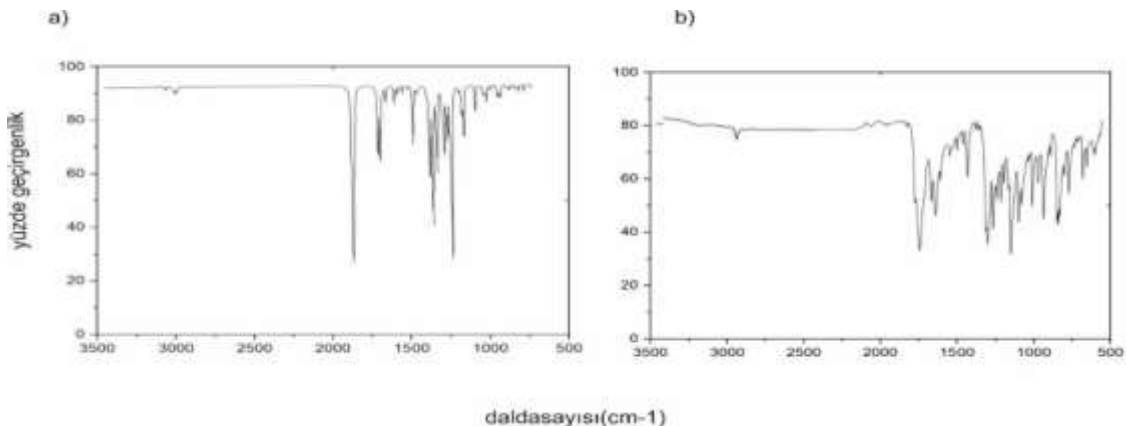
4-Kumarinil 4-florobenzoat'ın titreşim frekanslarının teorik olarak hesaplanan infrared spektrum sonuçları deneysel değerlerle karşılaştırıldı. Bileşikte CO, CH ve CC gerilme (simetrik ve antisimetrik), düzlem içi ve düzlem dışı CH eğilme, aromatik CH ve CC gerilme titreşimleri bulunmaktadır. Aromatik CH gerilme titreşimleri 300-3100 cm⁻¹ de çoklu bandlar şeklinde görülmektedir. Düzlem içi CH eğilme

titreşimleri 1100-1500 cm^{-1} bölgesinde keskin pikler şeklinde görülmektedir. Düzlem dışı eğilme titreşimleri ise 800-1000 cm^{-1} bölgesinde görülmektedir [9,10]. Bileşiğin aromatik halkada teorik olarak hesaplanan CH gerilme titreşimleri 2979-3087 cm^{-1} aralığında görülürken deneysel olarak 2990-3060 cm^{-1} aralığında gözükmetedir. Düzlem içi eğilme titreşimleri teorik olarak 1368-1483 cm^{-1} de deneysel olarak 1350-1415 cm^{-1} aralığında, düzlem dışı eğilme titreşimleri teorik olarak 929-1176 cm^{-1} de, deneysel olarak 885-1130 cm^{-1} aralıklarında gözükmetedir. 4-Hidroksikumarin yapısında 3200-3600 cm^{-1} aralığında OH gerilimine ait pik bulunurken [11]. Reaksiyon sonucunda oluşan C₁₆H₉FO₄ molekülünde bu pik kaybolmakta ve bunun yerine ester oluşumunu gösteren C=O piki gözükmetedir. Ester yapısını gösteren C=O gerilme titreşimleri 1710-1770 cm^{-1} frekans aralığında(keskin pik şeklinde), C-O gerilme titreşimleri 1300-1100 cm^{-1} frekans aralığında (orta şiddette), görülmektedir [12]. Bileşiğin ester yapısını gösteren C=O gerilme titreşimi teorik olarak 1759 cm^{-1} , deneysel olarak 1740 cm^{-1} de gözükmetedir, Öte taraftan C-O gerilme titreşimi teorik olarak 1124 cm^{-1} , deneysel olarak 1100 cm^{-1} de gözükmetedir. Teorik ve deneysel değerler arasında bazı farklılıklar görülmektedir. Bunun en büyük sebepleri arasında 1: Teorik sonuçların gaz fazında, deneysellerin ise katı fazda alınmasından 2: Gaussian infrared hesaplamaların harmonik frekanslara ait olması ancak gerçekte molekülde anharmonik salınımların olmasıdır. Fakat genel olarak teorik ve deneysel değerlerin iyi bir uyum içinde olduğu söylenebilir. Bileşiğin (C₁₆H₉FO₄) diğer titreşim değerleri Tablo 1’de ayrıca deneysel ve hesaplanan ve infrared spektrumları da Şekil 4’te verilmektedir.

Tablo 1. 4-Kumarinil-4-florobenzoat titreşim frekanslarının karşılaştırılması

Semboller	Hesaplanan B3LYP/6-311G(d,P)	Deneysel FT-IR(cm^{-1})
ν_s C13-H	3087	3060
ν_s C23-H + C21-H	3038	-
ν_s C25-H+ C22-H	3032	-
ν C2-H + C1-H + C6-H+ C5-H	3029	3015
ν_{as} C5-H + C4-H + C2-H	3024, 3010	-
ν_{as} C23-H + C25-H	3022, 3018	-
ν_{as} C6-H + C5-H	2979	2990
ν C12=O16	1774	1770
ν C18=O19	1759	1740
ν C3=C9	1560	-
δ C25-H + C22-H	1483,	-
δ C6-H + C1-H + C5-H	1461, 1425	1415
δ C25-H + ν_s C21=C23	1368	1350
ν C6=C5 + C3=C4	1321	-
ν C21=C23 + C22=C25	1312	-
α C13-H + C9-O17	1176	1130
α C6-H + C5-H	1138	1033
ν C18-O17	1124	1100
α C27-H + C25-H	929	885

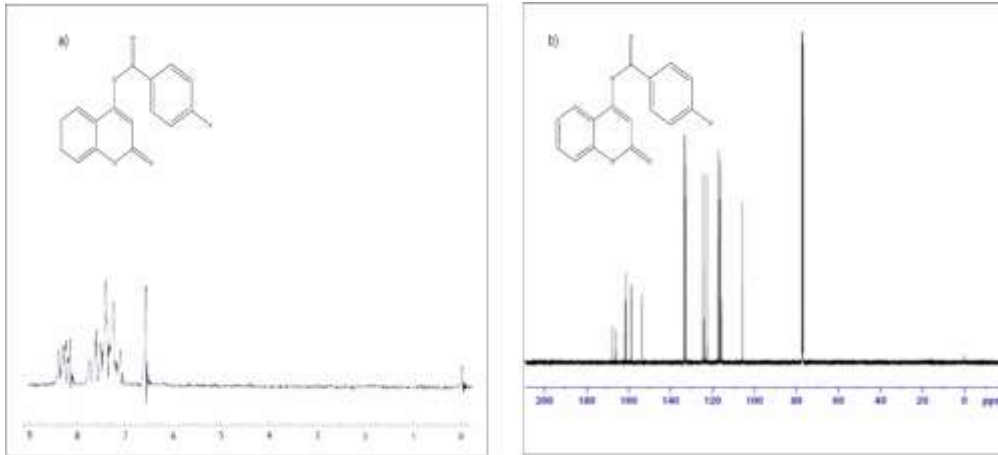
ν , gerilme; δ , düzlem içi eğilme; α , düzlem dışı eğilme; s, simetrik; as, asimetrik;



Şekil 4. a) Bileşiğin teorik olarak hesaplanan infrared spektrumu, (b) Deneysel İnfrared spektrumu

3.3. Nükleer Manyetik Rezonans Spektroskopisi (NMR)

Sentezlenen C₁₆H₉FO₄ molekülünün ¹H- ve ¹³C-NMR deneysel kimyasal kayma değerleri belirlenmiş ve teorik hesaplama sonucu elde edilen değerlerle karşılaştırılmıştır. ¹³C-NMR kimyasal kayma değerleri incelendiğinde benzoil halkasındaki karbon atomlarının kimyasal kayma değerleri deneysel olarak 107.5-167.5 ppm aralığında teorik olarak 115.4-168.1 ppm aralığında gözlenmiştir ancak bu halkadaki C27 nolu karbon atomunun diğer karbon atomlarına göre daha düşük alanda deneysel olarak 167.5 ppm'de teorik olarak 168.1 ppm'de çıktığı görüşmüştür. Bunun nedeni ise bu karbon atomuna bağlı bulunan flor atomundan kaynaklanmaktadır. Flor atomu elektronegatifliği yüksek bir atomdur bu da komşu karbon atomu olan C27 nolu karbonun etrafındaki elektron yoğunluğunu azaltıp daha düşük alanda rezonansa girmesine sebep olmuştur. Diğer yandan kumarin halkasında bulunan karbon atomlarının kimyasal kayma değerleri deneysel olarak 78.2 -169 ppm aralığında teorik olarak 99.7-174.4 ppm aralığında gözlenmiştir. Bu karbon atomlarından C9 nolu karbon atomunda çok yüksek ppm'de (deneysel olarak 169 ppm' de teorik olarak 174.4 ppm'de) çıktığı görülmüştür. Bunun sebebi ise bu karbon atomunun oksijen atomuna bağlı olmasıdır. Oksijen indüktif olarak elektron çeken atomdur [13]. Bu etki karbon atomun çevresindeki elektron yoğunluğunu azaltır, bu da karbon atomunun kimyasal kayma değerlerinin daha yüksek ppm'de görülmesine neden olmaktadır. ¹H-NMR kimyasal kayma değerleri incelendiğinde ise en karakteristik proton 13 nolu karbon atomuna bağlı bulunan protondur kumarin halkasının varlığını gösteren bu proton deneysel olarak 6.60 ppm'de teorik olarak 6.24 ppm'de çıkmıştır. Kumarin ve benzoil halkasının diğer protonları deneysel olarak 7.10-8.50 ppm aralığında teorik olarak 7.42-8.19 ppm aralığında gözlenmektedir. Ayrıca bileşiğin deneysel olarak ¹H- ve ¹³C-NMR'ları Şekil 5'te, deneysel ve teorik olarak hesaplanan ¹H- ve ¹³C-NMR spektrum değerleri Tablo 2'de verilmektedir.



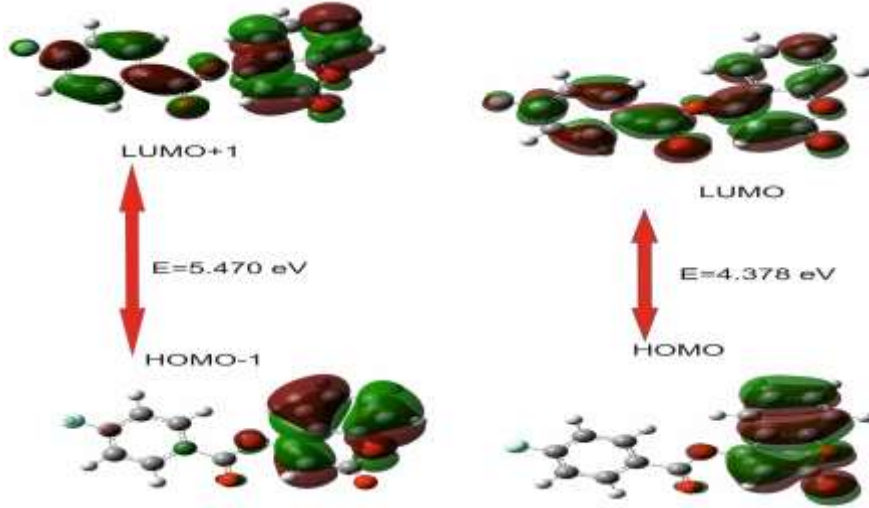
Şekil 5. a) Bileşiğin ¹H-NMR spektrumu b) ¹³C-NMR spektrumu

Tablo 2. Bileşiğin deneysel ve hesaplanan NMR spektrum değerleri

Atom	Deneysel(ppm) DMSO-d ₆	Hesaplanan(ppm) B3LYP/6-311G(d,p)
C1	124.1	125.4
C2	123.8	123.3
C3	117.9	117.4
C4	154.0	152.5
C5	118.2	116.4
C6	125.6	128.3
C9	169.0	174.2
C12	162.3	162.4
C13	78.2	99.7
C18	154.0	153.6
C20	123.8	123.8
C21	133.1	131.9
C22	133.1	131.9
C23	107.5	115.4
C25	107.5	115.9
C27	167.5	168.1
H(C13)	6.60	6.24
8H(kumarin ve benzoil)	7.10-8.50	7.42-8.19

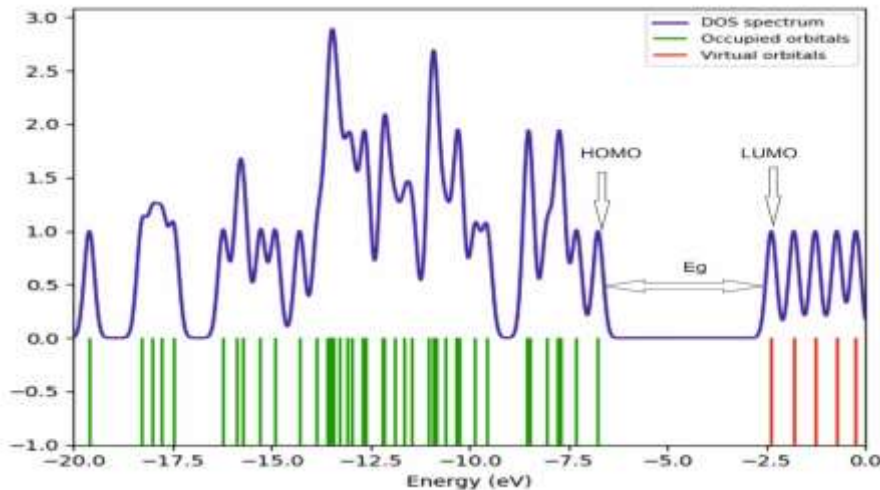
3.4. Frontier Moleküler Orbitaler (FMOs) ve Elektronik Özellikler

Frontier moleküler orbital teorisi, HOMO-LUMO etkileşimlerini tanımlayan moleküler orbital teorisinin bir uygulamasıdır. Bu teoriye göre; Molekülün elektron verme yeteneği HOMO enerjisi, molekülün elektron alma yeteneği LUMO enerjisi olarak tanımlanır. HOMO ve LUMO orbitalleri tepkimelerde kritik öneme sahip oldukları için bunlara öncü orbitaller de denilebilir [14]. Şekil 6'da görüldüğü gibi, HOMO-1 ve HOMO elektronları kumarin halkasında delokalize olduğu, LUMO ve LUMO+1 elektronları kumarin ve benzoat halkasındadelokalize olduğu görülmektedir. ΔE değeri molekülün kimyasal kararlılığı ile yakından ilgilidir. ΔE enerji farkı ne kadar düşükse reaksiyona giren yapıların etkileşimi ve tepkime o kadar kolay olacaktır. 4-Kumarinil-4-florobenzoat bileşiğinin ΔE ($E_{\text{HOMO}}-E_{\text{LUMO}}$) farkını bulmak için B3LYP/6-311G(d,p) seviyesinde hesaplamalar yapılmıştır. 4-Kumarinil-4-florobenzoat bileşiğinin elde edilen ΔE değeri 4.378 eV olduğu görülmektedir ve bu değere göre molekülün oldukça kararlı bir yapıya sahip olduğu söylenebilir. Yalnızca HOMO ve LUMO'nun dikkate alınması, sınır yörüngelerinin gerçekçi bir tanımını vermeyebilir, çünkü sınır bölgesinde, komşu yörüngeler yarı dejenere enerji seviyeleri gösterebilir. Bu nedenle durumların yoğunluğu (DOS), Gauss Sum 3.0 yazılımı kullanılarak hesaplanmıştır [15].



Şekil 6. 4-Kumarinil-4-florobenzoat bileşiğinin frontier moleküler orbitalleri

Şekil 7'den de görüldüğü üzere sınır bölgelerinde dejenere bir durum olmadığı söylenebilir. 4-Kumarinil-4-florobenzoat bileşiğinin HOMO ve LUMO orbital enerji değerleri bilirse; Elektron ilgisi, Elektronegatiflik, Kimyasal sertlik, Kimyasal yumuşaklık gibi parametreler bulunabilir[16]. Teorik olarak hesaplanan bileşiğin elektronik yapı parametre değerleri Tablo 3'te verilmiştir.



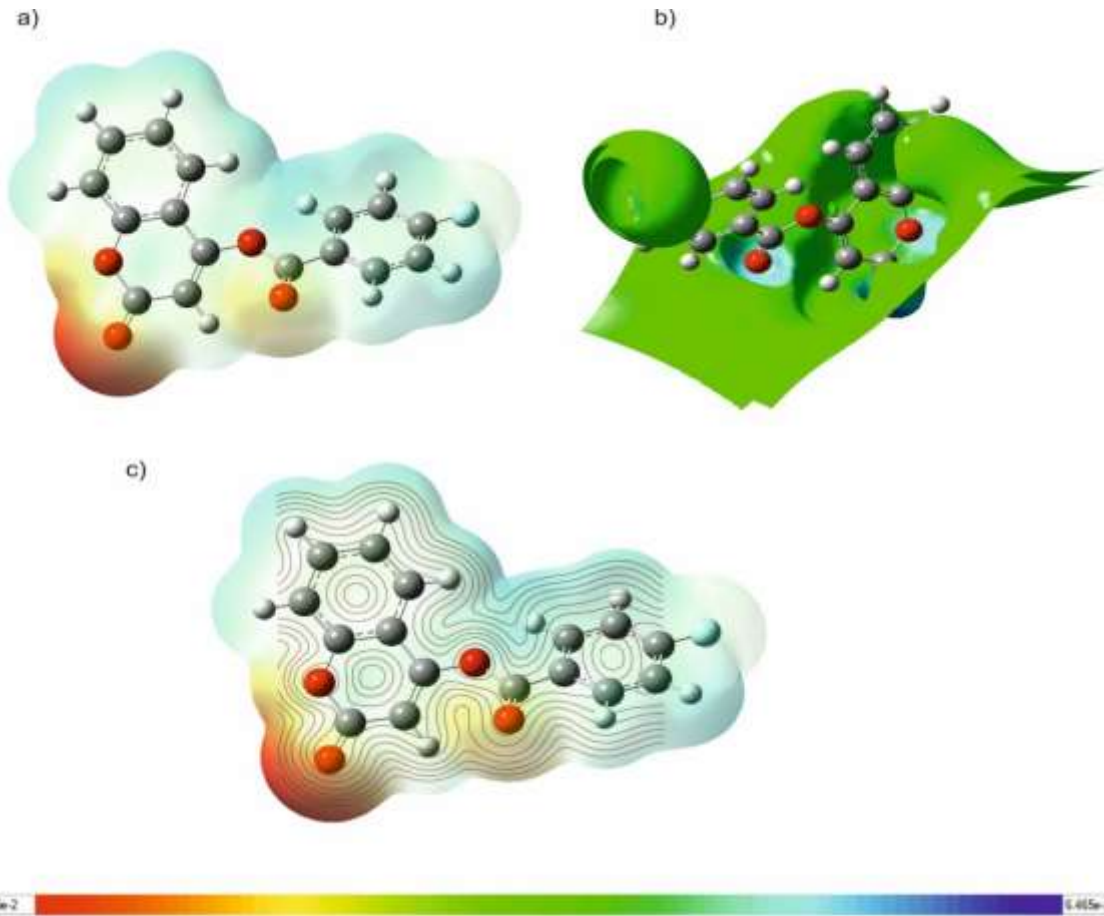
Şekil 7. Bileşiğin DOS diagramı

Tablo 3. 4-Kumarinil-4-florobenzoat bileşiğinin elektronik yapı parametreleri

	B3LYP/6-311G(d,p)
E_{HOMO} (eV)	-6.748
E_{LUMO} (eV)	-2.370
ΔE (eV)	4.378
I (eV)	6.748
A(eV)	2.370
X (eV)	4.559
η (eV)	2.189
S (eV ⁻¹)	0.456

3.5. Moleküler Elektrostatik Potansiyel (MEP)

Moleküler elektrostatik potansiyel (MEP) yüzeyinin üç boyutlu şekilleri moleküler elektrostatik potansiyel haritaları olarak da bilinir. MEP haritasında ortaya çıkan yüzey, moleküler büyüklük, şekil, yük dağılımı ve elektrostatik potansiyel değerini göstermektedir. Yük dağılımı bilgisi yüke bağlı özellikleri ve moleküllerin birbirleriyle etkileşimini belirlemek için kullanılır. Moleküler elektrostatik potansiyel (MEP) haritasında, kırmızı bölge: molekülün dıştaki elektronları kuvvetle iten elektronca zengin bir bölge ve en düşük potansiyel enerjiye sahiptir. Ayrıca elektronegatif potansiyellere sahip bölgeyi gösterir. Moleküler elektrostatik potansiyel (MEP) haritasında, kırmızı bölge: Molekülün dıştaki elektronları çok kuvvetle çeken elektronca fakir bir bölge ve pozitif yüklü olup en yüksek potansiyel enerji değerine sahiptir [17,18]. 4-Kumarinil-4-florobenzoat bileşiğine ait moleküler elektrostatik potansiyel haritası Şekil 8'de verilmiştir. Bileşiğin negatif bölgesi kumarin halkasındaki oksijen ve karbonil gurubu etrafına yoğunlaşırken pozitif bölgenin ise kısmı olarak benzoil üzerine yerleştiği görülmektedir.



Şekil 8. a) Bileşiğin B3LYP/6-311G(d,p) seviyesinde hesaplanan Moleküler Elektrostatik Potansiyel haritası. b) Bileşiğin ESP şekli) (c) Bileşiğin Contour shape şekli.

4. Sonuç ve Öneriler

Sonuç olarak, 4-Kumarinil-4-florobenzoat bileşiğinin molekül yapıları, spektroskopik özellikleri ve elektron özellikleri deneysel ve kuantum mekaniksel yöntemler kullanılarak araştırılmış ve bu molekülerin yapısal ve spektroskopik karakterizasyonu hakkında detaylı bilgiler verilmiştir. Sunulan bu bilgilerin ışığı altında bu yapının kullanın alanlarının çeşitliliğinin artması amaçlanmıştır.

Yazarların Katkısı

Kamuran SARAÇ bu çalışmada deneyleri ve teorik çalışmaları yaparak veri değerlendirmesinde katkı sağlamıştır. Serap ÇETİNKAYA deneysellerin yapımında ve verilerin değerlendirilmesinde katkı sağlamıştır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar

- [1] Bouasla S., Amaro-Gahete J., Esquivel D., López M.I., Jiménez-Sanchidrián C., Teguche M., Romero-Salguero F. 2017. Coumarin derivatives solvent-free synthesis under microwave irradiation over heterogeneous solid catalysts. *Molecules*, 22 (12): 2072-2080.
- [2] Kolancılar H. 2019. DFT Yöntemi Kullanılarak 1, 3-Bis-{(2-Aminobenzoil) Amino} Propanın Teorik Hesaplamaları ve Bu Değerlerin Literatürdeki Deneysel Değerler ile Karşılaştırılması. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 7 (3): 1319-1334.
- [3] Abdel M.S.A., Hamed E., Saif M., Hafez S. 2018. Binding, and thermodynamics of β -cyclodextrin inclusion complexes with some coumarin laser dyes and coumarin-based enzyme substrates: a simulation study. *Journal of Inclusion Phenomena and Macrocyclic Chemistry*, 92 (3): 319-327.
- [4] Yu T., Zhu Z., Bao Y., Zhao Y., Liu X., Zhang, H. 2017. Investigation of novel carbazole-functionalized coumarin derivatives as organic luminescent materials. *Dyes and Pigments*, 147 (1): 260-269.
- [5] Babinski D., Soltani O., Frantz D.E. 2008. Stereoselective synthesis of acetoacetate-derived enol triflates. *Organic Letters*, 10 (13): 2901-2904.
- [6] Frisch M.J.E.A., Trucks G.W., Schlegel H.B., Scuseria G.E., Robb M.A., Cheeseman J.R., Nakatsuji H. 2009. gaussian 09, Revision d. 01, Gaussian. Inc., Wallingford CT, 201.
- [7] Becke A.D. 1993. Density-Functional Exchange-Energy Approximation With Correctasymptotic Behavior. *Phys Rev A Gen Phys.* 98: 3098-3100.
- [8] Becke A.D. 1993. A new Mixing of Hartree-Fock and Local Density-Functional Theories. *Chem. Phys.*, 98: 372-1377.
- [9] Govindarajan S., NagabalaSubramanian P.B. 2015. Molecular structure and spectroscopic properties of 4-methoxybenzaldehyde based on density functional theory calculations. *J. Adv. Sci. Eng.* 2 (2): 75-86
- [10] Du XH, Hansell C, Doyle E.P, Caffrey C.R, Holler T.P, McKerrow J.H, Cohen F.E.2002. Synthesis and Biochemical Evaluation of Thiochromanone Thiosemicarbazone Analogues as Inhibitors of Cathepsin L. *J. Med Chem*, 45 (13): 2695-2707.
- [11] El Oudiani A., Msahli S., Sakli F. 2017. In-depth study of agave fiber structure using Fourier transform infrared spectroscopy. *Carbohydrate polymers*, 5 (164): 242-248.
- [12] Edington A., Sean C., Jennifer C., Carlos R. 2016. An Empirical IR Frequency Map for Ester C=O Stretching Vibrations. *The Journal of Physical Chemistry, A* 120 (22) : 3888-3896.

- [13] Balcı M. 2008. Organik Kimya Reaksiyon Mekanizmaları. Türkiye Bilimler Akademisi Ders Kitapları, Ankara, 1-125.
- [14] Hussain J., Angira D., Hans T., Dubey P., Kirubakaran S., Thiruvankatam V. 2020. Synthesis and characterization of a new class of phenothiazine molecules with 10H-substituted morpholine & piperidine derivatives: a structural insight. *Journal of Molecular Structure*, 1219 (5): 128546-12858.
- [15] O'Boyle N.M., Tenderholt A.L., Langner K.M. 2008. A library for package-independent computational chemistry algorithms. *Journal of computational chemistry*, 29 (5): 839-845.
- [16] Franco P., José L., Gázquez. 2019. Electronegativities of Pauling and Mulliken in Density Functional Theory. *The Journal of Physical Chemistry*, 123 (46): 10065-10071.
- [17] Harrison J.A., Schall J.D., Maskey S., Mikulski P.T., Knippenberg M.T., Morrow B.H. 2018. Review of force fields and intermolecular potentials used in atomistic computational materials research. *Applied Physics Reviews*, 5 (3): 31104-31114.
- [18] Fedorov D.A., Seritan S., Fales B.S., Martínez, T.J., Levine B.G. 2020. PySpawn: Software for Nonadiabatic Quantum Molecular Dynamics. *Journal of Chemical Theory and Computation*, 16 (9): 5485-5498.

Araştırma Makalesi / Research Article

RFID Kütüphane Sistemi İçin En Uygun RFID Etiketinin AHP ve ANP Yöntemleriyle Belirlenmesi

Ramazan YENİGÜN^{1*}, Aytaç YILDIZ², Levent UĞUR³

¹Amasya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Teknoloji ve İnovasyon Yönetimi, Amasya

²Bursa Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Bursa

³Amasya Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Amasya

(ORCID: 0000-0003-1442-8019) (ORCID: 0000-0002-0729-633X) (ORCID: 0000-0003-3447-3191)

Öz

Kitaplar gibi çok sayıda nesnenin etiketlenmesi, tanımlanması ve sisteme işlenmesi oldukça zaman almaktadır. Radyo Frekansı ile Tanımlama (RFID) teknolojisi, radyo frekansını kullanarak kitapların tanımlanması ve işlenmesi konusunda hızlı ve verimli bir yöntem sunmaktadır. Ancak birçok RFID teknolojisi arasından en uygun olanı belirlemek içerisinde birçok kriter barındıran karmaşık bir karar problemidir ve çok kriterli karar verme yöntemleri kullanılarak çözülmesi fayda sağlamaktadır. Bu çalışmada kütüphanedeki kitapların tanımlanması ve tüm süreçlerin kolaylaştırılması için kurulmak istenen RFID sistemi için önemli bir bileşen olan RFID etiketleri arasından en uygun olanını seçmek amaçlanmıştır. İlk olarak, belirlenen seçim kriterleri ve alternatiflere göre hiyerarşik ve ağ yapıları oluşturulmuştur. Daha sonra Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) ve Analitik Ağ Prosesi (ANP) yöntemleri kullanılarak alternatifler sıralanmıştır. Çalışma sonunda her iki yöntemden elde edilen alternatif önem ağırlıklarına göre en uygun RFID etiketi tespit edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Kütüphane sistemleri, RFID etiket, AHP, ANP.

RFID Library System Determination by AHP and ANP Methods

Abstract

It takes a lot of time to tag, identify, and processes a large number of objects such as books. Radio Frequency Identification (RFID) technology provides a fast and efficient way to identify and process books using radio frequency. However, it is a complex decision problem with many criteria for determining the most appropriate among many RFID technologies. And provide benefit by using multi-criteria decision making methods. In this study, it is aimed to select the most appropriate RFID tag which is an important component for the RFID system that is intended to be established in order to identify the books in the library and facilitate all the processes. First, hierarchical and network structures were established according to the selection criteria and alternatives identified. Then, alternatives were listed using Analytical Hierarchy Process (AHP) and Analytical Network Process (ANP) methods. At the end of the study, the most appropriate RFID tag was determined according to the alternative importance weights obtained from both methods.

Keywords: Library systems, RFID tag, AHP, ANP.

1. Giriş

Kütüphanelerde gerekli bilgilere zamanında ulaşamaması, üye bilgilerinin sağlıklı bir şekilde kontrol edilememesi, kitap sayımının zaman alması ve kitapların gizemli bir şekilde ortadan kaybolması en sık rastlanan sorunlardandır. Kütüphane yönetimleri ise farklı yöntemler ve sistemler kullanarak okuyucuların isteklerine ve bu tür ortaya çıkan sorunlara çözüm aramaktadır. Bu sistemlerden biride Radyo Frekansı ile Tanımlama Teknolojisi (Radio Frequency Identification – RFID) sistemidir. RFID

*Sorumlu yazar: ramazanyenigun@hotmail.com

Geliş Tarihi: 09.07.2019, Kabul Tarihi: 05.12.2019

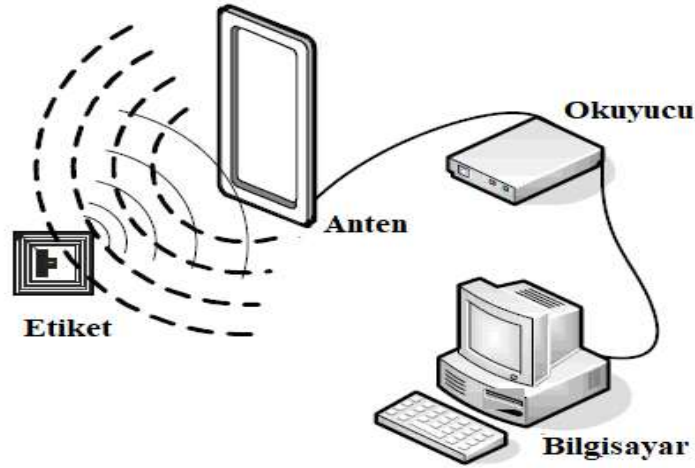
teknoloji ile nesnelere radyo ile otomatik olarak temassız ve net bir şekilde tanınmasını sağlamaktadır [1]. Kütüphane yönetiminde RFID sistemi kullanılarak kütüphane materyallerine yapıştırılmış etiketlerdeki mikroçiplerde bulunan bilgiler, ürün yerleşimi veya hizalamasına bakılmaksızın radyo frekans teknolojisi kullanılarak okunur [2]. Bu teknoloji, kütüphane binasındaki kitapların izlenmesi, aranan kitapların hızlıca bulunması, okuyucuların bağımsız olarak kitap teslim etmesi ve alması, kütüphanecilerin çalışmalarının kolaylaştırması, kitap kabul etme ve yayınlama sürecindeki hataların ortadan kaldırılmasına olanak sağlamaktadır. Ayrıca kitapların kütüphaneden izinsiz olarak alınmasına yönelik girişimleri engeller ve hırsızlık önleme işlevi görür [3].

Bu çalışmada, kütüphane otomasyon sistemi için önemli bir bileşen olan RFID etiketleri arasında en uygun olanı seçmek için çok kriterli karar verme yöntemlerinden AHP ve ANP kullanılmıştır. Yapılan çalışma beş bölüme ayrılmıştır. Çalışmanın ikinci kısmında RFID sistemi ve RFID etiketi ile ilgili bilgi verilmiştir. Üçüncü AHP ve ANP yöntemlerinden söz edilmiştir. Dördüncü bölümde AHP ve ANP yöntemiyle en uygun RFID etiket seçimi yapılmış olup son bölümünde sonuç ve değerlendirme yapılmıştır.

2. Materyal ve Metot

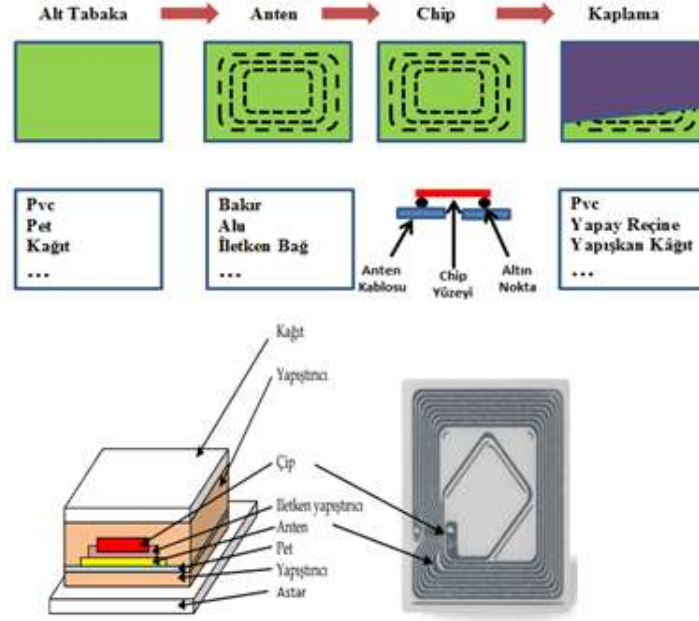
2.1. RFID sistemi ve RFID etiket yapısı

RFID, “radyo frekansı tanımlama” için kullanılan bir kısaltmadır ve RFID etiketlerinde veya akıllı etiketlerde kodlanan dijital verilerin radyo dalgaları aracılığıyla bir okuyucu tarafından yakalandığı bir teknolojiyi ifade etmektedir [4]. RFID sistemi etiket ve okuyucu olmak üzere iki bölüme ayrılmıştır. RFID etiketleri bir verici ve bir alıcıya yerleştirilmiştir. RFID etiketlerinin bileşeninde bilgileri depolayan ve işleyen bir mikroçip ile sinyal almak ve iletmek için kullanılan bir anten vardır. Etiketler, belirli nesnelere için belirli seri numaraları içermektedir. Şekil 1’de gösterildiği gibi bir etikette kodlanmış bilgileri okumak için okuyucu adı verilen iki yönlü bir radyo vericisi-alıcısı, bir anten kullanarak etikete bir sinyal yayar. Etiket, hafızasında bulunan yazılı bilgilerle yanıt verir ve okuyucu daha sonra okuma sonuçlarını bir RFID bilgisayar programına iletir [5].



Şekil 1. RFID sistemi çalışması

RFID etiketi, içerisinde benzersiz şekilde tanımlama yapabilen, nesnelere ait bilgilerin depolandığı bir mikroçip biçiminde bellek ve okuyucuyla iletişime geçebilecek anten barındırır. Etiket kayıt alanına girdiğinde okuyucu tarafından okunur, gerekli durumlarda değiştirilebilir ve yeni bilgiler kaydedilebilir. RFID etiketleri ürün adı, ağırlığı, fiyatı ve okunmak istenen tüm bilgiler hakkında çeşitli bilgiler içerir. Okuyucu ile etiket arasındaki iletişim radyo frekansı sinyalleri ile sağlanır. Her etiket tanımlanması için benzersiz bir id numarası kullanılır. RFID etiketindeki mikroçip 64 bitten 8 MB'a kadar veri depolama özelliğine sahip olabilir. Bu da üzerinde bulunduğu nesnenin üretim, sevki tarihi, sipariş numarası, müşteri bilgileri, kurum personel bilgileri, seri numarası gibi önemli verileri kolayca taşıyabileceği anlamına gelmektedir [6-8]. Şekil 2’de RFID etiketinin yapısı gösterilmektedir.



Şekil 2. RFID etiket yapısı [9]

Birinci tabaka genellikle kâğıttan veya polipropilenden yapılır ve koruyucu bir tabakadır. Bu katman altında erime ve basınca duyarlı olabilen yapışkan bir tabaka mevcuttur. Entegre devre veya çip anten ile epoksi bant yada macun gibi iletken yapıştırıcılar üzerinden bağlanabilir [9]. Anten, alüminyum veya bakırdan yapılmış ve bir plastik malzemeye tutturulmuştur. Son tabaka silikon kaplı bir kâğıt olan astardır ve bu tabaka diğer katmanlara yapışkanla bağlanır. Etiket yapımında kullanılan malzemeler uzun vadede güvenli kullanım açısından büyük önem taşır. Bu yüzden etiket tasarımcıları etiketin kullanılacağı şartlara göre etiketi en uygun yapıda tasarlamaları gerekir. Anten okuyucudan gelen radyo frekansı (RF) dalgalarını alır ve yansıtır. Anten tasarımını uygulamanın frekansı ve etiketin boyutu belirler. Çip, etiketin işlevselliğini sağlar [10]. RFID etiketler enerji elde etme yöntemlerine, hafıza yapısına ve frekanslarına göre sınıflandırılmaktadır. Aşağıda bu sınıflandırmalar kısaca açıklanmıştır.

2.1.1. Enerji elde etme yöntemine göre etiketler

Etiketler okuyucuyla irtibata geçebilmek için enerjiye ihtiyaç duyarlar. Bu enerji ihtiyacını ya kendi üzerlerinde bulunan bir güç kaynağından ya da okuyucudan elde ederler. Bu etiketlerden öne çıkanlar; aktif, pasif ve yarı pasif RFID etiketleridir. Bu etiketlerin üretimi daha ucuz ve boyut olarak neredeyse tüm ürünlere sığabilecek düzeydedir [6].

2.1.1.1. Aktif RFID etiketler

Aktif sistemler tarafından 433 MHz ve 915 MHz olarak kullanılan iki ana frekans vardır. Firmalar genellikle 433 MHz'de çalışan RFID sistemlerini tercih ederler. Çünkü metal ve su gibi rf dostu olmayan malzemelere karşı daha iyi çalışmasını sağlayan daha uzun bir dalga boyuna sahiptir [7]. Aktif RFID etiketleri temelde hem radyo vericisi hem de bir radyo alıcı devresi içermektedir. Kendi güç kaynağına sahiptir ve okuyucunun enerjisine bağlı değildir ve bunun sonucu olarak uzak mesafeden okunabilir. Ancak, bu tür etiketler pahalıdır ve pil ömrü sınırlıdır [8]. Aktif bir RFID etiketinin başlıca avantajlarını; son derece uzun okuma aralığı, ortak teknolojilerle artan etiket yetenekleri (GPS, sensörler, vb.), son derece sağlam etiket seçenekleri olarak sıralayabiliriz. Dezavantajları ise; etiketin ömrünü sınırlayan pil gücü olmadan çalışmaz, genellikle daha pahalıdır, fiziksel olarak daha büyüktür ve bakım maliyetleri fazladır [11].

2.1.1.2. Pasif RFID etiketler

Aktif RFID etiketlerinin aksine pasif RFID etiketlerinin anten ve bütünleşmiş devre olmak üzere sadece iki ana bileşeni vardır [7]. Adında anlaşılacağı gibi pasif RFID etiketleri herhangi bir güç kaynağına

sahip değillerdir. Çalışması için gereken güç, okuyucu tarafından okuyucuya yaklaşıldığında sağlanır. Okuyucudan gelen bu enerji etiket anteninde bir gerilim indüklemesi oluşturarak etiketin bütünleşmiş devresini harekete geçirir. Bütünleşmiş devre içinde barındırdığı bilgiyi yine anten aracılığı ile okuyucuya gönderir. Aktif bir RFID etiketinin aksine, pasif RFID kendi güç kaynağına sahip olmaması nedeniyle etiket okuyucusu etiketle iletişimi sağlamakla sorumludur [8]. Pasif bir RFID etiketi kullanımının avantajları; pilsiz çalışması, (yirmi yıl veya daha uzun bir ömrü vardır), üretim maliyetinin düşük olması ve çok küçük (bazı etiketler bir pirinç tanesi büyüklüğündedir) olmasıdır. Dezavantajları ise; etiket sadece çok kısa mesafelerde tipik olarak en fazla birkaç metre uzakta okunabilir, elektrik ile çalışan sensörleri dâhil etmek mümkün olmayabilir, etiketin eklendiği ürün satıldıktan ve artık izlenmedikten sonra bile çok uzun bir süre okunabilir durumda kalır [12].

2.1.1.3. Yarı pasif RFID etiketler

Yarı aktif olarak da adlandırılan yarı pasif RFID etiketleri, pasif etiketlere çok benzer, ancak çipe güç sağlayan pillerle donatılmıştır [13]. Veri aktarımı pasif RFID etiketlere göre biraz daha hızlı olsa da çalışma mantığı aynıdır [10]. Aynı zamanda, bu işaretlerin menzili sadece okuyucunun hassasiyetine bağlıdır ve daha büyük bir mesafede ve daha iyi özelliklere sahip olarak işlev görebilir. Okuyucu tarafından sorgulanmadan harekete geçmezler. Pasif etikete göre daha uzak mesafelerde iletişim sağlar ve maliyeti pasif etikete göre yüksektir [2]. Tablo 1’de enerji elde yöntemine göre etiketlerin özellikleri özet şeklinde verilmiştir.

Tablo 1. Enerji elde etme yöntemine göre RFID etiketler [12]

Etiket Tipleri	Pasif	Yarı Pasif	Aktif
Güç Kaynağı	RF aracıyla okuyucudan alır	Batarya	Batarya
İletişim	Sadece Yanıt	Sadece Yanıt	Yanıt veri ve iletişime geçebilir.
Mesafe	LF, HF: 0,2 m UHF, SHF: 3 m UWB: 10 m	100 metreden daha uzak mesafelerde	100 metreden daha uzak mesafelerde
Maliyet	Düşük	Orta	Yüksek
Örnek Uygulamalar	EPC, Yakın mesafe kartları	Elektronik geçiş, Palet izleme	Büyük çapta mal izleme, Hayvan takibi

2.1.2 Hafıza yapısına göre etiketler

RFID etiketleri ya salt okunur RFID etiketi olarak ya da okuma-yazma radyo frekansı tanımlama etiketi olabilir. Üretilen miktarlara ve bu ikisi arasındaki farklara karşı farklı türlerde üretim maliyeti göz önüne alındığında, günümüzde çoğu RFID etiketi, okuma yazma çeşitliliği ve sadece bir okuma işlevinin gerekli olduğu uygulamalar için yazma yeteneği kullanılmamaktadır [9]. Etiketleri hafıza yapısına göre 3’e ayırabiliriz.

2.1.2.1. Sadece okunabilen etiketler

Sadece okunabilen etiketler herhangi bir amaç için kullanılabilir. Tek fark, bu etiketlerin önceden kodlanmış olması ve verileri saklayabileceğiniz herhangi bir kullanıcı belleğinin olmamasıdır. Sadece okunabilen radyo frekansı tanımlama etiketleri genellikle fabrikada programlanır. Veriler, değiştirilemeyen benzersiz bir tanımlayıcı ve diğer belirtilen bilgiler içerecektir. Önceden kodlanmış kimlik numarasıyla ilişkili öğeleri, kendiniz kodladığınız kimlikleri olan öğeleri izlediğiniz gibi takip edebilirsiniz [10]. Bu etiketlerin maliyetleri düşüktür ve ek belleği yoktur.

2.1.2.2. Hem okunup hem yazılabilen etiketler

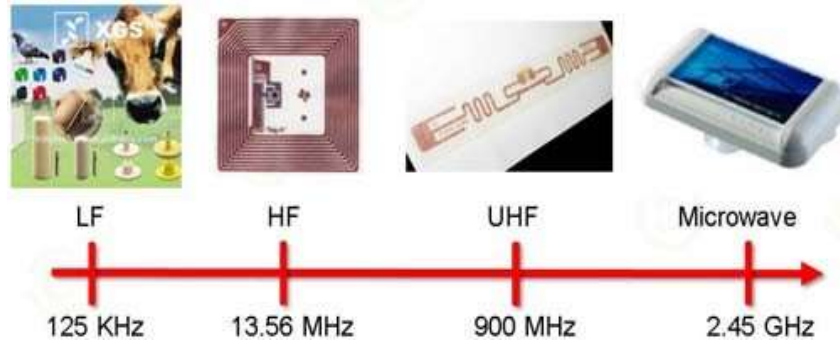
Hem okunup hem yazılabilen etiketler, kullanıcılara etiket üzerinde depolanan bilgileri güncelleme veya yeniden yazma yeteneği verir. Etiketlerin seri numarası gerektiğinde güncellenebilir, okuyucular da gerektiğinde etiket üzerine bilgi yazabilir. Bu etiketler salt okunur etiketlerden önemli ölçüde daha pahalıdır.

2.1.2.3. Bir kez yazılıp birçok kez okunabilen (worm) etiketler

Bir kez yazılıp, birden çok kez okunabilen (worm) etiketlerdir. Bu etiketler kullanıcı tarafından bir kez kodlanabilir. Bundan sonra etiketler kilitlenir, bilgi saklanır ve değiştirilemez. Bu hem okunup hem yazılabilen etiketlerinden daha güvenli olma eğilimindedir [14].

2.1.3. Frekanslarına göre etiketler

RFID teknolojisinde de bir dizi farklı frekanslar kullanılır. İşletme sahipleri ve yönetim ekipleri operasyonları için en uygun frekansı seçmeleri önemlidir. RFID sistemleri, Şekil 3'te gösterildiği gibi, çok farklı frekans bantlarında çalışırlar. Farklı frekanslar, farklı uygulamalar için onları daha kullanışlı hale getiren farklı özelliklere sahiptir. Örneğin, düşük frekanslı etiketler daha az güç kullanır ve metalik olmayan maddelere daha iyi nüfuz edebilmektedir. Meyve gibi yüksek su içeriğine sahip nesnelere taramak için idealdir, ancak okuma aralıkları 3 metreden daha azıyla sınırlıdır. Yüksek frekanslı etiketler, metalden yapılmış nesnelere üzerinde daha iyi çalışır ve yüksek su içeriğine sahip ürünler etrafında çalışabilir. Yaklaşık 1 metre okuma aralığı vardır. UHF frekansları genellikle daha iyi bir aralık sunmakla birlikte düşük ve yüksek frekanslardan daha hızlı veri aktarabilir. Fakat daha fazla güç kullanırlar ve materyallerden geçme olasılıkları daha azdır. Uygulamaların etkili çalışması için doğru frekansı seçmek çok önemlidir [15].



Şekil 3. RFID frekans aralıkları ve tipik etiketlerin fotoğrafları [16]

RFID uygulamalarında en önemli detaylardan biride doğru etiketin seçimidir. Günümüzde RFID sistemi kurmak için yüzlerce etiket çeşidi mevcuttur. RFID etiket seçimi sisteme özel olarak yapılması verimli bir sistem kurulması açısından önemlidir. RFID etiket seçiminde dikkat edilecek noktalar aşağıdaki gibidir [12]:

- Etiketleme yapılacak yüzeyin durumu (metal, plastik, tahta vb.)
- İstenilen okuma mesafesi
- Etiket boyutunun büyüklüğü
- Çevresel koşullardaki aşırılık (aşırı sıcak, soğuk, nem vb.)
- Etiketlerin eklenme yöntemi (yapıştırarak, perçinleyerek vb.)

2.2. AHP ve ANP yöntemi

Hepimiz hayatın her alanında çeşitli kararlar vermek durumundayız. Bu kararlardan bir kısmı kolaylıkla verebildiğimiz kararlar iken bir kısmı daha fazla zorlandığımız, çok düşündüğümüz ayrıntılı analiz

gerektiren kararlardır. Karar vericilerin bu tür problemleri çözümünde kullanabileceği pek çok yöntem ve teknik bulunmaktadır. Bu teknikler sonlu sayıda seçeneğin birden fazla kritere göre değerlendirilmesi, karşılaştırılması, sıralanması ya da bunlar arasından en iyisinin seçilmesinde kullanılan çok kriterli karar verme teknikleri olarak ifade edilir. Unutulmamalıdır ki bir karar probleminde kriterler sayısal değerlerle ifade edilebilen nicel kriterler olabileceği gibi sayısal değerle ifade edilemeyen nitel kriterler biçiminde de olabilir.

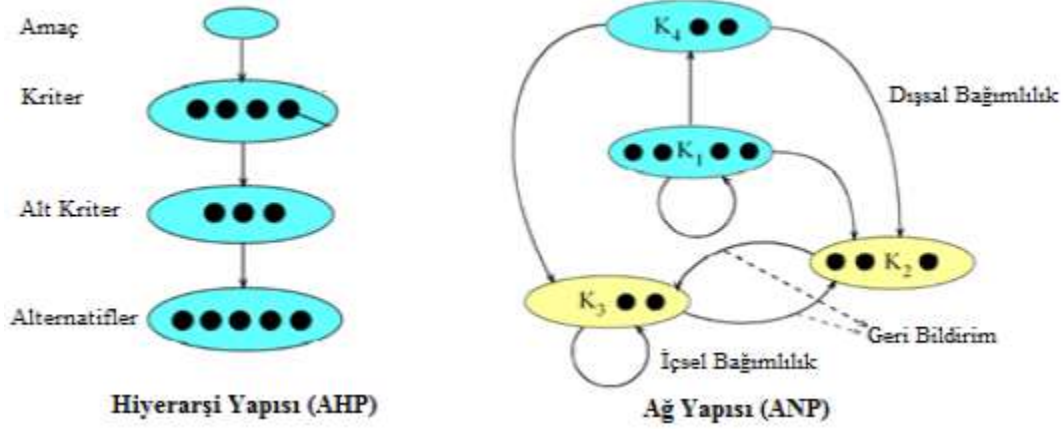
Çok kriterli karar verme problemlerinin çözümünde yaygın olarak kullanılan yöntemlerden biri problemin çözümünde nitel ve nicel kriterleri birlikte ele alabilen Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) yöntemidir [17]. Karar probleminin çözümünde sağladığı basitlik, esneklik ve kullanım kolaylığı sayesinde pek çok karar vericinin kullandığı bir tekniktir [18]. AHP kullanıcıları ilk olarak karar problemlerini, her biri bağımsız olarak analiz edilebilecek, daha kolay kavranan alt problemlerin hiyerarşisine dönüştürür [19]. Hiyerarşi bir kez oluşturulduktan sonra, karar vericiler kriterleri birbirleriyle karşılaştırarak sistematik olarak değerlendirirler [20]. Karşılaştırmalarda karar vericiler kriterler hakkında somut verileri kullanabilirler ama genellikle elemanların göreceli anlamı ve önemi hakkındaki yargılarını kullanırlar. AHP'nin özü, değerlendirmelerin yapılmasında sadece temel bilgilerin değil, insan kararlarının da kullanılabilmesidir [21]. Sürecin son aşamasında, karar alternatiflerinin her biri için sayısal öncelikler hesaplanmaktadır. Bu sayılar, alternatiflerin tercih edilme konusundaki göreceli yeteneğini temsil etmektedir [22]. AHP'de homojen elemanlar ikili olarak karşılaştırılmaktadır. Bu karşılaştırmalarda yargılar Tablo 2'de verildiği gibi 1-9 temel ölçeği kullanarak sayısallaştırılır. Karar vericinin sayısal bir ölçekten elde edilmiş gerçek değerlerin bilgisine sahip olması durumunda bu değerlerde ikili karşılaştırmalarda kullanılabilir [17].

Tablo 2. İkili karşılaştırma ölçeği

Önem Derecesi	Tanım	Açıklama
1	Eşit derecede önem	İki faaliyet amaca eşit düzeyde katkıda bulunuyor.
3	Orta derecede önem	Tecrübe ve yargı, bir faaliyeti diğerine orta derecede tercih ettiriyor.
5	Kuvvetli derecede önem	Tecrübe ve yargı, bir faaliyeti diğerine kuvvetli derecede tercih ettiriyor.
7	Çok kuvvetli derecede önem	Bir faaliyet güçlü bir şekilde tercih ediliyor ve baskınlığı uygulamada rahatlıkla görülüyor.
9	Mutlak derecede önem	Bir faaliyet diğerine tercih edilmesine ilişkin çok güçlü kanıtlar büyük güvenliğe sahip
2,4,6,8	Ara değerler	Uzlaşma gerektiğinde kullanılmak üzere

İkili karşılaştırmalar matrisi AHP'de kriterler ve seçenekler için yapılır ve karşılaştırmada temel ölçekten yararlanılır. Bu ikili karşılaştırmalar amaca göre kriterler ve bu kriterlere bağlı olarak seçenekler için gerçekleştirilmektedir. Karar vericilerin karşılaştırmalarında tutarlı olmaları beklenir. Bununla birlikte karar vericilerin yargılarının tüm ikili karşılaştırmalarda tam bir tutarlık göstermesi beklenemez. Tutarsızlık belirli bir oranın altında ise (%10) kabul edilebilirken bu oranın üzerine çıktığında karar vericiden ikili karşılaştırma yargılarını tekrar gözden geçirmesi istenir [23]. Bu yüzden tutarlılık sorunuyla ilgili olarak AHP'de karar vericinin karşılaştırma sonuçlarına paralel olarak tutarlılık oranı (CR) hesaplanır [24].

AHP gibi literatürde karar verme problemlerinin çözümünde sıklıkla kullanılan yöntemlerden bir diğeri de ANP yöntemidir. Yöntem karar kriterleri arasındaki ilişkileri göz önüne alan ve karar probleminde tek bir yöne bağlı kalarak modelleme zorunluluğunu ortadan kaldırır. Bu özelliği, AHP'ye göre daha hassas seçim yapma olanağı vermektedir. AHP yönteminin devamı niteliğinde olan ANP yöntemi karmaşık karar verme süreçlerinde daha gerçekçi çözümler sunmaktadır. Yöntem karar verme sistemindeki her türlü etkileşimi, bağımlılığı ve geri bildirim model içine katarak, bütün ilişkileri sistematik biçimde değerlendirmeye olanak sağlar. ANP yönteminde problem, Şekil 4'te görüldüğü gibi AHP'den farklı olarak ağ yapısı kullanılarak modellenmekte, bu esnada tüm kriter kümelerindeki alt kriterler arasındaki bağımlılıklar ve her kriter kümesindeki alt kriterler arasındaki o kümeye ait içsel bağımlılıklar göz önüne alınmaktadır. ANP yönteminde AHP yaklaşımında olduğu gibi kriterlerin modele olan etkilerinin belirlenmesi için kriterlerin ikili olarak karşılaştırılması gerekmektedir [25].



Şekil 4. Hiyerarşi ve ağ yapısı [25]

3. Yöntem

Bu çalışmada, bir okulun kütüphanesindeki kitapların yönetimi için kurulması planlanan RFID sistemi için en uygun olan RFID etiketinin seçilmesi için ilk olarak AHP yönteminin aşağıdaki adımları kullanılmıştır.

3.1. Hiyerarşik yapının oluşturulması

Çalışmada ilk olarak en uygun RFID etiketinin seçilmesinde etkili olan kriterler literatür taraması ve okul yöneticilerinin görüşleri alınarak; fiyat, okunma hızı, veri depolama süresi, yazma dayanıklılığı, okunma aralığı, malzeme, bellek olarak tespit edilmiştir. Bu kriterlerin seçim probleminin çözümünde kullanılma sebepleri aşağıda kısaca özetlenmiştir.

a) Fiyat: RFID etiket seçiminde tüketici için en ideal maliyetteki etiket seçilmelidir. RFID etiketi karar vericinin maliyetini karşılayabileceği bir fiyatta olmalıdır. Genellikle daha iyi performans gösteren RFID etiketler biraz daha maliyetli olabilir ancak bu seçim ileriye dönük büyük tasarruflara yol açabilir.

b) Okuma Hızı: Bu kriterde zamandan tasarruf sağlanması amaçlanmıştır. Kitapların üzerine yapıştırılan etiketlerden okuyucuya gönderilen verilerin hızlı bir şekilde transfer edilmesi etiketin okuma hızı ile doğru orantılıdır. Okuma hızı yüksek olan RFID etiketi okuyucu tarafından daha hızlı okunur.

c) Veri Depolama Süresi: Veri depolama süresi kütüphanelerde uzun yıllar korunan kitapların doğru şekilde depolanması, işlenmesi ve değerlendirilmesi açısından büyük önem taşımaktadır. RFID etiketleri belirli bir süre sonra bilgileri depolama özelliğini kaybetmektedir. Kütüphanedeki kitapların çok uzun yıllar saklandığını düşünürsek veri depolama süresi uzun olan RFID etiketi diğer etiketlere göre daha avantajlıdır.

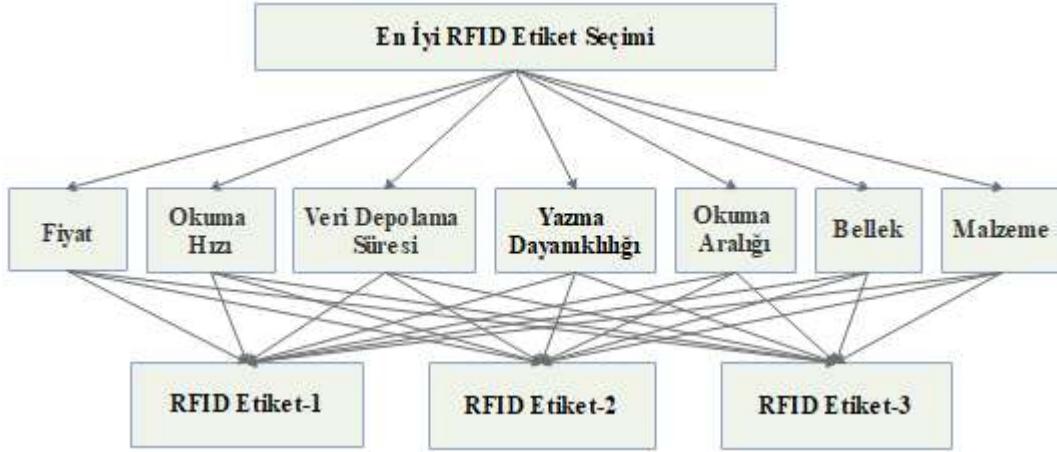
d) Yazma Dayanıklılığı: Yazma dayanıklılığı bütün RFID etiketler için yüksek öneme sahiptir. Etiketlerdeki bilgiler tekrar tekrar güncellenerek, kullanılan nesne hakkında güncel bilgilere erişilebilir. Kütüphane üyelerinin ödünç alma işlemleri kitap etiketlerin üzerinden yapılabilir. Bu nedenle RFID etiket üzerine birçok kez veri yazılıp silinebilir. Yazma döngüsü yüksek olan RFID etiketler daha sık tercih edilir.

e) Okuma Aralığı: Okuma aralığı RFID sistemlerinin en önemli bileşenlerindedir. Kütüphanedeki kitaplara hızlı ve doğru bir şekilde ulaşılabilmesi için etiketlerin okuma aralığının geniş olması gerekir.

f) Malzeme: Etiket kullanım ömrü boyunca karşılaşılabileceği çevresel koşullar, etiket seçiminde önemli hususlardır. Etiket yapımında kullanılan malzeme etiketin ömrünün uzun olmasında büyük bir etkidir. Unutulmalıdır ki kitaplarda kullanılan etiketler yalnızca kütüphane içerisinde değil, kitapların ödünç verilmesiyle farklı çevre koşullarına maruz kalacaktır. Bu çevresel koşullar etiketin okuma aralığını veya okuma oranını etkileyebilir. Bu nedenle RFID etiket seçiminde malzeme seçimi göz ardı edilmemelidir.

g) Bellek: Etiketlin bellek boyutu, üzerine depolanacak veri miktarını etkiler. Çoğu RFID etiketinin üzerinde bulunduğu nesneyle ilgili bazı temel bilgileri depolamaya yetecek kadar 2 kilobayt kadar bir bellek boyutu vardır. Düşük maliyetle kurulan RFID sistemlerde yalnızca nesneyi tanımlayabilen salt okunur etiketler kullanılır. Bu tür sistemlerde nesne hakkındaki diğer ayrıntılı bilgiler kurulan veri tabanından elde edilir. Büyük hafızalara sahip etiketlere daha ayrıntılı kayıtlar yapılabilir.

Yukarıda açıklanan kriterlere göre satın alınması düşünülen etiket çeşitleri yine okul yöneticilerinin ortak görüşü doğrultusunda belirlenmiştir. Belirlenen kriterler ve alternatiflere göre seçim işleminin hiyerarşik yapısı Şekil 5’te verilmiştir.



Şekil 5. RFID etiket seçimi probleminin hiyerarşik yapısı

3.2. İkili karşılaştırma matrisinin oluşturulması

Belirlenen kriterlerin kendi aralarında karşılaştırılması Tablo 2’de verilen 1-9 ölçeğine göre 3 okul yöneticisinin ortak görüşüne göre değerlendirilmiş ve değerlendirme sonucu Tablo 3’te verilmiştir. Ayrıca bu tabloda her bir kriter için önem ağırlıklarının toplamı da hesaplanmıştır.

Tablo 3. Kriterlerin ikili karşılaştırma matrisi

Kriterler	Fiyatı	Okuma Hızı	Veri Depolama	Yazma Dayanıklılığı	Okuma Aralığı	Malzeme	Bellek
Fiyat	1	5	7	7	5	6	3
Okuma Hızı	1/5	1	4	4	1	3	1/3
Veri Depolama	1/7	1/4	1	1	1/3	1/2	1/6
Yazma Dayanıklılığı	1/7	1/4	1	1	1	1/3	1/5
Okuma Aralığı	1/5	1	3	3	1	2	1/5
Malzeme	1/6	1/3	2	3	1/2	1	1/5
Bellek	1/3	3	6	5	5	5	1
Toplam	2,186	10,833	24,000	24,000	13,833	17,833	5,100

3.3. Öncelik vektörünün (kriter ağırlığı) hesaplanması

Bu adımda öncelikli olarak her bir kriter için verilen değerlerin, sütun toplamına bölünerek normalizasyonu gerçekleştirilmiştir. Daha sonra normalize edilmiş matrisin her bir satırının aritmetik ortalaması alınarak öncelik vektörü hesaplanmış ve Tablo 4’te verilmiştir. Hesaplanan bu öncelik vektörü kriterlerin önem derecelerini göstermektedir.

Tablo 4. Normalize edilmiş matris ve öncelik vektörü

Kriterler	Fiyatı	Okuma Hızı	Veri Depolama Süresi	Yazma Dayanıklılığı	Okuma Aralığı	Malzeme	Bellek	Öncelik Vektörü
Fiyat	0,458	0,462	0,292	0,292	0,361	0,336	0,589	0,399
Okuma Hızı	0,092	0,092	0,167	0,166	0,072	0,168	0,065	0,117
Veri Depolama	0,065	0,023	0,042	0,042	0,024	0,028	0,033	0,037
Yazma Dayanıklılığı	0,065	0,023	0,042	0,042	0,072	0,019	0,039	0,043
Okuma Aralığı	0,092	0,092	0,125	0,125	0,072	0,112	0,039	0,094
Malzeme	0,076	0,031	0,082	0,125	0,037	0,057	0,039	0,064
Bellek	0,152	0,277	0,250	0,208	0,362	0,280	0,196	0,246

Tablo 4'teki öncelik vektörüne bakıldığında RFID etiket seçiminde en etkili kriterin fiyat olduğu görülmektedir. Daha sonra sırasıyla bellek, okuma hızı, okuma aralığı, malzeme, yazma dayanıklılığı ve veri depolama süresi kriterleri yer almaktadır.

3.4. Tutarlılık oranının hesaplanması

Normalize edilmiş matrisin tutarlılık oranının tespiti için öncelikle tutarlılık indeksi hesaplanmış ve 0,100 olarak bulunmuştur. Daha sonra rassallık indeksi 1,35 (7 kriter için) alınarak tutarlılık oranı (CR) 0,044 olarak hesaplanmıştır. Bu değer 0,10'dan küçük olduğundan, karar vericinin kriterlere ilişkin yargılarının tutarlı olduğu kabul edilmektedir.

3.5. Alternatiflerin kriterlere göre karşılaştırılması

Bu adımda her bir kriter tüm alternatifler için karşılaştırılmıştır. Kriterlerin karşılaştırmasında malzeme kriteri hariç diğer kriterlerde sayısal değerler kullanıldığı için öncelik vektörü hesaplanmasında ikili karşılaştırma yapılmamıştır. Kriter değerleri belirlenen alternatif RFID etiketlerinin kataloglarından elde edilmiş ve Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 5. Alternatiflerin karşılaştırılması

	Fiyat (Kuruş)	Okuma Hızı (pcs/s)	Veri Depolama Süresi (Yıl)	Yazma Dayanıklılığı (Döngü)	Okuma Aralığı (metre)	Bellek (Bit)
RFID Etiket-	65	50	20	200000	3	128
RFID Etiket-	30	30	10	50000	10	512
RFID Etiket-	50	50	50	100000	5	96
Toplam	145	130	80	350000	18	736

Tablo 5'te fiyat kriterinde fiyatın artması ürünün tercih edilmesini olumsuz etkileyeceğinden dolayı gerçek fiyatın tersi alınarak normalize işlemleri yapılmıştır. Tablo 6'da ise 3 okul yöneticisinin ortak görüşü doğrultusunda tüm alternatifler malzeme kriteri için Tablo 2'deki ölçüğe göre ikili karşılaştırılmıştır ve aynı tabloda normalize işlemi yapılmıştır.

Tablo 6. Alternatif etiketlerin malzeme kriterine göre karşılaştırılması ve normalize matrisi

Alternatifler	RFID Etiket-1	RFID Etiket-2	RFID Etiket-3	Normalize Matris		
RFID Etiket-1	1	3	7	0,678	0,706	0,583
RFID Etiket-2	0,333	1	4	0,226	0,235	0,333
RFID Etiket-3	0,142	0,25	1	0,096	0,059	0,084
Toplam	1,476	4,25	12	1	1	1

Hem nicel kriterler hem de nitel kriter olan malzeme kriteri için öncelik vektörü hesaplanarak Tablo 7'deki önem ağırlıkları elde edilmiştir.

Tablo 7. Alternatif RFID etiketler için önem ağırlıkları

	Fiyat	Okuma Hızı	Veri Depolama Süresi	Yazma Dayanıklılığı	Okuma Aralığı	Bellek	Malzeme
RFID Etiket-1	0,224	0,385	0,250	0,571	0,167	0,174	0,656
RFID Etiket-2	0,485	0,231	0,125	0,143	0,556	0,696	0,265
RFID Etiket-3	0,291	0,385	0,625	0,286	0,278	0,130	0,079

3.6. Sıralama ve seçim aşaması

Bu son adımda hem Tablo 4'teki kriter ağırlıkları hem de Tablo 7'deki ağırlıklardan oluşan Tablo 8'deki matris oluşturulmuştur. Nihai sıralamanın belirlenmesi için AHP matrisinde yer alan ağırlıklar satırı ile her bir kriter için hesaplanan değerlerin sütun çarpımıyla bir matris oluşturulmuştur (Tablo 9). Oluşturulan bu matriste her bir alternatife ait toplam değerler hesaplanarak sıralama yapılmıştır.

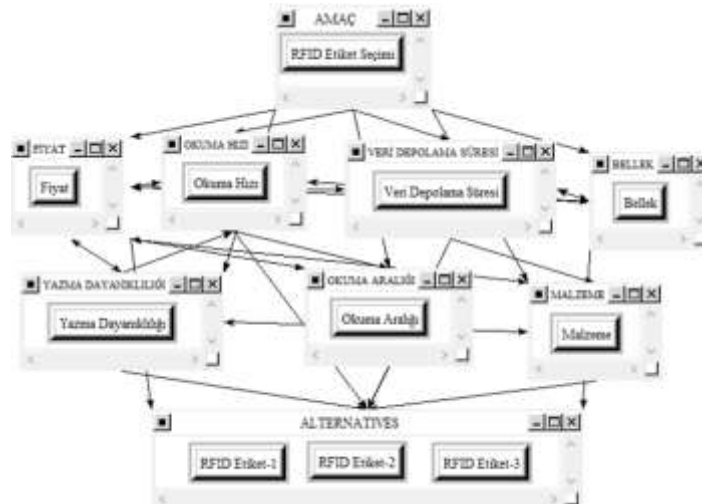
Yapılan AHP uygulaması sonucunda elde edilen ağırlık değerlerine göre kütüphane RFID sistemi için okul yöneticilerinin "RFID Etiket-2"yi tercih etmeleri daha uygun ve yararlı olacaktır. Çalışmada aynı problemim çözümünde ikinci bir yöntem olarak kriterler arası etkileşimi de dikkate alan ANP yöntemi uygulanmıştır. Yöntemde ilk olarak, fiyat kriterinin; diğer tüm kriterleri, okuma hızı; fiyat, okuma aralığı ve bellek kriterlerini, veri depolama süresinin; fiyat, malzeme ve bellek kriterlerini, yazma dayanıklılığının; fiyat, okuma hızı ve malzeme kriterlerini, bellek kriterinin; fiyat, veri depolama süresi ve okuma hızı kriterlerini ve malzeme kriterinin; fiyat ve yazma dayanıklılığı kriterlerini etkilediği belirlenmiştir. AHP yönteminde kullanılan model Super Decisions programında tekrar oluşturulmuş ve yukarıdaki etkileşimler de dikkate alınarak Şekil 6'daki ağ yapısı oluşturulmuştur.

Tablo 8. AHP ağırlıklar matrisi

Kriter Ağırlıkları	0,399	0,117	0,037	0,043	0,094	0,064	0,246
	Fiyat	Okuma Hızı	Veri Depolama Süresi	Yazma Dayanıklılığı	Okuma Aralığı	Malzeme	Bellek
RFID Etiket-1	0,224	0,385	0,250	0,571	0,167	0,656	0,174
RFID Etiket-2	0,485	0,231	0,125	0,143	0,556	0,265	0,696
RFID Etiket-3	0,291	0,385	0,625	0,286	0,278	0,079	0,130

Tablo 9. Alternatiflerin ağırlıkları ve sıralaması

	Fiyat	Okuma Hızı	Veri Depolama Süresi	Yazma Dayanıklılığı	Okuma Aralığı	Malzeme	Bellek	Ağırlık	Sıralama
RFID Etiket-1	0,089	0,045	0,009	0,025	0,016	0,042	0,043	0,269	2
RFID Etiket-2	0,194	0,027	0,005	0,006	0,052	0,017	0,171	0,471	1
RFID Etiket-3	0,116	0,045	0,023	0,012	0,026	0,005	0,032	0,260	3

**Şekil 6.** ANP ağ yapısı

AHP yönteminde kullanılan ikili karşılaştırmalara ek olarak yukarıda verilen kriterler arasındaki etkileşimler de dikkate alınarak ikili karşılaştırmalar yapılmış ve Tablo 10'da verilen kriter ağırlıkları elde edilmiştir.

Tablo 10. ANP yönteminden elde edilen kriter ağırlıkları

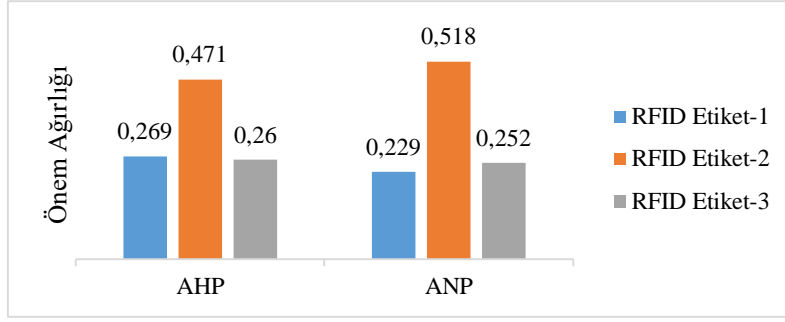
Icon	Name	Graphic	Normalized by Cluster	Limiting
No Icon	Bellek		1.00000	0.145969
No Icon	Fiyat		1.00000	0.336515
No Icon	Malzeme		1.00000	0.039179
No Icon	Okuma Aralığı		1.00000	0.082232
No Icon	Okuma Hızı		1.00000	0.180061
No Icon	Veri Depolama Süresi		0.64035	0.070854
No Icon	Yazma Dayanıklılığı		0.35965	0.039795

Tablo 10 incelendiği zaman en önemli kriterin AHP yönteminde olduğu gibi fiyat, en az öneme sahip kriterin ise malzeme olduğu tespit edilmiştir. Tablo 11'de ise alternatif RFID etiketlerin önem ağırlıkları verilmiştir.

Tablo 11. Alternatif RFID etiketlerin önem ağırlıkları

Name	Graphic	Ideals	Normals	Raw
RFID Etiket-1		0.443078	0.229567	0.024195
RFID Etiket-2		1.000000	0.518119	0.054607
RFID Etiket-3		0.486982	0.252315	0.026593

Tablo 11'deki normals değerlerine baktığımız zaman 0,518'lik önem ağırlığı ile RFID Etiket-2 alternatifi en iyi etiket olarak tespit edilmiştir. Son olarak, Şekil 7'de AHP ve ANP yöntemlerinden elde edilen sonuçların karşılaştırılması verilmektedir. Şekil 7'e bakıldığında her iki yöntemde de RFID Etiket-1'in önem ağırlığı en yüksektir. Bu yüzden bu etiketin kütüphane sistemi için seçilmesi uygun olacaktır.



Şekil 7. AHP ve ANP'den elde edilen sonuçların karşılaştırılması

4. Sonuç

Radyo frekansı tanımlama veya RFID teknolojisi, dünyanın dört bir yanındaki işletmelerin üretim operasyonlarını iyileştirmelerinde, tedarik zincirlerini yönetmelerinde ve daha yüksek verimlilikle ürünlerini takip etmelerine olanak tanımıştır. Bu modern teknolojinin yaygın olarak benimsenmesi, işletme sahiplerinin üretimlerini ölçeklendirmelerine, maliyetlerini düşürmelerine ve daha önce hiç olmadığı gibi kârlarını artırmalarına olanak sağlamıştır. Ancak, RFID 'in faydalarını en üst düzeye çıkarmak için doğru tercihler yapmak gerekir. RFID teknolojisinin kullanım alanlarından biri olan kütüphane sistemi dünyada yaygın olarak kullanılmaya başlansa da ülkemizde maalesef yeterince uygulanmamaktadır. Bu sistemin kullanımının teşvik edilmesi kütüphanelerdeki verimliliğin artmasının yanı sıra eğitim ve hizmet kalitesinde de önemli artış sağlayacaktır.

RFID kütüphane sistemi kurulumunda önemli bir bileşen olan etiketin doğru seçimi oldukça önemlidir. RFID etiketleri arasında şekil ve kullanım açısından çok çeşitli farklılıklar görülmektedir. Çok sayıda seçeneğin ve kriterin bulunduğu böylesi bir ortamda tüketiciler RFID etiket seçiminde oldukça zorlanmaktadır. Diğer karar problemlerinde olduğu gibi bu problemin çözümünde de çok kriterli karar verme yöntemlerinin kullanılması karar vericiler üzerindeki zorlukları ortadan kaldırmaktadır.

Bu çalışmada, en uygun RFID etiket seçimi problemi için AHP ve ANP yöntemleri ile çözüm önerisi sunulmuştur. Önerilen çözümde nicel kriterlerin yanı sıra nitel kriterlerde dikkate alınmıştır. Literatür taraması ve okul yöneticileri ile yapılan görüşmeler sonunda RFID etiket seçiminde etkili olan 7 önemli kriter tespit edilmiştir. Oluşturulan hiyerarşik yapı için AHP ve ağ yapısı için ANP yöntemi uygulanmış ve alternatif etiketler sıralanmıştır. Her iki yöntemden elde edilen sonuçlar karşılaştırılmış ve her iki yöntemde de önem ağırlığı bakımından ilk sırada yer alan etiket satın alınacak en uygun etiket olarak tespit edilmiştir. Okul yöneticilerinin tespit edilen bu etiketi satın alması durumunda maliyet, okuma hızı ve okuma aralığı gibi çok önemli etiket kriterleri açısından optimum fayda sağlayacak ve kütüphane sistemlerinin verimli işlemesine olanak sağlayacaklardır.

Yazarların Katkısı

Çalışmaya yazarların katkısı eşit orandadır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar

- [1] Wamba S.F., Lefebvre E., Bendavid Y., Lefebvre L. 2008. From automatic identification and data capture (aids) to "smart business process": preparing for a pilot integrating RFID. RFID Handbook: Applications, Technology, Security and Privacy, CRC Press.

- [2] Library RFID system. 2019. <https://www.RFID-library.com/> (Erişim tarihi:15.02.2019).
- [3] What is RFID (radio frequency identification) technology? 2019. <https://www.bibliotheca.com/library-RFID-technology/>. (Erişim tarihi:19.11.2019).
- [4] What is RFID? 2019. <https://www.abr.com/what-is-RFID-how-does-RFID-work/>(Erişim tarihi: 21.03.2019).
- [5] Code B. 2018. How does a RFID system work?, <https://www.epc-RFID.info/RFID>. (Erişim tarihi:14.03.2019).
- [6] Roberts C.M. 2006. Radio frequency identification (RFID). *Computers & security*, 25 (1): 18-26.
- [7] Jones A.K., Dontharaju S., Tung S., Hawrylak P.J., Mats L., Hoare R., Mickle M. 2006. Passive active radio frequency identification tags. *International Journal of Radio Frequency Identification Technology and Applications*, 1 (1): 52-73.
- [8] Sarma S., Brock D., Engels D. 2001. Radio frequency identification and the electronic product code. *IEEE Micro*, 6: 50-54.
- [9] Yüksel M.E., Zaim A.H. 2009. RFID'nin kablosuz iletişim teknolojileri ile etkileşimi. *Akademik Bilişim*, 11-13.
- [10] Repanovici A., Cristea L. 2011. RFID-application in info-documentary systems. In *Designing and Deploying RFID Applications*. InTECH.
- [11] Technovelgy. Aktif RFID Etiketi, <http://www.technovelgy.com/ct/Technology-Article.asp?ArtNum=21>. (Erişim tarihi:17.02.2019).
- [12] Solutions A.R. The basics of an RFID system, <http://RFID.AtlasRFIDstore.Com/Hs-Fs/Hub/300870/File-252314647> (Erişim tarihi:19.03.2019).
- [13] RFID: Doğru seçim hangi frekans? <https://www.Advancedmobilegroup.Com/Blog/Rfid-WhichFrequencyIsTheRightChoice>. (Erişim tarihi:03.02.2019).
- [14] Salt okunur rfid etiketleri ne için kullanılır? 2019. <https://www.Rfidjournal.Com/Blogs/Experts/Entry?11873>. (Erişim tarihi:22.03.2019).
- [15] Salt okunur ve okuma-yazma RFID etiketleri arasındaki fark nedir? <https://www.Rfidjournal.Com/Faq/Show?67>. (Erişim tarihi:13.01.2019).
- [16] Başvurum için hangi frekansın doğru olduğunu nasıl bilebilirim? <https://www.Rfidjournal.Com/Faq/Show?61>. (Erişim tarihi: 14.03.2019).
- [17] Kadak E.G. 2006. Türkiye'de AHP tekniğinin performans değerlendirmedeki yeri ve ilaç dağıtım sektöründe uygulanması. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- [18] Haliloğlu M., Odabaş M.S. 2017. Çok ölçütlü karar vermede AHP yöntemi. *Kilis 7 Aralık Üniversitesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 2 (2): 13-18.
- [19] Enis Ö.S. 2010. Denetim evreninin belirlenmesinde alternatif bir yöntem: Analitik hiyerarşi prosesi. *Denetim*, 4: 8-16.
- [20] Özyörük B., Özcan E.C. 2008. Analitik hiyerarşi sürecinin tedarikçi seçiminde uygulanması: otomotiv sektöründen bir örnek. *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 13 (1): 133-144.
- [21] Saaty T.L., Vargas L.G. 1987. Uncertainty and rank order in the analytic hierarchy process. *European Journal of Operational Research*, 32 (1): 107-117.
- [22] Saaty T.L. 2008. Relative measurement and its generalization in decision making why pairwise comparisons are central in mathematics for the measurement of intangible factors the analytic hierarchy/network process. *RACSAM-Revista de la Real Academia de Ciencias Exactas, Fisicasy Naturales. Serie A. Matematicas*, 102 (2): 251-318.
- [23] Saaty T.L. 1990. How to make a decision: the analytic hierarchy process. *European journal of operational research*, 48 (1): 9-26.
- [24] Weis S.A. 2007. RFID (radio frequency identification): Principles and applications. *System*, 2 (3): 1-23.
- [25] Yıldız A. 2014. En iyi üniversite seçiminde analitik ağ prosesinin kullanımı. *İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi*, 3 (2): 108-119.

Araştırma Makalesi / Research Article

Denim Kumaşlarda Görüntü İşleme İle Hata Tespiti

Zeynep PINAR^{*}, Fidan KAYA GÜLAĞIZ, Mehmet Ali ALTUNCU, Suhap ŞAHİN

Kocaeli Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Kocaeli
(ORCID: 0000-0001-7434-7697) (ORCID: 0000-0003-3519-9278)
(ORCID: 0000-0002-2948-3937) (ORCID: 0000-0003-1340-8972)

Öz

Tekstil sektöründe, mamul kumaş üzerindeki üretim hatalarının tespiti, kalite kontrol aşamasında yapılan en önemli ve maliyetli işlemlerdir. Kumaşlar konfeksiyon aşamasına gelmeden kontrol edilir ve hatalı kısımlar kumaşın içinden parça halinde kesilerek alınır. Bu durum fireye yani üretimde düşüşe yol açmaktadır. Eğer kontrol esnasında fark edilememiş veya parça alımı ile fireye ayırlanamamış kusurlar varsa bu kumaşlarda ikinci kaliteye düşmektedir. Kalite kontrol sonrası top kesim işleminde ayrılan hatalı parça kumaşlar veya fark edilmeyerek müşteriye gönderilmiş ikinci kalite ürünler ciddi maliyetlere sebep olmaktadır. İnsan gözüyle yapılan kalite kontrol işlemi, iş gücü ve zaman olarak oldukça maliyetli olmasına rağmen başarıyı istenildiği kadar yüksek değildir. Bu nedenle kalite kontrol aşamasında otomatik ve akıllı sistemlerin kullanımı için çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmada, %100 pamuk ipliğinden üretilerek ve indigo boyarmaddesi ile boyanmış olan denim kumaşlardaki hataların tespiti ve sınıflandırılması için görüntü işleme yöntemleri önerilmektedir. Yapılan çalışmada görüntü işleme algoritmaları kullanılarak hata tespiti yapılan kumaş görüntülerinden, özellik çıkarımı ile sayısal veri elde edilmiştir. Oluşturulan özellik matrisi beş farklı algoritma kullanılarak incelenmiş, hatalı ve hatasız görüntünün ayrımı sağlanmıştır. Yapılan karşılaştırmalarda en iyi performans gösteren algoritmanın J48 Karar Algoritması olduğu görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Görüntü İşleme, Denim, Kalite Kontrol.

Error Detection in Denim Fabrics with Image Processing

Abstract

The textile industry is one of the most important and economical jobs in the quality control process for the detection of production defects in the production of finished fabrics. The fabrics are checked before they come to the garment process and the faulty parts are cut into pieces from the fabric. If there are any defects that cannot be noticed during the inspection or cannot be separated by waste cutting, this decreases the fabrics to second quality. After quality control, faulty piece fabrics separated in the cutting process or second quality products sent to the customer cause serious costs. Although the quality control process performed by the human eye is quite costly in terms of labor and time, its performance is not as high as desired. For this reason, studies are carried out for the use of automatic and intelligent systems in the quality control stage. In this study, image processing methods are proposed for the detection and classification of defects in denim fabrics produced from 100% cotton yarn and dyed with indigo dyestuff. Digital datas were acquired by feature extraction from fabric images which were detected by using image processing algorithms. Five different algorithms have been run on the feature matrix and distinction between the defective and clean image has been provided. According to the comparisons, it is concluded that the best performing algorithm is J48 Decision Algorithm.

Keywords: Image Processing, Denim, Quality Control.

1. Giriş

Tekstil sektöründe önemli bir sorun olan kumaş kalitesinin düşmesine birçok üretim hatası neden olsa da temel neden iplik hataları olarak görülebilir. Kumaş hataları ve hata puanlaması ile kalite sınıfları belirlenen kumaşların, düşük kalitede üretimleri maliyetleri ciddi derecede yükseltmektedir. Hali

^{*}Sorumlu yazar: zeynep.pinar@guncelyazilim.com.tr
Geliş Tarihi: 23.07.2019, Kabul Tarihi: 22.03.2020

hazırda, denim kumaş kalite kontrol işlemi ışıklı kalite kontrol makinaları üzerinden akan kumaştaki hataları, göz taraması ile kontrol eden personeller tarafından yapılmaktadır [1].

Kumaş hataları literatürde 200'ün üzerinde tanımlanmaktadır, fakat pratikte 40-50 kadarı kalite kontrol kartlarına işlenmektedir [2]. Bu nedenle hataların sıklığı ve türleri geniş bir zaman aralığında takip edilmelidir. Denim işletmelerinde mamul kumaş elde edilirken, iplikten kalite kontrol aşamasına kadar olan süreçte çeşitli sebeplerden kumaş hataları oluşmaktadır.

Kumaş hataları giyim endüstrisindeki hataların %85'ini oluşturmaktadır. Bu hataların %70'ini belirleyebilen bir kalite kontrol elemanın eğitimi, zaman ve maliyet açısından oldukça zahmetlidir. Dolayısıyla kalite kontrol sürecindeki otomatik sistemler maliyeti düşürürken kaliteyi artırmaktadır [2]. EVS ve Zelleweger Uster firmaları, eğitilmiş bir kalite kontrol elemanının kumaş kontrolünde ancak hataların %40-60 arasında tespit edebildiğini ifade etmektedir. İyi bir kumaş kontrolcüsünün yetişmesi yıllar sürerken, otomatik kontrol sistemlerin kurulması ve çalıştırılması birkaç hafta almaktadır [3]. Gözle hata tespitinde, operatörün dikkat dağınıklığı, değerlendirmenin objektifliği, işlem zamanı ve uzun vadede kalitesizliğin maliyete olan etkileri gibi sebepler ele alındığında otomatik sistemlerin geliştirilme çalışmalarının sürdürülmesi gerekmektedir [1].

1.1. Literatür İncelemesi

Kumaş resimleri üzerinde hata sınıflandırması yapılan bir çalışmada, temel bileşenler analizi (PCA) ve yapay sinir ağı (YSA) tabanlı yöntemler MATLAB'da kodlanarak, dört adet hata grubuna ait görüntüler için sınıflandırma başarısı test dilmiş ve sırası ile %66-%100 oranında başarı elde edilmiştir [4]. Kumaş görüntüsünden hata analizine ait başka bir çalışmada, görüntü işleme yöntemleri uygulanmış ve şekilsel, histogram özellikleri çıkartılmıştır. Bu özellikler Fuzzy C-Means algoritması ile kümelendirilmiştir. Daha sonra Fourier Analizi, Gabor Filter ve Dalgacık Dönüşümü Yöntemleri karşılaştırılmış ve en iyi sonuç Fourier tabanlı görüntü işleme yönteminden alınmıştır [5]. Kumaş ile karışmış olabilecek kusurlu iplikler, renk ve gözenek eşitsizliği, gibi sebeplerden oluşan hataların tespiti için, filtreleme dayalı bir yöntem olarak Gabor dalgacık ağı ile doku farklılıkları elde edilmiştir [6]. Gerçek zamanlı olarak yapılan bir çalışmada, eksik iplikler, yağ lekeleri ve delik hatalarının tespiti için yapay sinir ağı önerilmiştir [7]. Dokuma kumaş bloklarının tüm kumaş görüntüsünden ayıklanması amacıyla Gauss bulanıklığı, K-insan-bilgisayar etkileşimi ile kümeleme ve maksimizasyon algoritmaları uygulanmış bir çalışmada kullanılan algoritmaların düzensiz yapı alanına sahip, karmaşık kumaş görüntüsünde daha verimli ve doğru çalışmakta olduğu belirtilmiştir [8]. Yuvarlak örgü makinesi üzerinde gerçek zamanlı çalışan kumaş hata tespit sisteminde, GDF-HOG, Eig(Hess)-HOG, ikinci mertebeli HOG, Eig(Hess)-CoHOG, GM-CoHOG ve yüzey etiketleme temelli CoHOG olmak üzere 6 yeni öznelik çıkarım algoritması oluşturulmuş ve bunlara ek olarak Fourier, Dalgacık ve Shearlet dönüşüm yöntemleri kullanılarak spektral kumaş görüntülerinin belirli istatistiksel öznelikleri çıkartılarak sınıflandırılmaları sağlanmıştır. Uzaysal alanda GM-CoHOG algoritmasının en yüksek sınıflandırma başarısına sahip olduğu sonucuna varılmıştır [9]. Kumaş öznelikleri çıkartılarak elde edilen taslak ile test örneklerinin frekans alanında basit şekilde karşılaştırılmasında online ve tamamen optimize edilmiş gerçek zamanlı bir hata tespit sisteminde kullanılacak en iyi yöntemin Fourier Dönüşümü olduğu belirtilmiştir [10]. Biyolojik olarak insan gözünden esinlenerek oluşturulmuş bir bilgisayar sistemi olan yapay görmenin kumaş kusurlarını bulmada hangi aşamalarda kullanılabileceğini araştıran bir başka çalışmada, kumaş hatalarının tümünü tespit edebilen bir yapıya rastlanmamıştır. Yaklaşımların test sonuçlarının istenen düzeyde olmadığı, tespit oranının yüksek olduğunda da maliyetlerin fazlaştığı sonucuna varılmış ve bu alanda çalışmaların devam etmesine vurgu yapılmıştır [11].

Bu çalışmada, denim kumaş kalite kontrolü sırasında en çok rastlanan hata gruplarından [2] alınan kumaş görüntülerinin hatalı ve hatasız olarak ayrılmasında, sınıflandırma ve karar algoritmalarından en iyi performansa sahip olanın tespiti amaçlanmıştır. Kumaş hataları öncelikle ağırlık toplama yöntemi ile gri seviyeye dönüştürülmüş ve histogram eşitleme ile hataların daha belirgin görülmesi sağlanmıştır. Hatalı ve hatasız görüntüler üzerinde fourier analizi yapılarak, fourier spektrumu ile kumaş hatalarına ait $p_1, p_2, p_3, p_4, p_5, p_6$ olacak şekilde altı adet özellik çıkartılmıştır. Oluşturulan özellik vektörleri K-Means, J48, Lineer Regresyon, Naïve Bayes ve DFF Neural Network (Derin İleri Beslemeli Sinir Ağı) algoritmalarına verilerek performans karşılaştırması yapılmıştır.

Gerçekleştirilen çalışmanın ileride ürüne dönüştürülebilmesi açısından, kullanılan yöntemler Python dili kullanılarak kodlanmıştır. Literatürde kalite kontrol aşamasında hata tespiti yapan sistemlerden, ürüne dönüştürülmüş Cyclops kontrol sistemi, Elbit Vision I-TEX kontrol sistemi ve Uster Fabricscan kontrol sistemlerinin manuel hata tespit yöntemleri ile karşılaştırılması üzerine çalışmalar yapılmış avantaj ve dezavantajları ortaya koyulmuştur [1]. Cyclops kontrol sistemi hata tespitinde yüzde 70 başarı sağlayarak dokuma tezgâhi üzerinde çalışmakta ve sadece ham kalite kontrol aşamasında kullanılmaktadır. Elbit Vision I-TEX kontrol sistemi denim kumaşlarda kullanılabilen ancak 15 adet hata tipi üzerinde saptama yapabilmektedir. Uster Fabricscan kontrol sistemi birçok kumaş çeşidinde hata tespiti yapabilmektedir. Ancak tarama hızı daha düşük, kendi kumaş taşıma ünitesini içeren ek makine ve yüksek işçilik gereksinimleri sebebi ile de kullanışlı olmamakla beraber yüksek maliyet gerektirmektedir. Aynı zamanda EVS ve Zelleweger Uster firmaları tarafından geliştirilmiş otomatik sistemler hata tespitini farklı kumaş tipleri için %80–95 başarı ile yapabilmektedir. Tüm bu örnekler göz önünde bulundurulduğunda önermekte olduğumuz hata tespit sisteminin başarısının yüzde 87 oranında olması, 20 çeşit farklı hata içeren veri seti içerisinde hatalı kumaşları tespit edebilmesi ve maliyetli bir ek donanım gerektirmemesi sebebiyle ileride yapılacak ürüne dönüştürme süreçlerine kaynak sağlamaktadır.

1.2. Denim Kumaş Hataları

Atkı ve çözgü ipliklerinin dik açı ve örgü teknikleri ile bir düzen içerisinde birleştirilerek dokuma tezgahlarında tekstil yüzeyi meydana getirilmektedir. Atkısı boyanmamış ham pamuk ipliği ile çözgü iplikleri bir araya gelerek denim kumaş yapısı oluşmaktadır [12]. Denim kumaş yapısını diğer kumaşlardan ayıran özelliği çözgü ipliklerinin indigo boyarmaddesi ile boyanmış olmasıdır [13]. Bu nedenle denim kumaşların kalite standartlarını etkileyen temel sebepler; atkı ve çözgü ipliklerinin özellikleri, dayanıklılığı, kopuş oranları ve dokuma makinesinin duruşlarıdır.

Sık görülen atkı ve çözgü hataları;

- yarım atkı,
- yarım atkı kaçığı,
- atkı kaçığı,
- çift atkı,
- atkı yığılması,
- çift çözgü,
- çözgü kopuğu,
- çözgü yığılması,
- çözgü kaçığı olarak hata kartlarına işlenmektedir [14].

Dokuma hata sayılarının istatistiksel olarak incelendiği bir çalışmada, ışıklı kontrol panosu aracılığı ile tespit edilen 28 dokuma hatası arasında, çözgünün ipliğindeki kopuştan dolayı meydana gelen ve kumaşın boyunca devam eden çözgü kopuğu hatasının %48.02 oranla en yoğun görülen hata çeşidi olduğu belirtilmiştir. Çözgü kopuğu, çözgünün ipliğindeki kopuştan dolayı meydana gelen ve kumaşın boyunca devam eden bir hatadır. Bir başka sık rastlanan hata, atkı yığılması, atkı ipinin düzgünlüğü veya sıklığından meydana gelmektedir [2].

2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada tekstil sektöründeki kalite kontrolünde hata ayırımı için en iyi performansa sahip algoritmalar üzerine araştırmalar yapılmıştır. Denim üretimi yapılan bir işletmeden, farklı hata gruplarına ait 52 adet hatalı ve 25 adet hatasız kumaş görüntüsü elde edilmiştir. Bu görüntüler atkı kaçığı, çözgü kaçığı, pamuklama, duruş izi vb. olmak üzere 20 çeşit hata içermektedir. Toplamda 77 adet görüntü bu çalışma için veri tabanı olarak kullanılmıştır. Hata tespiti için öncelikle görüntü işleme yöntemlerinden faydalanarak hatanın görüntüden ayırt edilmesi üzerine algoritmalar kodlanmıştır. Kodlanmış olan algoritmalar aşağıda türlerine göre listelenmiştir.

Hata tespiti için kullanılacak algoritmalar;

1. Ağırlık Toplama
2. Histogram Eşitleme

3. Fourier Analizi

Hatalı ve hatasız görüntülerin ayrımında kullanılacak algoritmalar;

1. K-means Algoritması
2. J48 Karar Algoritması
3. Lineer Regresyon
4. Naive Bayes Algoritması
5. DFF Neural Network

olarak belirlenmiştir.

2.1. Ağırlık Toplama

Görüntü işlemede kullanılan renkli bir başka adıyla RGB (Red, Green, Blue) resimlerin griye dönüştürülmesi diğer algoritmaların çalıştırılması için kolaylık sağlamaktadır. Dolayısıyla genellikle griye dönüştürülmüş resim üzerinden görüntü işleme yapılmaktadır. Ağırlık toplama ile griye dönüştürme yönteminde R, G, B kanallarının kendine özgü ağırlıkları uygulanmaktadır. Sırasıyla R, G, B kanallarının ağırlıkları; 0,2126 – 0,7152 – 0,0722 ‘dir. Griye dönüştürme işleminde görüntü piksel piksel ele alınmaktadır. Buna göre;

$$Y = \frac{1}{3}(R + G + B) \quad (1)$$

denkleminde renkli görüntünün kırmızı, yeşil ve mavi bileşenlerinin aritmetik ortalaması alınarak, eşitlik (2) ile hesaplanmaktadır [15].

$$Y = 0,2989R + 0,5870G + 0,1140B \quad (2)$$

2.2. Histogram Eşitleme

Düşük işlem maliyeti ve yüksek çalışma performansı sayesinde histogram eşitleme metodu hata tespiti yapılacak görüntülerde kullanılmaktadır. Aynı zamanda griye dönüştürülmüş görüntüler hakkındaki piksel bilgisini veren en iyi yöntemlerden olarak kabul edilmektedir [16].

Histogram kavramı, görüntünün içerdiği piksel değerlerinin ağırlığını belirten grafiksel bir gösterimdir. Görüntü işlemede histogramlar kullanılarak resim daha belirgin hâle getirilebilir. Daha net bir görüntü için histogramın daha ayırık ve düzgün bir yapıya gelmesi sağlanmalıdır. g_0, g_1, \dots, g_{L-1} gri değerlerine sahip bir dijital görüntünün histogramı için (3) denklemindeki ayırık fonksiyon tanımlanmaktadır;

$$p(g_k) = \frac{n_k}{n} \quad (3)$$

n_k : gri değere sahip piksellerin toplam sayısı

n : görüntüdeki toplam piksel sayısı

Histogram, dijital bir görüntüde genel bir tanım görünümü elde edilmesini sağlamaktadır. Bir görüntünün gri değerlerini rastgele bir değişken olan R varsayılırsa histogram tahmini bir olasılık yoğunluğu verir. Başka bir deyişle eşitlik (4) olarak ifade edilmektedir.

$$P(R = g_k) \sim p(g_k) \quad (4)$$

Bu durumda histogram eşitlenmiş bir görüntüdeki gri değerli piksellerin toplam olasılık değeri 1 olmaktadır.

2.3. Fourier Analizi

Herhangi bir sinyalin sinüs ve kosinüs dalgalarının çeşitli genlik ve frekanslarla toplamından elde edilebileceğini Fourier teoremi açıklamaktadır. Görüntü uzayındaki tekrarlı ve düzenli desene sahip

kumaşlar ile uzaysal frekanstaki spektrumları arasındaki ilişki, iki boyutlu Fourier dönüşümü kullanılarak kurgulanmaktadır. $N \times N$ iki boyutlu bir $f(x, y)$ görüntüsü için, x, y uzaysal koordinatlarında gri seviyeyi temsil etsin. Bu durumda $F(n, m)$ ayrık fourier dönüşümüne karşılık gelen genel denklem (5)'deki gibidir.

$$F(n, m) = \frac{1}{N^2} \sum_{y=0}^{N-1} \sum_{x=0}^{N-1} f(x, y) \times e^{-\frac{j2\pi(xn+ym)}{N}} \quad (5)$$

Görüntü işleme ile hata tespitinde griye çevirme ve histogram eşitleme ile basite indirgenmiş resimde öznelik çıkarımı yapılmaktadır. Öznelik çıkarım metotları dört yaklaşım ile ele alınmaktadır. Bunlar; istatistiksel yaklaşımlar, spektral yaklaşımlar, model tabanlı yaklaşımlar ve yapısal yaklaşımlardır [17]. Spektral yaklaşımlarda görüntünün, uzaysal domaindeki gri seviye değerleri Gabor filtreleme, Fourier dönüşümü ve Dalgacık dönüşümü gibi işlemler ile farklı domainlere dönüştürülür. Elde edilen bu bilgiler öznelik çıkarımı yapılarak sınıflandırma algoritmaları için girdi olarak alınmaktadır [16].

2.4. K-Means Algoritması

Kullanılan en yaygın kümeleme algoritmalarından biri olan K-means algoritması her verinin sadece bir kümeye dâhil olabilmesine izin vermektedir [18]. K-means algoritması için öncelikle verinin kaç kümeye bölüneceği belirlenir. Oluşturulacak kümelerin kendi içlerinde benzerlikleri yüksek ve kümeler arasındaki benzerliğin düşük olması hedeflenmektedir. Küme içi benzerlik kümedeki verilerin ortalama değeri ile ölçülmektedir ve bu da kümenin ağırlık merkezidir. K-means algoritması n tane nesneyi k adet kümeye bölmektedir [19]. K-means algoritmasının uygulama adımları dört adımda özetlenmektedir;

1.Adım: Veriler uygun k adet kümeye bölünür; $\{C_1, C_2, \dots, C_k\}$

2.Adım: Küme merkezleri hesaplanır;

$$w_i = \frac{1}{K_i} \sum_{j=1}^{K_i} w_{ij} \quad , \quad i = 1, 2, \dots, K \quad (6)$$

3.Adım: Bulunan her bir küme merkezi w_i için ;

3.1. Adım: Tüm nesnelere merkeze olan uzaklıkları denklem (7) ile hesaplanır.

$$\|w_i - \bar{w}_t\| \leq \|w_i - \bar{w}_j\| \quad , \quad j = 1, \dots, K, \quad j \neq s \quad (7)$$

3.2.Adım: Elde edilen sonuca göre her nesne k adet kümeden kendilerine en yakın olan kümeye yerleştirilir.

4.Adım: Küme merkezleri stabilize olana kadar 2. ve 3.adımlar tekrar edilir [20].

2.5. J48 Karar Algoritması

J48 bir karar ağacı algoritmasıdır ve öznelik vektörünün çeşitli durumlar için davranış şeklini tespit etmektedir. Algoritma hedef değişkenin tahmini için kurallar oluşturur. Elde edilen kural ağacı ile verilerin sınıflandırılması kolaylıkla yapılabilir duruma gelir [21].

Karar ağacı oluşturma süreci temelde ağaç oluşturma ve ağaç budama olarak iki basamaktan oluşmaktadır. Ağaç oluşturmada, kök düğümünden başlayarak her yinelemeye seçilecek niteliğe göre farklı dallar oluşur. Ayrım yapacak nitelik kalmayana kadar bu süreç devam eder. Düğümlerdeki nesnelere ne kadar homojen dağılırsa dallanma yapısı o kadar verimli olacaktır [22]. J48 karar ağacı algoritmasının sözde kodu aşağıdaki gibidir [23].

Adım 1: MaxBilgi değişkenini sıfıra eşitle.

Adım 2: Güncel veri setinin entropisini hesapla.

Adım 3: FOR veri setindeki her bir özellik

- 3.1. Güncel veri setindeki özelliklerden bir tanesini seç.
- 3.2. Seçilen özellik için bilgi değerini hesapla.
- 3.3. Seçilen özellik için bilgi kazanımını hesapla.
- 3.4. IF bilgi kazanımı > MaxBilgi then
 - 3.4.1. MaxBilgi değişkenine bilgi kazanımı değerini ata.

Adım 5: END FOR

Adım 6: MaxBilgi değerine sahip özelliği ağaca ekle.

Adım 7: MaxBilgi değerine sahip özelliği veri setinden sil.

Adım 8: Until veri setindeki özellik sayısı = 0

Adım 9: Bitir

2.6. Linear Regresyon

Linear regresyon, iki sayısal değer arasındaki ilişkiyi özetler. Doğrusal bir lineer regresyon modeli denklem (8) ile yazılmaktadır.

$$y = a + bx + \varepsilon \quad (8)$$

x : bağımsız değişken

y :bağımlı değişken

a :kesişim noktası

b :eğim

ε : rastsal hata

Regresyon modelini oluşturmada en yaygın kullanılan yöntem en küçük kareler yöntemidir. Bu sayede her veri noktasının lineer denklem doğrusuna olan dik uzaklıkları hesaplanarak minimize edilir ve böylece daha doğru modelin kurulması sağlanır [24].

2.7. Naive Bayes Sınıflandırma

Veri madenciliği ve örüntü tanıma gibi alanlarda yaygın olarak kullanılan sınıflandırma yöntemlerinden biri olan Naive Bayes, koşullu olasılıklar arasında bağıntı kuran Bayes teoremine dayanmaktadır [25].

Veri setindeki her bir örnek $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ değerlerinden oluştuğunda toplam n tane sınıf oluşursa sınıfı belirlemek için (9) olasılık denklemi kullanılır [26].

$$P(C_i|X) = \frac{P(C_i|X)P(C_i)}{P(X)} \quad (9)$$

X : sınıflandırılacak veri seti

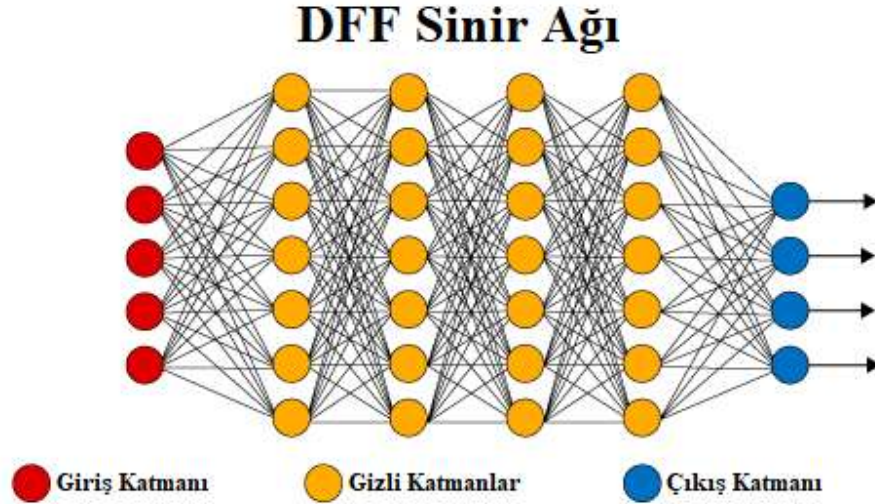
C : sınıf sayısı

P : olasılık değeri

Hesaplamadaki X_i değerleri birbirinden bağımsız olarak alınır ve payda değerlerinin eşit olduğu bilindiğinden , $P(C_i|X)$ içinde pay değerleri karşılaştırılır. En büyük pay değeri seçilerek bilinmeyenin hangi sınıfa ait olduğu belirlenir [27].

2.8. Derin İleri Beslemeli Sinir Ağı (Deep Feedforward Neural Network-DFF)

Derin ileri beslemeli sinir ağı, bir ileri beslemeli yapay sinir ağı sınıfıdır. DFF, en az üç düğüm katmanından oluşur (Şekil 1). Giriş düğümleri haricinde, her düğüm doğrusal olmayan bir etkinleştirme işlevi kullanan bir nöronur. DFF, eğitim için geri yayılım (backpropagation) olarak adlandırılan denetimli bir öğrenme tekniğini kullanır. Çok tabakalı ve lineer olmayan aktivasyon, DFF'yi doğrusal bir algılayıcıdan ayırır. Doğrusal olarak ayrılabilir olmayan verileri ayırt edebilir [28].



Şekil 1. DFF sinir ağı yapısı

DFF’de sinir ağına ait veriler aşağıdaki adımlarla hesaplanmaktadır [29].

- Adım 1: Giriş değerleri daha önce belirlenmiş ağırlık değerleriyle (w) çarpılır.
 Adım 2: Adım 1’de elde edilen değer ile bias (b) değeri ile toplanır. w ve b parametreleri çıktı sonucunu en iyi verecek şekilde her eğitim adımında (epoch) değiştirilmektedir.
 Adım 3: Çıkış fonksiyonunun doğrusal fonksiyon gibi davranmaması için aktivasyon fonksiyonuna tabi tutulur. Buradaki amaç ise sinir ağının öğrenme gücünü arttırmaktır.

Çalışmada modellenen DFF sinir ağına ait parametreler Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. DFF sinir ağı parametreleri

Giriş Katmanı Hücre Sayısı	6
Gizli Katman Sayısı	3
Gizli Katman Hücre Sayıları	10, 8, 12
Gizli Katmanda Kullanılan Aktivasyon Fonksiyonları	ReLU, ReLu, Sigmoid
Çıkış Katmanı Hücre Sayısı	1
Optimizör	Adamax
Batch_Size	8
Test Size	0,10

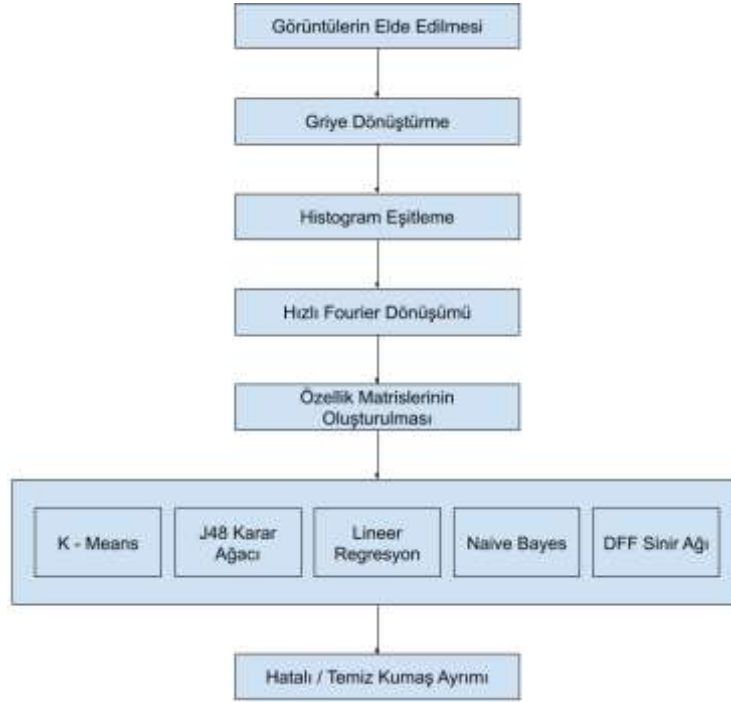
3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Görüntülerin Elde Edilmesi

Bu çalışmada kullanılmak üzere 52 adet hatalı, 25 adet temiz olmak üzere toplamda 77 adet; farklı renk, örgü tipine sahip kumaş görüntüsü 3872×2592 çözünürlükte çekilmiştir. Elde edilen görüntüler JPEG formatında kaydedilmiş ve görüntü işleme yöntemleri uygulanmıştır.

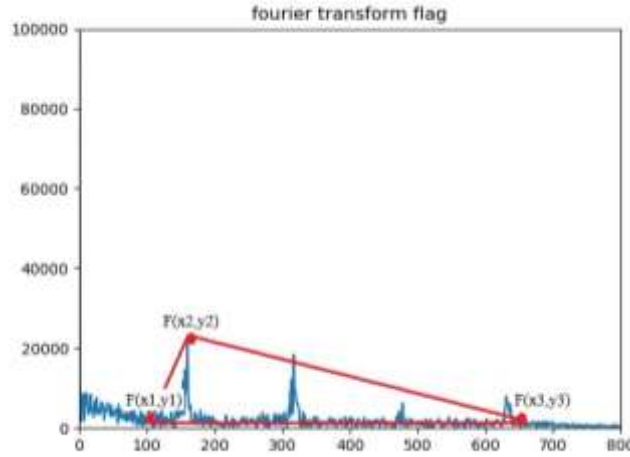
3.2. Görüntü İşleme Yöntemleri ve Özellik Matrisinin Elde Edilmesi

Hatalı ve hatasız kumaşlardan elde edilen görüntü kümesi kodlanmış görüntü işleme algoritmalarından geçirilerek Fourier analizi ile hata grafikleri elde edilmiştir. Yapılan çalışmanın genel iş akışı Şekil 2’de gösterilmiştir.



Şekil 2. Genel iş akışı

Fourier analizinde elde edilen görüntü grafiklerinde hatalı kumaşlardaki grafik kırılımları ve en yüksek tepe değeri alınarak öznelik matrisi çıkarılmıştır.



Şekil 3. Hatalı Kumaş Fourier Grafiği

Gri seviyedeki görüntüyü büyüklük ve faza dönüştürmek için hızlı Fourier dönüşümü kullanılmaktadır [30]. Görüntünün Fourier spektrumu kumaşın örgü tekniğinden etkilenmez iken dokusundaki farklılıklarda kıvrım yapmaktadır [16]. İncelenen 77 adet kumaş görüntüsünde hatalı görüntülerin Fourier spektrumu simetrik kıvrımlar yaparken, hatasız kumaş görüntülerinde kıvrım tek tepe değerli veya tek düze ilerlediği saptanmıştır. Buna göre Şekil 3'te ara hatasının görüldüğü denim kumaş görüntüsünün Fourier grafiği örneklenmiştir. Burada;

$F_i(x_1, y_1)$: Hata başlangıç değeri

$F_t(x_2, y_2)$: Hata tepe noktası

$F_s(x_3, y_3)$: Hata bitiş değeri olarak alınmıştır.

Buna göre öznelik matrisi için denklem (10) eşitlikleri hesaplanmıştır.

$$p_1 = |F_i F_t| \quad (10)$$

$$p_2 = |F_t F_s|$$

$$p_3 = |F_i F_s|$$





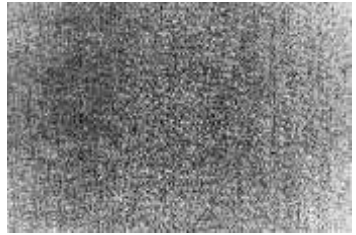

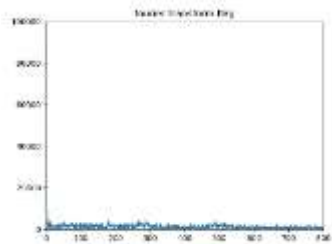
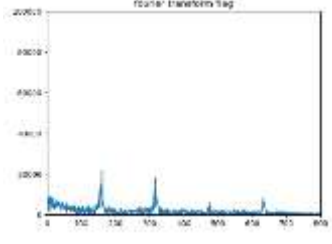
$$p_4 = \frac{p_1}{p_2}$$

$$p_5 = \frac{p_2}{p_3}$$

$$p_6 = \frac{p_1}{p_3}$$

Hatalı görüntüler için “H”, hatasız görüntüler için “T” sınıf etiketleri verilerek; $M = [p_1, p_2, p_3, p_4, p_5, p_6, H]$ özellik vektörü oluşturulmuştur. Her bir görüntü için oluşturulan bu vektörler ile (77×7) boyutunda özellik matrisi elde edilmiştir ve K-means, lineer regresyon, J48 karar ağacı, Naive Bayes, DFF Neural Network algoritmalarına girdi olarak verilmiş hatalı-hatasız ayrımının yapılması sağlanmıştır. Buna göre bir görüntünün tüm aşamaları Tablo 2.’de gösterilmiştir.

Tablo 2. Hatalı ve hatasız görüntünün işleme aşamaları

Yöntem	Hatasız Görüntü	Hatalı Görüntü
Orijinal		
Gri Seviye		
Histogram Eşitleme		
Fourier Analiz		

Özellik değerleri elde edildikten sonra her görüntüye ait altı özellik kullanılarak sınıflandırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Lineer Regresyon, Naive Bayes, DFF Sinir Ağı ve J48 yöntemlerinde 10 katlı çapraz doğrulama kullanılarak sonuçlar hesaplanmıştır. K Means yönteminde ise sınıf etiketleri

kullanılarak kümelerin değerlendirilmesi gerçekleştirilmiştir. Sınıflandırma işlemine ait elde edilen sonuçlar Tablo 3’de gösterilmiştir. Tablo 3’de yer alan sonuçlar doğrultusunda en düşük hata değerinin J48 yöntemiyle elde edildiği tespit edilmiştir.

Tablo 3. Sınıflandırma yöntemlerine ait hata oranları

Sınıflandırma		
	RMSE	Doğruluk Yüzdesi
Linear Regression	3,8626	-
Navie Bayes	0,4032	% 83,12
DFF Neural Network	0,3646	% 85,71
J48	0,3448	% 87,01

Sınıflandırma ve kümeleme işlemleri farklı teknikler olduğundan yöntemlerin değerlendirme kriterleri de farklılık göstermektedir. Hatalı kumaşların tespiti için K Means kümeleme algoritmasına ait elde edilen hata değerleri Tablo 4’te gösterilmiştir. Doğruluk yüzdeleri bakımından sınıflandırma ve K Means kümeleme yöntemi karşılaştırıldığında denim kumaş hatalarının tespitinde sınıflandırma yöntemlerinin daha başarılı olduğu görülmüştür.

Tablo 4. Kümeleme yöntemine ait hata oranları

Kümeleme		
	Doğruluk Yüzdesi	Küme İçi Hata Karelerinin Toplamı
K Means	% 62,338	3,742

Hem kümeleme hem de sınıflandırma yöntemleri genel olarak karşılaştırıldığında yine J48 algoritması en doğru sonuçları üretmiştir. Tablo 5’te J48 algoritmasına ait karmaşıklık matrisi verilmiştir. Yöntemin yüzde 87 doğruluk oranı ile hataları tespit ettiği görülmektedir.

Tablo 5. J48 yöntemine ait doğruluk değerleri

J48							
Karmaşıklık Matrisi							
		Gerçek Değer					
Tahmi		H	T	Precision	Recall	F-Measure	Sınıf
	H	46	4	0,920	0,885	0,902	H
	T	6	21	0,778	0,840	0,808	T

J48 yönteminden sonra en başarılı sonuçları veren yöntem DFF Neural Network yöntemi olmuştur. DFF Neural Network yöntemine ait elde edilen karmaşıklık matrisi Tablo 6’ da gösterilmiştir.

Tablo 6. DFF Neural Network yöntemine ait doğruluk değerleri

DFF Neural Network							
Karmaşıklık Matrisi							
		Gerçek Değer					
Tahmin		H	T	Precision	Recall	F-Measure	Sınıf
	H	47	6	0,887	0,904	0,895	H
	T	5	19	0,792	0,76	0,776	T

DFF Neural Network bir derin öğrenme yöntemidir ve genel olarak klasik sınıflandırma / yapay sinir ağları tekniklerine göre daha başarılıdır. Ancak çalışmamızda kullanılan veri seti üzerinde J48 yöntemi DFF Neural Network Yönteminden daha başarılı sonuçlar üretmiştir. DFF Neural Network yönteminin daha başarısız olmasında en temel etken veri setinin sınırlı sayıda veri içermesidir. Derin

öğrenme yöntemlerinde veri sayısının başarı üzerindeki etkisi daha önceki çalışmalarda da [31] gösterilmiştir. Veri sayısının sınırlı olması nedeniyle öğrenme tam olarak gerçekleştirilememiştir.

4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada, denim kumaşlardaki hataların tespiti ve sınıflandırılması için görüntü işleme yöntemleri kullanılarak 77 denim kumaşa ait görüntüden altı farklı özellik çıkarılmıştır. Elde edilen özellikler kullanılarak sınıflandırma ve kümeleme yöntemleri üzerinden veri seti içerisindeki hatalı kumaşların tespiti sağlanmıştır.

Çalışma sonunda denim kumaşlardaki hata tespiti için sınıflandırma yöntemlerinin kümeleme yöntemlerinden daha doğru sonuçlar ürettiği tespit edilmiştir. Aynı zamanda sınıflandırma yöntemleri kendi içerisinde karşılaştırıldığında J48 algoritmasının DFF Sinir Ağı, Naive Bayes ve Lineer Regresyon yöntemlerine göre denim kumaşlarda hata tespiti için daha uygun olduğu tespit edilmiştir. İleriki çalışmalarda farklı özellik indirgeme teknikleri kullanılarak denim kumaşlardaki hata tespit oranının artırılması hedeflenmektedir.

Teşekkür

Bu çalışma esnasında, görüntü toplama işlemi için desteklerinden dolayı Güncel Yazılım firmasına ve çalışanlarına teşekkür ederiz.

Yazarların Katkısı

Zeynep PINAR kavramsallaştırma, araştırma, algoritma kodlama, yazma ve düzenleme; Fidan KAYA GÜLAĞIZ araştırma, algoritma kodlama, yazma ve düzenleme; Mehmet Ali ALTUNCU araştırma, inceleme, yazma ve düzenleme; Suhap ŞAHİN denetim, inceleme ve gözden geçirme konularında katkı sağlamıştır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar

- [1] Kısaoğlu Ö. 2006. Kumaş Kalite Kontrol Sistemleri. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 12 (2): 233-241.
- [2] Ala D.M., İkiz Y. 2015. Dokuma Üretimi Süresince Oluşan Dokuma Hatalarının Belirlenmesine Yönelik İstatistiksel Bir Araştırma. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 21 (7): 282-287.
- [3] Dorrity L., Vachtsevanos G., Jasper W. 1995. Real-Time Fabric Defect Defection & Control in Weaving Processes. National Textile Center, G94- 2: 143-152.
- [4] Büyükkabasakal K. 2010. Kumaş Dokuma Hatalarının Tespiti ve Sınıflandırılması. Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- [5] Yıldız K. 2014. Kumaş Hatalarının Isıl Görüntüleme ve Görüntü İşleme Teknikleri ile Tespit Edilmesi. Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [6] Agilandeswari V., Anuja J., Elizabeth Dona George. 2014. Fabric quality testing using image processing. International Conference on Information Communication and Embedded Systems (ICICES2014), IEEE, 1-4.
- [7] Saklı F., Zitouni B., Jmali M. 2014. Fabric Defects Detecting Using Image Processing And Neural Networks. 2014 Information and Communication Technologies Innovation and Application (ICTIA), IEEE, 1-6.

- [8] Liu M., Sun J., Fan Z., Zhang S. 2014. Automatic location and extraction of woven fabric blocks based on Gaussian blur and maximization thought. 2014 International Conference on Mechatronics and Control (ICMC), IEEE, 950-954.
- [9] Hanbay K. 2016. Yuvarlak Örgü Makineleri İçin Görüntü İşleme Tabanlı Kumaş Hatası Tespit Sistemi. Doktora Tezi, İnönü Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Malatya.
- [10] Titrek N.G. 2016. Fabric Defect Detection In Frequency Domain Using Fourier Analysis. Yüksek Lisans Tezi, Işık Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [11] Karataş İ., Soyaslan D. 2016. Tekstil Endüstrisinde Yapay Görme ile Hata Tespit Uygulamaları. Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 7.Özel (Special) 1: 51-57.
- [12] Çakır N. 2010. Kot Pantolon Üretiminde Bitim İşlemlerinin ve Farklı Denim Kumaşların Fit Üzerine Etkileri. Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.
- [13] Tahran M. 2005. Eskitme Yöntemlerinin Denim Mamullerinin Performans Özelliklerine Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- [14] TSE. 2005. Dokunmuş Kumaşlar Hata Tarifleri Terimler, TSE, Ankara, Türkiye, TS 471 ISO 8498.
- [15] Altuncu M. 2015. Temel Görüntü İşleme Algoritmalarının Gerçek Zamanlı Olarak FPGA İle Gerçeklenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- [16] Hanbay K., Talu M. 2014. Kumaş Hatalarının Online/Offline Tespit Sistemleri ve Yöntemleri. SAÜ Fen Bilimleri Dergisi, 18 (1): 49-69.
- [17] Mahajan P.M., Kolhe S.R., Pati P.M. 2009. A review of automatic fabric defect detection techniques. Advances in Computational Research, 1 (2): 18-29.
- [18] Davidson I. 2002. Understanding K-means non-hierarchical clustering. SUNY Albany Technical Report, 2: 2-14.
- [19] Yıldız K., Çamurcu Y., Doğan B. 2010. Veri Madenciliğinde Temel Bileşenler Analizi ve Negatif Matris Çarpanlarına Ayırma Tekniklerinin Karşılaştırmalı Analizi. Akademik Bilişim'10, 248.
- [20] Pena J.M., Lozano J.A., Larranaga P. 1999. An empirical comparison of four initialization methods for the k-means algorithm. Pattern recognition letters, 20 (10): 1027-1040.
- [21] Kaur G., Chhabra A. 2014. Improved J48 classification algorithm for the prediction of diabetes. International Journal of Computer Applications, 98 (22): 13-17.
- [22] Coşkun C. 2010. Veri Madenciliği Algoritmaları Karşılaştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Dicle Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Diyarbakır.
- [23] Demirbulut Y.E., Aktaş M.S., Kalıpsız O., Bayracı S. 2017. İstatistiksel ve Makine Öğrenimi Yöntemleriyle Kredi Skorlama. 272-284.
- [24] Linear Regression, Yale Üniversitesi, İstatistik ve Veri Bilimleri Bölümü, Ders Notları, <http://www.stat.yale.edu/Courses/1997-98/101/linreg.htm> (Erişim Tarihi: 07.05.2019).
- [25] Hand D.J., Keming Y. 2001. Idiot's Bayes—not so stupid after all?. International statistical review, 69 (3): 385-398.
- [26] Ren J., Lee S.D., Chen X., Kao B., Cheng R., Cheung D. 2009. Naive Bayes Classification of Uncertain Data. Data Mining, ICDM'09, 944-949.
- [27] Yıldız K. 2014. Kumaş Hatalarının Isıl Görüntüleme ve Görüntü İşleme Teknikleri İle Tespit Edilmesi. Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [28] Dutta S., Jha S., Sankaranarayanan S., Tiwari A. 2018. Output range analysis for deep feedforward neural networks. In: NASA Formal Methods Symposium (pp. 121-138), Springer, Cham.
- [29] A Quick Primer on Feedforward Neural Networks, <https://builtin.com/data-science/feedforward-neural-network-intro> (Erişim Tarihi: 23.11.2019).
- [30] Ismail N., Syahrir W.M., Zain J.M., Tao H. 2011. Fabric authenticity method using fast Fourier transformation detection. In: International Conference on Electrical, Control and Computer Engineering 2011, IEEE, 233-237.
- [31] Gündüz G., Cedimoğlu İ.H. 2019. Derin Öğrenme Algoritmalarını Kullanarak Görüntüden Cinsiyet Tahmini. Sakarya University Journal of Computer and Information Sciences. 2 (1): 9-17.

Araştırma Makalesi / Research Article

Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Evliya Çelebi Yerleşkesine Gelen Toplu Taşıma Araçlarının Hizmet Düzeyinin TCRP 100 ve TCRP 165 Raporlarına Göre Değerlendirilmesi

Polat YALINIZ^{1*}, Yaşar VİTOŞOĞLU¹, Şafak BİLGİÇ²

¹Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kütahya

²Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Eskişehir

(ORCID: 0000-0003-0373-9727) (ORCID: 0000-0002-5543-9673) (ORCID: 0000-0002-9336-7762)

Öz

Bu çalışmada, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Evliya Çelebi Yerleşkesine yolcu taşıyan toplu taşıma sisteminin hizmet düzeyi ele alınmıştır. İlk olarak, Evliya Çelebi Yerleşkesinde toplu taşıma hizmetinin kalitesi, sistemin ulaşılabilirliği, hizmet sıklığı, hizmet saatleri ve hizmet kapsamı açılarından incelenmiştir. İkinci olarak, Evliya Çelebi Yerleşkesinde toplu taşıma sistemi tarafından sağlanan rahatlık ve kolaylık araştırılmıştır. Bu amaçla, araçlardaki genel doluluk seviyeleri, sefer aralıklarına bağlılık ve toplu taşıma ile otomobil seyahat süreleri arasındaki fark incelenmiştir. Gerçekleştirilen analizlerde, TCRP 100 ve TCRP 165 raporlarındaki yöntemler izlenmiştir. Ayrıca, iki rapor arasında bazı kriterler bakımından bulunan farklılıklar da çalışmada açıklanmıştır. Bununla birlikte, toplu taşıma hizmet düzeyinin toplu taşıma ile otomobil seyahat sürelerinin farkı ve toplu taşıma ile otomobil seyahat sürelerinin oranı bakımından saptanması, bu araştırmanın temelini oluşturmuştur. Bu amaçla, Google Maps'te bulunan "yol tarifleri" özelliği, otomobil kullanımına bir referans olması açısından kullanılmıştır. Böylece, Kütahya'daki Evliya Çelebi Yerleşkesine yolcu taşıyan tüm otobüs toplu taşımacılık hatlarının seyahat süreleri, aynı güzergâh için Google Maps yardımıyla oluşturulan güzergâh verileri esas alınarak belirlenen özel araç seyahat süreleri ile karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak, toplu taşıma hizmet düzeyi, toplu taşıma ile otomobil seyahat süreleri arasındaki fark ve toplu taşıma ile otomobil seyahat süreleri arasındaki oran olarak değerlendirilmiştir.

Anahtar kelimeler: Toplu taşıma, hizmet düzeyi, google maps.

Evaluation of Level of Service for Public Transportation Vehicles Incoming Evliya Çelebi Campus of Kütahya Dumlupınar University According to TCRP 100 and TCRP 165 Reports

Abstract

In this study, the level of service of public transportation system carrying passengers to Evliya Çelebi Campus of Kütahya Dumlupınar University has been discussed. At first, the quality of public transportation service in Evliya Çelebi Campus was examined in terms of accessibility of the system, service frequency, hours of service and service coverage. Secondly, the comfort and convenience provided by the public transportation system in Evliya Çelebi Campus was investigated. For this purpose, the general occupancy levels in vehicles, the adherence to headways and the difference between the travel times of public transport and automobile were examined. In the analyses performed, the methods in TCRP 100 and TCRP 165 reports were followed. In addition, the differences between the two reports in terms of some criteria were also explained in the study. However, determining the level of service for public transport in terms of the difference between public transport and automobile travel times and the ratio of public transport and automobile travel times formed the basis of this study. For this purpose, the feature of "driving directions" in Google Maps was used in terms of being a reference to automobile usage. Thus, the travel times of all bus public transportation lines carrying passengers to Evliya Çelebi Campus in Kütahya were compared with the private car travel times determined according to the route data created with the help of Google Maps for the same route. As a result, the level of service for public transport was evaluated as the difference between public transport and automobile travel times and the ratio between public transport and automobile travel times.

Keywords: Public transport, level of service, google maps.

*Sorumlu yazar: polat.yaliniz@dpu.edu.tr

Geliş Tarihi: 11.10.2019, Kabul Tarihi: 30.10.2020

1. Giriş

Toplu taşımada hizmet kalitesini değerlendirme ve iyileştirme, toplu taşıma işletmecilerinin çoğunluğu için yüksek önceliğe sahiptir. Hizmet sektörü bileşenlerinden birisi olan toplu taşımanın kalite düzeyinin ölçülmesinin ve bunun sürekli olarak geri beslemelerle kontrol edilmesinin, ileriye dönük olarak kullanıcıların güven ve sadakatini artıracak da bir gerçektir. Öte yandan kentlerde sunulan toplu taşıma hizmetlerinde, genel olarak söylemek gerekirse, bir çeşit tekelci hizmet durumu vardır ve bu husus, toplu taşıma hizmetinin dar gelirli kesimler tarafından, sunulan hizmetin kalitesi ne olursa olsun kullanılma mecburiyeti gerçeğini ortaya çıkartmaktadır. Yine de, özellikle büyük kentlerde, dayanılmaz derecede artan trafik tıkanıklığı karşısında, artık özel otomobil kullanıcılarını toplu taşımaya çekebilecek tedbirler alınmaktadır. Bu doğrultuda toplu taşıma hizmet kalitesinin ölçülmesi (birbiri ile rekabet eden toplu taşıma türleri varsa her birinin ayrı ayrı ölçülmesi) ve bu ölçüm sonucuna göre belirlenecek iyileştirmişler sayesinde daha çok özel otomobil yolculuklarının toplu taşımaya çekilebilmesi mümkün olabilmektedir.

Toplu taşımada hizmet kalitesi, yolcuların toplu taşımanın performansına ilişkin algılarını yansıtır. Hizmet kalitesini tanımlamak ve değerlendirmek için kullanılan çeşitli yaklaşımlar ve teknikler vardır. Bu yaklaşımlar ve teknikler, aşağıda belirtildiği gibi üç ana grupta toplanabilir:

- Toplu taşımada müşteri memnuniyeti, bir müşterinin beklentilerini genel olarak karşılama düzeyi olarak tanımlanabilir ve gerçekten karşılanmış olan müşteri beklentilerinin yüzdesi olarak ölçülür.
- Müşteri sadakati, tutum ve davranışların bir kombinasyonu ile ifade edilir ve genellikle müşteri memnuniyeti tarafından yönlendirilir. Ancak, toplu taşıma hizmeti ile devam eden bir ilişkide sürdürülebilir yatırım yapma, kısmen müşterinin taahhüdünü de içerir.
- Kıyaslamalar, kaliteyi farklı zaman dilimlerinde (zaman serisi analizi) veya aynı anda farklı güzergâhlar arasında ya da farklı toplu taşıma işletmecileri arasında (kesit analizi) karşılaştırmak için kullanılabilir [1].

Yukarıdaki yaklaşımlar, başta Avrupa Birliği'nde (AB) ve Kuzey Amerika'da olmak üzere çeşitli ülkelerde farklı önem düzeylerinde ele alınmıştır. Ulaştırma Araştırma Kurulu (Transportation Research Board - TRB) Toplu Taşıma Kapasite ve Hizmet Kalitesi El Kitabı [2], Ulaştırma Araştırma Kurulu (TRB) Müşteri Memnuniyetini ve Hizmet Kalitesini Ölçme El Kitabı [3] ve Avrupa Birliği-Avrupa Standardizasyon Komitesi (European Community-European Committee for Standardization-EC-CEN) Ulaştırma-Lojistik ve Hizmetler-Toplu Yolcu Taşıma-Hizmet Kalitesi Tanımı, Hedefleme ve Ölçüm [4], toplu taşıma kalitesini ölçmek için yayımlanan el kitaplarından bazılarıdır. Kaliteyi arttırmaya yönelik bu genel süreç, müşterilerin önceliklerinin ve ihtiyaçlarının belirlenmesini, müşterilerin memnuniyetinin uygun indeksler kullanılarak ölçülmesini, ilgili hizmet parametrelerini değerlendirmek için bu geri bildirim kullanılması ve son olarak da müşterilere sağlanan hizmetleri iyileştirmeye yönelik önlemlerin tanımlanmasını ve uygulanmasını gerektirmektedir.

Toplu taşıma kalite yönetimi alanında, çeşitli araştırma kuruluşları tarafından da ek çaba harcanmıştır. Bunların en önemlilerinden bazıları, toplu taşıma hizmetlerinin planlanması ve sağlanmasında görev alanlar için talep tahmini üzerine pratik bir rehberlik sağlamayı amaçlayan Toplu Taşımacılığa Olan Talep: Pratik Bir Kılavuz [5] ile toplu taşımada kıyaslama ve kalite yönetim unsurlarını ele alan PORTAL [6], EQUIP [7] ve QUATTRO [8] gibi Avrupa Birliği'nce (AB) gerçekleştirilen çeşitli araştırma ve geliştirme çalışmalarıdır. Örneğin, QUATTRO projesi, çeşitli kalite seviyelerinin daha iyi koordine edilebilmesine ve sunulan hizmetin optimize edilmesine dayanan "toplular taşımanın kalite döngüsü" kavramını geliştirmiştir.

Yunanistan'da Yunan Ulaştırma Enstitüsü toplu taşıma işletmecileri için kalite kontrol programlarını desteklemektedir. Bu programların temel amacı, şehirlerdeki toplu taşıma sistemlerinin kalitesini ve performansını, zamanında performans, terminalerde ve duraklarda ortalama bekleme süresi, araç yükü, ortalama güzergâh hızı, terminal ve duraklardaki koşullar, güvenlik, bilgi sağlama, erişilebilirlik ve diğerleri gibi çeşitli performans ve kalite göstergelerini kullanarak değerlendirmektir. Bu programların ek hedefleri, aşağıdaki hususları kapsamaktadır:

- sunulan hizmetlerin kalite seviyelerinin sürekli izlenmesi;
- toplu taşıma hizmetlerinin iyileştirilmesine yönelik acil eylemlerin tanımı ve uygulanması;
- yolcuların önceliklerinin ve ihtiyaçlarının belirlenmesi;
- ilgili taraflar arasında etkin iletişim ve işbirliğinin sağlanması ve karar ve politika oluşturma süreçlerinin desteklenmesi.

Yukarıda bahsedilen kalite kontrol programları, Atina ve Selanik'teki beş farklı toplu taşıma sistemine uygulanmıştır. Müşterilerin memnuniyetine değinen programlar kapsamında, yolculardan bu beş sistemin belirli niteliklerini, hem önem derecelerini hem de mevcut taşımacılık hizmetlerine ilişkin memnuniyet düzeylerini dikkate alarak değerlendirmeleri istenmiştir.

Bu araştırmanın, özellikle kullanıcı davranışlarının değişkenliğini ve farklı toplu taşıma sistemlerinin kullanımından elde ettikleri memnuniyet düzeylerini analiz etmek için bir metodolojiyi ana hatlarıyla belirlemek, bu metodolojinin Yunanistan'daki beş farklı toplu taşıma sistemine uygulanmasından elde edilen sonuçları sunmak ve toplu taşıma işletmecileri ile politika yapımcılarının kullanıcıların davranışlarını ve toplu taşımayı kullanmalarındaki seçimlerini etkileyen kilit faktörleri daha iyi anlamalarına imkân verecek öneriler geliştirmek olmak üzere üç temel amacı vardır. Bu geri bildirim, aynı zamanda toplu taşıma işletmecileri tarafından politika planlarını buna göre ayarlamak ve müşterilerin ihtiyaç ve beklentilerini daha iyi karşılayabilecek eylemleri tanımlamak için de kullanılabilir [1].

2. Literatür Araştırması

Hizmet kalitesinin, yolcuların davranışsal niyetleri üzerinde olumlu bir etkisinin olduğu kanıtlanmıştır [9]. Bir ulaştırma sisteminin hizmet kalitesi, yolculuk yapanların özel araçlarını kullanmak yerine toplu taşıma sistemini kullanmayı tercih etmelerini etkileyen kilit bir faktördür. Herhangi bir ulaşım sistemindeki hizmet kalitesinin ölçümü, birbirleriyle rekabet eden toplu taşıma kuruluşları arasında kaynakların dağıtılmasında önemli bir husus olmuştur ve olmaya devam edecektir. Bir ulaştırma sisteminin hizmet kalitesini değerlendirme problemi birçok çalışmada araştırılmış ve büyük katkılar sağlanmıştır [1, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16]. Bazı araştırmacılar, hizmet kalitesi ve bununla ilgili yapılar arasındaki ilişkileri göstermek için istatistiksel hipotez testlerini uygulamıştır. Bir örnek olarak, Friman [17], kalite iyileştirmelerinin toplu taşıma hizmetlerinden duyulan memnuniyet ve algılanan olumsuz kritik olayların sıklığı üzerine etkilerinin olup olmadığını incelemiştir. Öteki bazı araştırmacılar, taşıma hizmeti kalitesini değerlendirmek için ölçütlerin bağımsız olduğunu varsayan Çok Ölçütlü Karar Verme (ÇÖKV) yöntemlerini kullanmıştır. Örneğin, Gomes [18], kentsel ulaşım sistemi projelerini sıralamak için bir Çok Ölçütlü Karar Verme Modeli sunmuştur. Ancak gerçek dünyada, ölçütler bağımsız değildir. Diğer araştırmacılar, ölçütler arasındaki karşılıklı bağımlılığı göz önünde bulundurmıştır; ancak, yine de toplulaştırılmış bir performans puanı elde etmek için katkı modelleri (örneğin, Basit Katkı Ağırlık Yöntemi (the Simple Additive Weight - SAW), gri ilişkiler, Çok Kriterli Optimizasyon ve Uzlaşma Çözümü (VlseKriterijumska Optimizacija Kompromisno Resenje - VIKOR) ve İdeal Çözüme Benzerlik Yoluyla Sıralama Önceliğine İlişkin Teknik (the Technique for Order Preference by Similarity to an Ideal Solution -TOPSIS)) kullanmıştır [19-21].

Ulaştırma hizmeti ile ilgili daha önce gerçekleştirilen çalışmalar, verimlilik ve performansın ölçülmesi üzerine odaklanmıştır [22-24]. Gerçekten, toplu taşımanın performansı, etkinlik, etkililik, verimlilik ve hizmet kalitesini de içermektedir [15]. Etkinlik, girdilerin üretilen hizmetle ilişkisi iken (örneğin, araç kilometre), etkililik ise girdilerin tüketilen hizmetle ilişkisidir (örneğin, yolcu kilometre) [25]. Bir toplu taşıma hizmetinin performansında ve sağlanmasında önemli ve hayati olan şey, perspektife büyük ölçüde bağlıdır. Geleneksel maliyet etkinliği göstergeleri (örneğin, araç gelir kilometresi ve/veya saati başına işletme gideri) ve maliyet etkililiği göstergeleri (örneğin, yolcu kilometresi ve/veya yolcu seyahati başına işletme gideri), aynı zamanda temel perspektifler olan müşteri odaklı ve toplum konularıyla bağlantılı olmamasına rağmen, toplu taşıma kuruluşu perspektifinden performans ölçümleri olarak göz önüne alınabilir [26]. Başka bir deyişle, müşterinin bakış açısı, toplu taşımanın performansını değerlendirmek için en uygun olanıdır. Yalnızca müşteriler, toplu taşıma sistemlerinde hizmet kalitesini gerçekten tanımlayabilir.

Daha sonra yapılan birkaç çalışma, müşteriler tarafından hizmet kalitesinin ölçülmesine yeniden odaklanmıştır [10, 12, 15, 27]. Hensher ve diğerleri [10] otobüs seyahat süresi, otobüs ücreti, otobüs durağına yürüme süresi, koltuk bulunabilirliği, bilgi sağlanması, sürücü tutumu gibi 13 özelliği kapsayan genel bir hizmet kalitesi indeksini ölçmek ve hesaplamak için bir yöntem belirlemiştir. Odak grup görüşmesine dayanarak, Hu ve Jen [27], otobüs hizmet kalitesiyle ilgili dört boyut ve 20 madde içeren bir ölçek geliştirmiştir. Dört boyut, yolcular, maddi servis donanımı, hizmet kolaylığı ve işletim yönetimi desteğiyle etkileşimi kapsamaktadır. Eboli ve Mazzulla [15], hizmet performansının hem öznel hem de nesnel ölçümlerini dikkate alacak şekilde ulaştırma hizmeti kalitesini değerlendirmenin bir

yolunu sağlayan bir yöntem önermiştir. Yolcuların algılarının yargısı, hizmet kalitesinin öznel bir ölçüsü olarak kabul edilirken, toplu taşıma kuruluşları tarafından sağlanan performans ölçümlerinin de hizmet kalitesinin nesnel bir ölçüsü olduğu düşünülmektedir. Toplu taşıma sistemleri üzerine yolcu memnuniyetinin akademik olmayan şekilde izlenmesi de, dünyanın dört bir yanındaki farklı şehirlerde halen devam etmektedir (örneğin, Londra otobüslerinin hizmet kalitesi; güvenlik, doluluk, güvenilirlik, personel davranışı gibi 11 indekse göre düzenli olarak gözlenmektedir).

Parasuraman ve diğerleri [28], hizmet kalitesini müşterilerin beklentileri ve algıları arasındaki farklılığın derecesi ve yönü olarak tanımlayan bir çerçeve geliştirmiştir. Modelleri daha da geliştirilmiş ve SERVQUAL olarak tanımlanmıştır. Bu model, hizmet kalitesinin 22 özelliğine sahip beş boyut içermektedir [29]. Bununla birlikte, geleneksel boşluk analizi, kriterin ağırlığını ve genel performans değerini dikkate almamaktadır. Ayrıca, bazı araştırmacılar, bu beş boyutun ve 22 maddenin bazı hizmet işletmeleri için uygun olmadığını iddia etmiştir [30, 31]. Bu, hizmet kalitesi kavramının içeriğe bağlı olduğunu göstermektedir. Bu nedenle, hizmet ölçümlerinin araştırılan faaliyet ortamını yansıtmaması gerekir.

Çoğu çalışma, hipotezleri test etmek için geleneksel istatistiksel teknikleri kullanmasına rağmen, diğer çalışmalar ulaşım hizmeti kalitesini araştırmak ve iyileştirme için önerilerde bulunmak için Çok ölçütlü Karar Verme (ÇÖKV) modellerini uygulamıştır. Yeh ve diğerleri [32], otobüs şirketlerinin performansının değerlendirilmesi için bulanık çok ölçütlü bir analiz yaklaşımı ortaya koymuştur. Tsaur ve diğerleri [33], Çok Ölçütlü Karar Verme modelini hava taşımacılığı hizmetlerinin en önemli özelliklerinin nezaket, güvenlik ve rahatlık olduğu sonucuna ulaşmak için kullanmıştır. Awasthi ve diğerleri [12], ulaştırma sistemlerinin hizmet kalitesini değerlendirmek için SERVQUAL ve Bulanık TOPSIS yöntemlerine dayanan bir yaklaşım sunmuştur. Çalışmalarında, Montreal'deki metro sisteminin hizmet kalitesinin değerlendirilmesi için bir model önermişlerdir. Bu modeller, kriterlerin bağımsız olduğunu varsaymıştır. Gerçek dünyada, ölçütler nadiren bağımsızdır; ancak, özellikle hizmet kalitesinin maddi olmayan unsurlarının çok karmaşık bileşimleri için, bazen bağımlılık ve geri bildirim etkileri olan, bir dereceye kadar etkileşimli bir ilişki vardır. D'Ovidio ve diğerleri [34], ne tür gözlemlenebilen ve gözlemlenemeyen faktörlerin yerel bağlamda toplu taşıma hizmetlerinin kalitesi üzerine yolcu memnuniyetini etkileyebileceğini araştırmıştır. Çalışmaları kısaca, Bari kentindeki otobüs servisi ile ilgili halkın yolculuk memnuniyetinin, hizmetin çeşitli yönleriyle ilgili bir analizini açıklamaktadır. Bu analizin amacı, müşterilerin çeşitli profillerini ve hizmetin bazı olası verimsizliklerinin onların yargıları üzerindeki etkilerini daha iyi tanımlamaktır. Çalışmada, üç bölümden oluşan bir anket kullanılarak tüm Bari otobüs ağı ele alınmıştır.

3. Kütahya'daki Mevcut Toplu Taşıma Sistemi ve Buna Bağlı Güncel Sorunlar

Kütahya, Türkiye'nin batısında yer alan gelişmekte olan bir ildir. Kütahya ilinin nüfusu 2018 yılının sonu itibariyle 577.941 olup, Belediye Bölgesi sınırları içerisinde bu nüfusun yaklaşık olarak 267.000'i yaşamaktadır. Artan yolcu talebinin büyüyen etkisi sonucunda, Kütahya'daki otomobil sahipliği ve trafik sıkışıklığı seviyesi, önemli ölçüde artmaya başlamıştır. Kütahya'da toplu taşıma sistemi olarak, belediyenin denetiminde, özel halk otobüsleri birliğine bağlı özel halk otobüsleri kullanılmaktadır. Toplu ulaşım sistemlerinde kullanılan bu otobüsler, genellikle küçük, 22 oturan ve 20 ayakta yolcu kapasitesine sahip otobüslerdir.

İlde, yaklaşık 50 bine yakın öğrencinin öğrenim gördüğü Kütahya Dumlupınar Üniversitesi bulunmaktadır. Bu 50 bine yakın öğrencinin yaklaşık 33 bini Kütahya il merkezinde yer alan Evliya Çelebi Yerleşkesinde öğrenim görmektedir. Yerleşke 7 bin 500 dekarın üzerinde bir alana sahiptir. Yerleşke alanında yerleşkeyi çevreleyen geniş bir ring yolu oluşturulmuş ve fakülte bloklarının içine taşıtların girmesi engellenerek taşıt ve yaya sirkülasyon alanları birbirinden büyük ölçüde ayrılmıştır. Yerleşkeye ait bir görüntü Şekil 1'de verilmektedir. Evliya Çelebi Yerleşkesine toplu taşıma hizmeti, yine özel halk otobüsleri birliğine bağlı özel halk otobüsleri tarafından verilmektedir. Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Evliya Çelebi Yerleşkesine hizmet veren araçların hat numaraları A1, 7A, 7B, 7 ve 17'dir. Bu otobüs hatlarının güzergâhlarının genel durumu Şekil 2'de gösterilmektedir. Şekil 3'te ise, A1, 7A, 7B, 7 ve 17 numaralı otobüs hatlarının güzergâhları ayrı ayrı verilmektedir.

Kütahya'da hızlı ve etkili bir toplu ulaşım ağı bulunmamaktadır. Bazı durumlarda, toplu taşımada geçen süre, otomobil seyahatinde harcanan süreden 2-3 kat daha fazladır. Bazı otobüs hatları, gereğinden fazla uzundur. Ayrıca, hatlar arasındaki koordinasyon eksikliğinden dolayı, aktarma

noktalarında uzun bekleme süreleri yaşanmaktadır. Otomobil ile 10 dakika mesafelik bir bölgeye, toplu taşıma ile bazen 40 dakikada ulaşılabilir. Bu durum da, hatlar arasında aktarmanın gerekli olduğunu göstermektedir. Bu husus, toplu taşımanın etkinliğini düşürmektedir. Bu nedenle, özellikle otomobil sahipleri, toplu taşımayı tercih etmemektedir.



Şekil 1. Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Evliya Çelebi Yerleşkesine ait bir görüntü

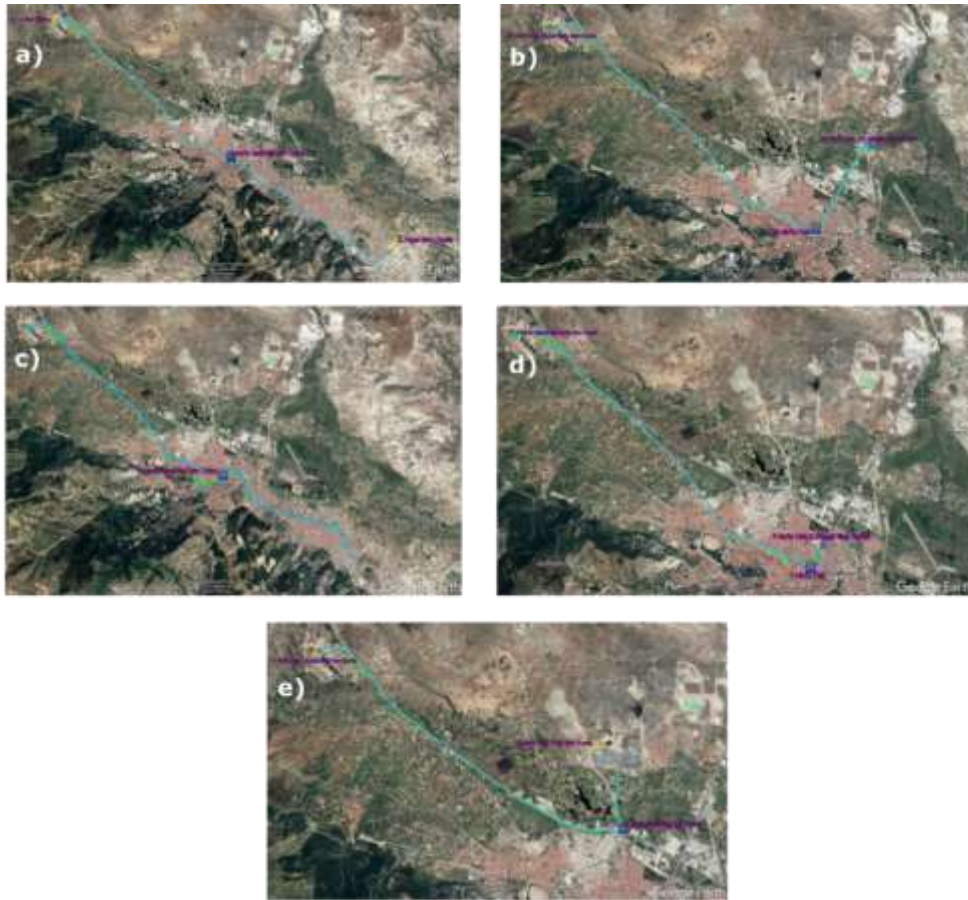


Şekil 2. Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Evliya Çelebi Yerleşkesine hizmet veren A1, 7A, 7B, 7 ve 17 numaralı hatların güzergâhlarının genel durumu

4. Evliya Çelebi Yerleşkesine Gelen Toplu Taşıma Araçlarının Hizmet Düzeylerinin TCRP 100 ve TCRP 165 Raporlarındaki Yöntemlere Göre Değerlendirilmesi

Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Evliya Çelebi Yerleşkesine hizmet sunan toplu taşıma sisteminin hizmet kalitesinin analizinde, Amerika Birleşik Devletleri'ndeki Ulaştırma Araştırma Kurulu'nun

(Transportation Research Board-TRB) hazırlanmasına önyak olduğu Toplu Taşıma İşbirliği Programı Raporu 100: Toplu Taşıma Kapasitesi ve Hizmet Kalitesi El Kitabı'nın İkinci Baskısı (Transit Cooperative Research Program (TCRP) Report 100: Transit Capacity and Quality of Service Manual, 2nd Edition) [2] ile Toplu Taşıma İşbirliği Programı Raporu 165: Toplu Taşıma Kapasitesi ve Hizmet Kalitesi El Kitabı'nın Üçüncü Baskısı (Transit Cooperative Research Program (TCRP) Report 165: Transit Capacity and Quality of Service Manual, 3rd Edition) [35] raporları kullanılmıştır. Diğer bir deyişle, bu çalışmada Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Evliya Çelebi Yerleşkesine yolcu taşıyan toplu taşıma araçlarının hizmet düzeyleri TCRP 100 ve TCRP 165 raporlarında açıklanan yöntemler ışığında analiz edilmiştir. Toplu Taşıma İşbirliği Programı Raporu 100: Toplu Taşıma Kapasitesi ve Hizmet Kalitesi El Kitabı'nın, toplu taşıma uygulayıcıları ve politika yapıcıları için temel bir referans belgesi olması amaçlanmıştır. Bu el kitabı, çeşitli toplu taşıma türlerine ilişkin bazı geçmiş deneyimleri, istatistikleri ve grafikleri içermekte ve toplu taşıma hizmetinin mevcut durumunu ve hizmet kalitesini yolcu bakış açısından ölçmek için bir çerçeve sunmaktadır. Rapor, otobüs, demiryolu ve feribot toplu taşıma servislerinin ve toplu taşıma duraklarının, istasyonların ve terminallerin kapasitesini hesaplamak için nicel teknikler ihtiva etmektedir. Örnek problemler de, raporda yer almaktadır.



Şekil 3. Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Evliya Çelebi Yerleşkesine hizmet veren A1, 7A, 7B, 7 ve 17 numaralı hatların güzergâhları; a) A-1 numaralı hat; b) 7A numaralı hat; c) 7B numaralı hat; d) 7 numaralı hat; e) 17 numaralı hat

Bu el kitabının en güncel bilgi ve yöntemleri sağlayan güncel sürümü ise, Toplu Taşıma İşbirliği Programı Raporu 165: Toplu Taşıma Kapasitesi ve Hizmet Kalitesi El Kitabı'nın Üçüncü Baskısı'dır [35]. El kitabının bu güncel sürümü, İkinci Basım'daki eski bir analizi tekrarlamak, İkinci Basım'da da verilen bazı standartlar kullanılarak toplu taşıma hizmet seviyesinin hesaplanması ya da diğer belgelerde referans verilen İkinci Basım'daki materyali bulmak için kullanılabilir.

Bu raporlarda, hizmet kalitesi ölçümlerinin beş kategorisi tanımlanmıştır. Bu beş kategori, yolcuların toplu taşıma servisine ulaşım ve kullanım kolaylığı açısından servisin müsait olması, servis izleme, yolculuk süresi, bir kazaya karışmanın ya da bir suçun mağduru olmanın gerçek ve algılanan

olasılıkları açısından emniyet ve güvenlik ile bakım ve inşa etmedir. Hizmet kalitesinin her bir durumu için, bazı objektif ölçüm örnekleri de önerilmektedir. Bununla birlikte, TCRP 100 ve TCRP 165 raporlarında birtakım farklılıklar mevcuttur.

4.1. TCRP 100 ve TCRP 165 Raporlarında Hizmet Düzeyi Ölçütleri

TCRP 100 raporunda, A en iyi ve F en kötü hizmet düzeyine karşı gelen harf olmak üzere 6 farklı hizmet düzeyinden ve her düzeye karşılık gelen bir yorumdan bahsedilmektedir. TCRP 165 raporunda ise, A, B, C, D, E ve F gibi harfler olmamakla birlikte, yorum kısmında yolcu perspektifi ve operatör perspektifi olmak üzere hizmet düzeyi iki farklı bakış açısıyla değerlendirilmektedir. Bu raporda hizmet düzeyleri, LOS (Level of Service) başlığı altında 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 gibi çeşitli kategorilere ayrılmaktadır. TCRP 100 raporunda yer alan ve A'dan F'ye devam eden bu harf notlarının TCRP 165 raporunda yer almamasının temel nedenleri arasında, TCRP 165'deki bu iki farklı bakış açısı gösterilebilir. Çünkü yolcular sık ve düzenli hizmet aldıklarında, almış oldukları bu hizmetten memnuniyet duyarken, operatörler ise bu sık ve düzenli hizmet sonucu hem fiziksel olarak daha fazla yorulacak hem de psikolojik olarak bu durumdan etkilenecektir.

4.2. Hizmetin Saatlik Sefer Sayısı Kriterine Göre Değerlendirilmesi

TCRP 100 raporunda, Tablo 1'de de özetlendiği gibi, saatteki sefer sayısına veya kaç dakika arayla hizmet verildiğine bakılarak hizmet düzeyi belirlenmektedir. Hizmet düzeyi, A, B, C, D, E ve F olmak üzere 6 sınıfa ayrılmaktadır. Sefer Aralığı 10 dakikadan az ise veya bir saatte altıdan fazla (> 6) araç işletiliyorsa, yolcuların tarifeye ihtiyaç duymadığı, yani yolcuların çoğunun bir sonraki seferi beklediği öngörülmektedir. Servis seviyesi A sınıfıdır. Sefer Aralığı 10-14 dakika arasında ise veya bir saatte beş, altı (5-6) araç işletiliyorsa yeterli servis vardır ve yolcular tarifeye bakar; yani, yolcuların çoğu bir sonraki seferi bekleyebilir. Servis seviyesi B sınıfıdır. Sefer Aralığı 15-20 dakika arasında ise veya bir saatte üç, dört (3-4) araç işletiliyorsa maksimum servis bekleme süresi vardır. Yolcuların çoğu, otobüsü kaçırlırsa kabul edebilecekleri maksimum bekleme zamanına kadar bekleyebilir. Servis seviyesi C sınıfıdır. Sefer Aralığı 21-30 dakika arasında ise veya bir saatte iki (2) araç işletiliyorsa çoğu yolcu için hizmet çekici değildir. Servis seviyesi D sınıfıdır. Sefer Aralığı 31-60 dakika arasında ise veya saatte bir (1) araç bulunuyorsa hizmet yine yolcuların çoğu için çekici değildir. Servis seviyesi E sınıfıdır. Sefer Aralığı 60 dakikadan fazla ise veya bir saatten daha fazla sürede bir (1) araç bulunuyorsa bütün yolcular için hizmet çekici değildir. Bu durumda, servis seviyesi F sınıfıdır [2].

Tablo 1. TCRP 100 raporunda saatlik sefer sayısı hizmet düzeyi [2]

Statik sefer sayısı - Kaç dakikada bir hizmet verilmektedir?			
Servis Seviyesi	Sefer Aralığı	Araç/Saat	Yorum
A	< 10	> 6	Yolcular tarifeye ihtiyaç duymaz.
B	(10-14)	5-6	Sık servis vardır, yolcular tarifeye bakar.
C	(15-20)	3-4	Eğer otobüs/tren kaçırlırsa kabul edilebilir maksimum bekleme zamanı vardır.
D	(21-30)	2	Seçme hakkı olan yolcular için hizmet çekici değildir.
E	(31-60)	1	Saatte bir servis vardır.
F	> 60	< 1	Bütün yolcular için hizmet çekici değildir.

TCRP 165 raporunda, saatlik sefer sayısı kriteri, aslında sefer aralığına bağlı olarak ele alınmaktadır (Tablo 2). Buna göre Tablo 1'de saatteki sefer sayısına yer verilmemekte ve yalnızca sefer aralığına göre bir sınıflandırma yapılmaktadır.

Evliya Çelebi Yerleşkesine gelen toplu taşıma araçlarının, saatlik sefer sayısı kriteri esas alınarak TCRP 100 ve TCRP 165 raporlarındaki yöntemlere göre yapılan değerlendirmeleri Tablo 3'te gösterilmiştir.

Tablo 2. TCRP 165 raporunda saatlik sefer sayısına (sefer aralığına) göre hizmet düzeyi [35]

Sefer Aralığı (dk)	Yolcu Bakış Açısı	Operatör Bakış Açısı
≤ 5 dk	<ul style="list-style-type: none"> • Çok sık servis vardır ve yolcuların tarifelere bakmasına gerek yoktur. • Otobüs gruplanması daha olasıdır, bu da bir otobüs için planlanan bekleme sürelerinin daha uzun olmasına ve daha değişken yolcu yüklerine neden olabilir. 	<ul style="list-style-type: none"> • Çok yüksek yoğunluklu koridorlarda otobüs veya tren servisi için uygundur. • Toplu taşıma işlemleri üzerindeki dışsal etkileri azaltmak ve işletme hızlarını yüksek tutmak için özel yol hakkı arzu edilir (işletme maliyetlerini minimize etme). • Karma trafikte, otobüs ve tramvay sefer aralıkları, trafik sinyal periyodu uzunluklarına yaklaşır ve gruplanma kolayca gerçekleşebilir. • Kapasiteyi arttırmak için daha fazla sıklık sağlamak, (a) minimum tren aralığı gereklilikleri ya da (b) otobüs gruplanması yüzünden kullanılmayan kapasite nedeniyle uygulanabilir veya etkili olmayabilir. • Daha büyük veya daha uzun araçlar kullanmak ya da koltukları ayakta durulacak alanlarla değiştirmek, toplu taşıma türlerini iyileştirmenin haricinde kapasite artırımı için seçenekler olabilir.
5-10 dk	<ul style="list-style-type: none"> • Çok sık servis vardır ve yolcuların tarifelere bakmasına gerek yoktur. • Otobüs gruplanması daha olasıdır, bu da bir otobüs için planlanan bekleme sürelerinin daha uzun olmasına ve daha değişken yolcu yüklerine neden olabilir. 	<ul style="list-style-type: none"> • Çok yüksek yoğunluklu koridorlarda otobüs veya tren servisi için uygundur. • Sirkülasyon güzergâhlarının yürüyüş ve bisikletle rekabet edebilmesi için kısa sefer aralıkları gereklidir. • Toplu taşıma işlemleri üzerindeki dışsal etkileri azaltmak ve işletme hızlarını yüksek tutmak için özel yol hakkı arzu edilir (işletme maliyetlerini minimize etme). • Trafik sıkışıklığı, duruş süresi değişkenliği ve otobüs operatörü sürüş stillerindeki farklılıklar, otobüslerin gruplanmasına neden olabilir. • Sıkışık bölgelerde özel yol hakkı sağlandığında kapasiteyi arttırmak için sıklığın artırılması genellikle uygundur.
11-15 dk	<ul style="list-style-type: none"> • Nispeten sık servis vardır. Ancak, yolcular genellikle durak ya da istasyondaki bekleme sürelerini en aza indirmek için varış zamanlarını kontrol edecektir. • Bir otobüs veya tren kaçırırsa bir sonraki servis için maksimum arzu edilen bekleme süresi söz konusudur. 	<ul style="list-style-type: none"> • Genellikle hafta sonları da dâhil olmak üzere uzun servis saatleri ile birlikte “sık servis” olarak ifade edilir. • Daha yüksek yoğunluklu koridorlarda, her iki uçta güçlü sunum noktaları olan güzergâhlarda ve park et-bin esaslı zirve periyot banliyö otobüs servislerinde uygulanabilir. • Tipik olarak, hafif raylı sistem veya metrobüs servisini haklı gösterecek en uzun uygulanabilir zirve dışı sefer aralığıdır.
16-30 dk	<ul style="list-style-type: none"> • Yolcular bekleme sürelerini en aza indirmek için planlanan varış zamanlarını kontrol edecektir. • Yolcular, seyahatlerini toplu taşıma tarifesine uyarlamalıdır. Bu durum, çoğu zaman yolcular için optimumdan daha az iyi olan varış veya kalkış saatlerine yol açacaktır. 	<ul style="list-style-type: none"> • Tipik olarak 20 veya 30 dk’lık sefer aralığında sağlanan hizmettir (örneğin, saatte 3 veya 2 otobüs). • Trafik sıkışıklığı otobüs çalışma süresini artırdığı zaman diğer sefer aralıkları da görülebilir. Ancak, bütçe servis eklemek için uygun değildir. • Orta yoğunluktaki koridorlarda uygulanabilir. • Tipik banliyö demiryolu sefer aralığı olup en uzun banliyö otobüs sefer aralığıdır.
30-59 dk	<ul style="list-style-type: none"> • Düzenli ve tutarlı olmayan sefer aralıkları, yolcuların planlanan varış sürelerini kontrol etmelerini gerektirir. • Yolcular, seyahatlerini toplu taşıma tarifesine uyarlamalıdır. Bu durum, çoğu zaman yolcular için optimumdan daha az iyi olan varış veya kalkış saatlerine yol açacaktır. • Aynı servis süresi boyunca saatlik hizmetten daha fazla otobüs kalkışı sağlar. 	<ul style="list-style-type: none"> • Genellikle 40 veya 45 dk’lık sefer aralıkları ile sağlanır. • Trafik sıkışıklığı otobüs çalışma süresini artırdığı zaman diğer sefer aralıkları da görülebilir. Ancak, bütçe servis eklemek için uygun değildir. • Düşük ila orta yoğunluktaki koridorlarda uygulanabilir.
60 dk	<ul style="list-style-type: none"> • Temel seyahat ihtiyaçlarını karşılamak için minimum servis seviyesi sağlar. • Yolcular, seyahatlerini toplu taşıma tarifesine uyarlamalıdır. Bu durum, çoğu zaman yolcular için optimumdan daha az iyi olan varış veya kalkış saatlerine yol açacaktır. 	<ul style="list-style-type: none"> • Sabit güzergâhlı otobüs servisi için tipik maksimum sefer aralığıdır. • Hizmetin sübvansede edilmesi kabiliyetine bağlı olarak 4 konut birimi/net dönüş kadar düşük yoğunluklarda potansiyel olarak uygulanabilir. • Servis kapsama standardını karşılamak için sağlanabilir.
> 60 dk	<ul style="list-style-type: none"> • Bir otobüs kaçırıldığında ve geri dönüş yolculukları için tipik uzun bekleme süreleri gerektirdiğinden kentsel toplu taşıma hizmeti için arzu edilmez. 	<ul style="list-style-type: none"> • Yolcuların seyahat ihtiyaçlarını daha iyi karşılayan bir hizmet sunmak için talebe duyarlı bir toplu taşıma türü düşünülebilir.

Tablo 3. Hatların saatlik sefer sayılarına göre TCRP 100 ve TCRP 165 raporlarındaki yöntemler ile değerlendirilmeleri

Hat No	Sefer Sayısı	TCRP 100	TCRP 165
A1	12	A	LOS 1
7	12	A	LOS 1
7A	4	C	LOS 3
7B	2	D	LOS 4
17	0.5	F	LOS 7

Tablo 3'ten, TCRP 100 raporundaki yönetime göre, 17 numaralı hat dışındaki tüm hatların "D" veya daha iyi hizmet düzeyi sağladığı görülebilir. A-1 ve 7 numaralı hatlar saatlik sefer sayısı bakımından "A" hizmet düzeyi sunarken, 7A ve 7B numaralı hatlar sırasıyla "C" ve "D" hizmet düzeyleri sağlamaktadır. Diğer taraftan, 17 numaralı hat için hizmet düzeyi "F" dir. TCRP 165 raporundaki yönetime göre ise, A-1 ve 7 numaralı hatlar "LOS 1" hizmet düzeyi sağlarken 7A ve 7B numaralı hatlar sırasıyla "LOS 3" ve "LOS 4" hizmet düzeyleri sunmaktadır. Öte yandan, 17 numaralı hat için hizmet düzeyi "LOS 7" olarak bulunmuştur.

4.3. Hatların Günlük Hizmet Saati Kriterine Göre Değerlendirilmesi

TCRP 100 raporunda gün içerisinde hizmet verilen saat aralığına göre Tablo 4'te özetlendiği gibi sınıflandırma yapılmaktadır. Servis seviyesi, A, B, C, D, E ve F olmak üzere 6 sınıfa ayrılmaktadır [2].

Tablo 4. TCRP 100 raporundaki yönetime göre gün içerisinde verilen toplam hizmet saati değerlendirilmesi [2]

Servis Seviyesi	Servis Saatleri	Yorum
A	(19-24)	Gece saatlerinde de hizmet verilmektedir.
B	(17-18)	Akşam geç saatlere kadar hizmet verilmektedir.
C	(14-16)	Akşam erken saatlerde hizmet bitmektedir.
D	(12-13)	Sadece gündüz iş saatlerinde hizmet vardır.
E	(4-11)	Sadece zirve saatlerde veya gün içinde sınırlı hizmet vardır.
F	(0-3)	Çok kısıtlı (sınırlı) hizmet vardır veya hizmet yoktur.

TCRP 165 raporunda toplu taşıma araçlarının 24 saatlik dilimde kaç saat hizmet ettiği esas alınmakta ve bazı sınır değerler TCRP 100 raporundakinden farklılık göstermektedir. Tablo 5, TCRP 165 için değerlendirme kriterlerini göstermektedir.

Tablo 5. TCRP 165 raporundaki yönetime göre gün içerisinde verilen toplam hizmet saati değerlendirilmesi [35]

Hizmet Saatleri	Yolcu Bakış Açısı	Operatör Bakış Açısı
> 18	<ul style="list-style-type: none"> Tüm yolculuk amaçları için hizmet verilebilir. Otobüs yolculuğunun gece geç saatlerde potansiyel olarak daha riskli seyahatlerin yerine geçmesine izin verir (örneğin, suç, sarhoş sürüş, kötü görüş). 	<ul style="list-style-type: none"> Genellikle "gece" ya da "baykuş" hizmeti olarak tescillenir. Gece geç saat çalışması için ek sürücü ücreti ödemesi gerektirebilir. Toplu taşıma araçlarında ve tesislerinde artırılmış güvenlik önlemleri gerektirebilir. Sadece belirli günlerde sunulabilir (örneğin, cuma ve cumartesi geceleri). Günün geri kalan kısmı için işletildiğinden farklı bir dizi güzergâhta çalıştırılabilir (örneğin, seyahat süresinden ziyade kapsama alanı vurgulanır).
15-18	<ul style="list-style-type: none"> Geniş bir yelpazede seyahat amaçlarının karşılanmasına imkân vererek sabahın erken ve/veya akşamın geç saatlerinde servis sağlar (örneğin, gece dersleri, perakende ve endüstriyel personel iş gezileri, sosyal ve eğlence amaçlı geziler, sabah erken uçuşlar/tren seyahatleri). 	<ul style="list-style-type: none"> Araç başına ikiden fazla tam zamanlı sürücü veya fazla mesai ücreti gerektirebilir. Gece vakti yolcuların otobüs dışında güvenliğini arttırmak için, bazı otobüs işletmecileri, varış noktalarına giden yolcuların yürüme mesafelerini en aza indirmek için güvenli bir yerde isteğe bağlı geçici duraklara izin verir. Akşam servisi günün geri kalan kısmı için işletildiğinden farklı bir dizi güzergâhta işletilebilir (örneğin, seyahat süresinden ziyade kapsama alanı vurgulanır).
12-14	<ul style="list-style-type: none"> Biraz varış ve kalkış zamanı esnekliği ile birlikte geleneksel çalışma saatleri civarında iş yolculuklarına hizmet vermek için yeterince uzun bir servis aralığı sağlar. 	<ul style="list-style-type: none"> Araç başına iki tam zamanlı sürücü tarafından karşılanabilir.
7-11	<ul style="list-style-type: none"> Gün ortasında yapılacak yolculuklara imkân verir. Aralığın üst ucunda, işten sonra çalışmalarını yürütmek için esnekliğe ihtiyaç duyan geleneksel büro saatlerinde çalışan biri için hala yeterli hizmet sunmaz. 	<ul style="list-style-type: none"> Tam zamanlı sürücüler için yeterli iş sağlar, ancak birkaç güzergâh olan bir sistemde sürücünün öğle yemeği molası için serviste bir öğle vakti boşluğu gerektirebilir. Otobüs başına iki yarım zamanlı sürücü, öğle yemeği arası servis boşluğu olmadan da bir güzergâh üzerinde hizmet verebilir. Küçük şehir servisi için hafta içi servis saatleri olağan dışı değildir. İyi hafta sonu küçük şehir servisi sunar.
4-6	<ul style="list-style-type: none"> Zirve periyodu servisle (örneğin, banliyö otobüsü), bir kaç öğleden önce ve öğleden sonra kalkış zamanı seçeneklerine izin verir. Saatlik servis ile dönüş yolculuğunu beklerken daha az zaman israfına neden olarak belirli bir süre esnasında yolculuk yapılmasına imkân verir. 	<ul style="list-style-type: none"> Sadece zirve periyotlarda işletilen banliyö otobüsü ve banliyö demiryolu servisi için tipik servis saatleri sağlar. Yarı zamanlı sürücüler için yeterli iş sağlar. Saatlik servis için minimum servis saatleri sağlar (örneğin, küçük şehir hafta sonu servisi).
< 4	<ul style="list-style-type: none"> Bir günde veya yarım günde bir gidiş-dönüş yolculuğu sağlayan temel can simidi servisi sunar. Yolcuların günleri az ya da hiç esneklik olmaksızın toplu taşıma tarifesine göre planlanmalıdır. 	<ul style="list-style-type: none"> Sadece birkaç günlük kalkış ile (örneğin sabah, öğle, öğleden sonra) kırsal güzergâhlarda sağlanabilir. Otobüslerin ve sürücülerin, kaynakların etkili bir şekilde kullanılması için güzergâhlar arasında sıra ile değiştirilmesi gerekebilir.

Evliya Çelebi Yerleşkesine gelen toplu taşıma araçlarının gün içerisinde verilen toplam hizmet saati kriteri esas alınarak, TCRP 100 ve TCRP 165 raporlarındaki yöntemlere göre yapılan değerlendirmeleri Tablo 6’da gösterilmiştir.

Tablo 6. Hatların gün içerisindeki toplam hizmet saatine göre TCRP 100 ve TCRP 165 raporlarındaki yöntemler ile değerlendirilmesi

Hat No	Hizmet Saati	TCRP 100	TCRP 165
A1	16	C	LOS 2
7	16	C	LOS 2
7A	16	C	LOS 2
7B	15	C	LOS 2
17	10	E	LOS 4

Tablo 6’dan, TCRP 100 raporundaki yöntemle göre, 17 numaralı hat dışındaki tüm hatların toplam hizmet saati kriteri bakımından sağladığı hizmet düzeyinin “C” olduğu görülebilir. 17 Numaralı hattın sunduğu hizmet düzeyi ise “E” dir. TCRP 165 raporundaki yöntemle göre ise, 17 numaralı hat dışındaki tüm hatlar “LOS 2” hizmet düzeyi sağlamaktadır. Diğer taraftan, 17 numaralı hat için hizmet düzeyi “LOS 4” olarak bulunmuştur.

4.4. Hatların Servis Kapsama Alanı Kriterine Göre Değerlendirilmesi

TCRP 100 raporunda hatların servis kapsama alanı kriterine göre değerlendirilmesinde Tablo 7’de özetlendiği gibi sınıflandırma yapılmaktadır. Servis seviyesi, A, B, C, D, E ve F olmak üzere 6 sınıfa ayrılmaktadır [2].

Tablo 7. TCRP 100 raporunda güzergâh servis kapsama alanı [2]

Servis Seviyesi	Kapsama Oranı	Yorum
A	90-100 %	Hemen hemen tüm önemli çıkış ve varış noktalarına hizmet verilir.
B	80-89,9 %	Çoğu çıkış ve varış noktalarına hizmet verilir.
C	70-79,9 %	Yüksek yoğunluktaki alanların 3/4’üne hizmet verilir.
D	60-69,9 %	Yüksek yoğunluktaki alanların 2/3’üne hizmet verilir.
E	50-59,9 %	Yüksek yoğunluktaki alanların en az 1/2’sine hizmet verilir.
F	< 50 %	Yüksek yoğunluktaki alanların yarısından daha azına hizmet verilir.

TCRP 165 raporunda hatların servis kapsama alanı kriterine göre değerlendirilmesinde 5 hizmet düzeyi ele alınmıştır. Bu açıdan 6 hizmet düzeyi bulunan TCRP 100 raporundaki yöntemden farklıdır. Tablo 8, TCRP 165 raporundaki yöntem için hizmet düzeylerini göstermektedir.

Tablo 8. TCRP 165 raporuna göre servis kapsama alanı [35]

Servis Seviyesi	Yolcu Bakış Açısı	Operatör Bakış Açısı
> 90 % (hizmet verilen servis bölgesi nüfusunun)	<ul style="list-style-type: none"> Toplu taşıma bir toplulukta neredeyse tüm gidilecek yerlere hizmet vermektedir. Güzergâhlar servis kapsama alanı standardını karşılamak için mahalleler içinden dolambaçlı bir yol izlediğinden, araç içindeki yolculuk süresi uzun olabilir. 	<ul style="list-style-type: none"> Toplu taşıma işletmecisi, maliyet etkinliğinden ziyade kapsama alanını vurgulamak için bir ilke kararı almış bulunmaktadır. Düşük yoğunluktaki bölgeleri kapsayan güzergâh kesimlerinin verimsiz olması muhtemeldir.
> 90 % (hizmet verilen toplu taşıma destekli bölgenin)	<ul style="list-style-type: none"> Toplu taşıma, topluluk içindeki neredeyse tüm yüksek yoğunluktaki bölgelere hizmet vermektedir. Düşük yoğunluktaki bölgelerde bulunan gidilecek yerlere erişilemeyebilir. 	<ul style="list-style-type: none"> Zayıf sokak bağlantısı veya coğrafi engeller nedeniyle toplu taşıma destekli bölgenin izole kısımlarına hizmet vermede yetersiz kalabilir. Düşük yoğunluktaki geniş alanlar tarafından çevrelenmiş olan daha yüksek yoğunluktaki küçük ceplere hizmet sunmak için verimsiz olabilir.
75-90 % (hizmet verilen toplu taşıma destekli bölgenin)	<ul style="list-style-type: none"> Yüksek yoğunluktaki bölgeler içindeki çoğu gidilecek yere hizmet verilir. Ancak, hepsine verilmez. 	<ul style="list-style-type: none"> Kapsama alanı ve maliyet etkinliği hedefleri arasında denge kurar.
50-74 % (hizmet verilen toplu taşıma destekli bölgenin)	<ul style="list-style-type: none"> Yüksek yoğunluktaki bölgeler içindeki gidilecek yerlerin büyük çoğunluğuna hizmet verilir. Servis birçok başlangıç ve/veya son noktasından uzakta sağlandığından toplu taşımaya yürüyerek ve bisiklete binerek erişimin daha uzun olması muhtemeldir. 	<ul style="list-style-type: none"> Servisi destekleyebilecek birçok bölge hiçbir hizmet alamadığından servis eklemek için potansiyel fırsatlar mevcuttur.
< 50 % (hizmet verilen toplu taşıma destekli bölgenin)	<ul style="list-style-type: none"> Servis, genellikle sadece topluluğun en yüksek yoğunluktaki koridorlarında sağlanır. Sağlanan hizmetin, nispeten kısa seyahat süreleriyle sonuçlanacak şekilde nispeten doğrudan olması muhtemeldir. 	<ul style="list-style-type: none"> Toplu taşıma işletmecisi, kapsama alanından ziyade maliyet etkinliğini vurgulamak için bir ilke kararı almış bulunmaktadır.

Dumlupınar Üniversitesi Evliya Çelebi Yerleşkesi'ne sağlanan toplu taşıma hizmetini değerlendirmek için, Kütahya'daki genel hizmet kapsama alanı göz önünde bulundurulmuştur. Bilindiği gibi hizmet kapsama alanı, toplu taşıma hizmetine yürüme mesafesinde olan alanın bir ölçüsüdür. Bu işlem için bir coğrafi bilgi sistemi (CBS) kullanılmalıdır. Ancak, bu çalışmada, toplu taşıma sisteminin sağladığı kapsama alanının yüzdesi, coğrafi bilgi sistemi yazılımı kullanılmadan el ile kabaca hesaplanmıştır. Sonuç olarak, toplu taşıma hizmet kapsama alanının hesaplanması, 400 m içindeki alanın tamamı bir harita üzerinde ana hatlarıyla çizilerek yaklaşık olarak manuel olarak gerçekleştirilmiştir. Bu analizde, toplu taşıma sisteminin sağladığı kapsama alanının yüzdesi, kampüse gelen toplu taşıma hatları açısından değerlendirilerek yaklaşık olarak % 75 olarak bulunmuştur. Güzergâh servis kapsama alanı kriterine göre hizmet düzeyinin TCRP 100 raporundaki yöntemle göre "C", TCRP 165 raporundaki yöntemle göre de Kategori 3 olduğu görülmüştür.

4.5. Toplu Taşıma Araçlarında Oturarak veya Ayakta Yolculuk Yapma Açısından Hizmet Düzeyi

Taşıtlar içindeki toplam doluluk seviyeleri, zirve ve zirve olmayan saatler esnasında gözlemlenmiş ve yolcu yükü hizmet düzeyi, yaklaşık olarak, yolcu yükleri için hizmet düzeyi eşiklerini veren Tablo 9 ve Tablo 10'daki değerler dikkate alınarak belirlenmiştir. TCRP 100 raporunda toplu taşıma araçlarında oturarak veya ayakta yolculuk yapma açısından hizmet düzeyi, A, B, C, D, E ve F olmak üzere 6 sınıfa ayrılmaktadır [2]. TCRP 165 raporunda ise kişi başına düşen alan kriterine göre yine 6 sınıf bulunmaktadır [35]. Bu gözlemlerden ve analizlerden yola çıkarak, günün zamanına, hatta ve hattın kesimine bağlı olarak yolcuların çok çeşitli yolcu yükü hizmet düzeylerini tecrübe ettikleri görülmüştür. Zirve saatler esnasında, A1, 7 ve 7A numaralı hatlar gibi çok sayıda yolcu taşıyan hatların bazı kesimlerinde, yolcu yükü açısından hizmet düzeyi olarak TCRP 100 ve TCRP 165 raporlarına göre sırasıyla "E" ve "5", hatta "F" ve "6" hizmet düzeyleriyle karşılaşılabilecek olağan bir durumdur. Öte yandan, zirve olmayan saatler esnasında ise, yolcu yükü açısından TCRP 100 raporuna göre "A", "B", "C" ve "D" hizmet düzeyleri; TCRP 165 raporuna göre de "1", "2", "3" ve "4" hizmet düzeyleri tüm hatların çoğu kesimlerinde gözlenmiştir.

Tablo 9, TCRP 100 raporuna göre yolculuk sırasında oturma veya ayakta durma durumu için hizmet düzeylerini gösterirken Tablo 10'da, TCRP 165 raporuna göre yolculuk sırasında oturma veya ayakta durma durumu için hizmet düzeylerini göstermektedir.

Tablo 9. TCRP 100 raporuna göre yolculuk sırasında oturma veya ayakta durma durumu için hizmet düzeyleri [2]

Yolculuk Sırasında Oturma veya Ayakta Durma Durumu			
Servis Seviyesi	(kişi/koltuk)	m ² /kişi	Yorum
A	0,00-0,50	> 1,00+	Hiçbir yolcu bir başkasının yanına oturma ihtiyacı duymaz.
B	0,51-0,75	0,76-1,00+	Yolcular oturacağı yeri seçebilir.
C	0,76-1,00	0,51-0,75+	Bütün yolcular oturabilir.
D	1,01-1,25	0,36-0,50	Planlamada dikkate alınabilecek konforlu ayakta yolculuk yüküdür.
E	1,26-1,50	0,20-0,35	Tasarlanabilecek maksimum yolcu yüküdür.
F	> 1,50	< 0,20	Sıkışık (tasarımın üzerinde) yükleme olduğu düşünülür.

Kullanılan otobüs tiplerinden sayıca en fazla olan aracın ruhsat bilgileri aşağıdaki Tablo 11'de verilmekte olup, buna göre TCRP 100 ve TCRP 165 raporlarına göre yolcu yükü açısından hangi hizmet düzeylerine karşılık geldiği belirtilmektedir. Bu değerler, zirve saatler esnasında, hatların yolcu yükü en fazla olan kesimlerindeki yolcu yükü açısından hizmet düzeylerini göstermektedir.

4.6. Seyahat Süresi Farkı ve Oram Kriterlerine Göre Değerlendirme

Bu değerlendirmede otobüs ve otomobille yolculuk sürelerinin karşılaştırılması esas alınmıştır. Öncelikle hatlar üzerindeki çeşitli noktalar arasındaki otobüs ile yolculuk süreleri ölçülmüş, sonrasında ise internet aracılığıyla aynı noktalar arasındaki otomobille olan seyahat süreleri yaklaşık olarak saptanmıştır. Daha sonra TCRP 100 raporundaki yöntem için bu seyahat sürelerinin farkı, TCRP 165 raporundaki yöntem için ise oranları dikkate alınarak değerlendirme yapılmıştır. Tablo 12 TCRP 100 raporuna göre, Tablo 13 TCRP 165 raporuna göre, Tablo 14 ise her iki rapora göre (TCRP 100-165) yapılan değerlendirmeleri göstermektedir.

Tablo 10. TCRP 165 raporuna göre çoğunlukla ayakta duran yolcular için tasarlanan araçlarda farklı doluluk seviyelerinde sağlanan hizmetin kalitesi ve toplu taşıma işlemleriyle ilgili olarak toplu taşıma kuruluşları için olası etkiler [35]

m ² /kişi	Yolcu Bakış Açısı	Operatör Bakış Açısı
> 1,00	<ul style="list-style-type: none"> Yolcular yayılabilirler. Araçlar nispeten yüksek sayıda koltuğa sahip olduğu zaman (örneğin hafif raylı sistem, metro) yolcuların hepsi ya da birçoğu oturabilir. 	<ul style="list-style-type: none"> Eğer zirve yönündeki maksimum yük kesiminde bu durum meydana gelirse verimsiz hizmet vardır. Bu durum, bir güzergâhın dış ucunda veya zirve olmayan yönde meydana gelebilir.
0,5-1,0	<ul style="list-style-type: none"> Yolcular arasındaki boşluğu koruyan, rahat ayakta duran yolcu yüküdür. 	<ul style="list-style-type: none"> Daha yüksek bir hizmet kalitesi sağlamaya çalışan yeni raylı sistemler için bir zirve saati tasarımı standardı olarak kullanılabilir. Araç içinde kolay dolaşım vardır.
0,40-0,49	<ul style="list-style-type: none"> Vücut teması olmaksızın ayakta duran yolcu yüküdür. Ayakta olan yolcular, oturan yolcularla benzer miktarda kişisel alana sahiptir. 	<ul style="list-style-type: none"> Araç içinde oldukça kolay dolaşım vardır.
0,30-0,39	<ul style="list-style-type: none"> Ara sıra vücut teması vardır. Ayakta olan yolcular, oturan yolculardan daha az yere sahiptir. 	<ul style="list-style-type: none"> Yolcu konforu ve kapasite arasında bir denge sağlar. Kapılara gidip gelmek, duruş süresini artıracak bazı çabalar gerektirir.
0,20-0,29	<ul style="list-style-type: none"> Kuzey Amerikalılar için rahatsız edici koşullara yaklaşır. Sık vücut teması olan ve paketler ve evrak çantaları nedeniyle rahatsızlık veren durumdur. 	<ul style="list-style-type: none"> Tasarım için maksimum tarife yüküdür. Kapılara gidip gelmek, duruş süresini uzatacak şekilde son derece zordur. Binmek için bekleyen yolcular, aracın daha az kalabalık bir bölümündeki bir kapıya geçmeye çalışarak duruş süresini artırabilir.
< 0,20	<ul style="list-style-type: none"> Sıkışık yükleme koşulları vardır. 	<ul style="list-style-type: none"> Kapılara gidip gelmek, duruş süresini uzatacak şekilde son derece zordur. Binmek için bekleyen yolcular, aracın daha az kalabalık bir bölümündeki bir kapıya geçmeye çalışarak duruş süresini artırabilir. Binmek için bekleyen yolcular, platformun kalabalıklaşmasını artıracak şekilde bir sonraki aracı beklemeyi tercih edebilir.

Tablo 11. Hizmet düzeyinin ayaktaki yolculara ayrılan alana göre değerlendirilmesi (TCRP 100-TCRP 165)

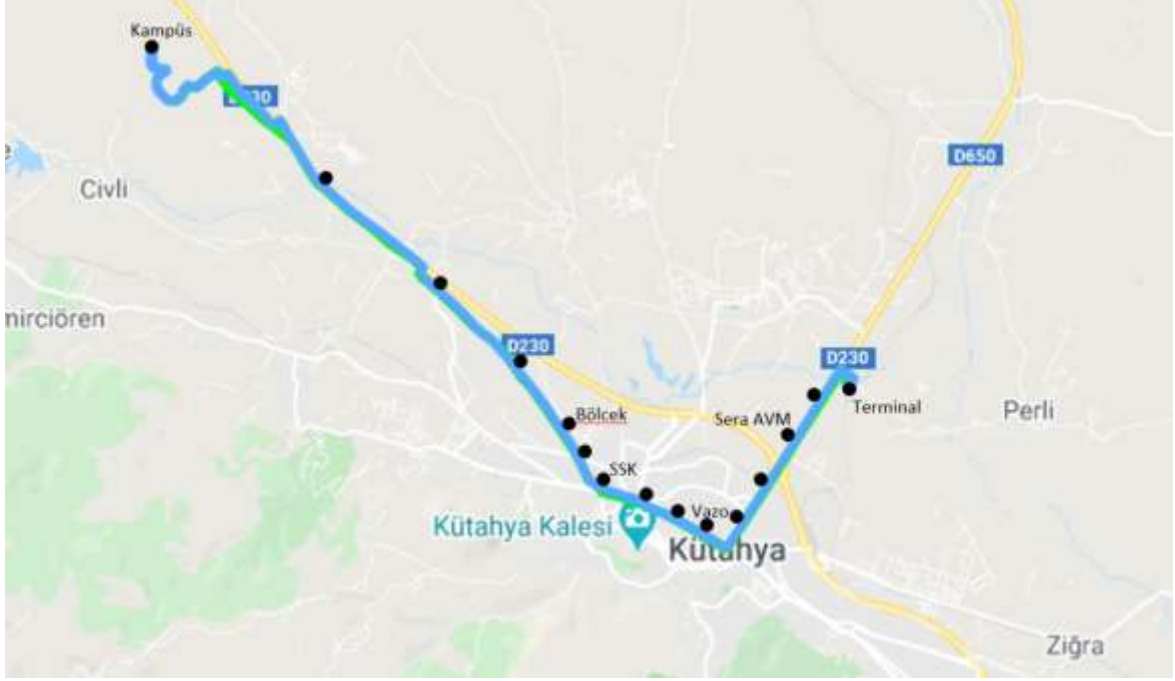
Hat Numarası	Ruhsat Bilgileri			Ölçüm Bilgileri			Doluluk Oranı	TCRP 100	TCRP 165
	Oturan	Ayakta	Toplam	Oturan	Ayakta	Toplam			
A1	22	20	42	22	21	43	1,95	F	LOS 6
7	22	20	42	22	20	42	1,91	F	LOS 6
7A	22	20	42	22	8	30	1,36	E	LOS 5
7B	22	20	42	22	4	26	1,18	D	LOS 3
17	22	20	42	22	5	27	1,23	D	LOS 3

Toplu taşıma için yolculuk süresi, bir kişinin yolculuk başlangıç noktasından toplu taşıma noktasına yürüme süresini, bekleme süresini, toplu taşıma aracındaki yolculuk süresini, toplu taşıma noktasından varış noktasına yürüme süresini ve gerekli herhangi bir aktarma süresini içerir. Öte yandan, otomobiller için seyahat süresi, arabada yolculuk süresini, kişinin arabasına yürümesi için geçen süreyi, kişinin arabasını park etmesi ve varış noktasına yürüme süresini içerir. Yürüme süresi, 5 km/sa'lık bir hızda toplu taşıma durağına kadar maksimum 400 m'lik bir yürüme mesafesine dayanmaktadır ve bu da yaklaşık 5 dakika sürmektedir. Bütün toplu taşıma kullanıcıları için yürüme mesafesi maksimum olmadığından, genellikle 3 dakikalık bir ortalama yürüme süresinin olduğu varsayılmaktadır.

Büyük şehirlere kıyasla, küçük şehirlerin bu ölçüt için yüksek hizmet seviyelerine ulaşması daha zordur. Örneğin, büyük şehirlerde, kent merkezi ile bir banliyö bölgesi arasında, hızlı raylı toplu taşıma gibi yüksek kalitede bir toplu taşıma sistemi ile daha hızlı seyahat edilebilir. Öte yandan, nüfusu 50.000'den az olan küçük bir şehir için, toplu taşıma için tek başına yürüme ve bekleme süresi, neredeyse otomobille yolculuk süresinin toplamı kadardır. Bu nedenle, hesaplanan hizmet düzeyi çok düşük olacaktır. Küçük şehirler ya da kısa yolculuklar için, toplam toplu taşıma seyahat süresi, genel olarak otomobil seyahat süresinden önemli ölçüde daha büyük olacaktır.

Toplu taşıma ile otomobil seyahat sürelerinin farkı ve toplu taşıma ile otomobil seyahat sürelerinin oranı bir sistem ölçümü olduğundan, veri gereksinimleri toplu taşıma durağı ve güzergâh kesimi ölçümlerinden daha büyüktür. Bir ulaşım planlaması modeli kullanılarak veya elle hesaplanabilir. Diğer hizmet ölçümlerinin çoğunda olduğu gibi, toplu taşıma ile otomobil seyahat sürelerinin farkı ve toplu taşıma ile otomobil seyahat sürelerinin oranı, zirve ve zirve dışı zamanlarda ölçülebilir. Zirve saat trafik sıkışıklığı otomobil seyahat sürelerini uzatmaya meyilli olduğu için, hesaplanan hizmet düzeyi genellikle zirve saatler esnasında günün geri kalanında olduğundan daha iyi olacaktır. Tablo 12 ve Tablo 13, sırasıyla toplu taşıma ile otomobil seyahat sürelerinin farkı ve toplu taşıma ile otomobil seyahat sürelerinin oranı cinsinden hizmet düzeyi eşiklerini vermektedir.

Manüel yöntem, bir ulaştırma modeline sahip olmayan bölgelerde veya daha hızlı bir yolculuk süresi hizmet düzeyi değerlendirmesinin istendiği zaman faydalıdır. Bu nedenle, bu çalışmada da, manüel yöntem, analizi gerçekleştirmek için tercih edilmiştir. Her bir hat için 15 konum çiftinden oluşan bir örneklemeden yararlanılmıştır. Kent merkezi ve diğer önemli yolculuk yaratım noktaları, genellikle konut ve istihdam yaratım noktalarının ve coğrafi konumlarının dengesini dikkate alarak analiz için kullanılmıştır. Bunun bir örneği, analiz için göz önüne alınan 15 konumu gösteren Şekil 4'te 7A numaralı hat için verilmektedir. Böylece, 7A numaralı hat için 15 konum çifti bu 15 konumdan şu şekilde oluşturulmuştur: Terminal-Sera AVM, Terminal-Laleli, Terminal-Vazo, Terminal-Kobak, Terminal-Kampüs, Sera AVM-Laleli, Sera AVM-Vazo, Sera AVM-Kobak, Sera AVM-Kampüs, Laleli-Vazo, Laleli-Kobak, Laleli-Kampüs, Vazo-Kobak, Vazo-Kampüs ve Kobak-Kampüs.



Şekil 4. 7A Numaralı hattın toplu taşıma ile otomobil seyahat sürelerinin farkı ve oranı bakımından hizmet düzeyinin analizi için konumlar

Analiz, üç aşamada gerçekleştirilmiştir. İlk adımda, konumlar arasındaki seyahat süreleri, hem toplu taşıma hem de otomobiller için tahmin edilmiştir. Konumlar arasındaki seyahat sürelerinin bir çizelgesi sonraki adımlarda kullanılmak üzere oluşturulmuştur. Birinci adımda, yalnızca konumlar arasındaki seyahat süreleri göz önüne alınmıştır; bu aşamada erişim ve bekleme süreleri dikkate alınmamıştır. Mevcut koşullar analiz edildiğinden, toplu taşıma seyahat süreleri yayınlanan tarifelerden elde edilmiştir. Diğer taraftan, Google Haritalar'da "sürüş talimatları" özelliği kullanılarak otomobil seyahat süreleri belirlenmiştir. Yol tarifi özelliği, bazı özel koşullara göre iki konum arasındaki en kısa yolu tanımlamaktadır. Ayrıca, tanımlanan en kısa yol otomobille ya da yürüyerek kat edildiği zaman, harcanan tahmini süre hesaplanabilir. İlk konum ile ikinci konum arasındaki en kısa yol tarifleri, Google Haritalar kullanılarak da elde edilebilir. Google Haritalar kullanılarak belirlenen otomobil yolculuk sürelerinin sürücülerin yaşadığı gerçek yolculuk sürelerine yakın olup olmadığını doğrulamak için bazı konumlar arasında birkaç test sürüşü gerçekleştirilmiştir. Gerçek otomobil yolculuk süreleri Google Haritalar tarafından belirlenenlerle karşılaştırıldıktan sonra, aralarında oldukça yakın bir uyum olduğu tespit edilmiştir. Örnek olarak, Şekil 5, 7A numaralı hattın analizi için Google Haritalar kullanılarak çizilen iki konum (Sera AVM ve Kampüs) arasındaki en kısa yolu göstermektedir.



Şekil 5. 7A Numaralı hattın analizi için çizilen iki konum (Sera AVM ve Kampüs) arasındaki en kısa yol

İkinci adımda, konumlar arasındaki yolculuk süresi farkları ve oranları tahmin edilmiştir. Dolayısıyla, her bir konum çifti için, öncelikle toplu taşıma ve otomobil seyahat süreleri belirlenmiştir. Daha sonra, toplu taşıma seyahat sürelerine toplu taşıma erişim ve bekleme süreleri ilave edilirken otomobil seyahat sürelerine de otomobil erişim süreleri (örneğin, garajlardan veya garajlara yürüme) eklenmiştir. Bu analizde, çeşitli varsayımlar da kullanılmıştır. Öncelikle, yolcuların seyahatlerinin her bir ucunda ortalama 4 dakika yürüdükleri kabul edilmiştir. İkinci olarak, eğer sefer aralığı 10 dakikaya eşit veya daha küçük ise, toplu taşıma için bekleme süresinin, bir seyahatin başlangıcında göz önüne alınan hattın sefer aralığının yarısı olduğu varsayılmıştır. Hattın sefer aralığı 10 dakikadan daha büyük olduğu zaman, yolcuların büyük sefer aralıkları durumunda tarife kullanmaya meyilli oldukları düşünüldüğünden, sabit ve 5 dakika olduğu varsayılmıştır [36]. Son olarak, otomobil yolculuklarına, yolculuğun her iki ucunda park etmek ve yürümek için ortalama 2 dakika eklendiği kabul edilmiştir.

Üçüncü adımda, toplu taşıma ile otomobil seyahat sürelerinin farkı ve toplu taşıma ile otomobil seyahat sürelerinin oranı açısından hizmet seviyeleri hesaplanmıştır. Bu amaçla, konum çiftlerinin seyahat süresi farklarının ve oranlarının ortalaması, her bir hat için hesaplanmış ve elde edilen değerler, hattın toplu taşıma ile otomobil seyahat sürelerinin farkı ve toplu taşıma ile otomobil seyahat sürelerinin oranı cinsinden hizmet seviyelerini bulmak için Tablo 14’te kullanılmıştır.

Tablo 12. Otobüs ve otomobil ile yapılan yolculukların süreleri arasındaki fark (TCRP 100) [2]

Servis Seviyesi	Seyahat Süresi Farkı (dk)	Yorum
A	≤ 0	Toplu taşıma otomobile kıyasla daha hızlıdır.
B	1-15	Toplu taşıma otomobil kadar hızlıdır.
C	16-30	Çoğu yolcu tarafından kabul edilebilir.
D	31-45	Yolcular gidiş dönüşte en az bir saat daha fazla süre harcarlar.
E	46-60	Yolcuların çoğu için iticidir, belki küçük şehirlerde uygulanabilir.
F	> 60	Çoğu yolcu için kabul edilemez.

Tablo 14’ten, TCRP 100 raporundaki yöntemle göre, A-1 ve 7A numaralı hatların “C” hizmet düzeyi sunarken, 7 ve 17 numaralı hatların “D” hizmet düzeyi sağladığı görülmektedir. Diğer taraftan, 7B numaralı hat için hizmet düzeyi “D” dir. TCRP 165 raporundaki yöntemle göre ise, A-1, 7A ve 7B numaralı hatlar “LOS 6” hizmet düzeyi sağlarken 7 ve 17 numaralı hatlar sırasıyla “LOS 5” hizmet düzeyi sunmaktadır.

Tablo 13. Toplu taşıma ile otomobil arasındaki yolculuk süresi oranları (TCRP 165) [35]

Toplu Taşıma Seyahat Süresi/Otomobil Seyahat Süresi	Yolcu Bakış Açısı	Operatör Bakış Açısı
≤ 1	• Toplu taşıma ile otomobil ile olduğundan daha hızlı yolculuk yapılabilir.	• Toplu taşıma ayrı bir yol hakkında işlediği ve karayolu ağı sıkışık olduğu zaman mümkün olur.
> 1-1,25	• Araç içi seyahat süreleri bakımından toplu taşıma ve otomobil karşılaştırılabilir. • 40 dakikalık bir iş yolculuğu için, toplu taşıma 10 dakikaya kadar daha uzun sürer.	• Ekspres servis ile mümkün olur. • Özel bir şeritte veya yol hakkında sınırlı sayıda durağa sahip servis ile mümkün olur.
> 1,25-1,50	• Seçme hakkı olan biniciler için tolere edilebilir. • 40 dakikalık bir iş yolculuğu için, toplu taşıma 20 dakikaya kadar daha uzun sürer.	Yorum yok.
> 1,50-1,75	• Tek yönlü 40 dakikalık bir yolculuk için toplu taşıma ile gidiş-dönüş yolculuğu, 1 saate kadar daha uzun sürer.	Yorum yok.
> 1,75-2	• Toplu taşıma ile yolculuk, otomobil ile olanın iki katı kadar daha uzun sürer.	• Sıkışık kent merkezi bölgelerinde karışık trafik işlemleri için en olası sonuç olabilir.
> 2	• Tüm yolcular için can sıkıcı olur.	• Doğrudan bağlantılar üzerinden kapsamaya vurgu yapan küçük şehir servisi için mümkün olan en iyi sonuç olabilir.

Tablo 14. Seyahat süresi farkı ve oranlarına göre değerlendirme (TCRP 100-TCRP 165)

Yolculuk Varyasyonları			Otobüsle Geçen Süre (dk)	Otomobille Geçen Süre (dk)	Otobüs ve Otomobil Yolculuk Sürelerinin Farkı	TCRP 100	Otobüs ve Otomobil Yolculuk Sürelerinin Oranı	TCRP 165
Hat No	Başlangıç Noktası	Bitiş Noktası						
A1	Zafertepe	KDPÜ Evliya Çelebi Yerleşkesi Güzel Sanatlar Fak.	45	18	27	C	2,5	LOS 6
7	Eski Otogar	KDPÜ Evliya Çelebi Yerleşkesi Güzel Sanatlar Fak.	25	13	12	B	1,92	LOS 5
7A	Otogar	KDPÜ Evliya Çelebi Yerleşkesi Güzel Sanatlar Fak.	35	16	19	C	2,19	LOS 6
7B	Can Kafe	KDPÜ Evliya Çelebi Yerleşkesi Güzel Sanatlar Fak.	53	18	35	D	2,94	LOS 6
17	TOKİ	KDPÜ Evliya Çelebi Yerleşkesi Güzel Sanatlar Fak.	25	13	12	B	1,92	LOS 5

4.7. Haftalık ve Günlük Çalışma Sürelerine Göre Değerlendirme

Tablo 15'te TCRP 100 yöntemine göre günlük ve haftalık çalışma süreleri ile ilgili hizmet düzeyleri gösterilmektedir. Ancak, TCRP 165 yönteminde, haftalık ve günlük çalışma süreleri birbirleri ile ilişkili olarak ayrı ayrı ele almaktadır. Bu sebeple, Tablo 16 TCRP 165 yöntemine göre haftalık çalışılan gün sayısı ile ilgili hizmet düzeylerini, Tablo 17 ise TCRP 165 yöntemine göre gün içinde çalışılan saat sayısı ile ilgili hizmet düzeylerini göstermektedir.

Dumlupınar Üniversitesi Evliya Çelebi Yerleşkesine yolcu taşıyan toplu taşıma hatlarından A1 ve 7A numaralı hatlar günlük 16 saat ve haftanın 7 günü hizmet vermektedir. 7 Numaralı hat özel günler (ösym sınavları vb.) dışında haftanın 5 günü ve günün 16 saati hizmet vermektedir. 7B Numaralı hat ise haftanın 5 günü ve günün 15 saati hizmet vermektedir. 17 Numaralı hat ise Pazar günü hizmet vermemektedir ve cumartesi günü karşılıklı olarak sadece 1 sefer düzenlenmektedir. Bu nedenle değerlendirmede 17 numaralı hattın haftanın 5 günü hizmet verdiği kabul edilmiştir. Aynı hattın günlük hizmet süresi ise 10 saattir. Bu bilgiler ışığında, aşağıda Tablo 17 ve Tablo 18 olmak üzere iki ayrı tablo düzenlenmiş olup bunlar, sırasıyla TCRP 100 ve TCRP 165 raporlarındaki yöntemlere göre haftalık ve günlük çalışma sürelerini esas alan değerlendirmeleri içermektedir. TCRP 100 raporunda günlük ve

haftalık çalışma sürelerinin kesişimleri için bir yorum yapılırken TCRP 165 raporunda değerlendirme ayrı ayrı yapılmaktadır.

Tablo 15. TCRP 100 raporuna göre günlük ve haftalık çalışma süreleri ile ilgili hizmet düzeyleri [2]

Günlük Çalışma Saati	Haftalık Çalışılan Gün Sayısı						
	6-7	5	3-4	2	1	0,5	< 0,5
≥ 16,0	LOS 1	LOS 2	LOS 4	LOS 5	LOS 6	LOS 7	LOS 8
12,0-15,9	LOS 2	LOS 3	LOS 4	LOS 5	LOS 6	LOS 7	LOS 8
9,0-11,9	LOS 3	LOS 4	LOS 4	LOS 6	LOS 6	LOS 7	LOS 8
4,0-8,9	LOS 5	LOS 5	LOS 5	LOS 6	LOS 7	LOS 7	LOS 8
< 4,0	LOS 6	LOS 6	LOS 6	LOS 7	LOS 8	LOS 8	LOS 8

Tablo 16. TCRP 165 raporuna göre haftalık çalışılan gün sayısı ile ilgili hizmet düzeyleri [35]

Haftalık Çalışılan Gün Sayısı	Yolcu Bakış Açısı	Operatör Bakış Açısı
7	<ul style="list-style-type: none"> Hafta sonu da dâhil olmak üzere haftanın her günü talebe duyarlı toplu taşıma yolculuklarına izin verir. Haftanın her günü iş ve eğitime erişimi artırır. Hafta sonu günlerinde “hayatı dolu yaşama” olasılığı daha yüksek olan yolculuklara (örneğin, sosyal, eğlence ve dini amaçlı seyahatler) izin verir. 	<ul style="list-style-type: none"> Haftanın her günü toplu taşıma servisi sağlar. Toplum sakinlerinin “hayatı dolu yaşama” amacıyla (hayatı sürdürme amaçlarının aksine) yapılan seyahatlere erişebilmelerini sağlar. Hafta içi servisine ek olarak hafta sonu servisi sağlamak için daha fazla işletme fonu gerektirir. 7 Günlük servis süresini kapsamak için daha büyük bir sürücü iş gücü gerektirir. Araç bakım gereksinimlerini artırır ve bakım planlamasını etkiler. Örneğin, yarı zamanlı iş atamalarını artırmak ya da çağrı esaslı hafta sonu hizmeti (yalnızca önceden yapılan seyahatler için) sağlamak suretiyle veya taksi-kuponu programı ya da gönüllü sürücüler aracılığıyla bordro saatlerini azaltmak için stratejileri dikkate alması gerekebilir. Hafta sonu günlerinde sürücü devamsızlığı riskini daha fazla artırabilir. Hafta sonu günlerindeki düşük talep dönemleri esnasında verimliliği (saatlik yolcu seyahatleri) azaltabilir.
6	<ul style="list-style-type: none"> Geleneksel çalışma haftasının her günü ve en azından bir hafta sonu günü talebe duyarlı toplu taşıma yolculuklarına izin verir. En az bir hafta sonu gününü kapsayacak şekilde geleneksel çalışma haftasının haricinde istihdam ve eğitim olanaklarına erişimi artırır. Haftada altı gün mevcut olan sağlık hizmetlerine erişimi artırır (örneğin, diyaliz tedavisi) Bir hafta sonu gününde “hayatı dolu yaşama” olasılığı daha yüksek olan yolculuklara izin verir. 	<ul style="list-style-type: none"> Kuruluş amaçlarına/hedeflerine ve topluluk tercihlerine bağlı olarak, cumartesi veya pazar günlerinde talebe duyarlı toplu taşıma servisi ekleyerek, hafta içi günlerin ötesinde topluluğa verilen toplu taşıma hizmetini artırır. Hafta içi servise ek olarak bir hafta sonu günü hizmeti sunmak için daha fazla işletme fonu gerektirir. 6 Günlük servis süresini kapsamak için daha büyük bir sürücü iş gücü gerektirir. Araç bakım gereksinimlerini artırır ve bakım planlamasını etkiler. Bir hafta sonu gününde sürücü devamsızlığı riskini daha fazla artırabilir. Hafta sonu günündeki düşük talep dönemleri esnasında verimliliği azaltabilir.
5	<ul style="list-style-type: none"> Geleneksel çalışma haftasının her günü talebe duyarlı toplu taşıma yolculuklarına izin verir. Eğer günlük olarak uygun saatlerle kombine edilirse tam gün, hafta içi iş ve eğitim için talebe duyarlı toplu taşıma tarafından yolculukların yapılmasına izin verir. Haftada beş gün tıbbi hizmetlere erişim sağlar. 	<ul style="list-style-type: none"> Bir topluluk için temel hafta içi toplu taşıma servisi sağlar. Haftada beş gün servis için işletme fonları gerektirir. Servisin günlük çalışma saatlerine bağlı olarak, tercih hakkına sahip kullanıcıları çekebilecek minimum düzeyde hizmet sağlar.
5’den az	<ul style="list-style-type: none"> Talebe duyarlı toplu taşıma tarafından temel alışveriş, kişisel iş, sağlık randevuları ve sosyal veya devlet hizmetlerine haftalık erişim sağlanır. Eğer günlük olarak uygun saatlerle kombine edilirse yarı zamanlı istihdam ve eğitim için yolculuklara izin verir. Servisin mevcut olduğu belirli hafta içi günler için önceden planlanan toplu taşıma yolculukları gerektirir. Bazı tıbbi hizmetlere erişimi sınırlar (örneğin, diyaliz, bazı tıbbi klinikler). 	<ul style="list-style-type: none"> Yaşlılar ve engelli insanlar gibi toplu taşımaya bağımlı kullanıcılar için toplu taşıma hizmetleri sağlar. Topluluktaki toplu taşımaya bağımlı nüfusun yolculuk ihtiyaçları dikkate alındığında günlerin tercih edilmesi için seçenekler sunar (örneğin, eğer topluluk şehirlerarası otobüs servisine sahipse, transfer bağlantılarına izin veren günlerde toplu taşıma hizmeti sağlanabilir). Haftada beş günden az işletilen servis için daha az işletme fonu gerektirir.
Haftalıktan daha az	<ul style="list-style-type: none"> Eğer önceden planlanırsa market alışverişi, bankacılık işlemleri, bir kerelik tıbbi randevular gibi “can simidi” yolculuklarına izin verir. Can simidi yolculuklarından farklı amaçlar için talebe duyarlı toplu taşıma servisi kullanma fırsatını sınırlar. 	<ul style="list-style-type: none"> Sadece toplu taşımaya bağımlı kullanıcılara hizmet eder. Toplu taşıma hizmetlerinin sağlanmasının maliyetini en aza indirir ve dağılmış küçük topluluklara sahip geniş bir kırsal servis alanında uygun fiyatlı tek toplu taşıma servisi olabilir. Sınırlı hizmetin açıklanmasında açık ve belirli olmak için kamuyu bilgilendirme/kullanıcı rehberi malzemesi gerektirir.

Tablo 17. TCRP 100 raporuna göre haftalık ve günlük çalışma sürelerine göre değerlendirme

Hat No	Hizmet Günü	Hizmet Saati	TCRP 100
A1	7	16	LOS 1
7	5	16	LOS 2
7A	7	16	LOS 1
7B	5	15	LOS 3
17	5	10	LOS 4

Tablo 18. TCRP 165 raporuna göre haftalık ve günlük çalışma sürelerine göre değerlendirme

Hat No	Hizmet Günü	TCRP 165	Hizmet Saati	TCRP 165
A1	7	LOS 1	16	LOS 1
7	5	LOS 3	16	LOS 1
7A	7	LOS 1	16	LOS 1
7B	5	LOS 3	15	LOS 2
17	5	LOS 3	10	LOS 3

4.8. Sefer Aralığına Bağlılık Kistasına Göre Değerlendirme

Sefer aralığına bağlılık hizmet düzeyi, toplu ulaşım sisteminin sağladığı rahatlık ve kullanım kolaylığını değerlendirmek amacıyla 10 dakikalık ya da daha az sefer aralığında işleyen hatlar için belirlenmiştir. Bilindiği üzere, 10 dakika ya da daha az sefer aralığında işleyen toplu taşıma servisi için, sefer aralığına bağlılık, güvenilirliği ölçmek için kullanılmaktadır. Bu amaçla, TCRP 100 raporunda belirlenen yöntem kullanılmıştır. Bu yöntemde, bir durağa ulaşan ve belli bir güzergâhta hizmet veren ulaşım araçlarının sefer aralıkları, tek tek kayıt altına alınarak sefer aralıklarının varyasyon katsayıları ve toplu taşıma araçlarının sefer aralıklarının planlanan sefer aralıklarının yarısından daha fazla sapması olasılıkları belirlenmektedir [37].

Bir durağa varan ve belirli bir güzergâhta hizmet veren toplu taşıma araçlarının sefer aralıklarının varyasyon katsayısı aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$c_{vh} = \frac{\text{sefer aralıklarının sapmasının standart sapması}}{\text{ortalama tarifelenmiş sefer aralıkları}} \quad (1)$$

Bu eşitlikte c_{vh} , sefer aralıklarının varyasyon katsayısıdır. Sefer aralığı sapsmaları, tarifelenmiş sefer aralıklarının gerçek sefer aralıklarından çıkarılmasıyla hesaplanır. Tablo 19 ve Tablo 20'de gösterildiği gibi, sefer aralıklarının varyasyon katsayıları, verilen bir toplu taşıma aracının sefer aralığının tarifelenmiş sefer aralığının (h) yarısından daha fazla sapması olasılığı (P) ile ilişkilendirilebilir. Bu olasılık, Z'nin sağında, normal dağılım eğrisinin bir kuyruğu üzerindeki alanın iki katı ile ölçülür. Burada, Z, 0,5'in c_{vh} ile bölünmesiyle elde edilir. Tablo 19'da, TCRP 100 raporuna göre, sefer aralıklarının varyasyon katsayıları ve toplu taşıma araçlarının sefer aralıklarının planlanan sefer aralıklarının yarısından daha fazla sapması olasılıkları gösterilmektedir. Tablo 20'de ise TCRP 165 raporu için aynı değerler verilmektedir. Ayrıca TCRP 165'de operatör ve yolcular için iki farklı bakış açısı yerine TCRP 100'deki gibi tek yorum yer almıştır; fakat yolcu ve operatör bakış açısı diye belirtilmiştir.

Tablo 19. TCRP 100 raporuna göre hizmet verilmesi gereken zaman ile verilen hizmet arasındaki standart sapma değerleri [2]

Servis Seviyesi	c_{vh}	P ($h_i > 0,5h$)	Yorum (Araçların Zamanlaması)
A	0,00-0,21	$\leq 1\%$	Servis saat gibi çok dakiktir.
B	0,22-0,30	$\leq 10\%$	Sefer aralıkları biraz sapor.
C	0,31-0,39	$\leq 20\%$	Sefer aralıkları oldukça sık sapor.
D	0,40-0,52	$\leq 33\%$	Düzensiz sefer aralıkları nedeniyle bazen gruplanmalar olabilir.
E	0,53-0,74	$\leq 50\%$	Sık sık gruplanmalar olabilir.
F	$\geq 0,75$	$> 50\%$	Araçların çoğunda gruplanmalar olur.

Evliya Çelebi Yerleşkesine gelen toplu taşıma hatları için değerlendirme, 10 dk ve altında sefer aralığına sahip olan A1 ve 7 numaralı hatlar için yapılmıştır. Değerlendirme sonuçları, Tablo 21'de gösterilmektedir.

Tablo 20. TCRP 165 raporuna göre hizmet verilmesi gereken zaman ile verilen hizmet arasındaki standart sapma değerleri [35]

C_{vh}	$P(h_i - h > 0,5h)$	Yolcu ve Operatör bakış açısı
0,00-0,21	$\leq 2\%$	Servis saat gibi çok dakiktir.
0,22-0,30	$\leq 10\%$	Sefer aralıkları biraz sapar.
0,31-0,39	$\leq 20\%$	Sefer aralıkları oldukça sık sapar.
0,40-0,52	$\leq 33\%$	Düzensiz sefer aralıkları nedeniyle bazen gruplanmalar olabilir.
0,53-0,74	$\leq 50\%$	Sık sık gruplanmalar olabilir.
$\geq 0,75$	$> 50\%$	Araçların çoğunda gruplanmalar olur.

Tablo 21. Standart sapmaya göre değerlendirme (TCRP 100-TCRP 165)

Hat No	C_{vh}	Standart Sapma	TCRP 100	TCRP 165
A1	0,69	$\leq 50\%$	E	LOS 5
7	0,49	$\leq 33\%$	D	LOS 4

Tablo 21’den, TCRP 100 raporundaki yöntemle göre, sefer aralığına bağlılık kıstası bakımından A-1 numaralı hattın “E” hizmet düzeyi sunarken, 7 numaralı hattın “D” hizmet düzeyi sağladığı görülmektedir. TCRP 165 raporundaki yöntemle göre ise, A-1 ve 7 numaralı hatların hizmet düzeyleri sırasıyla “LOS 5” ve “LOS 4” tür.

5. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Evliya Çelebi Yerleşkesine sağlanan toplu taşıma hizmetinin kalitesi pek çok açıdan değerlendirilmiştir. Toplu taşıma hizmetinin kalitesi öncelikle sistemin ulaşılabilirliği, hizmet sıklığı, hizmet saatleri ve hizmet kapsamı gibi parametreler TCRP 100 ve TCRP 165 raporlarındaki yöntemler doğrultusunda incelenmiştir. Evliya Çelebi Yerleşkesine gelen hatlarda, toplu taşıma sisteminde sağlanan rahatlık ve kolaylık araştırılmıştır. Bu nedenle, araçlardaki genel kalabalıklaşma seviyeleri, sefer aralığına bağlılık ve toplu taşıma ve otomobil seyahat sürelerinin farkı ile toplu taşıma ve otomobil seyahat sürelerinin oranı göz önünde alınmıştır. Her hat için, toplu taşıma parametreleri açısından farklı hizmet seviyeleri elde edilmiştir. Bu hizmet seviyeleri, toplu taşıma sisteminin etkinliği ve devamlılığı için önemli bilgiler sağlamaktadır.

Kütahya’da toplu taşıma ile seyahat için harcanan zaman, bazı güzergâhlar için otomobil ile seyahat için harcanan zamandan 2-3 kat daha uzun olabilmektedir. Bazı otobüs güzergâhları, servis kapsama alanı açısından iyi bir hizmet seviyesi sağlasa bile gerekenden daha uzundur. Ayrıca, yoğun saatlerdeki araç içi kalabalık, kullanılan taşıtların küçük olması ve yeterli yolcu kapasitesine sahip olmaması yüzünden oldukça fazladır. Bu durum, toplu taşımanın etkinliğini azaltmaktadır. Bu yüzden, pek çok yolcu, otobüs sisteminden memnun değildir. Dolayısıyla, zaman boşa harcanmakta ve özellikle özel araç sahipleri, toplu taşımayı tercih etmemektedirler.

Özel araç sahiplerinin, sürdürülebilir bir ulaşım sağlanması için, toplu taşımaya yönlendirilmeleri gerekmektedir. Şehir içindeki otobüs yolculuklarının daha kısa zamanda yapılmasını sağlamak, özel araç sahiplerini toplu taşımaya yönlendirebilir. Sonuç olarak, özel araç ile harcanan süreden 2-3 kat daha uzun süre otobüs yolculuğu yapılan toplu taşıma sistemi ile araç sahiplerinin ilgisini çekmek mümkün değildir. Toplu taşımanın süresini kısaltmak ve daha rahat bir ulaşım hizmeti sağlamak, özel araç sahiplerini toplu taşımaya yönlendirecektir. Bunu gerçekleştirmek için, hat uzunlukları öncelikle kısaltılmalı ve hatlar basitleştirilmelidir. Ayrıca, ekspres hatlar, makul sefer aralıkları ile Vazo, Evliya Çelebi Yerleşkesi ve Germiyan Kampüsü gibi şehrin en fazla yolcu çeken noktaları arasında işlemelidir. Ayrıca, toplu taşımayı ilgi çekici hale getirmek için otobüs hatları arasında işbirliği sağlanmalıdır. Bunun sonucunda, hızlı ve rahat bir toplu taşıma sistemi, hem hayat kalitesini arttıracak hem de ileride oluşabilecek önemli trafik sorunlarını çözecektir.

Yazarların Katkısı

Polat YALINIZ araştırma, doğrulama, düzenleme, kavramsallaştırma ve orijinal taslak yazımı konularında katkı sunarken, Yaşar VİTOŞOĞLU da araştırma, kavramsallaştırma, metodolojiye katkı ve makale yazımı konularında katkıda bulunmuştur. Şafak BİLGİÇ ise materyal temini, denetim, gözlem ve tavsiye konularında katkı vermiştir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar

- [1] Tyrinopoulos Y., Antoniou C. 2008. Public Transit User Satisfaction: Variability and Policy Implications. *Transport Policy*, 15: 260-272.
- [2] Transportation Research Board (TRB), 2003. Transit capacity and quality of service manual, Transit Cooperative Research Program (TCRP) Report 100. Second edition, Transportation Research Board of the National Academies, Washington, D.C.
- [3] Transportation Research Board (TRB). 1999. A handbook for measuring customer satisfaction and service quality. TRCP Report 47, TRB, Washington, D.C.
- [4] European Committee for Standardization (CEN), 2002. Transportation - logistics and services - public passenger transport - service quality definition, targeting and measurement. CEN-EN 13816, CEN, Brussels.
- [5] Transportation Research Laboratory (TRL) Limited, 2004. The demand for public transport: a practical guide. TRL Report TRL593, ISSN 0968-4107, TRL, Crowthorne.
- [6] Competitive and Sustainable Growth Programme, 2003. PORTAL Promotion of results in transport research and learning. Final Report, EU, RTD Programme.
- [7] 4th RTD Framework Programme, 2000. EQUIP Extending the quality of public transport. Final Report and its Annex: Practical Handbook, EU, RTD Programme.
- [8] 4th RTD Framework Programme, 1998. QUATTRO Quality approach in tendering/contracting urban public transport operations. Final Report, EU, RTD Programme.
- [9] Lai W.-T., Chen C.-F. 2011. Behavioral Intentions of Public Transit Passengers - The Roles of Service Quality, Perceived Value, Satisfaction and Involvement. *Transport Policy*, 18: 318-325.
- [10] Hensher D.A., Stopher P., Bullock P. 2003. Service Quality - Developing a Service Quality Index in the Provision of Commercial Bus Contracts. *Transportation Research Part A*, 37: 499-517.
- [11] Yedla S., Shrestha R.M. 2003. Multi-criteria Approach for the Selection of Alternative Options for Environmentally Sustainable Transport System in Delhi. *Transportation Research Part A*, 37 (8): 717-729.
- [12] Awasthi A., Chauhan S.S., Omrani H., Panahi A. 2011. A Hybrid Approach Based on SERVQUAL and Fuzzy TOPSIS for Evaluating Transportation Service Quality. *Computers & Industrial Engineering*, 61: 637-646.
- [13] Joewono T.B., Kubota H. 2007. User Satisfaction with Paratransit in Competition with Motorization in Indonesia: Anticipation of Future Implications. *Transportation*, 34 (4): 337-354.
- [14] Paquette J., Cordeau J.F., Laporte G. 2009. Quality of Service in Dial-a-ride Operations. *Computers & Industrial Engineering*, 56 (4): 1721-1734.
- [15] Eboli L., Mazzulla G. 2011. A Methodology for Evaluating Transit Service Quality Based on Subjective and Objective Measures from the Passenger's Point of View. *Transport Policy*, 18 (1): 172-181.
- [16] Nathanail E. 2008. Measuring the Quality of Service for Passengers on the Hellenic Railways. *Transportation Research Part A*, 42 (1): 48-66.
- [17] Friman M. 2004. Implementing Quality Improvements in Public Transport. *Journal of Public Transportation*, 7 (4): 49-65.
- [18] Gomes L.F.A.M. 1989. Multi-criteria Ranking of Urban Transportation System Alternatives. *Journal of Advanced Transportation*, 23 (1): 43-52.
- [19] Lin C.L., Hsieh M.S., Tzeng G.H. 2010. Evaluating Vehicle Telematics System by Using a Novel MCDM Techniques with Dependence and Feedback. *Expert Systems with Applications*, 37 (10): 6723-6736.

- [20] Liou J.J.H., Chuang Y.T. 2010. Developing a Hybrid Multi-criteria Model for Selection of Outsourcing Providers. *Expert Systems with Applications*, 37 (5): 3755-3761.
- [21] Yang J.L., Tzeng G.H. 2011. An Integrated MCDM Technique Combined with DEMATEL for a Novel Cluster-weighted with ANP Method. *Expert Systems with Applications*, 38 (3): 1417-1424.
- [22] Fielding G.J., Babitsky T.T., Brenner M.E. 1985. Performance Evaluation for Bus Transit. *Transportation Research Part A*, 19 (1): 73-82.
- [23] Pullen W.T. 1993. Definition and Measurement of Quality of Service for Local Public Transport Management. *Transport Reviews*, 13 (3): 247-264.
- [24] Hensher D.A., Daniels R. 1995. Productivity Measurement in the Urban Bus Sector. *Transport Policy*, 2 (3): 179-194.
- [25] Hensher D.A. 2007. *Bus Transport: Economics, Policy, and Planning*. JAI Press, New York.
- [26] Transportation Research Board (TRB). 2003. *A Guidebook for Developing a Transit Performance-Measurement System*. Transit Cooperative Research Program (TCRP) Report 88, TRB, National Academy Press, Washington, DC.
- [27] Hu K.C., Jen W. 2006. Passengers' Perceived Service Quality of City Buses in Taipei: Scale Development and Measurement. *Transport Reviews*, 26 (5): 645-662.
- [28] Parasuraman A., Zeithaml V.A., Berry L.L. 1985. A Conceptual Model of Service Quality and Its Implications for Future Research. *Journal of Marketing*, 49 (4): 41-50.
- [29] Parasuraman A., Zeithaml V.A., Berry L.L. 1988. SERVQUAL: A Multiple-item Scale for Measuring Customer Perceptions of Service Quality. *Journal of Retailing*, 64 (1): 12-40.
- [30] Cronin J.J., Taylor S.A. 1992. Measuring Service Quality: A Reexamination and Extension. *Journal of Marketing*, 56 (3): 55-68.
- [31] Triplett J.L., Yau O.H.M., Neal C. 1994. Assessing the Reliability and Validity of SERVQUAL in a Longitudinal Study: the Experiences of an Australian Organization. *Asia Pacific Journal of Marketing and Logistics*, 6 (12): 41-62.
- [32] Yeh C.H., Deng H., Chang Y.H. 2000. Fuzzy Multi-criteria Analysis for Performance Evaluation of Bus Companies. *European Journal of Operational Research*, 126 (3): 459-473.
- [33] Tsaur S.H., Chang T.Y., Yeh C.H. 2002. The Evaluation of Airline Service Quality by Fuzzy MCDM. *Tourism Management*, 23 (2): 107-115.
- [34] D'Ovidio F.D., Legrand D., Mancarellab R., Schinzanob A., Violab D. 2014. A Multivariate Analysis of the Quality of Public Transport Services. *Innovation and Society 2013 Conference, IES 2013, Procedia Economics and Finance*, 17: 238-247.
- [35] Transportation Research Board (TRB), 2013. *Transit capacity and quality of service manual*. Transit Cooperative Research Program (TCRP) Report 165, third edition, Transportation Research Board of the National Academies, Washington, D.C.
- [36] Vuchic V.R. 2007. *Urban Transit Systems and Technology*. John Wiley and Sons, New Jersey.
- [37] Karakoç E. 2015. *Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Evliya Çelebi Yerleşkesine Gelen Toplu Taşıma Araçlarının Hizmet Düzeyi Analizi*. Lisans Tezi, KDPÜ, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ulaştırma Mühendisliği Anabilim Dalı, Kütahya.

Araştırma Makalesi / Research Article

Engel Uzunluğunun Karıştırıcı Güç Sayısına Etkisi

İnci AYRANCI*, Gökhan GÖK

*Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Ankara
(ORCID: 0000-0003-4625-9862) (ORCID: 0000-0001-7420-4047)*

Öz

Karıştırmalı tanklarda en önemli tasarım parametrelerinden bir tanesi güç tüketimidir. Tasarım, sürecin amacı ve güç tüketiminin birlikte değerlendirilmesi sonucu, en iyi sonucun en düşük güç tüketiminde elde edildiği sistem düzenlemesine göre yapılır. Karıştırmalı tanklarda genel olarak tam engel kullanılmaktadır. Ancak bazı durumlarda daha kısa ve yüzeye yakın veya tankın tabanından belli bir mesafe uzaktan başlayan engellerin kullanılması sürecin amaçları açısından daha uygun olmaktadır. Bazı durumlarda ise hiç engel kullanılmaz. Güç tüketiminin hesaplanması için karıştırıcıya özel güç sayısının bilinmesi gerekmektedir. Literatürde tam engel kullanıldığı zaman karıştırıcıların güç sayıları yaygın olarak verilmiştir. Ancak, farklı tür engeller kullanıldığındaki güç sayıları bilinmemekte ve bu sebeple bu sistemlerin güç tüketimleri tasarım aşamasında hesaplanamamaktadır. Bu çalışmada karıştırmalı bir tankta engel uzunluğunun karıştırıcı güç sayısına etkisi araştırılmıştır. Tam engel, tabandan boşluklu engel, yüzey engeli, yarım engel ve engelsiz tank düzenlerinde eğimli bıçaklı karıştırıcının tork değerleri geniş bir Reynolds sayısı aralığında ölçülmüş ve güç sayıları hesaplanmıştır. En küçük güç sayılarına engelsiz düzende ve sonrasında yüzey engeli ile ulaşılmıştır.

Anahtar kelimeler: Güç sayısı, engel tipi, karıştırmalı tanklar, tork ölçümleri.

The Effect of Length of the Baffle on the Power Number

Abstract

One of the most important design parameters for stirred tanks is the power consumption. Design is based on a simultaneous evaluation of process mixing objective and power consumption. The configuration that gives the best process results at minimum power consumption gives the final design. In stirred tanks, often fully baffled tanks are used. In some processes, however, it was shown that shorter, closer to surface, or off-bottom baffles are more suitable in terms of process objectives. Unbaffled tanks are also sometimes used. Impeller specific power number needs to be known in order to calculate power consumption. The power number of various impellers are given in literature for baffled tanks. For different types of baffles, however, no power number information is available in the literature. This means that the power consumption cannot be calculated while designing these tanks. In this study, the effect of length of the baffle on the power number was investigated. Full baffles, off-bottom baffles, half baffles, surface baffles and no baffles configurations were used. The torque values of a pitched blade turbine impeller were measured over a wide range of Reynolds numbers, and power numbers were calculated. The minimum power number was observed for the unbaffled tank. This was followed by surface baffles.

Keywords: Power number, baffle type, stirred tanks, torque measurements.

1. Giriş

Tanklarda karıştırma kimyasal süreçlerde sıklıkla kullanılan temel işlemlerdendir. Kimyasal üretimi, kozmetik, ilaç, boya, polimer üretimi, gıda, mineral, deterjan üretimi ve benzeri birçok sanayide kullanılan bir birimdir. Karıştırmalı tankların tasarımında öncelikli amaç istenilen ürünü elde etmek olmakla birlikte, eğer bu koşul karıştırıcı hızını arttırmaktan geçiyor ise tasarım yapan bir mühendisin güç tüketimini göz önüne alması ve çok yüksek olmamasına dikkat etmesi gerekir. Bunun sebebi

*Sorumlu yazar: ayranci@metu.edu.tr

Geliş Tarihi: 28.11.2019, Kabul Tarihi: 07.10.2020

karıştırmalı tanklarda güç tüketiminin karıştırıcı hızının üçüncü kuvveti ile değişmesi ve bu sebeple karıştırıcı hızının artması ile güç tüketiminin çok fazla artmasıdır.

Bir karıştırmalı tankta geometrik özellikler akışı ciddi anlamda etkiler. Karıştırıcı tipi, karıştırma sürecinin amacına göre seçilmelidir. Türbülent sistemde akışın gerçekleştiği tanklarda kullanılan üç tip karıştırıcı vardır: aksel, radyal ve radyal-aksel karıştırıcılar [1]. Aksel karıştırıcılar genel olarak katıların sıvılar içinde süspansiyonu için kullanılır [2]. Bu karıştırıcılar sıvıyı önce tank tabanına yönlendirir. Daha sonra engellerin de yardımıyla akış yukarı yönelir ve katılar süspansiyon olur. Radyal karıştırıcılar genel olarak sıvı-sıvı sistemlerde veya gaz sıvı sistemlerde bir sıvıyı bir başka sıvı içerisinde veya bir gazı bir sıvı içerisinde dağıtmakta kullanılır. Radyal-aksel karıştırıcılar ise bu iki amacın her ikisini de ortalama olarak karşılar. Bu karıştırıcılar ile sıvı/gaz dağılımı ile aynı zamanda tanecik süspansiyonu da sağlanabilir. Bu sebeple ve imalatlarının kolay olması sebebiyle endüstride sıklıkla kullanılan bir karıştırıcı tipidir. Bu çalışmada da bu karıştırıcı tipi kullanılmıştır.

Yukarıdaki paragrafta da belirtildiği üzere karıştırmalı tanklarda engeller akışın yönünü değiştirmek amacıyla kullanılmaktadır. Engellerin varlığında akış yukarı doğru yönlendirilmektedir. Engeller olmadığında ise akış aşılacak akış tarafından domine edilerek devam etmektedir. Engeller çoğu kimyasal süreç için kullanılmakta ve kullanılması tavsiye edilmektedir [1]. Katı taneciklerin sıvılar içerisinde süspansiyonu engel kullanılması gereken süreçler listesinin başında gelmektedir. Endüstriyel tanklarda engeller tankın içerisine kaynaklanmaktadır. Haliyle üretim aralarında tankın temizlenmesi gerektiğinde engeller çıkarılamamaktadır. Bu, gıda ve ilaç endüstrisi gibi bazı endüstrilerde bir sorun teşkil edebileceğinden bazen süreçler engelsiz tanklar ile yürütülmektedir [3]. Ayrıca kristalizasyonda bazen engellerin varlığı oluşan taneciklere zarar verebileceğinden engelsiz tanklar tercih edilmektedir. Bunların dışında, literatürdeki çeşitli çalışmalar farklı engel tiplerinin bazı süreçler için daha verimli olabileceğini göstermiştir. Örneğin Myers vd. [4] katı taneciklerin sıvılar içinde süspansiyonunda engellerin tank tabanından bir miktar uzak bir mesafeden başlayıp yukarı kadar uzanması durumunda tanecik süspansiyonunun hala gerçekleştiğini, ancak güç tüketiminin %14 oranında azaldığını göstermiştir. Khazam ve Kresta [5] yüzen taneciklerin sıvının içerisine alınması sürecinde yüzey engellerinin kullanılmasının taneciklerin tank içerisinde daha derine daha kolay inebilmesini sağladığını göstermiştir. Bu çalışmalar, farklı engel tiplerinin karıştırmalı tanklarda verimli olarak kullanılabileceğini göstermektedir. Ancak, bu tür engellerin kullanılması durumunda güç tüketiminin ne olacağını mevcut literatür bilgisi ile hesaplanması mümkün değildir. Güç tüketimi aşağıdaki eşitlik ile hesaplanır:

$$P = \rho N_p N^3 D^5 \quad (1)$$

Burada P güç tüketimini (W), ρ sıvının yoğunluğunu (kg/m^3), N_p karıştırıcının güç sayısını, N karıştırıcı hızını (devir/s) ve D karıştırıcı çapını (m) temsil eder. Burada güç sayısı karıştırıcıya özgü bir değerdir, ancak karıştırıcının tipine ve sayısına olduğu kadar, akış rejimine ve tankın geometrisine de bağlıdır [6-9]. Laminer rejimde güç sayısı Reynolds sayısı ile ters orantılıdır [10]. Türbülent rejime doğru arttırılan karıştırıcı hızlarında güç sayısı düşüş gösterir ve türbülent rejimde sabit bir değere ulaşır [11,12.] Bu durumda bir sistem türbülent rejimde çalıştırılacak ise ve karıştırıcının güç sayısı biliniyor ise güç tüketimi hesaplanabilir. Ancak literatürde güç sayıları engelli tanklar için verilmiştir [1,11,13]. Bu sebeple farklı engel tipleri kullanıldığında güç tüketiminin hesaplanması mümkün değildir. Bu araştırmanın amacı literatürdeki bu açığı kapatmaktır.

Bu çalışmada radyal-aksel bir karıştırıcının kullanıldığı bir karıştırmalı tankta dört farklı engel tipinde ve bir de engelsiz düzende güç sayısının artan Reynolds sayıları ile nasıl değiştiği incelenmiş ve bu karıştırıcı tipinin bu farklı düzenlerdeki güç sayıları rapor edilmiştir. Böylelikle bu karıştırıcı tipinin kullanılacağı bir sistem için, sistem kurulmadan tasarım aşamasında, güç tüketimi hesabı bu beş düzen arasından istenilen herhangi biri için yapılabilecektir.

2. Materyal ve Metot

Deneyler 0,24 m iç çapında (T) bir pleksi tankta gerçekleştirilmiştir. Çapı tank çapının yarısı ($D=T/2$) olan 45° eğimli bıçaklı bir karıştırıcı (PBT) kullanılmıştır. Karıştırıcının fotoğrafı Şekil 1'de, boyutları Tablo 1'de verilmiştir. Karıştırıcı, bütün deneylerde tank tabanından, tank çapının üçte biri ($C=T/3$) kadar bir mesafeye yerleştirilmiştir. Bütün deneylerde sıvı faz olarak damıtılmış su kullanılmıştır. Sıvı

yüksekliğinin tank çapına eşit geldiği noktaya ($H=T$) pleksi bir kapak yerleştirilmiş ve sonrasında bu kapağın üzeri bir miktar su ile doldurulmuştur. Bunun sebebi ölçümlerin sıvı yüksekliğinin tank çapına eşit olduğu bir sistem için yapılmak istenmesi, ancak içeri hava girişinin engellenmesidir. Tork ölçümleri literatürde de bu şekilde yapılmaktadır [13]. Metnin geri kalanında sıvı yüksekliği veya sıvı yüzeyi ile kastedilen, tankın çapı kadar olan ($H=T$) yüksekliktir.

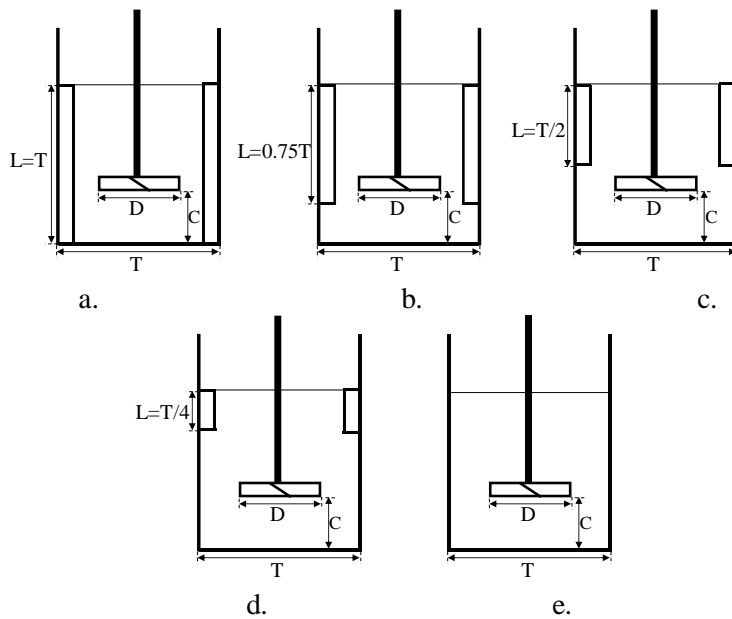


Şekil 1. PBT karıştırıcının fotoğrafı

Tablo 1. Deneylerde kullanılan PBT karıştırıcının boyutları

Karıştırıcı kısmı	Değeri (m)
Çapı	0,12
Bıçak uzunluğu	0,0485
Bıçak genişliği	0,024
Bıçak kalınlığı	0,004
Orta yüzük genişliği	0,029
Orta yüzük iç çapı	0,014
Orta yüzük yüksekliği	0,030

Deneylerde dört tip engel kullanılmıştır. Ayrıca engelsiz düzende de ölçümler gerçekleştirilmiştir. Deneylerde kullanılan düzenekler Şekil 2’de gösterilmiştir. Dört engel tipi şu şekilde isimlendirilmiştir: tam engel, tabandan boşluklu engel, yarım engel ve yüzey engeli. Her bir engel tipinde, standart engellerde olduğu gibi, dört adet karşılıklı bacak (engel) bulunmaktadır. Her bir engel tank çapının onda biri genişlikindedir ($T/10$). Tam engelde engeller bütün sıvı yüksekliğini kaplayacak yüksekliktedir. Tabandan boşluklu engel tank tabanından, tankın çapının dörtte biri kadar bir boşluk kalıncaya kadar uzanmaktadır. Yarım engel sıvı yüzeyinden tankın çapının yarısı kadar aşağı uzanmaktadır. Yüzey engeli ise sıvı yüzeyinden tankın çapının dörtte biri kadar aşağı uzanmaktadır.



Şekil 2. Tank ve engel geometrileri a) tam engel, b) tabandan boşluklu engel, c) yarım engel, d) yüzey engeli, e) engelsiz

Tork ölçümlerinde ETH DRBK serisi dinamik, 0-10 Nm ölçüm aralıklı tork sensörü kullanılmıştır. Düzenek kurulduktan sonra karıştırıcı hızı 20 devir/dk'dan itibaren 20 devir/dk'lık artışlarla 1100 devir/dk'ya kadar arttırılmıştır. Her bir karıştırıcı hızında öncelikle 10 saniye – 1 dakika arası sistemin yatışkın duruma gelmesi beklenmiş, sonrasında da 1 dakika boyunca tork değerleri kaydedilmiştir. Daha sonra hız 20 devir/dk arttırılarak aynı süreç tekrarlanmıştır. Buradaki hız değerleri hem geçiş rejimi hem de türbülent rejimi kapsayacak şekilde seçilmiştir. Reynolds sayısı ($\rho ND^2/\mu$) cinsinden bu aralık 4780-262946'dır. Karıştırmalı tanklarda $Re < 10$ laminer rejimi, $Re > 20000$ türbülent rejimi temsil etmektedir. $10 < Re < 20000$ aralığı geçiş rejimi olarak bilinir. Son zamanlarda yapılan çalışmalarda tankın içerisinde her noktada türbülent rejim olması için Reynolds sayısının 300000'in üzerinde olması gerektiği rapor edilmiştir [14]. Reynolds sayısı 20000'in üzerinde olduğunda güç sayısı artan Reynolds sayısı ile değişmez, sabit kalır. Bu sebeple bu çalışmadaki karıştırıcı hızı seçimleri geçiş rejimi ve tam türbülent rejimi kapsayan Reynolds sayıları elde edilecek şekilde yapılmıştır.

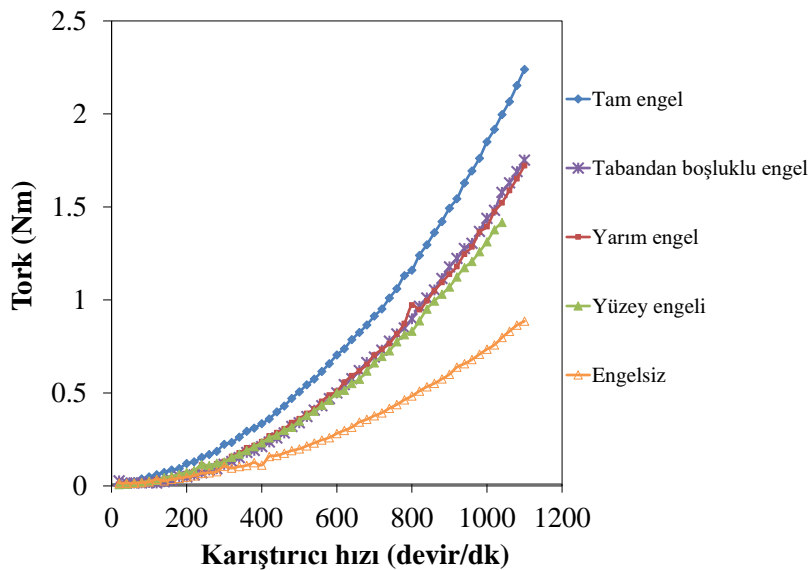
Deneylerde ilk olarak sadece shaft ile ölçümler alınmıştır. Sonra aynı deney shaftın ucuna karıştırıcının takılması ile gerçekleştirilmiştir. Sonuçta elde edilen karıştırıcılı tork değerinden karıştırıcısız shaft tork değeri çıkarılmış ve güç sayısı hesaplamalarında bu tork değeri kullanılmıştır. Güç sayısının hesaplanması için tork ölçümleri literatürde de bu yöntemle yapılmaktadır [13]. Hesaplanan bu fark tork değerinden aşağıdaki eşitlik kullanılarak güç tüketimi hesaplanır:

$$T = \frac{P}{2 \pi N} \quad (2)$$

Burada T torku (Nm), P güç tüketimini (W) ve N karıştırıcı hızını (devir/s) temsil etmektedir. Bu şekilde güç tüketimi hesaplandıktan sonra Eşitlik 1 kullanılarak güç sayısı hesaplanır.

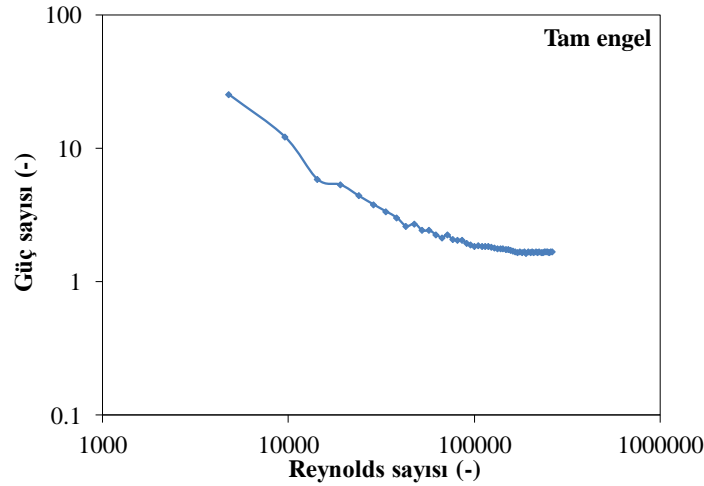
3. Bulgular ve Tartışma

Bu bölümde ilk olarak her bir engel tipinde ve engelsiz düzende, test edilen bütün karıştırıcı hızları için ölçülen tork değerleri verilmiştir. Sonra, bu tork değerleri kullanılarak güç sayıları hesaplanmış ve verilmiştir. En son olarak, bütün engel tipleri ve engelsiz düzen için tam türbülent güç sayıları raporlanmış ve bir örnek üzerinden bu güç sayıları kullanılarak nasıl karıştırmalı tank tasarımı yapılacağı anlatılmıştır. Şekil 3'te torkun karıştırıcı hızı ile değişimi gösterilmiştir. Tork değerleri tam engelli tanklarda en yüksek, engelsiz tanklarda ise en düşük çıkmıştır. Diğer üç düzende, tabandan boşluklu, yarım ve yüzey engellerinde, ise birbirine yakın ve tam engelli ve engelsiz düzenlerin arasında değerler elde edilmiştir.



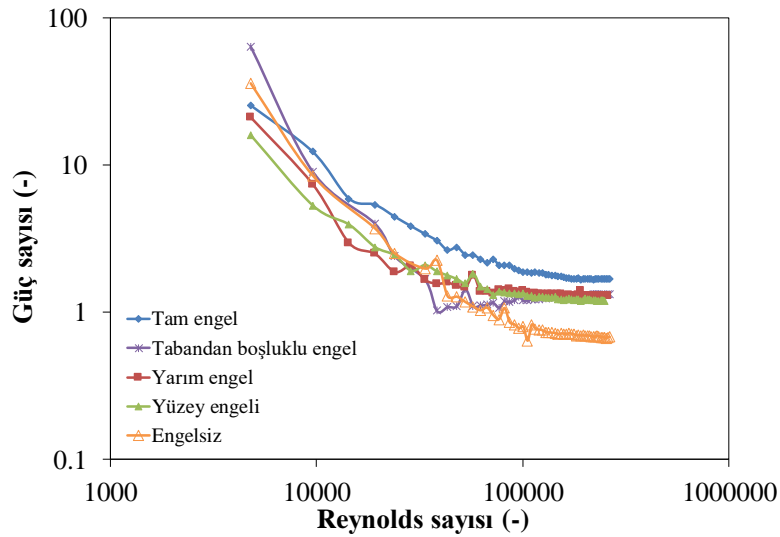
Şekil 3. Tüm engel düzenlerinde karıştırıcı hızı ile değişen tork değerleri

Şekil 3'te elde edilen tork değerlerinden Eşitlik 2 kullanılarak güç tüketimleri hesaplanmıştır. Daha sonra Eşitlik 1 kullanılarak güç sayıları hesaplanmıştır. Sonuçlar Şekil 4 ve Şekil 5'te gösterilmektedir. Şekil 4'te tam engellerin olduğu durumda değişen Reynolds sayılarına karşılık gelen güç sayıları verilmiştir. Bu engel düzeni, literatürde rapor edilen güç sayılarının ölçüldüğü standart düzendir. Güç sayısı-Reynolds sayısı eğrisi genel şekil ve eğilim olarak literatür ile bire bir uyumludur [1]. Düşük Reynolds sayılarında yüksek olan güç sayısı, Reynolds sayısının artması ile azalır ve türbülent rejimde sabit bir değere ulaşır. Geçiş rejiminde güç sayısındaki azalan trend literatür ile uyumludur. Burada tam türbülent rejimde, yani Reynolds sayısının ~200 000'den büyük olduğu durumda sabit olan güç sayısı 1.68'dir. PBT karıştırıcı için literatürde verilen güç sayısı değeri 1.27'dir [1]. Bu çalışmada elde edilen ve literatürde verilen değer arasında bir miktar fark bulunmaktadır, ancak karıştırıcının bıçak uzunluğu, genişliği ve benzeri geometrik özelliklerinin karıştırıcının güç sayısını etkileyebileceği bilinmektedir [11]. Elde edilen değer ile literatür değeri, geometrik farklar göz önüne alındığında uyumludur.



Şekil 4. Tam engelli düzen için güç sayısının Reynolds sayısı ile değişimi

Şekil 5'te bütün düzenlerde, yani tam engel, tabandan boşluklu engel, yarım engel, yüzey engeli ve engelsiz düzenlerde değişen Reynolds sayılarında elde edilen güç sayıları verilmiştir. Görüldüğü üzere bütün engel tiplerinde ve engelsiz düzende güç sayısı-Reynolds sayısı eğrisi tam engel düzeninde elde edilen ile benzer özellikleri taşımakta, şekil olarak onunla uyum göstermektedir. Bu durum, bu verilerin aynı zamanda eğilim açısından engelli tanklardaki literatür verileri ile uyumlu olduğunu göstermektedir.



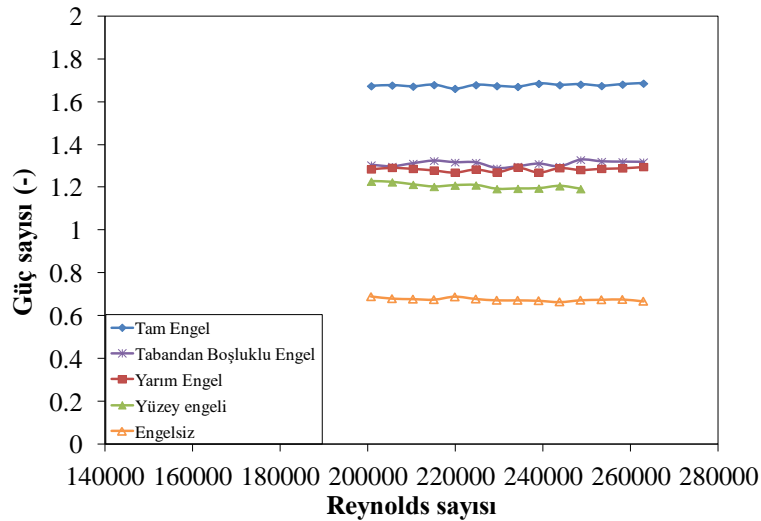
Şekil 5. Farklı engel düzenlerinde güç sayısının Reynolds sayısı ile değişimi

Bütün düzenlerde, test edilen en düşük Reynolds sayısı olan 4780 geçiş rejimini temsil etmektedir. Bu akış rejiminde Şekil 5'te görüldüğü üzere engel yüzeyden yarıma ve yarımdan tam engele doğru uzatıldığında güç sayısı %18-25 arası artma göstermiştir. Buradan, engel tankın içerisinde yüzeyden aşağı doğru uzatıldıkça güç sayısının arttığı sonucu çıkarılabilir. Ancak tabandan boşluklu engel kullanıldığında en düşük Reynolds sayısında güç sayısı, tam engel düzenindeki değerini de geçmektedir. Güç sayısı tam engel değerinden %149 daha fazladır. Engelsiz düzende ise bu artış %40 oranındadır. Bu, eğer tank geçiş rejiminde işletilecek ise tabandan boşluklu engelin veya engelsiz düzenin kullanılmasının diğer engel tasarımlarına göre çok daha fazla güç tüketimine sebep olacağını göstermektedir. Geçiş rejiminde işletim her türlü geometride ve süreçte zordur. Burada da benzer bir durum görülmektedir. Bu sebeple elde edilen sonuçlara göre geçiş rejiminde tabandan boşluklu engel ve engelsiz düzenlerin kullanılması tavsiye edilmemektedir.

Endüstriyel süreçlerin pek çoğu türbülent rejimde çalıştırılmaktadır. Tam türbülent rejimde tam engelli tanklarda güç sayısı Reynolds sayısı ile bir değişim göstermez. Şekil 6, bu durumun bu çalışmada incelenen farklı engel düzenleri için de geçerli olduğunu göstermiştir. Güç sayısının sabit olması güç tüketiminin hesabını kolaylaştırır. Şekil 6'da tam türbülent koşullarda, yani Reynolds sayısının 200 000'den fazla olduğu durumda güç sayısının farklı düzenlerdeki değerleri gösterilmiştir. Belli bir Reynolds sayısı aralığına odaklanılması farklı düzenlerdeki güç sayılarının daha açık bir şekilde görülmesini de sağlamaktadır. Her bir düzen için sabit güç sayısı değerleri Tablo 2'de verilmiştir. Şekil 6'da açıkça görüldüğü üzere değişen Reynolds sayılarında güç sayısı hemen hemen değişmemekte, sadece belli bir ortalama değer etrafında küçük artış ve azalışlar göstermektedir. Raporlanan güç sayısı değerleri şekilde verilen Reynolds sayısı aralığında elde edilen güç sayılarının ortalama değeridir. Türbülent güç sayısı, tam engelden tabandan boşluklu engele geçildiğinde %22, tabandan boşluklu engelden yarıma engele geçildiğinde %2.3, yarıma engelden yüzey engeline geçildiğinde %5.5 ve yüzey engelinden engelsiz düzene geçildiğinde %44 azalmaktadır. Engelin tank içerisinde varlığı azaldıkça türbülent güç sayısı da azalmaktadır. Engeller tanktaki akışın yönünü değiştirmekte, bu sebeple de güç tüketimine sebep olmaktadır. Bu sebeple tankın içindeki engel varlığı azaldıkça güç sayısının da düşmesi anlamlıdır. Daha önce Şekil 5'te geçiş rejiminde tabandan boşluklu engel ve engelsiz düzenlerde görülen tam engel düzeninden de yüksek güç sayıları tam türbülent rejimde artık görülmemektedir.

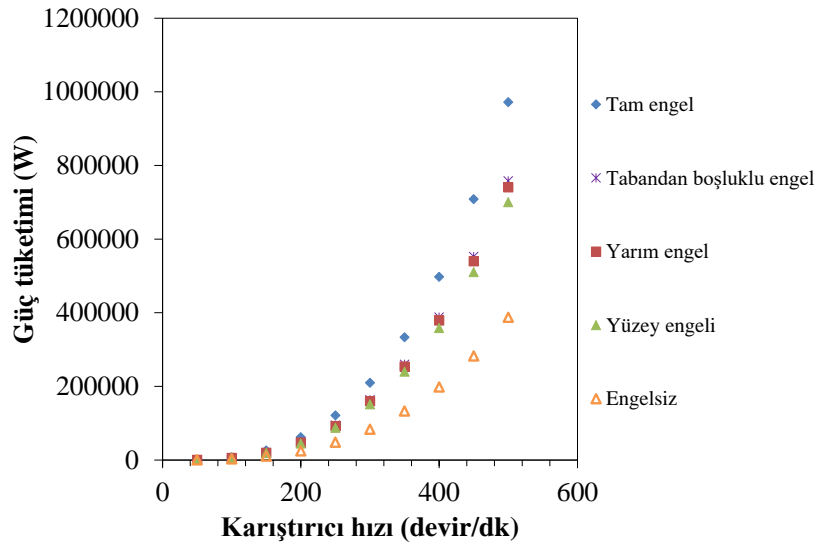
Tablo 2. Bütün engel düzenleri için türbülent güç sayısı

Engel düzeni	Güç sayısı
Tam engel	1,68
Tabandan boşluklu engel	1,31
Yarım engel	1,28
Yüzey engeli	1,21
Engelsiz	0,67



Şekil 6. Farklı engel düzenlerinde türbülent güç sayısının Reynolds sayısı ile değişimi

Farklı engel düzenlerindeki güç sayılarının bilinmesi ile tasarım aşamasında güç sayısı hesabı yapılması mümkün olur. Böylelikle hem gerekli motor seçimi yapılabilir hem de engel düzenleri arasında bir seçim yapılabilir. Şekil 7 böyle bir tasarım durumu için örnek güç tüketimi hesaplarının sonuçlarını göstermektedir. 1m çapındaki bir karıştırmalı tankın türbülent rejimde çalıştırılacağı varsayılmıştır. Sıvı faz olarak su öngörülmüştür. Akış rejiminden dolayı Şekil 6’da görülen ve Tablo 2’de sıralanan türbülent güç sayılarının kullanılması gerekmektedir. Bu güç sayıları Eşitlik 1’de yerine konulmuş ve farklı karıştırıcı hızları için güç tüketimleri hesaplanmıştır. Şekil 7’de görüldüğü üzere en yüksek güç tüketimi tam engelin olduğu durumda, en düşük güç tüketimi ise engelsiz durumda elde edilmiştir. Diğer engel düzenlerinde güç tüketimi tam engelden daha düşük, ancak engelsiz düzenden oldukça yüksektir. Fark, yüksek karıştırıcı hızlarında daha belirgin hale gelmektedir. Bu durumda tabandan boşluklu, yarım ve yüzey engelleri arasında bir seçim yapılması gerekirse karar güç tüketiminden bağımsız, sadece akış yönleri ve sürecin gerektirdikleri baz alınarak yapılabilir. Bu engel düzenlerinden birine karar verildiğinde ise bu makalede verilen güç sayıları kullanılarak işletimin yapılacağı karıştırıcı hızlarına karşılık gelen güç değerleri ve sonrasında da tork değerleri hesaplanabilir. Bu tork değerleri ile de kullanılacak motorun seçimi gerçekleştirilebilir.



Şekil 7. Farklı engel düzenlerinde 1 m çapındaki bir karıştırmalı tank için hesaplanan güç tüketimleri

4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada PBT karıştırıcı ile karıştırılan bir tankta farklı engel tipleri kullanıldığında karıştırıcı güç sayısının nasıl değiştiği incelenmiş ve bu farklı düzenler için türbülent güç sayısı rapor edilmiştir. Elde edilen önemli sonuçlar şu şekildedir:

- Test edilen dört engel uzunluğunda ve engelsiz düzende elde edilen güç sayısı-Reynolds sayısı grafikleri birbiri ile benzer eğilimler göstermiştir. Bu eğilimler standart olarak tam engel için sunulan literatür verileri ile de uyumludur.
- Geçiş rejiminde tabandan boşluklu engel ve engelsiz düzenlerde güç sayıları diğer düzenlere göre çok daha yüksek çıkmıştır. Belli bir süreç tasarımında geçiş rejiminde çalışılacak ise bu iki düzenden kaçınılması tavsiye edilmektedir. Bir başka engel uzunluğu seçilerek güç tüketimi ciddi oranda düşürülebilecektir.
- Türbülent güç sayıları karşılaştırıldığında engelin tank içerisindeki varlığı azaldıkça güç sayısının da büyük oranda azaldığı görülmüştür. PBT karıştırıcı için tam, tabandan boşluklu, yarım, yüzey engeli ve engelsiz düzenlerde türbülent güç sayıları sırası ile 1,68, 1,31, 1,28, 1,21 ve 0,67 olarak bulunmuştur. Bir süreç için tank tasarımı yapılırken bu güç sayısı değerleri kullanarak güç tüketimi hesabı yapılabilir ve bu şekilde hem süreç amaçlarını karşılayacak hem de enerji tüketimini minimize edecek en uygun geometrik düzen seçilebilir.

Teşekkür

TÜBİTAK'a destekleri için teşekkür ederiz (Proje no: 117M158).

Yazarların Katkısı

Makalenin fikri, veri analizi, grafik ve görsellerin oluşturulması, makale yazımı İnci AYRANCI'ya aittir. Veriler Gökhan GÖK tarafından alınmıştır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar

- [1] Hemrajani R.R., Tatterson G.B. 2004. Mechanically stirred vessels in Handbook of Industrial Mixing: Science and Practice. John Wiley&Sons, New Jersey.
- [2] Ayrancı I., Machado M.B., Madej A.M., Derksen J.J., Nobes D.S., Kresta S.M. 2012. Effect of geometry on the mechanisms for off-bottom solids suspension in a stirred tank. Chemical Engineering Science, 79: 163-176.
- [3] Assirelli M., Bujalski W., Eaglesham A., Nienow A.W. 2008. Macro- and micromixing studies in an unbaffled vessel agitated by a Rushton turbine. Chemical Engineering Science, 63: 35-46.
- [4] Myers K.J., Fasano J.B. 2002. The influence of baffle off-bottom clearance on the solids suspension performance of pitched blade and high-efficiency impellers. Canadian Journal of Chemical Engineering, 70: 596-599.
- [5] Khazam O., Kresta S.M. 2009. A novel geometry for solids drawdown in stirred tanks. Chemical Engineering Research & Design, 87 (3A): 280-290.
- [6] Bates R.L., Fondy P.L., Corpstein R.R. 1963. An examination of some geometric parameters of impeller power. Industrial & Engineering Chemistry Research, 2 (4): 310-314.
- [7] Yianneskis M., Popiolek Z., Whitelaw J.H. 1987. An experimental study of the steady and unsteady-flow characteristics of stirred reactors. Journal of Fluid Mechanics, 175: 537-555.
- [8] Ibrahim S., Nienow A.W. 1995. Power curves and flow patterns for a range of impellers in Newtonian fluids: $40 < Re < 5 \times 10^5$. Chemical Engineering Research&Design, 73 (A5): 485-491.
- [9] Armenante P.M., Mazzarotta B., Chang G.M. 1999. Power consumption in stirred tanks provided with multiple pitched-blade turbines. Industrial & Engineering Chemistry Research, 38 (7): 2809-2816.
- [10] Rutherford K., Mahmoudi S.M.S., Lee K.C., Yianneskis M. 1996. The influence of Rushton impeller blade and disk thickness on the mixing characteristics of stirred vessels. Transactions of the Institution of Chemical Engineers, 74 (A3): 369-378.
- [11] Rushton J.H., Costich E.W., Everett H.J. 1950. Power characteristics of mixing impellers. Chemical Engineering Progress, 46 (8): 395-476.
- [12] Nagata S. 1975. Mixing: Principles and Applications. John Wiley & Sons, New York.
- [13] Chapple D., Kresta S.M., Wall A., Afacan A. 2002. The effect of impeller and tank geometry on power number for a pitched blade turbine. Transactions of the Institution of Chemical Engineers, 80 (A): 364-372.
- [14] Machado M.B., Bittorf K.J., Vesselina T.R., Kresta S.M. 2013. Transition from turbulent to transitional flow in the top half of a stirred tank. Chemical Engineering Science, 98: 218-230.

Araştırma Makalesi / Research Article

Polimer Katkılı Harçların Mekanik ve Elektriksel Özdirenç Özelliklerinin Araştırılması

Kadir GÜÇLÜER*

*Adıyaman Üniversitesi, Teknik Bilimler MYO, İnşaat Bölümü, Adıyaman
(ORCID: 0000-0001-7617-198X)*

Öz

Elektriksel özdirenç değerleri günümüz yapı malzemelerinin sürdürülebilir hale getirilmesinde yardımcı olabilecek veriler sağlayabilmektedir. Bu amaçla, bu çalışmada polimer katkı harçlarda mekanik ve elektriksel özdirenç değerleri araştırılmıştır. Polimer katkı toz halde olup harç üretiminde çimento ağırlığının % 0, 0,5, 1 ve 1,5 oranlarında ikame edilerek kullanılmıştır. Mekanik özellikleri belirleyebilmek amacıyla deney örnekleri 7 ve 28 gün boyunca laboratuvar ortamında kür edilmişler, ardından basınç ve eğilmede çekme deneylerine maruz bırakılmışlardır. Kür işlemi sonrasında deney örnekleri sabit 30V'luk gerilime maruz bırakılarak elektriksel özdirenç hesaplamaları yapılmıştır. Polimer katkı ile birlikte özdirenç değerlerinin arttığı, basınç ve eğilme dayanımlarının azaldığı tespit edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Polimer, çimento harcı, elektriksel özdirenç.

An Investigation of Mechanical and Electrical Resistivity Properties of Polymer Additive Mortars

Abstract

Electrical resistivity values can provide useful data that can help to make today's building materials sustainable. For this purpose, mechanical and electrical resistivity values of polymer added mortars were investigated in this study. Polymer additive is in powder form and it is used by replacing 0, 0.5, 1 and 1.5% of cement weight in mortar production. In order to determine the mechanical properties, the test specimens were cured in the laboratory for 7 and 28 days and then subjected to tensile and compressive strength tests. After curing process, electrical resistivity calculations were made by subjecting the test samples to a constant 30V voltage. It was determined that resistivity values increased, compressive and bending strength decreased with polymer additives.

Keywords: Polymer, cement mortar, electrical resistivity.

1. Giriş

Çimento bağlayıcılı sistemde üretilen beton ve harç gibi malzemelerin durabilite özellikleri oldukça önemlidir. Özellikle soğuk iklimde sahip bölgelerde, taşıyıcı ya da koruyucu malzeme olarak tercih edilen harç ve betonların ekonomik hizmet ömürlerinin artırılması yapısal performans açısından avantaj oluşturabilir [1]. Yapı elemanlarını örten sıvaların performansı bugün olduğu gibi tarihte de önemli olmuştur. Tarihi yapıların geçmişten günümüze kadar ayakta kalması bu bilincin eskiden de var olduğunu göstermekte olup, yapıların performanslarının korunmasında harç içerisinde farklı katkıların kullanıldığı bilgisini doğrulamaktadır [2].

Elektriksel iletkenlik, madde içerisinde atomik boyutta yük taşıyan elemanlar tarafından gerçekleştirilmektedir. Çimento bağlayıcılı sistemde üretilen beton ve harç gibi malzemeler yalıtkan özelliklere sahiptir [3].

Beton ve harç gibi malzemelerin iletkenlik özelliklerinin geliştirilmesi suretiyle özellikle soğuk bölgelerde gerçekleştirilen uygulamalarda beton ve harç içerisinden elektrik akımının geçirilerek

*Sorumlu yazar: kgucluer@adiyaman.edu.tr

Geliş Tarihi: 17.12.2019, Kabul Tarihi: 08.04.2020

ısıtılması ve donma sonrası oluşacak deformasyonların önlenmesi, ayrıca korozif etkiye bağlı durabilite hasarlarının engellenmesi gerçekleştirilebilir [4-5]. Portland çimentosu ile üretilen harç ve betonlar son 170 yılda tüm dünyada yapı malzemeleri arasında oldukça popüler olmuştur. Oldukça gelişmiş özelliklerinin bulunması yanında dezavantajlı olduğu noktalarda mevcuttur. Polimer takviyeli harç ve beton uygulamaları son 70 yıldır sürekli gelişme göstermektedir. Polimer katkı harç ve beton uygulamalarının esas amacı, dezavantaj oluşturan özelliklerin modifiye edilmesi noktasında yoğunlaşmaktadır [6]. Beton ve harç uygulamalarında tercih edilen polimerler monomer ve kopolimer yapıda olup, etilen-vinil asetat, poliakrilik ester, toz polimer gibi polimerlerdir [7]. Polimer takviyeli harç ve beton elemanlar genellikle endüstriyel amaçlı kaplama ve tamir işlerinde, yapı onarımı ve güçlendirmelerinde, yer altı kazı ve tünel işlemleri ile spesifik uygulamalarda kullanılmaktadır [8]. Bu çalışmada, çimento ile ikame edilmek suretiyle üretilen polimer katkı harç örneklerinin elektriksel özdirenç ve mekanik özellikleri araştırılmıştır.

2. Materyal ve Metot

Çalışmada bağlayıcı olarak TS EN 197-1 [9] ile uyumlu CEM II 32,5 R kompoze çimento kullanılmıştır. Polimer Ankara merkezli bir ticari firmadan alınmış olup, beyaz renkte ve toz halde polimer kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan çimentoya ait kimyasal bileşenler Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Çimentoya ait kimyasal bileşenler

Bileşen (% Ağırlık)	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	K ₂ O	Na ₂ O
Çimento	19.2	62.8	3.88	4.25	3.42	0.34	2.1

Harç karışımlarının hazırlanmasında TS EN 196-1’e uygun [10] Rilem Cembureau Standart Kumu kullanılmıştır. Karışımlar şahit numunenin 28 günlük basınç dayanımı 25 MPa hedef alınarak oluşturulmuştur. Polimer, çimento ile %0.5, %1 ve %1.5 oranlarında ikame edilerek kullanılmıştır. Harç numuneleri 40x40x160 mm boyutlarındaki prizmatik harç kalıplarına dökülerek masa tipi vibratör yardımı ile yerleştirilerek üretilmiştir. Üretilen harç numuneleri 24 saat boyunca laboratuvar ortamında kalıplarında bekletilmiştir. Bu sürenin sonunda numuneler kalıplarından çıkartılıp ilgili deneylerin yapılacağı zamana kadar 20 ± 2 °C sıcaklığa sahip su havuzlarında kür işlemine tabi tutulmuştur. Elektrik özdirenç ölçümleri ASTM C 1760 [11] standardına uygun olarak ölçülmüş ve formül (1), (2) ve (3) aracılığıyla örneklerin özdirenç ve iletkenlik değerleri hesaplanmıştır (Şekil 1). Özdirenç ölçümleri 3 adet 40x40x160 mm ölçülerine sahip harç numuneleri üzerinde uygulanmış ve elde edilen sonuçların ortalamaları alınmıştır. Basınç dayanımı ve eğilme dayanımı deneyleri 7 ve 28 gün kür süresine sahip numuneler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Her bir seri için 3’er adet numune üretilmiş eğilme dayanımı sonuçları 3 numunenin ortalaması alınarak hesap edilmiştir. Eğilme dayanımı sonrası elde edilen numuneler üzerinde basınç dayanımı ölçümleri yapılarak sonuçların ortalaması alınmıştır.



Şekil 1. Elektriksel özdirenç ölçümü

$$\delta = R x \frac{S}{L} \quad (1)$$

$$p = \frac{1}{\delta} \quad (2)$$

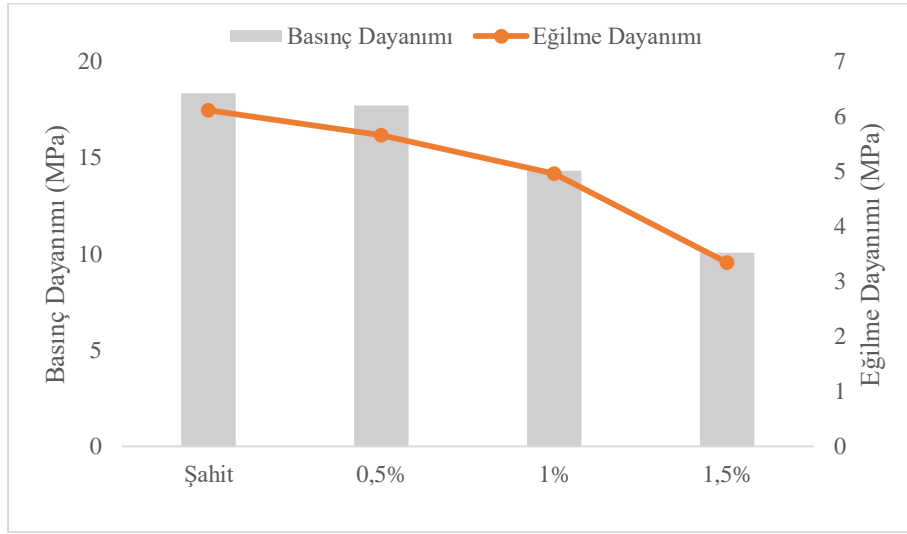
$$R = \frac{V}{I} \quad (3)$$

Denklemlerde; R 30 V'luk gerilimde ölçülen direnç (k Ω), S iletken alan (cm²), δ öz direnç (k Ω cm), l numune ölçüm uzunluğu (cm), I akım (mA) değerleridir.

3. Bulgular ve Tartışma

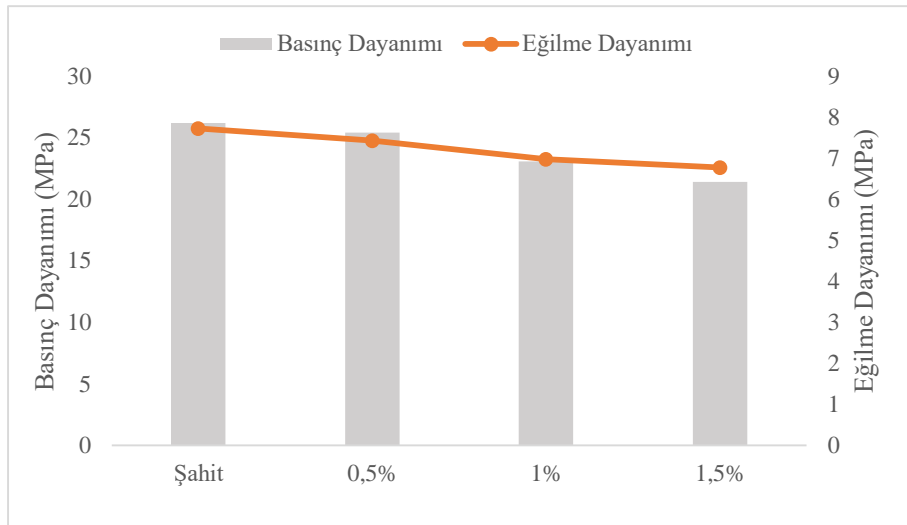
3.1. Basınç ve Eğilme Dayanımı Bulguları

Polimer ikameli örneklere ait 7 günlük basınç ve eğilme dayanımı sonuçları Şekil 2'de verilmiştir. Artan polimer katkı oranına bağlı olarak basınç ve eğilme dayanımı değerlerinin düştüğü tespit edilmiştir.



Şekil 2. 7 günlük basınç ve eğilme dayanımı sonuçları

28 gün kür uygulaması gerçekleştirilmiş deney örneklerine ait basınç ve eğilme dayanımı bulguları Şekil 3'de verilmiştir. 7 günlük verilerle benzerlik gösteren dayanım bulgularında, polimer katkı oranının artışıyla birlikte basınç ve eğilme dayanımı değerlerinde azalma gerçekleştiği tespit edilmiştir.



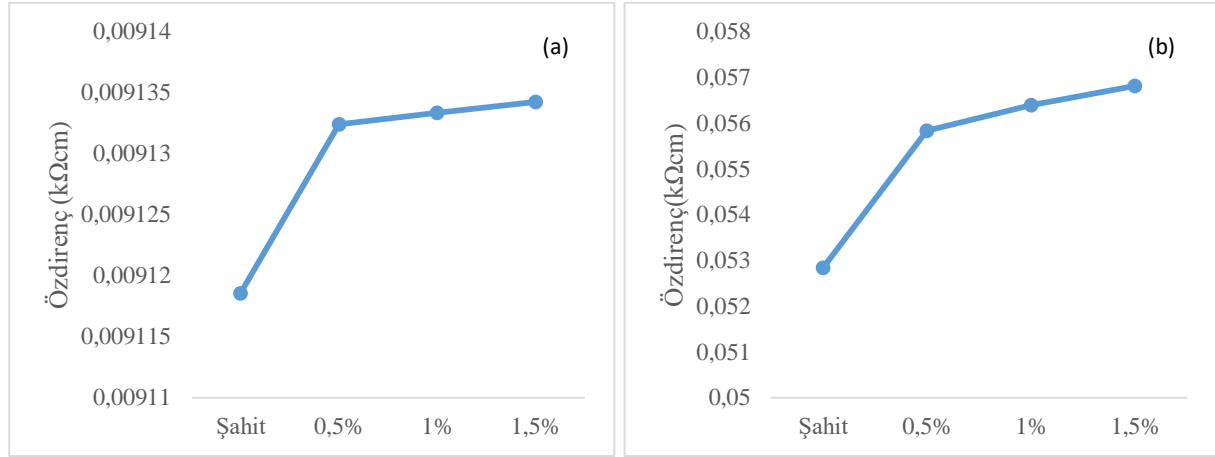
Şekil 3. 28 günlük basınç ve eğilme dayanımı sonuçları

Elde edilen basınç ve eğilme dayanımı sonuçları Yazıcı ve Sezer[12] tarafından yapılan çalışma ile benzerlik göstermektedir. Sezer ve Yazıcı [13] polimer katkı oranının artışına bağlı olarak dayanım

değerlerinin düştüğünü belirtmektedir. Polimerlerin hemen hemen hepsi kimyasal ve fiziksel özelliklerine bağlı olarak nemi hapsedme özelliğine sahiptirler [14]. Çimento hidrasyon ürünlerinin gelişmesi ve hidrasyonun devam etmesi için gerekli olan nemin polimer katkı tarafından hapsedilmesi ile çimento agrega aderansının olumsuz etkilenmesi dayanım değerlerindeki düşüşün sebebi olarak gösterilebilir.

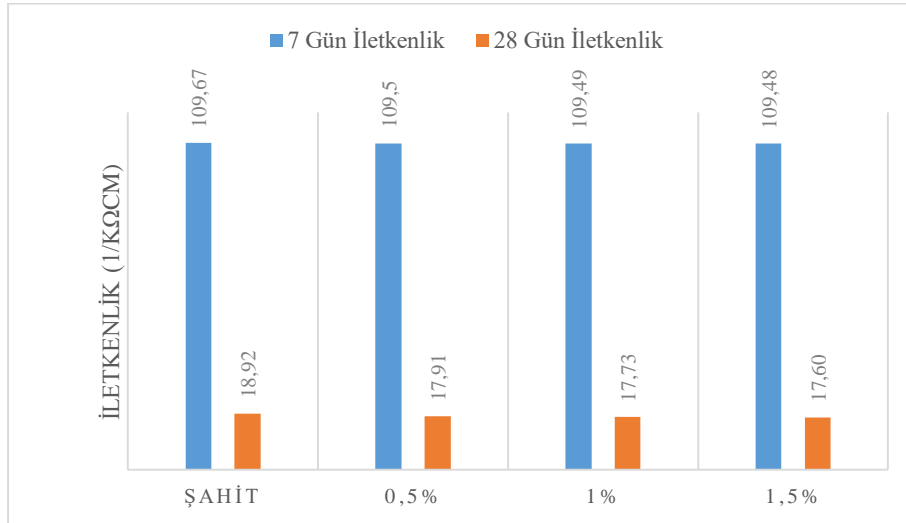
3.2. Elektriksel Özdirenç Bulguları

7 ve 28 gün süresince kür uygulaması yapılan örnekler için özdirenç verileri Şekil 4'de verilmiştir. Harç numunelerinde polimer katkı ile birlikte özdirenç değerlerinin arttığı tespit edilmiştir. 7 ve 28 günlük süreler açısından veriler incelendiğinde ise erken hidrasyon dönemine ait özdirenç değerlerinin ilerleyen yaşta hidrasyon süresindeki verilere göre daha düşük değerlerde kaldığı tespit edilmiş olup, özdirenç değerlerinin hidrasyon süresi ile doğrusallık gösterdiği söylenebilir.



Şekil 4. 7 (a) ve 28 (b) günlük elektriksel özdirenç sonuçları

Şekil 5'de 7 ve 28 gün süreyle küre tabi tutulmuş polimer katkılı numunelerin iletkenlik değerleri verilmiştir. Özdirenç bulguları ile iletkenlik bulguları arasında var olan ters orantılı ilişki elde edilen bulguları doğrulamaktadır. Polimer katkı örneklerin özdirenç değerlerini arttırıcı yönde etki etmiş olup iletkenlik değerlerinde düşüşe sebep olmuştur.



Şekil 5. 7 ve 28 günlük iletkenlik değerleri

Betonun elektriksel direnci, elektrik akımının akışına karşı direnç olarak tanımlanabilen bir malzeme özelliğidir. Su / çimento oranı, çimento tipi, puzolanik katkılar ve hidrasyon derecesi gibi faktörler bu direnci etkiler [15]. Elektrik akımı betondaki gözenek çözeltisinden akan iyonlar tarafından

taşındığından, daha yüksek nem içeriği daha kolay elektrik akışına neden olur ve bu nedenle, gözlenen elektriksel direnç azalır. Bu nedenle, düşük nem içeriği, elektrik direncini önemli ölçüde arttırır [16]. Polimer katkıların nem tutma kapasitelerine sahip olmaları, nemi hapsedmeleri sonrası hidratasyonu etkilemeleri ve dayanımda düşüşe sebep olup, öz direnç değerlerini arttırmaları literatürdeki bu bilgileri destekler niteliktedir.

4. Sonuç ve Öneriler

Polimer katkının çimento ile ikame edilmesi sonucunda;

- Harç deney örneklerinin 7 ve 28 günlük basınç ve eğilme dayanımlarında düşüş tespit edilmiştir.
- Deney örneklerinin elektriksel öz direnç değerleri polimer katkı ilavesi ile artmış, ilerleyen hidratasyon dönemlerinde de harç numunelerin iletkenlik değerlerinde düşüş tespit edilmiştir.
- Donatı yüzeyinde meydana gelecek korozyon ürünleri polimer katkının örtü görevi görmesi ile hapsedilebilir. Özellikle durabilite kavramının ön plana çıktığı agresif noktalarda, korozyon probleminin yaratacağı deformasyonlar bu şekilde engellenebilir. Ancak dayanımda oluşturacağı olumsuz etkileri ortadan kaldırmak için yapılacak bilimsel çalışmalar etkili ve yararlı olacaktır.

Yazarların Katkısı

Çalışmanın tasarlanması, uygulanması ve yorumlanması tamamen yazarın kendisine aittir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada, araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar

- Erdoğan T. 2015. Beton. ODTÜ Yayınevi, Ankara, 1-757.
- Gürdal E., Acun S. 2019. Mineral Esaslı Sıvalarda Polipropilen Lif Katkısının Fiziksel Ve Mekanik Özelliklere Etkisinin İncelenmesi. <http://www.yapkat.com/images/Malzeme/Dosya/52006167173381523815393447.pdf> (Erişim Tarihi: 26.11.2019).
- Boğa A.R. 2017. Harçların Mekanik Ve Elektriksel İletkenlik Özelliklerine Karbon Lifi Ve Çelikhane Cürufu Kullanımının Etkisi. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 17: 1066-1075.
- Chung D.D.L. 2004. Electrically conductive cement-based materials. *Advanced in Cement Research*, 26 (4):167-176.
- Bertolini L., Bolzoni F., Pastore T., Pedferri P. 2004. Effectiveness of a conductive cementitious mortar anode for cathodic protection of steel in concrete. *Cement and Concrete Research*, 34: 681-694.
- Ohama Y. 1995. *Handbook of Polymer-Modified Concrete and Mortars*. Noyes Publications, United States, 1-246.
- Peng C.Y., Wen Z.Y. 2002. Preparation and properties of styrene-acrylate latex modified mortars. *Chemistry of Building Materials*, 7: 21-23.
- Fowler D.W. 1999. Polymers in concrete: A vision for the 21st century. *Cement and Concrete Composites*, 21 (5-6): 449-452.
- TS EN 197-1, 2012. Çimento-Bölüm 1: Genel çimentolar-Bileşim, özellikler ve uygunluk kriterleri. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 196-1, 2016. Çimento deney metotları-Bölüm 1: Dayanım tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

- [11] ASTM C 1760, 2012. Standard test method for bulk electrical conductivity of hardened concrete. West Conshohocken (PA): ASTM.
- [12] Yazıcı Ş., Sezer İnan G. 2016. Polimer ilaveli harçlarda sülfat etkisinin ve alkali silis reaksiyonunun incelenmesi. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 22 (6): 413-417.
- [13] Sezer İnan G., Yazıcı Ş. 2015. Polimer katkılı harçlarda farklı kür koşullarının dayanıma etkisi. CBÜ Fen Bilimleri Dergisi, 11 (2): 195-201.
- [14] Öksüz M., İndibay E. 2003. Polimerlere uygulanan nem analiz yöntemi. PAGEV Plastik Dergisi, Ocak-Şubat: 78-81.
- [15] Rovnanik P., Kusak I., Bayer P., Schmid P., Fiala L. 2019. Comparison of electrical and self-sensing properties of portland cement and alkali-activated slag mortars. Cement and Concrete Research, 118: 84-91.
- [16] Şengül Ö. 2014. Use of electrical resistivity as an indicator for durability. Construction and Building Materials, 73: 434-441.

Araştırma Makalesi / Research Article

***p-ter*-Bütikaliks[4]aren İmmobilize Merrifield Reçinesinin BTK Buharlarına Karşı QCM Sensör Uygulamaları**

Farabi TEMEL*

*Konya Teknik Üniversitesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Konya
(ORCID: 0000-0002-5502-8647)*

Öz

Bu çalışmada, temel kaliks[4]aren bileşiği olan *p-ter*-bütikaliks[4]aren bileşiğinin merrifield reçinesine immobilizasyonu gerçekleştirilerek polimerik kaliks[4]aren türevi (K[4]MR) elde edildi ve FT-IR ile karakterize edildi. Daha sonra, elde edilen polimerik kaliks[4]aren türevinin kloroform içerisinde çözeltisi hazırlanarak, Quartz Kristal Mikrobalance (QCM) kuvars kristaline damlatma yoluyla kaplandı. Hazırlanan sensörün, önemli Uçucu Organik Bileşiklerden (UOB) olan benzen, toluen ve ksilene (BTK) karşı frekans tepkileri ölçülerek, hassasiyet (sensitivity, S (Hz/ppm)), en düşük algılama limitleri (LOD (ppm)) gibi bir sensör için önemli olan özellikleri incelendi. Sonuçlara göre, LOD değerleri BTK buharları için sırasıyla 4,351, 2,090 ve 9,035 ppm olarak belirlendi ve insan sağlığı açısından kullanılabilirliği izin verilen maruz kalma limitleri (MKL) ve kısa süreli maruz kalma limitleri (KSMKL) ile karşılaştırıldı. Sonuç olarak, hem literatür bilgileri hem de yapılan bu çalışmanın sonuçları, kaliksaren türevlerinin kendisine özgü üç boyutlu yapısı sayesinde, UOB'lerin tespiti konusunda oldukça kullanışlı olabileceklerini gösterdi.

Anahtar kelimeler: BTK, Kaliksaren, QCM, Sensör, UOB.

QCM Sensor Applications of *p-tert*-Butylcalix[4]arene Immobilized Merrifield Resin Towards BTX Vapors

Abstract

In this study, the immobilization of *p-tert*-butylcalix[4]arene on merrifield resin was performed, obtained polymeric calix[4]arene derivative (C[4]MR), and characterized by FT-IR. Then, the solution of polymeric calix[4]arene derivative in chloroform was prepared and coated on Quartz Crystal Microbalance (QCM) crystal surface by drop-casting. By studying the frequency responses of the proposed sensor towards benzene, toluene, and xylene (BTX) which are of the most important Volatile Organic Compounds (VOCs), important features for the sensor such as the sensitivity (S, Hz/ppm) and limit of detection (LOD (ppm)) were investigated. According to the results, the LOD values of the proposed sensor towards BTX were specified as 4.351, 2.090, and 9.035 ppm, respectively and compared with the permissible exposure limit (PEL) and short-term exposure limit (STEL) for human health. Finally, both literature and the results of this study showed that calixarene derivatives can be very useful in the detection of VOCs due to its unique three-dimensional structure.

Keywords: BTX, Calixarene, QCM, Sensor, VOCs.

1. Giriş

Sanayileşme birçok ürün ve hizmeti beraberinde getirmiştir. Bu gelişmelerin, teknoloji gibi hayatı kolaylaştıran birçok avantajı sağladığı düşünülse de, ne yazık ki kimyasal üretim ve tüketiminin giderek artmasına neden olduğu açık bir şekilde görülmektedir. Uçucu Organik Bileşikler (UOB'ler), organik kirleticiler arasında düşük konsantrasyonlarda bile insan ve çevre sağlığını olumsuz etkileyebilmeleri açısından çok öneme sahiptirler [1]. Petrol, vernik, boya, kauçuk ve çözücü üretimi gibi birçok üretim prosesi UOB'lerin kaynağı olabilir. UOB'ler arasında, benzen, toluen and ksilen (BTK), endüstriyel

*Sorumlu yazar: ftemel@ktun.edu.tr

Geliş Tarihi: 18.12.2019, Kabul Tarihi: 09.04.2020.

ortamlarda yaygın bir şekilde kullanılan çok toksik kimyasallardandır [2-4]. Bu nedenle, doğrudan yada dolaylı olarak BTK'lara maruziyet ciddi sağlık problemlerine neden olacağı için sürekli izlenmeleri ve kontrol altında tutulmaları gereksinim arz etmektedir [5]. Bu amaçla, kaliksarenler gibi makromoleküler bileşikler UOB'lerin algılanmasından sensör malzemesi olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır [1, 6-9].

Kaliksarenler, sınırsız türevlendirilebilme potansiyelleri ve kendisine has üç boyutlu yapıları gibi özelliklerinden dolayı makrosiklik bileşikler arasında önemli bir sınıfı temsil ederler. Kaliksarenler, alkali koşullar altında formaldehit ve *p-ter*-bütilfenolün kondenzasyon reaksiyonu sonucu elde edilirler [10, 11]. Kaliksarenler ayrıca birçok sensör uygulamaları için kullanılmakta ve gelecek vaat eden kimyasal sensörler arasında yer almaktadır [12-17].

UOB'lerden kaynaklı sağlık problemlerini önemli ölçüde önlemek için birçok sensör sistemleri geliştirilmiştir. Bunlar arasında, akustik dönüştürücü temelli ölçüm sistemleri olarak bilinen Quartz Crystal Microbalance (QCM), gaz ve sıvı algılama uygulamalarında yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. QCM ölçüm sistemi sadeliği nedeniyle kolayca kullanılabilir ve hızlı yanıt süresine sahiptir.

Bu çalışmada ise temel *p-ter*-bütilkaliks[4]aren türevi merrifield reçinesine immobilize edilerek polimerik bir yapı (K[4]MR) elde edildi ve QCM altın yüzeyinde film tabakası oluşturularak UOB'lerden olan BTK'lara karşı QCM sensör çalışmaları gerçekleştirildi.

2. Materyal ve Metot

2.1. Kimyasallar ve cihazlar

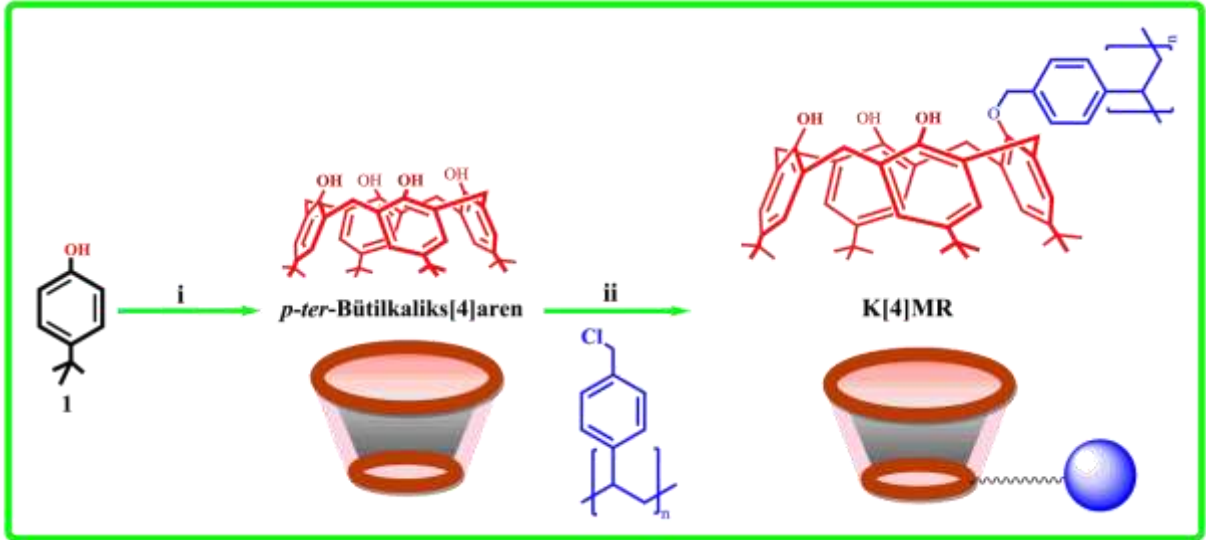
Sentezlenen molekülün erime noktası tayini, Krüss marka erime noktası tayin cihazı ile gerçekleştirildi. Perkin Elmer marka 100 FTIR spektrometresi ve Leco marka CHNS-932 Analizer elementel analiz cihazı kullanılarak elde edilen bileşikler karakterize edildi. İnce tabaka kromatografisi, silika jel (SiO₂, Merck 60 F₂₅₄) ile kaplanmış alüminyum plakalar kullanarak gerçekleştirildi. Çalışma sırasında kullanılan tüm malzemeler ve reaktifler analitik saflıkta olup, Merck ya da Sigma Aldrich firmasından alındı. QCM algılama çalışmaları için Open QCM (Pompeii, Italy) marka QCM sistemi kullanıldı. Bu sistemde, film yüzeyi oluşturmak için 10 MHz temel frekansa sahip altın kuvars kristaller kullanıldı ve temizlikleri ultrasonik banyo (ISOLAB) içerisinde gerçekleştirildi.

2.2. Sentezler

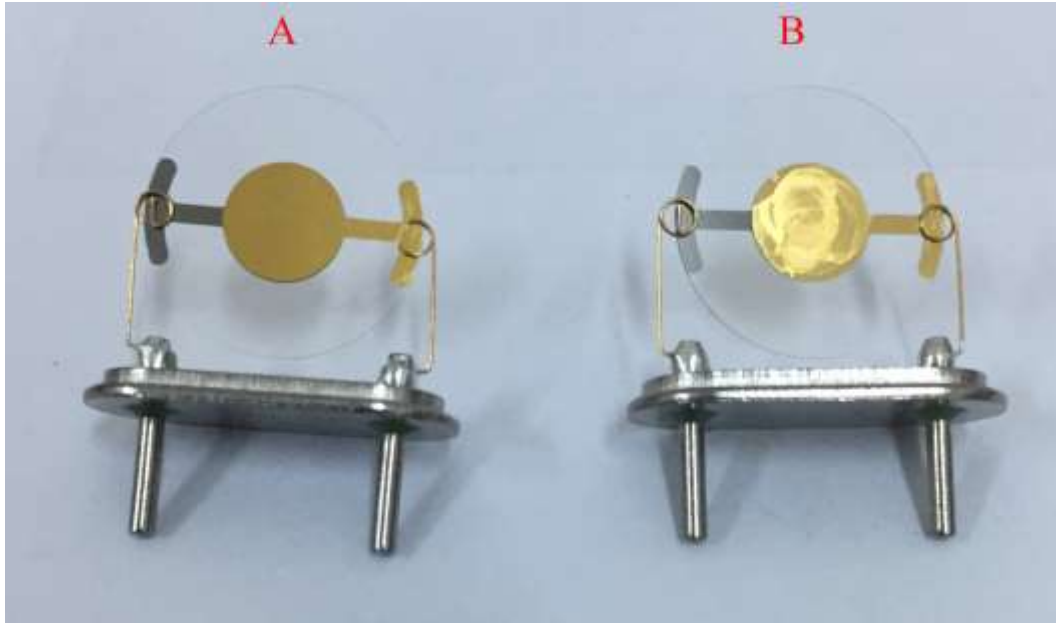
p-ter-Bütilkaliks[4]aren bileşiği, *p-ter*-bütilfenol ve formaldehitin bazik ortamdaki kondenzasyon reaksiyonu ile literatürde verilen yöntemle göre sentezlendi [18]. Sentezlenen temel kaliks[4]aren bileşiğinin merrifield reçinesine immobilizasyonu için literatürdeki metot kullanılarak, kaliks[4]aren bileşiği ile merrifield reçinesi, kuru aseton ortamında, K₂CO₃ ve NaI varlığında 48 saat boyunca kaynatılarak kaliks[4]aren merrifield polimeri (K[4]MR) elde edildi (Şekil 1) [19].

2.3. QCM filmin hazırlanması

QCM filmin hazırlanması için öncelikle, kaliks[4]aren merrifield polimerinin kloroform içerisinde çözeltisi hazırlandı. Kristal yüzeyi, ultrasonik banyoda kloroform ile temizlenerek sırasıyla aseton, etanol ve saf su ile yıkanarak azot gazı altında kurutuldu (Şekil 2A). Daha sonra, temizlenmiş olan QCM kristalinin yüzeyi K[4]MR çözeltisi ile damlatma yöntemi kullanılarak kaplandı ve çözücünün buharlaşması sağlanarak kristal yüzeyinde film oluşumu gerçekleştirildi (Şekil 2B). QCM sensör filminin kaplama frekansı, film oluşumu öncesi ve sonrasındaki oluşan frekans farkından 10 kHz olarak belirlendi [20]. Böylece, K[4]MR kaplı QCM sensörün benzen, toluen ve ksilen (BTK) gibi UOB'lere karşı algılama özelliği incelendi.



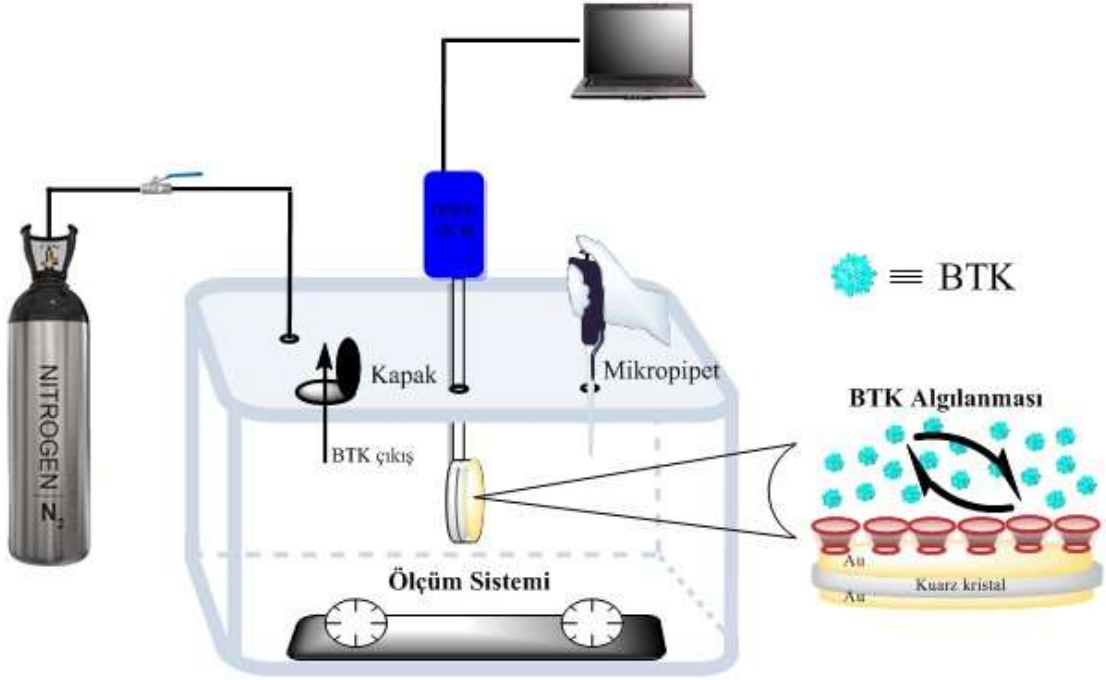
Şekil 1. *p-ter*-Bütikaliks[4]aren bileşiğinin sentez şeması ve merrifield reçinesine immobilizasyonu (K[4]MR)
(i) Formaldehit, NaOH, Difenileter; (ii) Merrifield reçinesi, NaI, K₂CO₃, Kuru aseton.



Şekil 2. A) Boş, B) K[4]MR kaplı QCM kuvars kristallerinin görüntüleri.

2.4. QCM ölçüm sistemi

Çalışmada kullanılan ölçüm sistemi Şekil 3'te gösterildi. Ölçüm sisteminde, K[4]MR kaplı QCM sensörü içeren hücre ölçüm sistemine yerleştirildi. Öncelikle, ortamda sensör tepkisine engel yada katkıda bulunabilecek nem, hava vb., gibi bileşenlerin uzaklaştırılması için azot gazı ile ortam temizlendi. Algılama için, BTK çözeltileri ölçüm sistemi içerisine mikropipet ile enjekte edildi. Buharlaştırdıktan sonra, analit molekülleri sensör yüzeyine doğru dağıldığında, sensör yüzeyi ile analit molekülleri arasında gerçekleşen etkileşim sonucu sensör yüzeyinde analit moleküllerinin birikmesi ile yüzeyde gerçekleşen kütle birikiminden dolayı frekans değerlerinde aynı oranda azalma gözlemlendi. Sensör yüzeyinin analit açısından doygunluğa ulaşması ile frekans tepkisinin dengeye ulaştığı belirlendi ve algılama çalışması sonlandırıldı. Daha sonra, QCM sensör sistemi ve ölçüm sistemi azot ile temizlenerek tekrar kullanım için hazır hale getirildi.



Şekil 3. BTK algılama çalışmasında kullanılan ölçüm sistemi.

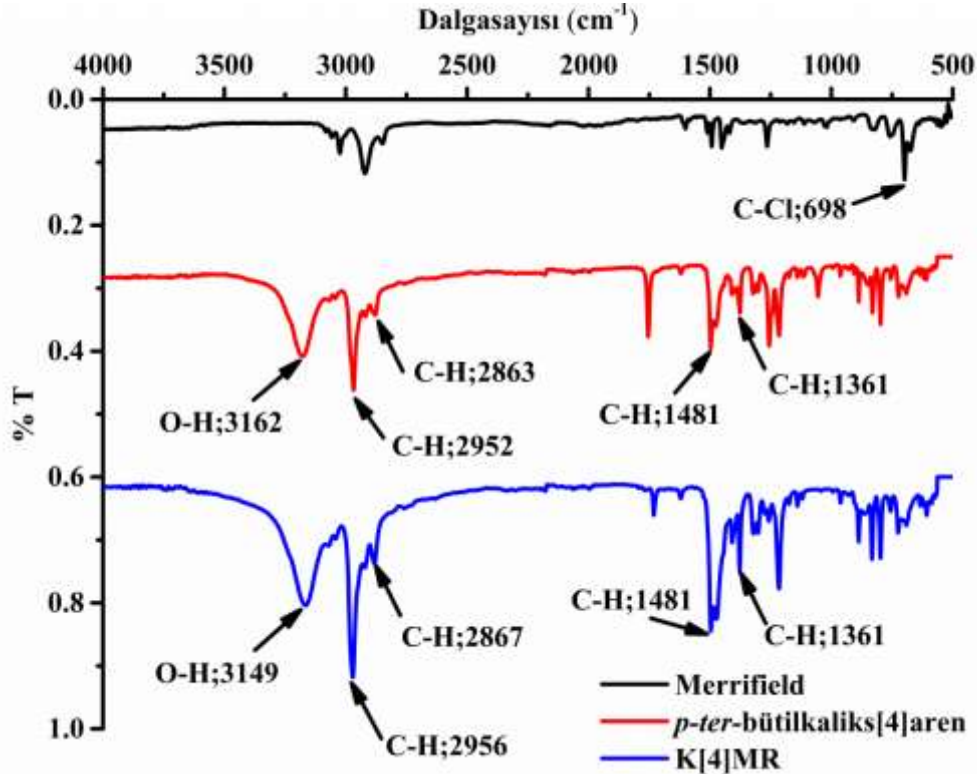
3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Sentez ve karakterizasyon

Bu çalışmada, UOB'lerden olan BTK'lara karşı QCM algılama çalışmaları için, *p-ter*-bütilkaliks[4]aren türevi hazırlanarak Merrifield reçinesine immobilizasyonu literatürde bilinen yöntemle gerçekleştirildi (Şekil 1) [18, 19]. Başlangıç kaliks[4]aren türevinin Merrifield reçinesine immobilizasyonu ile elde edilen K[4]MR'nin karakterizasyonu FT-IR spektroskopisi ile gerçekleştirildi. Şekil 4'te verilen FT-IR spektrumlarından K[4]MR'nin varlığı Merrifield yapısına ait olan 698 cm^{-1} 'deki C-Cl bağına ait bandın kaybolmasından anlaşıldı. Ayrıca, tersiyer bütil gruplarında bulunan C-H bağına ait gerilmenin 1361 cm^{-1} , karakteristik benzen halkalarına ait gerilmenin 1481 cm^{-1} , C-H bağına ait gerilmenin $2863\text{-}2956\text{ cm}^{-1}$ ve O-H bağına ait gerilmenin $3149\text{-}3162\text{ cm}^{-1}$ 'de görülmesi, *p-ter*-bütilkaliks[4]aren yapısının Merrifield reçinesine immobilizasyonu ile temel kaliks[4]aren türevinin yapısında bir bozulma gerçekleşmeden K[4]MR'nin elde edildiğini ispatladı.

3.2. BTK algılama çalışmaları

K[4]MR kaplı QCM sensör, farklı konsantrasyonlardaki (5, 10, 20, 50, 100 ppm) BTK buharlarına maruz bırakılarak, sensörün frekans tepkileri de Şekil 5'te verildi. Şekil 5'te, BTK konsantrasyonunun artmasıyla, sensör tepkisinin de giderek arttığı görüldü. BTK konsantrasyonu ve sensör tepkisi arasındaki ilişkiyi belirtmek için de Şekil 6'da farklı konsantrasyonlara karşı sensör tepkisinin regresyon grafikleri verildi. Regresyon grafiklerinden, sensörün BTK buharlarına karşı hassasiyet (sensitivity, S (Hz/ppm)) değerleri ve en düşük algılama limitleri (LOD (ppm)) literatürde verilen metotlar ile hesaplandı [17] ve Tablo 1'de verildi. Tablo 1'de ayrıca, Şekil 6'da verilen regresyon grafiklerine ait regresyon katsayıları da belirtildi. Sensörün BTK buharlarına karşı LOD değerlerini, insan sağlığı açısından izin verilen limit değerler ile karşılaştırmak için, Tablo 2'de Amerikan Birleşik Devletleri İş Güvenliği ve Sağlığı İdaresinin (Occupational Safety and Health Administration) ve Avrupa Birliği'nin belirttiği veriler verildi [2]. Bu verilere göre, kullanılan sensörün LOD değerleri insan sağlığı açısından kullanışlı bir sensör olabileceğini gösterdi.



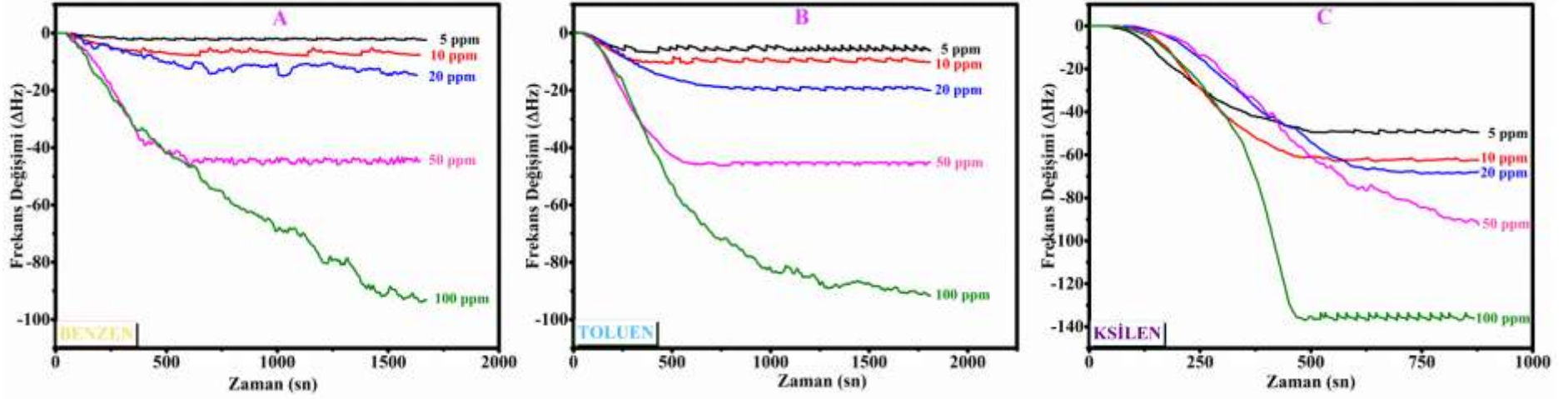
Şekil 4. Merrifield reçinesi, sentezlenen *p-ter*-bütilkaliks[4]aren ve K[4]MR için FTIR spektrumları.

Tablo 1. K[4]MR kaplı QCM sensörün, BTK buharlarına karşı LOD, S ve regresyon katsayı değerleri.

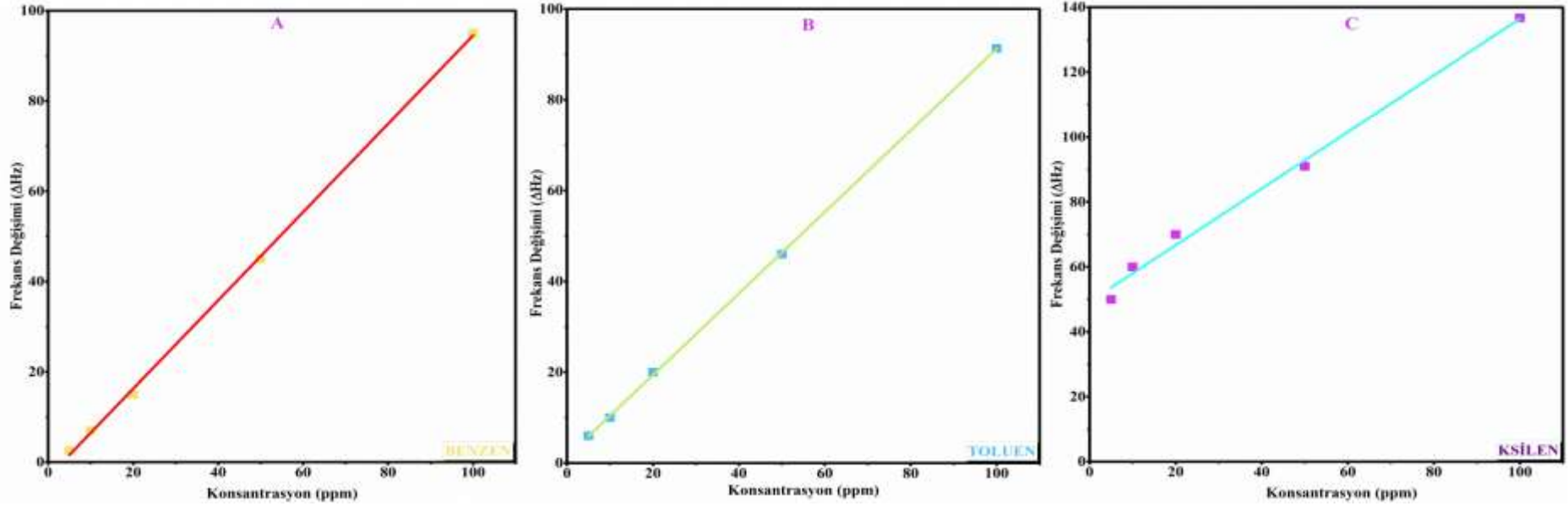
UOB	S (Hz/ppm)	LOD (ppm)	R ²
Benzen	0,978	4,351	0,9994
Toluen	0,898	2,090	0,9999
Ksilen	0,898	9,035	0,9993

Tablo 2. BTK buharları için 8 saatlik bir iş için maruz kalma limit (MKL) ve 15 dakikalık kısa süreli maruz kalma limit (KSMKL) değerleri (ppm).

UOB	Amerikan Birleşik Devletleri İş Güvenliği ve Sağlık İdaresi		Avrupa Birliği	
	MKL	KSMKL	MKL	KSMKL
Benzen	1	5	1	-
Toluen	200	300	50	100
Ksilen	100	-	50	100



Şekil 5. K[4]MR kaplı QCM sensörün A) benzen, B) toluen, C) ksilen buharlarına karşı tepkisi.



Şekil 6. K[4]MR kaplı QCM sensörün A) benzen, B) toluen, C) ksilen buharlarına karşı tepkisine ait regresyon grafikleri

4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada, temel kaliks[4]aren bileşiği olan *p-ter*-bütilkaliks[4]aren bileşiği sentezlendi ve merrifield reçinesine immobilizasyonu gerçekleştirilerek polimerik kaliks[4]aren türevi elde edildi (K[4]MR). Elde edilen polimerik yapının FT-IR ile karakterizasyonu gerçekleştirildi. Hazırlanan polimerin QCM kuvars kristalinin yüzeyine kaplanması için kloroform içerisinde çözeltisi hazırlandı ve damlatma yöntemi ile kristal yüzeyine kaplandı. Böylece, elde edilen K[4]MR kaplı QCM sensörün önemli UOB'lerden olan benzen, toluen ve ksilene (BTK) karşı sensör özellikleri incelendi. Sonuçlara göre, sensörün BTK'ya karşı önemli tepkiler verdiği gözlemlendi ve en düşük algılama limitlerinin insan sağlığı açısından zararlı olabilecek seviyelere kadar düştüğü belirlendi. Sonuç olarak, polimerik kaliks[4]aren türevlerinin kullanıldığı QCM sensörlerinin UOB'lerin düşük konsantrasyonlarda bile tespit edilebilmesine imkân sağlayabilecek olması nedeniyle kaliksarenlerin sensör çalışmalarında gelecek vaat eden bileşiklerden olabileceği kanısına varılmasını sağladı.

Teşekkür

Sağlamış olduğu imkânlardan dolayı Konya Teknik Üniversitesi'ne teşekkür ederim.

Yazarların Katkısı

Çalışmada tüm katkı yazara aittir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada, araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar

- [1] Temel F., Tabakcı M. 2016. Calix[4]arene coated QCM sensors for detection of VOC emissions: Methylene chloride sensing studies. *Talanta*, 153: 221-227.
- [2] Hamdi K., Martin P., Etienne M., Hébrant M. 2019. Rapid and reversible adsorption of BTX on mesoporous silica thin films for their real time spectrophotometric detection in air at ppm levels, *Talanta*, 203: 269-273.
- [3] Kutluay S., Temel F. 2021. Silica gel based new adsorbent having enhanced VOC dynamic adsorption/desorption performance, *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects* 609: 125848.
- [4] Temel F., Kutluay S. 2020. Investigation of high-performance adsorption for benzene and toluene vapors by calix[4]arene based organosilica (CBOS), *New Journal of Chemistry* 44 (30): 12949-12961.
- [5] Kumar A., Brunet J., Varenne C., Ndiaye A., Pauly A. 2015. Room Temperature Measurements of Aromatic Hydrocarbons by QCM-based Gas Sensors: Intercomparison between Phthalocyanines and Phthalocyanine/CNTs Hybrid Material. *Procedia Engineering*, 120: 594-597.
- [6] Temel F., Özçelik E., Türe A.G., Tabakcı M. 2017. Sensing abilities of functionalized calix[4]arene coated QCM sensors towards volatile organic compounds in aqueous media. *Applied Surface Science*, 412: 238-251.
- [7] Koshets I.A., Kazantseva Z.I., Shirshov Y.M., Cherenok S.A., Kalchenko V.I. 2005. Calixarene films as sensitive coatings for QCM-based gas sensors. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 106 (1): 177-181.

- [8] Kostyukevych K.V., Khristosenko R.V., Pavluchenko A.S., Vakhula A.A., Kazantseva Z.I., Koshets I.A., Shirshov, Y.M. 2016. A nanostructural model of ethanol adsorption in thin calixarene films. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 223: 470-480.
- [9] Halay E., Acikbas Y., Capan R., Bozkurt S., Erdogan M., Unal R. 2019. A novel triazine-bearing calix[4]arene: Design, synthesis and gas sensing affinity for volatile organic compounds. *Tetrahedron*, 75 (17): 2521-2528.
- [10] Temel F. 2020. Merrifield Reçinesine Desteklenmiş Kaliks[4]aren Dinitro Türevinin Sulu Ortamdaki Fenolik Türlerle Karşı Ekstraksiyon Özelliklerinin İncelenmesi. *Konya Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 8 (1): 60-70.
- [11] Temel F., Turkyilmaz M., Kucukcongar S. 2020. Removal of methylene blue from aqueous solutions by silica gel supported calix[4]arene cage: Investigation of adsorption properties. *European Polymer Journal*, 125: 109540.
- [12] Akpınar M., Temel F., Tabakci B., Ozcelik E., Tabakci M. 2019. A phenyl glycinol appended calix[4]arene film for chiral detection of ascorbic acid on gold surface. *Analytical Biochemistry*, 583: 113373.
- [13] Ozcelik E., Temel F., Erdemir S., Tabakci B., Tabakci M. 2019. QCM sensors coated with calix[4]arenes bearing sensitive chiral moieties for chiral discrimination of 1-phenylethylamine enantiomers. *Journal of Inclusion Phenomena and Macrocyclic Chemistry*, 95 (1): 35-48.
- [14] Temel F. 2020. Real-time and selective recognition of erythromycin by self-assembly of calix[4]arene on QCM sensor. *Journal of Molecular Liquids*, 297: 111818.
- [15] Temel F., Erdemir S., Ozcelik E., Tabakci B., Tabakci M. 2019. Rapid and real-time detection of arginine enantiomers by QCM sensor having a Calix[4]arene receptor bearing asymmetric centers. *Talanta*, 204: 172-181.
- [16] Temel F., Erdemir S., Tabakci B., Akpınar M., Tabakci M. 2019. Selective chiral recognition of alanine enantiomers by chiral calix[4]arene coated quartz crystal microbalance sensors. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 411 (12): 2675-2685.
- [17] Temel F. 2020. One novel calix[4]arene based QCM sensor for sensitive, selective and high performance-sensing of formaldehyde at room temperature. *Talanta*, 211: 120725.
- [18] Gutsche C.D., Iqbal M. 1990. *p-tert-butylcalix[4]arene*. *Organic Syntheses*, 68: 234.
- [19] Memon S., Tabakci M., Roundhill D.M., Yilmaz M. 2006. Synthesis and evaluation of the Cr(VI) extraction ability of amino/nitrile calix[4]arenes immobilized onto a polymeric backbone. *Reactive and Functional Polymers*, 66 (11): 1342-1349.
- [20] Haghghi E., Zeinali S. 2019. Nanoporous MIL-101(Cr) as a sensing layer coated on a quartz crystal microbalance (QCM) nanosensor to detect volatile organic compounds (VOCs). *RSC Advances*, 9 (42): 24460-24470.

Araştırma Makalesi / Research Article

Classifying Protein Sequences Using Convolutional Neural Network

Bihter DAŞ¹, Suat TORAMAN^{2*}

¹Firat University, Department of Software Engineering, Elazığ

²Firat University, Department of Informatics, Elazığ

(ORCID: 0000-0002-2498-3297) (ORCID: 0000-0002-7568-4131)

Abstract

One of the major challenges in bioinformatics is the classification and identification of protein structure and function. Large amounts of Ribonucleic Acid (RNA) data cannot be managed using traditional laboratory methods. For this, proteins should be separated according to their structure and families. Therefore, proteins need to be classified to define their biological families and functions. In traditional machine learning approaches, various feature extraction algorithms are used to classify proteins. In manual feature extraction, the selected features directly affect performance. Therefore, in the proposed method of this study, protein sequences were digitized by the amino acid composition technique. The digitized protein sequences were converted to spectrograms, and automatic feature extraction was performed using two-dimensional Convolutional Neural Network (CNN) models (VGG19, ResNet). The extracted features were classified with Support Vector Machine (SVM) and k-Nearest Neighbors (k-NN). As a result, the accuracy of 95.03% was achieved in the classification of protein sequences using ResNet.

Keywords: Protein classification, bioinformatics, convolutional neural network, machine learning.

Evrişimsel Sinir Ağlarını Kullanarak Protein Dizilimlerinin Sınıflandırılması

Öz

Biyoinformatikteki en büyük zorluklardan biri, protein yapısının ve fonksiyonunun öngörülmesi ve sınıflandırılmasıdır. Çok miktarda Ribonükleik Asit (RNA) verisi geleneksel laboratuvar yolu kullanılarak yönetilemez. Bunun için proteinler yapılarına ve ailelerine göre ayrılmalıdır. Bu nedenle proteinlerin biyolojik ailelerini ve fonksiyonlarını tanımlamak için sınıflandırılması gerekmektedir. Geleneksel makine öğrenme yaklaşımlarında, proteinler sınıflandırılırken çeşitli özellik çıkarım algoritmaları kullanılmaktadır. Elle özellik çıkarımında, seçilen özellikler, başarıyı doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle, bu çalışmada önerilen yaklaşımda ise protein sekanslarını amino asit bileşimi yöntemi ile sayısallaştırılmıştır. Sayısallaştırılan protein dizilimleri spektrograma dönüştürülmüş ve iki boyutlu Evrişimsel Sinir Ağı (ESA) modelleri (VGG19, ResNet) kullanılarak otomatik özellik çıkarımı gerçekleştirilmiştir. Çıkarılan özellikler Destek Vektör Makineleri (DVM) ve k-En Yakın Komşuluk (k-NN) ile sınıflandırılmıştır. Sonuç olarak, ResNet kullanılarak gerçekleştirilen protein sekanslarının sınıflandırma işleminde %95.03'lük bir doğruluğa ulaşılmıştır.

Anahtar kelimeler: Protein sınıflama, biyoinformatik, evrişimsel sinir ağları, makine öğrenmesi.

1. Introduction

Proteins that consist of a long chain of amino acids are important parts of biological processes. Proteins perform important functions, move molecules from one place to another, and increase Deoxyribonucleic Acid (DNA). The proteins have been classified into protein families and superfamilies. Recently, large scale experiments and projects cause a large increase in the number of biological data such as protein and DNA. Many new and unknown proteins are available. It is difficult to recognize a large number of protein families by traditional methods and to classify the new protein molecule [1]. A rapid growth in the number of protein sequences has increased efforts to find appropriate and reliable methods to analyze

*Corresponding author: storaman@firat.edu.tr

Received: 21.12.2019, Accepted: 09.04.2020

protein sequence data [2, 3]. Machine learning algorithms such as Naive Bayes, Decision Trees, Support Vector Machines, and Artificial Neural Networks are traditional methods that are used for the classification of protein molecules [4-6]. The most important thing in the problem of protein classification is feature selection. The protein properties are based on the protein surface, amino acid sequence, or functions. The used methods are aimed to classify the structural proteins. Therefore, it will be easier to understand the evolutionary and functional relationships between proteins. Various computational methods have been proposed to estimate structural classes from sequence information using some statistical methods [3, 7, 8]. Figure 1 shows four structures of the proteins.

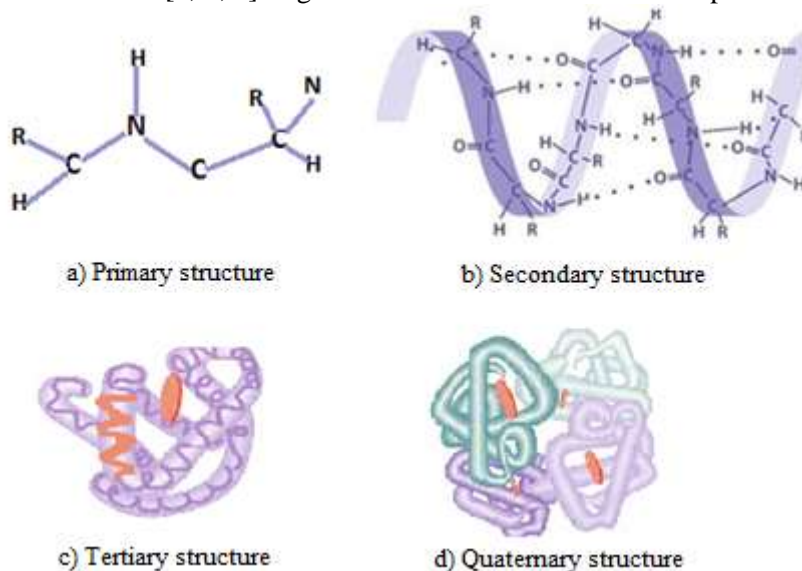


Figure 1. Protein Primary, Secondary, Tertiary and Quaternary Structure formation

Many researchers proposed some approaches to deal with the protein sequence classification problem [9]. Tsuda et al. [10] proposed an efficient method based on multiple protein networks to classify protein sequences. For selecting important features, it assigned weights to multiple networks. Huang, et al. [11] presented a new method for protein classification using the hydrophathy blocks that occur in protein sequences. They generated a feature vector for each protein sequence using the frequency of the hydrophathy blocks [10, 11]. In the study of Maqsood Hayat et al. [12] proteins were used for classification, and features were extracted using two different techniques. These feature extraction techniques were the PAAC method and Discrete Wavelet Analysis. They also used k-nearest neighbor, neural networks, support vector machine, random forest methods to classify proteins [13]. Mansoori et al. [14] proposed a classifier based on fuzzy-rule for protein classification and a method that is alignment-free. They used a different method to determine the best features for training. When their classifier was compared with a classifier based on a non-fuzzy rule, their classifier had better results [13]. Lacey et al. [15] proposed two methods aligned against the protein sequence using raw sequence data. They proposed two methods. One of them was the Hidden Markov Model. It was used to directly align protein sequences. The other one was the Random Forest model. It was used to extract metadata from protein sequences, divided data into user classes, and distinguished between two protein groups based on properties such as amino acid groups and Physico-chemical properties [13]. Iqbal et al. [16] proposed a feature selection method based on the statistical metric. In the proposed method, they used the n-gram method to extract features and then applied a statistical metric approach to discard insignificant features from the protein sequences. Their results showed that the feature selection method based on statistical metrics performed well [13].

In this study, we carried out a classification that separates supervised and semi-supervised protein sequences without hand-designed feature extraction and selection. We digitized protein sequences by amino acid composition technique and trained them as 2-dimensional spectrogram images in a 2D-CNN model, then classified them using Support Vector Machine and k-NN. For the classification of protein sequences, we achieved an average accuracy of 95.03% for k-NN and an average accuracy of 92.52% for SVM. The paper is organized as follows. In the material and method

section, the data set, convolutional neural networks were mentioned. In the experimental results section, the findings are discussed. In the conclusion, the general contributions of the study are presented.

2. Material and Method

2.1. Dataset

Protein sequences were taken from the NCBI dataset. The dataset, which belongs to the supervised dataset, categorizes three proteins such as superfamilies globin, trypsin, and ras [13]. Table 1 shows the dataset.

Table 1. The dataset

Superfamily Name	Number of Protein Sequence
Globin	395
Ras	337
Trypsin	254

2.2. Amino acid composition

We digitized protein sequences with amino acid composition [17] that counts the frequency of number of amino acids occur in protein sequences. N represents 20 amino acids such as $A, N, R, E, C, D, H, I, G, K, L, Q, M, P, F, W, S, T, V, Y$ in Equation 1.

$$P_{lm} = \frac{\text{count}_l(m)}{\sum_{m=1}^{20} \text{count}_l(m)} \quad (1)$$

Here, in P_{lm} m represent the number of times particular amino acid, and l shows protein sequence. This method digitized the protein sequence using the frequency of each amino acid.

2.3. Creating spectrogram images

Each protein sequence needs to be represented by a fixed number of features. We digitized RNA sequences using the amino acid composition technique. As shown in Table 1, the shortest sequence is trypsin. Globin and ras were taken in 254 lengths because of adjusting the data to be equal length. The digitized data were partitioned by the 50-unit and 80-unit sliding window method. The sliding window is moved forward one unit above on the data. While 174 sub-signal sets were obtained with an 80-unit sliding window, 204 signal sets were obtained with a 50-unit sliding window. Spectrogram images were then generated using these signal clusters. When creating spectrogram images, the window width was determined as 8ms (Hamming windowing), the overlap value was 4ms, and the number of Fourier transforms was 512. Spectrogram images were generated using the Viridis color map. Figure 2 shows the spectrogram images of the globin, trypsin, and ras protein sequences after protein sequence preprocessing.

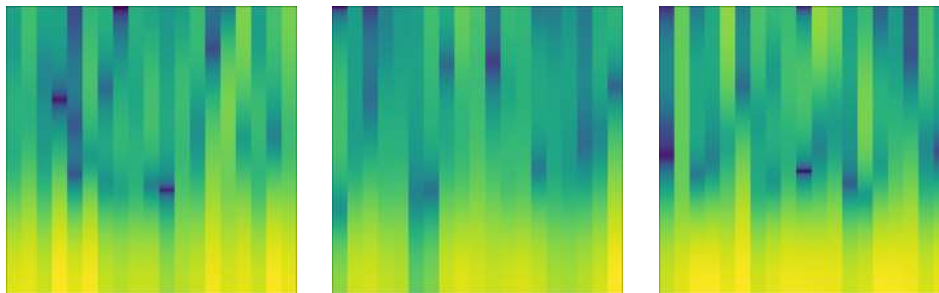


Figure 2. Spectrogram images of globin, trypsin, and ras protein sequences, respectively

2.4. Convolutional neural network

As a result of the rapid development in the Graphics Processing Unit (GPU) technology, significant improvements have been implied in the field of computer vision. Starting with LeNet and then continuing with AlexNet, CNN model design is one of the most widely used deep learning methods today. CNN is used effectively in many areas such as signal/picture classification, object recognition, and tracking. In this study, VGG19 and ResNet models were used for the classification of protein families. Various pre-trained CNN models are available, such as VGG19 and ResNet. The advantage of pre-trained models is that they can effectively extract features in a small data set. This ability is provided to the pre-trained CNN models through training using millions of data. It is not always possible to find large data sets to train a CNN model designed from the beginning. Therefore, a classification process using the weights of pre-trained CNN models gives much better results. This process to be used is called transfer learning. Thus, a small data set in a different field can be classified successfully [18].

2.4.1. VGG19

After LeNet and AlexNet, the model developed by the Visual Geometry Group (VGG) of Oxford University is VGG16. This model consists of 13 convolution layers and 3 fully connected layers, whereas VGG19 has 16 convolution layers and 3 fully connected layers. VGG19 has five maximum pooling layers in 2x2 size. In the last layer, there is a softmax to classify incoming input data [18–20].

2.4.2. ResNet

In parallel with the developments in GPU technology, deep learning architectures have also progressed. With the developing hardware features, the number of layers of network architectures increased. Increasing the number of layers does not mean that the learning will increase. On the contrary, the growth of network architectures causes different problems such as training difficulties. This also causes a loss of input and vanishing gradients [21]. To solve this problem, instead of mapping using the nonlinear $F(x)$ function in classical CNN models, ResNet makes a shortcut connection from an input (x) to output. As a result, it performs a more effective training process. Figure 3 shows ResNet connection example [22, 23].

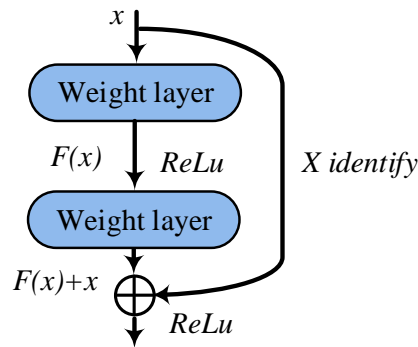


Figure 3. ResNet connection example

2.5. Performance evaluation

Features extracted with ResNet and VGG19 are classified with SVM and k-NN [24, 25]. To evaluate the performance of the proposed method, the k -fold cross-validation method was used. k value was chosen as 5. As shown in Figure 4, 80% of the data set was used for training, and 20% for testing. After the accuracy of each fold was found, the accuracy of the method was calculated by using the average of 5 folds. The flow diagram of the study is shown in Figure 5.

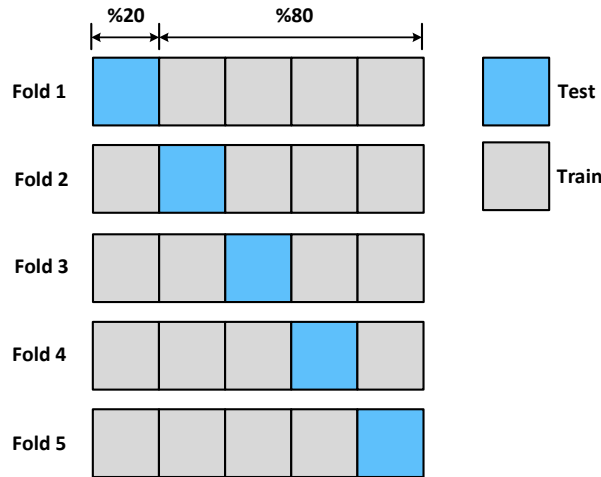


Figure 4. The graphical representation of training and test data

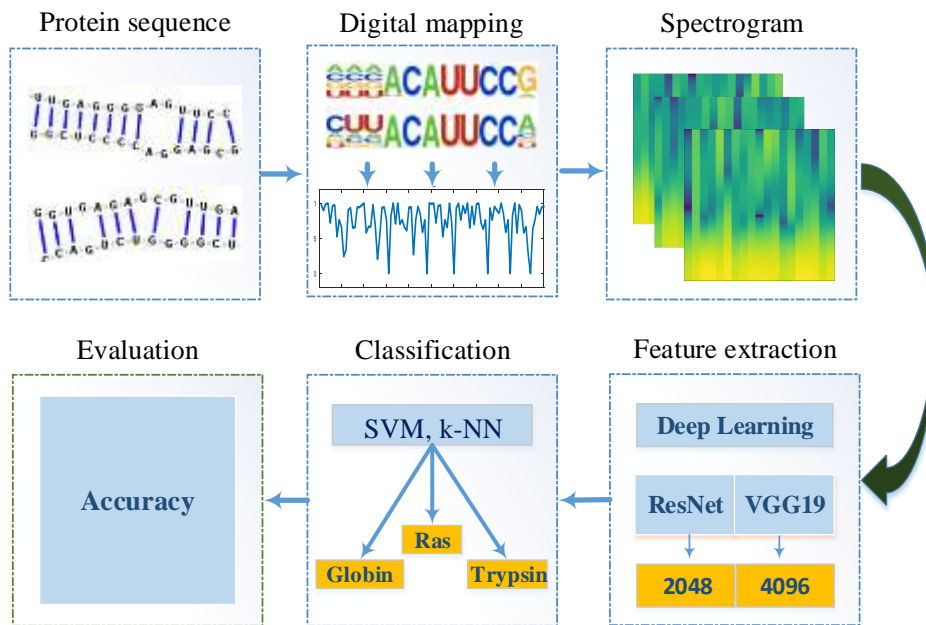


Figure 5. The flow diagram of the proposed method

3. Results and Discussion

254 base-length protein sequences (globin, trypsin, ras) were used in the study. Protein sequences were digitized by the amino acid composition technique. The digitized sequences were partitioned using the 50-unit and 80-unit sliding window method. Each signal segment was converted into a spectrogram image. Spectrogram images are 875x656 pixels in size. These images have been resized to 224x224 pixels for VGG19 and ResNet models. Using the VGG19 and ResNet deep learning models, the characteristics of each spectrogram image were extracted. 4096 vectors with VGG19 and 2048 vectors with ResNet were obtained. Subsequently, the extracted feature vectors were classified with SVM and k-NN. 5-fold cross-validation method was used for the classification more objective. The results of the classification procedures are shown in Table 2.

Table 2. The accuracy values after feature extraction using VGG19 and ResNet

CNN Models	SVM	k-NN
VGG19 (50 units)	84.17 ± 25.69	72.58 ± 10.10
VGG19 (80 units)	87.96 ± 21.76	89.51 ± 11.24
ResNet (50 units)	85.67 ± 16.95	82.02 ± 8.00
ResNet (80 units)	92.52 ± 22.36	95.03 ± 6.69

As shown in Table 2, the best classification results were obtained with the ResNet model. ResNet has a deeper network structure than VGG19. Thanks to this architectural structure, it was able to extract more effective features. Figure 6 gives the classification accuracy of both models.

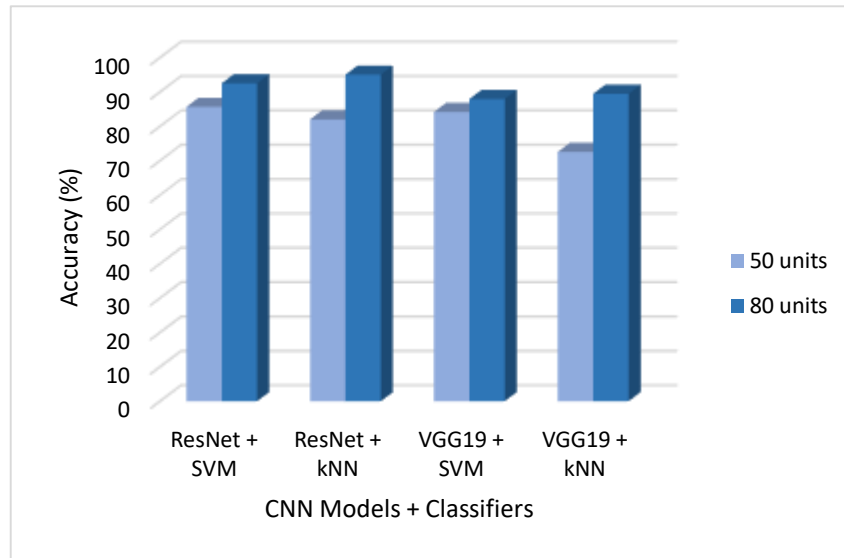


Figure 6. The classification results for 50-unit and 80-unit window width

Increasing the size of the sliding window positively affected the classification accuracy. When both VGG19 and ResNet results are examined, it is seen that the 80-unit length sliding window gives better results. When SVM and k-NN classifiers are compared, it is seen that k-NN has achieved a better performance in the 80-unit sliding window. Also, the best results were obtained with k-NN when all classification results were examined. In Figure 7, the SVM and k-NN classification accuracy of the 80-unit sliding window of both CNN models is given as a comparison with the box graph.

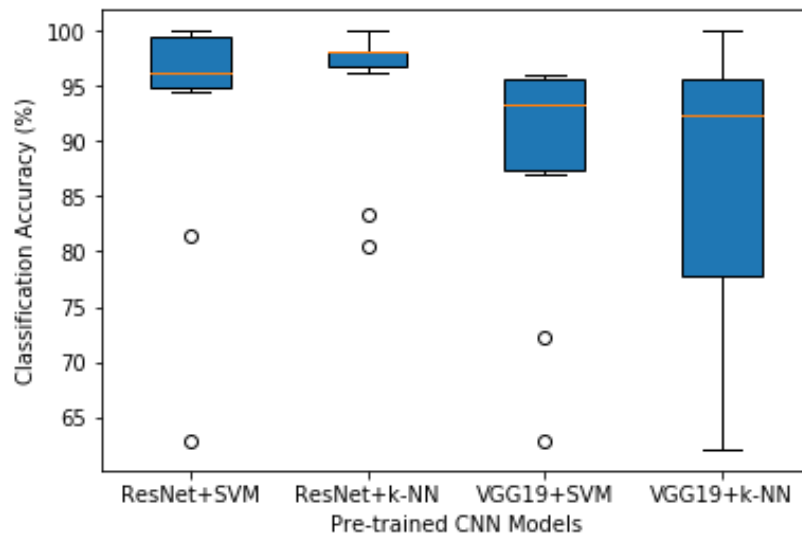


Figure 7. The box graph representation of classification results

Besides, confusion matrices are given in Figure 8 to see which globin, trypsin, and ras protein sequences are correctly recognized by the method. In Figure 8, the classification accuracy that was obtained using the 80-unit sliding window method is given. While k-NN correctly recognized 168 trypsin and 166 ras data of 174 trypsin and ras data, SVM correctly classified 161 trypsin and 159 ras data. In the classification of globin data, while SVM correctly classified 163 globins, k-NN classified 162 data correctly.

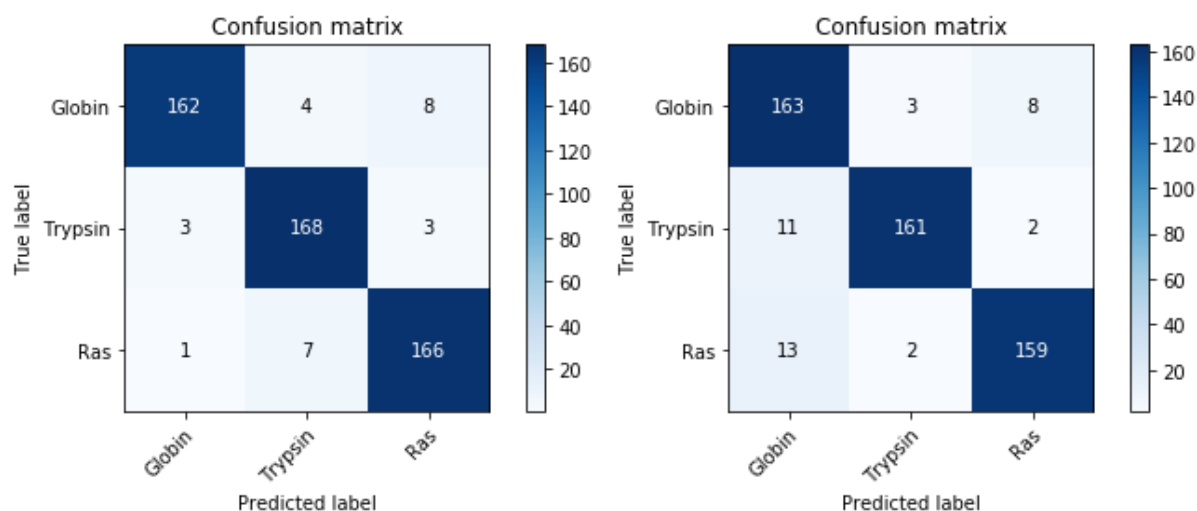


Figure 8. Confusion matrices of k-NN (left) and SVM (right) classification results for feature extraction of the spectrogram images using 80-unit windowing in ResNet

In the classification, the highest accuracy was achieved by the Radial Basis Function (RBF) kernel function of SVM, and the C parameter was examined in the range $[10^{-3} \dots 10^{+3}]$. For the k-NN classifier, the k parameter was examined in the range $[1 \dots 5]$. The best classification result was obtained at $k = 1$. Table 3 shows the performance evaluations of different studies for protein classification.

Table 3. Classification results of various protein sequences

Authors	Methods	Dataset	Results (Accuracy)
Lina Yang et al. [2]	Hybrid wavelet fractal method	ND5 protein	More accurate than the existing methods such as Su's model, Zhang's model, etc.
Bharti Chaturvedi et al [13]	Support vector machine	Supervised, semi-supervised protein	The accuracy with 93.20% for semi-supervised
Charalambos Chrysostomou et al.[26]	SVM in combination with Signal processing amino acid indices	BIOV880101 BIOV880102	88.01% with BIOV880101 85.17% with BIOV880102
Igbal M.J. et al. [27]	An optimized tree-classification algorithm	Protein sequences of a specific superfamily	97-98% accuracy
KM Showhat Zamil et al. [28]	Multi-scale local descriptor (MLD)	Helicobacter pylori	55.70% with Decision tree 65.74% with Random Forest 66.67% with Bootstrap aggregation
The proposed method	ResNet + k-NN	Three protein superfamilies globin, trypsin and ras	95.03%

For the experimental applications, a computer with Intel Core i5-8400 CPU and 8 GB RAM was used. The spectrogram data was obtained in MATLAB. Other operations were performed using the Python Keras library.

4. Conclusion

In this study, a novel approach for the classification of RNA sequences is applied to convert the data into spectrogram images by digitizing. Three different protein sequences are classified. In practice, the manual property extraction method was not used as in the traditional methods. Instead, the spectrogram images of protein sequences were automatically extracted by CNN models. Thus, a more effective classification was carried out. It needs to prove that the validity and reliability of the proposed method using larger data sets. In future studies, it is planned to classify protein sequences with larger data sets and different CNN models and methods.

Authors' Contributions

Two authors contributed equally to this work.

Statement of Conflicts of Interest

There is no conflict of interest between the authors.

Statement of Research and Publication Ethics

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

References

- [1] Satpute B., Yadav R. 2018. Machine Intelligence Techniques for Protein Classification. 3rd International Conference for Convergence in Technology (I2CT). IEEE, pp 1–4, 6-8 April, Pune, India.
- [2] Yang L., Yan Tang Y., Yang L., Luo H. 2015. A Fractal Dimension and Wavelet Transform Based Method for Protein Sequence Similarity Analysis. *IEEE/ACM Trans Comput Biol Bioinforma*, 12 (2): 348-359.
- [3] Charuvaka A., Rangwala H. 2014. Classifying Protein Sequences Using Regularized Multi-Task Learning. *IEEE/ACM Trans Comput Biol Bioinforma*, 11 (6): 1087-1098.
- [4] Wang D., Huang G.-B. 2005. Protein sequence classification using extreme learning machine. *Proceedings of the International Joint Conference on Neural Networks*, 31 July-4 Aug, Montreal, Que., Canada.
- [5] Bandyopadhyay S. 2005. An efficient technique for superfamily classification of amino acid sequences: Feature extraction, fuzzy clustering and prototype selection. *Fuzzy Sets Syst.*, 152 (1): 5-16.
- [6] Ma P.C.H., Chan K.C.C. 2008. UPSEC: An Algorithm for Classifying Unaligned Protein Sequences into Functional Families. *J Comput Biol*, 15 (4):431-443.
- [7] Jaakkola T., Diekhans M., Haussler D. 2000. A Discriminative Framework for Detecting Remote Protein Homologies. *J Comput Biol*, 7 (1-2): 95-114.
- [8] Saigo H., Vert J.-P., Ueda N., Akutsu T. 2004. Protein homology detection using string alignment kernels. *Bioinformatics*, 20 (11):1682-1689.
- [9] Bharill N., Tiwari A., Rawat A. 2005. A Novel Technique of Feature Extraction with Dual Similarity Measures for Protein Sequence Classification. *Procedia Comput Sci*, 48: 795-801.
- [10] Tsuda K., Shin H.J., Schölkopf B. 2005. Fast protein classification with multiple networks. *Bioinformatics*, 21 (2): 59-65.
- [11] Huang D.S., Zhao X.M., Huang G.-B., Cheung Y.M. 2005. Classifying protein sequences using hydrophathy blocks. *Pattern Recognit.*, 39 (12): 2293-2300.
- [12] Hayat M., Khan A. 2010. Membrane protein prediction using wavelet decomposition and pseudo amino acid based feature extraction. 6th International Conference on Emerging Technologies (ICET). IEEE, pp 1–6,18-19 Oct, Islamabad, Pakistan.
- [13] Chaturvedi B., Patil N. 2015. A novel semi-supervised approach for protein sequence classification. *Souvenir of the IEEE International Advance Computing Conference, IACC 2015*, 12-13 June, Bangalore, India.
- [14] Mansoori E.G., Zolghadri M.J., Katebi S.D. 2009. Protein superfamily classification using fuzzy rule-based classifier. *IEEE Trans Nanobioscience*, 8 (1): 92-99.
- [15] Lacey A., Deng J., Xie X. 2014. Protein classification using Hidden Markov models and randomised decision trees. 7th International Conference on Biomedical Engineering and Informatics. IEEE, pp 659–664. 14-16 Oct, Dalian, China.
- [16] Iqbal M.J., Faye I., Samir B.B., Md Said A. 2014. Efficient Feature Selection and Classification of Protein Sequence Data in Bioinformatics. *Sci World J*; 2014: 1-12.
- [17] Yang W.-Y., Lu B.-L., Yang Y. 2006. A Comparative Study on Feature Extraction from Protein Sequences for Subcellular Localization Prediction. *IEEE Symposium on Computational*

- Intelligence and Bioinformatics and Computational Biology. IEEE, pp 1–8, 28-29 Sept, Toronto, Ont., Canada.
- [18] Gopalakrishnan K., Khaitan S.K., Choudhary A., Agrawal A. 2017. Deep Convolutional Neural Networks with transfer learning for computer vision-based data-driven pavement distress detection. *Constr Build Mater*, 157: 322-330.
- [19] Ullah I., Hussain M., Qazi E.-H., Aboalsamh H. 2018. An automated system for epilepsy detection using EEG brain signals based on deep learning approach. *Expert Syst Appl.*, 107: 61-71.
- [20] Documentation K. 2019. Keras. <https://keras.io/>. (Accessed: 01.10.2019).
- [21] He K., Zhang X., Ren S., Sun J. 2016. Deep residual learning for image recognition. *IEEE on Computer Vision and Pattern Recognition*. pp: 770-778. 27-30 June. LasVegas, NV, USA.
- [22] Zagoruyko S., Komodakis N. 2017. Wide residual networks. *arXiv* 2017;1–15.
- [23] Reddy N., Rattani A., Derakhshani R. 2018. Comparison of Deep Learning Models for Biometric-based Mobile User Authentication. *IEEE 9th International Conference on Biometrics Theory, Applications and Systems (BTAS)*, 22-25 Oct, Redondo Beach, CA, USA.
- [24] Arslan Tuncer S., Akılotu B., Toraman S. 2019. A deep learning-based decision support system for diagnosis of OSAS using PTT signals. *Med Hypotheses*, 127: 15-22.
- [25] Toraman S., Girgin M., Üstündağ B., Türkoğlu İ. 2019. Classification of the likelihood of colon cancer with machine learning techniques using FTIR signals obtained from plasma. *Turkish J Electr Eng Comput Sci.*, 27: 1765-1779.
- [26] Chrysostomou C., Seker H. 2016. Structural classification of protein sequences based on signal processing and support vector machines. *Proceedings of the Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, EMBS*, pp 3088-3091, 16-20 Aug, Orlando, FL, USA.
- [27] Iqbal M.J., Faye I., Said A.M. 2015. Belhaouari Samir B. Optimized tree-classification algorithm for classification of protein sequences. *International Symposium on Mathematical Sciences and Computing Research (iSMSC)*. IEEE, pp 110–115, 19-20 May, Ipon, Malaysia.
- [28] Shawkat Z.M., Rahman J. 2018. Prediction of Protein-Protein Interaction from Amino Acid Sequence Using Ensemble Classifier. *International Conference on Computer, Communication, Chemical, Material and Electronic Engineering (IC4ME2)*. 8-9 Feb, Rajshahi, Bangladesh.

Araştırma Makalesi / Research Article

Optimal PI Kontrolör Tasarımı için Üçgenler Ağında Lineer Enterpolasyon Yöntemiyle Kararlılık Sınır Yüzeyinin Oluşturulması

Gürkan KAVURAN*

*Malatya Turgut Özal Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği,
Malatya
(ORCID: 0000-0003-2651-5005)*

Öz

Bu çalışmada, PI parametrelerinin grafiksel olarak hesaplanması için geliştirilen kararlılık sınır eğrisi kullanılarak, yeni bir yaklaşım önerilmiştir. Geleneksel kararlılık sınır eğrisi, kapalı çevrim sistemin karakteristik polinomu kullanılarak, kontrolör parametrelerinin belirli bir frekans aralığında birbirine göre çizimiyle elde edilir. Kararlılık sınır eğrisi altında kalan bölgedeki herhangi k_p ve k_i değerinin sistemi kararlı yaptığı bilinmektedir. Ancak hatanın değişimine göre hangi parametrelerin optimal sonuç verdiği kesin değildir. KSE altında kalan her nokta belirli bir frekans aralığında dağınık veri enterpolasyon yöntemine göre belirlenerek, 3 boyutlu kararlılık sınır yüzeyi (KSY) oluşturulmuştur. Çoğunlukla sistem kararlılığını garanti eden bu noktalar kullanılarak, kararlı k_p ve k_i parametre havuzu oluşturulmuştur. Havuzdaki her bir k_p ve k_i değerinin birbiriyle olan kombinasyonu kullanılarak, ITAE kriterine göre referans girdi ile sistem çıkışı arasındaki farkı minimize eden optimal PI parametreleri elde edilmiştir. Böylece hem kararlılık hem de optimallik sağlanmıştır. Benzetim çalışmalarının yanı sıra, çift rotorlu model helikopter sistemi üzerinde önerilen yöntemin geçerliliği test edilmiştir.

Anahtar kelimeler: PI kontrolör, kararlılık sınır eğrisi, kararlılık sınır yüzeyi, dağınık veri enterpolasyonu, çift rotorlu model helikopter.

Formation of Stability Boundary Surface by Linear Interpolation Method in Triangles Network for Optimal PI Controller Design

Abstract

In this study, a new approach has been proposed by using the stability boundary locus which is developed for the calculation of PI parameters by graphically. The conventional stability boundary locus is obtained by drawing the controller parameters relative to each other in a specific frequency range using the characteristic polynomial of the closed-loop system. It is known that any k_p and k_i values in the region under the stability curve makes the system stable. However, it is not clear which parameters give optimal results according to the change of error. Each point under the SBL was determined according to the scattered data interpolation method within a certain frequency range and the 3D stability boundary surface (SBS) was formed. The stable k_p and k_i parameters pool which mostly guarantee the system stability has been established by using these points. The optimal PI parameters were obtained which minimized the difference between the reference input and the system output according to ITAE criteria by using the combination of each k_p and k_i values in the pool. Thus, both stability and optimality were achieved. The validity of the proposed method was tested on a twin rotor helicopter system in addition to the simulation studies.

Keywords: PI controller, stability boundary locus, stability boundary surface, scattered data interpolation, twin rotor model helicopter.

*Sorumlu yazar: gurkan.kavuran@ozal.edu.tr
Geliş Tarihi: 24.12.2019, Kabul Tarihi: 08.05.2020

1. Giriş

Çevremizdeki çoğu gerçek sistem yapısında dâhili veya harici çeşitli doğrusalsızlıklar barındırmaktadır. Sistem dinamiği ve kontrol bilimi, sistemlerin istenilen referans girdiyi takip etme kabiliyetini arttırmak için modelleme ve kontrolör tasarım aşamalarının doğru yapılması gerektiğini ortaya koymuştur. Mühendisler sistemleri doğru şekilde modelledikten sonra, bu sistemlere uygun kontrolör tasarımı yaparak sistem tepkisini istenilen düzeye çekerler. Genellikle doğrusallaştırma işlemlerinin yapılarak oluşturulduğu bu modeller, belirli çalışma şartları altında uygun cevabı verirler. Günümüzde doğrusal kontrolör sınıfında olan Oransal-İntegral-Türev (PID) tipi kontrolörler, çoğu uygulamada kullanılmaya devam etmektedir. Tasarım kolaylığı ve uygulama esnekliği olan bu kontrolörün, endüstriyel sistemlerde kullanılmak üzere birçok versiyonu geliştirilmiştir. Kontrol döngülerinin çoğunda PID kontrolörlerinin kullanılmasına rağmen, sistem vibrasyonununa ve çeşitli gürültülere sebep verdiği için türevsel operatörün saf dışı bırakıldığı PI kontrolörlerin tercih edildiği görülmektedir [1].

Doğrusal sistemlerin yanı sıra doğrusal kontrolörler de çeşitli tasarım aşamalarını içermektedir. Sistemlerinin iyi modellenmesi gerekliliği olduğu gibi, kontrolör parametrelerinin de doğru şekilde hesaplanması gerekmektedir. Uzun yıllar boyunca mühendislerin aşına olduğu PID kontrolör yapısındaki parametrelerin belirlenmesi hususunda birçok araştırma yapılmış ve yöntemler geliştirilmiştir. PID tipi kontrolör yapılarının ayarlanması ile ilgili en popüler yöntemler Ziegler-Nichols, Cohen-Coon ve Aström-Hagglund'in çalışmalarını içerir [2-4]. Dâhili Model Kontrol (IMC), PID tipi kontrol cihazlarının ayar parametrelerini belirlemek için yaygın olarak kullanılan diğer tasarım yöntemidir [5, 6]. İntegral performans kriterlerine dayalı tasarım yöntemleri çok bilinen yaklaşımlar arasındadır [7]. Ho ve arkadaşlarının çalışmalarından sonra tüm stabilize PI veya PID kontrolörlerinin elde edilmesine büyük ilgi duyulmuştur [8]. Munro ve Söylemez, tüm stabilize PID kontrolörünün parametrelerinin hızlı bir şekilde hesaplanmasıyla ilgili alternatif bir yöntem önermiştir [9]. Shafiei ve Shenton, Huang ve Wang; tüm stabilize kontrolörleri belirlemek için grafiksel çözümler sunmuşlardır [10]. Tan ve arkadaşları, kararlılık sınır eğrisi (KSE) hesaplamasına dayalı, tüm PI veya PID kontrolör parametrelerinin hesaplanması için grafiksel bir yaklaşım önermiştir [11]. Bunun yanı sıra PID kontrolörlerinin parametre ayarlanmasında, optimizasyon metotlarının kullanıldığı algoritmaları içeren kontrol yapılarından da faydalanılmaktadır.

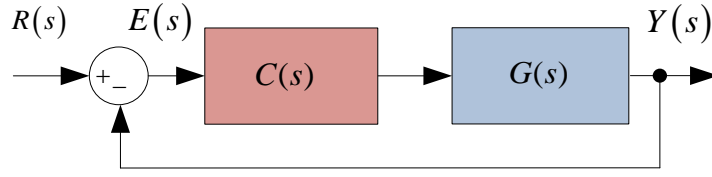
KSE yöntemine göre, eğri altında kalan bölgedeki herhangi k_p ve k_i değeri sistemi kararlı yapmaktadır. Ancak hatanın değişimine göre hangi parametrelerin optimal sonuç verdiği bilinmemektedir. Bu çalışmada, KSE altında kalan her nokta, belirli bir frekans aralığında dağınık veri enterpolasyon yöntemine göre belirlenmiştir. Bu noktaların oluşturduğu yüzey artık 3 boyutlu kararlılık sınır yüzeyi (KSY) olarak adlandırılabilir. Çoğunlukla sistem kararlılığını garanti eden bu noktalar kullanılarak, kararlı k_p ve k_i parametre havuzu oluşturulmuştur. Havuzdaki her bir parametrenin birbiriyle olan kombinasyonu kullanılarak, ITAE kriterine göre referans girdi ile sistem çıkışı arasındaki farkı minimize eden PI parametreleri elde edilmiştir. Böylece hem kararlılık hem de optimallik sağlanmıştır. Benzetim çalışmalarının yanı sıra, çift rotorlu model helikopter sistemi üzerinde önerilen yöntemin geçerliliği test edilmiştir.

Çalışmanın 2. Bölümünde KSE ve dağınık veri enterpolasyonu ile ilgili temel bilgiler verilmiştir. 3. Bölümde önerilen yöntemin doğruluğu gerek benzetim sonuçları gerekse uygulama çalışmalarıyla ispatlanmıştır. Son bölümde ise sonuçlar verilmiştir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Kararlılık Sınır Eğrisi

Bu bölümde tek-giriş tek çıkışlı doğrusal zamanla değişmeyen sistemin kararlılığını sağlayacak PI kontrolör parametrelerinin, KSE yöntemine göre nasıl elde edildiği anlatılmıştır. Şekil 1'de verilen kapalı çevrim sistemde $R(s)$ referans giriş, $E(s)$ sistem hatası, $Y(s)$ ise sistem çıkışıdır.



Şekil 1. Geri beslemeli kontrol yapısı

Şekil 1’de gösterilen kontrol edilecek tek girişli tek çıkışlı sistemin geçiş fonksiyonu Denklem 1’de verilmiştir. $C(s)$ ile ifade edilen PI kontrolörün geçiş fonksiyonu ise Denklem 2’deki gibi yazılabilir [11].

$$G(s) = \frac{N(s)}{D(s)} \quad (1)$$

$$C(s) = k_p + \frac{k_i}{s} \quad (2)$$

Sistemin kapalı çevrim karakteristik polinomu Denklem 3 ve 4’teki gibi yazılabilir.

$$1 + C(s)G(s) = 0 \quad (3)$$

$$k_p + \frac{k_i}{s} = -1 \frac{D(s)}{N(s)} \quad (4)$$

Denklem 1’in pay ve payda polinomlarını, tek ve çift olarak ayrı ayrı yazıp, s yerine $j\omega$ konulursa Denklem 5 elde edilir.

$$G(j\omega) = \frac{N_e(-\omega^2) + j\omega N_o(-\omega^2)}{D_e(-\omega^2) + j\omega D_o(-\omega^2)} \quad (5)$$

Denklem 5, Denklem 4’te yerine yazılır ve yeniden düzenlenirse karakteristik polinomun son hali Denklem 6’daki gibi olur.

$$\Delta(j\omega) = [k_i N_e(-\omega^2) - k_p \omega^2 N_o(-\omega^2) - \omega^2 D_o(-\omega^2)] + j[k_p \omega N_e(-\omega^2) + k_i \omega N_o(-\omega^2) + \omega D_e(-\omega^2)] \quad (6)$$

Karakteristik polinomun gerçekte ve sanal kısımları sıfıra eşitlenirse, Denklem 7 ve 8 elde edilir.

$$k_p(-\omega^2 N_o(\omega^2)) + k_i(N_e(-\omega^2)) = \omega^2 D_o(-\omega^2) \quad (7)$$

$$k_p(\omega N_e(-\omega^2)) + k_i(\omega N_o(-\omega^2)) = -\omega D_e(-\omega^2) \quad (8)$$

$$Q(\omega) = -\omega^2 N_o(-\omega^2), R(\omega) = N_e(-\omega^2)$$

$$S(\omega) = \omega N_e(-\omega^2), U(\omega) = \omega N_o(-\omega^2) \quad (9)$$

$$X(\omega) = \omega^2 D_o(-\omega^2), Y(\omega) = -\omega D_e(-\omega^2)$$

Denklem 9 kullanılarak Denklem 7 ve 8 yeniden düzenlenirse Denklem 10 elde edilir.

$$k_p Q(\omega) + k_i R(\omega) = X(\omega) \quad (10)$$

$$k_p S(\omega) + k_i U(\omega) = Y(\omega)$$

Denklem 10’un çözümüyle k_p ve k_i katsayılarının frekansa bağlı olarak değişimini veren eşitlikler Denklem 11 ve 12’deki gibi olur.

$$k_p = \frac{X(\omega)U(\omega) - Y(\omega)R(\omega)}{Q(\omega)U(\omega) - R(\omega)S(\omega)} \quad (11)$$

$$k_i = \frac{Y(\omega)Q(\omega) - X(\omega)S(\omega)}{Q(\omega)U(\omega) - R(\omega)S(\omega)} \quad (12)$$

Denklem 9, Denklem 11 ve 12’de yerine konulursa, aşağıdaki eşitlikler elde edilir.

$$k_p = \frac{\omega^2 D_o(-\omega^2)N_o(-\omega^2) + D_e(-\omega^2)N_e(-\omega^2)}{-(\omega^2 N_o^2(-\omega^2) + N_e^2(-\omega^2))} \quad (13)$$

$$k_i = \frac{\omega^2 D_e(-\omega^2)N_o(-\omega^2) - \omega^2 D_o(-\omega^2)N_e(-\omega^2)}{-(\omega^2 N_o^2(-\omega^2) + N_e^2(-\omega^2))} \quad (14)$$

Denklem 13 ve 14 kullanılarak, kararlılık sınır bölgesi (k_p, k_i) düzleminde çizilir ve oluşan eğri (k_p, k_i) düzlemini kararlı ve kararsız bölgelere böler. Kararlılık bölgesinde seçilebilecek k_p ve k_i parametreleri sistemi kararlı hale getirecektir [11].

Örnek 1. Şekil 1 ile gösterilen kapalı çevrim sistemde kontrol edilecek sistemin geçiş fonksiyonunu üçüncü dereceden olacak şekilde Denklem 15’deki gibi seçelim.

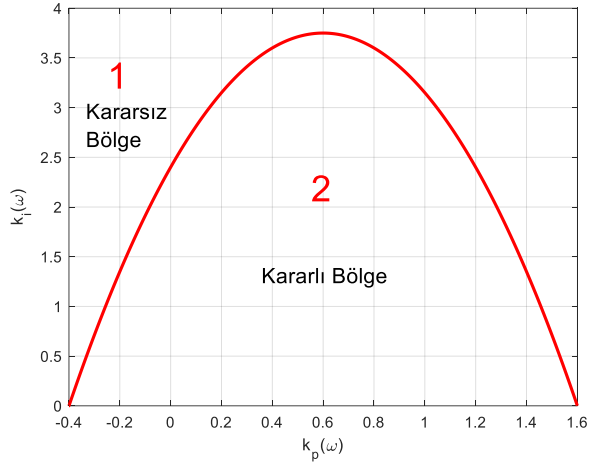
$$G_1(s) = \frac{5}{3s^3 + 2s^2 + 15s + 2} \quad (15)$$

Denklem 15’deki geçiş fonksiyonu için KSE yöntemiyle elde edilen k_p ve k_i parametrelerinin denklemleri Denklemler 16 ve 17’de verilmiştir.

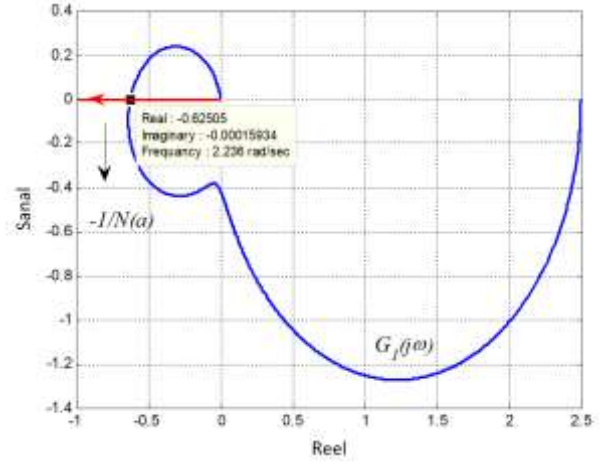
$$k_p(\omega) = \frac{2\omega^2 - 2}{5} \quad (16)$$

$$k_i(\omega) = \frac{-3\omega^4 + 15\omega^2}{5} \quad (17)$$

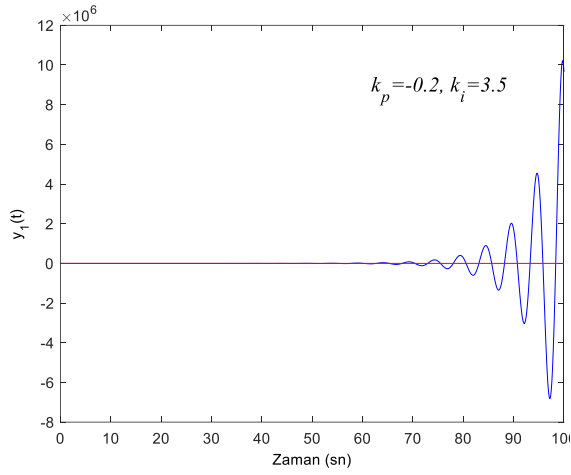
KSE ve k_p ile k_i ’nin kararlı (2. bölge) ve kararsız (1. bölge) değerleri için elde edilen kararlılık bölgeleri Şekil 3’te verilmiştir. KSE’nin eksiksiz çizilebilmesi için frekans aralığının doğru seçilmesi gerekmektedir. Bu nedenle açık çevrim sistemin reel ve sanal bileşenlerinin birbirine göre çizimiyle elde edilen ve Şekil 3’te gösterilen Nyquist diyagramı önem arz etmektedir. Nyquist diyagramına göre sistemin doğal frekansı, eğrinin negatif reel eksenini kestiği noktadaki frekans değerine eşittir. Buna göre KSE, $\omega = [0, 2.236]$ rad/sn aralığında çizdirilmelidir. Şekil 2’ye göre kararsız bölgede seçilen k_p ve k_i parametrelerinin kullanıldığı kontrollü sistemin zaman cevapları sırasıyla Şekil 4 ve 5’te verilmiştir. Bu değerlere göre sistem çıkışının kararsız olduğu açıkça görülmektedir. Kararlılık sınır bölgesi içerisinde alınan herhangi k_p ve k_i değerine göre sistemin zaman cevabı ise Şekil 6’da gösterilmiştir. Kontrolör parametrelerinin $[k_p, k_i] = [0.4, 3]$ olarak seçilmesiyle sistemin kararlı olduğu gözlemlenmiştir. Ancak seçilen parametre değerlerinin optimal olduğu söylenemez. Bu durum sistemin hata fonksiyonunu minimize edecek şekilde optimal parametre seçimi gerekliliğini ortaya çıkarmıştır. Bunun için eğri altında kalan tüm kararlı k_p ve k_i değerlerinin belirlenip, parametre havuzunun oluşturulması gerekmektedir. Eğri altında kalan yüzeyin tanımlanması için literatürde birçok yöntem geliştirilmiştir. Bu çalışmada ise KSE altında kalan her bir kararlı k_p , k_i değerinin bulunması için üçgenler ağında lineer enterpolasyon yönteminden faydalanılmıştır.



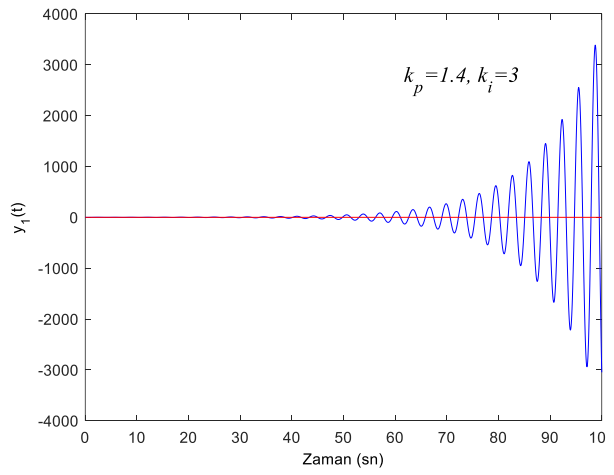
Şekil 2. $G_1(s)$ sistemi için elde edilen KSE



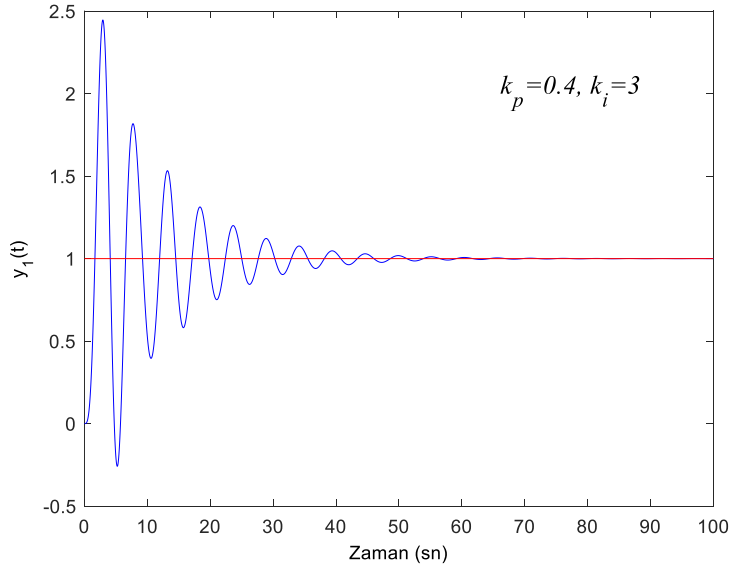
Şekil 3. $G_1(s)$ sisteminin Nyquist eğrisi



Şekil 4. $[k_p, k_i] = [-0.2, 3.5]$ için $G_1(s)$ sisteminin kararsız zaman cevabı



Şekil 5. $[k_p, k_i] = [1.4, 3]$ için $G_1(s)$ sisteminin kararsız zaman cevabı



Şekil 6. $[k_p, k_i] = [0.4, 3]$ için $G_1(s)$ sisteminin kararlı zaman cevabı

2.2. Üçgenler Ağında Lineer Enterpolasyon (Delaunay Üçgenleme Yöntemi)

Bölüm 2.1’de bahsedilen KSE altında kalan her bir kararlı k_p ve k_i değerlerinin bulunması için yüzeyin matematiksel olarak tanımlanması gerekmektedir. Düzenli bir yüzey olan bu alan, basit matematiksel bir fonksiyonla ifade edilebilen, belirli sınırlar içerisinde kalan sabit doğrultulu ve eğimli noktalar kümesidir. Noktalar kümesinin oluşturduğu düzlem yüzeyleri bilinen bir geometrik şekle sahip değildirler. Bu nedenle bu yüzeylerin anlamlı geometrik şekillere bölerek gerçek yüzeyin temsili şeklini oluşturmamız gerekir. Bunun için de en yaygın olarak üçgen, kare ve dikdörtgen tercih edilir. Dağınık veri enterpolasyonu problemi olarak da bilinen düzensiz aralıklı verilerden enterpolasyon ihtiyacı tıbbi görüntüleme, meteorolojik veya jeolojik modelleme, haritacılık ve bilgisayar destekli geometrik tasarım gibi birçok farklı alanda ortaya çıkmaktadır [12].

Düzensiz üçgen ağı da denilen üçgenleme yöntemleri günümüzde yüzey modellemede yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yöntemin amacı söz konusu olan yüzeyi üçgenlere bölerek üçgen elemanlarından oluşan bir bütün halinde göstermektir. Üçgenler halinde gösterilen yüzeyin iç bölgesinde kalan noktaların belirlenmesi için lineer enterpolasyon yönteminden faydalanılmaktadır. Kullandığımız üçgenlerin içinde kalan kestirim noktalarına ait yükseklikler, kullandığımız üçgenlerin köşe noktalarının yükseklikleri yardımıyla bazı fonksiyonlar kullanılarak hesaplanmaktadır. Bunun için kullanılan literatürdeki en etkin üçgenleme algoritması, Delaunay tarafından önerilmiştir [13]. Bu yöntemde tanımlanmak istenen yüzey, rastgele ya da düzgün olarak dağılmış bulunan dayanak noktalarının birleştirilmesi ile düzlem üçgenlerden oluşan çok yüzlü bir yüzeyle kaplanır.

Dağınık noktaların, 2 boyutlu (x_i, y_i) düzleminde olduğu durumu göz önünde bulundurursak, bu noktaların almış olduğu değerler z_i kadar yükseklikte konumlandırılırsa oluşan üçgene ait köşeler, (x_1, y_1, z_1) , (x_2, y_2, z_2) ve (x_3, y_3, z_3) olmak üzere, 3 noktayla tanımlanan düzlem denklemi Denklem 18’deki gibi olmaktadır [14].

$$z = ax + by + c \quad (18)$$

Bilinen üç noktadan her birinin x, y, z değerlerini bu denklemde yerine konulursa, doğrusal bir denklem takımı elde edilir.

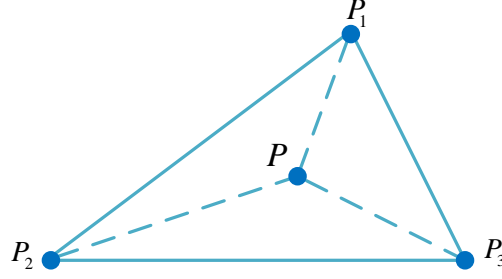
$$\begin{aligned} z_1 &= ax_1 + by_1 + c \\ z_2 &= ax_2 + by_2 + c \\ z_3 &= ax_3 + by_3 + c \end{aligned} \quad (19)$$

Denklem 19’daki a, b, c katsayıları, denklem sisteminin çözümüyle bulunabilir. Bu katsayılar bilindiğinde, Denklem 18 bize bu üçgenin içinde yer alan herhangi bir P noktası $\mathbf{x}=(x, y)$ için z enterpolasyon değerini verir. Ayrıca üçgen içindeki herhangi bir P noktasındaki z değeri, barycentric enterpolasyon ile de bulunabilir. P_1 , P_2 ve P_3 ile ifade edilen üçgen köşeleri, $\mathbf{x}_1=(x_1, y_1)$, $\mathbf{x}_2=(x_2, y_2)$ ve $\mathbf{x}_3=(x_3, y_3)$ noktalarıyla tanımlanacak olursa, (x, y) düzlemindeki herhangi bir P noktasının konumu, bu üç köşenin konumlarının ağırlıklı ortalaması olarak Denklem 20 ile ifade edilebilir.

$$\mathbf{x} = a_1\mathbf{x}_1 + a_2\mathbf{x}_2 + a_3\mathbf{x}_3 \quad (20)$$

Burada, $a_1 + a_2 + a_3 = 1$, $a_i > 0, i=1,2,3...$ olmak zorundadır. Ağırlıklar, P noktasının baryentric koordinatları olarak adlandırılır. Denklem 20’yi doğrusal bir fonksiyon şeklinde ifade edecek olursak Denklem 21 elde edilir.

$$g(\mathbf{x}) = a_1g(\mathbf{x}_1) + a_2g(\mathbf{x}_2) + a_3g(\mathbf{x}_3) \quad (21)$$

Şekil 7. P_1, P_2, P_3 üçgeni

Enterpolasyon fonksiyonu $z = \hat{f}(x, y)$ lineer olduğu için, P noktasındaki z değeri Eşitlik 22 ile ifade edilen, P_i köşelerinin bulunduğu lokasyonlardaki z_i değerlerinin ağırlıklı ortalamasıdır;

$$z = a_1 z_1 + a_2 z_2 + a_3 z_3 \quad (22)$$

Eşitlikte 20'de olduğu gibi $a_1 + a_2 + a_3 = 1$ 'dir. P, P_1, P_2 ve P_3 noktalarının yerleri bilindiği için, a_1, a_2, a_3 ağırlıkları, Eşitlik 23 ile tanımlanan doğrusal sistem takımı çözümlenerek bulunabilir [14].

$$\begin{aligned} a_1 x_1 + a_2 x_2 + a_3 x_3 &= x \\ a_1 y_1 + a_2 y_2 + a_3 y_3 &= y \\ a_1 + a_2 + a_3 &= 1 \end{aligned} \quad (23)$$

Bu denklem takımının çözümü Eşitlik 24'te verilmiştir.

$$\begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_1 & x_2 & x_3 \\ y_1 & y_2 & y_3 \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} x \\ y \\ 1 \end{pmatrix} \quad (24)$$

Ayrıca Cramer kuralı kullanılarak da çözüm yapılabilir. Bunun için Eşitlik 25 ve 26'dan faydalanılmaktadır [14].

$$a_1 = D_1/D, \quad a_2 = D_2/D, \quad a_3 = D_3/D \quad (25)$$

Burada,

$$D = \begin{vmatrix} x_1 & x_2 & x_3 \\ y_1 & y_2 & y_3 \\ 1 & 1 & 1 \end{vmatrix}, \quad D_1 = \begin{vmatrix} x & x_2 & x_3 \\ y & y_2 & y_3 \\ 1 & 1 & 1 \end{vmatrix}, \quad D_2 = \begin{vmatrix} x_1 & x & x_3 \\ y_1 & y & y_3 \\ 1 & 1 & 1 \end{vmatrix}, \quad D_3 = \begin{vmatrix} x_1 & x_2 & x \\ y_1 & y_2 & y \\ 1 & 1 & 1 \end{vmatrix} \quad (26)$$

KSE altında kalan her bir kararlı k_p, k_i değeri, Eşitlik 24'ün çözümüyle elde edilerek kararlı parametre havuzu oluşturulabilir. Sonraki bölümde her bir parametrenin test edilmesiyle, sistemi kararlı yapacak optimal değerler bulunacaktır.

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Benzetim Çalışması

Bu bölümde, Bölüm 2.1 ve 2.2'de anlatılan yöntemler kullanılarak tasarımı yapılan PI kontrolörün performansı, Matlab ortamında oluşturulan geçiş fonksiyonu kullanılarak incelenecektir. Bunun için Örnek 2'de verilen iki kutuplu ve tek sıfırlı G_2 sistemi kullanılacaktır.

Örnek 2. Şekil 1 ile gösterilen kapalı çevrim sistemde kontrol edilecek sistemin geçiş fonksiyonunu Denklem 27'deki gibi seçelim.

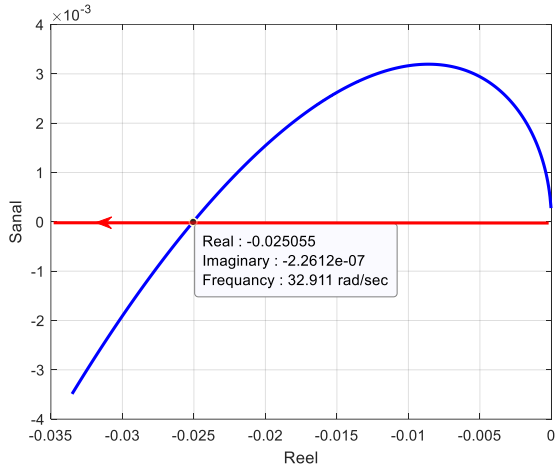
$$G_2 = \frac{-0.2791s + 26.46}{s^2 + 11.4s + 27.04} \quad (27)$$

Bu sistem için Denklem 13 ve 14'e göre $k_p(\omega)$ ve $k_i(\omega)$ fonksiyonları aşağıdaki gibi elde edilir.

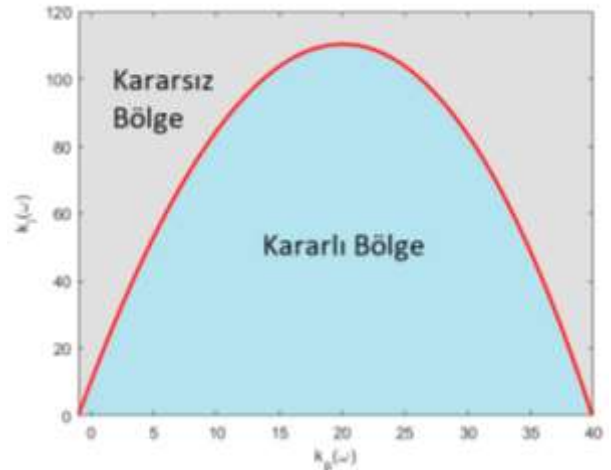
$$k_p(\omega) = \frac{200(14784587\omega^2 - 357739200)}{7789681\omega^2 + 70013160000} \quad (28)$$

$$k_i(\omega) = \frac{400(-69775\omega^2 - 75577816\omega^2)}{7789681\omega^2 + 70013160000} \quad (29)$$

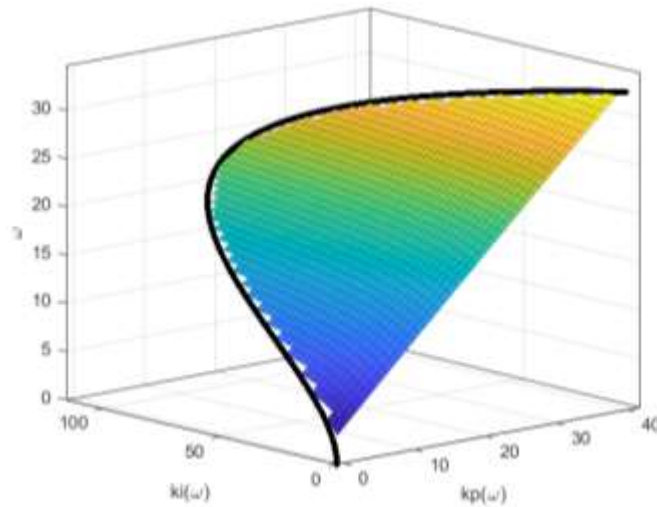
Eşitlik 27 ile verilen sistem için k_p ve k_i 'nin kararlı ve kararsız değerlerini içeren KSE Eşitlik 28 ve 29 kullanılarak Şekil 9'daki gibi elde edilmiştir. KSE'nin çizimi için gerekli olan frekans aralığı, açık çevrim sistemin reel ve sanal bileşenlerinin birbirine göre çizimiyle elde edilen ve Şekil 8'de gösterilen Nyquist diyagramına göre $\omega = [0, 32.911]$ rad/sn'dir. Elde edilen KSE, Bölüm 2.2'de önerilen yöntemle Şekil 10'daki KSY'ne dönüşmektedir.



Şekil 8. $G_1(s)$ sisteminin Nyquist eğrisi

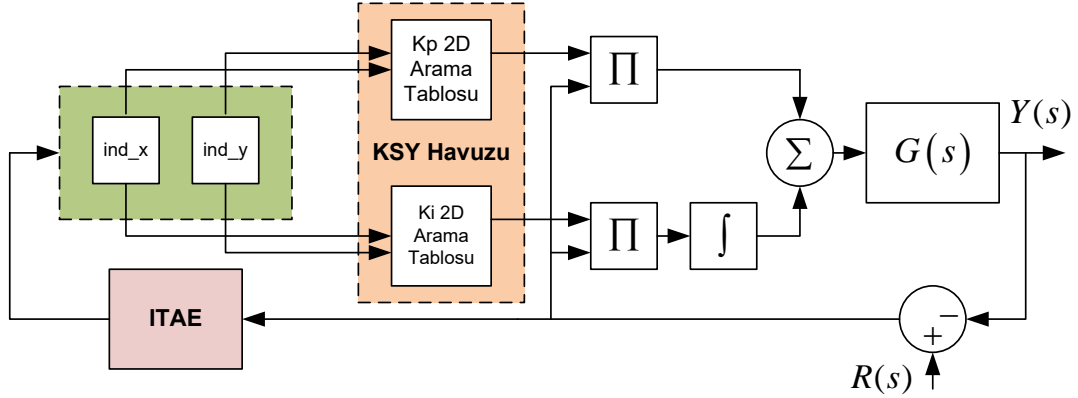


Şekil 9. $G_2(s)$ sistemi için elde edilen KSE

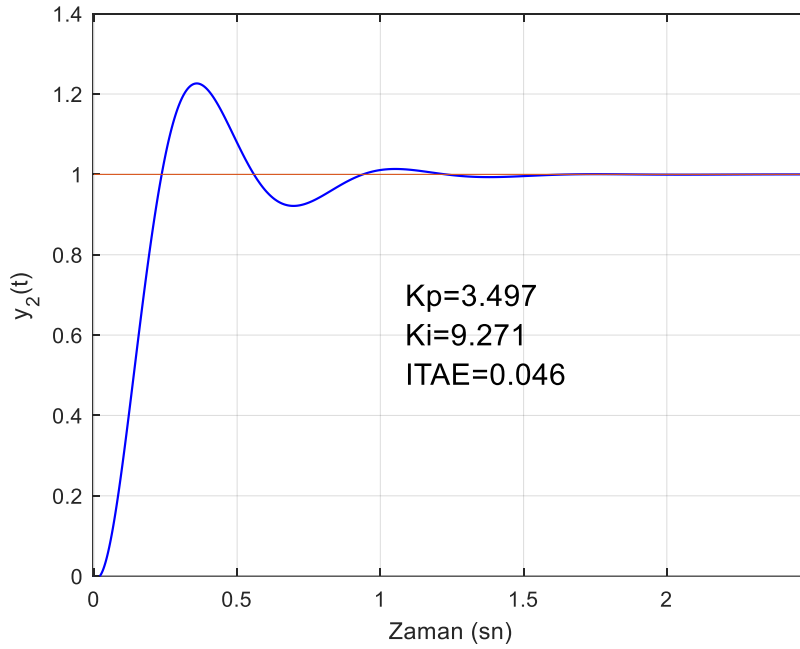


Şekil 10. $G_2(s)$ sistemi için elde edilen KSY

Bu yüzeyi tanımlayan tüm noktalar kontrollü kapalı çevrim sistemi kararlı yapmaktadır. Ancak hangi noktaların optimal sonuç verdiği bilinmemektedir. Bu nedenle Şekil 11’de verilen yapı kullanılarak, eğri altında kalan her nokta iteratif olarak test edilmiştir. KSY havuzu belli olduğu için kararlı ve optimal noktaların seçimi, minimum hatanın olduğu duruma göre otomatik olarak yapılacaktır. Matlab/Simulink bloklarıyla senkron çalışan kod rutini kullanılarak kararlılık sınır bölgesi içerisindeki optimal k_p ve k_i değerleri sırasıyla 3.497 ve 9.271 olarak bulunmuştur. Bu noktadaki kontrollü sistemin zaman cevabı Şekil 12’de verilmiştir. Elde edilen ITAE değeri ise 0.046’dır. Böylelikle sistemin hata fonksiyonunu minimize edecek optimal parametre değerleri, belirlenen parametre havuzu kullanılarak elde edilmiştir.



Şekil 11. Önerilen sistemin blok diyagramı



Şekil 12. Optimal $[k_p, k_i] = [3.497, 9.271]$ değerleri için $G_2(s)$ sisteminin kararlı zaman cevabı

3.2. Deneysel Çalışma

Bir önceki bölümde, önerilen yöntemin doğruluğu benzetim çalışması üzerinden ispatlanmıştır. Bu bölümde ise laboratuvar ortamında uçuş dinamiklerinin incelenmesine imkân sağlayan çok girişli-çok çıkışlı model helikopterin eğim açısı kontrolü gerçek zamanlı incelenecektir. Bilindiği üzere bir helikopter, ana rotor ve kuyruk rotoru olmak üzere iki rotora sahiptir. Ana rotor, ileri, yan ve dikey gidiş için gerekli torku sağlarken, kuyruk rotoru ise ana rotorun oluşturduğu tork etkisini dengelemeyi ve sapma hareketi yapmasını sağlar [15]. Sistemin yatay ve düşey eksenindeki hareketini modelleyebilmek

için bu iki rotora bağlı olan eğim ve sapma açılarından faydalanılmaktadır. Denetleyicinin iyi bir şekilde tasarlanabilmesi için sistem dinamiğinin iyi anlaşılması ve modellenmesi gerekmektedir. Bir helikopter, mekanik yasalar kullanılarak veya deneysel olarak helikopter üzerinden veri toplayarak modellenebilir [16]. Genelde doğrusal olmayan helikopter modeli mekanik yasalar kullanılarak oluşturulurken, sistem tanımlama ile doğrusal ve düşük mertebeden modeller elde edilir [15]. Eğim ve sapma hareketinin benzetimi Bölüm 2.1 ve 2.2’de ayrıntılı bir şekilde açıklanacaktır. Çalışmada kullanılan helikopter modeline ait mekanik yapı ise Şekil 1’de gösterilmiştir [17].



Şekil 13. Çift rotorlu ÇGÇÇ helikopter modeli

Çevremizdeki çoğu gerçek sistem doğrusal değildirler. Sistem durum değişkenlerinden en az biri doğrusal olmayan bir fonksiyonun argümanıdır. Şekil 13’te verilen elektro-mekanik sistem için doğrusal olmayan model denklemleri elde edilebilir. Mekanik yapı söz konusu olduğunda, dikey hareket için aşağıdaki momentum denklemleri elde edilir. Eğim hareketini ifade eden temel eşitlikler Denklem 30-31’de verilmiştir. Bu eşitlikler dikey hareket için kullanılan açısal momentumu oluşturan, yer çekimi, sürtünme kuvveti ve jiroskobik momentumun toplamıyla elde edilir [17].

$$\ddot{\psi} = \frac{a_1}{I_1} \tau_1^2 + \frac{b_1}{I_1} \tau_1 - \frac{M_g}{I_1} \sin(\psi) + \frac{0.0326}{2I_1} \sin(2\psi)(\dot{\phi})^2 - \frac{B_{1\psi}}{I_1} \dot{\psi} - \frac{k_{gy}}{I_1} \cos(\psi)(a_1 \tau_1^2 + b_1 \tau_1) \dot{\phi} \quad (30)$$

$$\dot{\tau}_1 = -\frac{T_{10}}{T_{11}} \tau_1 + \frac{k_1}{T_{11}} u_\psi \quad (31)$$

Eşitlik 30-31 ile verilen dikey hareketi modelleyen denklemler, yatay eksendeki hareketi tanımlamak için de kullanılmaktadır. Buna göre sapma hareketini ifade eden eşitlikler Denklem 32-33’te verilmiştir [1,8].

$$\ddot{\phi} = \frac{a_2}{I_2} \tau_2^2 + \frac{b_2}{I_2} \tau_2 - \frac{B_{1\phi}}{I_2} \dot{\phi} - \frac{1.75}{I_2} k_c (a_1 \tau_1^2 + b_1 \tau_1) \quad (32)$$

$$\dot{\tau}_2 = -\frac{T_{20}}{T_{21}} \tau_2 + \frac{k_2}{T_{21}} u_\phi \quad (33)$$

Burada sırasıyla ψ ve ϕ eğim ve sapma açısı, $\dot{\psi}$ ve $\dot{\phi}$ açısal hız, τ_1 ve τ_2 ana ve kuyruk motorlarının moment ifadesi, u_ψ ve u_ϕ ise motorlara uygulanan gerilim değeri veya kontrol işaretidir. Sisteme ait katsayılar Tablo 1’de verilmiştir [17].

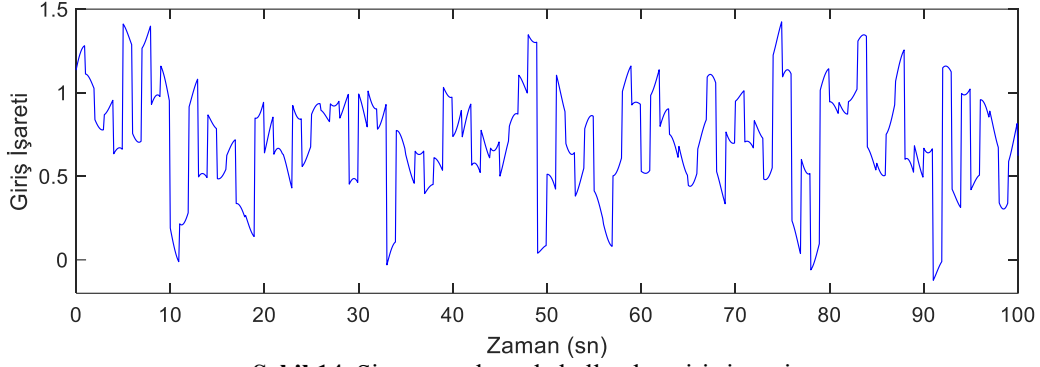
Tablo 1. Sistem Parametreleri

Parametreler	Değerler
B_{ψ}	Dikey eksen sürtünme kats. 6×10^{-3} Nms/rad
B_{ϕ}	Yatay eksen sürtünme kats. 1×10^{-1} Nms/rad
I_1	Dikey rotorun atalet momenti 6.8×10^{-2} kg.m ²
I_2	Yatay rotorun atalet momenti 2×10^{-2} kg.m ²
* b_1	Statik karakteristik parametre 0.0924
* b_2	Statik karakteristik parametre 0.09
* a_1	Statik karakteristik parametre 0.0135
* a_2	Statik karakteristik parametre 0.02
τ_1	Ana motor torku $\tau_1 = \frac{k_1}{T_{11}s + T_{10}} u_{\psi}$
τ_2	Kuyruk motor torku $\tau_2 = \frac{k_2}{T_{21}s + T_{20}} u_{\phi}$
* k_1	Ana motor kazancı 1.1
* k_2	Kuyruk motor kazancı 0.8
T_{10}	Ana motor payda değeri 1.2 s
T_{11}	Ana motor payda değeri 1.1 s
T_{21}	Kuyruk motoru payda değeri 1 s
T_{20}	Kuyruk motoru payda değeri 1 s
* k_{gy}	Jiroskobik moment katsayısı 0.05
* k_c	Çapraz etki kazancı -0.2
M_g	Yerçekimi momenti 0.32 N.m

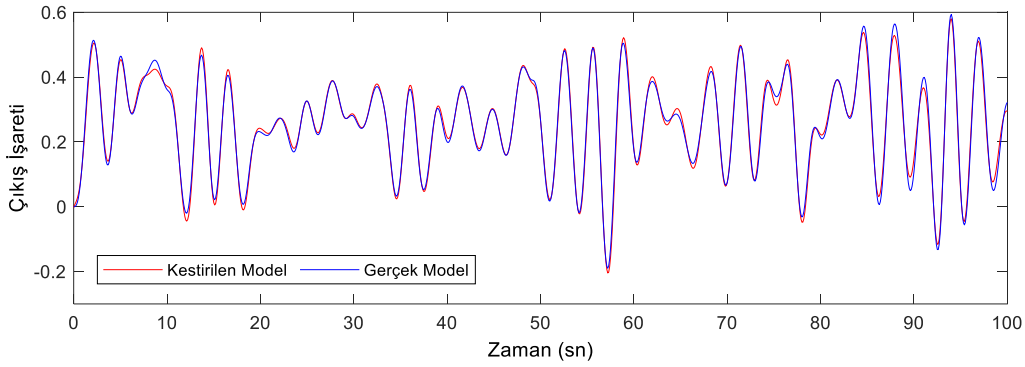
Böyle bir modeli transfer fonksiyonu cinsinden sunabilmek için doğrusallaştırılması gerekmektedir. Model helikopterin yatay ekseninde yaptığı hareketi temsil eden transfer fonksiyonu, Eşitlik 30-31 ile verilen doğrusal olmayan denklemler üzerinden gidilerek elde edilmiştir. Doğrusal olmayan model girişine farklı sinyallerin toplamından oluşan değişken bir işaret uygulanmış ve çıkış dalga şekilleri incelenmiştir. Uygun sınırlarda tutulan bu sinyaller, MATLAB System Identification Toolbox yardımıyla işlenerek, yaklaşık sistemin parametre kestiriminde kullanılmıştır. Üçüncü mertebeden sıfırı olmayan bir sistem modeli alınarak, katsayılar güncellenmiştir. Buna göre elde edilen sistemin transfer fonksiyonu aşağıdaki gibidir. Burada pay ve payda polinomlarının s^0 'lı katsayıları çok küçük olduğu için ihmal edilebilir.

$$G(s)_{\psi} \approx \frac{0.009664s^3 - 0.03481s^2 + 1.613s + 3.669 \times 10^{-5}}{s^4 + 0.9794s^3 + 4.64s^2 + 4.051s - 5.988 \times 10^{-7}} \quad (34)$$

Şekil 14'te sistem tanılamada kullanılan giriş işareti verilmiştir. Rastgele, basamak ve sinüsoidal sinyallerin toplamından oluşan bu işaret, öngörülen sistem için birçok harmoniği barındırmaktadır. Şekil 15'te ise Eşitlik 34 ve Eşitlik 30-31'de verilen sistemlerin çıkış dalga şekilleri görülmektedir. Yaklaşık olarak %95.17'lik başarımla gerçek sistemi takip eden $G(s)_{\psi}$, KSY tabanlı PI kontrolör tasarımı için rahatlıkla kullanılabilir seviyededir.



Şekil 14. Sistem tanılamada kullanılan giriş işareti



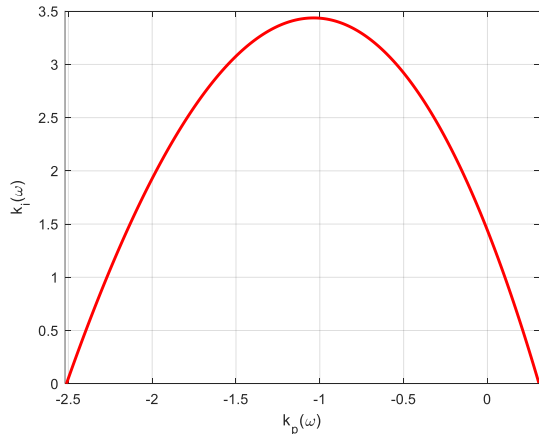
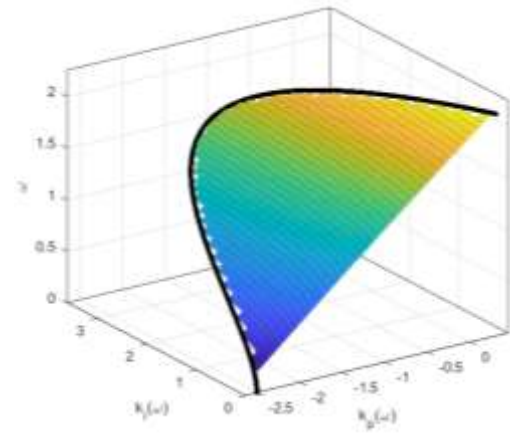
Şekil 15. Kestirilen model ve gerçek sistem çıkışları

Bu sistem için Denklem 13 ve 14'e göre $k_p(\omega)$ ve $k_i(\omega)$ fonksiyonları aşağıdaki gibi elde edilir.

$$k_p(\omega) = \frac{-400(27671826\omega^4 - 1112774665\omega^2 + 4083914375)}{23348224\omega^4 - 7491081975\omega^2 + 650442250000} \quad (35)$$

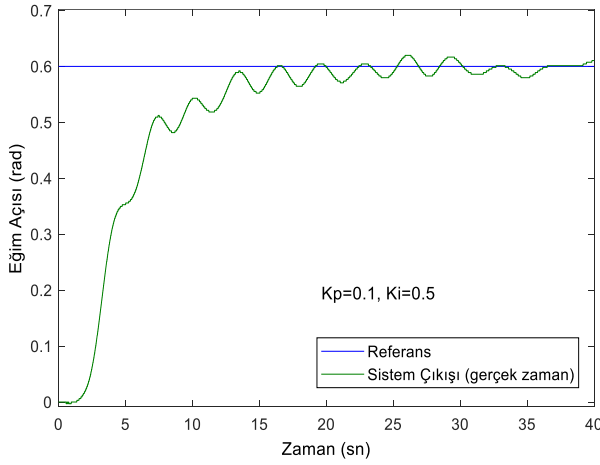
$$k_i(\omega) = \frac{-500(4832000\omega^6 - 845966937\omega^4 + 3812667655\omega^2)}{23348224\omega^4 - 7491081975\omega^2 + 650442250000} \quad (36)$$

Eşitlik 34 ile verilen sistem için k_p ve k_i 'nin kararlı ve kararsız değerlerini içeren KSE Eşitlik 35 ve 36 kullanılarak Şekil 16'daki gibi elde edilmiştir. KSE'nin çizimi için gerekli olan frekans aralığı, açık çevrim sistemin reel ve sanal bileşenlerinin birbirine göre çizimiyle elde edilen Nyquist diyagramına göre $\omega = [0, 2.15]$ rad/sn'dir. KSE eğrisi altında kalan noktalar, Bölüm 2.2'de önerilen yöntemle Şekil 17'deki gibi elde edilmiştir.

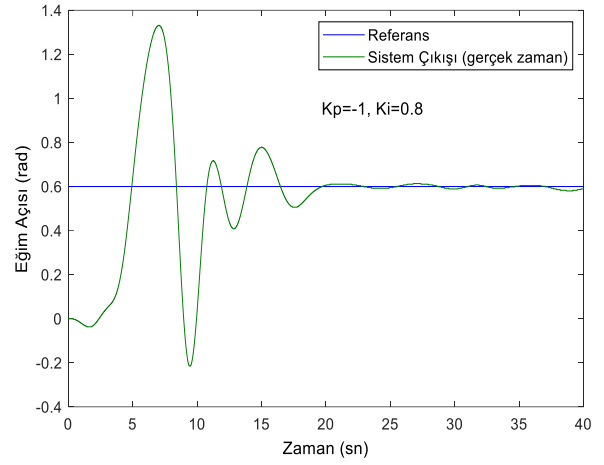
Şekil 16. $G(s)_w$ sistemi için elde edilen KSEŞekil 17. $G(s)_w$ sistemi için elde edilen KSY

Şekil 18 ve 19’da sırasıyla, $[k_p, k_i] = [0.1, 0.5]$ ve $[k_p, k_i] = [-1, 0.8]$ değerleri için gerçek sistemin kararlı eğim açısı değişimleri verilmiştir. Bu değerler Şekil 16’da verilen KSE’nin altında kalan alanda yer almaktadır. Şekil 20’de ise eğri dışındaki alanda bulunan $[k_p, k_i] = [0.5, 0.2]$ değerleri için model helikopterin kararsız eğim açısı değişimi görülmektedir. Eğri altındaki $[k_p, k_i] = [0.1232, 0.052]$ değerleri için model helikopterin gerçek sistem, kestirilen doğrusal sistem ve doğrusal olmayan sistem modellerinin kararlı eğim açısı değişimi ise Şekil 21’de gösterilmiştir.

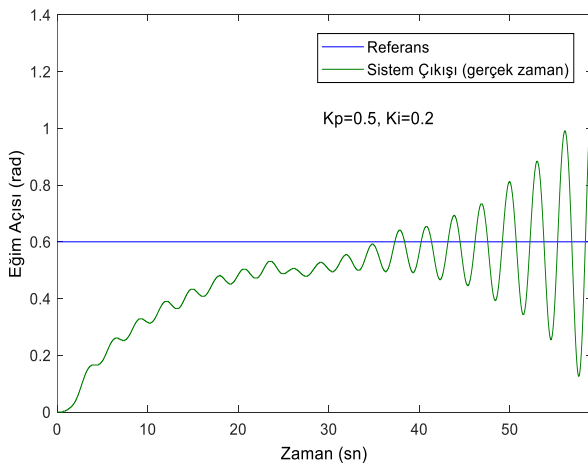
Bölüm 2.2’de anlatılan yöntemle göre elde edilen Şekil 17’deki KSY kullanılarak, eğri altında kalan kararlı tüm noktalar belirlenmiştir. Şekil 11’de verilen blok diyagram kullanılarak, Eşitlik 34’deki kestirilen doğrusal sistem için optimal PI parametreleri, $[k_p, k_i] = [-0.732, 1.123]$ olarak elde edilmiştir. Bu değerlerin doğruluğu daha sonra hem gerçek sistem hem de Eşitlik 30-31 ile ifade edilen doğrusal olmayan model üzerinden test edilmiştir. Model helikopterin; gerçek sistem, kestirilen doğrusal sistem ve doğrusal olmayan sistem modellerinin, optimal $[k_p, k_i] = [-0.732, 1.123]$ değerleri için kararlı eğim açısı değişimi Şekil 22’de görülmektedir.



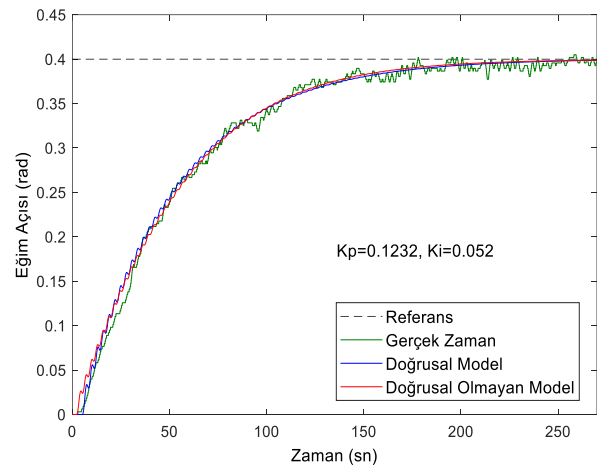
Şekil 18. $[k_p, k_i] = [0.1, 0.5]$ değerleri için model helikopterin kararlı eğim açısı değişimi



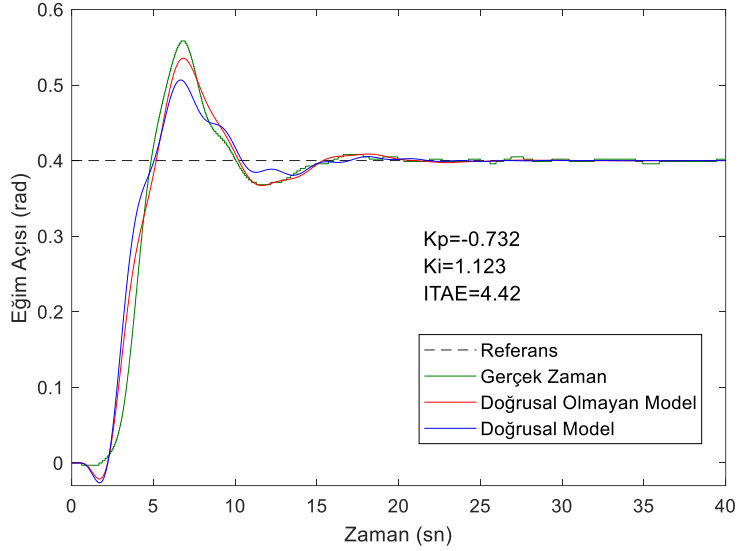
Şekil 19. $[k_p, k_i] = [-1, 0.8]$ değerleri için model helikopterin kararlı eğim açısı değişimi



Şekil 20. $[k_p, k_i] = [0.5, 0.2]$ değerleri için model helikopterin kararsız eğim açısı değişimi



Şekil 21. $[k_p, k_i] = [0.1232, 0.052]$ değerleri için model helikopterin gerçek sistem, kestirilen doğrusal sistem ve doğrusal olmayan sistem modellerinin kararlı eğim açısı değişimi



Şekil 22. Model helikopterin; gerçek sistem, kestirilen doğrusal sistem ve doğrusal olmayan sistem modellerinin, optimal $[k_p, k_i] = [-0.732, 1.123]$ değerleri için kararlı eğim açısı değişimi.

4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada PI parametrelerinin hesaplanması için geliştirilen grafiksel yöntemlerden olan KSE metodu, sistemi kararlı yapan optimal k_p ve k_i değerlerinin bulunması için dağınık veri enterpolasyon yöntemine göre yeniden oluşturulmuştur. Önerilen yöntem sayesinde 3 boyutlu kararlılık sınır yüzeyi çizdirilmiş, sistem kararlılığını garanti noktalar kullanılarak kararlı k_p ve k_i parametre havuzu oluşturulmuştur. Havuzdaki her bir parametre kullanılarak, referans girdi ile sistem çıkışı arasındaki hatayı minimize eden PI parametreleri elde edilmiştir. Önerilen yöntemin geçerliliği ve doğruluğu Matlab/Simulink ortamında oluşturulan geçiş fonksiyonları üzerinden doğrulanmıştır. Ayrıca laboratuvar ortamında uçuş dinamiklerinin incelenmesine imkân sağlayan çok girişli-çok çıkışlı model helikopterin eğim açısı kontrolü gerçek zamanlı olarak incelenmiştir. Doğrusallaştırılmış model kullanılarak tasarımı yapılan KSY ve PI kontrolörün, kararlı bir sistem cevabı verdiği gözlemlenmiştir. Model helikopterin; gerçek sistem, kestirilen doğrusal sistem ve doğrusal olmayan sistem modellerinin, optimal $[k_p, k_i] = [-0.732, 1.123]$ değerleri için benzer eğim açısına sahip oldukları gösterilmiştir. Sonraki çalışmalarda optimal parametrelerin grafiksel yöntemler kullanılmadan elde edilmesini sağlayacak numerik yöntemlerin geliştirilmesi planlanmaktadır.

Yazarların Katkısı

Çalışmada tüm katkı tarafıma aittir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar

- [1] Åström K.J., Hägglund T. 2001. The future of PID control. Control Eng. Pract., 9 (11): 1163-1175.

- [2] Ziegler J.G., Nichols N.B. 1993. Optimum Settings for Automatic Controllers. *J. Dyn. Syst. Meas. Control*, 115 (2B): 220-222.
- [3] Cohen G.H., Coon G.A. 1953. Theoretical Consideration of Retarded Control. *Trans. ASME*, 75 (1): 827-834.
- [4] Åström K.J., Hägglund T. 1984. Automatic tuning of simple regulators with specifications on phase and amplitude margins. *Automatica*, 20 (5): 645-651.
- [5] Kumar D.B.S., Padma Sree R. 2016. Tuning of IMC based PID controllers for integrating systems with time delay. *ISA Trans.*, 63242-63255.
- [6] Li P., Zhu G. 2019. IMC-based PID control of servo motors with extended state observer. *Mechatronics*, 62102252.
- [7] Zhuang M., Atherton D.P. 1993. Automatic tuning of optimum PID controllers. *IEE Proc. D Control Theory Appl.*, 140 (3): 216.
- [8] Ho M-T., Datta A., Bhattacharyya S.P. 1996. A new approach to feedback stabilization. *Proceedings of 35th IEEE Conference on Decision and Control*, 4: 4643-4648.
- [9] Söylemez M.T., Munro N., Baki H. 2003. Fast calculation of stabilizing PID controllers. *Automatica*, 39 (1): 121-126.
- [10] Shafiei Z., Shenton A.T. 1997. Frequency-domain design of pid controllers for stable and unstable systems with time delay. *Automatica*, 33 (12): 2223-2232.
- [11] Tan N., Kaya I., Atherton D.P. 2003. Computation of stabilizing PI and PID controllers. *Proceedings of 2003 IEEE Conference on Control Applications*, 876-881.
- [12] Avcı Ü. 2010. İki Yüzey Arasında Hacim Hesabı Yapan Program ve Algoritma Geliştirme. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- [13] Delaunay B. 1934. Sur la sphère vide. A la mémoire de Georges Voronoï. *Classe des sciences mathématiques et naturelles. Bull. l'Académie l'URSS*, 6 (1): 793-800.
- [14] Amidror I. 2002. Scattered data interpolation methods for electronic imaging systems: a survey. *J. Electron. Imaging*, 11 (2): 157.
- [15] Franko S. 2010. İnsansız Helikopterin Model Öngörülü Kontrolü. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [16] Mettler B. 2003. *Identification Modeling and Characteristics of Miniature Rotorcraft*. Boston, MA: Springer US.
- [17] Feedback Instruments, 2006. *Twin Rotor MIMO System Control Experiments Manuel 33-949S*. <http://www.cpdee.ufmg.br/~palhares/33-942rotor.pdf> (Erişim Tarihi: 24.12.2019).

Araştırma Makalesi / Research Article

Dizel, Dizel/Biyodizel ile Çalışan Bir Motora Kütlece Asetilen Gazı İlavesinin Etkileri

Salih ÖZER¹, Erdiñç VURAL^{2*}, Serkan ÖZEL³

¹Muş Alparslan Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Muş

²Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, Germencik Yamantürk Meslek Yüksekokulu, Aydın

³Bitlis Eren Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Bitlis
(ORCID: 0000-0002-6968-8734) (ORCID: 0000-0002-3398-5593) (ORCID: 0000-0003-0700-1295)

Özet

Bu çalışma da tek silindirli, sıkıştırma ile ateşlemeli, direk enjektörlü motora sahip bir dizel jeneratörde dizel yakıtına %50 biyodizeli ve dizel yakıt karışımına kütlece %10 ve %20 oranında asetilen gazı ilavesinin egzoz gazı sıcaklığına, yakıt tüketim değerine ve egzoz emisyonlarına (NO_x, CO, is ve HC) etkisi incelenmiştir. Asetilen gazı bir kütleli akış metre ile motorun emme manifoldundan gaz halinde dizel yakıt ile eş zamanlı olarak verilmiştir. Bu işlemler jeneratörün 1000W, 2000W, 3000W ve 4000 W güç üreteceği koşullarda tekrarlanmıştır. Tüm sabit şartlar altında deneyler üçer kez tekrar edilerek sonuçların ortalamaları alınmıştır. Asetilen gazı ilavesi ile yakıt tüketim değeri, egzoz gazı sıcaklığı, NO_x emisyonları artarken, HC, CO ve is emisyonları azalmıştır.

Anahtar kelimeler: Alternatif enerji, asetilen gazı, motor performansı, egzoz emisyonu.

The Effects of Mass Addition of Acetylene Gas to a Diesel, Diesel/Biodiesel Powered Engine

Abstract

In this study, single-cylinder, compression ignition, direct diesel generator engine diesel fuel with a marinade of 50% biodiesel and diesel fuel mixture, by Mass, 10% and 20% acetylene gas addition, exhaust gas temperature, fuel consumption and exhaust emissions (NO_x, CO, and HC business) effect was investigated. Acetylene gas is supplied simultaneously with gaseous diesel fuel from the intake manifold of the engine with a mass flow meter. These operations were repeated in conditions where the generator would produce 1000W, 2000W, 3000W and 4000 W of power. Under all fixed conditions, the experiments were repeated three times and the results were averaged. With the addition of acetylene gas, fuel consumption value, exhaust gas temperature, NO_x emissions increased, while HC, CO and is emissions decreased.

Keywords: Alternative energy, acetylene gas, engine performance, exhaust emission.

1. Giriş

Enerji, toplum, insan yaşamı, ülkelerin ekonomik, ticari ve sosyal alanlardaki refahın artırılmasında vazgeçilmez bir etken olmaya devam etmektedir. Bu nedenle enerji ihtiyacına sürekli olarak cevap verecek kaynaklar ve bu kaynakların devamlılığı önemlidir. İnsanoğlu teknolojinin gelişmesi ile birlikte enerji üretiminde tek bir kaynağa bağımlı kalmak yerine alternatif enerji kaynağı arayışları içerisine girmiştir. Örneğin günümüzde elektrik enerjisinin üretiminde kömür, doğalgaz, su kaynakları, jeotermal, nükleer kaynaklar, güneş, rüzgâr vb. gibi geniş bir kaynak çeşitliliği mevcuttur. Çünkü ülkeler enerji üretiminde tek bir enerji kaynağına bağımlı kalmak istememektedirler [1]. Elektrik enerjisi, elektrik santrallerinde, değişik yakıtların gücünün kullanılması ile üretilmektedir gibi evlerde ya da iş yerlerinde küçük ebatlı üreteçlerin kullanılması ile de üretilmektedir. Temel amaç bir elektrik üretici olan alternatörün bir güç vasıtasıyla döndürülmesidir. Bu üreteçler bazen bir içten yanmalı motor, bazen

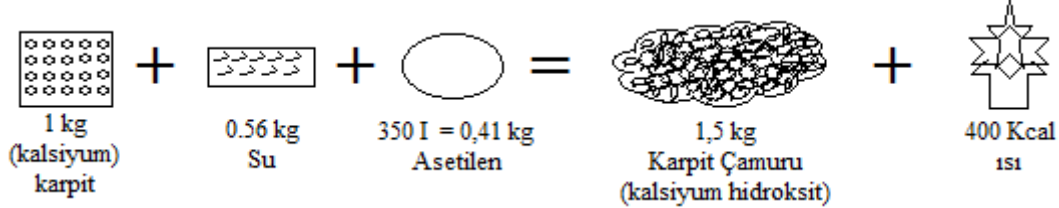
*Sorumlu yazar: erdinc009@hotmail.com

Geliş Tarihi: 26.12.2019, Kabul Tarihi: 20.04.2020

rüzgâr enerjisi ya da suyun gücü ile döndürülmektedir [2]. Jeneratörler, bir elektrik üretici ve içten yanmalı motorun kullanılması ile elektrik üretimini sağlayan araçlardır. Günümüzde evlerde ve iş yerlerinde kullanılan jeneratörlerden büyük şehirlerin elektrik ihtiyacını karşılayan jeneratörlere kadar birçok yerde kullanıma açılan bu araçlarda alternatörün döndürülme işlemi içten yanmalı motorlar sayesinde yapılmaktadır [3]. İçten yanmalı motorlar ise silindir içerisine alınan hava+yakıt karışımının yakılması ile hareket enerjisi üreten makinelerdir. Bu hareket motorlu araçlarda arabanın gitmesini, küçük el aletlerinde iş yapma hareketini, jeneratörlerde ise elektrik üreticinin döndürülmesini sağlayan güç kaynağıdır. Bu güç kaynaklarında kullanılan yakıtların çevreci, ekonomik ve yerli kaynaklarla üretilir olması ülkelerin enerji darboğazındaki çıkmazını değiştirebilecek önemli bir adımdır. Bu nedenle içten yanmalı motorlarda alternatif enerji kaynaklarının kullanımı ile ilgili yapılan birçok çalışma mevcuttur. Özellikle üretimi ucuz, çevreci ve milli kaynaklarla üretimi gerçekleştirilebilecek olan yakıtların kullanımı üzerinde durulmakta ve bu alanda yapılan çalışmalara hız verilmektedir [4,5]. Asetilen gazı, günümüzde kaynak ve metal kesme işlemlerinde kullanılan ısı değeri yüksek bir gaz türüdür. Asetilen karpit taşının su ile reaksiyona girmesi sonucu oluşmaktadır. Asetilen gazı zehirsiz ve kokusuz bir gaz olmasının yanında çabuk yanabilen ve tutuşabilen bir gaz türüdür. Asetilenin yüksek oranda ısı enerjisiye sahip olması son yıllarda asetilen ile ilgili yapılan çalışmaların sayısının artmasına neden olmuştur [6-8]. Literatürde asetilen ile yapılan çalışmaların bazıları özetlenmeye çalışılmıştır. İlhak ve ark. [9]. Benzine 500 g/h ve 1000 g/h asetilen gazı ilavesinin dört silindri dört zamanlı bir motorda, motor performansına ve egzoz emisyonlarına etkisini incelemişlerdir. 1500 d/dak motor hızında %25 ve %50 motor yüklerinde kütleli bir debimetre yardımı ile emme manifolduna istenilen miktardaki asetilen gazını göndermişlerdir. Benzine asetilen gazı ilavesi ile birlikte termal verimin azaldığını, egzoz gazı sıcaklığının arttığını, karbon monoksit (CO) emisyonunun azaldığını, is emisyonunu azaldığını ve azot oksit (NOx) emisyonunun arttığını bildirmişlerdir. Ayrıca hava/yakıt (H/Y) oranının etkisinin de yanma üzerindeki etkilerini araştırmak için değişik H/Y oranlarında deneylerini tekrarlamışlardır. H/Y oranının artması ile birlikte silindir içi basınç değerlerinin de arttığını bildirmişlerdir.

Asetilen gazının yanma sonucu sıcaklığının yüksek olması nedeniyle metal sanayinde kesme ve kaynak işleri kullanımında tercih edilmektedir [6]. Asetilen gazı hazır tüplerden satın alınarak kullanılabileceği gibi karpit kazanları ile de elde edilebilmektedir. Asetilen gazı karpit kazanlarında hızlıca üretilbildiği ve hemen kullanıma hazır hale geldiği için birçok sanayi kuruluşunca bu gaz temin süreci tercih edilmektedir.

Asetilenin alev gücü 43 kw/cm² ve alev sıcaklığı 3200 °C'dir. Diğer gazlar arasında alev sıcaklığı bakımında en yüksek sıcaklığa sahip gaz türüdür [14]. Ayrıca asetilen renksiz, boğucu, sarımsak kokusuna benzer kokuda, oldukça parlayıcı, zehirsiz, çözünmüş bir gazdır. Asetilen gerek tüpte olsun gerekse karpit kazanlarında karpitin suyla temasından elde edilir. Karpitin tane büyüklüğüne bağlı olarak 1 kg'dan elde edilecek asetilen miktarı değişmektedir. Tanelerin büyüklüğüne göre 0,5 kg ile 0,3 kg arasındaki değerler aralığında karpit üretimi gerçekleştirilebilmektedir. Şekil 1'de piyasada satılan karpit büyüklüklerinde su ile karıştırılması sonucunda ortaya çıkan ürünleri göstermektedir [15].



Şekil 1. Karpitin suyla karıştırılması sonucu ortaya çıkan ürünler [11]

İlhak ve ark. [10] dört silindri, dört zamanlı benzinli bir motorda 500 g/h ve 1000 g/h asetilen gazı ilavesinin motor performansına ve egzoz emisyonlarına etkisini incelemişlerdir. Benzine 500 g/h asetilen ilavesi ile birlikte %50 motor yükünde silindir içi basıncın arttığını, 1000 g/asetilen gazı ilavesi ile yanmanın uzayarak maksimum silindir içi basıncının azalttığını belirtmişlerdir. Tam yük durumunda ise asetilen gazı ilavesinin silindir içi basıncında azalmalara neden olduğunu bildirmişlerdir. Bunun yanında asetilen gazı ilavesi ile birlikte egzoz gazı sıcaklığının arttığını, düşük motor güçlerinde termal verimin düşük ve yakıt tüketiminin fazla yüksek güçlerde ise termal verimin yüksek ve yakıt tüketiminin az olduğunu belirtmişlerdir. Emisyonlar açısından bakıldığında ise hidrokarbon (HC) emisyonlarının azaldığını NOx emisyonlarının arttığını belirtmektedirler.

Vural ve Özer [11] yaptıkları deneysel çalışmalarında, buji ateşlemeli, 4 zamanlı tek silindirli bir motorda 1600-3200 d/dak motor hızları arasında tam gaz konumunda benzine kütlece %20 ve %30 oranında asetilen gazı ilavesinin egzoz emisyonlarına etkilerini incelemişlerdir. Yaptıkları çalışmada egzoz gazı sıcaklığı ile CO, CO₂, NO_x emisyonlarında benzine göre azalma meydana getirdiğini gözlemlemişlerdir. Benzine %20 ve %30 oranlarında ilave edilen asetilenin yanmayı kötüleştirdiğini bu nedenle gazın emme manifoldundan değil de ikinci bir enjeksiyon ile verilmesinin daha güvenli ve verimli olacağını bildirmişlerdir.

Lakshmanan ve Nagarajan [12] tek silindirli, 4 zamanlı direk püskürtmeli dizel bir motorda asetilen gazı ilavesinin motor performansına ve egzoz emisyonlarına etkisini incelemişlerdir. Dizel yakıtının pilot yakıt olarak gönderildiği çalışmada asetilen kullanımı ile termal verimin düştüğünü, is, HC ve CO emisyonlarında azalma meydana geldiğini NO_x emisyonlarının ise arttığını bildirmişlerdir.

Lakshmanan ve Nagarajan [13] dizel yakıtına 110 g/h, 180 g/h ve 240 g/h asetilen gazı ilave ederek değişik oranlarda EGR uygulamasının egzoz emisyonlarına ve motor performansına etkilerini incelemişlerdir. Dizel yakıtına ilave edilen asetilen gazının NO_x, CO ve HC emisyonlarının azalmasına, is emisyonlarının ise makul bir derecede artmasına neden olduğunu EGR uygulamasının ise emisyonları bir miktar iyileştirdiğini tespit etmişlerdir.

Yapılan çalışmalar asetilen gazının içten yanmalı motorlarda kullanılabilirliğini göstermektedir. Asetilen gazının yerli kaynaklarla üretiliyor olması ve yüksek ısı değere sahip olması içten yanmalı motorlarda alternatif bir yakıt olarak kullanılabilirliğini göstermektedir. Bu çalışmada da tek silindirli, dört zamanlı dizel bir motora sahip ev tipi jeneratörde dizel yakıtına biyodizel ilavesi ve üzerine asetilen gazı ilave edilmesinin yakıt tüketim değerine ve emisyonlara etkileri incelenmiştir. Bu amaçla dizel bir jeneratöre bağlanan projektörler vasıtasıyla 1000 W, 2000 W, 3000 W ve 4000 W güç çekecek şekilde projektör lambaları ile yüklenerek çalıştırılmıştır. Çalışma sırasında tüketilen dizel+biyodizel yakıtların tüketim miktarları ile egzoz emisyonları kayıt altına alınmış ve daha sonra irdelenmiştir.

2. Materyal ve Metot

Alternatif yakıt çalışmalarında yakıtların belli başlı bazı özellikleri üzerine kıyaslamalar yapılarak yorumlamak mümkündür. Tablo 1’de motorlarda kullanılan asetilen, dizel, biyodizel ve dizel+biyodizel yakıtların özellikleri verilmektedir. Görüldüğü gibi asetilen gazının ısı değeri ve yanma sonu sıcaklığı dizel ve dizel+biyodizel yakıtlara göre oldukça yüksektir. Bu durum içten yanmalı motorlarda alternatif yakıt olarak kullanılabilirliğinin bir göstergesi olarak görülebilir. Ayrıca H/Y oranı da benzin ve dizel yakıtlarına yakındır. Denede kullanılan asetilen gazı Habaş firmasından dizel yakıt ise OPET firmasından temin edilmiştir. Biyodizel ise atık yağlardan imal edilmiştir. Elde edilen biyodizel ve dizel+biyodizel yakıtlarının fiziksel ve kimyasal özellikleri Gazi Üniversitesi laboratuvarlarında ölçülmüştür.

Tablo 1. Yakıtların fiziksel ve kimyasal özellikleri

Özellikler	Asetilen ^[13,17,18]	Dizel Yakıtı ^[16]	Biyodizel	Biyodizel+Dizel*
Formül	C ₂ H ₂	C ₈ -C ₂₀	C ₁₂ -C ₂₂	-
Yoğunluk ^a	1,092	840	882	849
Kendi Kendine Tutuşma Sıcaklığı	578	527	-	-
Stikiyometrik oran (kg/kg)	13,2	14,5	-	-
Yanma Limitleri (Hacimsel Olarak %)	2,5-81	0,6-5,5	4,2	3,4
Yanma Sonu Sıcaklığı (K)	2500	2200	-	-
Isıl Değeri (MJ/kg)	48,225	42,500	37,388	39,6
Alt Isıl Değeri (MJ/kg)	33,96	36,6	33,88	34,3

a: (1,01325 bar ve 293 K (kg/m³))

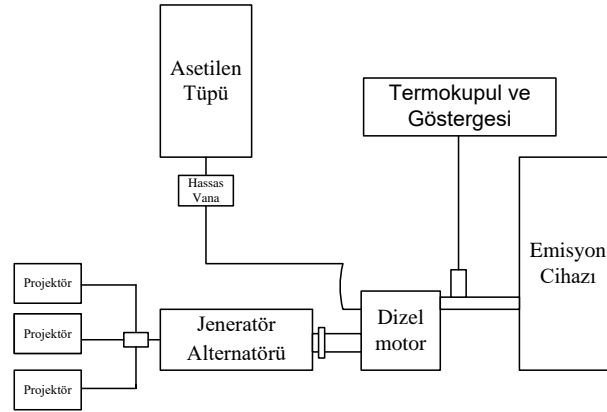
2.2. Deneysel Düzenek ve Yöntem

Motor deneyleri içten yanmalı, tek silindirli, dört zamanlı bir dizel Genpower marka jeneratörün GDG 7000 modelinde gerçekleştirilmiştir. Dizel motor direk enjeksiyon sistemine sahiptir. Yakıt olarak ise %50 biyodizel/%50 dizel yakıt ve asetilen gazı kullanılmıştır. Deneysel düzenek şematik resmi Şekil 1’de verilmektedir. Deneylerde kullanılan yakıtların teknik özellikleri Tablo 1’de jeneratörün teknik özellikleri ise Tablo 2’de verilmektedir.

Tablo 2. Deney düzeneğinin teknik özellikleri

Motor	
Model	186 FAG
Tip	Hava Soğutmalı- 4 Zamanlı
Silindir Hacmi	418 cm ³
Maksimum Çıkış gücü	5.7 kW
Sıkıştırma Oranı	19:1
Çalıştırma Şekli	Marşlı
Jeneratör	
Maksimum Çıkış Gücü	7 kVA
Sürekli Çalışma Gücü	6 kVA
Frekans	50 Hz

Deney sırasında asetilen gazı temininde RAL 1018 tipi, TSE 11169 normlarına uygun bir asetilen tüpü kullanılmıştır. Asetilen (gaz yakıt) yüksek basınçlı (15 bar) bir tüpten basınç regülatörü yardımı ile 1,5 bara düşürülerek ve sırası ile emniyet valfi, gaz debimetresi, sulu güvenlik, ikinci bir emniyet valfi ile vanadan geçirilerek motorun emme manifolduna verilmiştir. Egzoz gaz sıcaklık ölçümleri K tipi termokupla gerçekleştirilmiştir. Egzoz emisyonlarının ölçülmesinde Tablo 3’de ölçüm aralıkları ve hassasiyetleri verilen Mobydic 5000 marka gaz analiz cihazı kullanılmıştır. Her bir deney verisi elde etmek için deneyler üçer kez tekrarlanmıştır. Deney düzeneğinin şematik görünümü Şekil 2’de verilmektedir.

**Şekil 2.** Deney düzeneğinin şematik görünümü**Tablo 3.** Emisyon cihazının özellikleri ve ölçüm aralıkları

MOBYDIC 5000 gaz analiz cihazı	
CO % Vol	0-10
HCppmVol	0-2000
O ₂ % Vol	0-21
NOxppm	0-5000
n %	0-100
k ¹ /m	0-20

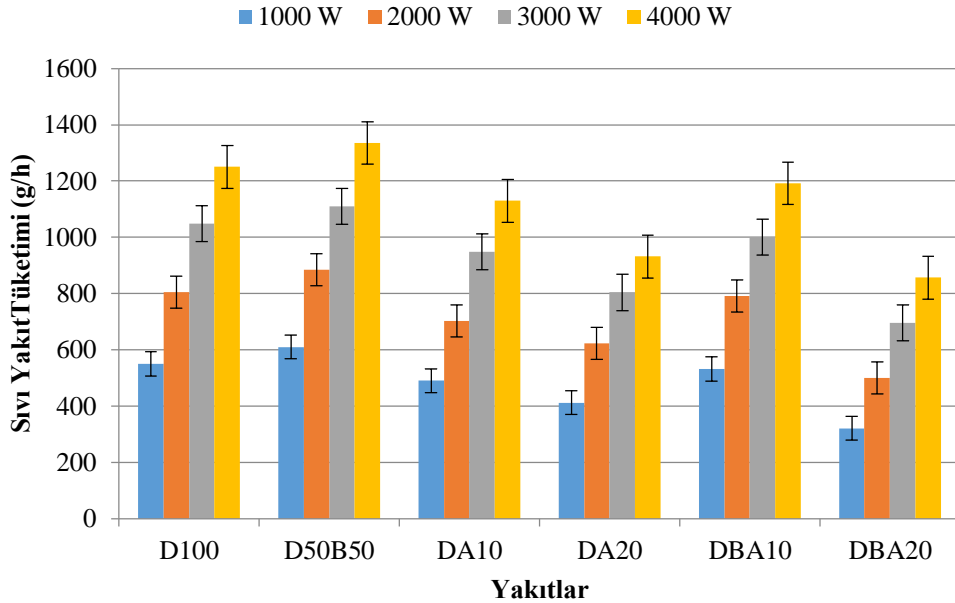
Dizel yakıtının içerisine hacimce %50 oranında biyodizel ilave edilerek yakıt karışımı oluşturulmuştur. Bu karışımlardan sadece dizel yakıtına D100, biyodizel ile oluşturulan karışıma da D50B50 kısaltması kullanılmıştır. Ayrıca kütlece %10 asetilen ilavesi ile oluşturulan yakıt karışımlarına DA10, DB10 ve %20 asetilen gazı ile oluşturulanlara D20, DB20 isimleri verilmiştir. Motor deneyleri sabit motor hızında (3000 d/dak) gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla jeneratör öncelikle D100, D50B50 yakıtı ile 1000 W, 2000 W, 3000 W, 4000 W, güç üretecek şekilde yüklenmiştir. Bu aşamada emisyon değerleri ve yakıt tüketim değerleri kayıt altına alınmıştır. Yapılan bu ön çalışmaların sonrasında ise motorun saatlik yakıt tüketim değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanan bu değerler baz alınarak emme manifoldundan kütlece %10 ve %20 oranında asetilen gazı ilave edilmiştir. İlave edilen asetilen gazı kütlece bir akış metre üzerinden kg/h değeri ile baz alınarak ilave edilmiştir. Tüm bu aşamalarda motorun kararlı hale geçmesi beklenmiş ve dizel+biyodizel+asetilen yakıt ile çalışan motorun emisyon değerleri ile yakıt tüketim değerleri tekrar ölçülmüştür. Çünkü jeneratörün sisteminde var olan elektronik regülatör devresi

yakıt tüketimini ayarlayarak motor devrini sabit bir devir altında tutarak çalışmaktadır. Bu nedenle her asetilen gazı ilavesinde motor dizel yakıt miktarını motor devrini sabit tutacak şekilde otomatik olarak kısmakta yâda artırmaktadır. Bu durum yapılan ölçümlerle tespit edilmiş ve sonuçlar bölümünde başlı başına irdelenmektedir. Her deney aşamasında motorun kararlı duruma geçtiği çalışma sıcaklığından sonra yakıt tüketim verileri, egzoz gazı sıcaklığı (EGS), CO, HC, is ve NO_x emisyon verileri kayıt altına alınarak değerlendirilmiştir.

3. Bulgular

3.1. Yakıt Tüketimi

Şekil 3’de motor yükünün yakıt tüketim değerine etkisi verilmektedir. Motor yükünün artmasına bağlı olarak yakıt tüketim değerinin artması beklenen bir durumdur. Bunu daha fazla güç üretmek için silindir içerisine gönderilen yakıt miktarının artırılmasının önceliği olarak görmek gerekir. Bu nedenle en yüksek yakıt tüketim değerleri 4000 W motor yükü değerlerinde görülmektedir. Tüm yakıt karışımlarında DB yakıt karışımı en yüksek yakıt tüketimine sahiptir. Manifolttan asetilen gazı ilavesi ile birlikte dizel+biyodizel yakıt tüketim değerinde düşüş görülmektedir. Bu durum silindir içerisine alınan toplam enerji miktarının ve yanmanın verimi ile doğrudan ilişkilidir. Elde edilen sonuçlar göstermektedir ki, ilave edilen asetilen gazı kadar dizel+biyodizel yakıtlardan tasarruf sağlanamamıştır. Fakat tüm motor yüklerinde DB yakıt karışımına asetilen gazı ilavesi ile birlikte daha fazla bir dizel+biyodizel yakıt tasarrufu sağlanmıştır. Bu durum DB yakıt karışımının oksijence zengin olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Oksijence zengin yakıtlar silindir içerisnde kısmen daha iyi bir yanma performansı sağlamakta ve yanmayı iyileştirmektedir [19].



Şekil 2. Yakıt tüketim değeri (3000 d/dak)

Şekil 2’de dizel+biyodizel yakıt tüketimi verilmektedir. Bunun yanında dizel+biyodizel yakıt ile birlikte Tablo 4’de belirtilen oranlarda akış metre üzerinden hassas bir şekilde ayarlanarak asetilen gazı ilave edilmiştir. Tablo 5’de ise ilave edilen asetilen gazı sonrasında motordaki dizel+biyodizel yakıtların azalmasıdaki miktar ifade edilmektedir.

Tablo 4. İlave edilen asetilen gazı miktarı

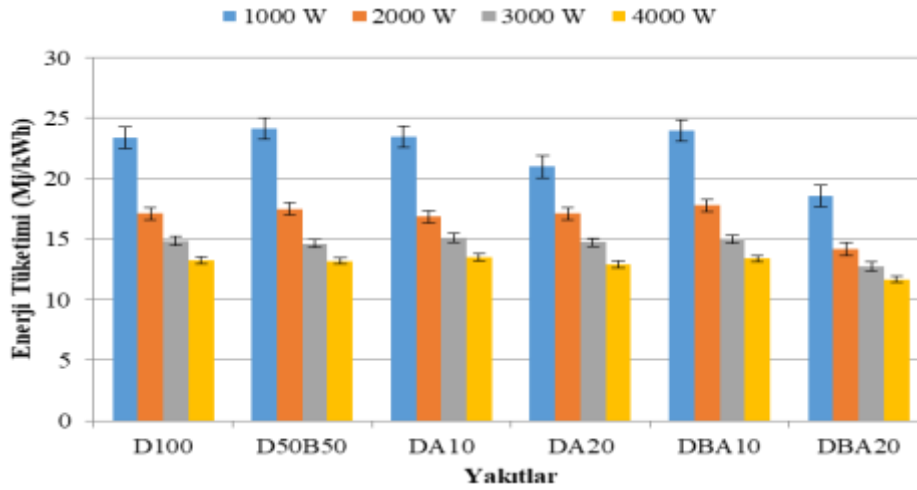
	Kütlece %10 Asetilen (g/h)		Kütlece %20 Asetilen (g/h)	
	D	DB	D	DB
1000 W	55	61	110	122
2000 W	81	89	161	177
3000 W	105	111	210	222
4000 W	125	134	250	267

Tablo 5. Asetilen gazı ilavesi sonrasında azalan dizel+biyodizel yakıt miktarı

	Kütlece %10 Asetilen (g/h)		Kütlece %20 Asetilen (g/h)	
	D100	D50B50	D100	D50B50
1000 W	60	78	138	169
2000 W	103	94	182	201
3000 W	99	109	244	253
4000 W	120	143	318	273

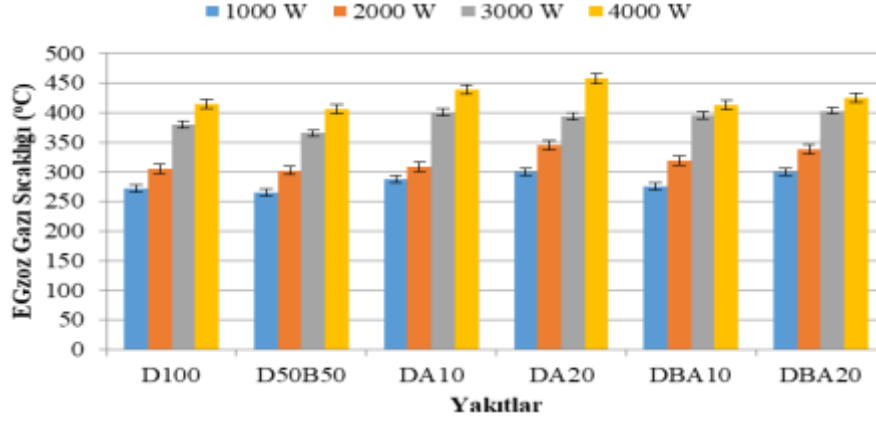
Genel olarak bakıldığında asetilen gazı ilavelerinde dizel+biyodizel yakıt miktarlarında ilave edilen asetilen gazından daha fazla miktarda azalma görülmektedir. Asetilen gazının kütleli olarak D100 ve D50B50 yakıt karışımından daha fazla ısı değere sahiptir. Bu nedenle ısı değerce ilave edilen miktar kadar azalma olması beklenilmesi bir durumdur. Fakat elde edilen bu sonuçlar göstermektedir ki, asetilen gazı tam manasıyla silindir içerisinde yanamamaktadır.

Şekil 4’de asetilen gazı ilavesinin enerji tüketim değerine etkisi verilmektedir. Gazla yapılan çalışmalarda enerji tüketim değeri ile daha iyi bir anlam çıkartılabileceğini belirten birçok çalışma mevcuttur [20]. Görüldüğü gibi D50B50 yakıt karışımına asetilen gazı ilavesi ile birlikte daha az bir enerji talebi olmuştur. Daha öncede bahsedildiği gibi asetilen gazı biyodizel karışımları ile daha iyi bir yanma performansı sergilemiştir. Böylelikle aynı motor gücünün elde edilmesi için diğer yakıtlara göre daha az bir enerjiye ihtiyaç duyulmuştur. En ideal enerji tüketim değeri DBA20 yakıt karışımı ile 11,7 MJ/kWh değeri ile 4000 W motor gücünde elde edilmiştir.

**Şekil 4.** Enerji tüketimine etkisi(3000 d/dak)

Şekil 5’de asetilen gazı ilavesinin egzoz gazı sıcaklığına etkisi verilmektedir. Tüm yakıt karışımlarında motor gücünün artması ile egzoz gazı sıcaklığı artış göstermektedir. Ayrıca asetilen gazının ilavesi ile birlikte egzoz gazı sıcaklığında da bir artış söz konusudur. Asetilen gazı ilavesinin egzoz gazı sıcaklığındaki artışta etkin olduğu açıkça bellidir. Bu durum asetilen gazının ısı değerinin yüksek olması ve tutuşma gecikmesine bağlıdır. Ayrıca asetilenin bir kısmının silindir içerisinde tam manasıyla yanmadığı ve egzoz gazı üzerinden atıldığı düşünülmektedir. D50B50 yakıt karışımına eklenen asetilen gazı egzoz gazı sıcaklığını daha fazla artırmıştır. Bu durumda D50B50 yakıtının içerisindeki oksijenin varlığı ile açıklanabilir. Okjince zengin yakıtların kısmen yanmayı iyileştirerek

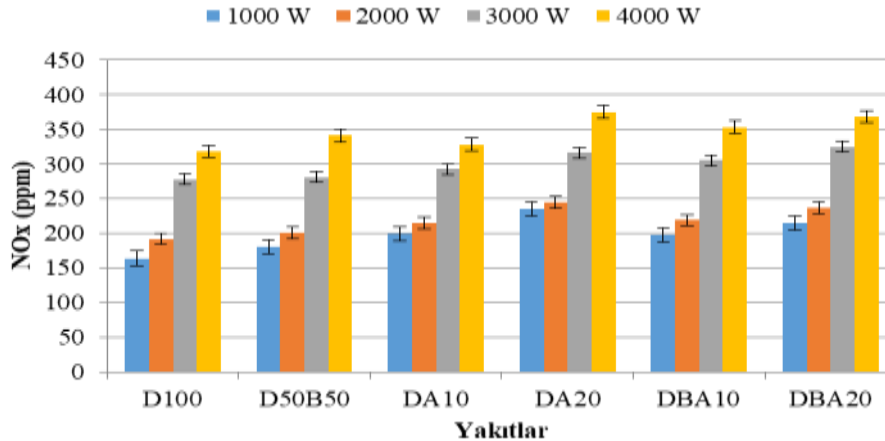
silindir içerisinde yanma sonu sıcaklığını artırdığı bilinmektedir. Asetilen gazı ilavesi ile birlikte egzoz gazı sıcaklığının artması ileride belki bu enerjiden yararlı elektrik üretiminde etkili olabilecek bir avantaj olarakta görülmelidir. Çünkü gelişen teknolojik araçlar ile egzoz gazının ısısından elektrik enerjisi üreten sistemlerin tasarımı giderek artış göstermektedir [21]. Gerek motorun soğutma suyundan gerekse egzozundan bazen ısı enerjisi üretimi bazen de elektrik enerjisi üretimi ile atılan enerjinin geri kazanılması planlanmaktadır [22]. Yapılacak bu tür tertibatlar ile egzoz sistemine kurulacak bir termoelektrik jeneratör ile asetilen gazı kullanımındaki egzoz gazı sıcaklığı yararlı bir iş için kullanılabilir duruma getirilebilir.



Şekil 5. Asetilen gazı ilavesinin egzoz gazı sıcaklığına etkisi (3000 d/dak)

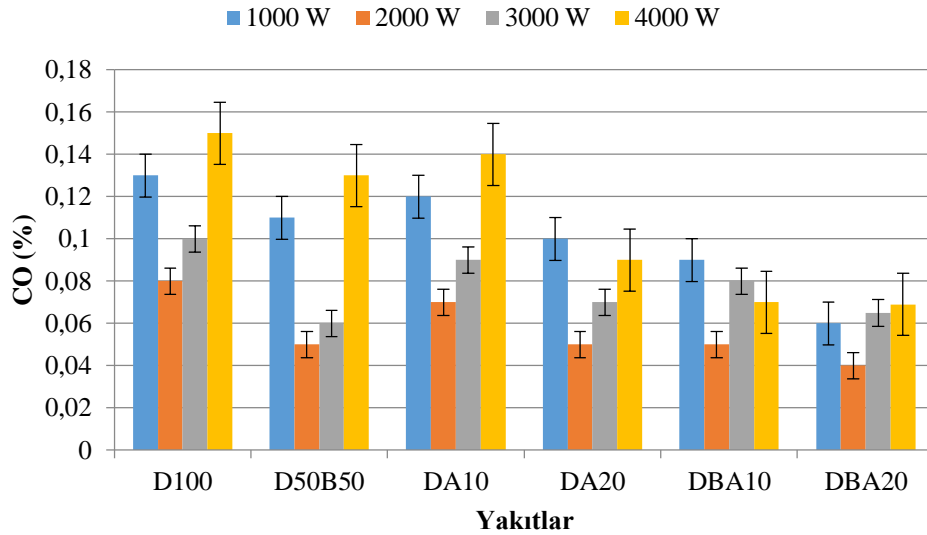
3.2. Egzoz Emisyonları

Şekil 6’da dizel yakıtına asetilen gazı ilavesinin NO_x emisyonlarına etkisi verilmektedir. Genel olarak azot (N) atomunun yanması sonucu oluşan emisyonlara NO_x emisyonları denilmektedir. NO_x emisyonları yüksek sıcaklıktan oluşmaktadır ve dizel motorlarında sorun haline gelen önemli bir emisyondur [23]. Yapılan çalışmanın sonuçları incelendiğinde tüm karışım oranlarında yükün artması ile birlikte NO_x emisyonlarının arttığı göstermektedir. Özellikle D50B50 yakıt karışımı ile NO_x emisyonlarının artması literatürdeki benzer çalışmalarında ifade ettiği gibi içeriğindeki oksijen miktarı ve setan sayısı ile açıklanmaktadır. Biyodizel karışımlarındaki yüksek setan sayısı ve oksijen miktarı yakıtın birikerek aniden yanmasını doğurmaktadır. Bu durumda NO_x emisyonlarını artırmaktadır. Bunun yanında kütlece ilave edilen asetilen gazı ile birlikte yüksek oranda NO_x emisyonlarının arttığı görülmüştür. Bu durum silindir içerisindeki ani yanma, asetilengazının yüksek ısı değerini ve asetilen gazının egzozda yanmaya devam etmesi ile açıklanabilir. Yapılan çalışmanın sonucu literatürdeki [24, 25] çalışma ile benzerlik göstermektedir.



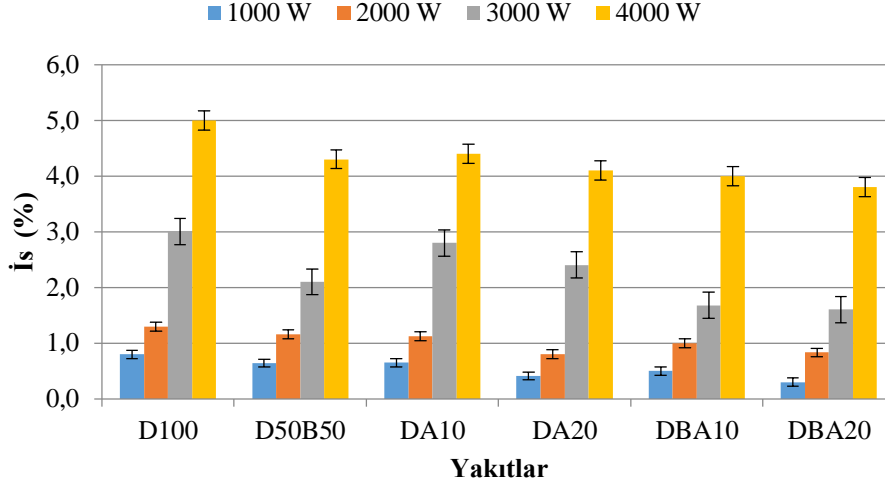
Şekil 6. Asetilen gazı ilavesinin egzoz NO_x emisyonlarına etkisi (3000 d/dak).

Şekil 7’de dizel yakıtına asetilen ilavesinin CO emisyonlarına etkisi verilmektedir. CO emisyonu eksik yanmanın bir sonucu olarak ortaya çıkmaktadır. CO emisyonları açısından dizel motorlar aslında yok denecek kadar az emisyon üretmektedir. Çünkü dizel motorlarda yüksek oranda hava fazlalığı ile çalıştığı çalışmaktadır. Bu nedenle daima ortamda CO₂ emisyonlarının oluşabilecek oranda oksijen bulunmaktadır. Öbür taraftan düşük yüklerde CO emisyonu yüksekken yükün artması ile birlikte bir miktar azalmakta ve yük miktarı da da arttıkça başlangıç yükünün durumuna göre CO emisyonlarında aşırı bir artış görülmektedir. Bu durumu ifade etmek için dizel motorların çalışma prensibine bakmak gerekir. Tek silindirli, mekanik enjektörlü direk dizel motorlarında motor devri silindir içerisine püskürtülen yakıt miktarı ile ayarlanmaktadır. Düşük motor yüklerinde az miktarda püskürtülen yakıt çok fakir koşulların oluşması ile birlikte tam olarak yanamaz ve soğuk bölgelerde tutuşma gerçekleşmediği için CO emisyonları oluşur. Fakat yükün artması ile birlikte artan yakıt miktarı daha ideal bir yakıt/hava karışımı meydana getirerek silindir içerisinde daha ideal bir karışımı oluşturur. Böylelikle CO emisyonları düşer. Fakat yakıt miktarının dahada artırılması ideal yakıt/hava karışımını bozarak tekrar ideal karışımı bozar ve CO emisyonlarında artış tekrar artar. Genel olarak D100 yakıtına göre D50B50 yakıtında CO emisyonları düşüş göstermiştir. Bu durumun biyodizelin içerisindeki oksijen varlığı ve toplam karbon atomu sayısının azlığı ile açıklamak mümkündür. Öbür taraftan bu yakıtlara ilave edilen asetilen gazı ile birlikte CO emisyonlarında azalma devam etmiştir. Burada asetilen gazının ısı değerinin yüksek olmasının ve yanma sonu sıcaklığında artış ile açıklamak mümkündür. Asetilen gazı kısmen silindir içerisindeki yanmanın artmasına ve CO emisyonlarının azalmasına neden olmuştur. Çalışmanın sonuçları literürdeki benzerlik göstermektedir [26].



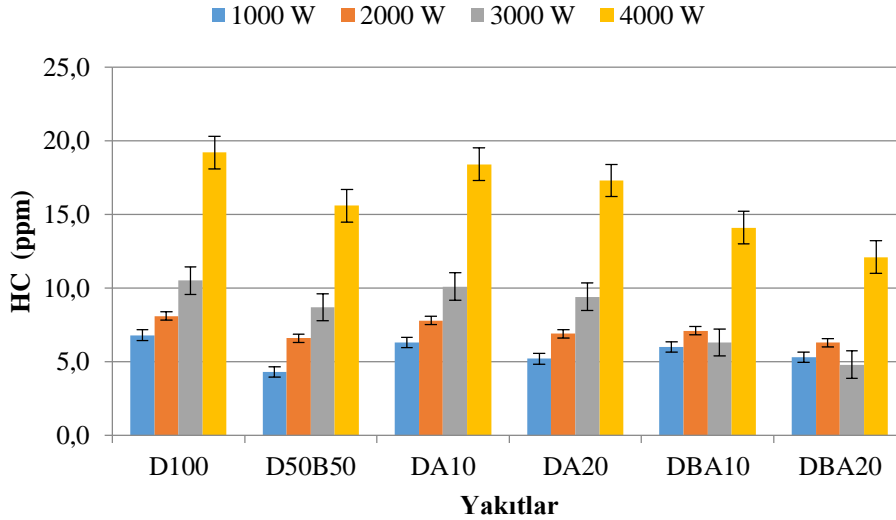
Şekil 7. Asetilen gazı ilavesinin CO emisyonlarına etkisi(3000 d/dak).

Şekil 8’de dizel yakıtına asetilen ilavesinin is emisyonlarına etkisi verilmektedir. İS emisyonları dizel+biyodizel yakıtlarının egzoz gazı içerisinde yanmadan atılması ile oluşmaktadır. Özellikle dizel motorlarında önemli bir is emisyonu olarak ortaya çıkmaktadır. Motor yükünün artmasına paralel olarak is emisyonlarının artması dizel motorlarında beklenen bir durumdur. Çünkü silindir içerisine eklenen yakıt miktarı arttığı için toplam is emisyonları artış göstermektedir. Biyodizel kullanımı ile birlikte is emisyonlarında azalma görülmektedir. Bu durum biyodizel kullanımı ile birlikte beklenen bir durumdur. Bunun yanında yakıtlara asetilen gazı ilavesi ile birlikte is emisyonlarında daha fazla bir azalma görülmektedir. Bu durum toplam karbon sayısındaki azalma ve yanma sonu sıcaklığının kısmen artıyor olması ile açıklanabilir. Elde edilen veriler literatürdeki [27] çalışma ile benzerlik göstermektedir.



Şekil 8. Asetilen gazı ilavesinin is emisyonlarına etkisi (3000 d/dak)

Şekil 9’da dizel+biyodizel yakıt karışımlarına asetilen gazı ilavesinin HC emisyonlarına etkisi verilmektedir. HC emisyonları silindir içerisinde kısmen yakıt zerreciklerinin yanmaması sonucunda egzozdan atılan yakıtlar olarak tanımlanmaktadır [28]. Dizel motorlar hava fazlalığı ile çalıştığı için genelde çok yüksek değerlerin çıkması beklenen bir durum değildir. Temel olarak silindir içerisindeki yanmanın kısmen yada tamamen kötüleşmesi ile HC emisyonları artış gösterebilir. Motor yükünün artması ile birlikte tüm yakıt karışımlarında HC emisyonlarında artış görülmüştür. Bunun yanında dizel yakıtına biyodizel ilavesi ile birlikte ise HC emisyonlarında genel olarak bir azalış söz konusudur. Bu durum asetilen gazı ilavesi ile birlikteyse artış göstermektedir. Asetilen gazının yüksek yanma sonucu sıcaklığı ve ısı değeri silindir içerisinde kısmen yanmayı iyileştirmektedir. Bunun yanında gaz ilavesi ile birlikte dizel+biyodizel fazdaki yakıtların kullanılmasında azalışta görülmektedir. Bu nedenle asetilen gazının silindir içerisinde kısmen yanmayı iyileştirdiği ve HC emisyonlarının oluşmasını azalttığı düşünülmektedir. Literatürdeki benzer çalışmalar [29] ile de benzerlik göstermektedir.



Şekil 9. Asetilen gazı ilavesinin HC emisyonlarına etkisi (3000 d/dak)

4. Sonuç ve Öneriler

Dizel yakıtına ve dizel+biyodizel yakıt karışımına asetilen gazı ilavesinin mümkün olduğu ve dizel bir motora sahip jeneratörde asetilen gazının kütlece %20 oranında eklenebileceği görülmüştür. Yapılan çalışmanın sonucunda asetilen gazı ilavesinin yakıt tüketimini arttırdığı görülmüştür. Bu durum her ne kadar yakıt maliyetlerini artırıyor gibi görünse de biyodizel kullanımı ile birlikte maliyetler çok aşağılara

kadar inmektedir. Bu nedenle biyodizel yakıtı gibi asetilen gazı da milli kaynaklarla üretilebilecek kolay ve kullanışlı bir yakıt olma özelliği ile ön plana çıkabilecek bir alternatif yakıt türüdür. Asetilen gazı ilavesi ile birlikte her ne kadar NOx emisyonları artış göstermiş olsa da HC, CO ve is emisyonlarında kayda değer bir iyileşme görülmüştür. Bu nedenle asetilen gazı alternatif yakıt olma yolunda önemli bir kaynak olarak göz önünde bulundurulmalıdır. Bunun yanında yanma performansını iyileştirecek bazı düzenlemeler ile yakıt tüketim değerleri ve motor parçalarına olan etkileri yönünden de incelenmelidir.

Yazarların Katkısı

Yazarlar bu araştırma makalesine eşit katkı sunmuşlardır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar

- [1] Bayraç N., Çelikday F., Çildir M. 2018. Küreselleşme Sürecinde Sürdürülebilir Enerji Politikaları. Ekin Yayınevi, Bursa.
- [2] Koç E., Şenel M.C. 2013. Türkiye Enerji Potansiyeli ve Yatırım-Üretim Maliyet Analizi. Termodinamik Dergisi, 245: 72-84.
- [3] Kaya K., Koç E. 2015. Enerji Üretim Santralleri Maliyetleri. Mühendis ve Makine, 56 (600): 61-68.
- [4] Zhen X., Wang Y., Liu D. 2020. Bio-butanol as a new generation of clean alternative fuel for SI (spark ignition) and CI (compression ignition) engines. Renewable Energy, 147 (1): 2494-2521.
- [5] Choudhary K.D., Nayyar A., Dasgupta M.S. 2018. Effect of compression ratio on combustion and emission characteristics of C.I. Engine operated with acetylene in conjunction with diesel fuel. Fuel, 214: 489-496.
- [6] Milli Eğitim Bakanlığı, MEGEP, 2010. Temel Kaynak 1. http://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Temel%20Kaynak%201.pdf (Erişim tarihi: 10.06.2019).
- [7] İlhak M.İ., Doğan R., Akansu S.O., Kahraman N. 2020. Experimental study on an SI engine fueled by gasoline, ethanol and acetylene at partial loads. Fuel, 261: 116148.
- [8] Raman R., Kumar N. 2019. The utilization of n-butanol/diesel blends in Acetylene Dual Fuel Engine. Energy Reports, 5: 1030-1040.
- [9] İlhak İ.M., Tangöz S., Akansu O.S., Kahraman N. 2019. An experimental investigation of these of gasoline-acetylene mixtures at different excessairratios in an SI engine. Energy, 175: 434-444.
- [10] İlhak İ.M., Akansu O.S., Kahraman N., Ünal S. 2018. Experimental study on an SI engine fuelled by gasoline/acetylene mixtures, Energy, 151: 707-714.
- [11] Vural E., Özer S. 2014. Buji Ateşlemeli Motorlarda Yakıt Asetilen Gazı İlavesinin Egzoz Emisyonlarına Etkisinin Deneysel Analizi. Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 3 (1): 24-34.
- [12] Lakshmanan T., Nagarajan G. 2010. Experimental investigation on dual fuel operation of acetylene in a DI diesel engine. Fuel Processing Technology, 91: 496-503.
- [13] Lakshmanan T., Nagarajan G. 2010. Experimental investigation of timed manifold injection of acetylene in direct injection diesel engine in dual fuel mode. Energy, 35: 3172-3178.
- [14] Asetilen Gazı Kullanımında Dikkat Edilecek Hususlar, 2019. http://www.lindegaz.com.tr/tr/images/asetilen%20kullanimi%20flyer%20con%20%281%29_tcm504-258999.pdf (Erişim tarihi: 10.06.2019).

- [15] İlhak İ.M. 2018. Buji ateşlemeli bir motorda asetilen gazının motor performansına ve emisyonlarına etkisinin incelenmesi. Doktora Tezi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.
- [16] OPET, Yakıt özellikleri, 2018. <https://www.opet.com.tr/files/PDF/Urun/Ultra-Force-Motorin-Urun-teknik-ozellikleri.pdf>. (Erişim tarihi: 10.06.2019).
- [17] Ozcan H. 2010. Hydrogen enrichment effects on these condlaw analysis of a lean burn natural gas engine. *International Journal of Hydrogen Energy*, 35 (3): 1443-1452.
- [18] Papagiannakis R.G., Rakopoulos C.D., Hountalas D.T., Rakopoulos D.C. 2010. Emission characteristics of high speed, dualfuel, compressionignition engine operating in a widerange of natural gas/diesel fuel proportions. *7th International Symposium on Alcohol Fuels*, 89 (7): 1397-1406.
- [19] Akçay M., Özer S. 2019. Experimental investigation on performance and emission characteristics of a CI diesel engine fueled with fusel oil/diesel fuel blends. *Journal Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, <https://doi.org/10.1080/15567036.2019.1689317>
- [20] Roshan R., Naveen K. 2019.The utilization of n-butanol/dieselblends in Acetylene Dual Fuel Engine Author links open over lay panel. *Energy Reports*, 5: 1030-1040.
- [21] Pravadalıoğlu S. 2019. Yerinde enerji Üretimi-Kojenerasyon Sistemleri, http://www.emo.org.tr/ekler/04aa4e179069a80_ek.pdf. (Erişim tarihi: 09.09.2020).
- [22] Temizer İ., İlkılıç C., Öner C. 2016. Dizel Motor Egzoz Sistemi için Termoelektrik Jeneratör Uygulaması ve Akış Analizi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 16: 431-445.
- [23] Şimşek D., Çolak Y.N. 2019. Biyodizel/Propanol Yakıt Karışımlarının Dizel Motor Emisyonlarına Etkisinin İncelenmesi. *El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi*, 6 (1): 166-174.
- [24] Aktas A., Doğan O. 2010. Çift Yakıtlı Bir Dizel Motorda LPG Yüzdesinin Performans ve Egzoz Emisyonlarına Etkisi. *Gazi Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 25 (1): 171-178.
- [25] Pritinika B., Murugan S., Nagarajan G. 2014. Dual fuel operation of used transformer oil with acetylene in a DI diesel engine. *Energy Conversion and Management*, 87: 840-847.
- [26] Balasubramanian K., Krishnan P. 2019. Effect of acetylene addition in safflower biodiesel fueled CI engine an experimental study. *Energy Sources Part A-Recovery Utilization and Environmental Effects*, DOI: 10.1080/15567036.2019.1678700.
- [27] Yan W., Pan W., Sheikh M., Farhan J., Yi Li L. 2019.Effect of post-injection on combustion an dexhauste missions in DI diesel engine. *Fuel*, 258: 116-131.
- [28] Çelik M.B., Şimşek D. 2014. The determination of optimum injection pressure in an engine fuelled with soybean biodiesel/diesel blend. *Thermal Science* 18 (1): 229-238.
- [29] Balasubramanian K., Purushothaman K. 2019. Effect of acetylene addition on performance, emission and combustion characteristics of neem biodiesel and corn biodiesel-fueled CI engine. *Journal of Thermal Analysis And Calorimetry*, 138: 1405-1414.

Araştırma Makalesi / Research Article

Doğal Kabak Çekirdeği Kabuğunun Bor Adsorpsiyon Kapasitesi

Hakan ÇELEBİ*

*Aksaray Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Aksaray
(ORCID: 0000-0002-7726-128X)*

Öz

Endüstriyel gelişmelere bağlı olarak birçok sanayide ve yüzey sularında kullanılan bor bileşiklerinin konsantrasyonu artmaktadır. Bu nedenle bor giderimi hem insan sağlığı hem de sağlıklı tarım ürünü yetiştirilebilmesi açısından oldukça önemlidir. Bu çalışmada, doğal kabak çekirdeği kabuğunun adsorpsiyon kapasitesi araştırılmıştır. Çalışma için, çözeltinin pH'sının, kabak çekirdeği kabuğu konsantrasyonlarının ve temas süresinin adsorpsiyon sürecine etkisi sabit bir karıştırma hızı (150 rpm) ve sıcaklığı (20 °C) altında değerlendirilmiştir. Ayrıca, kabak çekirdeği kabuğu, taramalı elektron mikroskobu, X ışını floresansı ve Fourier dönüşümü kızılötesi teknikleri kullanılarak tanımlanmıştır. Elde edilen deneysel veriler kesikli proseste farklı izoterm ve kinetik modelleri kullanılarak analiz edilmiştir. Adsorpsiyon işlemi için optimum koşullar adsorbent dozu = 2 g/L, pH = 5.13 ve temas süresi = 5 dakika olarak belirlenmiştir. Kabak çekirdeği kabuğunun maksimum bor arıtma verimi, ideal şartlarda yaklaşık %88 olarak elde edilmiştir. Langmuir izotermine dayalı maksimum adsorpsiyon kapasitesi 12.61 mg/g şeklinde olup bor elementinin kabak çekirdeği kabuğu üzerine adsorpsiyonu yalancı ikinci derece kinetik ile tanımlanmıştır. Sonuç olarak, bor elementinin, kabak çekirdeği kabuğu kullanılarak sulu çözeltiden etkili bir şekilde çıkarılabileceği kaydedilmiştir.

Anahtar kelimeler: Adsorpsiyon, bor, kabak çekirdeği kabuğu.

Boron Adsorption Capacity of Natural Pumpkin Seed Shell

Abstract

Due to industrial developments, the concentration of boron compounds used in many industries and surface waters increases. Therefore, boron removal is very important in terms of both human health and healthy agricultural product. In this study, the adsorption capacity of natural pumpkin seed shell was investigated. For the study, the effect of pH of the solution, pumpkin seed shell concentrations and contact time on the adsorption process was evaluated under a constant mixing speed (150 rpm) and temperature (20 °C). In addition, pumpkin seed shell, scanning electron microscopy, X-ray fluorescence and Fourier transform were identified using infrared techniques. The obtained experimental data were analyzed by using different isotherm and kinetic models in the batch process. Optimum conditions for adsorption were determined as adsorbent dose = 2 g/L, pH = 5.13 and contact time = 5 minutes. The maximum boron treatment efficiency of the pumpkin seed shell was obtained as approximately 88% under ideal conditions. The maximum adsorption capacity based on Langmuir isotherm is 12.61 mg/g and the adsorption of boron on pumpkin seed shell is defined by pseudo-second-order kinetic. As a result, it was noted that the boron element can be effectively removed from the aqueous solution using pumpkin seed shell.

Keywords: Adsorption, boron, pumpkin seed shell.

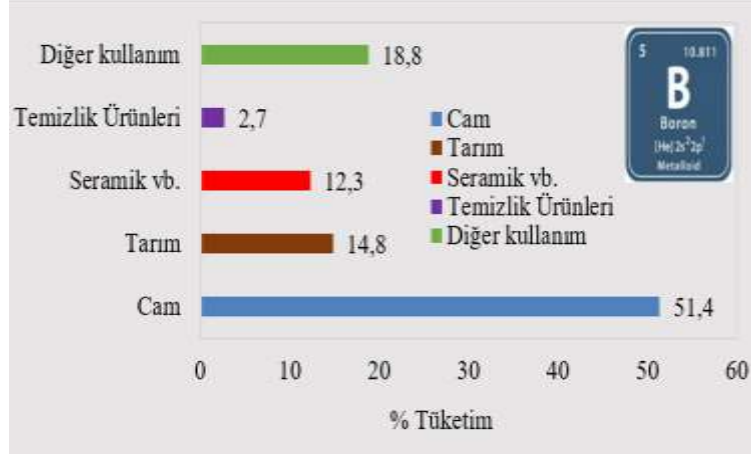
1. Giriş

Bor, dünyadaki hidrosfer ve litosfer bölgelerinde geniş çapta dağılmış bir mikro elementtir. Doğada, bor her zaman başka elementlere sahip bileşikler olarak bulunmaktadır. Bor, bileşiklerinin çevreye önemli miktarlarda yayılmasına neden olan çok sayıda endüstriyel uygulamalar vardır [1,2]. Bor ve bileşikleri, cam, elektronik, seramik, porselen, yarı iletkenler, kozmetik ve kişisel bakım ürünleri, halılar ve yanmaz kumaşlar, tarımsal ilaçlar, katalizör ve temizlik ürünleri, eczacılık ürünleri, sabunlar ve deterjanlar, gübreler gibi birçok endüstride yaygın olarak kullanılmaktadır (Şekil 1) [3,4]. Bor içeren ürünlerin

*Sorumlu yazar: hakanaz.celebi@gmail.com

Geliş Tarihi: 30.12.2019, Kabul Tarihi: 27.09.2020

yaygın kullanımı nedeniyle, bor atıkları günümüzde ciddi bir problem haline gelmiştir [5,6]. Ayrıca, bor elementi bitki, hayvan ve insan büyümesinde de önemli bir rol oynamaktadır. Ancak, hem eksikliği hem de fazlalığı günlük alımlarda toksik etkilere neden olabilmektedir. Uzun süreli bor konsantrasyonu yüksek suların ve besinlerin kullanımı sonucunda nörolojik ve zihinsel sorunlar, kalp-damar- karaciğer-böbrek hastalıkları, üreme bozuklukları ve sindirim sistemi gibi çeşitli sağlık sorunları ortaya çıkabilmektedir [7]. Bununla birlikte, aşırı bor seviyeleri bitki ve meyve-sebze gelişimi açısından risk oluşturmaktadır. Özellikle, yapraklar ve meyvelerde sarı lekeler gözlenmekte ve ölümler gerçekleşmektedir. Bu durum da tarımsal açıdan mahsul verimini önemli ölçüde azaltmaktadır.



Şekil 1. Sektör bazında bor tüketim dağılımı

Dünyadaki bor rezervlerinin %72'sinden fazlası Türkiye'de bulunmaktadır [8]. Bu rezervlerin işletilmesi sırasında oluşan sıvı ve katı atıklar, ekolojik ortamların kirlenmesine neden olmaktadır. Türkiye'de sulamada kullanılan temiz suyun kirlenmesine neden olan toksik elementlerin başında bor gelmektedir. Ayrıca, sulama için geri kazanılabilen endüstri atıksuları da kullanılmaktadır. Sulama amaçlı kullanılan endüstri atıksularında bor derişimi limit değerlerin üzerine çıktığı zaman, bitkilere veya suda yaşayan canlılara zarar verebilmektedir. Ayrıca, sulama suyunda ve toprakta bulunan bor miktarı, ürünlerin yetiştirilmesinde ve kalitesinde önemli bir rol oynar [4,9,10]. Sonuç olarak, bazı ülkelerde, önerilen bor konsantrasyonu sulama suyu aralığı 0,3 ile 1 ppm arasındadır. İçme suyunda borun konsantrasyonu, Dünya Sağlık Örgütü tarafından ≤ 2.4 mg/L ve Avrupa Birliği tarafından ≤ 1.0 mg/L olarak belirlenmiştir. Türkiye'deki Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği'nde, içilecek su olarak öngörülen kullanılabilir 1. kalite suda borun olması gereken maksimum miktarı 1.0 mg/L'dir [11,12]. Ayrıca sulama suyu için ise bor değeri 0.5 mg/L olarak belirlenmiştir. Bu nedenle içerisinde bor bulunan atıksuların, doğaya salınabilmesi için, belirlenen değere getirilmesi gereklidir. Özellikle atıksuların yeniden kullanımı ve geri kazanımı kapsamında sulamada sorun oluşturabilecek bor vb. maddelerin artırılması önem kazanmaktadır.

Sulu çözümlerden borun giderilmesi için farklı metotlar bulunmaktadır. Bunlar oldukça geniş uygulama alanı olan kimyasal çökeltme, iyon değişimi, adsorpsiyon, elektrokoagülasyon, çözücü ekstraksiyonu ve membran teknolojileri, ters ozmoz, ileri ozmoz, nanofiltrasyon, ultrafiltrasyon ve fito-düzenlemeden oluşmaktadır [13-16]. Bununla birlikte, adsorpsiyon dışında bu teknolojilerin pahalı kimyasallara duyduğu gereksinimleri, düşük giderme verimleri ve arıtma işleminde ikincil atıkların çıkması gibi birçok dezavantajları bulunmaktadır. Borun giderilmesi için bildirilen yöntemler arasında adsorpsiyon, yüksek adsorpsiyon kapasitesi, kolay işlenebilirlik, etkili bor alımı, kolay rejenerasyon, uygun hazırlık, dikkat çekici geri dönüşüm performansı ve nispeten düşük maliyet ve düşük borlu sulu ortamlarda kullanılabilirliği nedeniyle en çok araştırılan işlemlerdir [17,18]. Sulu çözümlerden borun çıkarılması için birçok adsorbent (Fe (III) modifiye bentonit kil, seçici reçineler, lifler, aktif karbon, oksitler ve hidroksitleri, tabakalı çift hidroksitleri, fonksiyonel polimerler, doğal malzemeler, farklı kil grupları vb.) kullanılmıştır [19-25].

Günümüzde etkili atıksu yönetimi için su kaynaklarının çevre dostu, uygun maliyetli ve daha az karmaşık olarak arıtılması gerekmektedir. Kirleticilerin atıksudan uzaklaştırılmasında kullanılan çeşitli yöntemler arasında adsorpsiyonun üstün olduğu yapılan çalışmalarla bulunmuştur. Araştırmacılar daha

önce, bor adsorpsiyonundaki gelişimin, adsorbentlerin türüne bağlı olduğunu ortaya koymuşlardır. Düşük bor konsantrasyonlarında, adsorpsiyon, bor giderme yöntemleri arasında en faydalı ve ekonomik tekniktir. Literatürde çok çeşitli adsorbent malzeme olmasına rağmen atık olarak nitelendirilen ve çöplere atılan materyallerin kullanımı hem arıtım hem de atığın atıkla giderilmesi açısından yenilikçi bir yaklaşımdır. Özellikle bor için deneysel çalışmalarda modifiye edilmiş malzemelerin tercih edilmesinden dolayı bu çalışmada hiçbir işleme uğramamış tarımsal nitelikli atıkları tercih etmek bir avantaj olarak görülmektedir. Bu çalışma için adsorpsiyonda kabak çekirdeği kabukları (KÇK) genellikle bollukları, düşük maliyetli, kolay erişilebilir ve uygulanabilir olmaları nedeniyle doğal bir adsorbent olarak kullanılmıştır. Bu çalışmada, sulu çözeltideki bor iyonlarının adsorpsiyon yoluyla giderilmesi ve adsorpsiyona etki eden faktörler incelenmiştir. Bu nedenle, optimum çözelti pH'sının, temas süresinin ve adsorbent miktarının adsorplama kapasitesine olan etkileri araştırılmış ve elde edilen sonuçların değerlendirilmesi yapılmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Kullanılan Kimyasallar ve Stok Çözelti

Deneylerde kullanılan tüm kimyasal maddeler analitik saflık derecesinde olup 1000 mg/L'lik bor stok çözeltisi hazırlamak için 5.730 g H₃BO₃ tartılarak 1 L'lik balon jodede deiyonize su (kimyasal direnci: 18 MΩ cm; 1.2 µg/L toplam organik karbon) ile çözüldükten sonra stok çözeltiden seyreltilerek hazırlanan çözeltiler kullanılmıştır. Bu çalışmada kullanılan kimyasallar, çözeltilerin pH ayarlamaları için 0.1 M HCl ve NaOH kimyasalları Merck (Merck KGaA, Darmstadt, Germany) firmasından temin edilmiştir. Tüm cam aletler kullanımdan önce birkaç kez ultra saf su ile temizlenmiştir. Adsorpsiyondan önce, çözeltilerin başlangıç pH değerleri dijital pH metre (HANNA pH 211) ile ayarlanmıştır.

2.2. Adsorbentin Hazırlanışı ve Karakterizasyonu

Araştırmada kullanılan evsel atık ham maddesi yerel evlerden ve marketlerden toplanmıştır. KÇK laboratuvar ortamında elle çıkarılmış ve adsorbent olarak kullanılmadan önce, herhangi bir toz, kir, renk sorunu oluşmaması için, 24 saat boyunca 100 °C sıcaklıkta saf suyla birkaç kez yıkama işlemi gerçekleştirilmiştir. Yıkama işleminden sonra KÇK 70 °C etüvde kurutulmuş ve bir kahve öğütücü kullanılarak toz haline getirilmiştir. Deneyden önce, başka herhangi bir kimyasal veya fiziksel işlem kullanılmamıştır. Adsorbenti depolayabilmek için plastik kutular tercih edilmiştir. Adsorbent olarak etkinliği incelenecek olan KÇK'nın fonksiyonel grupları 400-4000 cm⁻¹ aralığında spektrumlarında Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektrometre (FTIR) (Thermo Scientific-Nicolet iS5) ile belirlenmiştir. KÇK'ların yüzey morfolojisi ve element cinsi ise sırası ile taramalı elektron mikroskobu (TEM) (Hitachi-SU 1510) ve X-Işınlı Floresans Spektrometresi (XFS) (Rigaku-NEX-CG) cihazları ile incelenmiştir. Quantachrome-Quadrasorb Evo 4 marka cihaz ile Brunauer, Emmett ve Teller (BET) metoduyla 77 K'deki sıvı azot ortamında, azot (N₂) gazı adsorpsiyonu tekniğine dayalı olarak yüzey alanı ve gözeneklilik ölçümü yapılmıştır.

2.3. Sulu Çözeltide Bor (B) Adsorpsiyonu

Adsorpsiyon çalışmaları kesikli düzende çalışan cam ekipmanlarda gerçekleştirilmiştir. 100 mL çalışma hacmine sahip 250 mL'lik ağzı kapalı erlenler kullanılmıştır. Hazırlanan erlenler ZHICHENG analitik model bir termal çalkalayıcıda 150 rpm'lik sabit karıştırma hızı ve 25 °C sabit sıcaklıkta işleme tabi tutulmuştur. Borun KÇK üzerine adsorpsiyonun şematik olarak gösterimi Şekil 2'de verilmiştir. Adsorpsiyon deneyi için sırası ile temel mekanizmayı belirleyen pH, zaman, adsorbent dozu parametrelerine göre deneyler uygun koşullarda gerçekleştirilmiştir. Adsorplanan miktarın hesaplanması için süzülen numuneler (ICP-OES, 2100DV, Perkin Elmer, USA) marka endüktif olarak eşleşmiş plazma optik emisyon spektrometresi (ICP-OES) cihazına verilmiş ve sonuçlar kaydedilmiştir (Şekil 2).



Şekil 2. Borun KÇK üzerine adsorpsiyonun şematik olarak gösterimi

Adsorpsiyon dengeye ulaştıktan sonra bor adsorpsiyon verimi “AV (%)” ve adsorbentin birim miktarına bor adsorpsiyon kapasitesi“ q_e (mg/g)” değerleri aşağıdaki formüllere göre hesaplanmıştır.

$$q_e = \frac{(C_0 - C_e) \times V}{1000 \times m} \quad (1)$$

$$AV (\%) = \frac{(C_0 - C_e)}{C_0} \times 100 \quad (2)$$

Burada; AV: Bor verimi (%), C_0 ve C_e : Borun ilk ve son konsantrasyonları (mg/L), m: KÇK (mg) miktarı, V: çözeltinin hacmi (mL), q_e : KÇK tarafından adsorbe edilmiş deneysel bor miktarı (mg/g).

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. KÇK Adsorbentinin Karakterizasyonu

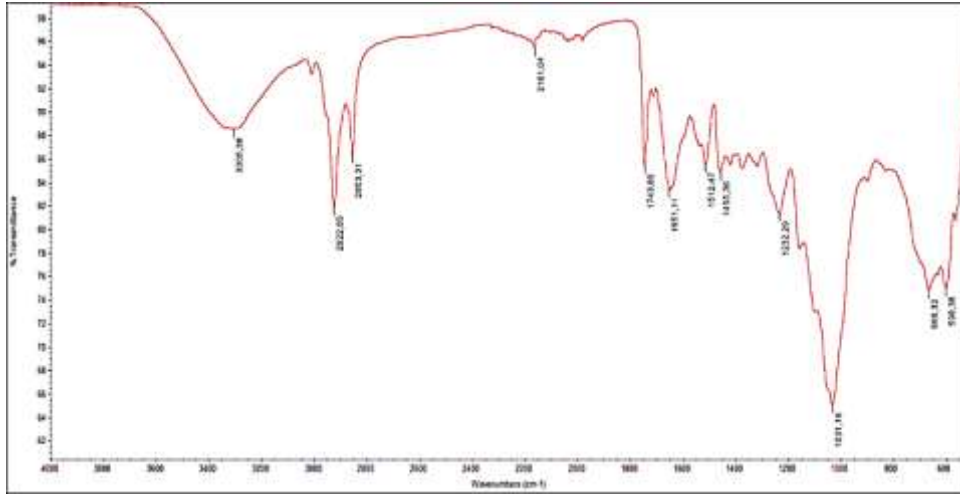
KÇK'nin XFS analizine göre elementel bileşimi ve birkaç önemli özellikleri Tablo 1'de gösterilmektedir [26-28]. Çalışmada kullanılan XFS cihazı C, H, O ve Na gibi elementlerin okumasını gerçekleştirmediğinden diğer cihazlar ile bu elementler değerlendirmeye alınmıştır. Araştırılan KÇK'nin dokusal özellikleri olarak nitelendirilen BET yüzey alanı ve toplam gözenek hacmi sırasıyla $98.38 \text{ m}^2/\text{g}$ ve $0.49 \text{ cm}^3/\text{g}$ olarak belirlenmiştir. pH_{ZPC} değeri ise, adsorbentin net bir yüzey nötrlüğüne sahip olduğunda pH'ı belirleyen önemli bir özelliği olup çalışmamızda KÇK'nin pH_{ZPC} değerinin 5.96 (yaklaşık 6.0) olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 1. KÇK'nin elementel bileşimi ve bazı özellikleri

XFS Değerleri		Bazı Spesifik Özellikler		
Elementler	Ağırlık (%)	Parametreler	Birimler	Değerler
K	2.56	Nem	(%)	8.54
P	0.65	Kül	(%)	3.48
Mg	0.47	Ham Lif	(%)	15.85
S	0.45	Ham Protein	(%)	29.15
Ca	0.26	Peroksit	(meq/kg)	13.68
Cl	0.15	İyot	(g/100g)	82.71
Zr	0.09	Spesifik ağırlık	(g/cm ³)	0.87
Si	0.04	Erime Noktası	(°C)	31.89
Fe	0.02	Donma Noktası	(°C)	12.99

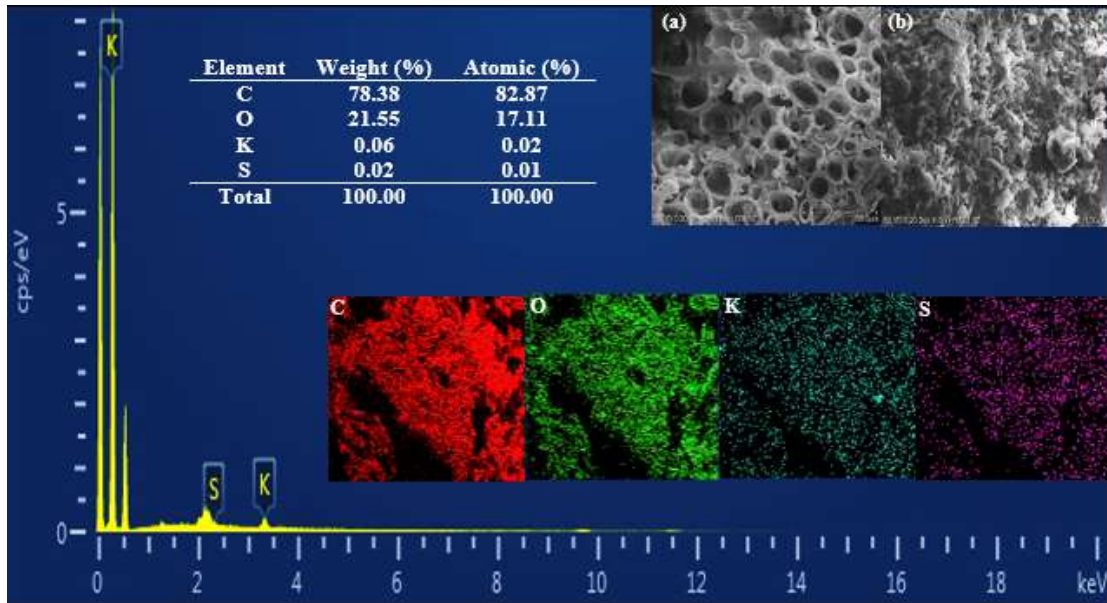
KÇK'nin yüzey kimyası, Şekil 4'teki gibi FT-IR spektroskopisi kullanılarak değerlendirilmiştir. Şekil 3'ten, KÇK'nin 3305.38 , 2922.85 - 2161.04 ve 598.38 - 1743.85 cm^{-1} civarında farklı bantlar gösterdiği görülmektedir. Bu bantlar hidroksil ve disülfid gruplarının germe titreşimlerine, O-H, C-H,

C-N, S=O, karboksil grubu ve C-O-C grubunun simetrik ve asimetrik gerilmelerine işaret etmektedir. Bu sonuçlar daha önceki çalışmalarla benzerlik taşımaktadır [29-32].



Şekil 3. KÇK adsorbentinin FT-IR analiz görüntüsü

Hazırlanan KÇK'nın taramalı elektron mikrografı ve element analizi Şekil 4'te gösterilmektedir. KÇK birçok sayıda büyük ve orta ölçekli gözeneklere sahiptir. Bu gözenekler sayesinde bor elementini yakalamak ve adsorbe etmek kolaydır. Bor yüklü adsorbent görüntülerine bakıldığında, bor moleküllerinin yüzeyi kapladığı görülmektedir. Bu nedenle, bor yerleşimi doğrultusunda, tek tabakalı adsorpsiyon elde edilebilir. KÇK'daki element değişikliği analizine göre ağırlıkça; C (% 78.38), O (% 21.55), K (% 0.06) ve S (% 0.02) elementlerinden oluşmaktadır. Adsorpsiyon sonrası gözenekler bor ile kaplanmış olup bu durum KÇK'nın BET yüzey alanı ve toplam gözenek hacmi ile de desteklenmiştir. XFS ve FT-IR analizlerinde olduğu gibi taramalı elektron mikrografı ve element analizinde de önceki çalışmalar ile KÇK değerleri uygunluk göstermektedir [33-35].



Şekil 4. KÇK'nın taramalı elektron mikrografı ve element analizi (a: adsorpsiyon öncesi, b: adsorpsiyon sonrası, C: karbon, O: oksijen, K: potasyum, S: kükürt)

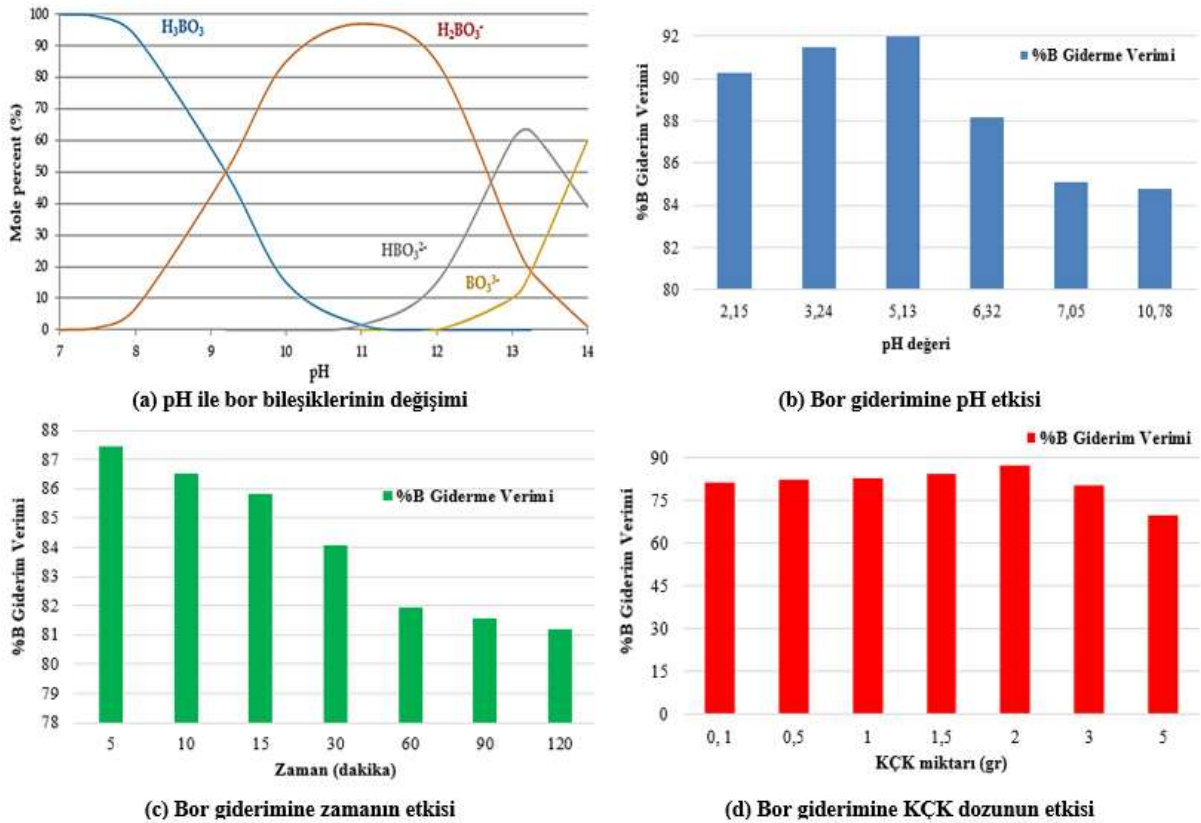
3.2. pH'ın Bor Adsorpsiyonu Üzerindeki Etkisi

pH bir ortam parametresi olup adsorpsiyonu etkileyen en önemli faktördür. pH hem adsorbenti hem de adsorplanan yapıyı etkileyebilmektedir. pH değiştiğinde ortamda bulunan hidrojen (H^+), hidroksil (OH^-) iyonlarının kuvvetli bir şekilde değişmesinden dolayı adsorpsiyon verimi de değişmektedir. Sulu

sistemlerde inorganik borun baskın formları, borik asit H_3BO_3 ve oksiborat iyonu $H_2BO_3^-$ gibi türlerdir. Sulu çözeltilerde borik asit ve borat iyonunun özelliklerini belirleyen en önemli parametre ise ortamın pH'dır. Şekil 5a'da görülebileceği gibi, borik asit molekülü düşük ve nötr pH değerlerinde, borat ise yüksek pH değerlerinde aktif olmaktadır [36]. Şekil 5b'de yaklaşık 2 ila 11 pH aralıklarında KÇK'nın bor adsorpsiyonunu etkilediği görülmüştür. Farklı pH değerleri arasında yapılan kesikli deneyler sonucunda maksimum bor giderme verimi (%92) pH 5.13'de bulunmuştur. Asidik düzeye yakın bir ortam için kaydedilen maksimum bor verimi, çözelti içindeki katyonlar ile KÇK'nın adsorpsiyon bölgelerinde fonksiyonel gruplar arasındaki etkileşimin sonucu olabilir. Çalışmamızda kuvvetli alkali koşullar ($pH > 7.0$) altında borun çıkarılmasındaki düşüş, tetrahidroksiboratın negatif yüklü KÇK yüzeyine elektrostatik olarak bağlanmasından veya borat anyonlarıyla rekabet edebilecek aşırı hidroksil anyonlarının konsantrasyonundan kaynaklanabilir. Ayrıca, adsorbent yüzeyinin yüklenmesine göre adsorpsiyon veriminin şekillendiği bilinen bir gerçektir. Yapılan çalışmalar sonucu, bor adsorpsiyonu için en uygun pH değerleri 5-10 arası olduğu belirtilmiştir [37-41].

3.3. KÇK Adsorbentinin Miktarı

KÇK miktarının borun adsorpsiyon süreci üzerindeki etkisi, 100 mL bor solüsyonunda $25\text{ }^\circ\text{C}$ 'de 150 rpm'de 0.1-5.0 g aralığında değiştirilerek incelenmiştir. Borun giderim yüzdesi, KÇK dozu arttıkça önce 2.0 g seviyesine kadar artmış daha sonraki miktarlarda kısmen azalmıştır (Şekil 5d). Bor verim yüzdesi sırasıyla 0.1, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 3.0 ve 5.0 g olan KÇK dozları için %81.32, 82.19, 82.98, 84.16, 87.15, 80.08 ve 69.86 seviyesine düşmüştür. Bunun etkili adsorbent yüzey alanı ve daha yüksek adsorpsiyon kabiliyeti nedeniyle olduğu söylenebilir. Maksimum bor giderme verimi (% 87.15), 2.0 g optimal miktar kullanılarak elde edilmiştir. Birçok araştırmacı, boru atıksudan verimli bir şekilde gidermek için farklı adsorbentler denemiştir. Literatürdeki diğer araştırmalar, çeşitli adsorbentler kullanarak bor adsorpsiyonu için benzer bulgular sunmaktadır. Ancak kullanılan adsorbentlerin çoğu modifikasyona uğramış türden olup ham adsorbent kullanımı oldukça sınırlı seviyededir. KÇK ile elde edilen sonuçlar önceki araştırmaların modifiye adsorbent sonuçlarına benzerlik göstermektedir [42-45].



Şekil 5. Bor gideriminin farklı adsorpsiyon parametrelerine göre değişimleri

3.4. KÇK Temas Süresi

Temas süresi adsorpsiyon prosesinin dengeye ulaşabilmesi için gereken süre olup bor ile yapılan adsorpsiyon çalışmaları incelendiği zaman adsorpsiyon dengesi genellikle uzun zaman dilimlerinde meydana gelebilmektedir. Şekil 5c'de görülebileceği gibi, KÇK ve bor arasındaki temas süresi ilişkisi anlamlı bir etkiye sahiptir. Borun adsorpsiyonu, KÇK üzerinde 5-120 dakika aralığında zamanın bir fonksiyonu olarak incelenmiştir. Verimlilik başlangıçta hızlı bir şekilde artmış ve KÇK için 5 dakikalık temas süresinde maksimum %87.45 düzeyine ulaşmıştır. Adsorpsiyon işleminin birinci evresindeki daha yüksek giderme oranı, bor adsorpsiyonu için KÇK'nın daha büyük boş yüzey alanı nedeniyle olabilir. Önceki literatürdeki birçok çalışmanın bulguları çalışmanın sonuçları ile uyumludur [46-49].

3.5. Kesikli Deneylerde Uygulanan İzoterm ve Kinetik Modeller

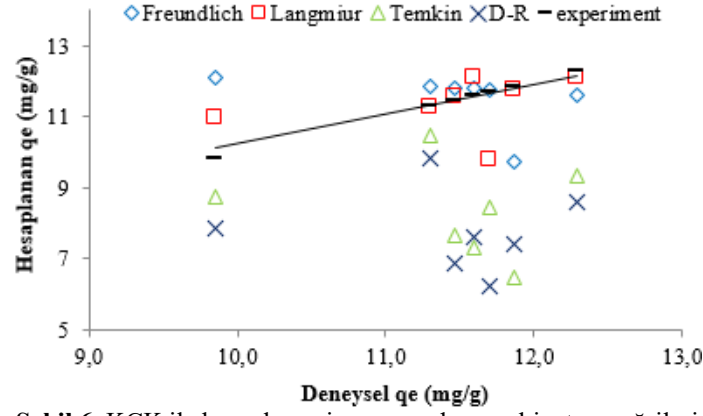
Maksimum adsorpsiyon kapasitesini değerlendirmek ve adsorpsiyon mekanizmasını belirlemek için, deneysel verileri tanımlayan Langmuir (L), Freundlich (F), Dubinin-Radushkevich (D-R) ve Temkin (T) izoterm modelleri kullanılmıştır. Adsorpsiyon dengelerini tanımlamak için kullanılan en gelişmiş denklemler esas olarak Langmuir ve Freundlich'tir. Elde edilen izoterm parametrelerine ait katsayılar, korelasyon faktörleri (R^2) ve matematiksel denklemler Tablo 2'de listelenmiştir [50-55]. Ayrıca, bir Langmuir izoterminin temel özellikleri, boyutsuz sabit ayırma faktörü olan R_L ile ifade edilebilir. R_L parametresi izotermin şeklini aşağıdaki şekilde gösterir: $R_L > 1$, elverişsiz; $R_L = 1$, doğrusal; $0 < R_L < 1$, uygun ve $R_L = 0$, geri döndürülemez. Hesaplanan maksimum adsorpsiyon kapasitesi q_m , 20 ° C'de, 5 dakika temas süresi ve 282.1 mg/L'lik başlangıç bor konsantrasyonu ile 12.61 mg /g olarak belirlenmiştir.

Şekil 6 ve 7, KÇK üzerindeki borun adsorpsiyon izotermelerini ve Langmuir, Freundlich, D-R ve Temkin adsorpsiyon modellerinin deneysel verilere uygunluğunu göstermektedir. Tablo 3'de görülebileceği gibi, Langmuir modeli, en yüksek korelasyon katsayısı nedeniyle (0.999) KÇK üzerindeki bor adsorpsiyonu deneysel verisine en iyi sonucu verdi. Boyutsuz sabit ayırma faktörü, R_L , 282.1 mg/L başlangıç bor konsantrasyonu için 0.489 olup $0 < R_L < 1$ aralığında Langmuir için uygun adsorpsiyon göstermiştir. Ancak diğer modellerde kötü bir uyumsuzluk söz konusudur. Bu sonuçlar önceki çalışmaların sonuçları ile uygun düzeydedir [56-58].

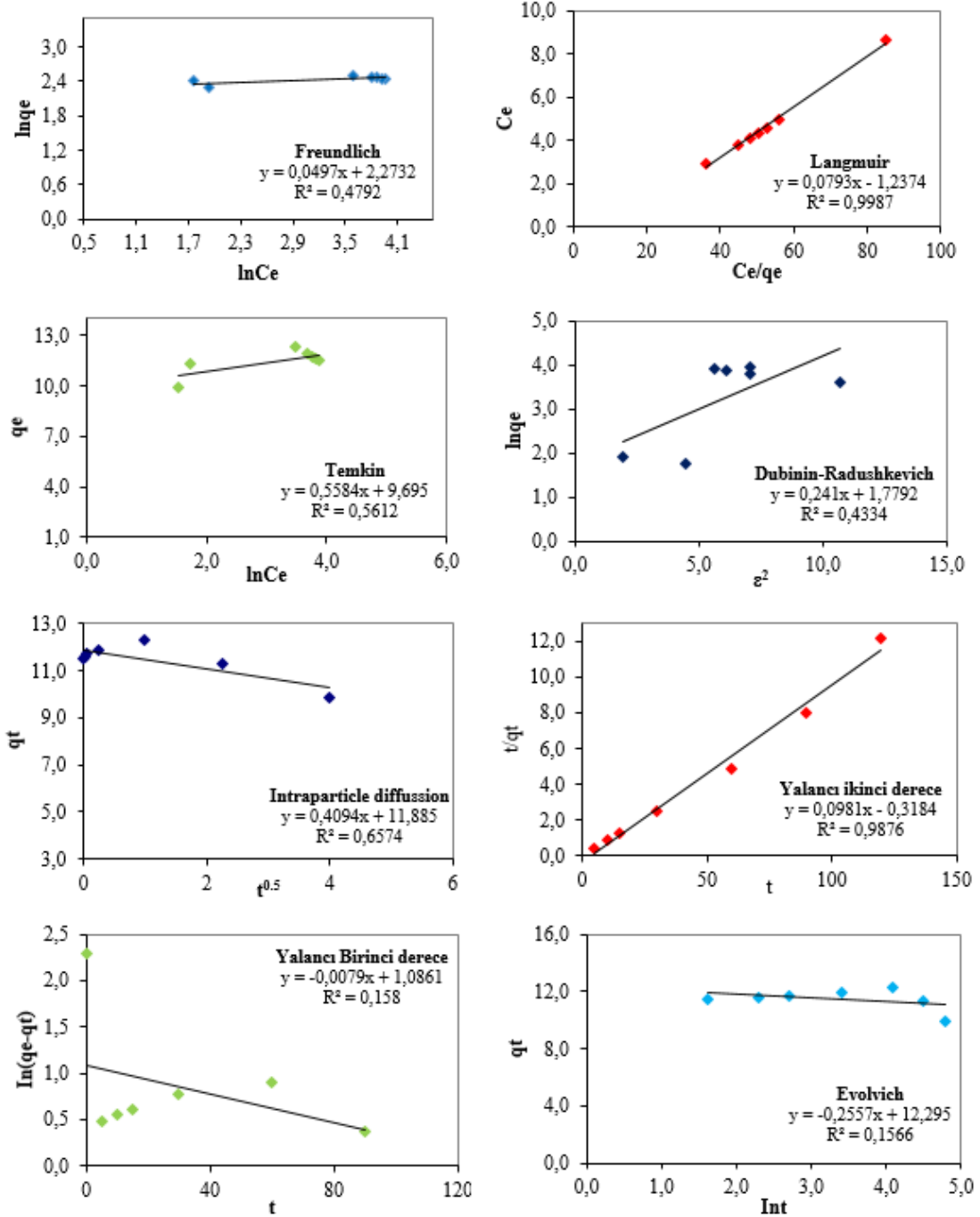
Tablo 2. Isotherm models, their linear forms and respective coefficient

Modeller	Denklemler	Katsayılar	
Langmuir	$q_e = \frac{q_m K_L C_e}{1 + K_L C_e}$ $R_L = \frac{1}{1 + K_L x C_e}$	q_m (mg/g)	12.61
		K_L (L/mg)	0.064
		R_L	0.489
		R^2	0.999
Freundlich	$q_e = K_F \sqrt[n]{C_e}$	K_F (L/mg)	9.710
		n	20.12
		R^2	0.479
Tempkin	$q_e = q_m \ln(K_T C_e)$	K_T	346.94
		R^2	0.561
D-R	$\ln q_e = \ln q_{max} - \beta \epsilon^2$	β (mol ² /j ²)	0.241
		E (kJ/mol)	1.440
		R^2	0.433
Yalancı Birinci derece	$\ln(q_e - q_t) = \ln q_e - k_1 \times t$	k_1 (1/min)	0.018
		q_e (mg/g)	2.127
		R^2	0.196
Yalancı İkinci Derece	$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 \times q_e^2} + \frac{1}{q_w} t$	k_2 (g/mg/min)	0.030
		q_e (mg/g)	12.193
		R^2	0.987
Intrapartikül difüzyon	$q_t = k_d \times t^{0.5}$	k_d	0.409
		R^2	0.657
Evolvich	$q_t = \frac{1}{\beta} \ln \alpha \beta + \frac{1}{\beta} \ln t$	α	2.984
		β	0.255
		R^2	0.156

KL: Langmuir, KF: Freundlich, q_m : Maksimum adsorpsiyon kapasitesi, K_T : Tempkin; k_1 : Birinci derece kinetik, k_2 : İkinci derece kinetik



Şekil 6. KÇK ile bor adsorpsiyonunun deneysel izoterm eğrileri



Şekil 7. KÇK ile bor adsorpsiyonunun izoterm ve kinetik eğrileri

Katı-faz ara kesitinde KÇK üzerine borun giderimini belirlemek için adsorpsiyon kinetiği çalışması önemlidir. Bu çalışmada adsorpsiyon verilerini tanımlamak ve KÇK'nın etkinliğini belirlemek için yaygın olarak kullanılan yalancı birinci dereceden, yalancı ikinci dereceden kinetik (YİDK), intrapartikül difüzyon ve Evolvich dahil olmak üzere çeşitli kinetik modeller test edilmiştir (Tablo 2). Adsorpsiyon kapasiteleri ve modellerden hesaplanan değerler Tablo 2'de verilmiştir. Kinetik veri bulguları karşılaştırıldığında, en iyi korelasyon katsayısının sözde ikinci dereceden model ile elde edildiği söylenebilir. Ayrıca, sözde ikinci dereceden modelden elde edilen değerler deneysel olarak KÇK adsorpsiyonunun başarılı sonuçlandığını göstermektedir. Borun farklı adsorbentler tarafından adsorpsiyonuna odaklanan önceki çalışmalara göre, borun giderilmesi sözde ikinci dereceden kinetik modelleme için uygunluk göstermektedir [59,60].

3.6. Literatürde Rapor Edilen Farklı Adsorbentlerle Bor Gideriminin Karşılaştırılması

Borun sulu çözeltilerden adsorpsiyonu için farklı adsorbentlerin adsorpsiyon yöntemi ile giderimini gösteren liste Tablo 3'te verilmiştir. Görüldüğü gibi, bor için KÇK'nın gözlemlenen arıtım verimleri diğer adsorbentlerle karşılaştırılabilir nitelikte olup, bu durum KÇK'nın bor çalışmalarında alternatif bir adsorbent olabileceğini net bir şekilde göstermektedir.

Table 3. Düşük maliyetli bazı adsorbentlerin bor adsorpsiyon kriterlerinin karşılaştırılması

Adsorbent	Optimum Koşullar	% Verim	İzoterm	Kinetik	Kaynaklar
Uçucu kül	pH: 10, doz: 100 g, t: 25 saat	94	L/F	YİDK	[61]
Al-Arıtım atıkları	pH: 8.5, doz: 25 g	24.5	L	YİDK	[62]
Hurma Külü	pH: 7, doz: 6 g, t: 12 saat	65.7	-	YİDK	[63]
Bentonit/Zeolit	pH: 9, doz: 50 g, t: 2 saat	43	L/F	-	[64]
Ceviz-Pirinç kabuğu	pH: 7, doz: 2 g, t: 48 saat	82	L	-	[64]
Bentonit-Magnetit	pH: 2-12, doz: 1 g, t: 0.5 saat	95	L/F	YİDK	[65]
Kitosan	pH: 8, doz: 0.15 g, t: 0.5 saat	70	L/F	YİDK	[66]
Sepiyolit	pH:9, doz: 0.5 g, t: 30 dakika	43	-	-	[9]
Lantanyum-Kitosan	pH:9.8, doz: 5.34 g, t: 24 saat	58	L/F	YİDK	[58]
Sezyum-Kitosan	pH: 7, doz: 3 g, t: 24 saat	62	L/F	YİDK	[45]
ZIF67 nanomalzeme	pH: 4, doz: 3 g, t: 24 saat	94.1	L	-	[56]
Zirkonyum-Kitosan	pH: 8, doz: 2 g, t: 24 saat	54.3	L/F	YİDK	[31]
KÇK	pH: 5.13, doz: 2 g, t: 5 dakika	92	L	YİDK	Bu çalışma

4. Sonuç ve Öneriler

Mevcut deneysel çalışma sonuçları, bor elementinin KÇK üzerine adsorpsiyonunun pH, temas süresi ve KÇK miktarına bağlı olduğunu göstermiştir. KÇK'nın maksimum arıtım verimi, ideal şartlarda bor için yaklaşık % 88 olarak hesaplanmıştır. KÇK üzerine bor adsorpsiyon işlemi için optimum koşullar KÇK dozu = 2 g/L, pH = 5.13 ve temas süresi = 5 dakika olarak elde edilmiştir. Langmuir izotermine dayalı maksimum adsorpsiyon kapasitesi ve korelasyon katsayısı (R^2) 12.61 mg/g ve 0.999 şeklinde olup borun KÇK üzerine adsorpsiyonu yalancı ikinci derece kinetiği ile iyi tanımlanmıştır. Boru sulu çözeltilerden giderebilmek için, bu çalışma açıkça KÇK'nın pratik, etkili ve düşük maliyetli, yüksek kapasiteli, çevre dostu bir adsorbent olarak kullanılmasının etkinliğini göstermektedir.

Yazarların Katkısı

Çalışmada tüm katkı yazara aittir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar

- [1] Türker O.C., Yakar A., Türe C., Saz Ç. 2019. Cost-Effectiveness of Boron (B) Removal from Irrigation Water: An Economic Water Treatment Model (EWTM) for Farmers to Prevent Boron Toxicity. *Environmental Science and Pollution Research*, 26: 18777-18789.
- [2] Güven E.D., Güler E., Akıncı G., Bölükbaş A. 2017. Influencing Factors in the Removal of High Concentrations of Boron by Electrocoagulation. *Journal of Hazardous, Toxic, and Radioactive Waste*, 22 (2): 04017031.
- [3] Simcox L., A. Pereira R.P., Wellington E.M., Macpherson J.V. 2019. Boron Doped Diamond as a Low Biofouling Material in Aquatic Environments: Assessment of *Pseudomonas Aeruginosa* Biofilm Formation. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 11: 25024-25033.
- [4] Helvacı C. 2015. Bor Yataklarının Mineral ve Kimyası Yönünden Genel Değerlendirilmesi ve Gelecek Öngörüsü. *Madencilik ve Yerbilimleri Dergisi*, 6 (47): 66-78.
- [5] Tagliabue M., Reverber A.P., Bagatin R. 2014. Boron Removal from Water: Needs, Challenges and Perspectives, *Journal of Cleaner Production*, 77: 56-64.
- [6] Sönmez N.A. 2014. Sulardan Adsorpsiyon Yöntemi ile Bor Giderimi. Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.
- [7] Kabay N., Bryjak M., Hilal N. 2015. Boron separation processes. Elsevier Publisher, Amsterdam.
- [8] Tombal T.D., Özkan Ş.G., Ünver İ.K., Osmanlıoğlu A.E. 2016. Bor Bileşiklerinin Özellikleri, Üretimi, Kullanımı ve Nükleer Reaktör Teknolojisinde Önemi. *Journal of Boron*, 1 (2): 86-95.
- [9] Arıkan T. 2019. Sulu Çözeltideki Bor İyonlarının Sepiyolit ile Giderimi. *KSÜ Tarım ve Doğa Dergisi*, 22 (2): 333-338.
- [10] Başkan M.B., Atalay N. 2014. İçme ve Sulama Sularında Bor Kirliliği ve Bor Giderme Yöntemleri. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 20 (3): 78-84.
- [11] WHO. 2011. http://whqlibdoc.who.int/publications/2011/9789241548151_eng.pdf. (Erişim Tarihi: 29.12.2019).
- [12] EU. 1998. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A31998L0083> (Erişim Tarihi: 29.12.2019).
- [13] Jung J., Choi H., Hong S., Yoon S.J., Kim T.H., Lee J.Y., Hong Y.T., So S. 2020. Surface-Initiated ATRP of Glycidyl Methacrylate in the Presence of Divinylbenzene on Porous Polystyrene-Based Resins for Boron Adsorption. *Desalination*, 473: 114166.
- [14] Weidner E., Ciesielczyk F. 2019. Removal of Hazardous Oxyanions from the Environment Using Metal-Oxide-Based Materials. *Materials*, 12 (6): 927.
- [15] Tulun Ş., Bahadır T., Şimşek İ., Karataş M. 2019. The Removal of Nickel Ions with Walnut Shell. *Turkish Journal of Engineering*, 3 (2): 102-105.
- [16] Meng F., Ma W., Wu L., Hao H., Xin L., Chen Z., Wang M. 2018. Selective and Efficient Adsorption of Boron (III) from Water by 3D Porous CQDs/LDHs with Oxygen-Rich Functional Groups. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 83: 192-203.
- [17] Türker O.C., Baran T. 2017. Evaluation and Application of an Innovative Method Based on Various Chitosan Composites and *Lemna gibba* for Boron Removal from Drinking Water. *Carbohydrate Polymers*, 166: 209-218.
- [18] Wolska J., Bryjak M. 2013. Methods for Boron Removal from Aqueous Solution-a Review. *Desalination*, 310: 18-24.
- [19] Türker O.C., Baran T. 2018. A Combination Method Based on Chitosan Adsorption and Duckweed (*Lemna gibba* L.) Phytoremediation for Boron (B) Removal from Drinking Water. *International journal of phytoremediation*, 20 (2): 175-183.
- [20] Deniz F., Akarsu C. 2018. Operating Cost and Treatment of Boron from Aqueous Solutions by Electrocoagulation in Low Concentration. *Global Challenges*, 2 (5-6): 1800011.
- [21] Guan Z., Lv J., Bai P., Guo X. 2016. Boron Removal from Aqueous Solutions by Adsorption-a Review. *Desalination*, 383: 29-37.
- [22] Al Haddabi M., Ahmed M., Al. Jebri Z., Vuthaluru H., Znad H., Al. Kindi M. 2016. Boron Removal from Seawater Using Date Palm (*Phoenix dactylifera*) Seed Ash. *Desalination and Water Treatment*, 57 (11): 5130-5137.
- [23] Xi Z., Qilong R., Yiwen Y., Huabin X., Baogen S., Zongbi B. 2015. Materials for Boron Adsorption. *Progress in Chemistry*, 27 (1): 125-134.

- [24] Shireen F., Nawaz M.A., Chen C., Zhang Q., Zheng Z., Sohail H., Sun J., Cao H., Huang Y., Bie Z. 2018. Boron: Functions and Approaches to Enhance Its Availability in Plants for Sustainable Agriculture. *International Journal of Molecular Sciences*, 19 (7): 1856.
- [25] Laçın B., Ertit Taştan B., Dönmez G. 2015. Detection of Boron Removal Capacities of Different Microorganisms in Wastewater and Effective Removal Process. *Water Science and Technology*, 72 (10): 1832-1839.
- [26] Çelebi H. 2019. The Applicability of Evaluable Wastes for the Adsorption of Reactive Black 5. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 16 (1): 135-146.
- [27] Roongruangsri W., Bronlund J.E. 2016. Effect of Air-Drying Temperature on Physico-Chemical, Powder Properties and Sorption Characteristics of Pumpkin Powders. *International Food Research Journal*, 23: 962-972.
- [28] Njoku V.O., Foo K.Y., Hameed B.H. 2013. Microwave-Assisted Preparation of Pumpkin Seed Hull Activated Carbon and Its Application for the Adsorptive Removal of 2, 4-Dichlorophenoxyacetic Acid. *Chemical Engineering Journal*, 215: 383-388.
- [29] Kluczka J., Pudło W., Krukiewicz K. 2019. Boron Adsorption Removal by Commercial and Modified Activated Carbons. *Chemical Engineering Research and Design*, 147: 30-42.
- [30] Sun L., Huang J., Liu H., Zhang Y., Ye X., Zhang H., Wu A., Wu Z. 2018. Adsorption of Boron by CA@KH-550@EPH@NMDG (CKEN) with Biomass Carbonaceous Aerogels as Substrate. *Journal of Hazardous Materials*, 358: 10-19.
- [31] Kluczka J., Gnus M., Kazek-Kęsik A., Dudek G. 2018. Zirconium-Chitosan Hydrogel Beads for Removal of Boron from Aqueous Solutions. *Polymer*, 150: 109-118.
- [32] Sarri S., Misaelides P., Zamboulis D., Warchoń J. 2018. Boron Removal from Aqueous Solutions by a Polyethylenimine-Epichlorohydrin Resin. *Journal of the Serbian Chemical Society*, 83 (2): 251-264.
- [33] Chen T., Wang Q., Lyu J., Bai P., Guo X. 2020. Boron Removal and Reclamation by Magnetic Magnetite (Fe₃O₄) Nanoparticle: An Adsorption and Isotopic Separation Study. *Separation and Purification Technology*, 231: 115930.
- [34] Sanfeliu C., Martínez-Mañez R., Sancenón F., Soto J., Amorós P., Azaïs T., Marcos M.D. 2018. 11B-MAS NMR Approach to the Boron Adsorption Mechanism on a Glucose-Functionalised Mesoporous Silica Matrix. *Microporous and Mesoporous Materials*, 266: 232-241.
- [35] Jaouadi M., Hbaieb S., Guedidi H., Reinert L., Amdouni N., Duclaux L. 2017. Preparation and Characterization of Carbons from β -cyclodextrin Dehydration and from Olive Pomace Activation and Their Application for Boron Adsorption. *Journal of Saudi Chemical Society*, 21 (7): 822-829.
- [36] Kluczka J., Dudek G., Kazek-Kęsik A., Gnus M. 2019. Chitosan Hydrogel Beads Supported with Ceria for Boron Removal. *International Journal of Molecular Sciences*, 20 (7): 1567.
- [37] Tlili A., Dridi I., Attaya R., Gueddari M. 2019. Boron Characterization, Distribution in Particle-Size Fractions, and Its Adsorption-Desorption Process in a Semiarid Tunisian Soil. *Journal of Chemistry*, 2019: 1-8.
- [38] Nozawa S., Sato T., Otake T. 2018. Effect of Dissolved Silica on Immobilization of Boron by Magnesium Oxide. *Minerals*, 8 (2): 76.
- [39] Montalvo Andia J.P., Yokoyama L., Teixeira, C., Alberto L. 2018. Study of the Equilibrium, Kinetics, and Thermodynamics of Boron Removal from Waters with Commercial Magnesium Oxide. *International Journal of Chemical Engineering*, 2018: 1-10.
- [40] Bodzek M. 2016. The Removal of Boron from the Aquatic Environment-State of the Art, *Desalination and Water Treatment*, 57 (3): 1107-1131.
- [41] Kluczka J., Trojanowska J., Zołotajkin M. 2015. Utilization of Fly Ash Zeolite for Boron Removal from Aqueous Solution. *Desalination and Water Treatment*, 54 (7): 1839-1849.
- [42] Affam A.C., Wong C.C., Seyam M.A., Matt C.A.A.F., Sumbai J.L.A., Evut, A.M. 2018. Preparation, Characterization and Adsorption Study of Granular Activated Carbon/Iron Oxide Composite for the Removal of Boron and Organics from Wastewater. *E3S Web of Conferences* 34: 02006.
- [43] Tang Y.P., Luo L., Thong Z., Chung T.S. 2017. Recent Advances in Membrane Materials and Technologies for Boron Removal. *Journal of Membrane Science*, 541: 434-446.

- [44] Bertagnolli C., Grishin A., Vincent T., Guibal E. 2017. Boron Removal by a Composite Sorbent: Polyethylenimine/Tannic Acid Derivative Immobilized in Alginate Hydrogel Beads. *Journal of Environmental Science and Health, Part A*, 52 (4): 359-367.
- [45] Kluczka J., Gnus M., Dudek G., Turczyn R. 2017. Removal of Boron from Aqueous Solution by Composite Chitosan Beads, *Separation Science and Technology*, 52 (9): 1559-1571.
- [46] Abdelnour S.A., El-Hack M.E.A., Swelum A.A., Perillo A., Losacco C. 2018. The Vital Roles of Boron in Animal Health and Production: A Comprehensive Review. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 50: 296-304.
- [47] Demirçivi P., Saygılı G.N. 2018. Comparative Study of Modified Expanded Perlite with Hexadecyltrimethylammonium-Bromide and Gallic Acid for Boron Adsorption. *Journal of Molecular Liquids*, 254: 383-390.
- [48] Al-Ghouti M.A., Salih N.R. 2018. Application of Eggshell Wastes for Boron Remediation from Water. *Journal of Molecular Liquids*, 256: 599-610.
- [49] Wang J., Zhuang S. 2017. Removal of Various Pollutants from Water and Wastewater by Modified Chitosan Adsorbents. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 47 (23): 2331-2386.
- [50] Ho Y.S., McKay G. 1999. Pseudo-Second Order Model for Sorption Processes. *Process biochemistry*, 34 (5): 451-465.
- [51] Hall K.R., Eagleton L.C., Acrivos A., Vermeulen T. 1966. Pore-and Solid-Diffusion Kinetics in Fixed-Bed Adsorption Under Constant-Pattern Conditions. *Industrial & Engineering Chemistry Fundamentals*, 5 (2): 212-223.
- [52] Dubinin M.M., Radushkevich L.V. 1947. Equation of the Characteristic Curve of Activated Charcoal, *Proceedings of the Academy of Sciences. Physical Chemistry Section*, 55: 331-337.
- [53] Temkin M., Pyzhev V. 1940. Recent Modifications to Langmuir Isotherms. *Acta Physical Chemistry*, 12: 217-225.
- [54] Langmuir I. 1916. The Constitution and Fundamental Properties of Solids and Liquids Part I. Solids. *Journal of the American Chemical Society*, 38 (11): 2221-2295.
- [55] Freundlich H.M.F. 1906. Über Die Adsorption in Lösungen. *Journal of Physical Chemistry*, 57: 370-385.
- [56] Zhang J., Cai Y., Liu, K. 2019. Extremely Effective Boron Removal from Water by Stable Metal Organic Framework ZIF-67. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 58 (10): 4199-4207.
- [57] Babiker E., Al-Ghouti M.A., Zouari N., McKay G. 2019. Removal of Boron from Water Using Adsorbents Derived from Waste Tire Rubber. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 7 (2): 102948.
- [58] Kluczka J., Dudek G., Kazek-Kęsik A., Gnus M., Krzywiecki M., Mitko K., Krukiewicz K. 2019. The Use of Lanthanum Ions and Chitosan for Boron Elimination from Aqueous Solutions. *Polymers*, 11 (4): 718.
- [59] Duran H., Yavuz E., Sismanoglu T., Senkal B.F. 2019. Functionalization of Gum Arabic Including Glycoprotein and Polysaccharides for the Removal of Boron. *Carbohydrate polymers*, 225: 115139.
- [60] Demey H., Barron-Zambrano J., Mhadhbi T., Miloudi H., Yang Z., Ruiz M., Sastre A.M. 2019. Boron Removal from Aqueous Solutions by Using a Novel Alginate-Based Sorbent: Comparison with Al₂O₃ Particles. *Polymers*, 11 (9): 1509.
- [61] Yüksel S., Yürüm Y. 2009. Removal of Boron from Aqueous Solutions by Adsorption Using Fly Ash, Zeolite, and Demineralized Lignite. *Separation Science and Technology*, 45 (1): 105-115.
- [62] Irawan C., Liu J.C., Wu C.C. 2011. Removal of Boron Using Aluminum-Based Water Treatment Residuals (Al-WTRs). *Desalination*, 276 (1-3): 322-327.
- [63] Chieng H.J., Chong M.F. 2013. Boron Adsorption on Palm Oil Mill Boiler (POMB) Ash Impregnated with Chemical Compounds. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 52 (41): 14658-14670.
- [64] Jalali M., Rajabi F., Ranjbar, F. 2016. The Removal of Boron from Aqueous Solutions Using Natural and Chemically Modified Sorbents. *Desalination and Water Treatment*, 57 (18): 8278-8288.

- [65] Masindi V., Gitari M.W., Tutu H., Debeer M. 2016. Removal of Boron from Aqueous Solution Using Magnesite and Bentonite Clay Composite. *Desalination and Water Treatment*, 57 (19): 8754-8764.
- [66] Bursalı E.A., Seki Y., Seyhan S., Delener M., Yurdakoç M. 2011. Synthesis of Chitosan Beads as Boron Sorbents. *Journal of Applied Polymer Science*, 122 (1): 657-665.

Araştırma Makalesi / Research Article

Jeofizik Verilerinden Elde Edilen Sismik Zayıflık İndisinin Yapı Hasar Dağılımının Belirlenmesinde Kullanılabilirliği

İsmail AKKAYA*

*Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, Van
(ORCID: 0000-0002-7682-962X)*

Öz

Jeofizik yöntemlerden biri olan mikrotremor yönteminin mühendislik uygulamalarındaki kullanımı gün geçtikçe artmaktadır. Mikrotremor verilerinin spektral oranından elde edilen zemin hâkim titreşim periyodu ve büyütme değerleri kullanılarak sismik zayıflık indisi (Kg) hesaplanabilmektedir. Kg zemin dinamik özelliklerine bağlı olarak değişen bir parametredir. Bu parametre ile bir alanın kuvvetli yer hareketine karşı dayanıklı veya zayıf kalma durumunun noktasal olarak değerlendirilmesi yapılabilmektedir. Çalışmada, Van yerleşim alanında 220 noktada mikrotremor ölçümleri alınarak yerleşim alanı için zayıflık indisi haritası oluşturulmuştur. Özellikle Van Gölüne yakın kesimlerde ve yapı yoğunluğunun olduğu merkez bölgelerde tehlike düzeyinin ve sismik zayıflık indisinin yüksek olduğu belirlenmiştir. 2011 Van depremi (Mw=7.1) sonrası bölgede incelenen binaların hasar durumları oluşturulan zayıflık indisi haritasına yerleştirilmiş ve yapıların hasar durumlarının zayıflık indeksi ile ilişkili olabileceği gözlenmiştir. Çalışma alanında özellikle Van Gölüne yakın kesimlerinde hem gevşek-suya doygun zemin yapısı hem yapı kalitesi hem de yüksek Kg değerlerinin elde edilmesi olası büyük bir depremde ortaya çıkabilecek yüksek ivme değerlerinde makaslama deformasyonu seviyesine bağlı zemin davranışının hasara neden olan plastik davranış ve göçme davranışına dönüşebileceği tespit edilmiştir. Elde edilen bulgular yapısal hasarlarda yapı kalitesinin yanı sıra zemin tabakalarının dinamik davranışlarının ve yerel zemin koşullarının da etkili olduğunu bir kez daha ortaya koymuştur.

Anahtar kelimeler: Mikrotremor, sismik zayıflık indisi, yapısal hasar, makaslama deformasyonu.

Usability of the Seismic Vulnerability Index Obtained from Geophysical Data in Determining the Structure Damage Distribution

Abstract

The use of microtremor method, which is one of the geophysical methods in engineering applications, is increasing day by day. Seismic Vulnerability Index (Kg) can be calculated by using soil fundamental period and amplification values obtained from the H/V spectral ratio of microtremor data. Kg is a parameter depending on the dynamic properties of soil. With this parameter, it is possible to evaluate the vulnerability of a point-based site under strong ground motion. In this study, microtremor measurements are recorded for 220 points in Van region to generate the seismic vulnerability index map. After generating the map, it is determined that hazard potential and seismic vulnerability index is high at the sites close to Lake Van and at the densely populated city center. Damage information of the buildings investigated after the 2011 Van Earthquakes (Mw=7.1) are placed on the seismic vulnerability index map and it is realized that there may be a correlation between the damage and the seismic vulnerability index. In the study area, especially in the areas close to Lake Van, it was determined that the soil behavior due to shear deformation level could be transformed into plastic behavior and collapse behavior due to high acceleration values that may occur in a large earthquake where both loose-water saturated soil structure and structure quality and high Kg values can be obtained. From the results of this study and the site observations, it is found that structural damages are not only structure dependent but also related to the dynamic behavior of soil layers and local soil conditions.

Keywords: Microtremor, seismic vulnerability index, building damage, shear deformation.

*Sorumlu yazar: iakkaya@yyu.edu.tr

Geliş Tarihi: 31.12.2019, Kabul Tarihi: 22.04.2020

1. Giriş

Aktif tektonizma ve deprensellik etkisi altında bulunan alanlarda bölgenin deprem potansiyeli kadar, bölgedeki yapı kalitesi ve yerel zemin özellikleri de depremlerin şiddetini artıran etkenlerin başında gelmektedir. Zemin yenilmeleri, dayanım azalması, sıvılaşma, zemin büyütmesi gibi etkiler deprem dalgalarının zemin tabakalarından geçerken oluşturdukları problemler arasındadır. Dolayısıyla ülkemiz gibi deprem potansiyeli yüksek olan bölgelerde depremlere bağlı hasarlarının azaltılmasında zemin koşullarının hem statik hem de dinamik yükler altındaki davranışlarının iyi belirlenmesi gerekmektedir. Tektonizma, deprensellik, bölgesel topografik ve jeolojik koşullar deprem dalgalarının özelliklerini önemli ölçüde değiştirerek farklı derecelerde hasara yol açabilmektedir [1]. Bunun en büyük sebebi, ortamın kısa mesafelerde çok çeşitlilik göstermesi veya yerel zemin koşullarının farklılığından kaynaklanmaktadır.

Yerel zemin koşulları, yapı kalitesi ve deprem kaynak özellikleri hasarı etkileyen ana faktörlerdir ve bir arada değerlendirilmelidir. Deprem kaynak özelliklerinin, sismik dalga fazlarının, bölgesel jeoteknik koşulların ve yapı özelliklerinin, depremlere bağlı hasarlarda son derece önemli olduğu 23 Ekim 2011 (Mw=7.1) Van depremi sonrası meydana gelen yüksek hasar ve can kayıplarıyla bir kez daha ortaya çıkmıştır. Van Gölü çevresindeki yerleşim alanları genel itibarıyla dağlık alanlar ile göl arasında kalan Kuvaterner yaşlı, güncel göl ve akarsu sedimanlarının düzlükleri üzerine kuruludur ve bölge aktif tektonizmanın ve deprenselliğin etkisi altındadır.

Kuvvetli yer hareketlerine maruz kalan sığ zemin tabakalarında meydana gelecek kayma şekil değiştirmesi değerlerinin bilinmesi, deprem hareketlerine bağlı yüzey etkilerinin belirlenmesinde önemli rol oynamaktadır [2]. Mikrotitreşimlerin kaydedilmesi temeline dayanan mikrotremor yönteminde üç bileşenli kayıtlar kullanılarak ölçüm noktası için zemin hakim titreşim periyodu ve büyütme değerleri belirlenir. Jeofizik saha çalışmalarında özellikle mühendislik uygulamalarında sıklıkla kullanılan mikrotremor yöntemi aktif kaynak kullanılmaması, düşük maliyetli olması, veri toplama ekipmanlarının kolay taşınabilir ve kurulabilir olması, yoğun yerleşim alanlarında uygulama kolaylığı sağlaması, hızlı veri değerlendirme, her zaman ve her yerde ölçülebilmesinin yanı sıra geniş bir frekans bandında (0.01-50 Hz) enerji içermesi gibi avantajlarından dolayı son yıllarda yaygın olarak kullanılan bir yöntem olmuştur. Doğal ve yapay etkenlerden kaynaklanan, genlikleri 0.01~1 mikron arasında ve periyotları 0.05s ile 2s aralığında değişen yer titreşimlerine mikrotremor (titreşimcik) denir [3-5]. Bu titreşimler başlıca trafik, endüstri makineleri, rüzgâr, jeotermal reaksiyonlar, okyanus dalgaları, küçük büyüklüklü yer sarsıntıları gibi etkenler nedeniyle oluşmaktadır, gündüzleri geceden daha aktif olup dalga biçimleri düzensizdir. Bu özellikleri gözetildiğinde zemin tabakalarında kuvvetli yer hareketine bağlı oluşacak kayma deformasyonlarının belirlenmesinde mikrotremor yöntemi kullanılabilir bir yöntem olarak değerlendirilmektedir [6]. Pek çok ülke deprem mühendisliği analizleri için hem zayıf hem de kuvvetli yer hareketi özelliklerinin belirlenmesi için kayıt ağları kurmuştur. Mikrotremor ölçümleri kuvvetli yer hareketi karşısında zemin tabakalarının gösterdiği dinamik davranışı tahmin etmekte, yaygın olarak kullanılmaktadır. Mikrotremor verilerinden elde edilen büyütme değerleriyle kuvvetli yer hareketinin analizi veya zemin tabakalarının bir boyutlu dinamik analizi sonucunda hesaplanan büyütme değerlerini karşılaştıran birçok çalışma mevcuttur [6-10].

Bu çalışmada Nakamura [10] tarafından önerilen sismik zayıflık indisi (K_g) değerleri hesaplanarak inceleme alanı için zemin-yapı ilişkilerine bağlı hasar değerlendirmesinde mikrotremor ölçüm sonuçlarının kullanılabilirliği değerlendirilmiştir. K_g zemin dinamik özelliklerine bağlı olarak değişen bir parametredir ve zemin hakim titreşim periyodu ve büyütme değerleri kullanılarak hesaplanabilmektedir. Hesaplanan K_g verileriyle bir alanın kuvvetli yer hareketine karşı dayanıklı veya zayıf kalma durumunun noktasal olarak değerlendirilmesi yapılabilmektedir. Bunun için, Van ili yerleşim alanında 220 noktada mikrotremor ölçümleri alınarak yerleşim alanı için zayıflık indisi haritası oluşturulmuştur. Ayrıca, mikrotremor ölçümlerinden elde edilen kayma şekil değiştirmeleri dinamik analizlerden hesaplanan değerlerle karşılaştırılmıştır. En büyük ivme değerinin (a_{max}) farklı değerlerinde yüzeye yakın zemin tabakaları için kayma şekil değiştirmeleri (γ_e) elde edilmiştir.

2. Çalışma Alanının Genel Jeolojisi ve Deprenselliği

İnceleme alanı Van Gölünün doğusunda yer almaktadır ve Van Gölü havzası içerisinde bulunmaktadır (Şekil 1). Van Gölü havzası Geç Miyosen sonu Erken Pliyosen zaman aralığında gerçekleşen Arap ile

Avrasya levhalarının çarpışması ile oluşmaya başlayan Doğu Anadolu Yüksek Platosu [11-12] içerisinde Geç Pliyosen'de oluşmaya başlamış ve Kuvaterner başından itibaren etkili olan volkanizmanın etkisi ile bölge son şeklini almıştır [13]. Van Gölü çevresindeki temel kaya Paleozoik-Mezozoyik yaşlı Bitlis Masifine ait Metamorfik kayalardır. Van Gölü'nün doğusunda, Jura kireçtaşları, Üst Kretase ofiyolitleri, Paleosen-Eosen kireçtaşları, Oligosen-Miyosen yaşlı türbidit çökelleri ve eski göl çökelleri yer almaktadır [14,15]. Batıda Nemrut ve Süphan, kuzeyde Etrüsk, kuzeybatıda Tendürek volkanlarına ait volkanoklastik türünler ve lavlar geniş yayılım sunmaktadır [16]. Van Gölü'ndeki su seviyesi değişimleri göl, akarsu ve delta çökellerinin geniş yayılım göstermesine neden olmuştur. Tüm bu birimlerin üzerinde güncel olarak sınırlı alanlarda yamaç molozu, tutturulmamış akarsu çökelleri ve yüksek yamaçlarda kolüvyal malzemeler yüzeylemektedir [14,15].

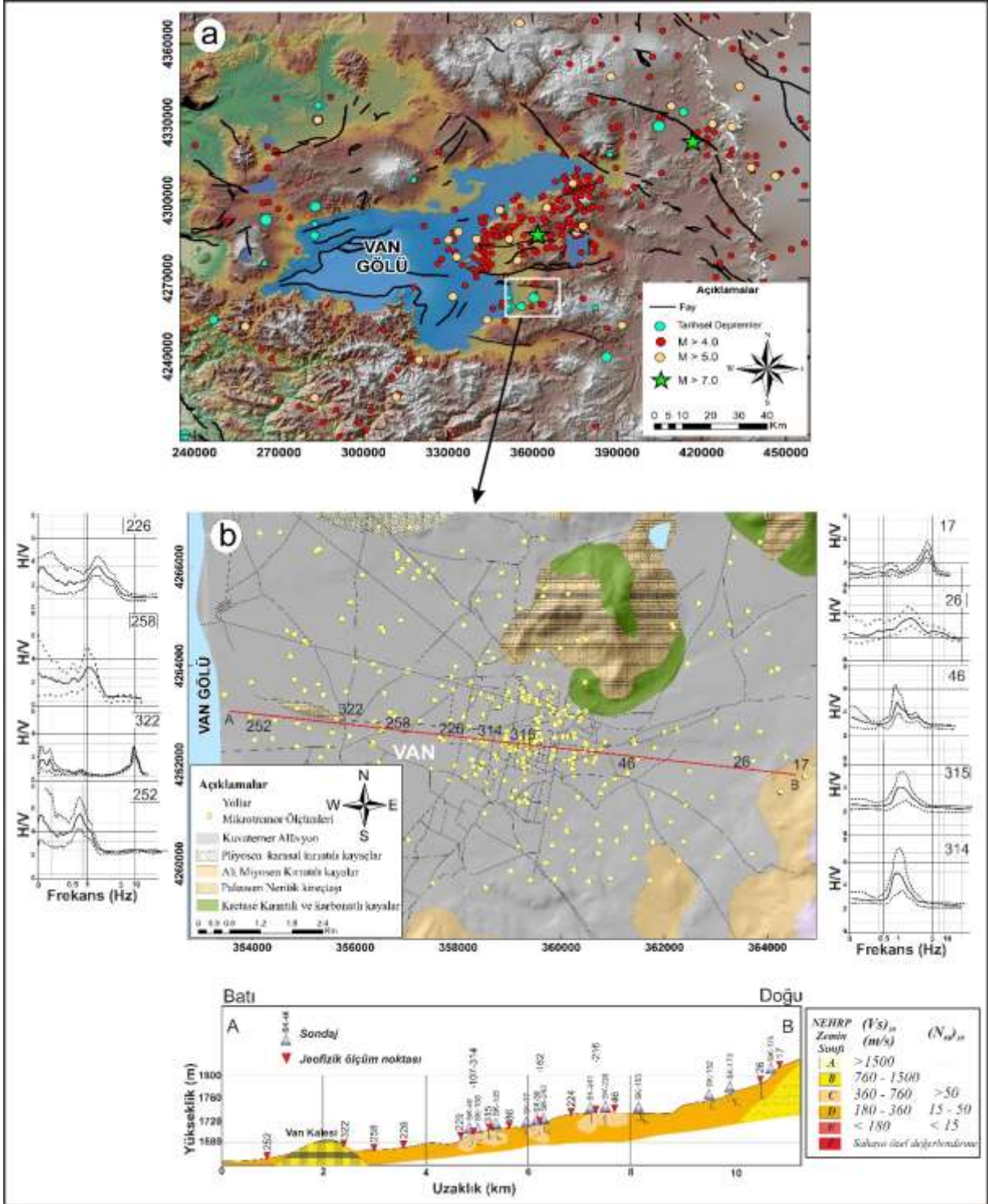
Van Gölü doğusunda yer alan Van il merkezi ve ilçeleri genellikle göl ve akarsu çökellerinden oluşan suya doygun pekişmemiş bir istif üzerinde yer almaktadır. Farklı kalınlıklara ve farklı mühendislik özelliklerine sahip olan bu sedimanlar özellikle Van Gölü'nün doğu kesimlerinde net olarak görülmektedir. Bu tür zeminler büyük depremlerde, gerek depremin tekrarlı yüklerinden, gerekse zeminden kaynaklanan deformasyonlardan büyük ölçüde etkilenmektedirler. Ayrıca, bölgedeki yapı kalitesinin de istenilen düzeyde olmaması meydana gelen depremlerde can ve mal kayıplarını artırıcı etken olmuştur [17-23].

Kıta-kıta çarpışması neticesinde egemen olan kuzey-güney yönlü sıkışma rejimine bağlı olarak bölgedeki tektonik unsurlar genel olarak doğu-batı doğrultulu ters, kuzeybatı-güneydoğu doğrultulu sağ yönlü ve kuzeydoğu-güneybatı yönelimli sol yönlü doğrultu atımlı faylar ile kuzey-güney doğrultulu genişleme yapıları tarafından temsil edilmektedir [12, 24-28]. Van Gölü Havzası ve çevresinde hem tarihsel hem de aletsel dönemde büyük deprem üretmiş pek çok aktif fay zonu bulunmaktadır. Bunlardan bazıları Çaldıran Fayı, Gürpınar Fayı, Alaköy Fayı, Erciş-Karayazı Fayı, Van (Everek) Fayı, Yeni Köşk fayı, Özalp fayı vb. fay zonlarıdır [25, 27-29] (Şekil 1a). Tarihsel dönemde, Van ve çevresinde 1101 ile 1900 yılları arasında V-X şiddet aralığında depremler meydana gelmiştir [30-33]. Van Gölü havzası içerisinde aletsel dönem de pek çok deprem meydana gelmiştir (Şekil 1a). Bu depremler zaman zaman can ve mal kaybına neden olmuştur. Bunlardan en önemlileri 24 Aralık 1976 Çaldıran depremi (Mw=7.3) ve 23 Ekim 2011 Van depremidir (Mw=7.1).

3. Mikrotremor (H/V Spektral Oran, Nakamura) Yöntemi

Nakamura [5] tarafından geliştirilen bu yöntem tek istasyondaki mikrotremor kayıtlarının yatay bileşenin düşey bileşene spektral oranlaması şeklinde uygulanır. Bu nedenle Nakamura yöntemi, H/V spektral oran yöntemi veya tek istasyon mikrotremor yöntemi olarak adlandırılmaktadır. Yönteminde yüzey jeolojisinden kaynaklanan yerel etki yatay ve düşey bileşenlerin spektral oranı ile bulunur. H/V yöntemi yatay bileşenlerde kayıt edilen spektral genliklerin, düşey bileşende kayıt edilen genliklere göre normalize edilme işlemi olarak tanımlanabilir. Nakamura'ya [5] göre Rayleigh dalgaları mikrotremorları oluşturan dalga türüdür ve mikrotremorların yüzeye yakın trafik, şehir gürültüleri gibi titreşimlerden oluştuğunu varsaymaktadır.

Ana kaya ile üzerindeki sediman tabakaları arasındaki empedans farkı, bir yapı yerinde mikrotremor ölçümler ile zeminin temel rezonans frekansını belirlemede ana etkeni oluşturmaktadır. Bu etken kullanılarak, birbirinden farklı fiziksel yapıya sahip ortamlar arasındaki empedans farkı ve olası yerel zemin etkisi tanımlanabilir. Mikrotremor yöntemiyle ilgili teorik ve deneysel pek çok çalışma yapılmıştır [5, 7, 9, 10, 19-23, 34-49].



Şekil 1. Çalışma alanı ve çevresinde meydana gelen depremler ve bölgedeki faylar (a), inceleme alanındaki ölçüm noktaları ve D-B doğrultulu AB derinlik kesiti (b).

Çalışma alanında bölgenin baskın periyot/frekans ve büyütme değerlerinin belirlenmesi amacıyla 220 noktada tek istasyon mikrotremor ölçümleri yapılmıştır (Şekil 1b). Ölçümlerde Güralp CMG-6TD marka hızölçer mikrotremor cihazı ve ekipmanları kullanılmıştır. Mikrotremor verilerinin değerlendirilmesinde yatay bileşenin düşey bileşene spektral oranı (Nakamura Yöntemi, H/V oranı veya Tek istasyon mikrotremor) yöntemi kullanılmıştır. Mikrotremor kayıtlarında örnekleme aralığı 100 Hz, kayıt süresi 30 ile 60 dakika seçilerek veri alınmıştır. Elde edilen veriler Scream 4.5 programı ile sayısal olarak kaydedilmiş ve Geopsy [50] yazılımı kullanılarak değerlendirilmiştir. Her bir veri zaman ortamında elde edilen üç bileşen mikrotremor kayıtlarından oluşmaktadır. Veri işleminde ilk aşamada

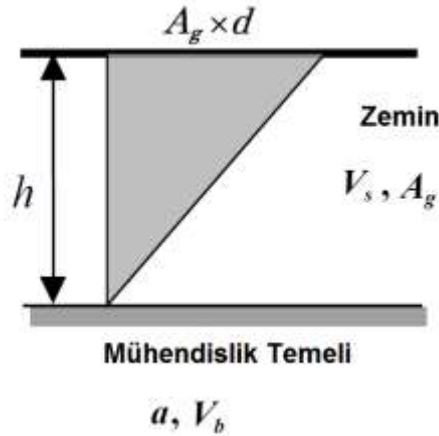
mikrotremor verilerinin trend etkisi giderilmiş, ardından bant geçişli süzgeç (0,1-20 Hz) uygulanmıştır. Filtrelenmiş veriler 25-30 saniyelik pencerele bölünerek %5 cosinüs taper uygulanmıştır. Her bir pencere için Hızlı Fourier Dönüşümü (FFT) uygulanarak her bir bileşene ait genlik spektrumları elde edilmiştir (Şekil 1b). Elde edilen spektrumlara Konno-Ohmachi yuvarlatması uygulanmıştır (band genişliği 40 seçilerek). Tüm bu veri işlem adımlarının ardından yatay bileşenlerin düşey bileşene oranı hesaplanarak H/V spektral oranları elde edilmiştir (Şekil 1b).

Mikrotremor yöntemi uygulamalarında uzun süreli (en az 30 dakika) veri alınması ortamdaki geçici gürültülerin etkisinin azaltılması ve yatay-düşey spektral oranın güvenilir bir şekilde elde edilebilmesi için son derece önemlidir. Bu çalışmada, ölçümler yağışsız, rüzgârsız havalarda ve mümkün oldukça sürekli titreşim üreten yüzey gürültü kaynaklarından uzak noktalarda alınmaya çalışılmıştır. Özellikle gürültü oranının fazla olduğu yerleşim bölgelerinde mikrotremor kaydı alınırken cihaz mümkün olduğunca cihaz yüksekliği seviyesinde toprağa gömülmüş ve üzeri kutu ile kapatılmıştır. Veri değerlendirmelerinde SESAME [51] kriterleri gözetilmiştir.

3.1. Sismik Zayıflık İndisi (K_g) ve Makaslama Deformasyonu (γ_e) Değerleri

Mikrotremor verilerinden elde edilen zemin büyütmesi ve periyotla ilişkili ve yapı-zemin etkileşimi açısından önemli bir diğer parametre Sismik Zayıflık İndisi (K_g) veya hasar indeksidir. Sismik zayıflık indisi (K_g), zemin dinamik özelliklerine bağlı olarak değişen bir parametredir. Bu parametre ile bir alanın kuvvetli yer hareketine karşı dayanıklı veya zayıf kalma durumunun noktasal olarak değerlendirilmesi yapılabilmektedir. Doğal salınım periyodu ve genlik büyütme katsayısı ile ilişkili olan bu parametre gerek yer gerekse yapı için hesaplanabilmektedir.

Nakamura [10] tarafından önerilmiş olan K_g , mikrotremor ölçümlerinin analizi sonucunda belirlenen büyütme ve hakim frekans değerleri kullanılarak hesaplanmaktadır ve hasar dağılımının tahmininde kullanılmaktadır. Yöntem temel olarak deprem nedeniyle oluşacak birim kayma deformasyonunun zemin hâkim frekansı ve bu frekandaki büyütme ile ilgili olduğunu göstermektedir. Birim kayma deformasyonunun yüksek oluşu hasarı doğrudan etkileyecektir. Ana kayanın kayma dalgası hızı sabit olduğu için bu durumda hasarı başka bir deyişle oluşacak birim kayma deformasyonunu ana kayadaki ivme ve üstündeki zeminin hâkim frekansı ve büyütme değeri belirleyecektir [9, 10].



Şekil 2. Sismik Zayıflık İndisi (K_g) yer modeli [9, 10]

Deprem dalgaları farklı genlik ve frekans/periyot içeriğine sahiptir. Bu farklılık yapı ve zemin üzerinde gerilmelere neden olur. Gerilme sınırının aşılması, yapı hasarında önemli rol oynar. Nakamura [8], K_g değerinin, yıkıcı bir depremden önce hem zemin hem de deprem hasarını tahmin etmek için kullanılabileceğini öne sürmüştür. Yüzey makaslama deformasyonu (γ) zemin tanımlamasında da yaygın olarak kullanılmaktadır. Ishihara [52] yüzey zemin deformasyonunun $\gamma \cong 10^{-3}$ değerlerinde doğrusal olmayan (plastik) davranışın, $\gamma > 10^{-2}$ olduğunda ise göçme gibi büyük deformasyon olaylarına neden olduğunu belirtmiştir.

Nakamura [9, 10] zemin ve yapıların olası bir deprem anında hasarını hesaplamak için Şekil 2'deki gibi bir yer modelini tasarlayarak K_g değerini önermiştir. K_g hesaplaması için yüzeydeki ortalama makaslama deformasyonu γ için;

$$\gamma = A_g \frac{d}{h} \quad (1)$$

eşitliği verilmiştir. Burada, h tabaka kalınlığı, A_g zemin tabakasının sismik genlik büyütmesi, d ise mühendislik temelindeki sismik yer değiştirir. V_s zemin tabakasının, V_b mühendislik temelinin S-dalga hızı olmak üzere mühendislik temeli üzerinde yer alan zeminin baskın titreşim frekansı, F_g için [9, 10]:

$$F_g = \frac{V_b}{(4A_g h)} \quad (2)$$

ifadesini vermiştir. Deprem nedeniyle temel kayada oluşacak ivmesi ve d yer değiştirmesi için:

$$\begin{aligned} a &= w^2 d = (2\pi F_g)^2 d \\ d &= a / (2\pi F_g)^2 \end{aligned} \quad (3)$$

(2) ve (3) denklemleri (1) ifadesinde yazılırsa

$$\begin{aligned} \gamma &= \frac{A_g \alpha_b}{(2\pi F_g)^2} 4A_g \frac{F_g}{C_b} \\ &= \frac{A_g^2 \alpha_b}{F_g \pi^2 C_b} \\ &= c K_g \alpha_b \end{aligned} \quad (4)$$

elde edilir. Yüzeğe yakın zemin tabakalarında kuvvetli yer hareketi sırasında oluşacak efektif makaslama deformasyonları (γ_e), Sismik Zayıflık İndisi (K_g) ve sismik ana kayanın en büyük yatay ivme değerine bağlı olarak eşitlik 4 ile hesaplanabilmektedir. e , katsayısı kuvvetli yer hareketinin verimliliğini tanımlar ve deprem sırasında oluşan dinamik kuvvetin statik kuvvete oranı olarak tanımlanmış olup, $e=0.60$ olarak verilmektedir [10]. Burada;

$$\begin{aligned} c &= \frac{e}{\pi^2 v_b} \\ K_g &= \frac{A_g^2}{F_g} \end{aligned} \quad (5)$$

şeklindedir ve (5) denklemi Sismik Zayıflık İndisi olarak adlandırılır.

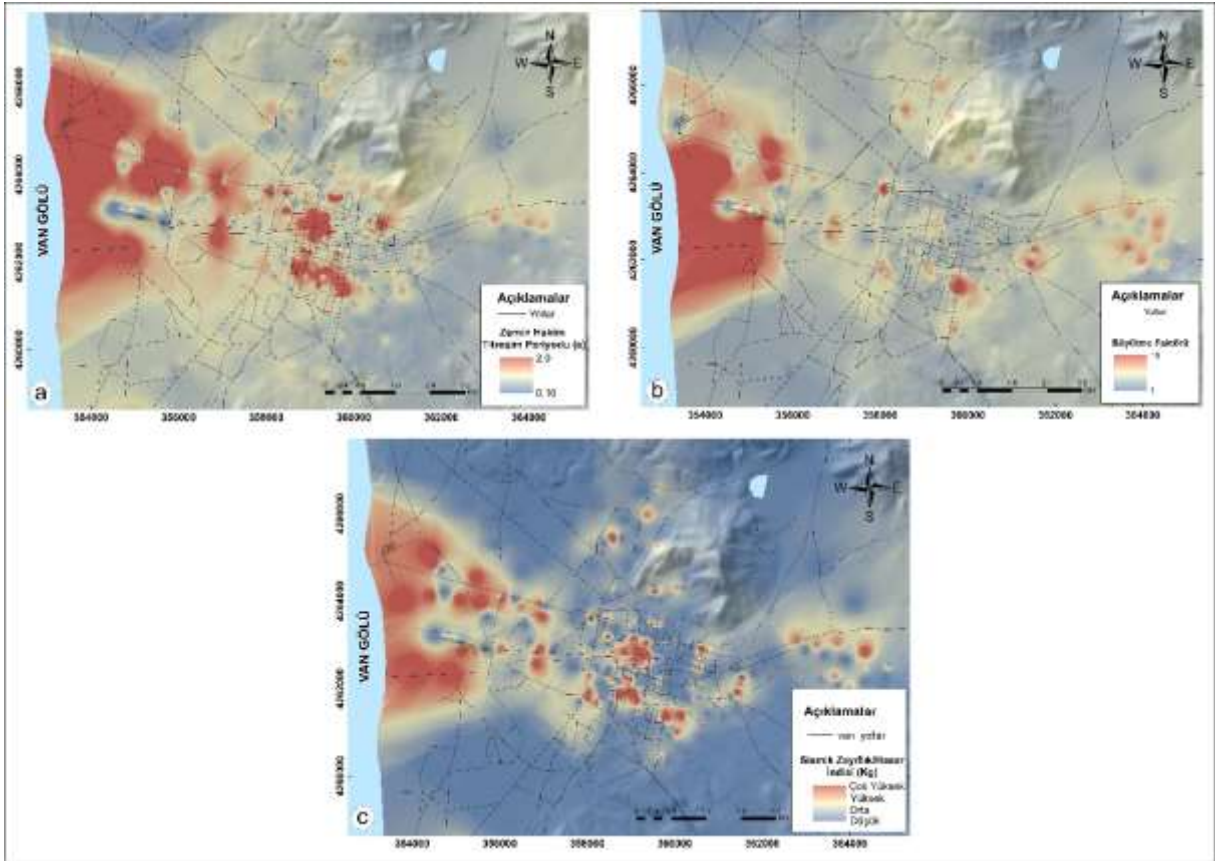
4. Bulgular ve Tartışma

Çalışma alanında 220 farklı noktalarda alınan mikrotremor ölçümlerinden zemin hâkim titreşim frekansı/periodyu, yatay-düşey genlik büyütme oranı ve Sismik Zayıflık İndisi değerleri belirlenmiş ve haritalanmıştır (Şekil 3).

Bilindiği gibi zemin hakim titreşim periyodunun yüksek (frekansının düşük) olduğu bölgeler alüvyon kalınlığının fazla olduğu yumuşak zeminleri, titreşim periyodunun düşük (frekansın yüksek) olduğu bölgeler ise alüvyon kalınlığının az olduğu sıkı/sert zeminleri veya kaya birimleri temsil etmektedir. Çalışma alanı için elde edilen zemin hakim titreşim periyotları incelendiğinde, Van ili yerleşim alanının merkez kesimlerinde ve özellikle de Van Gölüne yakın kesimlerinde yüksek titreşim periyodu değerleri (1.2-2 s), yerleşim alanının güney ve doğu kesimlerinde ise düşük titreşim periyodu (0,3-0,1 s) değerleri elde edilmiştir (Şekil 3a). Topoğrafyanın yükseldiği yamaç kesimlerde elde edilen periyot değerleri bu bölgelerde ana kayanın sığ derinliklerde olduğunun göstergesidir. Bölgesel jeoloji ve morfoloji incelendiğinde elde edilen bu sonuçların jeolojik yapıyla uyumlu olduğu görülmektedir.

Şekil 3b’de verilen büyütme haritası incelendiğinde ise Van Gölüne yakın kesimlerde büyütme değerinin yükseldiği görülmektedir. Aynı alanlardaki periyot değerlerinin de yüksek (Şekil 3a) olması bu kesimlerin zayıf özellikte zeminlerden oluştuğunu işaret etmektedir. Van ili yerleşim alanının güney ve doğu kesimlerinde ise büyütme değerlerinin azaldığı görülmektedir (Şekil 3b).

Çalışması kapsamında da sismik zayıflık indisi/hasar indisi (Kg) değeri yapılan mikrotremor ölçümleri neticesinde elde edilen veriler kullanılarak, Nakamura’nın önerdiği Kg bağıntısı yardımıyla hesaplanmıştır (Eş 5, Şekil 3c). Zayıflık indeksi (Kg) haritalarında; Kg’nin 10’dan büyük değerleri için çok yüksek, 3’ten küçük değerleri için düşük, ara değerlerde ise orta olmak üzere sınır değerler olarak kullanılmıştır.

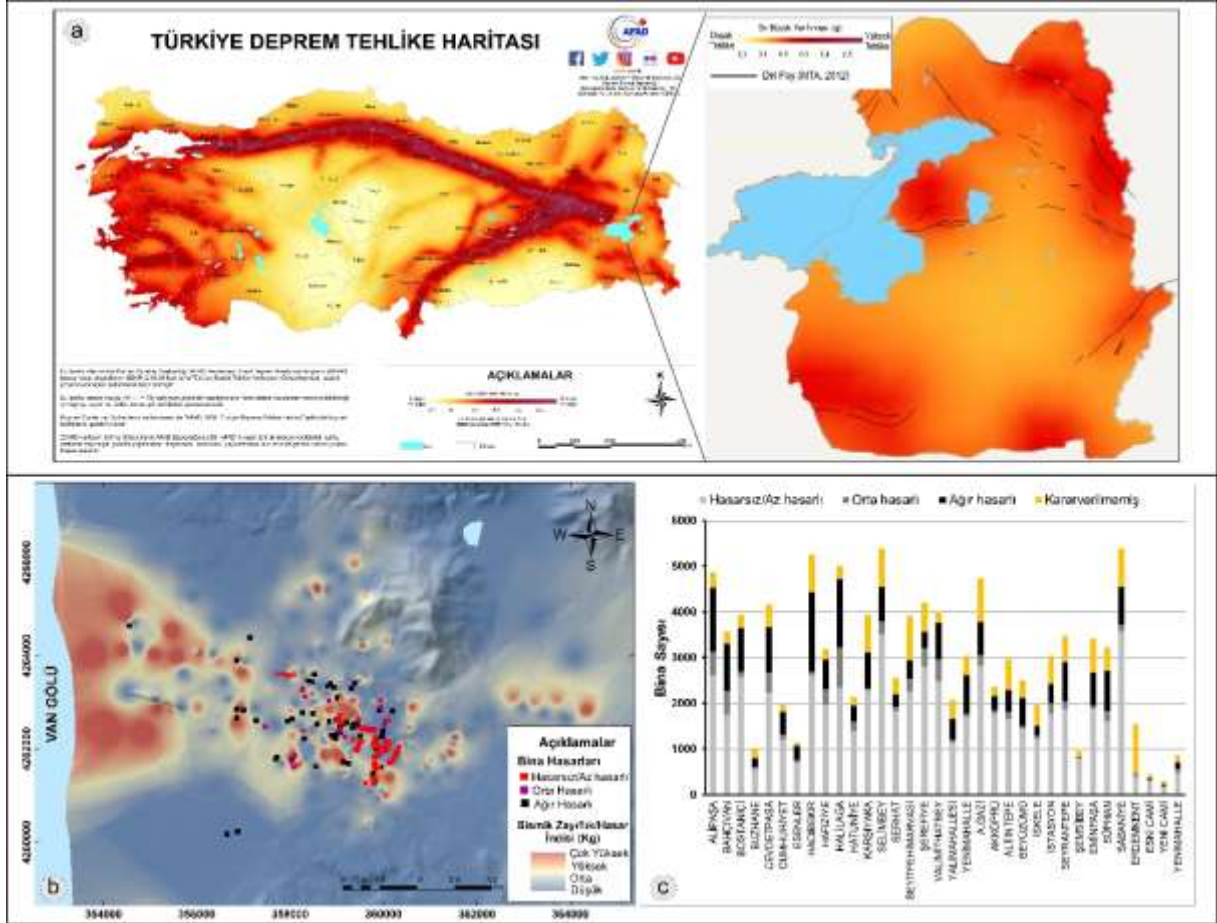


Şekil 3. Van ili yerleşim alanı ve çevresinde ölçülen mikrotremor verileri sonucu elde edilen zemin hakim titreşim periyot haritası (a), zemin büyütme haritası (b) ve sismik zayıflık indisi (Kg) haritası (c).

Çalışma alanı için hesaplanan sismik zayıflık indisi/hasar indeksi (Kg) haritası incelendiğinde, özellikle Van Gölüne yakın kesimlerde ve yapı yoğunluğunun olduğu merkez bölgelerde sismik zayıflık indisinin yüksek olduğu belirlenmiştir (Şekil 3c).

2019 yılında yürürlüğe giren Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğindeki (TBDY [53]) spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığının %10 ve buna karşı gelen tekrarlanma periyodunun 475 yıl olduğu seyrek deprem yer hareketini niteleyen ve standart tasarım deprem yer hareketi olarak da adlandırılan DD-2 deprem yer hareketi için hazırlanan Türkiye Deprem Tehlike Haritasında [54] Van ili yerleşim alanı ve çevresi 0.2-0.5 g ivme aralığında yer almaktadır (Şekil 4a). Bölgenin hasar

yaratabilecek büyük deprem potansiyeli ve göreceli olarak yüksek ivmeye maruz kalma durumu çalışmada değerlendirilmiştir. Bununla birlikte 2011 Van depremlerinden sonra AFAD tarafından incelemeleri yapılan toplam 102592 binanın % 58.29'unun hasarsız veya az hasarlı, % 6.44'ünün orta hasarlı, % 20.03'ünün ağır hasarlı olduğu tespit edilmiştir (Tablo 1, Şekil 4c). Bu hasarlı bina incelemelerinin yanı sıra Van yerleşim alanı içerisindeki 188 binada da hasar değerlendirmesi yapılmış [55-57] ve Şekil 4b'de verilen sismik zayıflık indisi (Kg) haritası üzerinde işaretlenmiştir. Şekil 4b incelendiğinde mikrotremör verilerinden elde edilen Kg değerleriyle orta ve ağır hasarlı binaların yüksek oranda eşleştiği görülmektedir. 2011 Van depremlerinden sonra AFAD tarafından değerlendirilen 20547 ağır hasarlı bina olduğu ve bunlarında haritaya işlendiği düşünülürse, hasarlı binalarla Kg arasındaki uyum daha da artacaktır. Elbette yapı hasarını etkileyen faktörlerden yerel zemin koşulları, depremin kaynak özellikleri ve yapı özellikleri bu durumu etkileyici unsurlar olarak göz ardı edilmemelidir.



Şekil 4. Deprem Tehlike Haritası (AFAD, 2018) ve Van ili yerleşim alanı ve çevresinin tehlike haritası (a), Van ve çevresinin Sismik Hasar İndeksi ve hasarlı bina yerleri (b), 2011 Van depremi sonrası AFAD tarafından incelenen binaların mahalle bazlı hasar durumları (c).

Tablo 1. 2011 Van Depremi Sonrası AFAD Tarafından Değerlendirilen Binaların Hasar Durumu

Hasarsız/Az hasarlı		Orta hasarlı		Ağır hasarlı		Karar verilmemiş		Toplam
Bina sayısı	% Hasar	Bina sayısı	% Hasar	Bina sayısı	% Hasar	Bina sayısı	% Hasar	
59796	58.29	6607	6.44	20547	20.03	15642	15.25	102592

Bu çalışmada Nakamura [9,10] tarafından zeminlerin olası bir deprem anında hasarını hesaplamak için önerdiği yüzeydeki efektif makaslama deformasyonu (γ_e) değerleri eşitlik 4 kullanılarak tüm mikrotremör ölçüm noktaları için hesaplanmıştır. Zemin dinamik davranış analizleri, Nakamura [10] tarafından verilen (Şekil 2) yatay tabakalı zemin modelindeki temel kayasında tanımlanan deprem yer hareketi altında doğrusal olmayan dinamik zemin özellikleri esas alınarak yapılmıştır. Mühendislik temel kaya kayma dalgası hızı (V_b), Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğindeki (TBDY) yerel zemin

sınıflamasında önerildiği gibi 760 m/s alınmıştır [53]. Eşitlik 4 kullanılarak kuvvetli yer hareketinin verimliliğini tanımlayan e katsayısı 0.60 için $C=8 \times 10^{-5}$ s/m elde edilmiştir.

Çalışma alanında Şekil 1’de verilen D-B doğrultulu AB derinlik kesiti için, mikrotremor ölçümlerine göre hesaplanan Kg değerleri, c katsayısı ile birlikte değerlendirilerek, mühendislik temel kaya ivmesinin (α_b) 0.15 - 0.40 g değer aralığı için yüzeye yakın zemin tabakalarındaki makaslama deformasyonları (γ_e) hesaplanmış ve sonuçlar Tablo 2’de verilmiştir. TBDY’nde tekrarlanma periyodunun 475 yıl olduğu standart tasarım deprem yer hareketi için hazırlanan Türkiye Deprem Tehlike Haritasında [54] Van ili yerleşim alanı ve çevresi 0.2-0.4 g ivme aralığında yer aldığı için Tablo 2’deki hesaplamalar bu aralıkta yapılmıştır. A-B profilinde ölçülen mikrotremor analizleri sonucunda Kg değerleri 0.46~40.54 arasında değiştiği hesaplanmıştır. Makaslama deformasyonlarının (γ_e) ise temel kaya ivmesine bağlı olarak %0.0055 ile %1.297 arasında değiştiği belirlenmiştir.

Tablo 2. Çalışma alanında doğu-batı doğrultulu A-B profilinde elde edilen verilerin analiz sonuçları

Ölçü No	Enlem X	Boylam Y	Büyütme A_g	Hâkim Periyot T_0 (s)	Sismik Zayıflık İndisi Kg	Makaslama Deformasyonu (γ_e) (%)						Subaşı [6] γ_{1D}
						0.15 g	0.2 g	0.25 g	0.3 g	0.35 g	0.4 g	
17	364805	4262270	2.45	0.30	1.80	0.0216	0.0288	0.0360	0.0432	0.0504	0.0576	0.0404
26	363722	4262082	3.20	0.55	5.63	0.0676	0.0901	0.1126	0.1352	0.1577	0.1802	0.1180
46	361520	4262240	4.62	1.27	27.11	0.3252	0.4337	0.5421	0.6505	0.7589	0.8673	0.5169
86	359350	4262313	2.60	0.60	4.06	0.0487	0.0649	0.0811	0.0973	0.1136	0.1298	0.0867
107	358841	4262395	3.80	0.74	10.69	0.1282	0.1709	0.2137	0.2564	0.2992	0.3419	0.2155
162	359340	4262542	2.90	0.38	3.20	0.0383	0.0511	0.0639	0.0767	0.0895	0.1023	0.0693
216	360441	4262267	4.20	0.43	7.59	0.0910	0.1213	0.1517	0.1820	0.2124	0.2427	0.1561
224	359623	4262510	2.85	0.50	4.06	0.0487	0.0650	0.0812	0.0975	0.1137	0.1299	0.0868
226	356444	4262824	3.67	0.50	6.73	0.0808	0.1077	0.1347	0.1616	0.1885	0.2155	0.1396
229	358212	4262499	3.16	0.65	6.49	0.0779	0.1038	0.1298	0.1558	0.1817	0.2077	0.1348
252	354448	4262899	5.50	1.34	40.54	0.4864	0.6485	0.8106	0.9727	1.1348	1.2970	0.7545
258	356040	4262889	3.23	0.65	6.82	0.0818	0.1091	0.1364	0.1636	0.1909	0.2182	0.1413
314	358969	4262661	4.40	0.90	17.42	0.2091	0.2788	0.3484	0.4181	0.4878	0.5575	0.3412
315	358876	4262621	3.96	0.78	12.23	0.1468	0.1957	0.2446	0.2935	0.3424	0.3914	0.2446
322	355647	4262924	2.04	0.11	0.46	0.0055	0.0073	0.0092	0.0110	0.0128	0.0146	0.0112
min			2.04	0.11	0.46	0.0055	0.0073	0.0092	0.0110	0.0128	0.0146	0.0112
max			5.50	1.34	40.54	0.4864	0.6485	0.8106	0.9727	1.1348	1.2970	0.7545

Çalışmada ayrıca Subaşı [6] tarafından bir boyutlu eşdeğer doğrusal dinamik analizlerden elde edilen kayma birim şekil değiştirmeleri (γ_{1D}) ile mikrotremor ölçümlerinden elde edilen makaslama deformasyonları (γ_e) arasında eşitlik 6 da verilen deneysel bir ilişki önerilmiştir.

$$\gamma_{1D} = 5.5 \times 10^{-5} (a_b A_g^2 T_0)^{0.94} \tag{6}$$

Bağıntıda, a_b g cinsinden temel kayadaki en büyük yatay ivme, A_g ve T_0 ise mikrotremor kayıtlarından elde edilen büyütmesi ve hakim periyot değerlerini göstermektedir. Çalışma alanı için eşitlik 6 kullanılarak kayma birim şekil değiştirmeleri (γ_{1D}) hesaplanmıştır (Tablo 2). Kullanılan en büyük temel kaya ivme değerine göre makaslama deformasyonu seviyeleri %0.011~0.7545 aralığında değerlere sahiptir. Ishihara [58] tarafından verilen zemin hasarlarında oluşan makaslama deformasyonu seviyesine bağlı zemin davranışı (Tablo 3) tablosuna göre kuvvetli yer hareketi sırasında yüzeye yakın zemin tabakasında elasto-plastik davranışın etkin olacağı anlaşılmaktadır. Çalışma alanında özellikle Van Gölüne yakın kesimlerinde hem gevşek-suya doymuş zemin yapısı hem yapı kalitesi hem de yüksek Kg değerlerinin elde edilmesi (şekil 4b) olası büyük bir depremde ortaya çıkabilecek yüksek ivme

değerlerinde makaslama deformasyonu seviyesine bağlı zemin davranışı hasara neden olan plastik davranış ve göçme davranışına dönüşebilir.

Tablo 3. Makaslama deformasyonu seviyesine bağlı zemin davranışının değişimi (Ishihara [58]).

Deformasyon Seviyesi, γ (%)	10^{-6}	10^{-5}	10^{-4}	10^{-3}	10^{-2}	10^{-1}	1
Olay	Dalga yayılımı, titreşim		Çatlaklar, farklı oturma		Şev kayması, sıkışma, sıvılaşma		
Dinamik Özellik	Elastik		Elasto-plastik		Göçme		

4. Sonuç ve Öneriler

Çalışmada, Van ili yerleşim alanı ve çevresi için mikrotremor verilerinin H/V spektral oranından elde edilen zemin hakim titreşim periyodu ve büyütme değerleri kullanılarak hesaplanan sismik zayıflık indisinin (Kg) deprem sırasında zemin yüzeyinde oluşacak elastik davranış hakkında ön bilgi olarak kullanılabilirliği incelenmiştir. Kg değerleriyle zemin özelliklerine bağlı olarak alanın kuvvetli yer hareketine karşı dayanıklı veya zayıf kalma durumunun noktasal olarak değerlendirilmesi yapılabilmektedir. Mikrotremor verilerinden elde edilen periyot, büyütme ve Kg değerler için dağılım haritaları oluşturulmuştur. Kg değerlerinin 10'dan büyük olduğu bölgeler deprem sırasında zemin yüzeyinde dayanım kayıplarına bağlı olarak kayma ve göçme oluşabilecek alanlar olarak değerlendirilmiştir.

Büyütme haritası incelendiğinde ise Van Gölüne yakın kesimlerde büyütme değerinin yükseldiği görülmektedir. Aynı alanlardaki periyot değerlerinin de yüksek olması (1.2-2 s) bu kesimlerin zayıf özellikte zeminlerden oluştuğunu işaret etmektedir. Van ili yerleşim alanının güney ve doğu kesimlerinde ise büyütme ve periyot (0,3-0,1 s) değerlerinin azaldığı görülmektedir. Çalışma alanı için hesaplanan sismik zayıflık indisi/hasar indeksi (Kg) haritası incelendiğinde, özellikle Van Gölüne yakın kesimlerde ve yapı yoğunluğunun olduğu merkez bölgelerde sismik zayıflık indisinin yüksek olduğu belirlenmiştir. 2011 Van depremi (Mw=7.1) sonrası bölgede incelenen binaların hasar durumları oluşturulan zayıflık indisi haritasına yerleştirilmiş ve yapıların hasar durumlarının zayıflık indeksi yüksek oranda eşleştiği görülmüştür.

Çalışmada ayrıca, zemin yüzeyindeki makaslama deformasyon değerleri hesaplanmıştır. Kg değerleri ile makaslama deformasyon değişimlerinin uyumlu olduğu gözlenmiştir. Mikrotremor verilerinden elde edilen Kg değerleri ile makaslama deformasyon değişimleri hakkında ön bilgi sağlanabileceği görülmüştür. Elde edilen bulgular yapısal hasarlarda yapı kalitesinin yanı sıra zemin tabakalarının dinamik davranışlarının ve yerel zemin koşullarının da etkili olduğunu bir kez daha ortaya koymuştur.

2011 Van depremleri sonrası bölgede hasar gören binalar gözetildiğinde yapıların hasar durumlarının zayıflık indeksi ile ilişkili olabileceği gözlenmiştir. Gerek zemin gerekse yapı zayıflık indis değeri arttıkça hasar görme derecesi de artacaktır. Bunun daha doğru olarak ortaya konulabilmesi için zemin için elde edilen bu sismik zayıflık indisinin yanı sıra yapılar içinde zayıflık indislerinin belirlenmesi gerekmektedir.

Teşekkür

Çalışmaya hem arazi aşamasında hem de düzenleme konusundaki desteklerinden dolayı Doç. Dr. Ali ÖZVAN'a, binaların hasar değerlendirmelerindeki desteklerinden dolayı Dr. Öğr. Üyesi Barış ERDİL'e, Van depremleri sonrası yapılan hasar değerlendirmelerini paylaşan AFAD Van il Müdürlüğüne ve makalenin kalitesini artıran yapıcı yorumları için hakemlere teşekkürü bir borç bilirim.

Yazarların Katkısı

Çalışmada tüm katkı yazara aittir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar

- [1] Ansal A. 1999. The Cyclic Behavior of Soils and Effects of Geotechnical Factors During 17 August 1999 Kocaeli Earthquake, Earthquake Hazard and Risk in the Mediterranean Region. Nicosia, 1: 89-104.
- [2] Saita J., Nakamura Y., Sato T. 2012. Liquefaction caused by the 2011 off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake and the Result of the Prior Microtremor Measurement. 15th World Conference on Earthquake Engineering, Lisboa, Portugal.
- [3] Kanai K., Tanaka T. 1954. On microtremors I. Bulletin of the Earthquake Research Inst., 32: 199-209.
- [4] Kanai K., Tanaka T. 1961. On Microtremors VIII. Bulletin of Earthquake Res. Inst., University of Tokyo, 39: 97-114.
- [5] Nakamura Y. 1989. A Method for Dynamic Characteristics Estimation of Subsurface Using Microtremor on the Ground Surface. QR of RTRI, 30: 25-33.
- [6] Subaşı O., Haşal M.E., Özasan B., İyisan R., Yamanaka H., Chimoto K. 2019. Bir Boyutlu Dinamik Analiz ve Mikrotremor Ölçüm Sonuçlarının Karşılaştırılması. Teknik Dergi, 552: 9459-9481.
- [7] Bard P.Y. 1998. Microtremor Measurements: A Tool for Site Effect Estimation. Proceedings of 2nd International Symposium on the Effect of Surface Geology on Seismic Motion, 1-3 Dec, Yokohama, Japan, 3: 1251-1279.
- [8] Nakamura Y. 1997. Seismic Vulnerability Indices for Ground and Structures Using Microtremor. World Congress on Railway Research, Florence. Italy.
- [9] Nakamura Y. 2000. Clear Identification of the Fundamental Idea of Nakamura's Technique and Its Applications. In: 12th World Conference on Earthquake Engineering, New Zealand (CD-ROM), Paper No. 2656.
- [10] Nakamura Y. 2008. On the H/V Spectrum. The 14th World Conference on Earthquake Engineering, Beijing, China.
- [11] Şengör A.M.C., Kidd W.S.F. 1979. Post-Collisional Tectonics of the Turkish–Iranian Plateau and a Comparison with Tibet. Tectonophysics, 55: 361-376.
- [12] Şaroğlu F., Yılmaz Y. 1986. Doğu Anadolu’da Neotektonik Dönemdeki Jeolojik Evrim ve Havza Modelleri. MTA Genel Müdürlüğü, Jeoloji Etütleri Dairesi, Ankara.
- [13] Degens E.T., Wong H.K., Kempe S., Kurtmann F. 1984. A Geological Study of Lake Van, Eastern Turkey. Geol. Rundsch, 73 (2): 701-734.
- [14] Acarlar M., Bilgin A.Z., Elibol E., Erkan T., Gedik İ., Guner E., Hakyemez Y., Şen A.M., Uğuz M.F., Umut M. 1991. Van Gölü Doğusu ve Kuzeyinin Jeolojisi. MTA Rapor No. 9469, Ankara, 94 s (yayımlanmamış).
- [15] Özvan E.E. 2019. Van/Bardakçı bölgesi zeminlerinde arazi deneyleri ve laboratuvar deneyleri arasındaki ilişkilerin belirlenmesi. Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- [16] Yılmaz Y., Şaroğlu F., Güner Y. 1987. Initiation of neomagmatism in east Anatolia. Tectonophysics, 134: 177-199.
- [17] Özvan A., Akkaya İ., Tapan M., Şengül M.A. 2005. Van yerleşkesinin deprem tehlikesi ve olası bir depremin sonuçları. Deprem Sempozyumu, 23-25 Mart 2005, Kocaeli.
- [18] Özvan A., Şengül M.A., Tapan M. 2008. Van Gölü Havzası Neojen Çökellerinin Jeoteknik Özelliklerine Bir Bakış: Erciş Yerleşkesi. Ç.Ü. Yerbilimleri Dergisi (Geosound), 52: 297-310.
- [19] Akkaya İ. 2015. The Application of HVSr Microtremor Survey Method in Yüksekova (Hakkâri) Region, Eastern Turkey. Journal of African Earth Sciences, 109: 87-95.

- [20] Akkaya İ., Özvan A., Tapan M., Şengül M.A. 2015. Determining the Site Effects of 23 October 2011 Earthquake (Van province, Turkey) on the Rural Areas Using HVSR Microtremor Method. *Journal of Earth System Science*, 124 (7): 1429-1443.
- [21] Akkaya İ., Özvan A., Akın M., Akın M.K., Övün U. 2017. Kayma Dalgası Hızı (Vs) Kullanılarak Erciş (Van) Yerleşim Alanının Sıvılaşma Potansiyelinin Değerlendirilmesi. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 32 (3): 55-68.
- [22] Akkaya İ., Özvan A., Akın M., Akın M.K., Övün U. 2018. Comparison of SPT and Vs-Based Liquefaction Analyses: A Case Study in Erciş (Van, Turkey). *Acta Geophysica*, 66: 21-38.
- [23] Akkaya İ., Özvan A. 2019. Site Characterization in the Van Settlement (Eastern Turkey) Using Surface Waves and HVSR Microtremor Methods. *Journal of Applied Geophysics*, 160: 157-170.
- [24] Bozkurt E. 2001. Neotectonics of Turkey-a Synthesis. *Geodin. Acta*, 14: 3-30.
- [25] Koçyiğit A., Yılmaz A., Adamia S., Kulashvili S. 2001. Neotectonics of East Anatolian Plateau (Turkey) and Lesser Caucasus: Implication for Transition from Thrusting to Strike-Slip Faulting. *Geodinamica Acta*, 14: 177-195.
- [26] Cukur D., Krastel S., Tomonaga Y., Schmincke H-U., Sumita M., Meydan A.F., Cagatay M.N., Toker M., Kim S-P., Kong G-S., Horozal S. 2016. Structural Characteristics of the Lake Van Basin, Eastern Turkey, from High-Resolution Seismic Reflection Profiles and Multibeam Echosounder Data: Geologic and Tectonic Implications. *Int. J. Earth Sci. (Geol Rundsch)*, <http://dx.doi.org/10.1007/s00531-016-1312-5>.
- [27] Emre Ö., Duman T.Y., Özalp S., Elmacı H., Olgun Ş., Şaroğlu F. 2013. 1/1.250.000 Ölçekli Türkiye Diri Fay Haritası, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Özel Yayınlar Serisi, Ankara, Türkiye.
- [28] Selçuk A.S. 2016. Evaluation of the Relative Tectonic Activity in the Eastern Lake Van Basin, East Turkey. *Geomorphology*, 270: 9-21.
- [29] Toker M., Şengör A. M.C., Demirel-Schlueter F., Demirbağ E., Çukur D., İmren C., Niessen F., PaleoVan-Working Group. 2017. The Structural Elements and Tectonics of the Lake Van basin (Eastern Anatolia) from Multi-Channel Seismic Reflection Profiles. *Journal of African Earth Sciences*, 129: 165-178.
- [30] Ergin K., Güçlü U., Uz Z. 1967. Türkiye ve Civarının Deprem Kataloğu (MS. 11-1964), İstanbul. İstanbul Teknik Üniversitesi Maden Fakültesi Arz Fiziği Enstitüsü yayınları, No: 28.
- [31] Soysal H., Sipahioğlu S., Kolçak D., Altınok Y. 1981. Türkiye ve Çevresinin Tarihsel Deprem Kataloğu (2100 B.C.–1900 A.D.). TÜBİTAK raporu, No: TBAG-341.
- [32] Ambraseys N.N., Finkel C.F. 1995. The Seismicity of Turkey and Adjacent Areas: A Historical Review, 1500-1800, İstanbul. Eren publishing & booktrade.
- [33] Tan O., Tapırdamaz M.C., Yörük A. 2008. The Earthquakes Catalogues for Turkey. *Turkish Journal of Earth Science*, 17: 405-418.
- [34] Field E.H., Jacob K.H. 1993. The Theoretical Response of Sedimentary Layers to Ambient Seismic Noise. *Geophys Res Lett.*, 20-24: 2925-2928.
- [35] Field E.H., Jacob K.H. 1995. A Comparison and Test of Various Site-Response Estimation Techniques, Including Three That are not Reference-Site Dependent. *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 85 (4): 1127-1143.
- [36] Lermo J., Chavez-Garcia F.J. 1994. Are Microtremors Useful in Site Response Evaluation? *Bulletin of the Seismological Society of America*, 84: 1350-1364.
- [37] Lachet C., Bard P.Y. 1994. Numerical and Theoretical Investigations on the Possibilities and Limitations of Nakamura's Technique. *Journal of Physics of the Earth*, 42: 377-397.
- [38] Gitterman Y., Zaslavsky Y., Shapira A., Shtivelman V. 1996. Empirical Site Response Evaluations: Case Studies in Israel. *Soil Dynamics Earthquake Engineering*, 15: 447-463.
- [39] Mucciarelli M. 1998. Reliability and Applicability of Nakamura's Technique Using Microtremors: An Experimental Approach. *Journal of Earthquake Engineering*, 2: 1-14.
- [40] Konno K., Ohmachi T. 1998. Ground-Motion Characteristics Estimated from Spectral Ratio Between Horizontal and Vertical Components of Microtremor. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 88: 228-241.
- [41] Delgado J., Lopez Casado C., Giner J., Estevez A., Cuenca A., Molina S. 2000. Microtremors as a Geophysical Exploration Tool: Applications and Limitations. *Pure and Applied Geophysics*, 157: 1445-1462.

- [42] Okada H. 2003. Microtremor Survey Method. SEG Geophysical Monograph Series No. 12, (translated by Koya Suto), Society of Exploration Geophysicists.
- [43] Dikmen Ü., Mirzaoğlu M. 2005. The Seismic Microzonation Map of Yenisehir-Bursa, NW of Turkey by Means of Ambient Noise Measurements. *Balkan Geophysical Society*, 8 (2): 53-62.
- [44] Özalaybey S., Zor E., Ergintav S., Tapırdamaz M.C. 2011. Investigation of 3-D Basin Structures in the İzmit Bay Area (Turkey) by Single station Microtremor and Gravimetric Methods. *Geophysical Journal International*, 186: 883-894.
- [45] Pamuk E., Akgün M., Özdağ Ö.C., Gönenç T. 2017. 2D Soil and Engineering-Seismic Bedrock Modeling of Eastern Part of Izmir Inner Bay/Turkey. *Journal of Applied Geophysics*, 137: 104-117.
- [46] Pamuk E., Özdağ Ö.C., Özyalın Ş., Akgün M. 2017. Soil Characterization of Tınaztepe Region (İzmir/Turkey) Using Surface Wave Methods and Nakamura (HVSR) Technique. *Earthquake Engineering and Engineering Vibration*, 16 (2): 447-458.
- [47] Silahtar A., Budakoğlu E., Horasan G., Yıldırım E., Küyük H.S., Yavuz E., Çaka D. 2016. Investigation of Site Properties in Adapazarı, Turkey, Using Microtremors and Surface Waves. *Environ Earth Sci*, 75: 1354, DOI 10.1007/s12665-016-6151-y.
- [48] Tün M., Pekkan E., Özel O., Güney Y. 2016. An Investigation into the Bedrock Depth in the Eskişehir Quaternary Basin (Turkey) Using the Microtremor Method, *Geophys. J. Int.*, 207: 589-607.
- [49] Livaoğlu H., Irmak T.S., Güven I.T. 2017. Seismic Vulnerability Indices of Ground for Değirmendere (Kocaeli Province, Turkey). *Bull Eng Geol Environ*, DOI 10.1007/s10064-017-1102-8.
- [50] GEOPSY 1997. Geophysical Signal Database for Noise Array Processing, www.geopsy.org (Erişim Tarihi: 10.07.2018).
- [51] SESAME 2004. Guidelines for the Implementation of the H/V Spectral Ratio Technique on Ambient Vibrations: Measurements, Processing and Interpretation SESAME European Research Project P12-Deliverable. D23.12 [ftp://ftp.geo.uib.no/pub/seismo/Software/Sesame/Userguidelines/Sesame-HV-UserGuide lines.doc](ftp://ftp.geo.uib.no/pub/seismo/Software/Sesame/Userguidelines/Sesame-HV-UserGuide%20lines.doc).
- [52] Ishihara K. 1982. Evaluation of Soil Properties for Use in Earthquake Response Analysis. *Proc. International Symp. On Num. Model in Geomechanics*, 237-259.
- [53] Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY) 2018. Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara.
- [54] AFAD 2018. Türkiye Deprem Tehlike Haritası. <https://tdth.afad.gov.tr/> (Erişim Tarihi: 20.12.2019).
- [55] Erdil B., Ceylan H. 2019. MVP Interaction Based Seismic Vulnerability Assessment of RC Buildings. *Gradevinar*, 71: 489-503.
- [56] Erdil B., Ceylan H. 2019. A Detailed Comparison of Preliminary Seismic Vulnerability Assessment Methods for RC Buildings. *Iranian Journal of Science and Technology-Transactions of Civil Engineering*, 43: 711-725.
- [57] Akkaya İ. 2020. Availability of Seismic Vulnerability Index (Kg) in the Assessment of Building Damage in Van, Eastern Turkey. *Earthquake Engineering and Engineering Vibration*, 19: 189-204.
- [58] Ishihara K. 1996. *Soil Behaviour in Earthquake Geotechnics*. Oxford Engineering Science Series, Oxford University Press, U.K.

Araştırma Makalesi / Research Article

Farklı Kaynak Parametrelerinde Sürtünme Kaynağı ile Birleştirilmiş AISI304/AISI5140 Çelik Çiftlerinin Mekanik ve Mikroyapılarının Araştırılması

Edip ÇETKİN*

*Batman Üniversitesi, Elektrik ve Enerji Bölümü, Batman, Türkiye
(ORCID: 0000-0002-0217-5897)*

Öz

Yapılan çalışmada 1500, 1700 ve 1900 dev/dak devirlerinde ve 4, 6 ve 8 saniye sürtünme sürelerinde, sürtünme kaynak metodu ile AISI 304 paslanmaz çeliği ile AISI 5140 çeliğin birleşimi yapılmıştır. Birleşimi yapılan çelik çiftlerinin kaynak bölgeleri ve esas malzemelerin SEM görüntüleri alınmış olup, ayrıca kaynak için önemli olan bu bölgelerin mikrosertlik ölçümleri de yapılmıştır. Son olarak ASTM E8 standardına uygun olarak hazırlanan kaynaklı numuneler çekme yüküne tabi tutulmuştur. Sonuç olarak 1900 dev/dak devirde ve 8 saniye sürtünme süresinde yapılan birleştirmelerin ara kesitinde alınan numunenin SEM görüntüsünde daha düzgün bir birleşmenin olduğu ve bunun sonucunda çekme testlerinde de en iyi sonuçlar elde edildiği görülmüştür.

Anahtar kelimeler: AISI 304, AISI 5140, çekme testi, sürtünme kaynağı.

Investigation of Mechanical and Microstructures of AISI304/AISI5140 Steel Pairs Joined by Friction Welding at Different Welding Parameters

Abstract

In this study, AISI 304 stainless steel and AISI 5140 steel were joined in 1500, 1700 and 1900 rpm and 4, 6 and 8 seconds of friction times by friction welding method. Weld regions of the connection steel pairs and SEM images of the main materials were taken and microhardness measurements of these regions which were important for welding were also performed. Finally, welded specimens prepared in accordance with ASTM E8 were subjected to tensile load. As a result, it was seen that the SEM image of the specimen taken in the cross-section of the joints made at 1900 rpm and 8 seconds friction time had a good joining, and as a result, the best results were obtained in tensile tests.

Keywords: AISI 304, AISI 5140, tensile test, friction welding.

1. Giriş

Birleştirme, imalatın önemli bir alanıdır. Metal esaslı malzemelerin birleştirilmesi için çeşitli birleştirme teknikleri kullanılmaktadır. Bunlardan biri de bir katı hal kaynak yöntemi olan sürtünme kaynağıdır. Sürtünme kaynağı, aynı eksen üzerinde birbirileri ile temas edecek düzeye getirilmiş aynı veya farklı cinsten ve genellikle silindirik geometriye sahip iki parçanın alın alına sürtünmeyle meydana gelen ısıdan faydalanarak parçaların sürtünme yüzeylerinde parçaların birleşiminin sağlandığı bir katı hal kaynak metodudur. Sürtünme kaynağı ile birleştirme işleminde alın alına sürtünen yüzeyler arasında tam bir birleştirme işleminin sağlanabilmesi için bu parçalar belirli bir basınç altında olması gerekir. Bu işlem birleşimi sağlanacak parçalar için gerekli olan plastik şekil değişimi sıcaklığına erişene kadar devam eder. Daha sonra plastik şekil değişimi için gerekli olan ısıyı oluşturan basınç artırılarak birleşimi yapılacak parçaların ara yüzeylerinde ısıtılmış metal dışarıya doğru yığılır. Böylece birleşim bölgesi termo-mekaniksel bir işleme tabi tutulmuş olur ve bu bölgede iyi bir tane yapısı elde edilmiş olur [1].

*Sorumlu yazar: edip_cetkin@hotmail.com

Geliş Tarihi: 06.01.2020, Kabul Tarihi: 29.04.2020

Sürtünme kaynağı işleminde TIG, MIG ve MAG kaynağı gibi yöntemlerinde kullanılan ilave tel ve koruyucu gaz gerektirmez. Bunu ile beraber birbiri ile aynı eksen ve alın altına dönen silindirik parçaların birleştirilmesinde kullanılan bir kaynak yöntemi olan sürtünme kaynağının birçok avantajları vardır. Bunlar; kaynak işlemi için ihtiyaç olan enerjinin küçük olması, birleştirme işleminin kısa olması ve işlemin tam otomatik olarak yapılabilmesi, geleneksel kaynak işleminde olduğu gibi ekstradan malzemeye ihtiyaç duyulmaması ve bu metot ile aynı cinsten parçaların kaynağının yapılabilmesi gibi farklı cinsten parçaların kaynağı da yapılabilir [2-4].

Ünal ve ark. (2019), Sürtünme kaynak metodunu kullanarak farklı kaynak parametrelerinde birleştirilen AISI 316L / AISI 4140 malzemelerinin ara yüzeyinde oluşan mikroyapıyı araştırmışlardır. Araştırmacılar düşük dönme devrinde birleşmenin olmadığını ve dönme devrinin artmasıyla karıştırma bölgesinde deformasyonların arttığını belirtmişlerdir. Ayrıca dönme devrinin artmasıyla birleşme bölgesinde mikrosertliğinde arttığını vurgulamışlardır [5]. Sahin ve ark., (2004), AISI 304 paslanmaz çeliği ile 1040 orta karbonlu çeliğini farklı sürtünme basıncı ve farklı sürtünme zamanı kaynak parametrelerini kullanarak sürtünme kaynağı metodu ile birleştirmişlerdir. Daha sonra elde edilen kaynaklı numunelerin mekanik testleri ve mikroyapı incelemelerini yapmışlardır. Sonuç olarak kaynak parametre kombinasyonunun birleşiminin mikroyapı ve mekanik testleri üzerinde önemli bir etkisinin olduğunu belirtmişlerdir [6]. Chludzinski ve ark. (2017) 220 mm çapında ve 8 mm et kalınlığına sahip boru çiftlerini 12.7 mm et kalınlığına sahip ara halka kullanarak sürtünme kaynağı metodu ile birleştirmeler yapmışlar. Daha sonra mikroyapı, mikrosertlik ve kırılma tokluğu testlerini yapmışlardır. Testler neticesinde kaynak merkezinde maksimum sertliklerin elde edildiği ve ısı etkisi altındaki bölgelerde düşüşlerin olduğunu, mikroyapı görüntülerinde ise kaynak merkezinde aşırı ısınmış mikroyapı olduğunu ve son olarak kırılma tokluğunun ise ısı etkisi altındaki bölgede (ITAB) azaldığını belirtmişlerdir [7]. Sathiya ve ark. (2008) eşit çapta ve eşit uzunlukta östenit ve ferit paslanmaz çeliklerini farklı kaynak parametrelerinde sürekli tahrikli bir sürtünme kaynak makinesini kullanarak sürtünme kaynağı ile birleştirmişlerdir. Daha sonra kaynağı yapılan parçaların mikroyapı, mikrosertlik ve çekme testlerini yapmışlardır. Sonuç olarak fazla ısı girdisinin mikroyapıda tane irileşmesine neden olduğunu buna bağlı olarak kaynaklı parçaların çekme mukavemetinin ve mikrosertliğin de bundan etkilendiğini vurgulamışlardır [8]. Taban ve ark. (2010), Geleneksel kaynak metodu ile birleşimi zor olan 12.5 mm çaplarında AISI 1018 çeliği ile AA6061-T6 alüminyum alaşımını farklı kaynak parametrelerinde sürtünme kaynağı ile başarılı bir şekilde kaynak etmişlerdir. Elde edilen kaynaklı numunelerin mekanik testleri ve mikroyapı analizlerini yapmışlardır. 250 MPa bağlantı mukavemetlerini elde etmişlerdir. Mikroyapı görüntülerinde alüminyum tarafında daha fazla plastik deformasyonların olduğunu ve burada ince taba şeklinde Al-Fe intermetalik oluşumunu gözlemlemişlerdir. Ayrıca bu ara yüzeylerde çeliğin ve alüminyumun sıcaklıklarını sırasıyla 420-370 °C olarak ölçmüşlerdir [9]. Çelik ve ark. (2008), AISI 4140 ve AISI 1050 çeliklerini sürtünme kaynağı ile birleşimi yapmışlardır. Daha sonra elde edilen numunelerin mikroyapı, makroyapı ve mekanik özelliklerini araştırmışlardır. Makroyapı gözlemlerinde sürtünme basıncı ve sürtünme zamanına bağlı olarak paralel bir şekilde parçaların flaşlarının arttığını gözlemlemişlerdir. Ayrıca AISI 1050 çeliğin flaşların daha uzun olduğunu da belirtmişlerdir. Mikroyapı görüntülerinde ise optimal parametrelerde birleşim bölgelerinde iyi bir yapı elde etmişlerdir. Çekme testlerinde ise bütün kopmaların AISI 1050 çeliğinde meydana geldiğini ve Maksimum çekme mukavemetini 1073.9 MPa olarak elde etmişlerdir [10].

Literatür çalışmalarında optimum kaynak parametrelerinin, kaynağı yapılan parçaların makroyapı ile mikroyapının görüntü analizleri ve mekanik testleri üzerinde önemli bir etkisinin olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca aynı ve farklı cinsteki malzemelerin başarılı bir şekilde yapılabilmesini de vurgulamışlardır. Bu çalışmada ise; literatürde daha önce kullanımı bulunmayan ve geniş bir kullanım alanı olan farklı özellikteki AISI 304 paslanmaz çeliği ile AISI 5140 ıslah çeliği farklı dönme devri ve farklı sürtünme zamanlarında sürtünme kaynağı ile birleştirilerek; mikrosertlik ölçümleri, çekme testleri ve kaynak ara yüzeyde oluşan mikroyapısal değişimleri inceleyerek bu doğrultuda en uygun kaynak parametrelerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

2. Materyal ve Metot

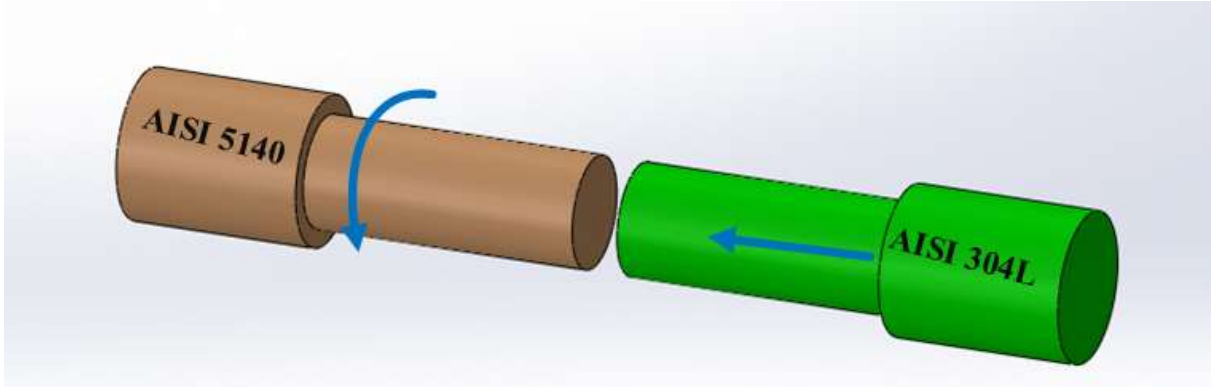
Çalışmada imalat sanayisinde ve endüstrinin çeşitli dallarında yaygın bir kullanımı olan farklı mekanik özelliklere ve farklı kimyasal bileşime sahip olan AISI 304 ve AISI 5140 çelikleri kullanılmıştır. AISI

304 malzemesi kullanımı en aygın olan paslanmaz çeliği türüdür. 400 0C'ye kadar yüksek oksidasyona sahip olup, mekanik dirençleri ve sürtünme mukavemetleri yüksektir. Gıda, otomotiv, ev eşyası, petrokimya ve tıp endüstrisinde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. AISI 5140 çeliği ise orta karbonlu olup krom (Cr) alaşımlı veya yüksek dayanımlı düşük alaşımlı ıslah çeliğidir. Otomobil, motor parçaları, krank mili inşaat, ziraat ve takım tezgâhlarında kullanılmaktadır. Ayrıca yüzey sertleşmeye uygun bir malzemedir. Tablo 1'de bu iki çeliğin kimyasal bileşimleri verilmiştir.

Tablo 1. AISI 304 paslanmaz çeliği ve AISI 5140 çeliğin kimyasal bileşimleri

Malzeme	Alaşım Elementleri (%)											
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Al	Cu	W	Fe
AISI 304	0.04	0.33	1.54	0.04	0.03	18.26	0.39	8.41	0.02	0.68	0.09	70.17
AISI 5140	0.42	0.28	0.75	0.04	0.04	1.05	-	-	-	0.35	-	97.07

Sürtünme kaynağında kullanılan AISI 304 ve AISI 5140 çelikleri kaynağı öncesi 12 mm çapında ve 85 mm boyunda torna tezgâhında işlenerek kaynağa uygun hale getirilmiştir. Numunelerin kaynak işlemleri, Tablo 2'de ki kaynak parametreleri kullanarak sürekli tahrikli sürtünme kaynak makinesinde Şekil 1'de gösterildiği gibi gerçekleştirilmiştir. Kaynak sonrası, numunelerin kaynak bölgelerinde meydana gelen mikroyapısal değişimleri incelemek amacıyla numunelerin kaynak hattına dik doğrultuda kesilerek, yüzeyleri taşlanıp, 80, 220, 400, 600, 800 ve 1200 zımpara taşı ile temizlenmiştir. Daha sonra 3 µm'lik elmas pasta ile parlatılmıştır. Parlatılan numuneler nitrik %30 HNO₃+ %20 HF asit+ %50 H₂O çözeltisiyle dağlanmıştır. Dağlanan numunelerin elektron mikroskobunda mikroyapı fotoğrafları alınmıştır. Mikrosertlik ölçümleri, Shimadzu HVM mikrosertlik ölçüm cihazında yapılmıştır. Ölçümlerde; numunelere, 1mm ölçüm aralıklarında 1N yük uygulanmış ve Vickers (HV0.1) sertlik ölçüm birimi kullanılmıştır.

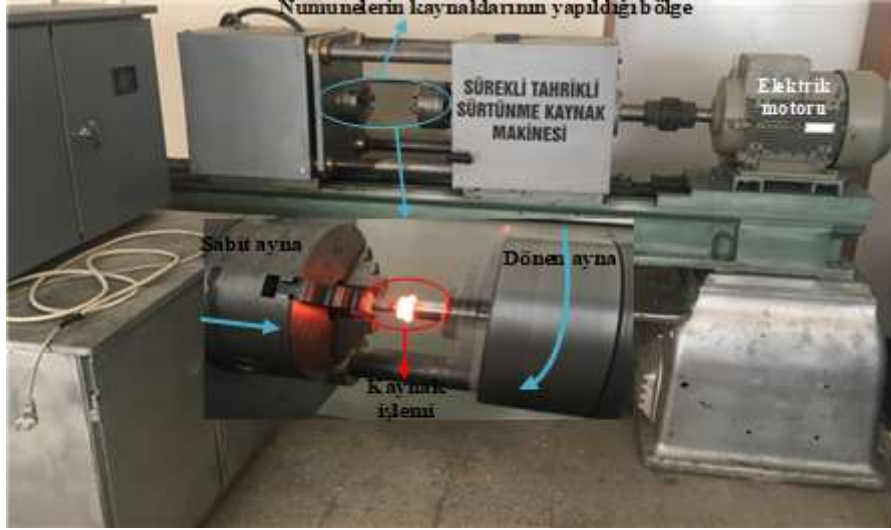


Şekil 1. Sürtünme kaynağı yapılan parçaların düzeneği

Tablo 2. Kaynak işleminde kullanılan parametreler

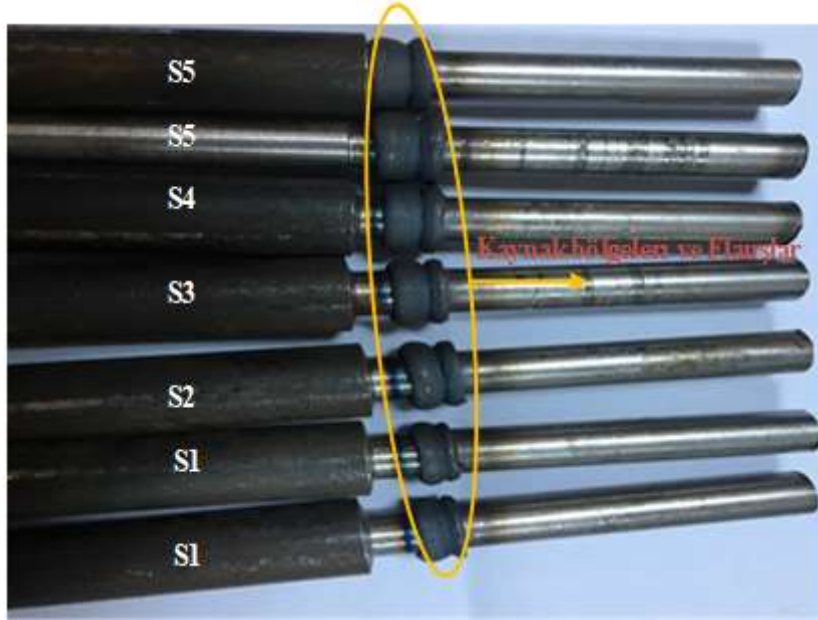
Numune no	Devir sayısı (dev/dak)	Sürtünme basıncı (MPa)	Yığma basıncı (MPa)	Sürtünme süresi (sn)	Yığma süresi (sn)
S1	1500	40	80	4	12
S2	1700	40	80	4	12
S3	1900	40	80	4	12
S4	1900	40	80	6	12
S5	1900	40	80	8	12

Tablo 2'de verilen parametreler kullanarak kaynakların yapıldığı sürekli tahrikli kaynak makine Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. Sürtünme kaynaklarının yapıldığı sürekli tahrikli kaynak makinesi

Şekil 3'te sürtünme kaynak metodu ile kaynakları yapılan AISI 304 paslanmaz çeliği ile AISI 5140 çeliğin toplu gösterimi verilmiştir.

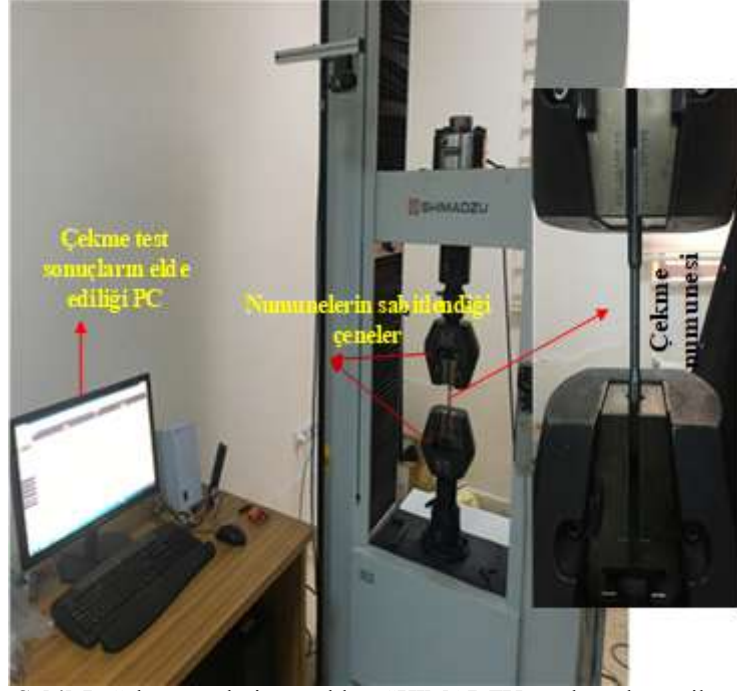


Şekil 3. Kaynakları yapılan numuneler

Kaynaklı bağlantıların maksimum çekme kuvvetlerini belirlemek için Şekil 4'te verildiği ASTM E8 standardına uygun olarak numuneler hazırlanmıştır. Daha sonra Şekil 5'te verildiği gibi 250 KN yük kapasitesine sahip SHMADZU marka çekme test cihazında 1mm/dak sabit ilerleme hızında çekme deneyleri gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4. ASTM E8 göre hazırlanan çekme test numunesi ve Solidworks katı modeli



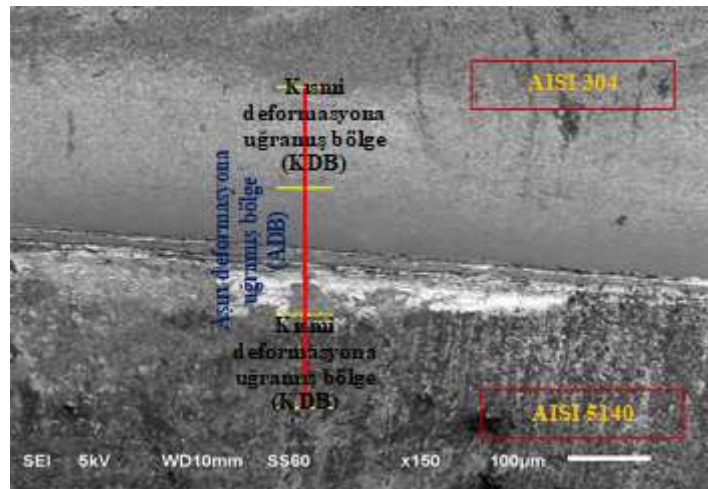
Şekil 5. Çekme testlerin yapıldığı SHIMADZU marka çekme cihazı

3. Bulgular ve Tartışma

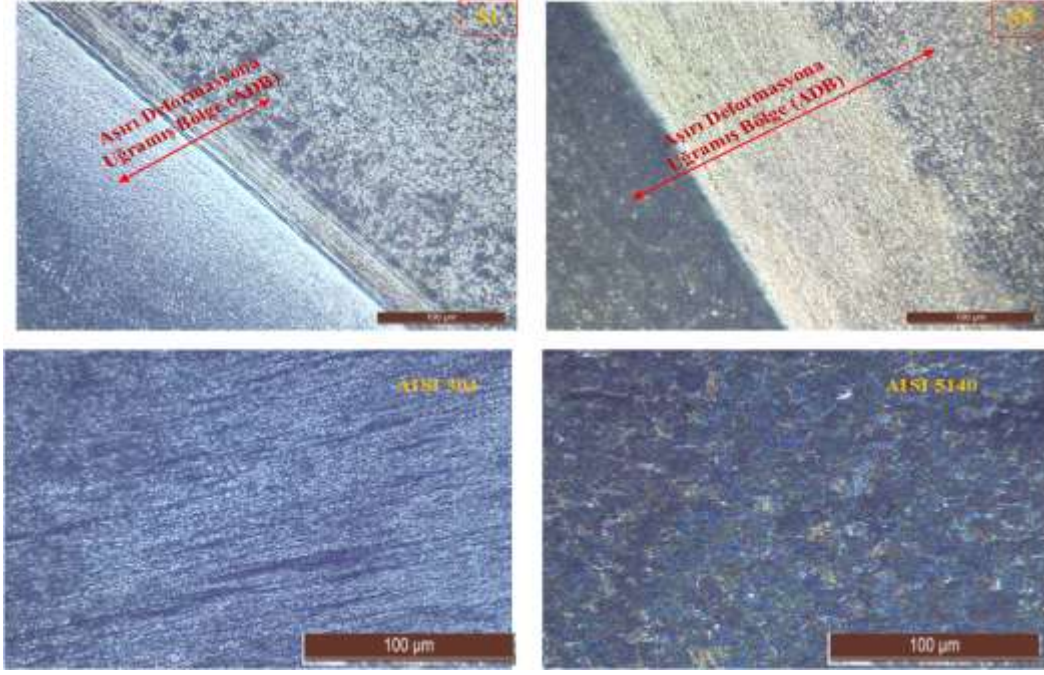
Sürtünme kaynak metodunu kullanarak 1500, 1700 ve 1900 dev/dak dönme devri ve 4, 6 ve 8 saniye sürtünme süresi parametrelerinde AISI 304 paslanmaz çeliği ile AISI 5140 çeliğin birleşimi yapılmıştır. Daha sonra birleşimi yapılan çeliklerden alınan numuneler ile kaynak bölgelerinde parametrelerinin etkisini irdellemek için SEM görüntüleri alınmıştır. Sürtünme kaynağının kaynak parametrelerinin kaynak bölgelerinin sertlik değerleri üzerindeki değişimini görmek için mikrosertlik ölçümleri yapılmıştır. Son olarak da çekme kuvveti altındaki reaksiyonları öğrenmek içinde çekme test işlemleri yapılmıştır.

3.1. Mikroyapı görüntüleri

Şekil 6'da S1 numaralı numune üzerinde sürtünme kaynağı sonrasında oluşan bölgelerin SEM görüntüleri detaylı bir şekilde verilmiştir. Şekil 7'de ise hem S1 hem de S5 nolu numunenin sürtünme kaynağı sonrası oluşan bölgelerin mikroyapı görüntüleri verilmiştir.



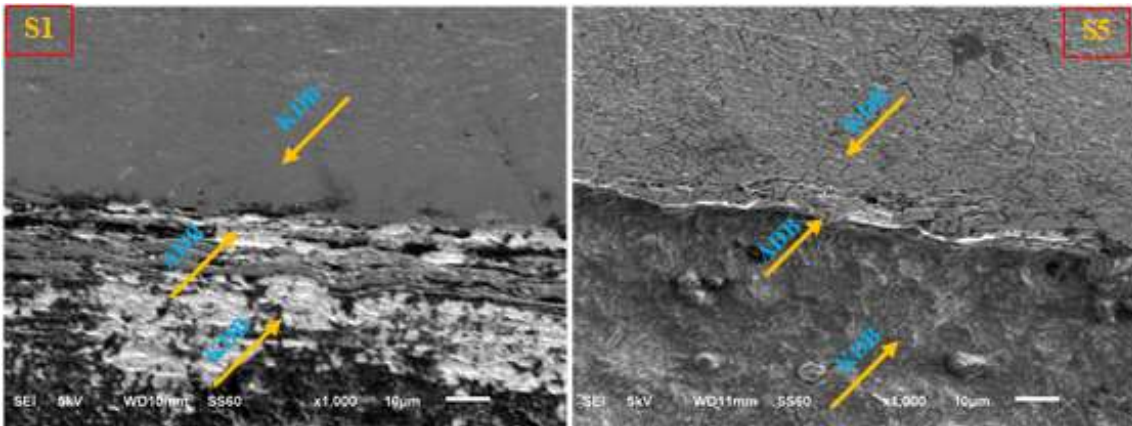
Şekil 6. S1 numunesinin kaynak arakesitinde oluşan bölgeler



Şekil 7. S1 ve S5 nolu numunelerin mikroyapı görüntüleri

S1 ve S5 nolu numunelerinin sürtünme basıncı ve yığıma basıncı sabit alınarak farklı devir ve sürtünme sürelerinde yapılan sürtünme kaynaklarının SEM ve mikroyapı görüntülerine bakıldığında aşırı deformasyona uğramış bölge (ADB) ve kısmi deformasyona uğramış bölgenin (KDB) belirgin bir şekilde oluştuğu görülmektedir. S1 nolu numunenin ADB bölgesinin arakesitine bakıldığında kaynağın gerçekleştiği fakat birleşme ara yüzeyinde çatlak şeklinde kaynak dönme devri yönünde bağlantısız bölgelerin oluştuğu görülmektedir. Bu durumun seçilen kaynak devri ve kaynak sürtünme süresinin AISI 304 ve AISI 5140 çeliklerinin sürtünme kaynağı esnasında yeterli malzeme viskozunun oluşturamamasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Ayrıca AISI 5140 çelik tarafında daha fazla malzeme deformasyonunun olması plastik şekil değişiminin bu malzeme de daha yüksek olmasındandır. S5 nolu numunenin kaynak arakesiti incelendiğinde ADB bölgesinin net bir şekilde oluştuğu görülmektedir. Yüksek devir ve yüksek sürtünme süresinin de yapılan birleştirmede difüzyonun oluşumu için uygun sürenin ve devirin olması nedeniyle difüzyonun geniş bir bölgede oluşmasını ve ayrıca yığıma basıncının etkisiyle de viskoz duruma gelmiş bu plastik deformasyona uğrayan bölgenin, kaynak arakesitin de basınç etkisi ile uzaklaştığı düşünülmektedir.

Şekil 8’de S1 ve S5 nolu numunelerin kaynak arakesitinin 1000x büyütme ile daha detaylı bir şekilde verilmiştir.

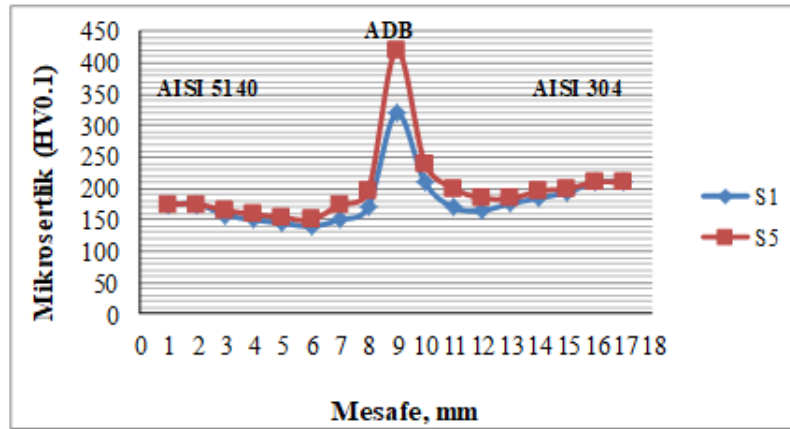


Şekil 8. S1 ve S5 nolu numunelerin SEM görüntüleri

Şekil 8'deki S1 ve S5 nolu numunelerin SEM görüntülerinde, S5 nolu numunenin kaynak arakesiti yüzeyinin kısmen deformasyona uğramış bölgesinde ince taneli yapıların oluştuğu ve bu tanelerin kaynak dönme devri ile birlikte oluşan ısının etkisiyle dönme yönünde kısmen küçülmüş plaka şeklinde yönelmiştir. Aşırı deformasyon bölgesinde de AISI 304 ve AISI 5140 çeliklerinin arasında tam bir birleşmenin olduğu ve viskoz duruma gelen malzemenin yığılma basıncının etkisiyle dışarıya doğru yöneldiği görülmektedir. Ancak S1 nolu numunenin aşırı deformasyona uğramış bölgesinde de AISI 5140 çeliğinden malzeme kopmalarının olduğu fakat S5 nolu numunede olduğu gibi uygun malzeme viskozunun oluşmadığı ve bundan dolayı tam olarak yapışmayan bölgelerin meydana geldiği görülmektedir. Ayrıca sürtünme kaynağı ile ilgili yapılan çalışmalar irdelendiğinde; Meriç ve ark. (2008) kaynak parametrelerinin birleşme bölgeleri üzerinde önemli bir etkiye sahip olduklarını ve ayrıca yapılan sürtünme kaynak işlemlerinde plastik deformasyonun yumuşak olan malzeme tarafından daha fazla olduğunu belirtmişlerdir [12]. Sarsılmaz ve ark. (2017) yaptıkları sürtünme kaynağının mikroyapı incelemelerinde sürtünme devrinin ve sürtünme süresinin artmasıyla kaynak birleşme bölgelerinde malzeme viskozunun artırdığını ve bu durumun kaynağı yapılacak malzemelerin birleşme bölgeleri üzerinde önemli bir etkiye sahip olduklarını belirtmişlerdir [13].

3.2. Mikrosertlik ölçümleri

S1 ve S5 nolu numunelerin kaynaklı bağlantılarından alınmış mikrosertlik ölçümleri Şekil 9'da verilmiştir.

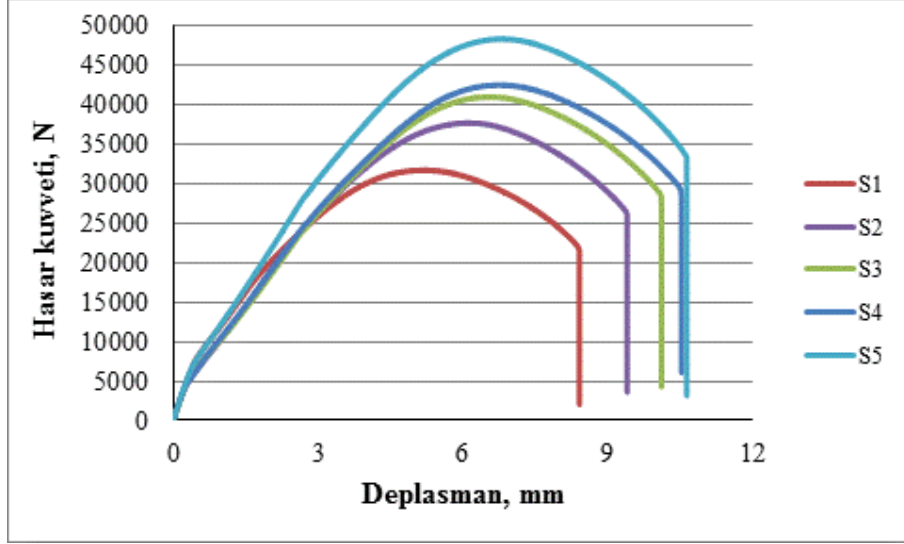


Şekil 9. S1 ve S5 nolu numunelerin mikrosertlik ölçümleri

S1 ve S5 nolu numunenin mikrosertlik ölçümlerinde benzer karakteristik davranışlar gösterilmiştir. AISI 304 paslanmaz çelik ve AISI 5140 çelik ana malzemelerinden aşırı deformasyon bölgelerine doğru gidildiğinde ısı tesiri etkisi altındaki bölgede (ITAB) sertliklerin azaldığı kaynak ana malzemesine (ADB) doğru gidildikçe tekrardan sertlik değerlerinde artışların olduğu görülmektedir. En yüksek sertlik değeri S1 ve S5 nolu numunelerinin aşırı deformasyona uğramış bölgelerinde sırasıyla 320 HV ve 420 HV olarak elde edilmiştir. En yüksek artışların ADB'de elde edilmesinin nedeni ise sürtünme kaynağı esnasında tanelerin parçalanıp incelenmesi ve düşük sıcaklıklarda termo-mekanik karıştırma sonucu plastik deformasyona bağlı olarak yeniden kristalleşme ile alakalı olduğu düşünülmektedir. Ünal ve ark. [5]; Şahin ve ark. [6], Sathiyar ve ark. [8], Palanivel ve ark. [14] ve Wang ve ark. [15] yaptıkları çalışmalarında dönme devrinin artmasıyla kaynak birleşim bölgelerinin sertliğini artırdığını ve kaynak merkezinde maksimum sertliğin meydana geldiğini ve ayrıca ITAB bölgelerinde kaynak sertliklerinin düştüğünü belirtmişlerdir.

3.3. Çekme test sonuçları

ASTM-E8 standardına göre hazırlanan çekme numunelerinin kuvvet-deplasman (uzama) grafiği Şekil 10'da ve çekme sonrası oluşan kopma bölgelerinin gösterimi ise Şekil 11'de verilmiştir.



Şekil 10. 1500, 1700 ve 1900 dev/dak devir ve 4, 6 ve 8 saniye sürtünme sürelerinde yapılan birleştirmelerin çekme testleri



Şekil 11. Çekme testleri sonrası numunelerin kırılma yüzeyleri

Shimadzu marka çekme test cihazıyla 1mm/dak test ilerleme hızı ile yapılan deney sonuçlarında en yüksek ve en düşük çekme kuvveti S5 nolu numune de 48406.25, S1 nolu numunesinde ise 31789.06 N olarak elde edilmiştir. Mikroyapı ve SEM görüntülerinde yüksek devir ve yüksek sürtünme sürelerinde birleşme bölgelerinde iyi bir birleşmenin meydana geldiği görülmüştü. Çekme test sonuçları da bu duruma benzerlik göstermiştir. Ayrıca çekme testlerine bütün kopmalar AISI 5140 çelik malzemesinde meydana gelmiştir (Şekil 11). Bütün kopmalar sünek formda oluşmuştur. Bütün kaynakların başarılı bir şekilde yapılmıştır. Çünkü bütün kopmalar AISI 5140 çelik malzemesinde meydana gelmiştir. Benzer sonuçların Özdemir ve ark. (2007) yapıları çalışmalarında maksimum çekme gerilmesinin en iyi mikroyapı ve en yüksek mikrosertlik değerlerinin elde edildiği sürtünme kaynağı için seçilen en yüksek sürtünme devrinde elde edildiğini belirtmişlerdir [16].

4. Sonuç

AISI 304 paslanmaz çeliği ve AISI 5140 çelik malzemeleri 1500, 1700 ve 1900 dev/dak devirlerde ve 4, 6 ve 8 saniye sürtünme sürelerinde sürtünme kaynağı metodu ile başarılı bir şekilde birleşimi yapılmıştır. Kaynak sonrası kaynak arakesitinde meydana gelen yapıları görmek için mikroyapı ve SEM görüntüleri alınmıştır. Ayrıca sürtünme birleşimlerinin mekanik özelliklerini öğrenmek içinde mikrosertlik ölçümler ve çekme test deneyleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

- a- Mikroyapı ve SEM görüntülerinde kaynak arakesitlerinden alınan numunelerde 1900 dev/dak ve 8 saniye sürtünme sürelerinde yapılan kaynaklarda daha iyi bir birleşme yüzeyi elde edilmiştir.
- b- Mikrosertlik sonuçlarında en yüksek ve en düşük sertlik değerleri sırasıyla S1 ve S5 nolu numunelerde 320 ve 420 HV olarak elde edilmiştir.
- c- Çekme test sonuçlarında en yüksek kuvvet hasarı ve deplasman (uzama) S5 nolu numunede 48406.25 N ve 10.633 mm olarak elde edilmiştir.
- d- Çekme test sonuçlarında bütün numuneler plastik şekil değişimi göstererek AISI 5140 çelik malzemesinde kopmalar gerçekleşmiştir.

Yazarların Katkısı

Çalışmada tüm katkı yazara aittir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar

- [1] Kırık I., Ozdemir N., Sarsılmaz F. 2012. Microstructure and Mechanical Behaviour of Friction Welded AISI 2205/AISI 1040 Steel Joints. *Materials Testing*, 54: 683-687.
- [2] Lucas W. 1971. Process Parameters and Friction Welds. *Met. Cons. and British Welding Journal*, 71: 293-297.
- [3] Çalgülü U., Orhan A., Gür A.K. 2007. Sürtünme Kaynak Yöntemiyle Birleştirilmiş AISI 420/AISI 1010 Çelik Çiftinde Çevresel Hızın Mikroyapı Özelliklerine Etkisi. *Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 19: 583-592.
- [4] Kaluç E. 2004. Kaynak teknolojisi el kitabı. MMO Yayınları, Ankara, 356-358.
- [5] Ünal E., Karaca F., Sarsılmaz F. 2019. Investigation of Interface Microstructure Properties of AISI 316L /AISI 4140 Steel Couple Welded by Friction Welding Process. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 34 (2): 701-708.
- [6] Sahin M., Akata H.E. 2004. An Experimental Study on Friction Welding of Medium Carbon and Austenitic Stainless Steel Components. *Industrial Lubrication and Tribology*, 56 (2): 122-129.
- [7] Chludzinski M., Santos R.E.D., Pissantib D.R., Kroeff F.C., Matteib F., Dalpiaz G., Paesc M.T.P. 2019. Full-Scale Friction Welding System for Pipeline Steels. *Journal Mater Res Technol.*, 8 (2): 1773-1780.
- [8] Sathiya P., Aravindan S., Haq A.N. 2008. Some Experimental Investigations on Friction Welded Stainless Steel Joints. *Materials and Design*, 29: 1099-1109.
- [9] Taban E., Gould J.E., Lippold J.C. 2010. Dissimilar Friction Welding of 6061-T6 Aluminum and AISI 1018 Steel: Properties and Microstructural Characterization. *Materials and Design*, 31: 2305-2311.
- [10] Celik S., Ersozlu I. 2009. Investigation of The Mechanical Properties and Microstructure of Friction Welded Joints Between AISI 4140 And AISI 1050 Steels. *Materials and Design*, 30: 970-976.
- [11] Emre H.E., Kaçar R. 2013. Sürtünme Kaynağı İle Birleştirilen Sondaj Borularının Yorulma Davranışları. *Gazi Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Dergisi*, 28 (2): 417-426.
- [12] Meriç C., Köksal N.S., Erdoğan M.T., Okur A. 2008. Sürtünme Kaynağı İle Birleştirilmiş Farklı Malzemelerin Kaynak Bölgesinin İncelenmesi. *C.B.Ü. Fen Bilimleri Dergisi*, 4 (2):135-144.
- [13] Sarsılmaz F., Kırık İ., Ay M. 2017. Sürtünme Kaynak Yöntemi İle Birleştirilmiş SCR 420/AISI 1040 Çelik Çiftlerinin Ara-Yüzey Mikroyapı Özelliklerinin İncelenmesi. *Fırat Üniversitesi Müh. Bil. Dergisi*, 29 (2): 51-56.

- [14] Palavinel R., Dinaharan I., Laubscher R.F. 2019. A Comparative Study on Microstructure and Mechanical Properties Between Friction and Laser Beam Welded Titanium Tubes. *Optik-International Journal for Light and Electron Optics*, 177: 102-111.
- [15] Wang X., Li W., Ma T., Yanga X., Vairisa A. 2019. Effect of Welding Parameters On the Microstructure and Mechanical Properties of Linear Friction Welded Ti-6.5Al-3.5Mo-1.5Zr-0.3Si Joints. *Journal of Manufacturing Processes*, 46: 100-108.
- [16] Özdemir N., Sarsılmaz F., Hasçalık A. 2007. Effect of Rotational Speed on The Interface Properties of Friction-Welded AISI 304l to 4340 Steel. *Materials and Design*, 28: 301-307.

Araştırma Makalesi / Research Article

Beton Ağırlıklı Barajların Simbiyotik Arama Algoritması ile Optimizasyonu

Kemal SAPLIOĞLU^{1*}, Erdem ÇOBAN², Fatih Ahmet ŞENEL³, Soner UZUNDURUKAN¹

¹Süleyman Demirel Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Isparta

²Haliç Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği, İstanbul

³Süleyman Demirel Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bilgisayar Mühendisliği, Isparta

(ORCID: 0000-0003-0016-8690) (ORCID: 0000-0003-1918-7277)

(ORCID: 0000-0002-4526-7273) (ORCID: 0000-0003-4080-6642)

Öz

Artan nüfus ve sanayileşme suya olan ihtiyacı hızlıca arttırmaktadır. Bu artış miktarı projelerin boyutlarını da arttırmaktadır. Klasik yöntemlerle yapılan projelendirmelerde maliyetler oldukça yüksek çıkabilmektedir. Bu çalışmada su kaynakları projelerinin en önemlilerinden olan beton ağırlıklı barajların Simbiyotik Arama Algoritması (SOS) kullanılarak optimum boyutlarının bulunması amaçlanmıştır. Çalışmada baraj yükseklikleri ve deprem ivmeleri değişimi ile maliyet artışları da ve bu artışların oranları hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar grafikler ve tablolar ile yorumlanarak yorumlanmıştır. Ayrıca çalışmada her girdi parametresi için modelleme yapabilecek bir program da geliştirilmiştir.

Anahtar kelimeler: Simbiyotik Arama Algoritması, Beton ağırlık barajlar, Optimizasyon.

Optimization of Concrete Gravity Dams by Symbiotic Search Algorithm

Abstract

Increasing population and industrialization increases the need for water. This increase also increases the size of the projects. Costs can be quite high in the projects made with classical methods. In this study, it is aimed to find optimum dimensions of concrete dams which are one of the most important water resource projects by using Symbiotic Search Algorithm (SOS)., changes in dam heights and earthquake accelerations and cost increases and the rates of these increases were calculated. The results are presented with graphs and tables. In addition, it has been also developed in a program that can make modeling for each input parameter.

Keywords: Symbiotic Search Algorithm, Concrete weighted dams, Optimization.

1. Giriş

Günümüzde artan nüfus ve sanayileşme suya olan talebi arttırmaktadır. Bu nedenle oluşturulan projelerin boyutlarında arttırmaktadır. Boyut artışları ise projelendirme aşamasında bir takım zorluklarla karşılaşmamıza sebep olmaktadır. Bu zorunluluklar özellikle su yapıları gibi çok büyük maliyetlere sahip yapı hizmetlerde çok daha fazla önemli hale gelmektedir. Yapımında kullanılan malzemenin fazla ve maliyetli olması bakımından optimum fayda elde etme gayretinde bulunmamızı gerekmektedir. Gelişen teknoloji ve bilgi birikimimizi bu istikamette kullanarak maksimum verimde yapılar inşa etmek bilim insanlarının amaçları arasında olmalıdır. Endüstriden yapı sektörüne, havacılıktan pazarlamaya kadar geniş bir yelpazede aynı kaygı göz önünde bulundurulmaktadır. Endüstri çağından sonra hızla gelişen birçok sektörün çevre ve doğaya vermiş oldukları zararlı etkilere karşı duyarlılığın artması gerekmektedir. Önceki yaklaşımların aksine geri dönüşüm, tekrar kullanma, daha uzun ömürlü ve dayanıklı tasarımlar yapma bunlar için de bilimi ve teknolojiyi daha fazla ve efektif olarak kullanmak zorunlu hale gelmiştir.

*Sorumlu yazar: kemalsaplioglu@sdu.edu.tr

Geliş Tarihi: 13.01.2020, Kabul Tarihi: 19.03.2020

İnşaat mühendisliğinde salt tasarım değil aynı zamanda kullanılan malzeme, mobilizasyon, uygulama, işçilik ve proje planlama konularında ekonomik çıktılar elde etmek adına bütün değişkenler ele alınarak maliyeti en aza indirip maksimum fayda sağlamak adına birçok konu göz önüne alınmalı ve tüm alternatifler gerekirse denenmelidir.

Ülkemizin su potansiyeli ve yükselti farklarından dolayı barajlar, en fazla uygulanan ve fayda sağlayan su yapılarının başında gelmektedir. Sulama, enerji, ulaşım, içme suyu vb. birçok amaca hizmet eden barajlar proje ve tasarım maliyetleri bakımından büyük bir yer teşkil etmektedirler. Bu bakımdan baraj tasarım ve projelerinde yapılacak tasarruflar ülke ekonomisi adına çok büyük bir katkı sağlayacaktır. Enerji yönüyle dışa bağımlılığının azalması ve kendi öz kaynaklarımızı kullanarak baraj projelerinin ülkemizde çok fazla olması bunun önemini kat ve kat arttırmaktadır. En uygun tasarımların yapılması, son dönemde üzerinde fazlaca çalışılan optimizasyon yöntemlerle ve bu yöntemlerin geliştirilen bilgisayar programlarıyla desteklenmesiyle çok daha kolay olmaktadır.

Optimizasyon genel olarak klasik (matematiksel) [1,2] ve evrimsel (meta-sezgisel) [3-5] optimizasyon olarak iki gruptan oluşur. Klasik optimizasyon yöntemleri ile türevlenebilen fonksiyonlara sahip problemlerin çözümünde kullanılırlar. Türev işlemlerinin hızlılığından dolayı kısa sürede daha kesin sonuçlar alınabilir. Bu yaklaşım deterministik bir yaklaşım olup bu avantajlarının yanında gündelik hayatta çok az uygulanabilirliği mevcuttur. Meta sezgisel yöntemler doğanın ve doğada yaşayan canlıların davranışları gözlemlenerek geliştirilerek rassallık ilkesine göre çalışan optimizasyon çeşididir.

Yapının ekonomisi ve güvenliği, tasarımdaki kilit noktalar. Kemer ve ağırlık barajlar gibi en uygun baraj tasarımları için birçok girişimde bulunulmuştur. Bu çalışmada kullanılacak olan meta-sezgisel optimizasyon yöntemlerinin kullanımı ile ilgili birçok çalışma bulunmaktadır. Khatibinia ve Khosravi [6] sıvı-yapı etkileşimini dikkate alarak yerçekimi arama algoritmasını kullanarak yerçekimi barajının şekil optimizasyonunu gerçekleştirmişlerdir. Kshirsagar [7], Hindistan'ın Maharastra şehrinde bulunan Tiları ağırlık barajının Hint tasarım kriterlerine göre deprem yoğunluğundaki değişimin stabilitesine etkisini araştırmıştır. Salmasi [8] yerçekimi barajının tasarım optimizasyonu için genetik algoritma kullanmıştır. Deepika ve Suribabu [9] Hint tasarım kriterlerine göre beton yerçekimi barajının [10] optimal tasarımı için diferansiyel evrim algoritmasını kullanmışlardır. Kemer barajlarının optimum tasarımında da pek çok araştırma yapılmıştır [11-14]. Optimizasyon yöntemleri ile baraj tipleri [15] ve şekil farklılıklarının [16] maliyet üzerine etkileri de araştırılmıştır. Ayrıca optimizasyon algoritmaları arasındaki farkların barajlar üzerinden yapıldığı çalışmalarda mevcuttur [17].

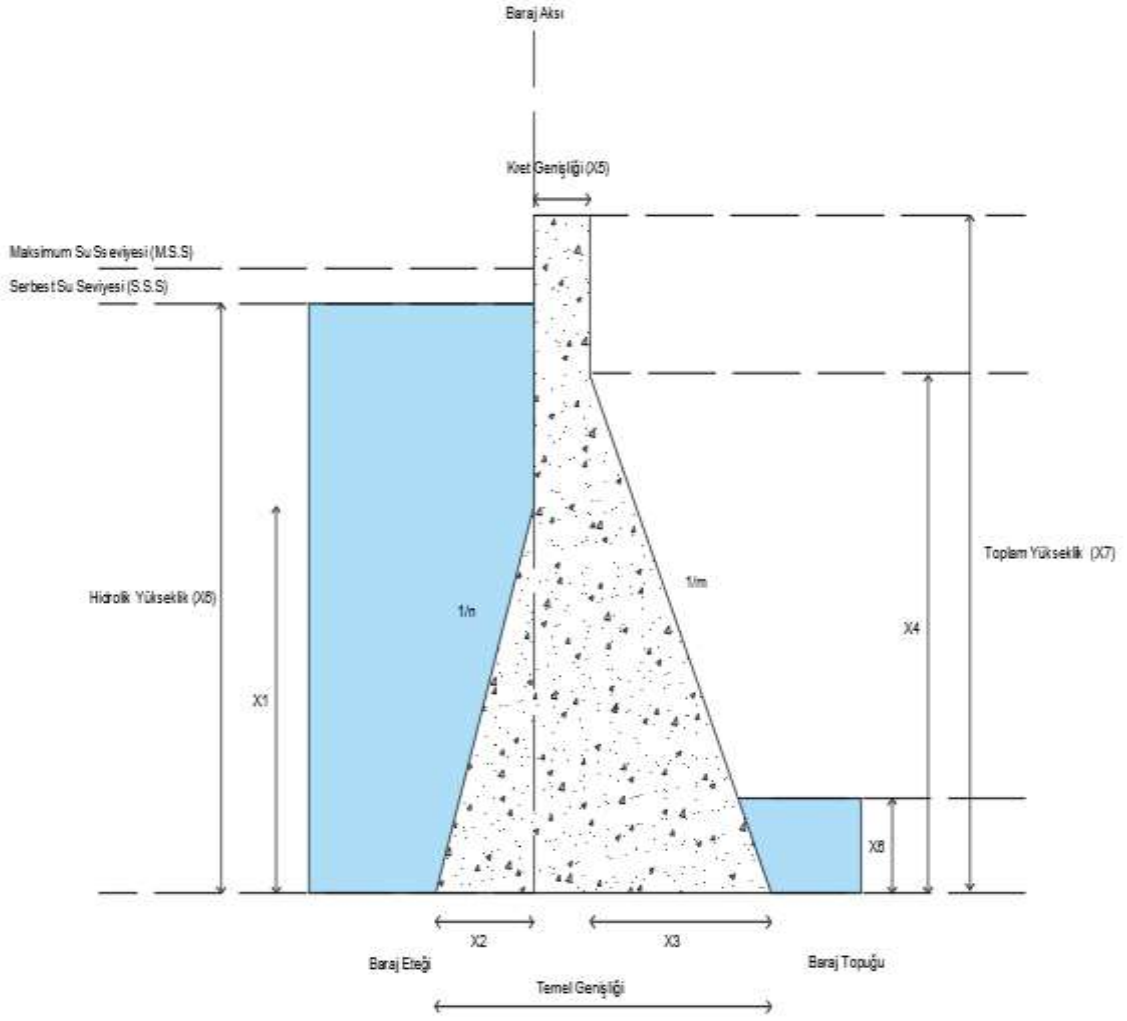
Bu çalışma, stabilite ve temel gerilme kısıtlamaları empoze eden bir ağırlık barajının şekil optimizasyonunu sunmaktadır. Bir ağırlık barajı, büyük miktarda beton malzemedan oluşan büyük ölçekli bir hidrolik yapıdır. Bu nedenle, optimum tasarım, baraj kesitindeki küçük değişikliklerin büyük miktarda beton hacmi tasarrufuna yol açması nedeniyle maliyet avantajı sağlar. Bu çalışmada beton dolgu barajların simbiyotik organizmalar arama algoritması ile tasarımına ulaşmak hedeflenmiştir. Yapılan çalışmada farklı yükseklikler için maliyet analizi yapılmıştır. Oluşturulan senaryoda yükseklikler değiştirilmiştir.

2. Materyal ve Metot

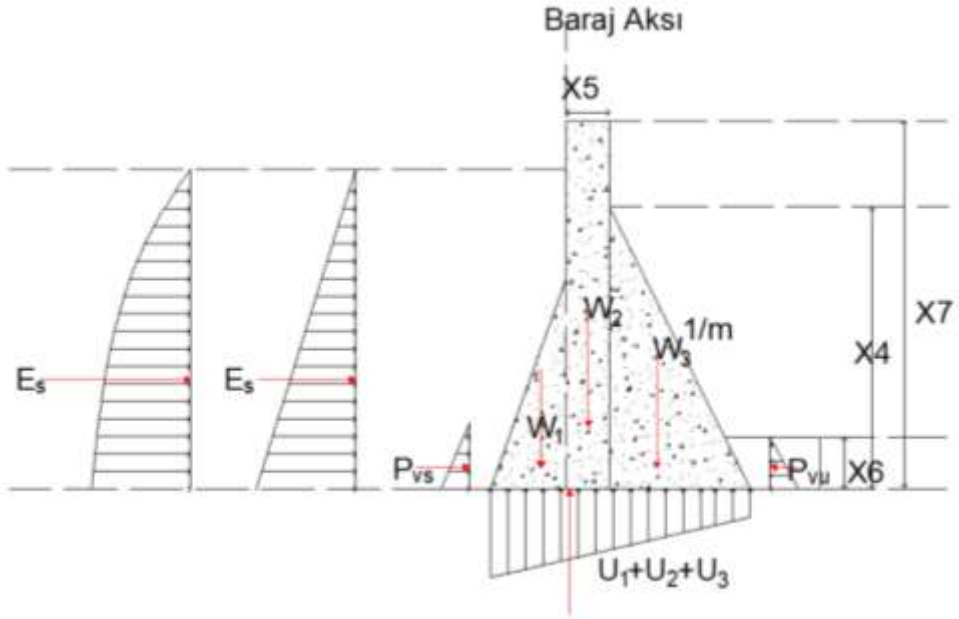
Çalışmada Beton Ağırlık barajlarının SOS (Simbiyotik Arama Algoritması) ile yüksekliğe bağlı optimizasyonu araştırılacaktır. Bu bölümde barajlara etki eden kuvvetler ile kısıt fonksiyonlarının yanı sıra SOS algoritması hakkında bilgiler verilecektir.

2.1. Beton ağırlık barajların stabilite analizleri

Beton ağırlık barajları, genel olarak hidroelektrik santrallerine su rezervuarı olarak yaygın olarak kullanılan hidrolik yapılardır (Şekil 1). Bu yapılar enine kesitlerinde yamuk biçimlidir ve yerçekimsel davranışlarla (kendi ağırlıkları ve diğerleri gibi) hidrostatik ve taban ve boşluk suyu basıncının sebep olduğu kaldırma basınçlarına karşı dengeyi sağlarlar [18]. Bu nedenle, kesit için uygun bir tasarım bulmak inşaat maliyetlerini önemli ölçüde azaltabilir.



Şekil 1. Beton ağırlık barajları boyutları



Şekil 2. Beton ağırlık barajlarına etkiyen kuvvetler

Tablo 1. Baraja etkiyen kuvvetler ve moment kolları

$W_1 = \frac{1}{2}\gamma_c x_1 x_2$	$l_1 = x_3 + x_5 + \frac{1}{3}x_2$
$W_2 = \gamma_c x_5 x_7$	$l_2 = x_3 + \frac{x_5}{2}$
$W_3 = \frac{1}{2}\gamma_c x_3 x_4$	$l_3 = \frac{2}{3}x_3$
$P_{V_1} = \frac{1}{2}\gamma_w x_1 x_2$	$l_4 = x_3 + x_5 + \frac{2}{3}x_2$
$P_{V_2} = \frac{1}{2}\gamma_w x_2 (h - x_1)$	$l_5 = x_3 + x_5 + \frac{1}{2}x_2$
$P_{V_u} = \frac{1}{2}\gamma_w (mh_u) h_u$	$l_6 = \frac{mh'}{3}$
$U_1 = \frac{1}{3}\gamma_w (x_2 + d_g)(h - hu)$	$l_7 = x_3 + x_5 + \frac{1}{3}(2x_2 - d_g)$
$U_2 = \frac{1}{3}\gamma_w (x_2 + d_g)(h + 2hu)$	$l_8 = x_3 + x_5 + \frac{1}{2}(x_2 - d_g)$
$U_3 = \frac{1}{2}\gamma_w (x_3 + x_5 - d_g)\left(\frac{h - hu}{3}\right)$	$l_9 = \frac{2}{3}(x_3 + x_5 - d_g)$
$U_4 = \gamma_w (x_3 + x_5 - d_g) hu$	$l_{1,0} = \frac{1}{2}(x_3 + x_5 - d_g)$
$P_{v_s} = \frac{1}{2} * 0,925\gamma_w n h_s^2$	$l_{1,1} = x_3 + x_5 + x_2 - \frac{nh_s}{3}$

Burada $m = x_3/x_4$, $n = x_2/x_1$, $B = x_5$, $H = x_7$, $h = x_6$, $h' = h_m = x_6/10$, $h_w = 1.0$ ve $h_s = x_6/10$ Tablo 1’de baraja etkiyen su ve ağırlık kuvvetleri ile moment kollarının uzunlukları verilmiştir. B = Kret genişliği B_1 =Baraj taban genişliği, H =Barajın toplam yüksekliği, h Maksimum rezervuar yüksekliği, h' Kuyruk suyu yüksekliği, h_s Biriken silt yüksekliği, $1/m$ mansap yüzü eğimi, $1/n$ = memba yüzü eğimi, d_g drenaj galerisinin baraj aksına olan uzaklığıdır (Şekil 2).

Tablo 2. Baraja etkiyen deprem kuvvetleri ve moment kolları

$EV_1 = \alpha_v W_1$	$l_{11} = x_3 + x_5 + \frac{1}{3}x_2$
$EV_2 = \alpha_v W_2$	$l_{12} = x_3 + \frac{x_5}{2}$
$EV_3 = \alpha_v W_3$	$l_{13} = \frac{2}{3}x_3$
$EV_4 = \alpha_v P_{v_1}$	$l_{14} = x_3 + x_5 + \frac{2}{3}x_2$
$EV_5 = \alpha_v P_{v_2}$	$l_{15} = x_3 + x_5 + \frac{1}{2}x_2$
$EV_6 = \alpha_v P_{v_u}$	$l_{16} = \frac{mh'}{3}$
$P_H = \frac{1}{2}\gamma_w h^2$	$l_{17} = \frac{h}{3}$
$P_{Hu} = \frac{1}{2}\gamma_w (hu)^2$	$l_{18} = \frac{h'}{3}$
$P_{H_s} = \frac{1}{2}0,36\gamma_w h_s^2$	$l_{19} = \frac{h_s}{3}$
$K_A = tg^2(45 - \frac{\phi}{2})$	
$P_W = 2\gamma_w h_w^2$	$l_{20} = h + \frac{3}{8}h_w$
$EH_1 = \alpha_H W_1$	$l_{21} = \frac{x_1}{3}$
$EH_2 = \alpha_H W_2$	$l_{22} = \frac{H}{3}$
$EH_3 = \alpha_H W_3$	$l_{23} = \frac{x_4}{3}$
$P_e H = 0,726p_{eH} h^3$	$P_{eH'} = 0,726p_{eH'} h'$
$p_e H = C_m \alpha_H \gamma_w h$	$p_{eH'} = C_m \alpha_{H'} \gamma_w h'^3$
$M_{eH} = 0,299C_m \alpha_H \gamma_w h^3$	$M_{eH'} = 0,299C_m \alpha_{H'} \gamma_w h'^3$

$$\sigma_{pD} = \sigma_{yD} \sec^2 \phi_D - (p'_H - p'_{eH'}) \tan^2 \phi_D \quad (1)$$

$$\sigma_{yD} = \frac{\Sigma F_V}{B_1} \left(1 + \frac{6e}{B_1}\right), p'_H = \gamma_w h' \quad (2)$$

$$\sigma_{pU'} = \sigma_{yU} \sec^2 \phi_U - (p'_H + p'_{eH'}) \tan^2 \phi_U \quad (3)$$

$$\sigma_{yD} = \frac{\Sigma F_V}{B_1} \left(1 - \frac{6e}{B_1}\right), p_H = \gamma_w h \quad (4)$$

$$e = \frac{B_1}{2} - \underline{x} \quad (5)$$

$$\underline{x} = \frac{\Sigma M_R - \Sigma M_D}{\Sigma F_V} \quad (6)$$

$$\tau_{xyD} = [\sigma_{yD} - (p'_H - p'_{eH'})] \tan^2 \phi_D \quad (7)$$

$$\tau_{pU} = [\sigma_{yU} - (p_H + p'_{eH})] \tan^2 \phi_U \quad (8)$$

$$FSF = \frac{\Sigma V}{\Sigma U} \quad (9)$$

$$FOS = \frac{\mu \Sigma F_V}{\Sigma F_H} \quad (10)$$

Gerilme Kısıtlamaları

$$g_1(x) = \sigma_{pD} - \sigma_c \leq 0 \quad (11)$$

$$g_2(x) = \sigma_{pU} - \sigma_c \leq 0 \quad (12)$$

$$g_3(x) = \sigma_{xyD} - \sigma_c \leq 0 \quad (13)$$

$$g_4(x) = \sigma_{xyU} - \sigma_c \leq 0 \quad (14)$$

Dayanım Kısıtlamaları

$$g_5(x) = 1,5 - FOS \leq 0 \quad (15)$$

$$g_6(x) = 3 - SFF \leq 0 \quad (16)$$

M_R Baraj topuğunda meydana gelen koruyucu moment, M_O Baraj topuğunda meydana gelen devirici moment, ΣF_V baraj a etkiyen toplam düşey kuvvetler, ΣF_H Baraj a etkiyen toplam yatay kuvvetler, q temelde izin verilen kayma gerilmesi, σ_c Betonda izin verilen basınç dayanımı, γ_c Baraj malzemesinin özgül ağırlığı, γ_w suyun özgül ağırlığı, N_u sürtünme katsayısı, V_w rüzgar hızı, e baraj kesitinin itme kuvvetinin dışsallığı, f = barajın memba tarafına feç uzaklığı, α_H, α_V Yatay ve Düşey sismik katsayılar, $P_{eH}, P_{eH'}, P_{V_1}, P_{V_2}, P_{V_3}$ Kafa ve kuyruk su basıncı kuvvetlerinin yatay ve düşey bileşenleri, U_1, U_2, U_3, U_4 Yükselme basınç yüksekliği, P_{H_s}, P_{V_s} Silt basınç kuvvetinin yatay ve düşey bileşenleri, P_W Rezervasyondaki sudan kaynaklı oluşan basınç kuvveti, W_1, W_2, W_3 Barajın kendi ağırlığı, $M_{eH}, M_{eH'} = P_{eH}, P_{eH'}$ dan kaynaklı oluşan moment kuvvetleri göstermektedir.

Tablo 1 ve Tablo 2'deki denklemler ile Denklem 1-16 arasındaki kısıtlama fonksiyonları kullanılarak hacim fonksiyonunu minimum yapacak boyutlar aranmaktadır.

2.2. Simbiyotik organizmalar arama algoritması

Bir probleme en uygun çözümü bulmak için son yıllarda sezgisel yöntemler yaygın olarak kullanılmaktadır. Sezgisel yöntemler en iyiye çok yakın çözümler sunan, çözüm süresini oldukça kısaltan yöntemlerdir. Gerçek hayatta her gün kullandığımız bu yaklaşımlar genel olarak doğadaki olaylardan esinlenir [18,19].

Her ne kadar yalnız yaşayan organizma türleri olsa da güvenlik ve yardım gibi konular nedeniyle organizmalar çoğunlukla ortak bir yaşamı paylaşırlar. Bazı durumlarda zorunlu bir ortak yaşam olabildiği gibi, organizmaların çıkarları için kendileri de ortak bir yaşamı tercih etmektedirler. Organizmalar arasındaki bu birlikte yaşam üç farklı şekilde gerçekleşebilmektedir. Bunlar; karşılıklı fayda birlikteliği (mutualizm), tek taraflı birliktelik (kommensalizm) ve asalaklık (parazitizm)'dir.

Simbiyotik Organizmalar Arama algoritması (SOS), Cheng ve Prayogo tarafından 2014 yılında geliştirilmiş güçlü bir sezgi ötesi optimizasyon algoritmasıdır [21]. SOS, doğada yaşayan organizmaların hayatta kalmak için birbirleri ile olan etkileşimlerinden esinlenilerek geliştirilmiş ve literatürde farklı problemlerin çözümünde kullanılmıştır [22,23]. SOS başlangıçta bir grup organizmanın rasgele oluşturulduğu bir ekosistem ile başlatılmaktadır. Her bir organizma aday çözümleri temsil etmekte ve uygunluk değerleri adaptasyon derecelerini ifade etmektedir. Başka diğer optimizasyon algoritmalarında da olduğu gibi, SOS algoritmasında da organizmaların yaşamlarını sürdürebilmesi için biyolojik etkileşim adımları bulunmaktadır. SOS algoritması mutualizm, kommensalizm ve parazitizm adımları olmak üzere üç aşamadan oluşmaktadır.

Mutualizm adımında, birliktelik kuran organizmaların her ikisinin de karşılıklı olarak fayda elde ettikleri adımdır. Ekosistemdeki i . organizma (X_i) ile ekosistemden rasgele seçilen j . organizma (X_j)'nin fayda sağlayacakları bir ilişkinin kurulduğu aşamadır. Bu aşamada X_i ve X_j organizmaları için yeni aday çözümler üretilmektedir. Eşitlik 17, 18 ve 19'da gösterildiği şekilde aday çözümler oluşturulmaktadır.

$$X'_i = X_i + rand(0,1) * (X_{eniye} - MV * BF_1) \quad (17)$$

$$X'_j = X_j + rand(0,1) * (X_{eniye} - MV * BF_2) \quad (18)$$

$$MV = \frac{X_i + X_j}{2} \quad (19)$$

Burada, BF_1 ve BF_2 katsayıları sırasıyla i . ve j . bireylerin ilişkiden elde edeceği fayda faktörünü ifade etmektedir. BF_1 ve BF_2 katsayıları 1 veya 2 olarak rasgele seçilmektedir. MV değeri mutual vektör olarak adlandırılmakta ve organizmalar arasındaki ilişki karakteristiğini ifade etmektedir. Mutualizm adımında üretilen yeni aday bireylerinin (X'_i ve X'_j) uygunluk değerleri eğer eski bireylerin (X_i ve X_j) uygunluk değerlerinden daha iyi ise, yeni aday bireyler ile eski bireyler yer değiştirmektedir. X_{eniye} değeri ise en iyi adaptasyon sağlamış olan bireyi temsil etmektedir.

SOS algoritmasının kommensalizm adımında, ekosistemdeki organizmalardan biri fayda sağlarken diğeri herhangi bir fayda veya zarar sağlamamaktadır. Ekosistemdeki bir X_i organizmasına fayda sağlayacak X_j organizması rasgele olarak seçilmektedir. Denklem 20'de gösterildiği gibi X_i organizmasının yeni aday çözümü hesaplanmaktadır.

$$X'_i = X_i + rand(-1,1) * (X_{eniye} - X_j) \quad (20)$$

Denklem 18'den görüldüğü üzere X_j organizması hiçbir şekilde etkilenmemektedir. X'_i yeni aday organizmanın uygunluk değeri daha iyi olursa, mevcut X_i organizması yeni aday organizma ile değiştirilerek bu adım gerçekleştirilir.

Parazitizm aşamasında bir organizma diğer organizma tarafından zarara uğratılmaktadır. X_i organizmasının bazı parametrelerinde rasgele değişiklikler yapılarak X_i organizmasının paraziti (P_{X_i}) oluşturulmaktadır. Daha sonra ekosistemden zarara uğratılacak olan organizma (X_j) rasgele olarak seçilmektedir. P_{X_i} ve X_j organizmalarının uygunluk değerleri hesaplanarak karşılaştırılma yapılır. Eğer

P_{X_i} organizmasının uygunluk değeri daha iyi ise, X_j organizması ekosistemden çıkarılarak yerine P_{X_i} organizması yerleştirilir. Böylece X_j organizması bu birliktelikten ekosistemden ayrılarak zarar etmiş olmaktadır. Şekil 3’de Simbiyotik Organizmalar Arama algoritması verilmiştir.

Simbiyotik Organizmalar Arama Algoritması

```

1: Başlangıç ekosistemini rasgele olarak belirle
2: while Durdurma kriteri? do
3:   for  $i \leftarrow 1$  to  $eko_{boyut}$  do
4:     for  $i \leftarrow 1$  to  $eko_{boyut}$  do
5:        $f(X_i)$   $\triangleright$  Organizmaların uygunluk değerlerini hesapla
6:     end for
7:      $X_{eniye}$ 'yi belirle
8:     //Mutualizm aşaması
9:      $X_i$  organizmasından farklı  $X_j$  organizmasını rasgele seç
10:     $[X'_i, X'_j] = mutualizm(X_i, X_j, X_{eniye})$   $\triangleright$  Adayları oluştur
11:    if  $f(X'_i) < f(X_i)$  then
12:       $X_i = X'_i$ 
13:    end if
14:    if  $f(X'_j) < f(X_j)$  then
15:       $X_j = X'_j$ 
16:    end if
17:    //Kommensalizm aşaması
18:     $X_i$  organizmasından farklı  $X_j$  organizmasını rasgele seç
19:     $X'_i = kommensalizm(X_i, X_j, X_{eniye})$   $\triangleright$  Adayı oluştur
20:    if  $f(X'_i) < f(X_i)$  then
21:       $X_i = X'_i$ 
22:    end if
23:    //Parazitizm aşaması
24:     $X_i$  organizmasından farklı  $X_j$  organizmasını rasgele seç
25:     $X_i$  organizmasının parazitini ( $P_{X_i}$ ) oluştur
26:    if  $f(P_{X_i}) < f(X_j)$  then
27:       $X_j = P_{X_i}$ 
28:    end if
29:  end for
30: end while

```

Şekil 3. Simbiyotik organizmalar arama algoritması pseudo kod

2.3. Oluşturulan model

Çalışmada beton ağırlık barajının boyutlarının optimizasyonu amaçlanmıştır. Bu amaçla SOS algoritması kullanılmış, deprem ivmesi (0, 0.05, 0.1, 0.15 ve 0.2m/s²) için 5 ve yükseklik değişimleri içinde (12m den birer metre artışla 30 m ye kadar) de 19 farklı kombinasyon sonucu 95 adet farklı senaryo ile modelleme yapılmıştır. SOS için organizma sayısı 100 iterasyon sayısı ise 500 seçilmiştir. Dolayısı ile 4.75 milyon işlem yapılarak maliyeti minimize eden boyutlar tespit edilmeye çalışılmıştır. Betonun Elastite Modülü 27,580 Mpa, Betonun Poison Oranı 0,20, Betonun tek eksenli basınç dayanımı 35 Mpa, Betonun tek eksenli çekme dayanımı 3,5 Mpa, Betonun iki eksenli basınç dayanımı 42 Mpa, Betonun Kütle Yoğunluğu 2483 kg m^{-3} , Suyun Kütle Yoğunluğu 1000 kg m^{-3} , Dalga Basıncı Hızı 1440 $m sn^{-1}$, Dalga Yansıması Katsayısı 0,90 alınmıştır.

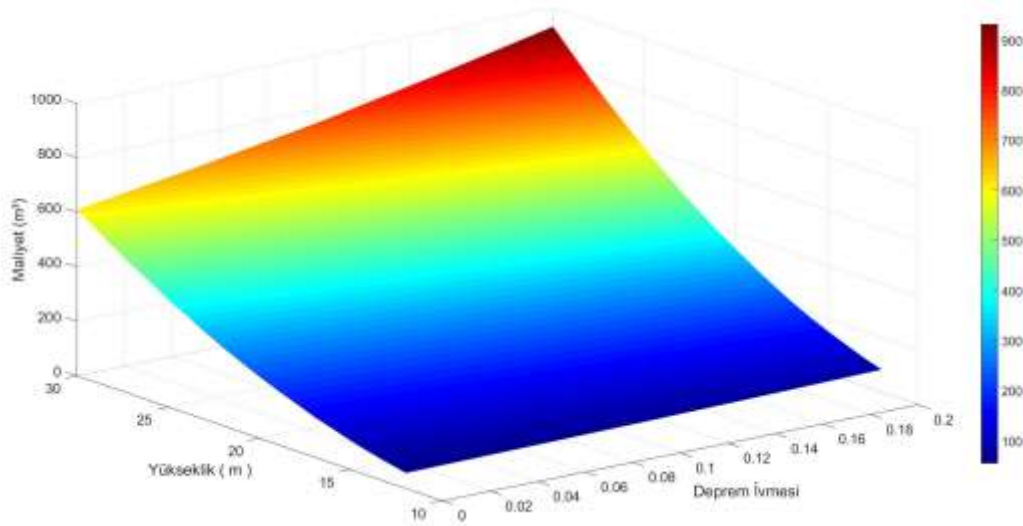
Modelde ilk olarak çalışmada sabit kabul edilen parametrelerin tanıtılmasının yanısıra çalışmanın amaçlarından olan farklı yüksekli ve deprem ivmeleri girilmiştir. Bu işlem toplam 95 adet kombinasyon için tekrarlanmıştır. Girilen bu parametreler nesneye yönelik programlama mantığı oluşturulan SOS yazılımına gönderilir. SOS içinden ise oluşturulan maliyet fonksiyonu ve kısıt fonksiyonlarının bulunduğu yazılıma yönlendirilir. Bu çalışmada bu işlemler için 100 organizma ve 500 iterasyon seçilmiştir. Bu nedenle her bir senaryo için her iterasyon sonucu elde edilen 100 sonucun en iyisi ve organizmaların kendi bulduğu değerlerin en iyisi tespit edilir. Bu işlem seçilen iterasyon sayısı kadar tekrarlanır. Böylelikle her kombinasyon için 50.000 adet hesaptan en ideali doğruya en yakın sonuç olarak kabu edilir (Şekil 4).



Şekil 4. Uygulanan modelin akış şeması

3. Bulgular ve Tartışma

Elde edilen sonuçlar irdelendiğinde baraj yüksekliğinin düşük olduğu durumlarda deprem yükündeki değişimlerin maliyetler üzerinde çok fazla bir etkisi olmadığı ancak yükseklik arttıkça maliyet değişimlerinin daha çok olduğu tespit edilmiştir (Şekil 5). Ancak düşük yüksekliklerdeki artış miktarı az olmasına rağmen oransal olarak yüksek fark bulunmaktadır. Örneğin depremsiz yapılan çözümde 13 m lik bir barajın maliyeti 12 m lik bir barajın maliyetine göre % 26 oranında değişmektedir. Bu değişim deprem ivmesi 0.2 seçildiğinde ise yine %26 dır. Ancak 28 m lik bir barajın maliyeti 27 m lik barajın maliyetinden % 9 fazladır. Yani yükseklikler arttıkça maliyetin artış oranı azalmaktadır. Ancak bu artış oranı aynı deprem oranları için birbirine yakın sonuçlar vermektedir. (Tablo 3). Deprem ivmesindeki değişiklikler ise maliyetleri hangi yükseklik olursa olsun birbirine yakın oranda etkilemektedir. Örneğin depremsiz ve 0.05 ivmeli bir 12 m yüksekliğindeki baraj maliyetleri arasında % 11 fark bulunmaktadır. Bu oran 0.15 ile 0.2 deprem ivmeleri için ise %10.5 dir. Bu değişim yüksekğin 30 m ye çıktığı durumlarda da hemen hemen aynıdır (Tablo 4). Son olarak Şekil 6' da deprem ivmesi artışlarının yükseklik ile beraber maliyete olan etkisi gösterilmiştir.



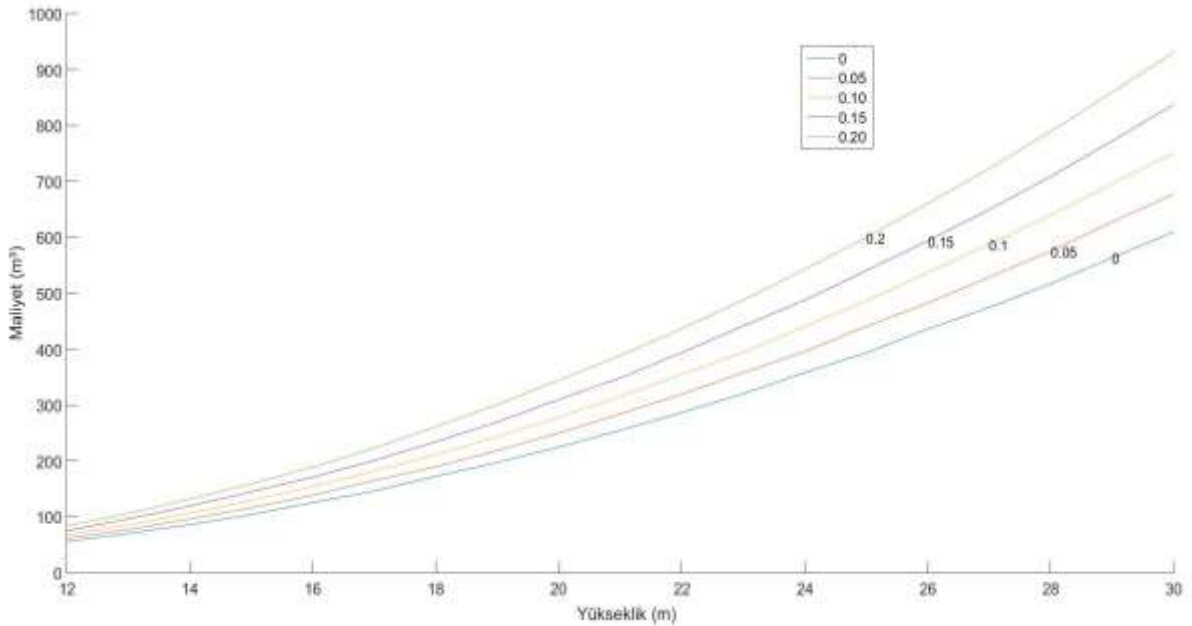
Şekil 5. Yükseklik ve deprem ivmesi değişimlerinin maliyete olan etkisi

Tablo 3. Yükseklik artışlarının bir önceki yüksekliğe ve deprem ivmesine göre etkisi

Kıyaslanan Yükseklik	Deprem ivmesi 0	Deprem ivmesi 0.05 m/s ²	Deprem ivmesi 0.1 m/s ²	Deprem ivmesi 0.15 m/s ²	Deprem ivmesi 0.20 m/s ²
13-12	%26	%25.5	%26	%26	%26
18-17	%17	%16	%16.5	%17	%17
24-23	%10	%11	%11	%10.5	%10
28-27	%9	%9.5	%9	%9	%8.5
30-29	%8.5	%9	%8.5	%8.5	%8

Tablo 4. Deprem ivmesindeki değişikliklerin yüksekliğe bağlı maliyete etkisi

Deprem ivmesi	Yükseklik 12 m	Yükseklik 17 m	Yükseklik 24 m	Yükseklik 28 m	Yükseklik 30 m
0.05-0	%11	%11	%10.5	%10.5	%10.5
0.01-0.05	%11	%10.5	%10.5	%10.5	%10
0.15-0.10	%11	%11	%10.5	%10.5	%10.5
0.15-0.20	%10.5	%10.5	%10.5	%10.5	%10



Şekil 6. Deprem ivmelerinin maliyete olan etkisi

4. Sonuç ve Öneriler

Günümüzde suya olan ihtiyacın artması su kaynaklarının optimum bir şekilde projelendirilmesini ve yönetilmesini gerektirmektedir. Su kaynakları bakımından da barajlar en önemli su kaynakları yönetim elemanıdır. Bu çalışmada beton ağırlık barajlarının boyutlandırılması için SOS algoritması kullanılmıştır. Çalışmada 12-30 metre arasında birer metrelik değişimlerin yanı sıra 0, 0.05, 0.1, 0.15 ve 0.20 lik deprem ivmeleri ile 95 adet senaryonun optimum boyutları hesaplanmıştır. 95 adet farklı senaryodan elde edilen minimum maliyetleri değerleri elde edilmiştir. Buna göre, yükseklik arttıkça maliyetler artmaktadır. Artış miktarı yükseklik arttıkça daha fazla olmasına rağmen oransal olarak bakıldığında düşük yükseklikler için daha fazla artışa sahiptir (bu cümleyi daha anlaşılır bir şekilde tekrar yaz). Çalışmada elde edilen başka bir sonuç ise deprem ivmesindeki artışın yükseklikten bağımsız olarak aynı oranda etkilediğidir. Ancak miktar olarak bakıldığında yükseklik arttıkça artış (ne artışı) miktarının da arttığı görölür. Ayrıca çalışmada elde edilen 95 senaryo sonucunun herbirini elde etmek için 100 organizma ve 500 iterasyon seçilmiştir. Bu senaryoların her birinin SOS ile 100 organizma tarafından 500'er iterasyonla tespit edilme süresi ise ortalama 15 saniye olarak bulunmuştur. Yani problem için gerekli fizibilite çalışmaları yapılıp gerekli yükseklikler, deprem ivmesi ve gerekli parametreler seçildikten sonra maliyeti minimum-yapacak özömler çok kısa sürede üretilebilecektir.

Yazarların Katkısı

Kemal SAPLIOĞLU gerekli tahkikler ve kısıt fonksiyonlarını optimizasyon içerisine dahil ederek farklı boyutlar için optimum sonuçları modelleme ve grafiklerin izimi, Erdem ÇOBAN literatür taraması ve kısıt fonksiyonları, Fatih Ahmet ŞENEL optimizasyon fonksiyonunu oluşturulması, Soner UZUNDURUKAN zemin emniyeti ile ilgili modellemeler konusunda katkı sağlamıştır.

ıkar atışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar atışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar

- [1] Datta B., Chakrabarty D., Dhar A. 2011. Identification of unknown groundwater pollution sources using classical optimization with linked simulation. Journal of Hydro-Environment Research, 5 (1): 25-36.
- [2] Anile A.M., Cutello V., Nicosia G., Rascuna, R., Spinella S. 2005. September. Comparison among evolutionary algorithms and classical optimization methods for circuit design problems. In 2005 IEEE Congress on Evolutionary Computation, 1: 765-772, IEEE.
- [3] Saplıoğlu K., Uzundurukan S. 2019. Bilimsel alışmalarda kullanılan bazı yapay zeka uygulamalarının ve trendlerinin incelenmesi. DÜMF Mühendislik Dergisi, 10 (1): 249-262.
- [4] Geem Z.W. 2007. Optimal scheduling of multiple dam system using harmony search algorithm. In International Work-Conference on Artificial Neural Networks, 316-323, Springer, Berlin, Heidelberg.
- [5] Banos R., Manzano-Agugliaro F., Montoya F.G., Gil C., Alcayde A., Gómez J. 2011. Optimization methods applied to renewable and sustainable energy: A review. Renewable and sustainable energy reviews, 15 (4): 1753-1766.
- [6] Khatibinia M., Khosravi S. 2014. A hybrid approach based on an improved gravitational search algorithm and orthogonal crossover for optimal shape design of concrete gravity dams. Applied Soft Computing, 16: 223-233.
- [7] Kshirsagar D.Y. 2014. Effect of variation of earthquake intensity on stability of gravity dam. J Indian Water Resour Soc, 34 (3): 1-6.

- [8] Salmasi F. 2011. Design of gravity dam by genetic algorithms. *International Journal of Civil and Environmental Engineering*, 3 (3): 187-192.
- [9] Deepika R., Suribabu C.R. 2015. Optimal design of gravity dam using differential evolution algorithm. *Iran University of Science Technology*, 5 (3): 255-266.
- [10] Seyedpoor S.M., Salajegheh J., Salajegheh E. 2012. Shape optimal design of materially nonlinear arch dams including dam-water-foundation rock interaction using an improved PSO algorithm. *Optimization and engineering*, 13 (1): 79-100.
- [11] Seyedpoor S.M., Salajegheh J., Salajegheh E., Gholizadeh S. 2011. Optimal design of arch dams subjected to earthquake loading by a combination of simultaneous perturbation stochastic approximation and particle swarm algorithms. *Applied Soft Computing*, 11(1): 39-48.
- [12] Akbari J., Ahmadi M.T., Moharrami H. 2011. Advances in concrete arch dams shape optimization. *Applied Mathematical Modelling*, 35 (7): 3316-3333.
- [13] Hamidian D., Seyedpoor S.M. 2010. Shape optimal design of arch dams using an adaptive neuro-fuzzy inference system and improved particle swarm optimization. *Applied Mathematical Modelling*, 34 (6): 1574-1585.
- [14] Seyedpoor S.M., Salajegheh J., Salajegheh E., Gholizadeh S. 2009. Optimum shape design of arch dams for earthquake loading using a fuzzy inference system and wavelet neural networks. *Engineering optimization*, 41 (5): 473-493.
- [15] Wang L., Zeng J., Xu L. 2011. A decision support system for substage-zoning filling design of rock-fill dams based on particle swarm optimization. *Information Technology and Management*, 12 (2): 111.
- [16] Akbari J., Ahmadi M.T., Moharrami H. 2011. Advances in concrete arch dams shape optimization. *Applied Mathematical Modelling*, 35 (7): 3316-3333.
- [17] Deepika R., Suribabu C.R. 2015. Optimal design of gravity dam using differential evolution algorithm. *Iran University of Science Technology*, 5 (3): 255-266.
- [18] Chopra A.K. 1978. Earthquake resistant design of concrete gravity dams. *Journal of the Structural Division*, 104 (6): 953-971.
- [19] Ozdemir G., Aydemir E., Olgun M.O., Mulbay Z. 2016. Forecasting of Turkey Natural Gas Demand Using a Hybrid Algorithm. *Energy Sources Part B- Economics Planning and Policy*, 11 (4): 295-302.
- [20] Çatal Y., Saphioğlu K. 2018. Comparison of Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System, Artificial Neural Networks and Non-Linear Regression for Bark Volume Estimation in Brutian Pine *Pinus brutia* ten. *Applied Ecology and Environmental Research*, 16 (2): 2015-2027.
- [21] Cheng M., Prayogo D. 2014. Symbiotic Organisms Search: A New Metaheuristic Optimization Algorithm. *Computers and Structures*, 139: 98-112.
- [22] Çelik E., Öztürk N. 2017. Doğru Akım Motor Sürücülerini için PI Parametrelerinin Simbiyotik Organizmalar Arama Algoritması ile Optimal Ayarı. *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, 10 (3): 311-318.
- [23] Baysal Y. A., Altas I. H. 2017. Power Quality Improvement via Optimal Capacitor Placement in Electrical Distribution Systems using Symbiotic Organisms Search Algorithm. *Mugla Journal of Science and Technology*, 3 (1): 64-68.

Araştırma Makalesi / Research Article

Termik Santral Küllerinde Yanmamış Karbonun Pulverize Kömür Boyut Dağılımı ve Uçucu Madde İçeriği ile İlişkisi

Mehmet BİLEN*, Serdar YILMAZ

*Bülent Ecevit Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Zonguldak
(ORCID: 0000-0003-0960-9421) (ORCID: 0000-0003-0249-1600)*

Öz

Bu çalışmada, iki termik santral özelinde uçucu küller yanmamış karbon açısından incelenmiş ve elde edilen analiz sonuçları kömürün kısa analiz sonuçlarıyla ve kömürün öğütülme sonrası boyut parametreleriyle karşılaştırılmıştır. İncelenen ilk santral için, yanma kazanının aynı şartlar altında farklı kömür örnekleriyle çalıştığı bir süreç incelenirse ve bu süreçte küllerde farklı değerlerde yanmamış karbon tespit edilirse, bunun nedeninin daha çok kömüre ait nedenler olduğu düşünülebilir. Bu çalışmada, iki farklı santral değerlendirilmiş olup, 17 farklı uçucu madde içeriği olan kömür kullanan birinci santralde gözlemlenen 17 farklı yanmamış karbon değerinin ilişkisi kurulmuş ve sonuçlar kömürün uçucu madde içeriğinin yanmamış karbon üzerinde oldukça etkili olduğunu göstermiştir. İkinci santralde ise pulverize kömür örneklerinin boyut dağılımları incelenmiş ve boyut parametreleriyle yanmamış karbon arasındaki ilişkiler belirlenmiştir. Kömür boyut dağılımına ait D_{32} boyut parametresinin yanmamış karbon ile ilişkisinin anlamlı olduğu sonucuna varılmıştır.

Anahtar kelimeler: Yanmamış karbon, Kömür, Boyut parametreleri, Termik santral, Uçucu madde.

The Relationship of Unburned Carbon in Coal fired Power Plants with Pulverized Coal Size Distribution and Volatile Matter Content

Abstract

In this study, considering two specific coal fired power plants, fly ash samples were analyzed in terms of unburned carbon and amount of unburned carbon in these samples were compared to coal proximate analysis results and the size parameter results of coal samples after grinding. For the first power plant under investigation, if a period of same conditions of same boiler utilization of different types of coals considered, and if different amounts of unburned carbon is observed in fly ashes in that specific period, the reason behind either high or low amount of unburned carbons can be explained mainly by coal related factors. In this study, two different coal fired power plant were investigated and regarding the first one, 17 utilized coal type with different volatile matter content and their corresponding unburned carbon in ash is plotted and the obtained correlation between coal volatile matter and unburned carbon in ash showed that volatile matter content of coal is dominantly affecting the coal burnout. Regarding the second coal fired power plant investigated, pulverized coal samples collected are analyzed in terms of their size distribution and relationships between size parameters and unburned carbon were determined. It was concluded that, D_{32} size parameter shows one of the better relation between unburned carbon among other size parameters.

Keywords: Unburned carbon, Coal, Size Parameters, Power plant, Volatile matter

1. Giriş

Termik santrallerde yanmamış karbon, kömürde depolanan kimyasal enerjinin tam olarak iletim ara maddesine verilmemesiyle oluşan kısımdır ve bu kimyasal enerjiden tam olarak faydalanılamaması anlamına gelmektedir. Yanmamış karbon miktarı gerek uçucu külde gerekse kazan altı küllerde yanma rejimine ve yanma verimliliğine bağlı olarak değişmektedir. Yanmamış karbonun küllerin bünyesinde bulunması hem işletme olarak termik santralin elde edilebilecek nihai enerji miktarında bir kayıp hem

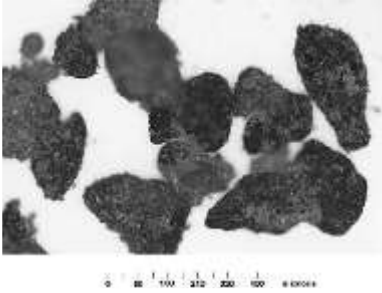
*Sorumlu yazar: mehmetubilen@yandex.com, mehmet.bilen@beun.edu.tr
Geliş Tarihi: 08.01.2020, Kabul Tarihi: 16.07.2020

de küllerin değerlendirilebilirliği anlamında bir yetersizlik olarak ortaya çıkmaktadır. Külün içerdiği yanmamış karbon oranı birçok nedene bağlıdır [1]. Bunlar;

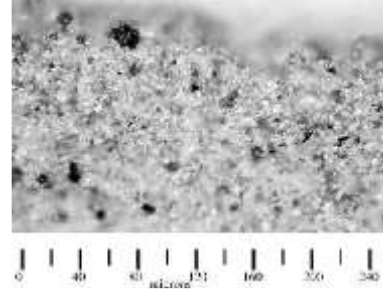
- Kömürün cinsi,
- Yakma kazanın dizaynı,
- Yakma şartları,
- Emisyon indirgeme teknolojileridir.

Enerji santrallerinde külde yanmamış karbon farklı miktarlarda olabilmektedir. Uçucu küldeki yanmamış karbon, termik santrallerde yakma verimini yansıtan önemli bir veridir [2]. Yanmamış karbon miktarları uçucu küllerde genelde daha fazladır ancak bu miktar yakma rejimine bağlı değişim göstermektedir. Bartonova [3] çalışmasına göre bitümlü kömürle çalışan bir santralde, yatak külünde yanmamış karbon miktarı %1.23 iken uçucu külde yanmamış karbon miktarı %5.57 olarak bulunmuştur. Deneysel ya da bilgisayarlı yollarla yanmamış karbon tahmin sistemi geliştirmek için birçok yaklaşım mevcuttur [4]. Moron [5] uçucu küldeki yanmamış karbonun, kömür karışımı için beslenen fazla hava oranıyla ilişkisini araştırmıştır [6]. Bartonova [3] çalışmasına göre yanmamış karbon miktarı, kömürün kimyasal kompozisyonundan, kömür petrografik özelliklerinden, kömür hazırlama yöntemlerinden gibi kömüre ait parametrelerle; yanma odası sıcaklığı, fazla hava miktarı, kazan içi kalma süresi gibi kazan dizaynına ait parametrelerle ilişkilidir [7, 8, 9, 10, 11]. Yanmamış karbon çeşitli fiziksel özellikler göstermektedir.

Şekil 1 ve Şekil 2’de küllerde bulunan yanmamış karbonun tipik doğası gösterilmiştir [1]. Küller kullanım potansiyeline göre ekonomik olarak düşük değerli olurlar ve bu tür küller uçucu madde giderme işlemi sırasında yumuşamazlar. Bu özelliklerinden dolayı keskin hatlı özelliklere sahip yanmamış karbon taneciklerine sahip olurlar. Diğer yandan bazı küller ise tam tersi olarak uçucu madde giderme işlemi sırasında yumuşama gösterirler. Bundan dolayı bu tür kömürlerden oluşan yanmamış karbon taneciklerinde “blow-holes” olarak adlandırılan delikler bulunmaktadır [1].



Şekil 1. Külde bulunan yanmamış karbon tanecikleri ($180 < d < 355 \mu\text{m}$) [1]



Şekil 2. Külde bulunan yanmamış karbon tanecikleri ($d < 45 \mu\text{m}$) [1]

Uçucu küllerdeki tüm yanmamış karbon örneklerinin tanecik boyutu $100 \mu\text{m}$ altında bulunmaktadır. Yanmamış karbonlar amorf bir yapıya sahiptir. Yanmamış karbon örneklerinin oluşum yoğunluk değerleri $0,15 \text{ gr/cm}^3$ civarındadır. Yanmamış karbon hafif bir malzemedir

Yanmamış karbon diğer karbon türleriyle karşılaştırıldığı zaman içerisinde ihtiva ettiği uçucu madde miktarının daha farklı olduğu görülür. Yanmamış karbon içinde bulunan uçucu madde miktarı, siyah karbon ve kalsine koka yakın miktarda, aktif karbondakinden ise daha az miktarda bulunmaktadır. Bu nedenle yanmamış karbonun tek başına yanması zordur. Karbon içerisindeki uçucu maddeler büyük oranda küçük yüzey gruplarına sahip, tam olarak karbonize olmamış hidrokarbonlar içerir [1].

Bu çalışma kapsamında iki ayrı santralden alınan veriler incelenmiş ve kömüre ait parametrelerle uçucu kül bünyesindeki yanmamış karbon miktarları ilişkilendirilmiştir. İlk santral farklı uçucu madde içeren 17 adet kömürün yakıldığı süreçte incelenmiş ve bu süreçte toplanan uçucu küllerin yanmamış karbon miktarları tayin edilmiştir. İlk santralde yapılan bu gözlem, 17 farklı kömürün yakıldığı süreçte operasyonel koşulların benzerlik taşıdığı varsayımıyla gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın ikinci kısmında ise 2 ayrı ünitesi olan termik santralden değirmen çıkışlarından alınan öğütülmüş kömür örnekleri boyut açısından incelenmiş ve boyut parametreleriyle külde yanmamış karbon miktarları ilişkilendirilmiştir. Burada amaç kazana vardiya boyunca beslenen kömür dağılımını belirlemek ve bu dağılıma ait boyut parametreleriyle yanmamış karbonu ilişkilendirmektir. Kömüre ait parametrelerin yanmamış karbon açısından etkisi literatür çalışmalarında vurgulanmaktadır ancak bu etkinin

gözlemlenmesi ve sonuçların irdelenmesi literatürdeki eksiği tamamlaması da çalışmanın bir diğer amacını teşkil etmektedir.

2. Materyal ve Metod

Çalışma kapsamında iki farklı santralden kömür ve kül örnekleri alınmış ve birinci santralden alınan kömürlerin sadece uçucu maddeleri ikinci santralden alınan pulverize kömürlerin ise boyut dağılımları incelenmiştir. Alınan kül örnekleri ise yanmamış karbon açısından incelenmiştir.

2.1. Birinci Santralden Alınan Kömür ve Kül Örnekleri

Birinci santralden 17 farklı kömür örneği alınmış ve bunlar belli bir süreçte yakılmıştır. Bu süreçte operasyona ait parametrelerin sabit olduğu varsayılmış ve sisteme herhangi bir etki söz konusu olmamıştır. Toplanan bu kömürler uçucu madde içeriği açısından incelenmiştir. Kömür örneklerinin uçucu madde içerikleri analizi ASTM D 3175-07 [12] standardına uygun şekilde gerçekleştirilmiştir. Kömürler santralde yakıldıktan sonra, yakılan kömüre karşılık gelen kül (uçucu kül) örnekleri toplanmıştır ve yanmamış karbon içeriği açısından incelenmiştir. Yanmamış karbon analizleri ise ASTM D7348-13 [13] yöntemi izlenerek yapılmıştır.

Kömür örneklerinde uçucu madde içeriği kuru bazda yapılmıştır. Ancak kömür örneklerinin nem içeriklerine göre orijinal kömürlerin uçucu madde içerikleri farklılaşabilmektedir. Santrale kömürler orijinal halleriyle beslenmekte ve boyut küçültme işlemlerinden sonra kazanda yanmaktadır. Kömürde uçucu madde içeriği kadar nem varlığı da kazan içinde yanmada ve kazan öncesi süreçlerde etkindir. Dolayısıyla, yapılacak yanmamış karbon ve uçucu madde kıyaslamalarında hem orijinal bazda hem de kuru bazda uçucu madde içeriğini ayrı ayrı değerlendirmek gerekmektedir. Çünkü uçucu maddelerin kömürden uzaklaşmasından önce nem kömürden uzaklaşır. Bu da enerji alan bir süreçtir. Kömürün yanması için verilen enerji toplamı, hem nemi hem de uçucuları uzaklaştırmak için kullanılabilir daha sonrasında da kömür yanmaya başladıkça enerji vermektedir. Kazan içi sistemi küçülterek bir parça kömürün yandığını düşünecek olursak, o parça kömürün tam yanması için verilecek enerji miktarı nem ve uçucu madde içeriği arttıkça artacaktır. Kazan içindeki bütün kömür parçacıkları için aynı gerçek söz konusudur.

2.2. İkinci Santralden Alınan Kömür ve Kül Örnekleri

İncelenen ikinci santral iki ayrı üniteden oluşmaktadır. Örnekler değirmen çıkışından, elektrostatik filtre (ESP) sıralarından ve uçucu kül silolarından her vardiyada dış bir müdahalenin en az olduğu bir süreçte üç gün boyunca alınmıştır. 2. ünite ve 3. ünite için numune alma noktaları ve numune alma sıklıkları Tablo 1’de yer almaktadır.

•Kömür stok sahasından alınan yaklaşık 1 ton kömürün standart örnek azaltma işlemleri takip edilerek yaklaşık 200 kilografa düşürülmüştür. Bu örnekte kömürün kısa analiz değerlendirilmesi yapılmıştır.

•Değirmen çıkışı numuneleri vardiya başında ve vardiya ortasında olmak üzere her vardiyada iki kez ‘burner’ denilen ve numune alınan havayla gerçekleştiği düzenek yoluyla alınmıştır. Pulverize kömür numunelerinin alınmasıyla paralellik gösteren uçucu kül numunelerinin alınması analizler ve kıyaslamalar için önemlidir.

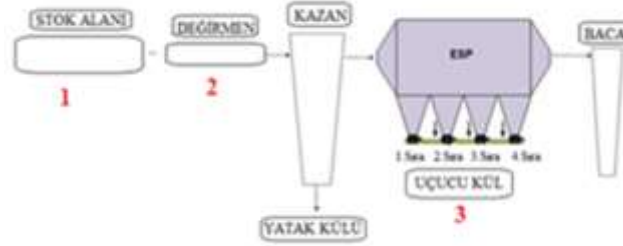
•Uçucu küller her vardiyada vardiya başı ve vardiya ortası olmak üzere iki kez alınmıştır.

Numune alımı akım şeması üzerinde numaralandırılmış noktalardan Tablo 1’de belirtilen sıklıklarda gerçekleştirilmiştir. Numunelerin alındığı süreçte santralde tek tip kömür kullanılmış ve santral sistemine müdahaleden olabildiğince kaçınılmıştır.

Tablo 1. Üniteler için numune alma noktaları ve numune alma sıklıkları

Numune Alındığı Yer	Numune Alma Sıklığı
Kömür Stok Sahası	Temsili numune alma
Değirmen Çıkışı (Pulverize Kömür)	Her vardiyada her değirmen çıkışından vardiya başı ve vardiya ortası olmak üzere iki defa numune alınmıştır.
Uçucu Kül	Her vardiyada 2 kez olmak üzere numune alınmıştır. Her sıradan 1. sıra, 2. sıra, 3. sıra, 4. sıra ve 1. ve 3. silolardan numune alınmıştır.

Şekil 3’de ikinci santrale ait örnek alma noktaları gösterilmektedir.

**Şekil 3.** İkinci santrale ait örnek alma noktaları

Kazana beslenen kömürün boyut dağılımını belirleyerek, boyut dağılımının etkisini anlamak üzerine çalışma yapılması planlandığı için çok sayıda numune ile çalışılmıştır. Değirmen çıkışından alınan pulverize kömür örnekleri Malvern Mastersizer S 2000 cihazıyla çalışılmış ve her bir vardiyada kazana beslenen kömürün boyut ortalamaları elde edilmiştir.

Boyut analizleri Malvern Mastersizer S 2000 cihazıyla yapılmış ve cihazın sağladığı 5 boyut parametresinin incelenmesi amaçlanmıştır. Bu boyut parametreleri ve anlamları;
 D_{10} : Numunenin %10’unun geçtiği boyut (μm), D_{50} : Numunenin %50’unun geçtiği boyut (μm), D_{90} : Numunenin %90’unun geçtiği boyut (μm), D_{32} : Hacim-yüzey ortalama çap (Sauter ortalaması)

$$D_{32} = \frac{\sum_1^n D_i^3 v_i}{\sum_1^n D_i^2 v_i} \quad (1)$$

D_{43} : Hacim-ağırlık ortalama çap (DeBroukere ortalaması)

$$D_{43} = \frac{\sum_1^n D_i^4 v_i}{\sum_1^n D_i^3 v_i} \quad (2)$$

şeklindedir.

Değirmen çıkışlarından alınan numunelerde her bir değirmene ait 4 brülörden çıkan numunelerle birlikte vardiyada; vardiya başı ve ortası olmak üzere alındığından ve 6 değirmen olduğundan 48 numune ile çalışılmıştır. Değirmen çıkışlarından numuneler 9 vardiya boyunca 2. ünite ve 3. ünitelerden alınmıştır. Uçucu kül örnekleri yanmamış karbon içeriğini bulmak üzere yakılmış ve yanmamış karbon analizleri gerçekleştirilmiştir.

3. Sonuçlar

Bu kısımda her bir santral için elde edilen sonuçlar ayrı ayrı ele alınmıştır.

3.1. Birinci Santral

Birinci santralde tek bir ünite mevcuttur ve 55 MW güç üretilmektedir. Bu santrale bir süreç içinde beslenen 17 kömür örneği uçucu madde içerikleri tespit edilmiştir. Bu kömürlerin uçucu madde içerikleri Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Birinci santrale beslenen 17 farklı kömür örneğine ait uçucu madde içerikleri (Yılmaz 2019).

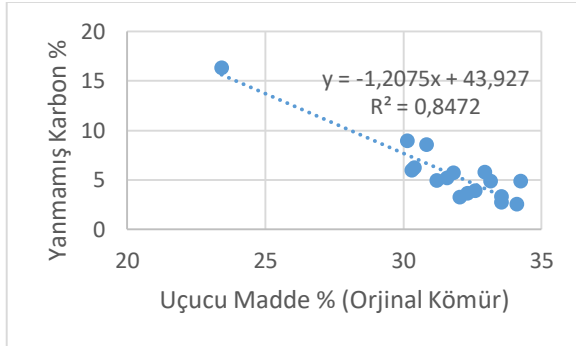
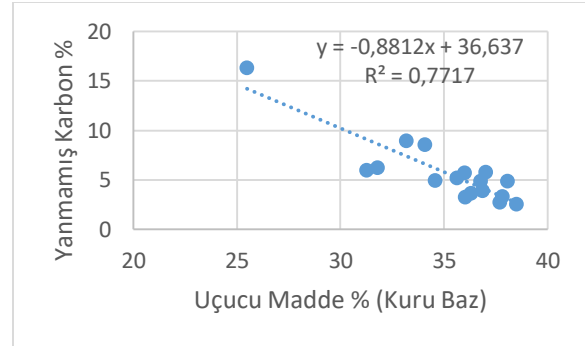
Kömür Örneği No	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Uçucu Madde İçeriği (%) (Orj. Kömür)	23.42	32.96	30.14	30.31	34.24	33.56	34.1	33.55	30.84
Uçucu Madde İçeriği (%) (Kuru Kömür)	25.48	37.02	33.16	31.26	38.07	37.81	38.5	37.69	34.06
Kömür Örneği No	10	11	12	13	14	15	16	17	
Uçucu Madde İçeriği (%) (Orj. Kömür)	31.21	31.82	31.59	33.17	32.6	32.05	32.32	30.39	
Uçucu Madde İçeriği (%) (Kuru Kömür)	34.55	35.98	35.62	36.77	36.84	36.03	36.29	31.79	

Bu santrale incelen kömür örneklerinin yakılmasıyla elde edilen kül örnekleri yanmamış karbon açısından incelenmiş ve sonuçlar Tablo 3’de verilmiştir.

Tablo 3. Birinci santrale beslenen 17 farklı kömür örneğine ait uçucu madde içerikleri (Yılmaz 2019).

Karşılık Gelen Kül Örneği No	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Yanmamış Karbon (%)	16.31	5.79	8.95	5.99	4.89	3.31	2.52	2.72	8.55
Karşılık Gelen Kül Örneği No	10	11	12	13	14	15	16	17	
Yanmamış Karbon (%)	4.92	5.71	5.22	4.88	3.92	3.28	3.65	6.22	

Tablo 2 ve Tablo 3’de elde edilen birleştirilerek yanmamış karbonun uçucu madde ile olası ilişkileri belirlenmiştir. Şekil 4 ve Şekil 5’de bu ilişkiler gösterilmiştir.

**Şekil 4.** Uçucu Madde (Orj. Baz) (%) ve yanmamış karbon (%).**Şekil 5.** Uçucu Madde (Kuru Baz) (%) ve yanmamış karbon (%).

Şekil 4 ve Şekil 5 incelendiğinde yanmamış karbon miktarı kömürün uçucu madde içeriğiyle önemli ölçüde ilişkilidir. Orijinal kömür örnekleriyle 0.84 olan ilişki katsayısı kuru kömür örneklerinde 0.77 olarak bulunmuştur. Bunun sebebi ise kömürün nem içeriğinin de yanmamış karbon miktarında etkili olduğu gerçeği olarak düşünülmektedir.

3.2. İkinci Santral

3.2.1. Kısa Analiz

Stok sahasından alınan örnek menşei Kolombiya olan 170 000 tonluk kömürü temsil eden bir numunedir. Stok sahasından alınan örneğin kısa analizi yapılmış ve Tablo 4’de verilmiştir.

Tablo 4. Stok sahasından alınan kömürün kısa analiz sonuçları.

Analiz	Kuru Kömür	Orijinal Kömür
Nem (%)	-	14,63
Kül (%)	9,52	8,13
Uçucu Madde Miktarı (%)	27,49	24,71
Sabit Karbon (%)	51,89	46,64
Toplam Kükürt (%)	0,44	0,40
Üst Isıl Değer (Kcal/kg)	6628	5958
Alt Isıl Değer (Kcal/kg)	6403	5755

Numune orijinal bazda %8.13 kül, %24.71 uçucu madde, %46.64 sabit karbon içermektedir. Numunenin üst ısıl değeri 5958 kcal/kg'dır. Nem miktarının %14 civarında olması numunenin şubat aylarında temin edilmesi ve numune sürecindeki hava koşullarının etkisi olduğu söylenebilir. Kısa analizleri yapılan kömürün alt bitümlü kömür olduğu tespit edilmiştir.

3.2.2. Değirmen Çıkışlarından Alınan Kömür Örneği Çalışmaları

Değirmen çıkışlarından her vardiyada, vardiya başı ve vardiya ortası olmak üzere iki kez örnek alınmıştır ve alınan bu örneklerin ayrı ayrı boyut dağılımları belirlenmiştir [14]. Tablo 5'de örnek bir vardiyaya ait değirmen çıkışı numunelerinin örnek bir vardiyaya ait analiz sonuçları verilmiştir.

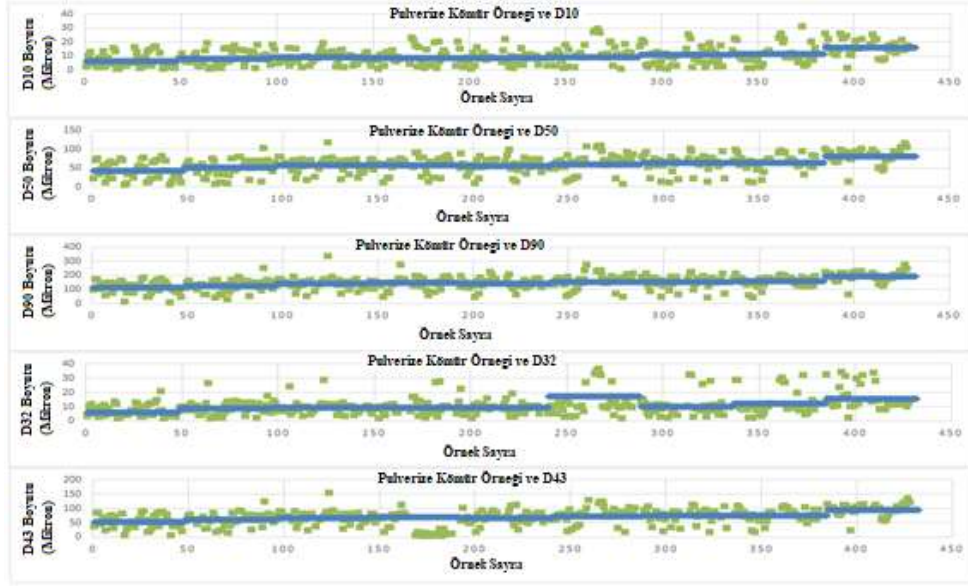
Tablo 5. Değirmen çıkışı numunelerinin örnek bir vardiyaya ait analiz sonuçları

Tarih: 13.02.2013,Çarşamba, Saat:17:00 Ünite:2						Tarih: 13.02.2013, Çarşamba, Saat:21:00, Ünite:2					
(Ç17002a1:Çarşamba,1700, 2 ünite, A Değirmeni, 1.brülör)											
Numune Kodu	D ₁₀	D ₅₀	D ₉₀	D ₃₂	D ₄₃	Numune Kodu	D ₁₀	D ₅₀	D ₉₀	D ₃₂	D ₄₃
Ç17002a1	8.34	50.26	110.82	9.16	56.19	Ç21002a1	14.73	75.42	166.30	11.37	84.66
Ç17002a2	8.02	59.55	150.96	8.49	71.27	Ç21002a2	15.62	75.40	161.58	13.14	82.97
Ç17002a3	11.34	68.21	158.06	10.17	78.20	Ç21002a3	6.11	43.16	105.21	6.96	50.64
Ç17002a4	8.10	49.86	114.75	8.73	57.22	Ç21002a4	7.00	47.73	109.85	8.41	54.55
Ç17002b1	5.59	49.23	126.08	7.11	58.65	Ç21002b1	12.56	78.84	190.89	10.14	92.43
Ç17002b2	5.90	53.24	128.96	7.70	61.35	Ç21002b2	17.31	80.06	170.25	13.85	88.53
Ç17002b3	5.36	36.51	94.67	12.27	44.25	Ç21002b3	*	*	*	*	*
Ç17002b4	5.93	48.15	118.85	7.36	56.66	Ç21002b4	8.37	60.10	137.69	9.56	68.23
Ç17002c1	9.59	54.05	120.25	9.11	60.91	Ç21002c1	14.34	68.29	157.85	12.50	79.06
Ç17002c2	12.00	60.81	134.44	10.79	68.34	Ç21002c2	14.04	67.79	151.43	12.19	76.76
Ç17002c3	2.84	21.27	65.28	4.04	28.80	Ç21002c3	2.29	17.03	52.70	3.49	23.94
Ç17002c4	2.63	19.01	62.24	3.81	27.15	Ç21002c4	6.37	49.98	125.20	7.44	59.26
Ç17002d1	5.01	39.23	123.20	6.26	53.37	Ç21002d1	8.10	59.12	139.17	8.96	68.05
Ç17002d2	5.46	46.49	124.79	6.65	57.18	Ç21002d2	13.35	69.07	146.81	12.86	76.19
Ç17002d3	13.67	75.28	159.35	12.03	82.45	Ç21002d3	10.06	51.79	115.53	9.73	58.93
Ç17002d4	18.76	69.29	128.79	26.33	72.33	Ç21002d4	12.98	68.10	148.35	11.82	75.93
Ç17002e1	0.58	5.42	41.09	1.59	15.13	Ç21002e1	1.14	13.65	89.93	2.39	31.95
Ç17002e2	2.07	32.65	164.88	3.20	60.61	Ç21002e2	17.88	102.82	253.33	12.26	121.68
Ç17002e3	1.09	11.23	61.97	2.28	23.10	Ç21002e3	7.45	59.74	154.48	7.55	72.31
Ç17002e4	1.12	11.02	57.93	2.29	21.84	Ç21002e4	10.02	70.33	163.50	9.73	80.40
Ç17002f1	4.23	31.96	98.44	5.45	43.62	Ç21002f1	8.79	64.25	149.97	6.28	73.51
Ç17002f2	3.95	41.00	130.50	5.25	55.60	Ç21002f2	10.96	63.86	150.77	10.91	74.11
Ç17002f3	1.20	8.97	29.52	2.27	13.04	Ç21002f3	9.04	41.26	102.40	17.19	49.56
Ç17002f4	4.63	28.89	81.96	5.73	38.45	Ç21002f4	7.70	63.72	154.27	8.41	73.82
ortalama	6.14	40.48	107.82	7.42	50.23	ortalama	10.27	60.50	143.36	9.87	70.32
Vardiya ortalaması: (D₁₀=8.20), (D₅₀=50.49), (D₉₀=125.60), (D₃₂=8.65), (D₄₃=60.28), * Numune alınmamıştır.											

Boyut Analizleri Malvern Mastersizer S 2000 cihazıyla yapılmıştır. Mastersizer cihazı ile hazırlanan yaklaşık 800 numunenin analizleri su ortamında yapılmıştır.

Malvern Mastersizer cihazından alınan herhangi bir vardiyadaki örnek boyutlandırma sonuçları incelendiğinde ilgililenen D₁₀, D₅₀, D₉₀, D₃₂, D₄₃ değerleri görülmektedir. Bu boyut parametreleri D₁₀, D₅₀, D₉₀, D₃₂, D₄₃ her bir numune için belirlenmiş ve her bir vardiyadaki kazana beslenen kömürlerin ortalama boyut parametreleri aritmetik olarak elde edilmiştir [14]. Bu analizler sonucunda Tablo 6'da 2. ve 3. ünitenin 9 vardiya boyunca ortalama boyut parametre sonuçları verilmiştir. Tablo 7'de ise her

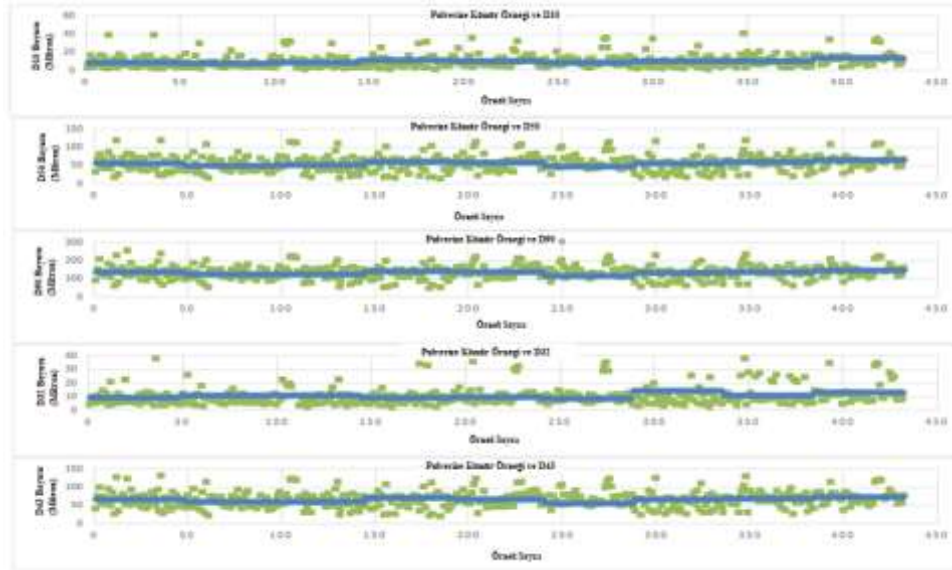
bir üniteden 9 vardiya boyunca gözlemlenen yanmamış karbon değerleri tablolaştırılmıştır. Şekil 6 ve Şekil 7’de ise pulverize kömür örneklerinin boyut parametrelerinin değişimi 9 vardiya boyunca her iki ünite için verilmiştir.



Şekil 6. Ünite 2 için 9 vardiya boyunca boyut parametrelerindeki değişim (Mavi çizgiler vardiya bazındaki ortalamaları göstermektedir) [15]

Tablo 6. 2. Ünite için 9 vardiya boyunca boyut parametre sonuçları [15]

Ünite No	Vardiya No	D ₁₀ (µm)	D ₅₀ (µm)	D ₉₀ (µm)	D ₃₂ (µm)	D ₄₃ (µm)
Ünite 2	1. Vardiya	6.38	42.06	114.44	6.02	52.72
	2. Vardiya	8.21	50.49	125.6	8.65	60.28
	3. Vardiya	9.16	56.79	141.3	9.26	67.56
	4. Vardiya	8.74	57.34	147.95	9.2	69.14
	5. Vardiya	8.6	56.19	141.33	9.27	67.21
	6. Vardiya	9.51	59.7	151.56	17.19	71.75
	7. Vardiya	10.99	63.88	155.97	10.15	75.24
	8. Vardiya	11.64	64.11	159.15	11.99	76.42
	9. Vardiya	15.99	81.17	191.6	15.72	94.32
Ünite No	Vardiya No	D ₁₀ (µm)	D ₅₀ (µm)	D ₉₀ (µm)	D ₃₂ (µm)	D ₄₃ (µm)
Ünite 3	1. Vardiya	9.09	56.19	137.88	9.01	66.42
	2. Vardiya	7.69	50.13	125.57	10.92	59.72
	3. Vardiya	9.08	51.18	123.84	11.13	60.23
	4. Vardiya	11.48	61	144.42	9.49	70.95
	5. Vardiya	10.27	58.26	136.05	9.65	67.23
	6. Vardiya	8.5	47.21	118.18	8.67	56.65
	7. Vardiya	10.44	57.16	134.99	14.16	66.35
	8. Vardiya	10.81	61.22	140.12	10.96	69.71
	9. Vardiya	13.52	64.2	147.53	13.17	73.76

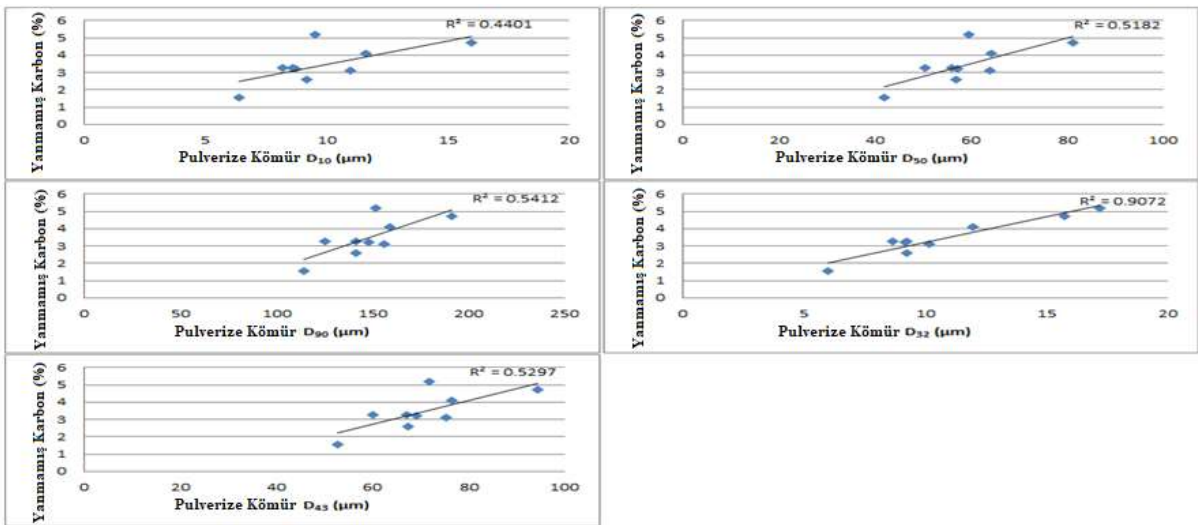


Şekil 7. Ünite 3 için 9 vardiya boyunca boyut parametrelerindeki değişim (Mavi çizgiler vardiya bazındaki ortalamaları göstermektedir) [15]

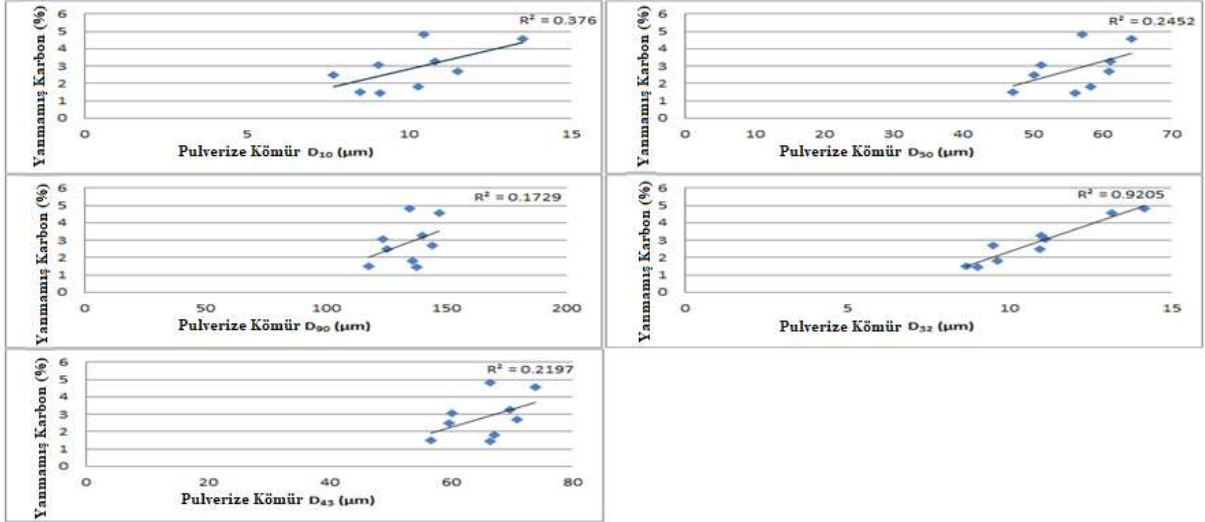
Tablo 7. İki ünite (2. ve 3. Ünite) için 9 vardiya boyunca gözlemlenen yanmamış karbon miktarları (%) [15]

		1. Vardiya	2. Vardiya	3. Vardiya	4. Vardiya	5. Vardiya	6. Vardiya	7. Vardiya	8. Vardiya	9. Vardiya
Yanmamış Karbon	Ünite 2	1.53	3.26	2.57	3.21	3.24	5.2	3.13	4.11	4.72
	Ünite 3	1.44	2.5	3.08	2.68	1.79	1.5	4.84	3.27	4.58

Şekil 8 ve Şekil 9’da ise her iki ünite için (sırayla 2. ve 3. ünite) pulverize kömür örneklerinin boyut parametreleri ile 9 vardiya boyunca küllerde gözlemlenen yanmamış karbon değerleri kıyaslanmıştır.



Şekil 8. Ünite 2 için 9 vardiya boyunca her bir boyut parametresinin (D_{10} , D_{50} , D_{90} , D_{32} , D_{43}) yanmamış karbon (%) miktarıyla ilişkisi [15]



Şekil 9. Ünite 3 için 9 vardiya boyunca her bir boyut parametresinin (D₁₀, D₅₀, D₉₀, D₃₂, D₄₃) yanmamış karbon (%) miktarıyla ilişkisi [15].

Şekil 8 ve 9 incelendiğinde, kömür boyut parametreleriyle kazanda yanarak elde edilen kül örneklerindeki yanmamış karbon miktarlarının ilişkili olduğu gözlemlenmiştir. Özellikle D₃₂ parametresi her iki ünite için de 0.90 mertebesinde bir ilişki katsayı göstermiştir. 2 no'lu ünite için boyut parametreleri ile külde yanmamış karbon daha anlamlı ilişkiler göstermiştir.

4. Tartışma ve Değerlendirme

Bu çalışma kapsamında, iki farklı santral farklı kömür özelliklerinin yanmamış karbon üzerinde etkisi araştırılarak incelenmiştir. Bu kapsamda ilk santralden 17 farklı kömür örneği ve bunların yanması sonucu oluşan 17 kül örneği toplanmıştır. Toplanan bu örnekler çalışmanın ilk aşamasında uçucu madde ile yanmamış karbon arasındaki ilişkinin tespiti için kömür örnekleri uçucu madde içeriği açısından kül örnekleri ise yanmamış karbon miktarları açısından incelenmiştir.

Elde edilen sonuçlara göre, yanmamış karbon miktarları sırasıyla kuru bazdaki uçucu madde içeriği ve orijinal kömürdeki uçucu madde içeriğiyle anlamlı ilişkiler (0.77 ve 0.84; R²=0.77 ve R²=0.84) katsayılı ilişkiyle) vermiştir. İlişkiler gözlemlendiğinde uçucu madde içeriği arttıkça yanmamış karbonun azaldığı görülmektedir, bu da kömürün uçucu maddesinin yanma sırasında kömürün tam yanmasına yardımcı olduğuyla açıklanabilir. Yanma sırasında uçucu madde uzaklaşırken kömür daha gözenekli hale gelmekte ve oksijen daha kolay kömürün iç yapısına kadar nüfus edebilmektedir. Kuru bazda daha düşük olan ilişkinin nedeni kömürün nem içeriğinin de yanmamış karbon miktarında etkili olabileceğini düşündürmektedir. Kömür nem içeriği kömürün ilk ısınması sırasında ilk uzaklaşan kısımdır ancak bunda da nispeten bir enerji gerekir. Dolayısıyla kömürün tam yanması için gereken enerjinin küçük bir kısmı da olsa nem içeriğinin uzaklaşması için kullanılmakta ve yanma nispeten tamamlanmamış olarak kalmaktadır.

Çalışmanın ikinci kısmında ise, iki farklı üniteyle enerji üretimi yapan yerel bir santral çalışılmıştır. Bu santralden alınan öğütülmüş ya da diğer bir deyişle pulverize kömür örnekleri boyut dağılımları elde edilmiş ve her bir numuneye ait boyut parametreleri belirlenmiştir. Kazanda yanan kömürü temsil etmek amacıyla çok sayıda pulverize kömür örneği alınmış ve vardiya bazında boyut parametreleri ortalamaları belirlenmiştir. Her bir vardiyada yanma sonucu oluşan uçucu kül örnekleri de toplanmış ve yanmamış karbon içerikleri tespit edilmiştir. Elde edilen kömüre ait boyut parametresi sonuçları ile yanmamış karbon miktarları kıyaslanmıştır. Kıyaslamalar özellikle D₃₂ boyut parametresinin yanmamış karbon miktarlarıyla anlamlı sonuçlar verdiğini göstermiştir. D₃₂ boyut parametresi tanımlandığı şekliyle kömürlerin hacim yüzey ortalamasıdır. Dolayısıyla bu boyut parametresi ile yanmamış karbon arasında ilişki olması normaldir, çünkü kömür parçacıklarının

yüzeyleri büyüdükçe ve hacimleri azaldıkça daha iyi yanacakları bilinmektedir. Düşük D_{32} değerlerinde düşük yanmamış karbon miktarının olması da bu yüzden anlaşılabilir bir durumdur.

Bu çalışmayla termik santral enerji verimliliği dikkate alındığında kömüre ait parametrelerin etkisi daha iyi bilinecektir. Elde edilen sonuçların, gerek konu ile ilgili araştırmacılar için gerekse santral operatörleri için faydalı olacağı düşünülmektedir.

Yazarların Katkısı

Mehmet BİLEN pulverize kömürlerin boyut parametreleri ile yanmamış karbon arasındaki ilişkilerin araştırılmasında katkıda bulunmuştur. Mehmet BİLEN deneysel olarak pulverize kömürlerin boyut parametrelerini belirlemiş ve küllerde yanmamış karbon tayinini gerçekleştirmiştir. Serdar YILMAZ ise kömürlerin uçucu madde içeriği ile yanmamış karbon arasındaki ilişkileri araştırmıştır ve bu kapsamdaki deneyleri yapmıştır. Deneyler için gerekli koşulların sağlanması Serdar YILMAZ yürütücülüğünde, her iki konuya ait deneysel verilerin yorumlanması ise Mehmet BİLEN yürütücülüğünde gerçekleşmiştir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar

- [1] Volkan S. 2006. Afşin-Elbistan termik santrali uçucu küllerinden yanmamış karbonun geri kazanımı. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- [2] Yan W., Li J. 2009. Modelling of the unburned carbon in fly ash. EPE, 1: 90-93.
- [3] Bartonova L., Klika Z., Pears D.A. 2006. Characterization of unburned carbon from ash after bituminous coal and lignite combustion in CFBs. Fuel, 86: 455-463.
- [4] Pallarés J., Arauzo I., Teruel E. 2009. Development of an engineering system for unburned carbon prediction. Fuel, 88: 187-194.
- [5] Moroń W. 2007. In combustion characteristics of blended coals, third European combustion meeting, Proceedings of the European Combustion Meeting: United Kingdom. 10.1094/PDIS-91-4-0467B
- [6] Lee B.H., Eddings E.G., Jeon C.H. 2012. Effect of Coal Blending Methods with Different Excess Oxygen on Unburned Carbon and NO_x Emissions in an Entrained Flow Reactor. Energy Fuels, 26: 6803-6814.
- [7] Granite E., Pennline H. 2000. In: Proceedings of the technical sessions presented by the Conference on carbon on utility fly ash. May 16, 2000, Pittsburgh, USA.
- [8] Li Y., Zhang J.S., Liu Q., Lu J.L., Yue G.X., Sarofim A.F., Beér J.M., Lee Y.Y., Eliasson B. 2001. A study of the reactivity and formation of the unburnt carbon in CFB fly ashes. Dev Chem Eng Mineral Process, 9: 301-312.
- [9] Shibaoka M. 1986. Carbon content of fly ash and size distribution of unburnt char particles in fly ash. Fuel, 65: 449-450.
- [10] Stubington J.F., Wang A.L.T. 2000. Unburnt carbon elutriation from pressurised fluidised bed combustion of Australian black coals. Fuel, 79: 1155-1160.
- [11] Yılmaz S. 2019 The Relationship between Unburned Carbon Levels in Coal Combustion Ash and Volatile Matter Content in Coal. Combustion Science and Technology, 1-10.
- [12] ASTM D3175-07, 2007. Standard Test Method for Volatile Matter in the Analysis Sample of Coal and Coke. ASTM International, West Conshohocken, PA, <https://doi.org/10.1520/D3175-07>.
- [13] ASTM D7348-13, 2013. Standard Test Methods for Loss on Ignition (LOI) of Solid Combustion Residues. ASTM International, West Conshohocken, PA, <https://doi.org/10.1520/D7348-13>.

- [14] Bilen M. 2013. Eren Enerji Zonguldak Termik Santrali Küllerinin Yanmamış Karbon Bakımından Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak.
- [15] Bilen M., Kizgut S. 2016. Modeling of unburned carbon in fly ash and importance of size parameters. Fuel Processing Technology, 143: 7-17.

Araştırma Makalesi / Research Article

An Application on Technology Addiction with C4.5 Classification Algorithm

Akiner KAÇMAZ¹, Kazım YILDIZ^{2*}, Ali BULDU²

¹Marmara University, Computer Control Education, İstanbul

²Marmara University, Department of Computer Engineering, İstanbul

(ORCID: 0000-0002-2364-3346)(ORCID: 0000-0001-6999-1410) (ORCID: 0000-0002-8508-3065)

Abstract

The increment of the usagethe technological applications and tools, has led to an increase towards technology regarding for communication in the way of individuals' desire. With the development of technologies that facilitate our lives, rapid increases in individuals' use of technological tools have been observed. This has led to the fact that data mining and technology dependence concepts, which are expressed as the process of obtaining confidential information, are hidden in the large scale data in the digital environment and have become more involved in scientific studies. This study was carried out to determine the technology dependence of the students who continue their education in vocational and technical education based on C4.5 decision tree algorithm which is one of the data mining classification methods. In the questionnaire, the students were asked whether there is any positive or negative relationship between technology addiction and course success and demographic characteristics. Demographic information in the data set shows the characteristics and the question shows the class. The decision tree model of 411 observations in the data set was created using R programming language. The effect of demographic information such as gender, profession, number of siblings, date of birth on the class was determined according to the model made with C4.5 decision tree algorithm. As a result of the research, the most important feature that determines the answers is gender and the accuracy rate of the model is determined as 84.42%.

Keywords: Data Mining, Technology Addiction, C4.5 Algorithm, RStudio, Decision Tree.

C4.5 Sınıflandırma Algoritması ile Teknoloji Bağımlılığı Üzerine Bir Uygulama

Öz

Teknolojik uygulamaların ve aletlerin kullanımının artmasıyla birlikte, bireylerin ortamdaki bağımsız olarak her yerde iletişim içinde olma istekleri, insanların teknolojiye karşı olan ihtiyaçlarının ve ilgilerinin artmasına sebep olmuştur. Yaşamı kolaylaştıran teknolojilerin gelişmesiyle birlikte, bireylerin teknolojik aletleri kullanma sürelerinde hızlı artışlar gözlemlenmiştir. Bu durum, dijital ortamdaki büyük ölçekli veride saklı kalmış, gizli bilgiyi elde etme süreci olarak ifade edilen veri madenciliği ve teknoloji bağımlılığı kavramlarının, bilimsel çalışmalarda daha fazla yer almasına neden olmuştur. Bu çalışma, veri madenciliği sınıflandırma yöntemlerinden, C4.5 karar ağacı algoritmasına dayalı olarak mesleki ve teknik eğitimde, eğitimlerini sürdüren öğrencilerin, teknoloji bağımlılıklarının belirlenmesi amacıyla yürütülmüştür. Anketle öğrencilere teknoloji bağımlılığı ile ders başarısı arasında olumlu ya da olumsuz herhangi bir bağ bulunmamaktadır ifadesi ile birlikte demografik özellikler sorulmuştur. Veri setinde yer alan demografik bilgiler özellikleri, soru ise sınıfı göstermektedir. Veri setindeki 411 adet gözleme ait karar ağacı modeli, R programlama dili kullanılarak oluşturulmuştur. C4.5 karar ağacı algoritmasıyla oluşturulan modele göre cinsiyet, meslek alanı, kardeş sayısı, doğum tarihi gibi demografik bilgilerin sınıf üzerindeki etkisi belirlenmiştir. Araştırma sonucunda cevapları belirleyen en önemli özelliğin cinsiyet olduğu ve oluşturulan modelin doğruluk oranı ise %84,42 olarak belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Veri madenciliği, Teknoloji Bağımlılığı, C4.5 Algoritması, RStudio, Karar ağacı.

*Corresponding author: kazim.yildiz@marmara.edu.tr

Received: 14.01.2020, Accepted: 18.05.2020

1. Introduction

The rapid circulation of information leads to the rapid proliferation of technological developments arithmetically. The human who captures technology to meet their needs, has been the slave of technology [1]. The digital age is defined as the era in which social workers use social networks smartly and efficiently, and those who find more space in digital platforms [2]. While technological advances, which can easily and quickly guide all areas of our lives without being aware, contribute positively to lifelong learning processes, problems caused by the use of uncontrolled technology have occurred today [3].

With the increasing effects of digitalization on our lives, the process of recording our lives with technological instruments is increasing rapidly and everything is expressed numerically [4]. The need to obtain meaningful, usable and valuable information from the ever-increasing data stacks in the digital environment has increased individuals' interest in data mining [5]. Today, there are many methods for people to access information. The search for applications is ongoing, which will enable individuals to obtain valuable information, gain experience through real data frames and reveal the relationship between data and information. The concept of data mining comes into our mix as a promising technology that will end individuals' searches [6]. Concepts such as smart life, artificial intelligence, machine learning, cloud technology, online learning, technology addiction are becoming more and more used in our lives day by day and everything is shaped based on data. Decision-making processes are now based on valuable information obtained by data mining methods. Scientific studies based on decision tree algorithms are widely used. For this purpose, some case studies are given below.

Baydir et al. determine C4.5 decision tree preferences of voters in Turkey. In this study, RStudio was used as a software environment. As a result of the study, the model revealed that decision trees are important in revealing political tendencies and that the parties can direct the election studies by using decision trees structures used in data mining [7]. In 2017, Aksu and Karaman conducted a study to determine the link analysis on a website with decision trees. In this study, Google analytics data belonging to a website is used. Based on the data obtained, they tried to present the links that should be on the main page with the decision trees. With the model created, it was thought that the main page would be more usable, faster and functional [8]. Aydın carried out a study on receiving student views on the problems caused by technology addiction in the classroom. As a result of the study, it was observed that the technology dependency levels of the participants were not different in terms of age group, socio-economic level and class variables, but they had a significant difference between the department and gender variables. It has been determined that as the time spent on technological applications increases, the level of technology addiction increases and the level of technology addiction increases as the level of technology addiction increases [9]. Arik conducted a study in 2018 to determine the technology dependence and social identity formation: the Y generation. According to this study, it was observed that the problems arising from being online differed by gender and it was determined that men experienced the problems arising from being online more [10]. In another article titled "Technology Addiction, Our Family and Our Children", Gürmen et al. determined that the technology addiction reduced their social communication skills. He found that technology addiction can damage friendship, parent-child relationships and bring it to the breaking point. He suggested that in the solution of the technology addiction problem, people should be contacted openly and intervention techniques should be developed in the areas that cause the problem [11].

2. Material and Method

2.1. Addiction and Technology Addiction

Addiction is defined as the effect of a separate decision-maker's judgement on an individual or an irresistible demand against an asset, object or person, and reflects the individual's pathological behaviors related to mental activities [12]. According to the previous studies, although the separate criteria for technology addiction have been put forward; it is the health problems that occur due to the fact that the internet and technology addict gets the pleasure ones desires' by increasing the time spent at the screen. These obsessive ideas and dreams about the internet continue for periods that are not connected to the internet and remain for hours each sitting [13]. There are four levels of technology addiction. The first

level is experimental usage. The second one is the social usage and the third one is the targeted operational usage. The last one is dependent usage. In the dependent usage phase, one can use the technology without the need for a reason. In this case, the individual will continue to use the technological tool to which he is dependent, regardless of the problems in his life, whether he is curious or not, whether or not his social environment is dependent [14].

2.2. Method of Research

In the research, decision tree was created by using C4.5, one of the data mining classification algorithms.

2.2.1. Decision Trees and C4.5 Algorithm

Decision tree, one of the data mining classifier, is easy to interpret and understand. It enables for quick processing of data [15]. The most important step in the creation of decision trees is to determine the criteria by which the branch of the tree will be made. Thus, according to which property values the tree structure will be created is determined [16]. The C4.5 classification learning algorithm, developed by J. Ross Quinlan in 1993, is one of the most widely used efficient and well known algorithms [17]. The C4.5 algorithm, which has more diverse and newer learning algorithms compared to ID3, emerged as the current version of the ID3 algorithm [18]. The C4.5 algorithm uses the gain ratio to solve the limitation that the ID3 algorithm is highly sensitive to properties with multiple values [19]. Entropy is used to quantify the uncertainty of a variable. If the Y variable has a k level, the entropy value is calculated as Equation 1:

$$H(Y) = H(p_1, p_2, \dots, p_k) = \sum_{j=1}^k (p_j \log_b(1/p_j)) \quad (1)$$

Here, p_j notation j. indicates the probability of the level. The value range of entropy is obtained as Equation 2:

$$0 \leq H(Y) \leq \log_b(k) \quad (2)$$

Decreased uncertainty in the data means that the entropy value approaches zero.

Gain value is calculated in Equation 3;

$$\text{Gain}(X_i) = H(Y) - \sum_{j=1}^{k_i} P(X_{ij}) H\left(\frac{Y}{X_{ij}}\right); i = 1, 2, \dots, m \quad (3)$$

$\text{Gain}(X_i)$: Gain value for i. independent variable

The selection of the property that has the most decisive influence on the class is determined by the magnitude of the earnings ratio. The feature with the highest yield rate was chosen for branching in decision trees [20].

2.3. Data Collecting

A questionnaire was used to collect data. The questionnaire forms were applied to 411 randomly selected students in vocational and technical education schools in Küçükçekmece district of İstanbul. For reliability of the questionnaire, Reliability Analysis test was applied in RStudio program and reliability coefficient was determined as 0.71. The reliability coefficient is between 0.7 and 1.00 indicating acceptable reliability [21].

2.4. Data Analysis

RStudio program was used for data analysis. R is a language and programming environment for statistical analysis and graphs [22]. The R is used for handling, clearing and developing new statistical methods, for creating simulations, for visualization, and for all commonly used data processing tools for statisticians and data scientists [23].

3. Results and Discussion

The data set of the research consists of 411 observations, 17 characteristics and a class. The read.csv () function is used to transfer the data frame to the RStudio environment. The answers and percentages of the students participating in the study are given in Table 1. In order to apply the C4.5 algorithm to the data frame in the RStudio environment, the "RWeka" and "partykit" packages must be installed and enabled. The install. packages () function was used to install the packages, and the library () function was used to enable the packages. After the packages were installed, the decision tree model in Figure 1 was created with the plot () function.

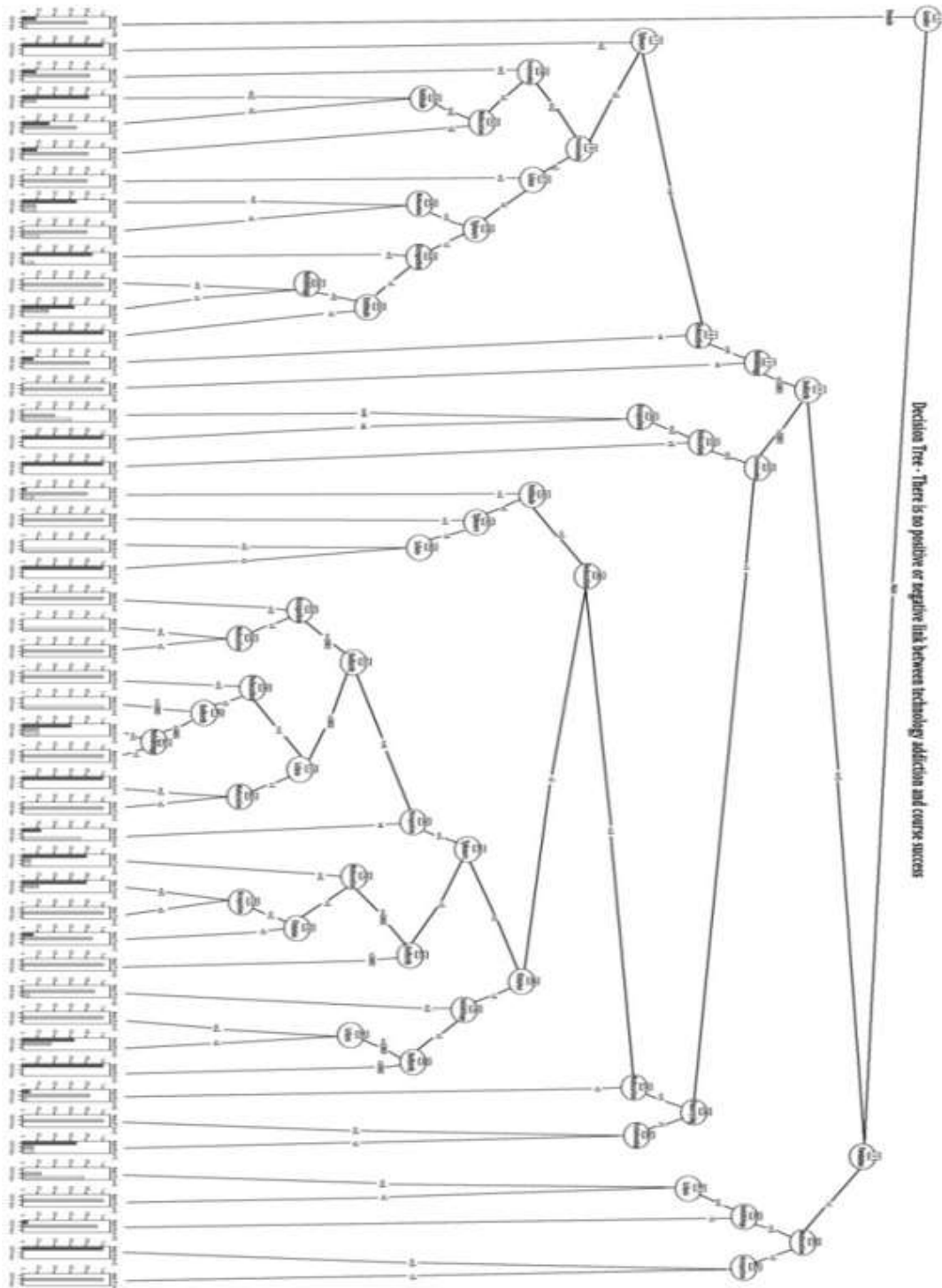


Figure 1. Decision tree based on C4.5 algorithm for dataset

Table 1. Statistical results of the data frame

Features	Frequency	Percent
Gender		
Female	130	31.63
Male	281	68.36
Enter your date of birth (year)		
1999	5	1.21
2000	31	7.54
2001	81	19.70
2002	141	34.30
2003	113	27.49
2004	40	9.73
Number of siblings		
0	16	3.89
1	144	35.03
2	121	29.44
3	59	14.35
4	34	8.27
5	14	3.40
6	12	2.91
7	5	1.21
8	2	0.48
10	2	0.48
11	1	0.24
12	1	0.24
Current learning class		
9th grade	67	16.30
10th grade	130	31.63
11th grade	153	37.22
12th grade	61	14.84
What is the occupational field of education?		
No Area	67	16.30
Information Technologies	126	30.65
Office Management	65	15.81
Accounting and Finance	93	22.62
Marketing and Retail	60	14.59
Are your parents alive?		
Mother - Yes	410	99.75
Mother - No	1	0.24
Father - Yes	403	98.05
Father - No	8	1.94
Are your parents stil married?		
Yes	357	86.86
No	54	13.13
Income status of your family		
0-2000	91	22.14
2001-3000	156	37.95
3001-4000	92	22.38
4001 and more	72	17.51

Working status of your parents		
Mother works	157	38.19
Mother does not work	254	61.80
Father work	371	90.26
Father does not work	40	9.73
Your mother's education		
Uneducated	33	8.02
Primary school	177	43.0
Middle school	133	32.3
High school	60	14.5
University	8	1.94
Your father's education		
Uneducated	5	1.21
Primary school	148	36.0
Middle school	154	37.4
High school	87	21.1
University	17	4.13
How much time do you spend on average with technological products?		
Less than 1 hour	16	3.89
1-2 hour	58	14.11
3-4 hour	120	29.19
4 hours and more	217	52.79
What is the attitude of your family towards you?		
Irrelevant	7	4.13
Tolerant	282	68.61
Democratic	36	8.75
Prim	76	18.49
How is your relationship with your mother?		
Bad	6	1.45
Middle	53	12.89
Good	352	85.64
How is your relationship with your father?		
Bad	30	7.29
Middle	97	23.60
Good	284	69.09
There is no positive or negative link between technology addiction and course success		
I find it right(FR)	97	23.60
I find it wrong(FW)	280	68.12
I have no idea(Nidea)	34	8.27

The summary () function was used to obtain the image in Figure 2 of the model, which summarizes information.

```

=== Summary ===
Correctly Classified Instances      347      84.4282 %
Kappa statistic                    0.6368
Mean absolute error                0.1677
Root mean squared error            0.2895
Relative absolute error             52.9798 %
Root relative squared error        72.8941 %
Total Number of Instances         411

=== Confusion Matrix ===
  a    b    c   <-- classified as
63    33    1   I   a = FR
 8    269   3   I   b = FW
 5     14   15  I   c = Nidea
    
```

Figure 2. Summary informations about the model

According to Figure 2, the following information was obtained;

- ✓ 411 rows were processed in the dataset.
- ✓ The accuracy rate of the classification process was 84.42% and as a result of the classification process, it was seen that 347 data were estimated correctly.

When the Confusion Matrix table is examined;

- ✓ FW class instead of 33 FR and Nidea class instead of 1 FR
- ✓ FR class instead of 8 FW and Nidea class instead of 3 FW
- ✓ FR class instead of 5 Nidea and FW class instead of 14 Nidea, incorrect predictions were made.

When the decision tree in Figure 1 is examined, some of the interpretation that can be reached in determining the answers given to the question that there is no positive or negative link between technology addiction and course success are given below.

- ✓ There is no positive or negative link between technology addiction and course achievement, and gender is the most important feature affecting the answers to the statement.
- ✓ If the gender variable is female, the percentage of FW response is 77.69% (101/130), while the percentage of non-FW is 22.30% (29/130).
- ✓ Gender variable is male, working status of father is working, birth date is before 2002, number of siblings is less than five, father education level is not university, while the usage time of technological products is less than 3-4 hours, , the answer is FR. The percentage of being FR is 100% (3/3).
- ✓ Gender variable is male, working status of the father is working, birth date is before 2002, the number of siblings less than five, the education level of the father is not university, the use of technological products more than 1-2 hours, the father's relationship status is not good, the father relationship status is poor, the answer FW % 83.33 (5/6). The non-FW percentage is 16.66% (1/6).
- ✓ Gender variable is male, working status of father is working, birth date is before 2002, number of siblings is less than five, father's education level is not university, technology products use time is more than 1-2 hours, father's relationship status is good, education class is less than 11, the answer is FW. The percentage of being FW is 100% (2/2).
- ✓ Gender variable is male, working status of father is working, birth date is before 2002, the number of siblings is less than five, while the education level of the father is university, the percentage of FW being the answer is 85.71% (6/7). The percentage of non-FW is 14.28% (1/7).
- ✓ The gender variable is male, the working status of the father is working, birth date is before 2002, while the number of siblings is more than four, the FW percentage of response is 100% (8/8).
- ✓ The gender variable is male, the working status of the father is working, the date of birth is greater than 2001, the relationship status of the father is poor, the education level of the father is high school or university, the answer is FR. The percentage of being FR is 100% (3/3).
- ✓ Gender variable male, working status of father working, date of birth greater than 2001, father's relationship status is medium or good, marital status of the family yes, mother's education level is lower than high school, father's education level is middle school and more, family's income level is 3001-4000 or smaller While the use of technological products is 4 hours and less, occupational area is not marketing and retail, the birth date variable is less than 2003, while occupational area is not accounting and financing or marketing and retail, , the answer is FW. The percentage of being FW is 100% (6/6).

- ✓ Gender variable is male, father's working status is not working, mother's education level is less than high school and the number of siblings is more than 1, the percentage of FW response is 94.73% (18/19). The non-FW percentage is 5.26% (1/19).
- ✓ Gender variable is male, the working status of the father is not working, the education level of the mother is high school or university, the occupational area is information technology or office management or no area, the answer is FR. The percentage of being FR is 100% (2/2).
- ✓ Gender variable is male, the working status of the father is not working, the mother's education level is high school or university, and the occupation area is accounting and financing or marketing and retail, the answer is FW. The percentage of being FW is 100% (2/2).
- ✓ Gender variable is male, father's working status is working, date of birth is greater than 2001, father's relationship status is medium or good, marital status of the family is yes, mother's education level is high school or university, the percentage of FW response is 88.46% (23/26). The non-FW percentage is 11.53% (3/26).
- ✓ Gender variable is male, working status of father is working, date of birth is greater than 2001, father's relationship status is medium or good, marital status of the family is yes, mother's education level is less than high school, father's education level is lower than middle school, your family's attitude towards the individual is indifferent or tolerant. The percent FW was 82.85% (29/35). The percentage of non-FW is 17.14% (6/35).
- ✓ If the gender variable is male, the working status of the father is working, the date of birth is greater than 2001, the relationship status of the father is poor, the education level of the father is less than high school, and the profession is marketing and retail, the answer is FR. The percentage of being FR is 100% (2/2).

✓

4. Conclusion

This study was carried out to determine the technology dependence of the students who continue their education in vocational and technical education according to demographic characteristics by using C4.5 decision tree algorithm which is one of the data mining classification methods. Regarding to the question of whether there is any positive or negative relationship between technology addiction and course success, 68.12% of the respondents find it wrong, 23.60% find it right, 8.27% have no idea. According to the decision tree model, the most important feature affecting the answers given to the question is that there is no positive or negative link between the technology addiction and the course success in terms of gender. "Are your parents alive?" demographic characteristics do not have a significant effect on the decision tree model. It was determined that the classification model created by C4.5 algorithm showed a 84.42% prediction accuracy. It was determined that 347 of the 411 observation values were estimated with the correctly prediction.

This research, at the micro level, is thought that developing students will recognize the concept of technology addiction, become aware of technology usage habits and review their habits. At the macro level, it is thought that increasing the use of data mining in the field of education will contribute to the development of effective education policies on technology addiction and contribute to the education and training processes that can be applied in this direction.

Acknowledgements

The authors would like to thank Green Crescent (Yeşilay) for the usage of a high school survey (Living Independently from Technology) as a part of Turkey Campaign with Addiction Education Programme. Turkey for Addiction Education Program to Combat Survival Dependent on Technology established under the (high school) Temperance Society for the use of the survey, thank you.

Author's Contributions

Ali BULDU determined the programming language and algorithm type which is used in the research. Akıner KAÇMAZ completed the literature search and created the data set. Akıner KAÇMAZ and Kazım YILDIZ analyzed the data set and evaluated the results. All authors wrote the article together and approved the final version.

Statement of Conflicts of Interest

There is no conflict of interest among the authors.

Statement of Research and Publication Ethics

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

References

- [1] Açıkgenç A. 2017. Teknoloji ve Değerler. Uluslararası Teknolojik, Ekonomik ve Sosyal Araştırmalar Vakfı, vs. İstanbul.
- [2] Soruhan O. 2018. Sosyal Medya Canavarı Olmak İster Misin?, MediaCat Kitapları, 9s. İstanbul.
- [3] Güçlü G. 2015. Yaşam Boyu Öğrenme Argümanı Olarak Teknoloji Bağımlılığı Ve Yaşama Yansımaları. Yüksek Lisans Tezi, Cumhuriyet Üniversitesi, Eğitim Bilimleri Enstitüsü, Sivas.
- [4] Şimşek Gürsoy U.T. 2017. Veri Madenciliğinde Güncel Yaklaşımlar. Çağlayan Yayınları, 2s. İstanbul.
- [5] Kılınç Ç. 2015. Üniversite Öğrenci Başarısı Üzerine Etki Eden Faktörlerin Veri Madenciliği Yöntemleri İle İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- [6] Żalik K.R. 2004. Learning Through Data Mining. Computer Applications in Engineering Education, 13 (1): 60-65.
- [7] Bayır A., Özdemir Ş., Gülseçen S. 2016. Türkiye’deki Seçmen Eğilimlerinin C4.5 Karar Ağacı Algoritması İle Belirlenmesi. Yönetim Bilişim Sistemleri Dergisi, 1 (3): 223-233.
- [8] Aksu M.Ç., Karaman E. 2017. Karar Ağaçları ile Bir Web Sitesinde Link Analizi ve Tespiti. Acta Infologica, 1 (2): 84-91.
- [9] Aydın F. 2017. Teknoloji Bağımlılığının Sınıf Ortamında Yarattığı Sorunlara İlişkin Öğrenci Görüşleri. Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Eğitim Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [10] Avşar Arık I. 2018. Teknoloji Bağımlılığı Ve Sosyal Kimlik Oluşumu: Y Nesli. Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara.
- [11] Gürmen M.S. 2016. Teknoloji Bağımlılığı, Ailemiz Ve Çocuklarımız. 3.Uluslararası Teknoloji Bağımlılığı Kongresi, pp: 161-171, 03-04 Mayıs, İstanbul.
- [12] Uzbay İ.T. 2015. Madde Bağımlılığı: Tüm Boyutlarıyla Bağımlılık Ve Bağımlılık Yapan Maddeler. İstanbul Tıp Kitabevi, İstanbul.
- [13] Martı H. 2016. Teknoloji Bağımlılığının Dini ve Ahlaki Etkileri. 3.Uluslararası Teknoloji Bağımlılığı Kongresi, pp: 273-284, 03-04 Mayıs, İstanbul.
- [14] Dinç M. 2015. Teknoloji Bağımlılığı ve Gençlik. Gençlik Araştırmaları Dergisi, 2147 (8473): 31-65.
- [15] Küçükönder H., Vursavuş K.K., Üçkardeş F. 2015. K-Star, Rastgele Orman ve Karar Ağacı (C4.5) Sınıflandırma Algoritmaları ile Domatesin Renk Olgunluğu Üzerinde Bazı Mekanik Özelliklerin Etkisinin Belirlenmesi. Türk Tarım-Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi, 3 (5): 300-306.
- [16] Kavzoğlu T., Çölkesen İ. 2010. Karar Ağaçları İle Uydu Görüntülerinin Sınıflandırılması: Kocaeli Örneği. Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi, 2 (1): 36-45.
- [17] Andrienko G., Andrienko N. 1999. GIS Visualization Support To The C4. 5 Classification Algorithm of KDD. In Proceedings of the 19th International Cartographic Conference, pp: 1-7, 14-21 August, Ottawa.
- [18] Kılıçalı M.B. 2018. Hanehalkı İşgücü Araştırma Verileri İle Veri Madenciliği Yöntemlerinin Uygulanması Ve Modellerin Karşılaştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [19] Hssina B., Merbouha A., Ezzikouri H., Erritali M. 2014. A Comparative Study Of Decision Tree ID3 and C4.5. International Journal of Advanced Computer Science and Applications, 4 (2): 13-19.
- [20] Altunkaynak B. 2019. Veri Madenciliği Yöntemleri ve R Uygulamaları. Seçkin Yayıncılık, Ankara, 38-52.

- [21] Yurdakul I.K. 2013. Veri Toplama Araçlarında Bulunması Gereken Nitelikler, Bilimsel Araştırma Yöntemleri. Anadolu Üniversitesi Web Ofset Tesisleri, Eskişehir, 117-138.
- [22] Logan M. 2010. Biostatistical Design and Analysis Using R: A Practical Guide. Wiley-Blackwell, p1., Hoboken.
- [23] Buttrey S., Whitaker L.R. 2018. A Data Scientist's Guide to Acquiring, Cleaning, and Managing Data in R. Wiley, p2. Hoboken.

Araştırma Makalesi / Research Article

Zeytin Karasuyunun Anaerobik Arıtılabilirliği ve Biyogaz Üretim Potansiyelinin Araştırılması

Fatih TUFANER^{1, 2*}

¹Adıyaman Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Adıyaman, Türkiye

²Adıyaman Üniversitesi, Çevre Yönetimi Uygulama ve Araştırma Merkezi, Adıyaman, Türkiye
(ORCID: 0000-0002-1286-7846)

Öz

Zeytinyağı üretim fabrikalarında zeytin karasuyunun anaerobik olarak arıtılması hem biyogaz üretimi hem de sürdürülebilir çevre için umut verici bir yöntemdir. Bununla birlikte zeytinyağı fabrikalarının dönemsel çalışıyor olması bir dezavantaj gibi görünse de geniş zaman imkanı ile yüksek organik yüke sahip olan zeytin karasuyunun gerekli seyreltme ve baz ilavesi gibi ön işlemler ile arıtılması mümkündür. Bu çalışmada, yaklaşık 78000 mg/L KOİ konsantrasyonuna sahip ham zeytin karasuyu yaklaşık 1/8 oranında musluk suyu ile seyreltilerek 6,15 L aktif hacme sahip yukarı akışlı havasız çamur yataklı anaerobik reaktörde mezofilik şartlarda (37±0,5 °C) arıtılmıştır. Deneysel çalışma esnasında zeytin karasuyunun fiziksel ve kimyasal yapısından kaynaklanabilecek olumsuzlukların önüne geçerek gerekli mikroorganizma adaptasyonunun sağlanabilmesi için 39 günlük bir kesikli besleme süreci ile proses deneysel çalışmaya hazırlanmıştır. Hidrolik besleme süresinin 10 gün organik yükleme oranının 1 kg KOİ/m³/gün olduğu anaerobik proses 32 gün boyunca yarı sürekli olarak beslenmiştir. Düşük alkaliniteye sahip olduğu için 615 mL seyreltilmiş zeytin karasuyunun (10000 mg KOİ/L) anaerobik arıtımı 1N 12 mL NaOH ilavesi ile pH 6,8-7,2 aralığında gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın sonunda %75,6 (±14,2) KOİ giderimi ile birlikte 2177 (± 279) mL/gün biyogaz üretiminin gerçekleştiği tespit edilmiştir. Anaerobik arıtma, seyreltilerek alkalinite takviyesi yapılmış olan zeytin karasuyundan KOİ giderimi ve biyogaz üretimi için sürdürülebilirlik açısından ve çevresel olarak dikkate alınması gereken bir prosesdir.

Anahtar kelimeler: Zeytin Karasuyu, Anaerobik Arıtma, KOİ Giderimi, Biyogaz Üretimi.

Investigation of Anaerobic Treatability and Biogas Production Potential of Olive Mill Wastewater

Abstract

Anaerobic treatment of olive mill wastewater in olive oil production plants is a promising method for both biogas production and environmental sustainability. Moreover, it is possible to treat the olive mill wastewater which has high organic load with the opportunity of wide time, with the necessary dilution and base adding, although it seems to be a disadvantage that the olive oil mills operate seasonally. In this study, raw olive mill wastewater with a COD concentration of approximately 78000 mg/L was diluted with tap water at a rate of about 1/8 and treated in an upflow anaerobic sludge blanket reactor under mesophilic conditions (37±0.5 °C) with an active volume of 6.15 L. During the experimental study, the system was prepared for an experimental study with 39 days batch feeding process in order to provide the necessary microorganism adaptation by preventing the negative effects that may arise from the physical and chemical structure of the olive mill wastewater. The anaerobic process was fed semi-continuous for 32 days, where the hydraulic retention time was 10 days and the organic loading rate was 1 kg COD/m³/day. The low alkalinity of olive mill wastewater was challenging for the anaerobic process. Approximately 615 mL (10000 mg/L COD) diluted olive mill wastewater by adding 1N 12 mL NaOH was brought to the appropriate pH range for anaerobic conditions (6.8-7.2). At the end of the study, it was determined that 2177 (± 279) mL/day biogas production was realized with 75.6% (± 14.2) COD removal. Anaerobic treatment is a process that must be considered in terms of sustainability and environment for COD removal and biogas production from olive mill wastewater which has been diluted and supplemented alkalinity.

Keywords: Olive Mill Wastewater, Anaerobic Treatment, COD Removal, Biogas Production

*Sorumlu yazar: ftufaner@adiyaman.edu.tr

Geliş Tarihi: 18.01.2020, Kabul Tarihi: 08.05.2020

1. Giriş

Yüksek ekonomik değere sahip olmasının yanı sıra sağlık açısından yararlı bir besin olduğu bilinen zeytinyağı özellikle Akdeniz çevresindeki ülkelerde önemli bir üretim potansiyeline sahiptir [1,2]. Türkiye’de 2000’li yılların başında yaklaşık 100 milyonu bulan zeytin ağacı sayısının 2018-2019 yıllarındaki dikimlerle beraber 178 milyona ulaştığı bildirilmiştir [3]. Türkiye’de zeytinyağı üretimi bir önceki sezona göre 2017-2018 sezonunda %48 artışla 263000 tona ulaşmıştır [4]. 2018-2019 sezonunda ise 189212 ton zeytinyağı üretimi yapılmıştır. Ayrıca 2019-2020 sezonunda zeytinyağı üretiminin bir önceki yıla göre %18,7 artış ile yaklaşık olarak 224595 ton olacağı tahmin edilmektedir [5]. Bununla birlikte, dünya çapında 2018-2019 sezonunda 3,218 milyon ton zeytinyağı üretimi yapılmış olup 2019-2020 sezonunda ise yıllık olarak yaklaşık 3,144 milyon ton zeytinyağı üretiminin olacağı tahmin edilmektedir [6]. Zeytinyağı üretimindeki bu artış eğilimi atık zeytin karasuyu (ZK) miktarına yansımaktadır. Zeytinyağı üretim prosesinde 1 ton zeytinin işlenmesi sonucunda yaklaşık 200 kg zeytinyağı ve 600-1200 kg arasında ZK oluşmaktadır [7]. Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) [3] verilerine göre, 2018 yılında Türkiye’de yaklaşık 1 milyon ton yağlık zeytin üretilmiştir. Bu verilere göre 2018 yılında yaklaşık olarak $6-1,2 \times 10^5$ ton ZK oluşmuştur. Dünya genelinde 2014-2015 sezonunda bir yılda yaklaşık $5,4 \times 10^6$ m³ ZK oluştuğu bildirilmiştir [8]. Bu rakamlara bakıldığında, birçok önemli çevre sorununun potansiyel bir kaynağı olan ZK oluşumunun, birçok ülkede çevre yönetimi açısından sorunlu bir konu olduğu anlaşılmaktadır.

ZK’nın miktarı ve fizikokimyasal bileşimi, toprak ve iklim koşulları, tarımsal yöntemler, zeytinin türü, zeytin ağacının yaşı, zeytinin olgunlaşma seviyesi ve zeytinyağı çıkarma yöntemi gibi çeşitli faktörlere bağlıdır [9, 10]. Yağı ayrılan zeytin meyvesinin suyundan ve zeytinyağı çıkarma prosesi esnasında prosese ilave edilen sudan oluşan ZK asidik bir pH (4,80 - 5,50) değerine sahip siyah-kırmızı renkli bir atıksudur [11]. Genel olarak, katı sıvı karışımı bir yapıya sahip olan ZK su, yağ asitleri, karbonhidratlar ve polifenollerden oluşmaktadır [10]. Tipik olarak, ZK %83-96 su, %3,5-15 organikler ve %0,5-2 arasında mineral tuzlardan oluşmaktadır. ZK’nın organik fraksiyonu ise fenoller ve pektinlerin (%1-1,5) yanı sıra şekerler (%1-8), N-bileşikleri (%0,5-2,4), organik asitler (%0,5-1,5) ve yağlardan (%0,02-1) oluşmaktadır [12]. ZK 30’dan fazla fenolik bileşik ve şeker içermektedir [13]. Farklı kaynaklarda birbirinden bağımsız olarak kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) ve biyolojik oksijen ihtiyacı (BOİ) değerlerinin sırasıyla 40-220 g/L ve 35-110 g/L sınırları içerisinde değerler aldığı ifade edilmiştir [14]. Bununla birlikte, fenolik bileşikler, organik asitler ve tanenler gibi çeşitli organik bileşiklerin yüksek konsantrasyonları ile karakterize edilen ZK, biyolojik işleme karşı oldukça dirençlidir [15]. Bu nedenle, Lucas ve Peres’in çalışmasında olduğu gibi ZK’nın arıtılmasında KOİ parametresinin takibi daha doğru olacaktır [16]. Bununla birlikte, zeytinyağı üretimi için ülkemizde Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliğinde alıcı ortam deşarj standartlarında sadece KOİ, yağ ve gres, pH ve renk parametreleri belirtilmiştir [1].

Su yollarına deşarj edilen ZK, su kütlesinin genel yapısını bozulması ile su ekosistemine önemli zararlar vererek koku, su kirliliği ve yeraltı suyu kirliliği gibi önemli derecede çevresel problemlere sebep olmaktadır. Ayrıca, ZK’nın yetersiz veya kontrolsüz arıtımı ve deşarj edilmesi durumunda da su ekosistemine ciddi zararlar vermektedir. ZK’nın arıtılması, yüksek kirlilik potansiyeli ve mevcut yasal düzenlemelerin kademeli olarak sıkılaştırılması nedeniyle zeytinyağı üreticileri için sıkıntı veren bir endişeye dönüşmüştür. Bu nedenle zeytinyağı üretim endüstrisi için ekonomik ve çevresel sürdürülebilirliği birleştirebilen uygun arıtma prosesleri önemli bir gereksinimdir [2, 17]. Son zamanlarda, ultrafiltrasyon [18], nanofiltrasyon [19], ters ozmoz [20], buharlaşma-yoğuşma [21], güneşte kurutma [22], koagülasyon-flokülasyon [23], oksidasyon [24] ve ozonlama [25] gibi fizikokimyasal yöntemler ve aerobik-anaerobik proses [26] ve kompostlaştırma prosesi [27] gibi biyolojik yöntemler ZK’yı arıtmak için yaygın olarak uygulanmıştır. ZK’nın fizikokimyasal ve biyolojik arıtma prosesleri ile arıtılmaya çalışıldığı son çalışmalarda, giderilmesi zor olan fitotoksik kirlleticilerin ZK’nın arıtılmasını zorlaştırdığı vurgulanmıştır. Ayrıca, ZK’nın geniş bir fizikokimyasal bileşime sahip olması, zeytinyağı fabrikalarının küçük ölçeklerde olması, coğrafi olarak bu fabrikaların dağılımı ve mevsimsel üretim yapılması gibi nedenlerden dolayı günümüze kadar etkin ve uygun maliyetli arıtım süreçleri istenildiği gibi uygulanamamıştır. Yani, küresel olarak uygulanabilecek yaygın bir arıtım yöntemi ve kesin bir strateji bulunmamakla beraber merkezi bir arıtmada mümkün görünmemektedir. Ancak, zeytinyağı fabrikalarının mevsimsel çalışmasından dolayı anaerobik arıtım sistemlerinin bir dönem kapatıldıktan sonra kolayca yeniden devreye alınabileceği için bir dezavantaj olmadığı ifade

edilmiştir [28]. Genellikle birleşik arıtma konfigürasyonları uygulanmakla beraber Fenton prosesinin maliyet verimliliği açısından uygun gibi görüldüğü ifade edilmiştir [29]. Birçok ülkede benimsenen çözüm ZK'nın açık havuzlarda buharlaştırılmasıdır. Ancak, bu havuzlar kötü koku, metan emisyonu, toprağa sızma, böcek ve sineklerin çoğalması ve buharlaştırma için geniş alanlar gerektirmesi gibi olumsuz yönlerinden dolayı bu sorunu çözmek için etkili bir metot olmadığı anlaşılmaktadır [30]. Sonuç olarak, Akdeniz bölgesinde zeytinyağı üretimi neticesinde önemli hacimlerdeki ZK su yollarına deşarj edilmektedir [31,32]. Fayda maliyet oranını arttırabilmek ve bu çevresel problemin üstesinden gelebilmek için sürdürülebilir arıtma teknolojilerinin kullanılmasının gerekliliği açıktır. Biyolojik prosesler çevre dostu ve çoğu durumda uygun maliyetli arıtma yöntemi olarak kabul edilmektedir [33]. Anaerobik arıtma, ZK'nın arıtılması için umut verici teknolojilerden biri olarak bildirilmiştir [30,34,35]. Anaerobik proses, yenilenebilir bir enerji kaynağı olan biyogaz üretiminin yanı sıra, düşük çamur üretimi, düşük besin gereksinimi, sera gazı emisyonlarının azaltılması ve sıvı gübre üretimi gibi pozitif yönleriyle oldukça avantajlı bir arıtma yöntemi olarak karşımıza çıkmaktadır. Bununla birlikte, asidik bir pH değerine sahip olması, düşük alkalinite, düşük azot içeriği, zeytin çekirdeği ve meyvesinin işlenmesi neticesinde oluşan fenolik bileşikler ve lipit fraksiyonlarının varlığı gibi çeşitli ZK özellikleri, bu atıksuyu potansiyel toksik bir substrat haline getirir ve sonuç olarak bu durum anaerobik biyosistem için uygun değildir. Bu sorunların üstesinden gelmek için çeşitli sentetik besin maddeleri, kimyasal ilaveler ve su ile seyreltilmesinin yanı sıra ön işlem uygulamalarının (kimyasal ve biyokimyasal) ZK'nın anaerobik olarak arıtılmasını mümkün kıldığı bildirilmiştir [31, 32, 36-39]. Bununla birlikte, ön arıtma işlemleri genellikle metanojenik aktiviteyi yavaşlattığı bilinmekte ve arıtma maliyetlerinin artmasına sebep olmaktadır [39]. Anaerobik bir reaktörün stabilitesi, reaktördeki yeterli alkalinite seviyeleri ile muhafaza edilebilir. Çoğu durumda, ZK yeterli alkaliniteye sahip olmadığından, anaerobik reaktörlere NaOH [40], Ca(OH)₂ [31], NaHCO₃ [41], ve Ca(HCO₃)₂ [42] dahil olmak üzere harici alkali kimyasallar eklenmiştir. ZK atıksularının anaerobik arıtımı yaygın olarak mezofilik sıcaklık aralıklarında (32-40 °C) gerçekleştirilmiştir. Bununla birlikte, termofilik şartlarda (55 °C) çok az sayıda çalışma yapılmıştır [43].

Bu çalışma Türkiye'de önemli bir üretim potansiyeline sahip olan zeytinyağı üretimi neticesinde oluşan ZK'nın anaerobik proses ile verimli bir şekilde arıtılabilirliğini ve biyogaz üretim potansiyelini araştırmak için yapılmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Zeytin Karasuyu ve Aşı Çamuru

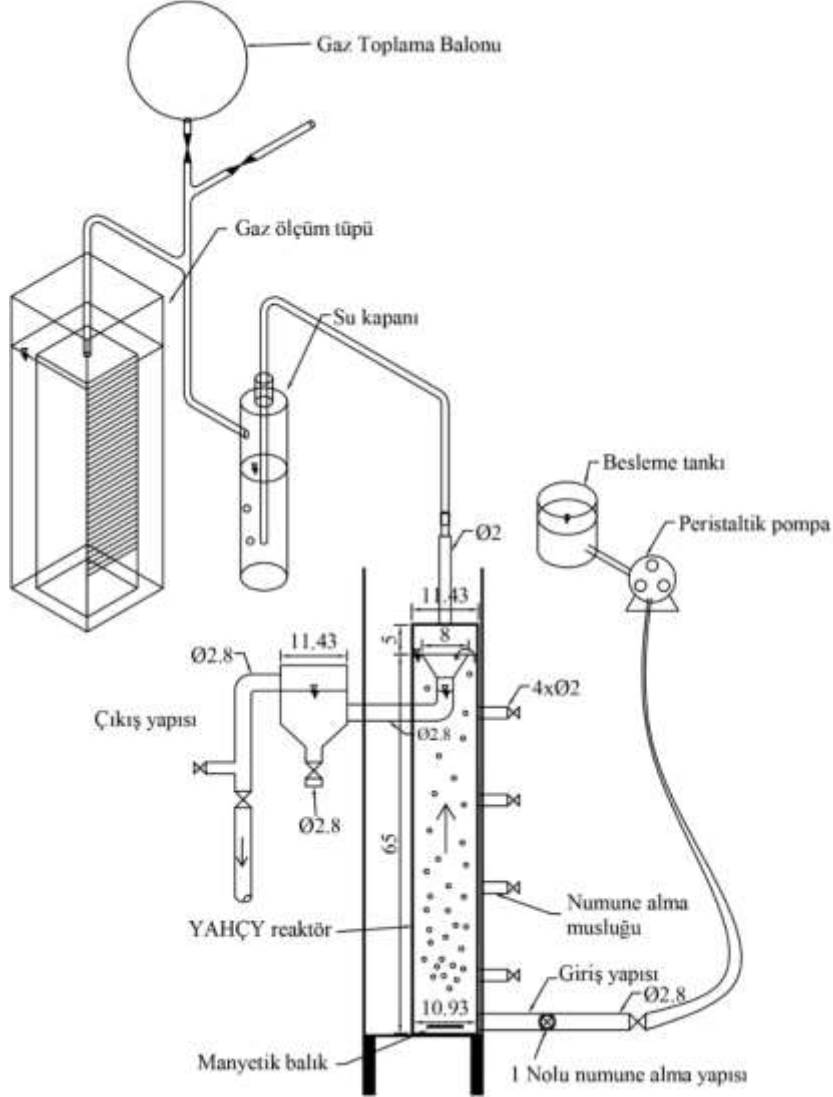
Deneysel çalışmada kullanılan ZK Adıyaman Organize Sanayi Bölgesinde (AOSB) üç fazlı yönteme göre zeytinyağı üretimi yapan Ünal Han Yağı ve Küspe Fabrikası'ndan temin edilmiştir. Deneysel çalışmalarda kullanılmadan önce ayrışmasını önlemek amacıyla ZK +4 °C'de buzdolabında muhafaza edilmiştir. AOSB atıksularının deşarj edildiği Eğriçay deresi sediment çamurunun anaerobik olarak arıtıldığı çalışma [44] sonrasında reaktörlerde kalan çamur deneysel çalışmada aşı çamuru olarak kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan ZK'nın ve aşı çamurunun fizikokimyasal özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Çalışmada kullanılan zeytin karasuyu ve aşı çamurunun fizikokimyasal özellikleri

Parametreler	Değerler	
	Aşı Çamuru	Zeytin Karasuyu
pH	7,27	4,65
KOİ (mg/L)	43330	78240
TKM (mg/L)	43610	50450
UKM (mg/L)	37180	37830
Alkalinite (mg CaCO ₃ /L)	2336	2,13
TKN (mg/L)	1949	582
NH ₃ -N (mg/L)	170	30
TP (mg/L)	211	274
PO ₄ -P (mg/L)	37	96

2.2. Anaerobik Reaktör ve İşletme Şartları

Deneyel çalışmada Şekil 1’de gösterilen 6,15 L aktif çalışma hacmine sahip olan yukarı akışlı havasız çamur yataklı reaktör (YAHÇYR) kullanılmıştır. Azbar ve ark. [45] YAHÇYR’de hidrolik bekleme süresi (HBS) 2,5-10 gün ve 0,45 ile 32 kg KOİ/m³/gün arasındaki organik yükleme oranları (OYO) arasında ZK atıksularının arıtma performansını incelemiştir. Çalışmalarında OYO’nun 10 kg KOİ/m³/gün seviyesinden daha düşük oranlarda %90’ın üzerinde bir KOİ gideriminin olduğunu bildirmişlerdir. Ayrıca maksimum KOİ gideriminin 8 günlük HBS’de olduğunu gözlemlemişlerdir. Bir başka çalışmalarında ise anaerobik hibrit reaktörde maksimum KOİ gideriminin 10 günlük HBS’de gerçekleştiğini bildirmişlerdir [31]. Buna ilaveten araştırmacıların HBS’yi 5 ila 10 gün arasında tutmanın ZK’nın etkili bir şekilde arıtılmasına izin verdiğini ifade etmişlerdir [43].



Şekil 1. Deneyel çalışmada kullanılan düzeneğin şematik görünümü

Bu çalışmada yüksek bir arıtma verimi elde edebilmek için YAHÇYR mezofilik şartlar ($37\pm 0,5$ °C) altında 10 günlük HBS ve 1 kg KOİ/m³/gün OYO ile işletilmiştir. Mezofilik şartların sağlanabilmesi için reaktör su ceketı içerisinde yerleştirilmiştir. Sıcaklık kontrolü 0,1 °C hassasiyetli bir termostat (EMKO marka ESM-3710) ve termostat kontrolünde devreye giren iki adet bakır rezistans (THERMOGERM marka TH-50 model) ile sağlanmıştır. Su ceketı içerisindeki sıcaklık dağılımını dengelemek için su ceketinin tabanından aldığı suyu su ceketı üst noktasına aktaran sirkülasyon pompası (LEO marka LRP32-60/180 model) kullanılmıştır. Devridaim işlemi, ayarlanan sıcaklık değerinden istenen sıcaklık değerine ulaşılan kadar devam etmektedir. Deneyel çalışma kesikli ve yarı sürekli beslemenin yapıldığı iki periyotta gerçekleştirilmiştir. Beslemede kullanılan ham ZK musluk suyuyla 1/8 oranında seyreltilmiştir. İlk periyotta aşı çamurunun ZK’ya adaptasyonu için anaerobik reaktöre 3

L aşı çamuru ve 3 L seyreltilmiş ZK (kesikli) besleme yapılarak anaerobik süreç 39 gün boyunca izlenmiştir. İkinci periyotta anaerobik reaktöre 32 gün boyunca yaklaşık olarak 10 g/L KOİ konsantrasyonuna sahip olan 0,615 L ZK yarı sürekli olarak beslenmiştir. Yarı sürekli besleme anaerobik sistemde biyogaz üretimi kararlı hale (yaklaşık son 25 gün) gelene kadar devam ettirilmiştir. Sistem stabilitesinin korunması amacıyla pH, deneysel çalışma boyunca her gün ölçülmüş ve anaerobik sistemin pH'ı, baz (1N NaOH çözeltisi) ilavesiyle 6,8 ile 7,2 arasında tutulmaya çalışılmıştır. Yarı-sürekli besleme peristaltik bir pompa (LONGERPUMP marka BT100-2j model) ile yapılmıştır. Reaktörün karıştırılması, besleme yapılırken reaktörün tabanındaki manyetik balık ile gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışma daha önce başka çalışmalarda kullanılan ve ayrıntılı olarak tarif edilen YAHCYR kullanılarak yürütülmüştür [2, 44, 46, 47].

2.3. Analitik Metotlar

Deneysel çalışmalarda tüm örnekler Standart Metotlarda belirtilen yöntemlere göre hazırlanmış ve analiz edilmiştir [48]. pH ölçümleri pH metre (Orion Star marka A211 model) ile gerçekleştirilmiştir. Alkalinite tayini (APHA SM (2012) 2320-B), numuneler çok renkli ve bulanık olduğundan dolayı pH metre kontrolünde, manyetik balık ile karıştırılırken 0,02 N H₂SO₄ ile pH 4,2-4,5 seviyesine kadar titre edilerek analiz edilmiştir. KOİ deneyleri Kapalı Reflux Kolorimetrik metodunda (APHA SM (2012) 5220-D) tarif edildiği gibi 600 nm dalga boyunda spektrofotometre (Hach Lange DR 6000) ile analiz edilmiştir. TKM tayini (APHA SM (2012) 2540-B), darası alınıp sabit tartıma getirilen porselen krozelere konulan bir miktar numune 103-105 °C'de etüvde (Nüve marka FN 500 model) kurutulduktan ve sabit tartıma getirildikten sonra hassas terazide (Axis marka AGN 220 C model) tartılmış, baştaki dara sabit tartımı çıkartılmış ve numune miktarına bölünerek mg/L olarak TKM değeri belirlenmiştir. Aynı numune 550 °C'de kül fırınında 15 dakika yakıldıktan sonra sabit tartıma getirilip tekrar tartılmıştır. Porselen krozenin etüv çıkış ağırlığından kül fırını çıkış ağırlığı çıkartılıp numune miktarına bölünerek UKM değeri mg/L olarak hesaplanmıştır (APHA SM (2012) 2540-E). TKN tayininde (APHA SM (2012) 4500-N_{org} B) kuvvetli oksitleyici kullanılarak organik azot amonyak azotuna dönüştürülmüştür. Numunede bulunan amonyak ve amonyak azotuna dönüştürülen organik azot bazik ortamda distilasyon ünitesi vasıtasıyla borik asit çözeltisinde tutulmuştur. Daha sonra borik asit içerisinde tutulan amonyak miktarı 0,02 N H₂SO₄ ile titre edildikten sonra mg/L olarak hesaplanmıştır. Amonyak tayininde (APHA SM (2012) 4500-NH₃ C) ise yüksek pH'ya getirilen numune içindeki amonyak, distilasyon sonrasında borik asit içerisinde tutulmuş ve sonra titrimetrik yöntemle tayin edilmiştir. TP analizinde (APHA SM (2012) 4500-P D) uygun oranda seyreltilmiş numuneye H₂SO₄-HNO₃ asit ilavesi ile parçalama ve pH nötralizasyonu işlemleri uygulanmıştır. Daha sonra kalay klorür metodu kullanılarak oluşan mavi rengin spektrofotometrede 690 nm'de absorbans değeri okunmuştur. Absorbans değeri, standartlarla oluşturulmuş kalibrasyon doğrusunun denkleminde yerine konularak ve seyreltmelerde hesaba katılarak TP değeri hesaplanmıştır. PO₄-P değerinin belirlenmesinde ise TP analizindeki parçalama işlemi haricindeki diğer işlemler uygulanmıştır. Sistemde üretilen biyogazın hacmi deplasman yöntemine göre çalışan gaz ölçüm tüpleri (10x10x40 cm) ile yapılmıştır. Biyogaz bileşimi (CH₄, CO₂) portatif biyogaz detektörü (ETG MCA 100 P, ETG Risorse e Tecnologia, Montiglio, İtalya) kullanılarak analiz edilmiştir.

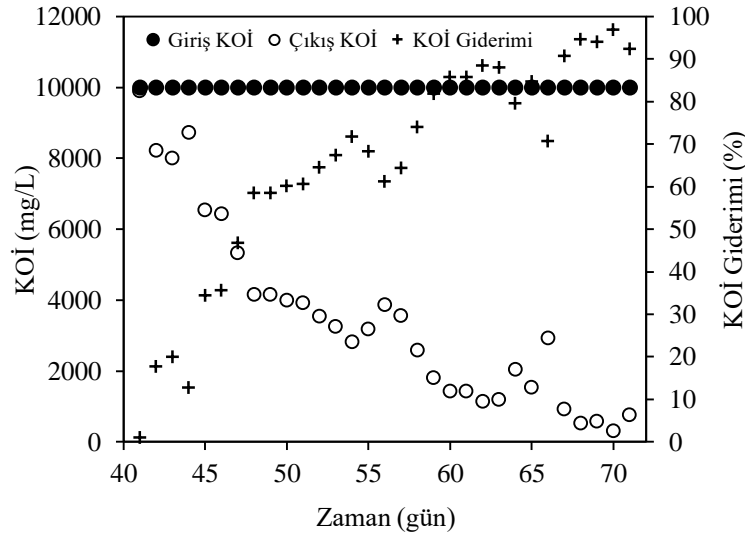
3. Bulgular ve Tartışma

Aşı çamuru seçiminin biyokütle üretimi için gereken süreyi en aza indirmede önemli bir rol oynadığı bilinmektedir [49]. Dengeli bir mikrobiyal popülasyona sahip olan bir aşı çamuru, hızlı metan üretimi ve kararlı bir anaerobik prosesi sağlayabileceğinden dolayı substrat aşı çamuru oranı ve aşı çamurunun istenen substratlara adaptasyonu, anaerobik proseslerin başlangıç periyodunda dikkate alınması gereken önemli işletme kısıtlarından [50]. Ayrıca, optimal substrat aşı çamuru oranı ve adapte olmuş bir aşı, anaerobik proses gereksinimlerini azaltırken arıtma etkinliğini artırabilir [50-52]. Guendouz ve ark. [53] çalışmalarında biyogaz üretimindeki gecikmelerin mikroorganizmaların atıklara ve deney koşullarına olan adaptasyonuna bağlanabileceğini ifade etmişlerdir. Bu nedenle, seçilen aşı çamurunun ZK'ya adapte olabilmesi için kesikli besleme yapılarak 39 günlük bir alışma süresinden sonra çalışma yarı sürekli besleme yapılarak 32 gün boyunca sürdürülmüştür. Deneysel çalışmada 39 günlük adaptasyon periyodundan sonra yapılan ilk besleme ile beraber biyogaz üretiminden olumlu sonuçlar alınmıştır.

Calabrò ve ark. [17] deneysel çalışmalarında, anaerobik proseste besi maddesi olarak kullanılan ZK'daki polifenollere karşı mikrobiyal adaptasyonun katkılarını incelemişlerdir. Çalışmada mikrobiyal adaptasyonun olmaması durumunda 2 g/L polifenol konsantrasyonunun sistemi inhibe ettiği vurgulanarak 1 g/L polifenol konsantrasyonunun geçilmemesini tavsiye etmişlerdir. ZK'ya adaptasyonun sağlanması halinde adaptasyonsuz duruma göre 1 ve 2 g/L polifenol konsantrasyonlarında sırasıyla %70 ve %300 oranında metan veriminin arttığını bildirmişlerdir. Ayrıca yüksek organik yüklerde adaptasyonun kademeli olarak yapılmasını tavsiye etmişlerdir. Genel olarak ZK'daki polifenollerin konsantrasyonu 0,5 ila 25 g/L arasında değişmektedir [14, 17, 54]. Ancak, halihazırda 0,5–2 g/L arasındaki polifenol konsantrasyonlarında metan üretiminin azaldığı ifade edilmiştir. Buna göre, ham ZK'nın diğer organik substratlarla birlikte anaerobik arıtmaya tabi tutulması veya anaerobik reaktöre sınırlı yüklerle besleme yapılması gerekmektedir [17]. Bu nedenle, yukarıda bahsedilen problemler deneysel çalışmada aşı çamurunun adaptasyonu ve ham ZK'nın seyreltilmesi ile aşılılmıştır.

Seyreltilmiş ZK üzerinde laboratuvar ve pilot ölçekli deneylerde, mezofilik şartlardaki anaerobik proseste 4 kg KOİ/m³/gün organik yükten düşük konsantrasyonlarda yüksek arıtma verimlerinin (%80-85) gerçekleştiği bildirilmiştir [14]. Özellikle başlangıç aşamasında ZK'nın seyreltilmesi önerilerek, besin ve alkalinite ilave edilmesinin gerekliliği vurgulanmıştır [34]. Başka bir çalışmada, ZK'nın anaerobik arıtımında giriş KOİ'si 1 g/L'nin üzerinde olduğunda biyogaz üretiminde inhibisyon görüldüğü ifade edilmiştir [14].

Bu çalışmada, HBS'nin 10 gün ve OYO'nun 1 kg KOİ/m³/gün olduğu anaerobik süreçte son 25 günlük durum dikkate alındığında %75,6 (±14,2) oranında bir KOİ gideriminin olduğu gözlemlenmiştir. Toplam katı madde (TKM) ve uçucu katı madde (UKM) giderme verimlerinin yarı sürekli besleme periyodu boyunca sırasıyla ortalama %72,3 ve %74,4 olduğu tespit edilmiştir. Şekil 2'de görüleceği üzere reaktöre 10000 mg/L konsantrasyonda KOİ beslemesi yapılırken çıkıştaki KOİ konsantrasyonunun yaklaşık 311 mg/L'ye kadar düştüğü görülmüştür. Çalışmada son 13 gün içerisinde 2 gün haricinde çıkış suyu KOİ konsantrasyonunun 1815 mg/L'nin altında, son 5 günde ise bu değer 924 mg/L'den aşağıda olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 2. Anaerobik reaktör giriş-çıkış KOİ konsantrasyonları ve KOİ giderim verimi

Gün bazlı değerlendirme yapıldığında maksimum KOİ giderim veriminin yaklaşık olarak %97 civarında olduğu, son 5 ve 13 günde ise giderim veriminin sırasıyla %94 ve %87 olduğu tespit edilmiştir. Yarı sürekli besleme periyodunun özellikle ilk 4 gününde arıtma verimi, adaptasyon periyodunda yapılan beslemedeki ZK'nın içerisinde bulunan yağlı atıkların reaktörün çıkış yapısında birikerek reaktörden ayrılmasından dolayı düşük olduğu düşünülmektedir. Şekil 2 incelendiğinde 54-57 ve 63-66 günleri arasında arıtma verimindeki düşüş yönlü seyirlerin sebebinin bu günlerde baz ilavesinin arttırılmasından kaynaklı olduğu düşünülmektedir. Baz ilavesi yapıldıktan sonra, besleme suyu ile anaerobik çamur karışığında hızlı bir reaksiyon gerçekleşmekte ve bu durum reaktör içi sıvısını

bulandırmakta hatta tabanda olan anaerobik çamurun bir kısmını reaktörün çıkış bölgesine doğru taşımaktadır. Bu nedenle de bu durumun çıkış suyu KOİ konsantrasyonunu artırdığı düşünülmektedir. Anaerobik arıtma çalışmalarında vurgulandığı gibi [44, 55] bu çalışmada da azot ve fosfor giderimi ihmal edilebilir düzeylerde gerçekleşmiştir. Anaerobik sistemlerin nütrientleri çok düşük seviyelerde arıtılabildiği bilindiği için azot ve fosforda da düşük arıtma veriminin olması beklenen bir durumdur. Anaerobik sistemdeki azot ve fosfor giderimi, yeni biyokütle üretimi ve nütrientlerin reaktör içerisinde kalmasından dolayı gerçekleşmektedir [46]. Ayrıca bazı durumlarda reaktör içerisinde çamur kaçıması durumu çıkıştaki azot fosfor konsantrasyonu giriş konsantrasyonundan yüksek çıkabilmektedir. ZK'nın anaerobik olarak arıtıldığı reaktörün çıkış suyu özellikleri Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Anaerobik reaktör çıkış suyunun fizikokimyasal özellikleri

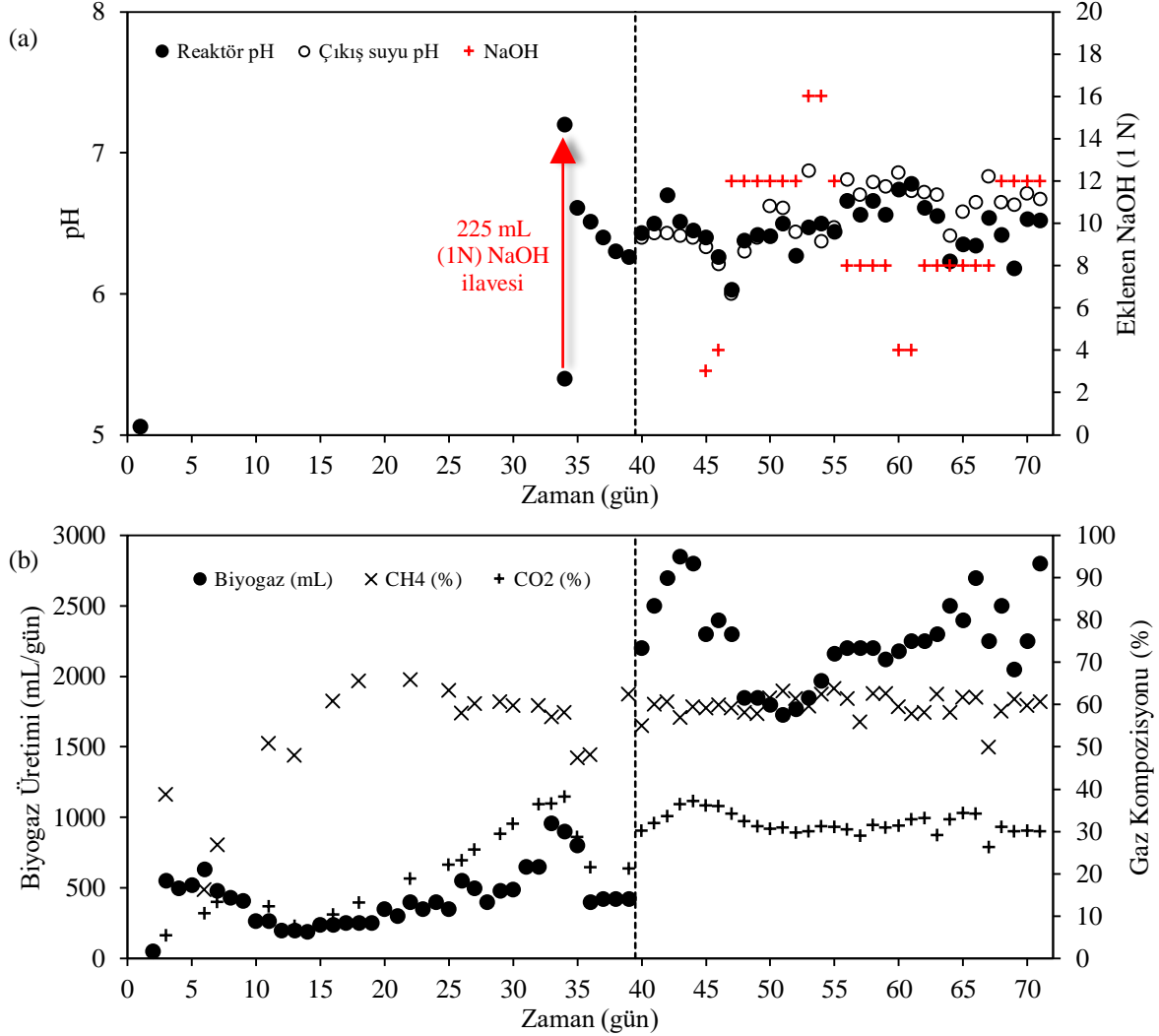
Parametreler	Değerler
pH	6,63±0,19
KOİ (mg/L)	2321±1314
TKM (mg/L)	1785±857
UKM (mg/L)	1237±551
Alkalinite (mg CaCO ₃ /L)	712±255
TKN (mg/L)	81,4±28,8
NH ₃ -N (mg/L)	21,8±6,57
TP (mg/L)	59,3±9,3
PO ₄ -P (mg/L)	45,9±6,92

Anaerobik sistemin pH'ı NaOH çözeltisi ile ideal değerlere (6,8-7,2) yakın tutulmaya çalışılsa da, reaktörün pH'ının sürekli olarak düşmeye meyilli olduğu gözlenmiştir. Bu çalışmada anaerobik proses için ZK'nın düşük alkalinite seviyeleri özellikle zorlayıcı olmuştur. Şekil 3 (a)'da görüleceği üzere adaptasyon safhasının 34. gününde 5,4 olarak ölçülen pH seviyesini yükseltmek için 225 mL NaOH (1N) ilavesi ile pH değeri 7,2 seviyesine çıkarılmıştır. Ancak yarı sürekli beslemenin yapıldığı ikinci periyodun başlangıcına kadar pH tekrar düşerek 6,26 seviyesine gerilemiştir. Beslemenin yapılması ile beraber pH'ın 6,7 seviyesine yükseldiği görülse de 45. günde tekrardan pH düşerek 6,26 seviyelerine gerilediği gözlemlenmiştir. Baz ilavesiz bu yükselişin reaktör içi çamurun manyetik balık ile karıştırılmasından dolayı olduğu düşünülmektedir. 45. günde 3 mL NaOH (1N) çözeltisi ilave edilmesine rağmen 46. günde pH değerinin 6,3 seviyesine düştüğü gözlemlenmiş ve bunun üzerine 4 mL NaOH (1N) çözeltisi ilave edilmiştir. Bu miktarların tesirinin olmadığı anlaşıldığından 47. günden 53. güne kadar 12 mL NaOH (1N) çözeltisi ilave edilmiştir. Bu durumda ise yavaş bir artış izlenmiş bu nedenle pH yükselişini hızlandırmak için 53 ve 54. günlerde 16 mL NaOH (1N) çözeltisi ilave edilmiştir. Bu süreçten sonra 61. güne kadar reaktör içi pH'nın yükseldiği gözlemlenmiş ancak uygun baz ilavesini test etmek maksadı ile NaOH çözeltisi ilavesi 8 mL'ye düşürülmüştür. 60 ve 61. günde NaOH çözeltisi ilavesi 4mL'ye düşürülmüş ancak reaktör içi pH değerinin düşüş seyrine geçtiği gözlemlenmiştir. Bunun üzerine tekrar 8 mL besleme yapılmış ancak istenen pH aralığına ulaşılamamıştır. Daha sonra 68. günde tekrar 12 mL NaOH çözeltisi beslemeye başlanmıştır. Çalışmada ilave edilen NaOH çözeltisi miktarına göre değişen pH değerlerine bakıldığında (Şekil 3a) 6,15 L hacme sahip olan reaktöre 10 günlük HBS ve 1 kg KOİ/m³/gün OYO beslemesinin yapıldığı durumda 12 mL NaOH (1N) çözeltisi ilavesinin en uygun NaOH çözeltisi dozu olduğu tespit edilmiştir.

Çıkış suyu pH değerleri incelendiğinde genel olarak pH seviyesinin 50. güne kadar reaktör içi pH seviyesinden düşük 50. günden sonra ise reaktör içi pH seviyesinden yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Bu durumun ilave edilen bazın reaktörün üst kısmındaki duru halde bulunan sıvı fazla daha iyi bir etkileşimde olmasından ve oluşan amonyakla beraber NaOH çözeltisinin biyogaz baloncukları ile beraber yukarı yönlü taşınmasından kaynaklı olduğu düşünülmektedir. ZK besleme sıvısı ve anaerobik prosesdeki asitjen safhasında oluşan uçucu yağların asiditesine karşın anaerobik çamurun kendine özgü (2336 mg CaCO₃/L) alkalinitesi pH'ın hızlı ve sert düşüşüne mani olmakta buda sisteme müdahale için gerekli kontrol zamanını sağlamaktadır. Anaerobik mikroorganizmalar için optimum alkalinitenin 1000-4000 (2000) mg CaCO₃/L olduğu bildirilmiştir [56].

Şekil 3 (b)'de günlük biyogaz üretimi, CH₄ ve CO₂ oranı ile birlikte verilmiştir. Çalışmada adaptasyon periyodunda ve yarı sürekli beslemenin yapıldığı periyotta günlük ortalama biyogaz üretimi

sırasıyla 424 mL ve 2256 mL olmuştur. Adaptasyon döneminde biyogazın metan içeriği %17-66 aralığında değişmiş ve ortalama olarak yaklaşık %53 oranında olduğu tespit edilmiş ve 15. günden baz (NaOH) ilavesinin yapıldığı 34. güne kadar %57'nin altına düşmemiştir. Yarı sürekli besleme döneminde ise biyogazın metan içeriği %49,9-63,8 aralığında değişmiş ve ortalama olarak yaklaşık %59,7 oranında olduğu belirlenmiştir.



Şekil 3. Anaerobik proses boyunca eklenen NaOH (1N) çözeltisi miktarına göre reaktör içinde ve çıkış suyunda pH değişimi (a) ve günlük biyogaz üretimi ve biyogaz kompozisyonu (%CH₄, %CO₂) (b)

Adaptasyon safhasında yarı yarıya aşı çamuru ZK karışımı reaktöre doldurulduktan sonra 6. güne kadar yaklaşık günde 500-630 mL arasında biyogaz üretimi gerçekleşmiştir. Bu günden sonra 14. güne kadar biyogaz üretimi düşerek günlük 190 mL seviyelerine gerilemiştir. Aynı zaman sürecinde biyogazın metan içeriği yaklaşık olarak %60 mertebelerine ulaşmıştır. Biyogazın CO₂ oranı ise 7. günde %14 seviyesine çıkarken 14. günde %7 seviyelerine gerilemiştir. Biyogaz üretimi 15. günden 34. güne kadar yaklaşık 900 mL/gün seviyelerine çıkmış, baz ilavesi yapıldıktan sonra adaptasyon periyodunun sonuna kadar yaklaşık 400 mL/gün seviyelerinde seyretmiştir. Bu süreçte biyogazın metan içeriği %60'lardan %58 seviyesine düşmüş, baz ilavesinden sonraki iki gün %48 civarında ölçülmüş ve 39. günde ise biyogazın metan içeriğinin tekrar %62 seviyelerinde olduğu tespit edilmiştir. Ani baz yüklemesi metan üretiminin yaklaşık %10 oranında, CO₂ üretiminin ise yaklaşık olarak %17 oranında azalmasına sebep olmuştur. Bu durum, kuvvetli NaOH (1N) çözeltisi ile bazı metanojen bakterilerinin direk teması sonrası kısmi inhibasyonun gerçekleşmesine bağlanabilir. CO₂ oranının CH₄ oranından daha fazla düştüğü gözlemlenmiştir. Bu düşüş ise kısmi bakteri inhibasyonunun yanında NaOH çözeltisinin CO₂'yi kimyasal absorpsiyon ile tutmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Aynı süreçte

biyogazın CO₂ içeriği 34. günde %38 seviyesine çıkmış baz ilavesi sonrasında ise adaptasyon periyodunun sonuna kadar bu değer %21 seviyelerine kadar gerilemiştir. ZK'nın dengesiz bir substrat olduğu ve toksisitesinin anaerobik prosesin oluşumuna izin vermediği bazı çalışmalarda vurgulanmıştır [32, 37]. Ancak, farklı çalışmalarda ZK'nın klasik dezavantajlarının anaerobik sistem içerisinde bir şekilde çözümlenebildiği ve beslenen ZK'nın önemli bir kısmının biyolojik dönüşümünün gerçekleştiği ifade edilmiştir [30]. Bununla birlikte giderilemeyen renk ve KOİ için ek kimyasal arıtma yöntemleri uygulanabilir [2].

Yarı sürekli besleme dönemine geçildiğinde ilk beslemeden sonraki gün 2200 mL/gün olan biyogaz üretimi 44. günde 2850 mL/gün ile en yüksek seviyesine çıkmış daha sonra ise 51. güne kadar 1730 mL/gün seviyesine düşmüştür. İlk beslemeden sonraki bu yükseliş durumu genel olarak anaerobik proseslerde görülen bir durumdur. Bu süreçten sonra günlük biyogaz üretimi 64. güne kadar yavaş ve sürekli bir yükselme eğilimi ile 2500 mL seviyesine çıkmıştır. Son 7 günlük süreçte 2050-2800 mL/gün arasında dalgalı bir biyogaz üretimi gözlemlenmiştir. Yarı sürekli besleme döneminde biyogazın CH₄ ve CO₂ içeriğinin ortalama olarak sırasıyla %59,7 (±2,8) ve %31,9 (±2,4) olduğu tespit edilmiştir. Biyogazın CO₂ oranı 40. günde %30 seviyelerinde iken 44. günde yükselerek %37 oranına çıkmıştır. 45. günde baz ilavesinin başlaması ile birlikte bu oran düşmüş ve 50. günden sonra ortalama %30,9 seviyelerinde seyretmiştir. Burada da CO₂'nin bir kısmının NaOH ile kimyasal olarak absorblandığı düşünülmektedir. Bu çalışmada biyogaz üretimi ile biyogazın CH₄ ve CO₂ bileşiminin son 25 günde ortalama olarak sırasıyla 2177 (± 279) mL/gün ile %59,96 (±2,94) ve %31,14 (±1,82) olduğu tespit edilmiştir. Kümülatif biyogaz üretiminin adaptasyon periyodunda 16110 mL (39 gün) ve yarı sürekli besleme döneminde ise 72180 mL (32 gün) olduğu belirlenmiştir. Buna göre gözlemlenen biyogaz verimleri adaptasyon periyodunda ve yarı sürekli besleme sürecinde sırasıyla 537 ve 367 mL biyogaz / g KOİ_{beslenen} olarak bulunmuştur. Yarı sürekli periyotta ise metan verimi 281 mL CH₄ / g KOİ_{giderilen} olarak tespit edilmiştir. Bu değer, 1 g KOİ'nin 35 °C ve 1 atm'de teorik CH₄ eşdeğeri olan 395 mL [57] ile kıyas edildiğinde deneysel çalışmanın başarılı olduğu düşünülmektedir. Sadece ZK'nın anaerobik olarak arıtılması durumunda azot ilavesi gerektiği vurgulanmış ve optimal arıtma için KOİ:N oranının 61:1 - 42:1 aralığında olması gerektiği bildirilmiştir [30].

Karmaşık yağ çıkarma işlemlerinden geçen zeytin yüksek miktarda toksik ve biyolojik olarak zor parçalanabilen maddelerin varlığı nedeniyle, proses sonrası oluşan ZK'nın istenen düzeyde anaerobik olarak arıtılabilmesi için mutlaka bir ön işleme tabi tutulması gerekmektedir. Bununla birlikte, seyreltme ve baz ekleme gibi ön işlemlerde arıtma maliyetini arttırmaktadır. ZK genellikle uygun besin maddesi ve alkalinite dengesinden yoksun olduğundan farklı atıklar ile birlikte arıtımı bu olumsuzlukların azaltılmasına yardımcı olabileceği vurgulanmıştır. [43]. Çalışmada, ZK'nın yağ içeriğinin yüksek olması rektörde tıkanmalara ve yağın yüzerek reaktörü terk etmesi neticesinde arıtma veriminin düşmesine neden olmuştur. Ayrıca anaerobik reaktöre proses pH'ını dengelemek için eklenen baz (NaOH) yağ ile birleşerek sabunlaşmaya neden olmaktadır. Bu sabunlaşmalar rektörün sıvı ve gaz çıkış yapılarında tıkanmalara sebep olmuştur. Gerçek ölçekli tesislerde daha büyük çıkış yapılarının bulunmasından dolayı bu olumsuzluğun yaşanmayacağı düşünülmektedir. Ancak, bilindiği kadarıyla olumsuzlukların test edilebileceği ya da ekonomik fizibilitenin yapılacağı pilot ya da gerçek ölçekli bir tesis bulunmamaktadır. Zeytinyağı işleme fabrikalarının genellikle dönemsel olarak faaliyet göstermesi anaerobik arıtma sisteminin kurulmasında bir engel olarak görülmektedir. Ancak ZK yüksek organik yüke sahip olmasından dolayı önemli bir biyogaz potansiyeline sahiptir. Ayrıca, anaerobik arıtma yerinde çözüm üretebileceği için uygun bir alternatif olarak karşımıza çıkmaktadır. Zeytinyağı fabrikasının faaliyet göstermediği dönemler ZK'nın arıtılabilmesi için yeterli geniş bir zaman fırsatını sağlamaktadır. Buna ilaveten özellikle güneşlenme süresi yüksek olan Akdeniz ülkelerinde bulunan bu fabrikalardan çıkan ZK'nın mezofilik şartlarda arıtılabilmesi için gerekli olan ısının güneş enerjisinden sağlanma imkânının olması, anaerobik arıtma için uygun maliyetli bir çözüm olacaktır. Ayrıca, yerel imkânlar kullanılarak anaerobik arıtma tesislerinin kurulması ilk yatırım maliyetlerini önemli ölçüde düşürecektir [58].

4. Sonuç ve Öneriler

Laboratuvar ölçekli deneysel çalışmada 39 günlük bir adaptasyon periyodu anaerobik sistemi işletmeye alma esnasında oluşabilecek inhibasyonları önlemeye yardımcı olmuştur. Çalışmada, 1/8 oranında seyreltilerek yaklaşık olarak 10000 mg/L KOİ konsantrasyonunda 615 mL ZK'ya 1N 12 mL NaOH

tampon baz ilavesi yapılarak anaerobik stabilite sağlanabilmektedir. Sonuç olarak anaerobik proses için gerekli olan işletme şartları sağlandığında reaktöre 10 günlük HBS ve 1 kg KOİ/m³/gün OYO ile besleme yapılması durumunda %75,6 (±14,2) oranında KOİ giderimi ile birlikte ZK'dan efektif olarak 2177 (± 279) mL/gün biyogaz üretimi sağlanabilmektedir. Bu nedenle, anaerobik arıtma, ZK atıksuları için uygun bir alternatif olabilir, ancak alıcı sulara deşarj standartlarını karşılamak için ilave arıtma işlemine ihtiyaç duyulacaktır. Ayrıca, ZK'dan anaerobik koşullar altında dikkate değer miktarlarda biyogaz üretilebileceği sonucuna varılabilir. Bununla birlikte, gübre olarak kullanılabilen stabilize çıkış suyunun ekonomik değeri ve bazı çevresel sorunların giderilmesinden dolayı elde edilecek pozitif katkılar da dikkate alınmalıdır. Dolayısıyla, potansiyel bir organik kirletici olan zeytin işleme atıksularının anaerobik arıtma teknolojisi ile karlı bir enerji kaynağına dönüştürülerek sürdürülebilir ve daha temiz bir zeytinyağı üretiminin mümkün olduğu görülmektedir. Ancak, hâlâ tam bir pilot tesis eksikliği ve önerilen süreçlerin gerçek ölçekli ekonomik analizi bulunmamaktadır. Özellikle, bu endüstrinin büyük bir kısmının kurulduğu Akdeniz ülkelerinde ihtiyacı karşılayacak seviyede bulunan güneş enerjisinin anaerobik arıtma prosesinde kullanımı uygun maliyetli bir çözüm için önemli görülmektedir.

Teşekkür

Yazar bu çalışmayı finansal olarak destekleyen Adıyaman Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimine teşekkür etmektedir (MÜFLAP/2017-0012).

Yazarların Katkısı

Makalede tüm katkı şahsıma aittir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada, araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar

- [1] Mert B.K., Yonar T., Kilic M.Y., Kestioglu K. 2010. Pre-treatment studies on olive oil mill effluent using physicochemical, Fenton and Fenton-like oxidations processes. *Journal of Hazardous Materials*, 174 (1-3): 122-128.
- [2] Tufaner F. 2019. Evaluation of COD and color removals of effluents from UASB reactor treating olive oil mill wastewater by Fenton process. *Separation Science and Technology*, 1-12.
- [3] TÜİK 2019. Türkiye İstatistik Kurumu, Bitkisel Üretim İstatistikleri, Zeytin Üretimi 1988-2018. <http://www.tuik.gov.tr/PreTabloArama.do?metod=search&araType=vt>. (Erişim Tarihi: 24.12.2019).
- [4] IOC 2018. International Olive Council, Market Newsletter No 126 – April 2018. 51st meeting of the Advisory Committee, <http://www.internationaloliveoil.org/documents/viewfile/13437-market-newsletter-april-2018>. (Erişim Tarihi: 08.03.2019).
- [5] UZZK 2019. Ulusal Zeytin ve Zeytinyağı Konseyi, 2019-2020 Üretim Sezonu Sofralık Zeytin ve Zeytinyağı Rekoltesi Ulusal Resmi Tespit Heyeti Raporu. http://www.uzzk.org/Belgeler/UZZK_2019_2020_Turkiye_Rekolte_Raporu.pdf. (Erişim Tarihi: 28.04.2020).
- [6] IOC 2019. International Olive Council, World olive oil figures, Production. <https://www.internationaloliveoil.org/wp-content/uploads/2020/04/HO-W901-29-11-2019-P.pdf>. (Erişim Tarihi: 28.04.2020).
- [7] Kiritsakis A., Shahidi F. 2017. Olives and Olive Oil as Functional Foods: Bioactivity, Chemistry and Processing. John Wiley & Sons, 1-688.

- [8] García C.A., Hodaifa G. 2017. Real olive oil mill wastewater treatment by photo-Fenton system using artificial ultraviolet light lamps. *Journal of Cleaner Production*, 162: 743-753.
- [9] Bernardi B., Benalia S., Zema D., Tamburino V., Zimbalatti G. 2017. An automated medium scale prototype for anaerobic co-digestion of olive mill wastewater. *Information Processing in Agriculture*, 4 (4): 316-320.
- [10] Rocha C., Soria M., Madeira L.M. 2018. Thermodynamic analysis of olive oil mill wastewater steam reforming. *Journal of the Energy Institute*, 92 (5): 1599-1609.
- [11] De Leonardis A., Macciola V., Iorizzo M., Lombardi S.J., Lopez F., Marconi E. 2018. Effective assay for olive vinegar production from olive oil mill wastewaters. *Food Chemistry*, 240: 437-440.
- [12] Hanafi F., Assobhei O., Mountadar M. 2010. Detoxification and discoloration of Moroccan olive mill wastewater by electrocoagulation. *Journal of Hazardous Materials*, 174 (1-3): 807-812.
- [13] Justino C.I., Duarte K., Loureiro F., Pereira R., Antunes S.C., Marques S.M., Gonçalves F., Rocha-Santos T.A., Freitas A.C. 2009. Toxicity and organic content characterization of olive oil mill wastewater undergoing a sequential treatment with fungi and photo-Fenton oxidation. *Journal of Hazardous Materials*, 172 (2-3): 1560-1572.
- [14] Niaounakis M., Halvadakis C.P. 2006. *Olive Processing Waste Management: Literature Review and Patent Survey*. Second Edition, Elsevier Science, 498p, Amsterdam (Netherlands).
- [15] Turano E., Curcio S., De Paola M.G., Calabrò V., Iorio G. 2002. An integrated centrifugation-ultrafiltration system in the treatment of olive mill wastewater. *Journal of Membrane Science*, 209 (2): 519-531.
- [16] Lucas M.S., Peres J.A. 2009. Removal of COD from olive mill wastewater by Fenton's reagent: Kinetic study. *Journal of Hazardous Materials*, 168 (2-3): 1253-1259.
- [17] Calabrò P.S., Fòlino A., Tamburino V., Zappia G., Zema D.A. 2018. Increasing the tolerance to polyphenols of the anaerobic digestion of olive wastewater through microbial adaptation. *Biosystems Engineering*, 172: 19-28.
- [18] El-Abbassi A., Kiai H., Raiti J., Hafidi A. 2014. Application of ultrafiltration for olive processing wastewaters treatment. *Journal of Cleaner Production*, 65: 432-438.
- [19] Ochando-Pulido J.M., Martinez-Ferez A. 2018. Operation setup of a nanofiltration membrane unit for purification of two-phase olives and olive oil washing wastewaters. *Science of the Total Environment*, 612: 758-766.
- [20] Ochando-Pulido J., Stoller M., Di Palma L., Martinez-Ferez A. 2014. Threshold performance of a spiral-wound reverse osmosis membrane in the treatment of olive mill effluents from two-phase and three-phase extraction processes. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 83: 64-70.
- [21] Masi F., Bresciani R., Munz G., Lubello C. 2015. Evaporation-condensation of olive mill wastewater: Evaluation of condensate treatability through SBR and constructed Wetlands. *Ecological Engineering*, 80: 156-161.
- [22] Sklavos S., Gatidou G., Stasinakis A.S., Haralambopoulos D. 2015. Use of solar distillation for olive mill wastewater drying and recovery of polyphenolic compounds. *Journal of Environmental Management*, 162: 46-52.
- [23] Papaphilippou P.C., Yiannapas C., Politi M., Daskalaki V.M., Michael C., Kalogerakis N., Mantzavinos D., Fatta-Kassinou D. 2013. Sequential coagulation-flocculation, solvent extraction and photo-Fenton oxidation for the valorization and treatment of olive mill effluent. *Chemical Engineering Journal*, 224: 82-88.
- [24] Hodaifa G., Gallardo P.A.R., García C.A., Kowalska M., Seyedsalehi M. 2019. Chemical oxidation methods for treatment of real industrial olive oil mill wastewater. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 7: 247-254.
- [25] Chedeville O., Debacq M., Porte C. 2009. Removal of phenolic compounds present in olive mill wastewaters by ozonation. *Desalination*, 249 (2): 865-869.
- [26] González-González A., Cuadros F. 2015. Effect of aerobic pretreatment on anaerobic digestion of olive mill wastewater (OMWW): An ecoefficient treatment. *Food and bioproducts processing*, 95: 339-345.

- [27] Galliou F., Markakis N., Fountoulakis M., Nikolaidis N., Manios T. 2018. Production of organic fertilizer from olive mill wastewater by combining solar greenhouse drying and composting. *Waste Management*, 75: 305-311.
- [28] Ubay G., Ozturk I. 1997. Anaerobic treatment of olive mill effluents. *Water Science and Technology*, 36 (2-3): 287-294.
- [29] Ochando-Pulido J., Pimentel-Moral S., Verardo V., Martinez-Ferez A. 2017. A focus on advanced physico-chemical processes for olive mill wastewater treatment. *Separation and Purification Technology*, 179: 161-174.
- [30] Sampaio M., Gonçalves M., Marques I. 2011. Anaerobic digestion challenge of raw olive mill wastewater. *Bioresource Technology*, 102 (23): 10810-10818.
- [31] Azbar N., Tutuk F., Keskin T. 2009. Biodegradation performance of an anaerobic hybrid reactor treating olive mill effluent under various organic loading rates. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 63 (6): 690-698.
- [32] El-Gohary F., Tawfik A., Badawy M., El-Khateeb M.A. 2009. Potentials of anaerobic treatment for catalytically oxidized olive mill wastewater (OMW). *Bioresource Technology*, 100 (7): 2147-2154.
- [33] McNamara C.J., Anastasiou C.C., O'Flaherty V., Mitchell R. 2008. Bioremediation of olive mill wastewater. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 61 (2): 127-134.
- [34] Paraskeva P., Diamadopoulos E. 2006. Technologies for olive mill wastewater (OMW) treatment: a review. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 81 (9): 1475-1485.
- [35] Mechich T., Sayadi S. 2005. Evaluating process imbalance of anaerobic digestion of olive mill wastewaters. *Process Biochemistry*, 40 (1): 139-145.
- [36] Dareioti M.A., Dokianakis S.N., Stamatelatu K., Zafiri C., Kornaros M. 2010. Exploitation of olive mill wastewater and liquid cow manure for biogas production. *Waste Management*, 30 (10): 1841-1848.
- [37] Gelegenis J., Georgakakis D., Angelidaki I., Christopoulou N., Goumenaki M. 2007. Optimization of biogas production from olive-oil mill wastewater, by codigesting with diluted poultry-manure. *Applied Energy*, 84 (6): 646-663.
- [38] Martinez-Garcia G., Johnson A.C., Bachmann R.T., Williams C.J., Burgoyne A., Edyvean R.G.J. 2009. Anaerobic treatment of olive mill wastewater and piggery effluents fermented with *Candida tropicalis*. *Journal of Hazardous Materials*, 164 (2-3): 1398-1405.
- [39] Orive M., Cebrián M., Zufia J. 2016. Techno-economic anaerobic co-digestion feasibility study for two-phase olive oil mill pomace and pig slurry. *Renewable Energy*, 97: 532-540.
- [40] Al-Mallahi J., Furuichi T., Ishii K. 2016. Appropriate conditions for applying NaOH-pretreated two-phase olive milling waste for codigestion with food waste to enhance biogas production. *Waste Management*, 48: 430-439.
- [41] Gharsallah N., Labat M., Aloui F., Sayadi S. 1999. The effect of *Phanerochaete chrysosporium* pretreatment of olive mill waste waters on anaerobic digestion. *Resources Conservation and Recycling*, 27 (1-2): 187-192.
- [42] Dareioti M.A., Dokianakis S.N., Stamatelatu K., Zafiri C., Kornaros M. 2009. Biogas production from anaerobic co-digestion of agroindustrial wastewaters under mesophilic conditions in a two-stage process. *Desalination*, 248 (1-3): 891-906.
- [43] Gunay A., Karadag D. 2015. Recent developments in the anaerobic digestion of olive mill effluents. *Process Biochemistry*, 50 (11): 1893-1903.
- [44] Tufaner F. 2020. Post-treatment of effluents from UASB reactor treating industrial wastewater sediment by constructed wetland. *Environmental Technology*, 41 (7): 912-920.
- [45] Azbar N., Tutuk F., Keskin T. 2009. Effect of organic loading rate on the performance of an up-flow anaerobic sludge blanket reactor treating olive mill effluent. *Biotechnology and Bioprocess Engineering*, 14 (1): 99-104.
- [46] Tufaner F. 2015. Büyükbaş hayvansal atıkların biyometanizasyon süreçlerinin iyileştirilmesinin araştırılması. Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [47] Tufaner F., Avşar Y., Gönüllü M.T. 2017. Modeling of biogas production from cattle manure with co-digestion of different organic wastes using an artificial neural network. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 19 (9): 2255-2264.

- [48] APHA 2012. Standard Methods for Examination of Water and Wastewater. 22nd ed. edited by Rice W.Eugene, Baird B. Rodger, Eaton D.Andrew., American Public Health Association (APHA), American Water Works Association, Water Environmental Federation. Washington, DC, USA.
- [49] Rajesh Banu J., Arulazhagan P., Adish Kumar S., Kaliappan S., Lakshmi A.M. 2015. Anaerobic co-digestion of chemical-and ozone-pretreated sludge in hybrid upflow anaerobic sludge blanket reactor. *Desalination and Water Treatment*, 54 (12): 3269-3278.
- [50] Forster-Carneiro T., Perez M., Romero L.I. 2008. Influence of total solid and inoculum contents on performance of anaerobic reactors treating food waste. *Bioresource Technology*, 99 (15): 6994-7002.
- [51] Lee E., Bittencourt P., Casimir L., Jimenez E., Wang M., Zhang Q., Ergas S.J. 2019. Biogas production from high solids anaerobic co-digestion of food waste, yard waste and waste activated sludge. *Waste Management*, 95: 432-439.
- [52] Pandey P.K., Ndegwa P.M., Soupir M.L., Alldredge J.R., Pitts M.J. 2011. Efficacies of inocula on the startup of anaerobic reactors treating dairy manure under stirred and unstirred conditions. *Biomass & Bioenergy*, 35 (7): 2705-2720.
- [53] Guendouz J., Buffiere P., Cacho J., Carrere M., Delgenes J.P. 2010. Dry anaerobic digestion in batch mode: Design and operation of a laboratory-scale, completely mixed reactor. *Waste Management*, 30 (10): 1768-1771.
- [54] Yangui A., Abderrabba M. 2018. Towards a high yield recovery of polyphenols from olive mill wastewater on activated carbon coated with milk proteins: Experimental design and antioxidant activity. *Food Chemistry*, 262: 102-109.
- [55] Yetilmezsoy K., Sakar S. 2008. Improvement of COD and color removal from UASB treated poultry manure wastewater using Fenton's oxidation. *Journal of Hazardous Materials*, 151 (2-3): 547-558.
- [56] Öztürk İ. 2007. Anaerobik Arıtma ve Uygulamaları. Genişletilmiş 2 Baskı, Su Vakfı Yayınları, İstanbul.
- [57] Tchobanoglous G., Burton F., Stensel H.D. 2003. Wastewater engineering: Treatment and reuse. Fourth Edition, Metcalf & Eddy Inc. McGraw-Hill, New York, USA.
- [58] Tufaner F., Avsar Y. 2019. Economic analysis of biogas production from small scale anaerobic digestion systems for cattle manure. *Environmental Research and Technology*, 2 (1): 6-12.

Araştırma Makalesi / Research Article

A Comparative Study of Artificial Neural Networks and Naïve Bayes Techniques for the Classification of Radar Targets

Doğan Tunca ARIK*, Ömer KARAL, Asaf Behzat ŞAHİN

Ankara Yıldırım Beyazıt University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Electrical and Electronics Engineering Department, Ankara, Turkey
(ORCID:0000-0002-2636-3016) (ORCID:0000-0001-8742-8189) (ORCID:0000-0001-9759-8448)

Abstract

The classification of radar targets is one of the most important study topics, especially in the defense and automotive industries. However, in most of the studies in the literature, raw radar signals are used. Raw radar signals may be subject to ambient noise and signal modulation effects. This may make it difficult to classify radar targets. In this study, instead of using raw data, Fourier-based features extracted from Radar Cross-sectional Area have been used. These extracted features are then input to two types of classifiers, ie, Naive Bayes (NB) and Artificial Neural Networks (ANN) for the classification of radar targets. In addition, both classifiers were trained with different algorithms and their performances were compared. In the ANN-based classifiers, the best accuracy was found that 96.69% with using Bayesian regularization and back propagation training function. On the other hand, the best accuracy with the NB classifier was achieved at 93.95% using Epanechnikov Kernel Distribution. The result presented here demonstrates that Fourier transform based feature extraction can be used effectively in radar target classification applications.

Keywords: Artificial neural networks, naïve bayes classifier, radar cross section, radar target classification.

Radar Hedeflerinin Sınıflandırılması için Yapay Sinir Ağları ve Naïve Bayes Tekniklerinin Karşılaştırmalı Bir Çalışması

Öz

Radar hedeflerinin sınıflandırılması, özellikle savunma ve otomotiv endüstrilerinde en önemli çalışma konularından biridir. Ancak, literatürdeki çalışmaların çoğunda ham radar sinyalleri kullanılmaktadır. Ham radar sinyalleri ortamdaki Gürültü ve sinyal modülasyon etkilerine maruz kalabilmektedir. Bu durum radar hedeflerinin sınıflandırılmasını zorlaştırabilir. Bu çalışmada, ham veri kullanmak yerine, Radar Kesit Alanından çıkarılan Fourier tabanlı özellikler kullanılmıştır. Bu çıkarılan özellikler daha sonra radar hedeflerinin sınıflandırılması için iki tür sınıflandırıcıya, yani Naive Bayes (NB) ve Yapay Sinir Ağlarına (YSA) girdi olarak verilmiştir. Ayrıca, her iki sınıflandırıcı farklı algoritmalar ile eğitilmiş ve performansları karşılaştırılmıştır. YSA tabanlı sınıflandırıcıda, en iyi doğruluk, Bayesian regülasyon ve geri yayılma eğitim fonksiyonu kullanılarak 96.69% olarak bulunmuştur. Diğer taraftan, NB sınıflandırıcı ile en iyi doğruluk Epanechnikov çekirdek dağılımı kullanılarak 93.95% olarak elde edilmiştir. Burada sunulan sonuç, Fourier dönüşüm temelli öznelik çıkarımının radar hedef sınıflandırma uygulamalarında etkili bir şekilde kullanılabileceğini göstermektedir.

Anahtar kelimeler: Yapay sinir ağları, naïve bayes sınıflandırma, radar kesit alanı, radar hedef sınıflandırma.

1. Introduction

In recent years, there is an increasing attention in classification of radar targets over the past few years. A vast majority of these researches focus on two fields: automotive industry and defense industry. In the automotive market, because of higher safety demand in road traffic, the advanced driving assistance systems (ADAS) are becoming inevitable. Radar sensors commonly used in ADAS systems to decelerate the vehicle when approaching the obstacles and accelerate current velocity as soon as traffic

*Corresponding author: doganarik014@gmail.com

Received: 18.01.2020, Accepted: 27.09.2020

density allows it. There is a strong relation between ADAS technology and radar targets classification because the more accurate classification of obstacles, the more robustness on cruise controls systems. Global status report on road safety, published by World Health Organization, emphasized that the amount of road traffic deaths has reached 1.35 million [1]. For that reason, the classification of radar targets correctly is important. Machine learning based algorithms are commonly used to distinguish from pedestrian to vehicle and predict the vehicle category because these algorithms show high classification performances. In 2017, Capobianco et al. [2] used a Convolutional Neural Networks (CNN)-based method called DeepRadarNet to classify 6 different vehicles using frequency-modulated continuous wave (FM-CW) radar signals. They reached 96.1% accuracy in classifying the vehicle categories on the highway. Choi et al. [3] compared Naive Bayes (NB) and support vector machine (SVM) methods in terms of radar target classification. They obtained data from four humans, four bicycles and four cars. The recognition success rate of NB and SVM is achieved in [3] respectively 85% and 92%. In a similar vein, Nanzer and Rogers describe a Bayesian expression for the classification of humans and vehicles using micro-Doppler signals from a scanning Beam Radar and it has been reached near or above 90% accuracy [4]. Severino et al. [5] offered a micro Doppler-based method for identifying pedestrian in near field (0 - 15m) using radar sensors. SVM method was used to differentiate pedestrian and non-pedestrian targets. In addition, SVM's classification performance and speed were compared using three different kernel functions (gauss, polynomial and linear), and the best classification result was 99.5% with the Polynomial kernel.

Classification of targets from radar cross section is also an important study topic for defense applications specially dealing with airborne weapon systems. Military application radars are used in aircrafts as an airborne warning and control systems, investigating the enemy aircraft and tracking them. The classification of the target class has notable effect on threat estimation.

The neural networks and probabilistic based methods are commonly used in most modern radar systems. Kim et al. [6] use the convolutional neural networks model with combined Doppler images and obtain 94.7% accuracy. Zaied et al. [7] applied Deep learning techniques to classify Synthetic aperture radar (SAR) and Inverse Synthetic aperture radar (ISAR) images with the weights given by auto-encoder. They also evaluated the effect of the addition of convolution layers and hidden layers on the performance of the network. They acquire 97.65% as a classification percentage for a training time of 47 seconds with the ISAR database. Zhou et al. proposed a method based on deep convolution neural networks (DCNN) to classify the polarimetric SAR image [8]. In the classification of the Synthetic Aperture Radar (AIRSAR) data set, 92.46% accuracy was achieved by DCNN method.

On the other hand, there are some works recommended probabilistic approaches such as Hidden Markov Model (HMM) and Naïve Bayes based methods in the literature [9,10]. Kouemou and Ortiz compare three kinds of HMM methods using radar signals from five classes of real targets and the best mean classification rate is achieved on HMM with discrete outputs (DHMM) methods [10]. Leung and Wu find that the percentage of true track classified by the Bayesian and Dempster-Shafer approaches is 85.37 and 92.68, respectively [10].

As in the studies [2-10] mentioned above, most of the works in the literature use raw radar signals. However, raw signals are sampled in a dynamic process where numerous factors such as noise and signal modulation effect are combined. Therefore, it may not be appropriate to classify radar targets directly obtained by raw signals. Feature selection is one of the methods used to remove irrelevant or unnecessary information. It is also often used as it increases accuracy in classification problems.

The aim of this study is to identify and classify targets by using features extracted from Radar Cross Section (RCS) information in two different machine learning methods such as Naive Bayes and Artificial Neural Networks (ANN). In this study, unlike other studies in the literature, the features derived from the RCS information by Fourier Transform will be used for the first time to classify radar targets. The aim of using Fourier Transform is to design angle-independence classification system.

2. Material and Method

In this section, the theoretical background of machine learning algorithms such as Artificial Neural Networks (ANN) and Naive Bayes (NB) is briefly explained.

2.1. Artificial Neural Networks

Artificial neural networks, in the most general form, is a method constructed to imitate the way the brain performs a particular task or function. The ANN is commonly applied by using electronic components or is simulated in software in computer [11]. ANN consists of input, output and hidden layers. The ANN network proposed in this study has 3 hidden layers. Hyperbolic tangent sigmoid function was chosen as the activation function in the hidden layers and Softmax function was chosen as the activation function in the output layer.

There are several learning algorithms to train ANN networks. In this study, Scaled Conjugate Gradient (SCG), Levenberg-Marquardt (LM) and Bayesian Regularization Backpropagation (BRB) learning algorithms were used to train ANN. These learning methods differ in the way they use the gradient to update the weights of the constructed ANN and are known as variations of the Backpropagation algorithm.

SCG algorithm is based on second order information from the network and updates its weights and biases along the conjugate gradient direction using a step size scaling mechanism [12].

Similar to the SCG algorithm, LM uses second order information from the network, but acts as the steepest descent (SD) or Gauss-Newton (GN) method, depending on the value of the mediating factor. When the value of the mediation factor (the distance between the predicted and the experimental result) is zero, the LM algorithm becomes the GN method using the approximate Hessian matrix. When the value of the mediation factor is large, the LM algorithm becomes the SD algorithm with a small step size [13].

In BRB algorithm, in order to decrease the adverse effects of large weights on the network output and to provide a softer response, the penalty term consisting of the squares of all network weights is added to the objective function. That is, the BRB algorithm lessens a combination of squared errors and weights, then determines the right combination in order to generate a network that generalizes well [14].

2.2. Naïve Bayes Method

A naïve Bayes classifier is a probabilistic machine learning model that's used for classification task. The principle of this classifier is based on the Bayes' theorem. Bayes' theorem is expressed mathematically as the equation (1) [15].

$$P(A_i|B) = \frac{P(B|A_i)P(A_i)}{P(B|A_1)P(A_1) + \dots + P(B|A_n)P(A_n)} \quad (1)$$

where A_1, A_2, \dots, A_n are set of mutually exclusive events together form the sample space S and B is any event from the sample space, such that $P(B) > 0$.

The reason of this classifier called naïve is that a naïve Bayes classifier assumes that the presence of a particular feature of class is unrelated to the presence of any other feature. When modelling a probability distribution with a naïve Bayes classifier, we are faced with the problem of how to deal with continuous variables. One approach is assuming the continuous values are distributed according to a Gaussian distribution. Other approach is using kernel density estimation for modelling each conditional distribution [16]. Kernel density estimation, also termed the Parzen-Rosenblatt window method is a statistical technique that create a smooth curve given a set of data.

Let x_1, x_2, \dots, x_n be n independent observations from the random variable X . The aim of density estimation is to approximate the probability density function f of X . The kernel density estimator $\hat{f}_h(x)$ for the estimation of the density value $f(x)$ at point x is defined as:

$$\hat{f}_h(x) = \frac{1}{nh} \sum_{i=1}^n K\left(\frac{x_i - x}{h}\right) \quad (2)$$

where K denoting a kernel function

Apart from the Gaussian kernel, two types of kernel functions are used in this study. Epanechnikov kernel function and triangular kernel function are expressed respectively in equation (3) and in equation (4)

$$K(u) = \frac{3}{4}(1 - u^2)I(|u| \leq 1) \quad (3)$$

$$K(u) = (1 - |u|)I(|u| \leq 1) \quad (4)$$

3. Generation of Training and Test Sets

3.1. Synthetization of RCS Data

Radar Cross Section (RCS) term is defined by IEEE standard radar definitions that a measure of the reflective strength of radar target [17]. RCS of a specified target can be described as a function of target aspect angle (except for a sphere). Change of RCS over aspect angle was modelled in this paper using physical optic methods. While synthesizing RCS data, three different geometric shaped objects were used as targets.

These 3 targets evaluated from:

- Circular Plate Targets (CPT) with radii varying from 10cm to 40 cm
- Rectangular Plate Targets (RPT) with area varying from 0.08 m² to 0.60 m²
- Truncated Cone Plate Targets (TCPT) with heights (the distance from the nose to the tail) from 10 cm to 20 cm, top surface radii from 10 cm to 30 cm and base surface radii from 20 cm to 60 cm.

The RCS models for targets were adapted from [18] and [19]. The RCS model of circular thin plate target used in this work when viewing nearly broadside condition is showed in equation (5).

$$\sigma = \frac{4\pi A^2}{\lambda^2} \quad (5)$$

where σ is RCS of target, A is physical area of the plate, λ is wavenumber. The RCS of a circular plate other than broadside aspects was computed using equation (6).

$$\sigma = \frac{4\pi^2 A^2 \cos^2 \theta}{\lambda^2} \left[2 \frac{J_1(kd \sin \theta)}{kd \sin \theta} \right]^2 \quad (6)$$

where J_1 is first order Bessel function, d is diameter of circular plate, k is wavenumber and equal to $2\pi/\lambda$.

For the rectangular plate, formula of normal-incidence RCS is same as circular one, equation (5). When aspect angle not equal to zero, equation (7) is used for computing RCS of rectangular plate target [18].

$$\sigma_{total} = \frac{b^2}{\pi} \left| \sigma_1 - \sigma_2 \left[\frac{1}{\cos \theta} + \frac{\sigma_2}{4} (\sigma_3 + \sigma_4) \right] \sigma_5^{-1} \right|^2 \quad (7)$$

where σ_{total} is total RCS of rectangular plate target and b is the half of the short edge. σ_{total} term is derived from σ_1 , σ_2 , σ_3 , σ_4 and σ_5 . Computation of these terms is showed in equation (8).

$$\sigma_1 = \cos \cos(ka \sin \theta) - j \frac{\sin(ka \sin \theta)}{\sin \theta} \quad (8)$$

$$\sigma_2 = \frac{e^{j(ka - \frac{\pi}{4})}}{\sqrt{2\pi}(ka)^{\frac{3}{2}}}$$

$$\sigma_3 = \frac{(1 + \sin\theta)e^{-jkasin\theta}}{(1 - \sin\theta)^2}$$

$$\sigma_4 = \frac{(1 - \sin\theta)e^{jkasin\theta}}{(1 + \sin\theta)^2}$$

$$\sigma_5 = 1 - \frac{e^{j(2ka - \frac{\pi}{2})}}{8\pi(ka)^3}$$

where a is the half of the long edge and k is wavenumber.

Geometry of truncated cone target is showed in Figure 1.

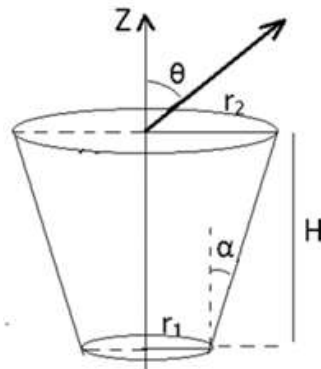


Figure 1. Geometry of Truncated Cone

In the Figure 1, alpha is lateral tilt angle and tangent of lateral tilt angle is computed using equation (9).

$$\tan \alpha = \frac{(r_2 - r_1)}{H} \tag{9}$$

In the normal incidence case, equation (10) is used when computing RCS of truncated cone targets.

$$\sigma_N = \frac{8\pi \left(z_2^{3/2} - z_1^{3/2} \right)^2 \sin\alpha}{9\lambda(\cos\alpha)^4} \tag{10}$$

where z2 is z-coordinate value of top surface of truncated cone and z1 is z-coordinate value of bottom one.

For aspect angle other than zero, RCS of truncated cone target was modelled in this paper using equation (11).

$$\sigma = \frac{\lambda z \tan\alpha \left(\frac{\sin\theta - \cos\theta \tan\alpha}{\sin\theta \tan\alpha + \cos\theta} \right)^2}{8\pi \sin\theta} \tag{11}$$

After modelling these targets, random noise was added in accordance with equation (12).

$$n = a * r * \sqrt{S} \tag{12}$$

where n is noise, S is standard deviation, alpha is scale factor and r is random number vector scaling between 0 and 0.01. When computing standard deviation, equation (13) was used.

$$S = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N |\sigma_i - \mu|^2} \quad (13)$$

where N is number of the element and μ is mean value of the set.

3.2. Feature Extraction and Dataset Creation from RCS Models

After defining the targets that are going to be combined into data sets, these models were used in order to generate simulated radar data. In Table 1, all features used in this paper are specified.

Elements of Feature Vector	
1.	Second-Order Term Coefficient
2.	First-Order Term Coefficient
3.	Second-Order Term Coefficient (in Fourier Domain)
4.	First-Order Term Coefficient (in Fourier Domain)
5.	Variance of Dataset Element (in Fourier Domain)
6.	Index of Greatest Value at Dataset Element (in Fourier Domain)

First step of feature extracting process is generating second order function to change of RCS over aspect angle. When generating second-order function, least squares fitting method was used. Coefficients of unknown terms were constituted first two element of feature vector. Fourier transform of dataset elements were calculated with fast Fourier transform algorithm. Then, second order function of these Fourier domain values was created. Coefficients of second order and first order terms of this function were forming third and fourth elements of feature vectors. Fifth element of feature vector is variance of Fourier domain values. Index of greatest value at RCS Dataset in Fourier Domain was used as sixth element of feature vector.

After defining feature vectors, these vectors were merged under the RCS dataset. Each sample of RCS dataset contains features extracted from RCS data coverage to 30-degree aspect angle. Sampling interval of RCS values was selected 0.5 degree. Starting aspect angle of RCS values corresponding to each sample was chosen different than each other. RCS Dataset contains 2040 circular plate targets sample, 1998 rectangular plate targets sample and 2160 truncated cone targets sample.

4. Results and Comparison of the Methods

This section shows various experimental results for classifying radar targets using two different machine learning methods. The performance of the ANN-based method is compared using three different learning algorithms (SCG, LM and BRB). In NB method, performance comparison is made using three different kernel (Gaussian, Epanechnikov and triangular) distribution functions. To provide same conditions for models, the computer experiments were carried out in MATLAB 2017a environment on a PC with Intel Core I5 processors 2.30 GHz with 4 GB RAM and 64-bit Windows 10 operation system. 10-fold cross validation was applied to dataset before training and testing classifiers. In 10-fold cross-validation, the dataset is randomly separated into 10 mutually exclusive subsets (folds) of almost equal size. The performance of each classifier was computed with taking average of each folds' classification accuracy.

Classification accuracies obtained from ANN based classifiers are indicated in Table 2. It can be seen from the Table 2 that the best classification accuracy is found % 96.69 with BRB algorithm. Although LM algorithm obtains four percent lesser classification accuracy than BRB classifier, it is observed during training phase of those classifiers that classification speed of LM classifier is faster than BRB classifier. Furthermore, as shown in Table 2, the accuracy of classification is much worse than other neural networks-based classifiers, although the speed of the SCG algorithm is highest.

Accuracy is a great measure but only when our datasets are distributed symmetrically. Therefore, other confusion metrics are also used to evaluate the performances of the classifiers. As shown in Table 3 and Table 4, all ANN based classifiers obtain good results to distinguish rectangular plate targets. Furthermore, we can observe from these tables, Truncated Cone Target and Circular Plate Target classification performance of BRB classifier is greater than those of LM classifier. This causes difference in classification accuracy of LM classifier and BRB classifier.

Table 2. Classification Accuracies and Time of ANN Based Classifiers

	BRB	SCG	LM
Classification Accuracies	% 96.69	% 77.54	% 92.30
Training Time (second)	4.467	2.465	3.758

Table 3. Classification Precisions of ANN Based Classifiers

	BRB	SCG	LM
TCPT	% 96.20	% 48.70	% 88.84
RPT	% 99.80	% 99.80	% 99.55
CPT	% 94.17	% 86.67	% 88.87

Table 4. Classification Recalls of ANN Based Classifiers

	BRB	SCG	LM
TCPT	% 96.43	% 79.70	% 89.50
RPT	% 99.90	% 99.40	% 98.37
CPT	% 98.36	% 61.28	% 89.22

The resulting classification accuracies of NB based classifiers with Gaussian, Triangular and Epanechnikov kernel distributions are tabled in Table 5. The results clearly show that using kernel Triangular and Epanechnikov kernel with NB classifier affects positively on performance while classifying radar targets. In addition, considering the classification accuracy in Table 6 and the classification recall in Table 7, it can be seen that there is no significant difference between NB classification results having Epanechnikov kernel distribution and triangular kernel distribution. On the other hand, NB with Gaussian kernel distribution demonstrates the lowest sensitivity (44.54%) for the Truncated Cone Target as seen in Table 6, as well as the lowest recall (61.22%) for the Circular Plate Target as seen in Table 7.

The confusion matrix results of ANN-based classifier trained with three different learning rules are shown in Tables 8, 9 and 10, respectively, while the confusion matrix results of NB-based classifier with three different kernel distributions are illustrated in Tables 11, 12 and 13, respectively.

It can be seen that the best confusion matrix values for TCPT, RPT and CPT datasets are obtained by BRB algorithm (207.8, 199.4, and 192.1) in ANN-based model (Table 8) and Epanechnikov kernel distribution (199, 196, and 187.3) in NB-based model (Table 12).

Table 5. Classification Accuracies of NB Based Classifiers

	BRB	SCG	LM
	NB with Gaussian Kernel	NB with Triangular Kernel	NB with Epanechnikov Kernel
Classification Accuracies	% 78.96	% 93.73	% 93.95
Training Time (second)	1.6	3.943	2.721

Table 6. Classification Precisions of NB Based Classifiers

	NB with Gaussian Kernel	NB with Triangular Kernel	NB with Epanechnikov Kernel
TCPT	% 44.54	% 92.36	% 92.13
RPT	% 96.30	% 98.10	% 98.10
CPT	% 98.43	% 90.88	% 91.81

Table 7. Classification Recalls of NB Based Classifiers

	NB with Gaussian Kernel	NB with Triangular Kernel	NB with Epanechnikov Kernel
TCPT	% 96.78	% 90.76	% 91.50
RPT	% 100.00	% 100.00	% 100.00
CPT	% 61.22	% 90.88	% 90.80

Table 8. Confusion Matrix of ANN Based Classifier used BRB Training Algorithm

		Predicted		
		TCPT	RPT	CPT
Actual	TCPT	207.8	0	8.2
	RPT	0.1	199.4	0.3
	CPT	11.7	0.2	192.1

Table 9. Confusion Matrix of ANN Based Classifier used SCG Training Algorithm

		Predicted		
		TCPT	RPT	CPT
Actual	TCPT	105.2	0	110.8
	RPT	0	199.4	0.4
	CPT	26.8	1.2	176

Table 10. Confusion Matrix of ANN Based Classifier used LM Training Algorithm

		Predicted		
		TCPT	RPT	CPT
Actual	TCPT	191.9	2.5	21.6
	RPT	0.6	198.9	0.3
	CPT	21.9	0.8	181.3

Table 11. Confusion Matrix of NB Classifier with Gaussian Kernel Distribution

		Predicted		
		TCPT	RPT	CPT
Actual	TCPT	96.2	0	119.8
	RPT	0	192.4	7.4
	CPT	3.2	0	200.8

Table 12. Confusion Matrix of NB Classifier with Epanechnikov Kernel Distribution

		Predicted		
		TCPT	RPT	CPT
Actual	TCPT	199	0	17
	RPT	1.8	196	2
	CPT	16.7	0	187.3

Table 13. Confusion Matrix of NB Classifier with Triangular Kernel Distribution

		Predicted		
		TCPT	RPT	CPT
Actual	TCPT	199.5	0	16.5
	RPT	1.7	196	2.1
	CPT	18.6	0	185.4

5. Conclusion

Different versions of two machine learning algorithms are compared in terms of radar target classification performances. The findings of this study indicate that using BRB training function gives

better performance than using LM and SCG training functions with ANN based classifiers. Also, the results obtained from NB algorithm-based classifiers highlight the importance of using Epanechnikov kernel distribution on classification accuracy.

Computational complexity of machine learning algorithms is especially important issue when working with real time applications. In the future works, in order to compare convenience for real time applications of different kind of classifiers, some comparison metrics state the computational complexity of algorithms will be used. Three types of neural networks training algorithms are investigated in this paper. Future research could examine performances of other neural networks training algorithms. Also, we implement two different kernel functions with NB classifier. Future studies might apply other kernel functions and compare their result with this work.

Author's Contributions

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

Statement of Conflicts of Interest

There is no conflict of interest among the authors.

Statement of Research and Publication Ethics

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

References

- [1] World Health Organization. 2018. Global Status Report on Road Safety. https://www.who.int/violence_injury_prevention/road_safety_status/2018/en. (Accessed: 21.09.2019).
- [2] Capobianco S., Facheris L., Cuccoli F., Marinai S. 2017. Vehicle Classification Based on Convolutional Networks Applied to FMCW Radar Signals. 1st European Conference on Traffic Mining Application to Police Activities, 25-26 October, Rome, Italy.
- [3] Choi Y., Choi I., Chae D. 2018. Decision-Level Fusion Scheme of SVM and Naive Bayes Classifier for Radar Target Recognition. 2018 International Symposium on Antennas and Propagation, 23-26 October, Busan, South Korea.
- [4] Nanzer J.A., Rogers R.L. 2009. Bayesian Classification of Humans and Vehicles Using Micro-Doppler Signals from a Scanning-Beam Radar. *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, 19 (5): 338-340.
- [5] Severino J.V.B., Zimmer A., Brandmeier T., Freire R.Z. 2019. Pedestrian Recognition Using Micro Doppler Effects of Radar Signals Based on Machine learning and Multi-objective Optimization. *Expert Systems with Applications*, 136 (1): 304-315.
- [6] Kim B.K., Kang H.S., Park S.O. 2016. Drone Classification Using Convolutional Neural Networks with Merged Doppler Images. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 14 (1): 38-42.
- [7] Zaied S., Toumi A., Khenchaf A. 2018. Target Classification Using Convolutional Deep Learning and Auto-encoder Models. 4th International Conference on Advance Technologies for Signal and Image Processing, 21-24 March, Sousse, Tunisia.
- [8] Zhou Y., Wang H., Xu F., Jin Y. 2016. Polarimetric SAR Image Classification Using Deep Convolutional Neural Networks. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 13 (12): 1935-1939.
- [9] Kouemou G., Opitz F. 2007. Hidden Markov Models in Radar Target Classification. 2007 IET International Conference on Radar Systems, 15-18 October, Edinburgh, UK.
- [10] Leung H., Wu J. 2000. Bayesian and Dempster-Shafer Target Identification for Radar Surveillance. *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, 36 (2): 432-447.
- [11] Haykin S.S. 2009. *Neural Networks and Learning Machines*. 3rd ed., Prentice Hall, New York.

- [12] Moller M.F. 1993. A Scaled Conjugate Gradient Algorithm for Fast Supervising Learning. *Neural Networks*, 6 (4): 525-533.
- [13] Hagan M.T., Menhaj M.B. 1994. Training Feed-Forward Networks with the Marquardt Algorithm. *IEEE Transactions on Neural Networks*, 5 (6): 989-993.
- [14] Foresee F.D., Hagan M.T. 1997. Gauss-Newton Approximation to Bayesian Learning. *International Conference on Neural Networks*, 12 June, Houston, USA.
- [15] Papoulis A. 1991. *Probability Random Variables and Stochastic Processes*. 3rd ed., McGraw-Hill, New York.
- [16] John G.H., Langley P. 1995. Estimating Continuous Distributions in Bayesian Classifiers. *11th Conference on Uncertainty in Artificial Intelligence*, 18-20 August, Montreal, Canada.
- [17] IEEE Aerospace and Electronic Systems Society. 2017. *IEEE Standard for Radar Definitions*. <https://ieeexplore.ieee.org/document/8048479>. (Accessed: 25.09.2019).
- [18] Knott E.F. 2012. *Radar Cross Section Measurements*. Springer Science and Business Media, New York.
- [19] Mahafza B.R. 2013. *Radar Systems Analysis and Design Using Matlab*. CRC Press, Florida.

Araştırma Makalesi / Research Article

Katkıların Kuyu Çimentosunun Donma Sıcaklığında Sebep Olduğu Değişimlerin Koruma Borusu Tasarımına Etkisinin İncelenmesi

Mustafa Hakan ÖZYURTKAN*, Sardar ASADOV

*İstanbul Teknik Üniversitesi, Petrol ve Doğal Gaz Mühendisliği Bölümü, İstanbul
(ORCID: 0000-0002-3105-2271) ORCID: 0000-0001-7372-0330)*

Öz

Kuyu çimentosu donma süreci boyunca iç ve dış değişimlerden etkilenmektedir. Bu değişimler bu süreçte çimentonun formasyon ve koruma borusuna bağlanma sorunlarına sebep olabilmektedir. Bu bağlanma problemi sonucunda koruma borusu arkasından akışlara sebep olabileceği gibi, kuyunun kaybedilmesine kadar giden sorunlara sebebiyet verebilir. Kuyu çimentosunun donma sürecinde ekzotermik bir reaksiyon geliştirdiği bilinmektedir. Çimento ve su karışımına ek olarak, çimentonun akmazlık ve su kaybı gibi özelliklerini ayarlamak için kullanılan katkı maddelerinin bu ekzotermik reaksiyon üzerinde etkileri vardır. Özellikle oluşan donma sırasında ortam sıcaklık değişimleri gözlenmektedir. Bu sıcaklık değişimlerinin koruma borusu tasarımında da dikkate alınması gerekmektedir. Aksi takdirde kuyu stabilitesinde bozulmalara neden olabilir. Bu çalışmada, katkılı kuyu çimentosunun donma sıcaklığında sebep olduğu değişimlerin koruma borusu tasarımına etkisi incelenmiştir. Bunun için daha önceki çalışmalarda rapor edilmiş olan yüksek, orta ve düşük sıcaklık değişimine sahip çimento kompozisyonlarından elde edilen veriler kullanılmıştır. Çimento şerbetlerinde katkı maddeleri nedeniyle oluşan termal yüklerin koruma borusu tasarımı için etkileri hesaplanmıştır. Çalışmada farklı koruma borusu ve farklı derinliğe sahip kuyular için hesaplamalar yapılmıştır. Yüksek sıcaklık değişimlerinde koruma boruları için her iki uçta da kompresif gerilmenin daha etkin olduğu sonucuna varılmıştır. Özellikle koruma borularındaki yüklerin sıkışmadan gerilmeye geçtiği bölgelerde bu etki boruların gerilme stabiletelerini etkileyebilir. Koruma borusu tasarımı yapılırken bu farkında göz önünde bulundurulması gerekebilir.

Anahtar kelimeler: Kuyu çimentosu, çimento katkı maddeleri, koruma borusu tasarımı, katkı maddelerinin hidrasyon ısı etkileri.

Investigation of the Effect of the Change of the Well Cement Setting Temperature Caused by Additives on Casing Design

Abstract

The well cement is affected by inner and outer alterations. Such alterations may result in bonding problems between formation and casing. This problem may cause not only fluid flow behind the casing but also losing the well. That is a well-known fact that the setting reaction of cement is an exothermic process. In order to regulate some properties of well cement such as viscosity and water loss, some additives are used and these additives have effect on the exothermic reaction. Especially, the change in temperature during setting is observed. These changes in temperature must be considered during casing design procedure. Otherwise, such situation may deteriorate the stability of the well. This study investigates the effect of the change of the well cement setting temperature caused by additives on casing design. In order to perform the study, the previously reported temperature data obtained from cement samples with different compositions are used for high, medium and low temperature change conditions. The thermal loads caused by additives in cement slurry are calculated for casing design. During the study, different types of casings are considered in computations for wells having different depths. For cases experiencing high temperature changes, it is indicated that compressive tension is more dominant at both ends of casings. Especially, the change in temperature caused by additives may affect the tension stability of the casings for the sections where the load passes through compression to tensile. Such situations may be considered while making the casing design.

Keywords: Well cement, cement additives, casing design, the effect of additives on thermal hydration.

*Sorumlu yazar: ozyurtkan@itu.edu.tr

Geliş Tarihi: 20.01.2020, Kabul Tarihi: 17.06.2020

1. Giriş

Çimentolama, önemli sondaj ve kuyu tamamlama operasyonlarından birisidir. Çimento petrol, doğal gaz ve jeotermal sektöründe kuyunun sondajı ve tamamlanması sırasında farklı şekillerde kullanılmaktadır. Kuyuya indirilen koruma boruları ile formasyon arasındaki anülüs olarak adlandırılan boşluk doldurularak sondaj dizisinin yerleştirilmesinde, çamur kaçaklarının önlenmesinde, formasyonlardan kuyu aracılığıyla yüzeye kontrolsüz akışkan akışının önlenmesinde, kuyuların terk edilmesinde ve artık üretim yapılmayan formasyonların kapatılmasında kullanılır [1].

Kuyuya yerleştirilen koruma boruları indirildikleri derinlik ve indirilme sıralarına göre; kılavuz boru, yüzey koruma borusu, üretim koruma borusu, ara koruma borusu gibi farklı adlar alabilmektedir. Koruma boruları indirildikleri derinliğe kadar çimentolanabileceği gibi kısmi olarak ta çimentolanabilmektedir [2].

Petrol sektöründe kullanılan çimentolar, API (American Petroleum Institute) tarafından farklı özelliklere sahip olarak A'dan H'ye kadar sınıflandırılmaktadır. Genellikle G ve H Sınıfı olarak belirtilen çimentolar kullanılmaktadır. Bununla beraber çimentonun kullanılacağı formasyon yapısına, sıcaklığına veya basıncına göre su ve katkı maddeleri eklenerek istenen özellikler sağlanmaya çalışılmaktadır. Bu maddeler ekseriyetle katı halde ve toz şeklindedir ve çimentonun yoğunluk, akma, donma zamanı ve su kaybı gibi özelliklerini kontrol etmek amacıyla kullanılmaktadır [3]. Sıcaklık arttıkça çimento şerbeti hidrate olur ve daha hızlı sertleşir. Bu sebeple yüzeyde tasarlanan çimento karışımının pompalanabilir olması ve reolojisinin buna göre ayarlanması gerekir. Bu yüzden çimento karışımının akma, donma zamanı ve su kaybı gibi özelliklerini kontrol etmek amacıyla katkı maddeleri kullanılmaktadır. Sıcaklıktaki değişimler bu amaçla kullanılan katkı maddelerinin etkinliğini değiştirmektedir [4].

Çimentonun hidratasyonu ekzotermik bir prosestir. Çimentonun donması sırasında ısı salınmaktadır. Çimentonun her bir bileşeni bu bağlamda etkindir. Çimentonun donma sürecinde etkin olan bileşenler sırasıyla; Kalsiyum Alüminatlar (C3A (Tricalcium Silicate) and C4AF (Tetracalcium Aluminoferite)), ve kalsiyum silikatlar (C3S (Tricalcium Silicate) and C2S (Dicalcium Silicate))'dır [5]. Çimentonun yapısı koruma borusu ve formasyona göre farklı termal genişleme ve elastik özelliklere sahiptir. Bu farklı yapısından dolayı koruma borusu ve formasyon arasında mikro-anülüs denen kanallar oluşmasına sebep olabilir [6]. Çimentonun donması sırasında kuyu çevresinde yüksek miktarda ısı salınımı olmaktadır. Gerçekleştirilmiş olan deneysel çalışmalar ve saha ölçümlerinde koruma borusu arkasında çimentonun donma sürecinde yüksek miktarda ısı akışı tespit edildiği belirtilmiştir. Sıcaklıktaki bu değişimler ortama ekstra stres yüklemektedir [7]. Bu stres yüklemesi çimento bünyesinde mikro ve makro çatlaklara sebep olabilir. Kuyu çimentosu şerbeti hazırlanırken sıklıkla kullanılan katkı maddeleri akma ve su kaybı sağlayıcı maddelerdir. Bu maddelerin kullanımı çimentonun yapısını kimyasal ve mekanik olarak etkilemektedir. Bu etkilerin dikkate alınmaması durumunda hazırlanmış olan çimento şerbeti istenen özelliklere sahip olmayabilir ve bu durum kuyu şartlarında çimentonun görevlerini yerine getirememesine sebep olabilir [8]. Daha önce gerçekleştirilmiş olan bir çalışmada sektörde sıklıkla kullanılan akma ve su kaybı sağlayıcı katkı maddelerinin çimentonun donma sıcaklığını ciddi oranda arttırdığı (~76 °C) tespit edilmiştir. Bu iki katkı maddesinin ayrı ayrı ve beraber kullanılmaları durumunda dahi yüksek sıcaklıklar gözlenmiştir. Gerçekleştirilecek olan tasarımlarda bu durumun göz ardı edilmesi kuyu stabilitesi sorunlarına neden olabilir [9]. Kuyu çevresinde oluşan sıcaklık değişiminin koruma boruları üzerine de olumsuz etkileri olmaktadır. Koruma boruları sıcaklık ile ekstra yükler altına girmektedir. Koruma borusunun yerleştirilme durumuna göre bu yükler ekstra kompresif ve gerilme yükleri olarak etkiyebilir [10]. Özellikle çimentodan kaynaklı sıcaklık dalgalanmalarının bu yüklerle sebep olabileceği öngörülmektedir.

Bu çalışma daha önce raporlanmış olan çimento katkı maddeleri kaynaklı oluşan sıcaklık değişimlerinin farklı derinlikteki kuyu ve farklı özellikteki koruma borularının stres yüklerine olan etkisinin incelenmesini içermektedir. Koruma borularının yükleri üzerinde oluşacak olan çimentodaki sıcaklık değişimi kaynaklı değişimlerin incelenmesi ve sonuçların ortaya konulması amaçlanmıştır.

2. Metot

Çalışmada daha önce belirtilmiş olan katkılı çimentonun donma sürecinde oluşmuş olan sıcaklık değerleri baz alınmıştır [9]. Buna ek olarak ölçülen sıcaklıklar sıcaklık farkı olarak hesaplamalar

gerçekleştirilmiştir. Oluşan sıcaklık farklılıkları sırasıyla 53 °C, 40 °C ve 25 °C olarak ele alınmıştır. Hesaplamalarda API tarafından K-55, C-95 ve P-110 tip olarak sınıflandırılması yapılan ve sektörde sıklıkla kullanılan ve farklı nominal ağırlıklara sahip üç farklı koruma borusu kullanılmıştır. Bununla beraber hesaplamalar 3000 ft (~1000 m), 10000 ft (~3300 m) ve 15000 ft (~5000 m)'lik kuyu derinlikleri kullanılarak ve koruma boruları anülüsünün yüzeye kadar çimentolandığı varsayılarak gerçekleştirilmiştir.

Her bir koruma borusu için kullanılan nominal ağırlık ve çap değerleri, koruma borusu minimum performans özellikleri tablolarından alınmıştır [1]. Hesaplamalarda kullanılan bu değerler Tablo 1'de verilmektedir.

Tablo 1. Hesaplamalarda kullanılan koruma borularının çap ve nominal ağırlık değerleri

Dış Çap (in.)	K – 55 (lb/ft)	C – 95 (lb/ft)	P – 110 (lb/ft)
7	20	32	32
	23	35	35
	26	38	38
9 5/8	36	43.5	43.5
	40	47	47
		53.5	53.5
13 3/8	54.5	68	68
	61	72	72
	68		

3. Bulgular ve Tartışma

Tablo 1'de verilmiş olan her bir tip koruma borusu, koruma borusunun her bir nominal ağırlığı ve üç farklı sıcaklık değişimi ele alınarak stres değerleri sırasıyla hesaplanmıştır. Tablo 2'de K-55 tipi koruma borusu için yapılmış olan stres hesapları verilmektedir. Tablo 2 verilerine göre erken dönem sıcaklık değişimlerinin koruma borusu stresi üzerine etkileri açıkça görülmektedir. Koruma borusu tabanındaki aksiyal gerilmeler koruma borusu çapı ve nominal ağırlıklarından ziyade sıcaklık değişiminden oluşmaktadır. Sıcaklık değişimindeki düşüş ve tabandaki aksiyal gerilmeler ters orantılıdır. Çimentodan kaynaklı oluşacak olan 53 °C'lik bir sıcaklık değişimi için 3000 ft derinlikteki stres değeri – 10971 olarak hesaplanmıştır. Bu değer diğer durumlar için de aynıdır. Farklı sıcaklık değişim değerlerinde de her bir derinlik için aynı değer hesaplanmaktadır.

Tabandaki koruma borusu gerilme etkilerinin aksine yukarıdaki değerlerde aksiyal gerilme koruma borularının nominal ağırlıklarına, boruların uzunluklarına ve sıcaklıktaki değişimlere bağlıdır. 53 °C'lik sıcaklık değişimi göz önüne alındığında, nominal ağırlıklar arttıkça yukarıdaki aksiyal gerilme artmaktadır. Bir başka deyişle, kompresif yükler azalmakta, çekme gerilim yükleri artmaktadır. Bununla birlikte, koruma borusunun uzunluğu arttıkça yukarıdaki çekme gerilmesi de artmaktadır. Farklı sıcaklık değişimleri için hesaplanmış olan yükler karşılaştırıldığında, sıcaklık değişimi arttıkça K-55 tip koruma borusundaki gerilmelerin arttığı söylenebilir. Bunun sonucu olarak ta kompresif yükler artmaktadır.

53 °C ve 40 °C'lik sıcaklık değişimlerinin olduğu durumlar karşılaştırıldığında artan sıcaklık değişiminin koruma borusu üzerinde daha fazla strese sebep olduğu gözlenmektedir. Bunun sonucu olarak ta kompresif yükler artmaktadır. Aksiyel gerilmenin en yüksek olduğu durum beklendiği gibi 53 °C'lik değişimin olduğu ve koruma borusunun nominal ağırlığının 54.5 lb/ft ve çapının da 13^{3/8} inç olduğu durumdur. Benzer şekilde hesaplamalar C-95 tip koruma borusu için gerçekleştirilmiştir. Hesaplanmış olan gerilme değerleri Tablo 3'te verilmektedir. Koruma borusu tipinden bağımsız olduğu kabul edildiğinden tabandaki gerilme değeri aynı şekilde -10971 psi olarak hesaplanmıştır. Koruma borusunun her iki ucunda da kompresif yüklerin etkin olduğu görülmektedir. Aksiyel gerilmenin en yüksek olduğu durum beklendiği gibi 53 °C'lik değişimin olduğu ve koruma borusunun nominal ağırlığının 54.5 lb/ft ve çapının da 13^{3/8} inç olduğu durumdur. Koruma borusu uzunluğu arttıkça aksiyal gerilme değerlerinde azalama olduğu görülmektedir. Koruma borusunun yüzeye yakın bölümlerinde değişen sıcaklıkla beraber kompresif gerilme değerlerinde ciddi değişimler olduğu hesaplanmıştır. Sıcaklık değişiminin 53 °C ve 25 °C olduğu koşullar karşılaştırıldığında 6800 psi değerlerine varan gerilme farklılıkları olmaktadır. Bununla beraber, özellikle düşük sıcaklıklardaki koşullarda, aksiyal gerilmenin kompresiften çekme gerilmesine doğru geçiş yaptığı görülmektedir. 10000 ft ve 15000 ft

derinlikteki kuyular için yapılan hesaplamalarda koruma borusunun çimentodan kaynaklı sıcaklık değişimi boyunca gerilme etkisinde olduğu görülmektedir. Aynı sıcaklık değişimleri için hesaplamalar P-110 tipi koruma borusu için de tekrarlanmıştır. Sonuçlar beklendiği üzere diğer iki koruma borusu tipiyle benzerlik göstermektedir. Diğer koruma borusu tiplerinden farklı olarak sıcaklık değişiminin 40 °C olduğu şartlarda dahi çekme gerilmesinin etkin olduğu görülmektedir. P-110 tipi koruma borusu için hesaplanmış olan değerler Tablo 4’te verilmektedir.

Tablo 2. Farklı nominal ağırlıklara (lb/ft) sahip K-55 Tip Koruma Borusu ve farklı sıcaklık değişimleri için hesaplanan psi biriminden stres değerleri

ΔT (°C)	Derinlik (ft)	20	23	26	36	40	54.5	61	68
53	0	-9411	-9178	-8944	-9487	-9322	-9807	-9667	-9519
	3000	-10971	-10971	-10971	-10971	-10971	-10971	-10971	-10971
	0	-5774	-4995	-4216	-6023	-5473	-7092	-6630	-6131
	10000	-10971	-10971	-10971	-10971	-10971	-10971	-10971	-10971
	0	-3177	-2006	-8371	-3549	-2725	-5153	-4459	-3711
	15000	-10971	-10971	-10971	-10971	-10971	-10971	-10971	-10971
40	0	-6721	-6487	-6253	-6796	-6631	-7116	-6978	-6828
	3000	-8280	-8280	-8280	-8280	-8280	-8280	-8280	-8280
	0	-3083	-2304	-1524	-3332	-2782	-4401	-3938	-3440
	10000	-8280	-8280	-8280	-8280	-8280	-8280	-8280	-8280
	0	-485	685	1854	-858	-34	-2462	-1768	-1020
	15000	-8280	-8280	-8280	-8280	-8280	-8280	-8280	-8280
25	0	-3616	-3382	-3148	-3961	-3526	-4011	-3873	-3723
	3000	-5175	-5175	-5175	-5175	-5175	-5175	-5175	-5175
	0	22	801	1581	-227	323	-1296	-833	-335
	10000	-5175	-5175	-5175	-5175	-5175	-5175	-5175	-5175
	0	2620	3790	4959	2247	3071	-644	1337	2085
	15000	-5175	-5175	-5175	-5175	-5175	-5175	-5175	-5175

Tablo 3. Farklı nominal ağırlıklara (lb/ft) sahip C-95 Tip Koruma Borusu ve farklı sıcaklık değişimleri için hesaplanan psi biriminden stres değerleri

ΔT (°C)	Derinlik (ft)	32	35	38	43.5	47	53.5	68	72
53	0	-8476	-8242	-8008	-9177	-9033	-9765	-9519	-9433
	3000	-10971	-10971	-10971	-10971	-10971	-10971	-10971	-10971
	0	-2656	-1876	-1097	-4992	-4511	-3618	-6131	-5846
	10000	-10971	-10971	-10971	-10971	-10971	-10971	-10971	-10971
	0	1501	2670	3840	-2003	-1281	58	-3711	-3284
	15000	-10971	-10971	-10971	-10971	-10971	-10971	-10971	-10971
40	0	-5785	-5551	-5318	-6486	-6342	-6074	-6828	-6743
	3000	-8280	-8280	-8280	-8280	-8280	-8280	-8280	-8280
	0	35	814	1595	-2301	-1820	-927	-3440	-3155
	10000	-8280	-8280	-8280	-8280	-8280	-8280	-8280	-8280
	0	4192	5361	6531	688	1409	2750	-1020	-593
	15000	-8280	-8280	-8280	-8280	-8280	-8280	-8280	-8280
25	0	-2681	-2447	-2213	-3381	-3237	-2970	-3723	-3637
	3000	-5175	-5175	-5175	-5175	-5175	-5175	-5175	-5175
	0	3140	3920	4699	803	1284	2177	-335	-50
	10000	-5175	-5175	-5175	-5175	-5175	-5175	-5175	-5175
	0	7297	8466	9636	3792	454	5854	2084	2512
	15000	-5175	-5175	-5175	-5175	-5175	-5175	-5175	-5175

Tablo 4. Farklı nominal ağırlıklara (lb/ft) sahip P-110 Tip Koruma Borusu ve farklı sıcaklık değişimleri için hesaplanan psi biriminden stres değerleri

ΔT (°C)	Derinlik (ft)	32	35	38	43.5	47	53.5	68	72
53	0	-8476	-8243	-8008	-917	-9033	-8765	-9515	-9434
	3000	-10971	-10971	-10971	-10971	-10971	-10971	-10971	-10971
	0	-2656	-1876	-1097	-4992	-4511	-3618	-6131	-5846
	10000	-10971	-10971	-10971	-10971	-10971	-10971	-10971	-10971
	0	1501	2671	3840	-2003	-1281	58	-3711	-3285
	15000	-10971	-10971	-10971	-10971	-10971	-10971	-10971	-10971
40	0	-5785	-5551	-5318	-6486	-6342	-6074	-6828	-6743
	3000	-8280	-8280	-8280	-8280	-8280	-8280	-8280	-8280
	0	35	814	1594	-2301	-1820	-1820	-3440	-3155
	10000	-8280	-8280	-8280	-8280	-8280	-8280	-8280	-8280
	0	4192	5361	6531	687	1409	2750	-1020	-593
	15000	-8280	-8280	-8280	-8280	-8280	-8280	-8280	-8280
25	0	-2680	-2446	-2212	-3381	-3237	-2669	-3723	-3637
	3000	-5175	-5175	-5175	-5175	-5175	-5175	-5175	-5175
	0	3140	3920	4700	804	1285	2177	-335	-50
	10000	-5175	-5175	-5175	-5175	-5175	-5175	-5175	-5175
	0	7297	8446	9636	3792	4514	5854	2084	2511
	15000	-5175	-5175	-5175	-5175	-5175	-5175	-5175	-5175

4. Sonuç ve Öneriler

Hesaplamalardan elde edilmiş olan bütün sonuçlar genel olarak değerlendirildiğinde çimento katkı maddelerinden kaynaklı, çimentonun donma sürecindeki sıcaklık değişimlerinden dolayı oluşan yükler genellikle koruma borusu tasarımında daha fazla kompresif yüke neden olmaktadır. Kuyulardaki sıcaklık değişiminden dolayı oluşacak olan yükleri belirlemek ve tahmin etmek için kuyulardaki çeşitli faktörlerin bilinmesi gerekir. Gerilme değişimleri hakkında doğru hesaplama yapabilmek için ana faktör kesinlikle sıcaklık değişimidir. Bu hesaplamalarda, donma sürecinde (hidratasyon sırasında) ısı oluşumuna bağlı sıcaklık değişiminin önemi açıkça görülmektedir. Sonuçlar, daha yüksek sıcaklık değişimlerinde koruma boruları için her iki uçta da kompresif gerilmenin dominant olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte, koruma borularının nominal ağırlığı, çapı ve uzunluğu gibi diğer faktörler termal yüklerin hesaplanmasında önemli bir rol oynamaktadır.

Çimento katkı maddelerinin çimento donma sürecinde oluşan sıcaklığa etkileri bulunmaktadır. Özellikle erken dönemde oluşacak olan sıcaklık değişimlerinin koruma borusu gerilmeleri açısından ek bir yük getireceği görülmektedir. Hesaplanan değerler her ne kadar koruma borularının dayanım değerleri içinde olsa da özellikle problemler, derin kuyularda ve gerilimin kompresiften çekme gerilmesine geçtiği kuyunun bölümlerinde bu etkinin de hesaplanması ileride karşılaşılabilecek çimento ve koruma borusu kaynaklı problemlerin değerlendirilmesi ve giderilebilmesi açısından önem arz etmektedir.

Yazarların Katkısı

Her iki yazarda eşit oranda katkıda bulunmuştur.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada, araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar

- [1] Bourgoyne A.T., Chevenert M.E., Millheim K.K., Young F.S. 1991. Applied Drilling Engineering. Richardson, Teksas, ABD.
- [2] Rahman S.S., Chilingarian G.V. 1995. Casing Design Theory and Practice. Amsterdam, Hollanda.
- [3] Nelson E.B., Guillot D. 2006. Well Cementing. Schlumberger Educational Services, Houston, Texas, ABD.
- [4] Kutasov I.M., Eppelbaum L.V. 2015. Pressure and Temperature Well Testing. CRC Press, Taylor & Francis Group LLC, Boca Ralton-London, New York, NW, ABD.
- [5] Hewlett P. 2001. Lea's Chemistry of Cement and Concrete. 4th ed., Washington, D.C., Elsevier Ltd., ABD.
- [6] Ravi K., Bosma M., Gastebled O. 2002. Improve the Economics of Oil and Gas Wells by Reducing the Risk of Cement Failure. IADC/SPE Drilling Conference, Dallas, Teksas, ABD.
- [7] Romero J., Loizzo M. 2000. The importance of Heat on Cement Strength Development for Deep Water Wells. SPE Annual Technical Conference and Exhibition, Dallas, Teksas, ABD.
- [8] Ozyurtkan, M.H. 2012. Designing impermeable cement slurry for high pressure and hot wells. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [9] Asadov S., Ozyurtkan M.H. 2017. Modelling The Effect Additives on Exothermic Heat Development of Well Cement. 51st US Rock Mechanics / Geomechanics Symposium, San Francisco, California, ABD.
- [10] Byrom T.G. 2007. Casing and Liners for Drilling and Completion. Gulf Publishing Company, Houston, Teksas, ABD.

Araştırma Makalesi / Research Article

Platin Grubu Metal İçeren Demir Matının Oksidatif Koşullarda Çözeltiye Alınmasının İncelenmesi

Mehmet Hakan MORCALI^{1,2*}, Merve AKSU²

¹Gaziantep Üniversitesi, Naci Topçuoğlu Meslek Yüksekokulu, Kimya Teknolojisi, 27600, Gaziantep

²Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Avşar Kampüsü Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Çevre Mühendisliği, 46100, Kahramanmaraş

(ORCID: 0000-0002-5021-4459) (ORCID: 0000-0003-1212-8060)

Öz

Özellikle kara taşıtlarında fosil bazlı yakıtların yakılması sonucu oluşan tehlikeli gazların (CO, NO_x, hidrokarbon (HC)) daha az zararlı gazlara (CO₂, N₂, H₂O) dönüştürülmesinde katalitik dönüştürücüler kullanılmaktadır. Bu kimyasal dönüşüm platin grubu metaller (PGM) varlığında çok kısa sürede yüksek verimle gerçekleşmektedir. Dünya'da PGM konusunda yaşanan arz-talep dengesizliği sebebiyle her türlü PGM ihtiva eden atıktan değerli metallerin geri kazanımı çok büyük önem arz etmektedir. Bu bilimsel çalışmada, katalitik dönüştürücülerden katı-katı ekstraksiyon yoluyla PGM'lerin bünyesinde zenginleştirildiği demir matının çözeltiye alınma şartlarının belirlenmesi amacıyla hidroklorik asit varlığında farklı oksidanlar (ozon(O₃) ve oksijen(O₂)) kullanılarak çözümlendirme şartları araştırılmıştır. En iyi deney şartlarının belirlenmesi için oksidan türü, oksidan miktarı, çözücü konsantrasyonu, karıştırma hızı ve reaksiyon sıcaklığı parametreleri incelenerek deneyler gerçekleştirilmiştir. %95 üzerinde verim; 5 gr örnek 4 M HCl 200 mL ile 50 mg O₃/dakika ve 800 devir/dakika reaksiyon şartlarında 12 saat süre sonunda 60°C reaksiyon sıcaklığında elde edilebilmiştir. Deneylerin gerçekleştirildiği basamaklarda hammadde XRD analizi ile karakterize edilerek deneyde kullanılan hammaddenin yapısı aydınlatılmıştır. Çözünmeden geri kalan malzeme SEM-EDS yöntemi karakterize edilerek liç işlemi sonrası kalan yapı belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Demir matı, çözümlendirme, oksidasyon, PGM.

Investigation of Iron Matte Containing PGMs Leaching under Oxidative Conditions

Abstract

Catalytic converters are especially used to convert hazardous gases (CO, NO_x, hydrocarbon (HC)) to less harmful gases (CO₂, N₂, H₂O) resulting from the combustion of fossil based fuels used in vehicles. The high yield of these reactions are achieved in a very short period of time by the platinum group metals (PGM) These chemical transformations take place in a very short time as well as with high efficiency in the presence of platinum group metals (PGM). Recycling of precious metals from all kind waste containing PGM is very important because of the supply-demand unbalance. In this scientific study, the dissolution conditions of iron matte which was produced by applying solid-solid extraction of PGMs from catalytic converters, were investigated in the presence of hydrochloric acid with using various oxidants (ozone (O₃) and oxygen (O₂)). To determine the highest dissolution conditions, experimental studies were carried out by examining the oxidant type, oxidant quantity, solvent concentration, stirring speed and reaction temperature. At 95% dissolution yield was obtained using 5 g sample 200 mL of 4 M HCl with 50 mg O₃/minute and 800 rpm at 60°C after 12 h. The chemical composition of raw material was characterized by using XRD and also SEM-EDS technique was used to identify the undissolved material.

Keywords: Iron matte, dissolution, oxidation, PGM.

*Sorumlu yazar: hmorcali@ksu.edu.tr

Geliş Tarihi: 16.02.2020, Kabul Tarihi: 08.09.2020

1. Giriş

Katalizör kimyasının temel taşlarından olan platin gurubu metaller (PGM) endüstrinin birçok alanında kullanılmaktadır. Sahip oldukları eşsiz özelliklerinin yanı sıra ekonomik değerleri PGM'lerin geri kazanılması konusunda yapılacak her türlü çalışmayı değerli kılmaktadır. Değerli metaller grubunda yer alan PGM'lerin metal borsasında kolaylıkla işlem görebilmeleri nedeniyle birçok endüstriyel kuruluş PGM'lerin kazanımı üzerine ticari faaliyetlerde bulunmakta ve yenilikçi her uygulama yakından takip edilerek çeşitli uygulamalara adapte edilme yolları aranmaktadır. Günümüzde çevresel kaygıların giderek artmasının yanı sıra kaynak kısıtlılığından dolayı yaşanan ekonomik kaygılar katalitik dönüştürücülerin değerlendirilmesinde yeni yöntem arayışını güncel tutmaktadır [1,2]. Yeni nesil çevreci araçların çıkması ile birlikte klasikleşmiş katalitik dönüştürücülerde bir takım değişikliklere uğramıştır. Yeni nesil birçok katalitik dönüştürücü bünyesinde SiC esaslı, metal esaslı, polimer esaslı malzemeler içermektedir [3-5]. Bu değişikliklerin yanı sıra araçların yanma sistemlerindeki olumlu gelişmeler katalitik dönüştürücülerin bünyelerindeki PGM miktarlarında azalmaya sebebiyet vermektedir. Katalitik dönüştürücülerde yaşanan bu değişimler bu alanda yeni çalışmaların yapılmasına ciddi zemin hazırlamaktadır. PGM'lerin daha yüksek verimlerle kazanılması ve geri kazanım yöntemindeki şartların iyileştirilmesi (çevresel ve ekonomik bakımdan) yönünde yapılacak çalışmalar ciddi önem kazanmaktadır. Literatür çalışmalarında katalitik dönüştürücülerden PGM'lerin kazanılması konusunda hidrometalurjik yöntemler baskın olmasına rağmen ticarileşmiş ve tescillenmiş endüstriyel uygulamalarda sıklıkla pirometalurjik yöntemler tercih edilmektedir [1-4, 6].

Literatür çalışmalarına bakıldığında bitmiş (atık) katalitik dönüştürücülerden PGM'leri katı-katı ekstraksiyon yoluyla ayırmak için: sıklıkla bakır (Cu) ve nikel (Ni), nadiren kurşun (Pb), ve yeni olarak demir (Fe) tercih edilmektedir [6]. Bunlara ek olarak kalsiyum (Ca), magnezyum (Mg) ve çinko (Zn) kullanılan çalışmalarda bulunmaktadır. Bunlara ek olarak mat oluşumunun kullanıldığı durumlarda ise bakır sülfür (CuS), nikel sülfür (NiS) veya Cu-Ni-S karışımli matının teşekkülü sağlanmıştır [1]. Metalik bakır, ticari bir değere sahip olması (metal borsasında satılabilir), rafinasyon diğer metallere göre daha kolay oluşundan dolayı PGM'lerin seramik esaslı katalitik dönüştürücülerin toplamasında genellikle kullanılmaktadır [7-9]. Bu işlemlerde bakır kaynağı olarak; metalik bakır (Cu⁰), bakır (II) oksit (CuO) veya bakır karbonat (CuCO₃) kullanılmakta ve ergitme işlemi elektrik ark fırınında gerçekleştirilmektedir. Katalitik dönüştürücünün ana yapısını oluşturan seramik malzemenin ergimesi için cüruflaştırıcı olarak SiO₂ (silika) ve CaO (sönmüş kireç), redüktan olarak kömür ve türevleri kullanılmaktadır [9,10]. Ivanovic ve ark. (2011) tarafından Belgrad Üniversitesi Bor Maden ve Metalurji enstitüsü tarafından geliştirilen yöntemde pelet haline getirilmiş olan katalitik dönüştürücü karışımı doğrudan ergitilmiş metalik bakır içerisine dökülmekte ve PGM'lerin ergimiş metalik bakır içerisinde çözümlendirilmesi sağlanmaktadır [11]. Fırın içerisinden cüruf sürekli olarak dışarı alınmakta ve yeni malzeme fırına şarj edilmektedir. Elde edilen bakır levha yaklaşık olarak %1 PGM içermektedir. Daha sonra elektroliz yöntemi ile PGM anot çamuru olarak alınmakta ve rafineriye gönderilerek PGM metalleri üretilmektedir. Fornalczyk ve Saternus (2009) tarafından geliştirilen yöntemde ise PGM'ler bakır içerisinde toplandıktan sonra bakır alaşımı oksijen üfleme yoluyla oksitlenerek (CuO_x) tekrardan ergitme fırınına hammadde olarak verilmektedir [12]. Oksidasyondan sonra elde edilen PGM konsantrisi miktarı %30 civarındadır. Bu yöntem ticari olarak Japonya'daki Nippon PGM Corporation firması tarafından uygulanmaktadır [12]. Bakır ile PGM'leri toplayan bir diğer önemli firma olan Umicore (Hoboken, Antwerp, Belçika) ise katalitik dönüştürücülere ek olarak baskılı devre kartlarını da (elektronik atıklar) bu şekilde değerlendirerek diğer potansiyel değerli (Au, Ag) ve özel metalleri (Se, Te, Sb, Sn vb) kazanabilmektedir [13]. Fakat bakır ile PGM'leri toplama yönteminde elde edilen toplayıcının asit ile çözümlendirilme (sülfürik asit) işlemi yüksek sıcaklık ve basınç altında olmaktadır. Yüksek yatırım maliyeti (bakırın borsa satış fiyatı), bakırın elektroliz yöntemi ile kazanımı işleminde yüksek elektrik tüketimi, elektroliz ünitesinde çıkan asit buharları insan sağlığı ve çevre için tehlike arz etmesi en önemli dezavantajlarından. Toplayıcı metalleri atık cep telefonu baskılı devre kartlarının bünyesinde sağlayarak baskılı devre bünyesinde bulunan bakır, kalay ve demir varlığında katalitik dönüştürücülerdeki PGM'lerin ekstraksiyonu ve baskılı devre kartlarının bünyesinde bulunan altın (Au) ve gümüşün (Ag) aynı yolla ekstraksiyonu çalışılmıştır [14,15]. Kim vd. (2004) gerçekleştirdiği çalışmada toz halindeki katalitik dönüştürücü ve küçük parçalara ayrılan baskılı devre kartları(PCB-printed circuit board) 600°C'de yakılmıştır. Yakılma işleminde kül edilmiş PCB karışımı içerisinde bulunan CuO, SnO₂ ve FeO metal oksitleri toplayıcı görevi görmektedir. Karışımı kireç (CaO) ile

karıştırılarak yaklaşık olarak 1400°C’de bir saat süre ile ergitilmiş ve ergitme sonrası elde edilen metal alaşımı kral suyunda liç edilerek değerli metallerin geri kazanımları ICP sonuçlarına göre hesaplanmış ve %90 civarında değerli metal kazanımı sağlanmıştır. Yöntemde PCB’lerin kül edilmesi sırasında açığa çıkan organik kirlilik ve Cu-Sn-Fe alaşımından PGM-Au-Ag metallerinin geri kazanımı için hiçbir çalışma yapılmamıştır. Ayrıca ergitme işlemi için gerekli sıcaklığın yüksekliği bir diğer dezavantajı olarak belirlenmiştir. Kim vd. (2013) yürüttüğü bu çalışmada ise 2004 yılında gerçekleştirdikleri çalışmadan farklı olarak PCB kartlarını kül etmeden doğrudan ergitme potasına eklemişlerdir. Bir önceki çalışma ile aynı sonuçlar elde edilmiştir. Fakat oluşan organik kirlitici gazların bertarafı, metal alaşımından PGM-Au-Ag metallerinin ayrımı ve toplayıcı metallerin tekrardan kullanımına yönelik çalışmalar verilmemiştir. Keyworth (1982) metalik kurşun ile PGM toplama yöntemini tanımlamıştır [16]. Bu yöntem pirometalurjik olarak PGM ayırıştırmadaki (toplama) en eski yöntemlerin başında gelmektedir. 1980 ve öncelerinde ikinci el hurda kaynaklarının değerlendirilmesinde kolay uygulanması, düşük ergime sıcaklığına sahip olması, kurşunun basit yolla uzaklaştırılabilmesi (PGM konsantresi eldesi için) ve düşük yatırım maliyeti avantajları arasındadır. Fakat çalışanlar ve çevre koşulları için toksik kurşun oksit (PbO) oluşumu ve en önemlisi rodyum (Rh) geri kazanım verimlerinin %70 civarında kalması en önemli dezavantajları olarak belirlenmiştir [16,17]. Günümüzde bu yöntemin uygulanmasına yönelik çalışma bulunması yöntemin uygulanma potansiyelini yitirmiştir. Plazma ark ergitme teknolojisinin 1980’lerden sonra gelişmesi ile birlikte PGM’lerin toplanması için metalik demir sıklıkla tercih edilen metallerin başında gelmektedir [6,18]. Bu proseste kırılmış katalitik dönüştürücüler demir cevheri (Fe₂O₃) veya metalik demir tozu ile karıştırılarak redükleyici ve cüruflaştırıcı varlığında yaklaşık olarak 2000°C’de ergitilmesi sırasında PGM’ler metalik demir bünyesinde toplanmaktadır (işlem sonrası demir bünyesinde yaklaşık %7 PGM içerir). Plazma ergitme sistemi ticari olarak ABD ve Çek Cumhuriyetinde kullanılmaktadır [19]. Kullanılan prosesin (plazma ark ergitme) bakım ve onarım maliyetlerinin çok yüksek oluşu ve kullanım ömrünün kısa oluşu en önemli dezavantajları olarak ortaya çıkmaktadır. Ayrıca çok yüksek enerji maliyeti sürdürülebilir çevre uygulamaları ile bağdaşmayan özelliklerinin başında gelmektedir. Katalitik dönüştürücülerden PGM’lerin metal buharları ile alaşımları şeklinde kazanımlarının sağlandığı bir takım çalışmalar mevcuttur fakat çalışmaların sürdürülebilirliği konusunda çalışmaların derinleştirilmesi gerektiği raporlarda belirtilmiştir. Katalitik dönüştürücülerdeki rodyumu (Rh) Ca ve Mg metallerinin tozları ile özel olarak tasarlanmış kapalı reaktörde yaklaşık 900°C’de oluşan Ca ve Mg metal buharları ile Rh’un alaşımlanması ve elde edilen alaşımın kral suyunda (3HCl:HNO₃) asidik olarak çözümlendirilmesi sağlanmıştır. Elde edilen çözümlenmiş rodyum metalini sementasyon (Zn) yöntemi ile indirgenmiş %100 yakın verim elde edilmiştir [20]. Bir farklı çalışmada katalitik dönüştürücülerin yapısında bulunan PGM’lerin Ca ve Mg metallerinin tozları ile özel olarak tasarlanmış kapalı reaktörde yaklaşık 900°C’de 3 saat sonunda oluşan alaşımların kral suyunda (3HCl:HNO₃) asidik olarak çözümlendirilmesi sağlanmıştır. Elde edilen verim değerlerinin sırasıyla %88 Pt, %81 Pd, ve %72 Rh olduğu belirtilmiştir [20]. Bir patent çalışmada katalitik dönüştürücüde bulunan platin grubu metalleri sülfatlaştırıcı kavurma yoluyla çözümlenmişlerdir. Çalışmada, sadece çözümlendirme üzerine gerçekleştirilmiş platin grubu metallerin geri kazanımı hakkında bilgi verilmemiştir. Ayrıca reaksiyon sırasında açığa çıkan SO₃ gazlarının bertarafı konusunda bilgi verilmemiştir [21]. Bakır ergitme sonrası elde edilen cüruf içerisinde kalan bakırın miktarının PGM konsantrasyonu ile ilgili yapılan başka bir patent çalışmada bakır miktarı azaldıkça PGM miktarının da azaldığı tespit edilmiştir [22]. Literatürde NiS matı ile ilgili yapılan çalışmalarda genellikle standart referans cevherlerde (Kromit, manganez, pirit v.b.) bulunan platin grubu metallerin çeşitli spektroskopik yöntemle analizleri hakkındadır. Bu çalışmalarda genellikle spektroskopik teknikler karşılaştırılmış ve karşılaşılan sorunlar için alınması gereken önlemler araştırılmıştır [23,24]. NiS matı yönteminin katalitik dönüştürücüler kullanılarak reaksiyon şartlarının belirlenmesine yönelik gerçekleştirilen çalışmada %99’a yakın PGM geri kazanım elde edilmiş fakat PGM’lerin çözümlenmiş alandıktan sonra selektif olarak çöktürülmesi, daha sonra çözümlenmiş nikelin tekrardan kazanılarak yöntemde kullanımı hakkında çalışmalar eksik kalmıştır [4].

Yukarıda detaylı olarak verilen literatür ve patent çalışmalarından anlaşıldığı üzere katalitik dönüştürücülerden PGM’leri geri kazanılması konusunda halihazırda endüstriyel uygulamaları bulunan pirometalurjik yöntemler ön plana çıkmaktadır. Metal ergitme ile toplama işlemi özellikle refrakter ve düşük PGM içerikli katalitik dönüştürücülerin değerlendirilmesi için en uygun geri kazanım yöntemi olduğu bir kaç derleme makalesinde belirtilmektedir [1,25]. Literatürde yayınlanan son çalışmalarda PGM’lerin çeşitli endüstriyel proseslerden elde edilen matlarda zenginleştirilmesi ve bu matların

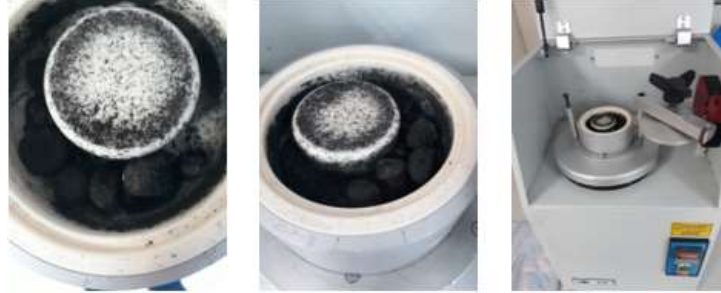
çözümendirilme şartlarının belirlenmesi üzerine araştırmalar yapılmıştır. Örneğin; Ni-Cu-Fe-S Peirce Smith konvertör matı; Ni-Cu konvertör matı; Ausmelt yöntemi konvertör matlarının çeşitli şartlarda farklı çözücüler varlığında çözülendirilmesi incelenmiş ve PGM'lerin geri kazanımı üzerine bir dizi çalışmalar yürütülmüştür [24-26]. Fakat bu çalışmalar genellikle sülfürlü cevherlerde var olan PGM'lerin geri kazanımı üzerine gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalara ek olarak diğer literatür çalışmalarında katalitik dönüştürücü kullanılmamıştır.

Bu çalışmada; PGM'lerin katalitik dönüştürücülerden katı-katı ekstraksiyon yoluyla demir matında zenginleştirilmesi sonrası elde edilen demir matının hidroklorik asit varlığında iki adet farklı oksidan ile çözülendirilmesi üzerine etki eden parametreler incelenmiştir. Deneylerin gerçekleştirildiği basamaklarda hammadde XRD ve çözünmeden geri kalan malzeme SEM-EDS tekniği uygulanarak karakterize edilmiştir.

2. Materyal ve Metot

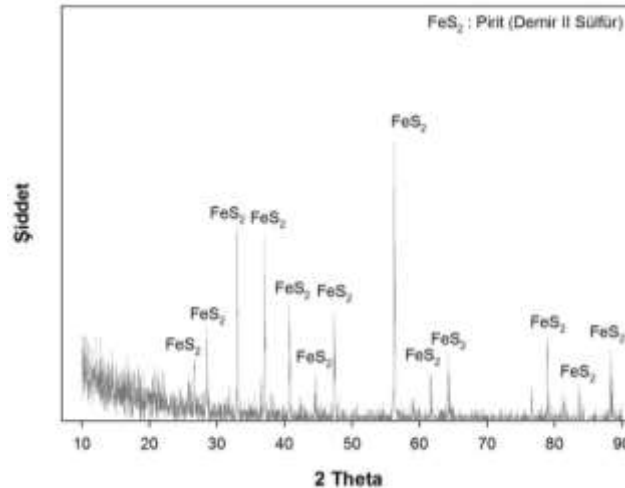
Çeşitli marka araçlara ait bitmiş katalitik dönüştürücülerden elde edilen paçal tozunun üç katı miktarda (0,72 ağırlıkça B_2O_3/Na_2O) cüruflaştırıcı varlığında 10 gr pirit ile $950^\circ C$ ve 75 dakika süreyle bir dizi deneyler yapılarak yaklaşık 200 gr demir matı üretilmiştir. Deneylerden elde edilen demir matı halkalı seramik öğütücüde kırılarak toz haline getirilmiştir (Bknz. Tablo 1).

Öğütme işlemi 100 μm (mikron) boyutun altında kalacak şekilde yürütülmüştür. Daha küçük boyutlu öğütme işleminde tozun aşırı ısınmasından dolayı değirmene sıvanma çok fazla artmaktadır. Ayrıca aşırı ısınmadan dolayı yapı içerisinde bulunan kükürt değirmende bulunan oksijen ile reaksiyon vermektedir. Bu sebeple deneysel çalışmalarda farklı tane boyutu incelemesi yapılmamıştır. Şartların imkan verdiği en uygun boyuta kadar öğütme işlemi gerçekleştirilmiştir. Öğütülen toz 100 mikron elekten geçirilerek elek üstünde kalanlar tekrardan öğütme işleminde kullanılmıştır. Son olarak öğütülmüş toz deneylerde kullanılmak üzere kilitli torbada muhafaza edilmiştir.



Şekil 1. Seramik halkalı değirmen ile öğütülen demir matları

Elde edilen toz üç boyutlu karıştırıcı ile homojenize edilmiştir. Daha sonra toz X-ışınları kırımı Şekil 2'de verilmiştir. X-ışınları kırımına ait pikler pirit yapısını göstermektedir.



Şekil 2. Elde edilen demir matına ait XRD analizi.

Matın kimyasal içeriğinin belirlenmesi için laboratuvar içi mikrodalga çözümlendirme yöntemi kullanılmıştır. Mat içerisinde var olan kükürdün oksidasyonu sonucu oluşan sülfat anyonları baryum klorür ($BaCl_2$) gravimetrik yöntemi ile tespit edilmiştir. Çözeltiye geçen demir iyon konsantrasyonu ise kompleksometrik (EDTA) titrasyon yöntemi ile 5-sülfosalisilik asit varlığında tespit edilmiştir. Bahsi geçen yöntemler hakkında daha detaylı bilgi literatürde mevcuttur [27]. Bu yöntemlere ek olarak AAS ve ICP-OES cihazları kullanılarak sonuçların güvenilirliği sağlanmıştır. Matın kimyasal içeriğine ait bilgiler Tablo 1’de belirtilmiştir.

Tablo 1. Elde edilen demir mat karışımına ait kimyasal bileşimi.

Elementler	Ağırlıkça, (%)
Fe	46,93
S	44,71
Elementler	Ağırlıkça, (mg/kg)
Pt	145
Pd	1017
Rh	141

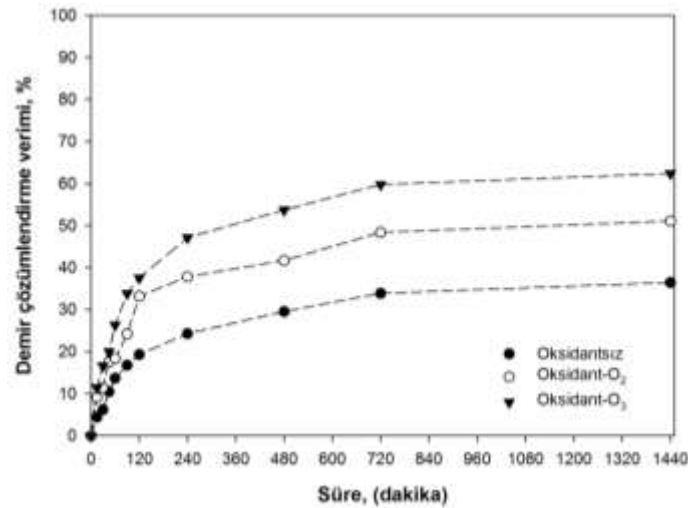
Çözümlendirme deneyleri kontak termometreli (sıcaklık kontrollü) geri soğutuculu reaktörlerde yapılmıştır. Çözümlendirme işlemi sırasında oksidanlar çözeltiye verilerek etkileri incelenmiştir. Matın çözünmesine ait verimler ve arta kalan PGM kalıntısı selüloz asetat esaslı 0,45 μ m gözenekli membran filtreden süzülerek ayrılmıştır.

3. Bulgular ve Tartışma

DeneySEL çalışmalarından elde edilen bulgular verilmekte ve ilgili literatür ile karşılaştırılmaktadır.

3.1. Oksidan türünün mat çözümlendirme verimi üzerine etkisi

Oksidan türünün belirlenmesine yönelik gerçekleştirdiğimiz bu çalışmada örnek miktarı (5 gr mat tozu) ve çözücü miktarı (200 mL) tüm çalışmalarda sabit tutulmuştur. Ayrıca, asit konsantrasyonu 1 M olarak belirlenerek oksidan türlerinin çözücü içerisindeki etkisi ve ek olarak oksidanların çözücü içerisindeki çözünürlüğünü maksimum seviyede tutmak amacıyla reaksiyon oda sıcaklığında en azami sistem şartlarından yararlanarak 1440 dakika (24 saat) yürütülmüştür.



Şekil 3. Oksidan türünün mat çözümlendirme verimi üzerine etkisi (5 gr örnek, 1 M HCl 200 mL, oda sıcaklığı, 50 mg oksidan/dakika, 800 devir/dakika).

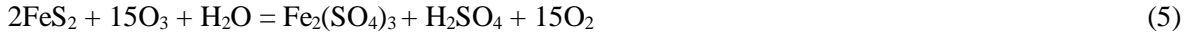
Grafikten görüleceği üzere oksidansız bir ortamda matın çözümlendirme veriminin çok düşük kaldığı anlaşılmaktadır. Bu sebeple güçlü oksidanlardan olan oksijen (O_2 ; 1,23 V/SHE) ve ozon (O_3 ; 2,07 V/SHE) kullanılmış ve en iyi verimin beklendiği üzere ozon ile elde edildiği Şekil 3’den anlaşılmaktadır.



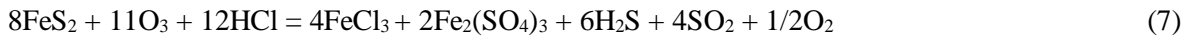
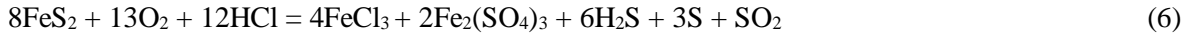
24 saat süren liç deneyleri sonucunda yaklaşık olarak matın %65'nin çözündürülebileceği tespit edilmiştir. Buna rağmen oksijen kullanıldığı 24 saat deney süresinde %50 civarında verim elde edilebilmiştir. Çözünme veriminin düşük kalmasının ana sebebinin açıklamak için pirit ile oksidanlar arasındaki reaksiyonları incelenmiştir. Genel olarak piritin oksijen ve ozon ile reaksiyonuna ilişkin denklemler aşağıda verilmiştir.



Denklemlerden görüleceği üzere oksijen ve ozon gibi oksidanlar varlığında demirin üç değerlikli olarak çözündüğü ve bu çözünme işlemi sırasında ortamda var olan kükürdün %100'e yakın verimle oksitlenerek sülfürik asit oluşturması teorik olarak beklenmektedir. Realitede ise ozonun oksidan olarak kullanıldığı durumlarda reaksiyon ürünü olarak oksijenin çıktığı bilinmektedir.



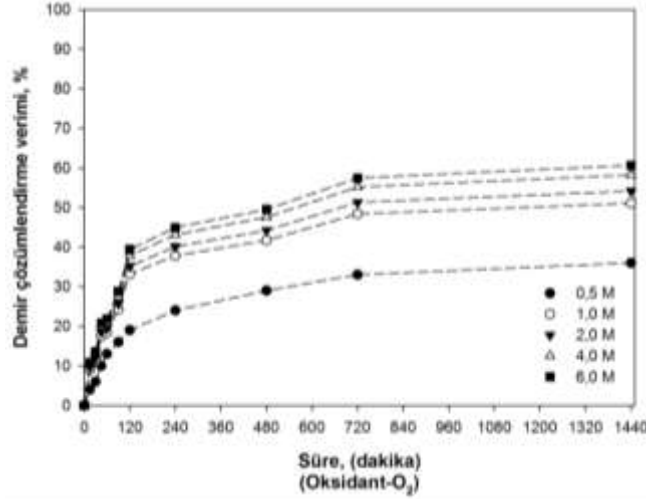
5'nolu denklemde görüldüğü üzere teorik olarak 4'nolu denklemde gerekenden üç kat daha fazla ozona ihtiyaç duyulmaktadır. Bu durum göz önüne alındığında sistemde kullanılacak ozon miktarının çok aşırı olması gerekmektedir ki, bu durum prosesin sürdürülebilir olmasını engellemektedir. Ayrıca bu kadar çok miktarda ozon üretebilecek bir cihazın verimliliği ve kullanım ömrünün kısıtlı olması sürekli yatırım maliyetlerinin artmasına sebep olacaktır. Saymış olduğumuz dezavantajlardan ötürü sistemin verimliliğini oksidan miktarını sürekli sabit tutarak diğer reaksiyon parametrelerinin değiştirilmesi sonucu verimlilik değerleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Uyguladığımız liç işlemi için olası reaksiyonlar 6 ve 7'de verilmektedir [28].



Oksijen ile pirit arasındaki reaksiyon incelendiğinde ozonun kullanımı ile ortamda oluşabilecek elementel kükürt miktarı azalarak ortama bir miktar asit oluşturmaktadır. Bu durum sisteme katkı sağlayabilecek bir durum gibi düşünülebilir fakat Le Chaliter prensibine ortamda artan sülfat anyonu konsantrasyonu reaksiyonu kinetik olarak yavaşlamasına veya sterik olarak engelleyebileceği düşünülebilir [29].

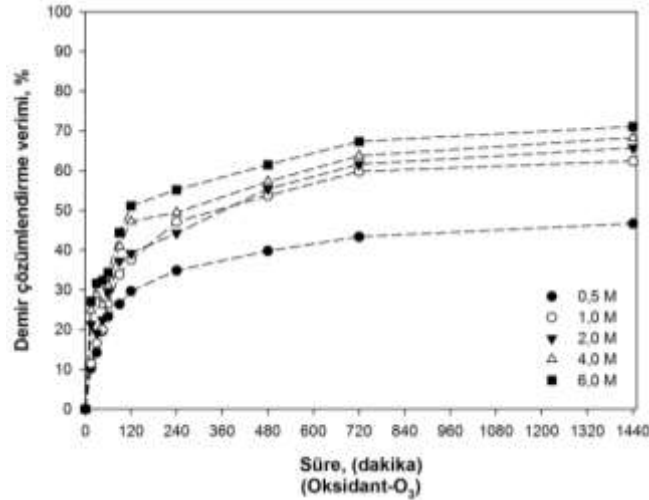
3.2. Hidroklorik asit konsantrasyonun mat çözümlendirme verimi üzerine etkisi

Çözümlendirme çalışmalarının yürütüldüğü bu deneysel çalışma grubunda farklı hidroklorik asit konsantrasyonlarında demirin çözümlenme verimi incelenmiştir. Bir önceki deney grubunda oksidan olmadan çözümlendirmenin arzu edilen düzeylerde (yani; yüksek verimle) olmadığı tespit edilmiştir (örneğin; 6 saat deney süresi sonunda %30 civarında bir çözünme elde edilmiştir). Bir önceki oksidan türleri kullanılarak çözümlendirme verimlerine etki eden asit konsantrasyonunun belirlenmesine yönelik sıralı deneyler gerçekleştirilmiştir. Deneyler sırasında örnek miktarı (5 gr demir matı tozu) ve çözücü miktarı 200 mL olacak şekilde sabit tutulmuştur. 0,5 ile 6 M arasında farklı asit konsantrasyonları seçilerek oluşturulan görsel detaylı bilgi içermesi sağlanmıştır. Reaksiyon sıcaklığı olarak oda sıcaklığı seçilmiş verimler zamana karşı grafiğe işlenmiştir.



Şekil 4. Hidroklorik asit konsantrasyonunun oksijen varlığında mat çözünme verimi üzerine etkisi (5 gr örnek, 200 mL çözücü, oda sıcaklığı, 50 mg oksijen/dakika, 800 devir/dakika).

Şekil 4'de görüleceği üzere asit konsantrasyonunun düşük olduğu durumda çözündürme üzerine pozitif bir etkiye sahip olduğu anlaşılmaktadır. Lakin, asit konsantrasyonunun (4M'dan 6M'a çıkarılması durumunda) yüksek tutulmasının kayda değer bir artış sağlamadığı belirlenmiştir. Ayrıca çözündürme işlemlerinde kullanılması gereken asit miktarı 6 ve 7 nolu denklemlerden teorik olarak hesaplandığında piritin tamamının çözülmesi için gerek asit konsantrasyonu yaklaşık olarak 0,5M olarak tespit edilmiştir. Fakat çözündürme verimlerine ait grafikler göz önüne alındığında asit miktarının yaklaşık 8 katı kullanıldığında %50'dan fazlasının çözündüğü tespit edilmiştir.

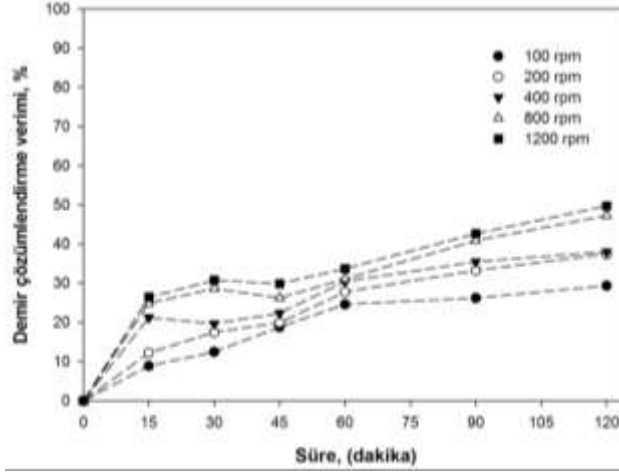


Şekil 5. Hidroklorik asit konsantrasyonunun ozon varlığında mat çözünme verimi üzerine etkisi (5 gr örnek, 200 mL çözücü, oda sıcaklığı, 50 mg ozon/dakika, 800 devir/dakika).

Ozonun oksidan olarak kullanılarak hidroklorik asidin konsantrasyonunun incelendiği Şekil 5'den görüleceği üzere oksijen'de olduğu gibi benzer trend yakalanmış 6M asit varlığında verimin %70'e ulaştığı tespit edilmiştir [30]. Reaksiyonların gerçekleşme durumu oksidanların tipine bağlı olduğu kadar reaksiyon içerisinde var olan kükürdün ve çözültüye geçen demir iyonlarının katalitik olarak tekrardan reaksiyonu yavaşlamaya yönelik davranış da bulunduğu düşünülmektedir. Bu düşüncüyü Le chatelier prensibi desteklemektedir. Bir sonraki deney grubunda ozon oksidan olarak kullanılarak deneyler gerçekleştirilecektir.

3.3. Karıştırma hızının mat çözünümlendirme verimi üzerine etkisi

Karıştırma hızının incelendiği bu deney grubunda çözünümlendirme reaktörüne oksidanın gaz yoluyla verilmesine ek olarak karıştırma hızıyla çözelti içerisinde çözünürlüğünün artırılması ve bu artışa nasıl bir katkı sağlayacağını tam olarak anlaşılması amacıyla bir dizi deneyler gerçekleştirilmiştir.

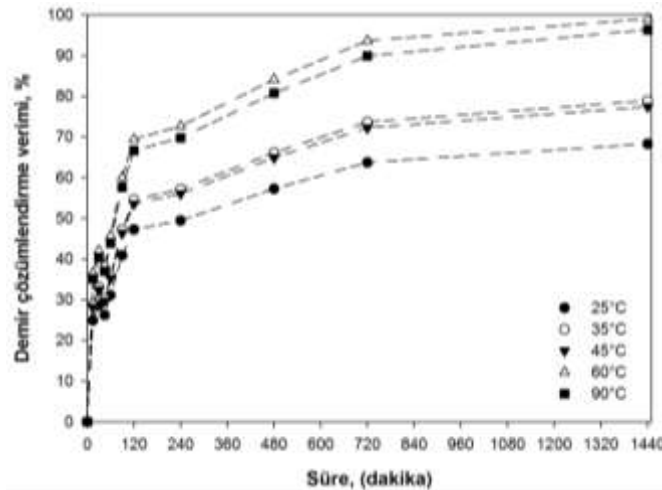


Şekil 6. Karıştırma hızının ozon varlığında mat çözünme verimi üzerine etkisi (5 gr örnek, 4 M HCl 200 mL, oda sıcaklığı, 50 mg ozon/dakika).

Karıştırma hızının pozitif etkisinin olacağı yönündeki tahminler Şekil 6'daki veriler ile örtüşmektedir. Grafik içerisindeki verilere bakıldığında zamanla doğrusal (lineer) bir artış gözlenmektedir fakat karıştırma hızının 400 devir/dakika'dan 800 devir/dakika'ya çıkarılmasının ilk 60 dakikada çok etkili olmadığı tespit edilmiştir. Çözünümlendirme deneylerinin oda sıcaklığında uzun sürelerde yapılacağı bir düzende karıştırma hızının pozitif etkisi daha çok gözlenmektedir. Fakat 1200 devir/dakika karıştırma hızının 800 devir/dakikaya göre pozitif bir etkiye sahip olmadığı aşikârdır. Ayrıca çok yüksek devirlerde yapılan karıştırma işlemlerinde sistemin sürdürülebilir çalışma verimine sahip olması da göz ardı edilmemesi gerekmektedir. Reaktörde herhangi bir sistemsel hata ve/veya çatlak oluşumu negatif etki oluşturabileceği öngörülmektedir.

3.4. Sıcaklık ve sürenin çözünümlendirme verimi üzerine etkileri

Demir matının çözünümlendirme verimlerinin yükseltilmesi için kimyasal reaksiyonlar için vazgeçilmez parametrelerden birisi olan sıcaklığının süre ile birlikte takip edildiği bu deney serisinde en uygun deney şartları bir önceki deneysel çalışmalar gözetilerek kullanılmıştır.

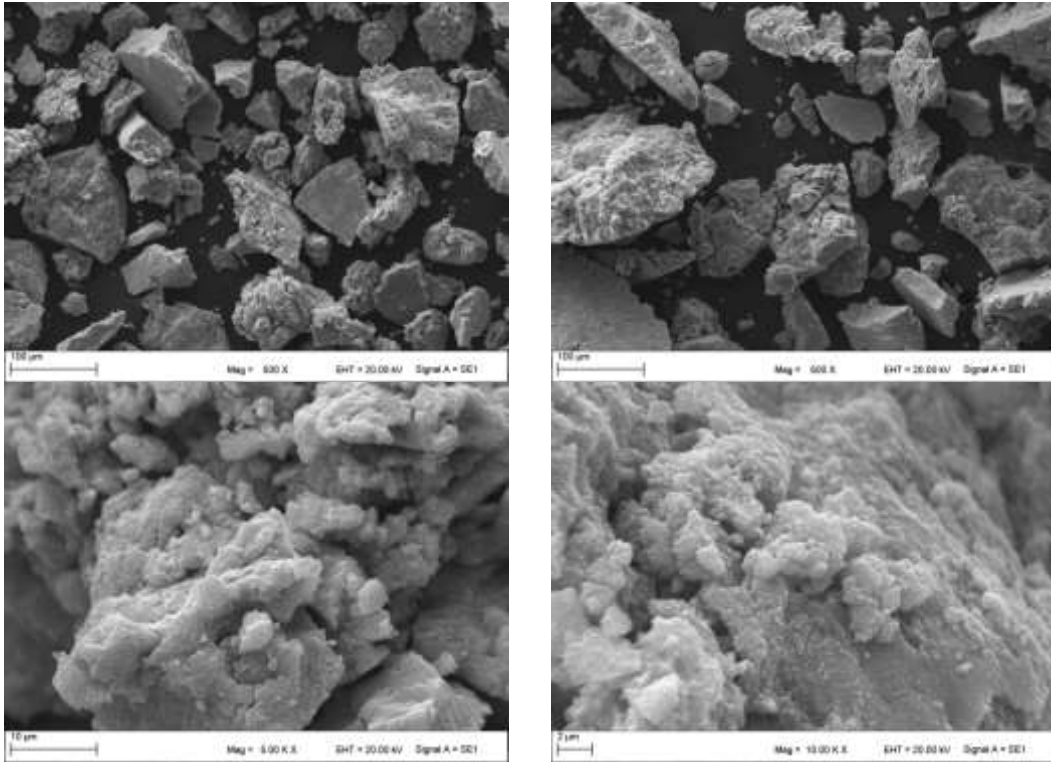


Şekil 7. Reaksiyon sıcaklığının ozon varlığında mat çözünme verimi üzerine etkisi (5 gr örnek, 4 M HCl 200 mL, 50 mg ozon/dakika, 800 devir/dakika).

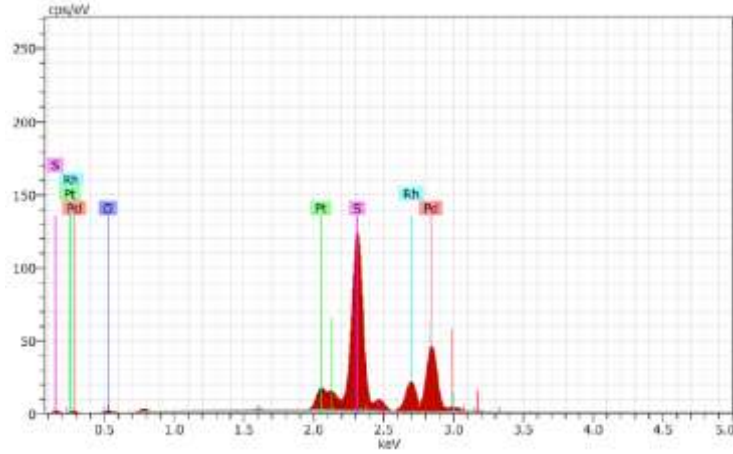
Deney sıcaklığı olarak 25°C'den 90°C'ye kadar belirlenen aralıklar kullanılarak demir çözümlendirme verimleri üzerine çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Şekil 7'de görüldüğü üzere çözümlendirme verimi sıcaklıkla artış gösterdiğine dair veriler mevcuttur. Fakat oksidan olarak kullanılan ozonun artan sıcaklık ile sıvı sistem içerisinde çözünürlüğünün negatif yönlü etkilendiği literatürdeki çalışmalar ile sabittir. Örneğin; 45°C'de elde edilen verilen 35°C'de elde edilen verilerden çok azda olsa düşük kalmaktadır. Bu olumsuzluk ozonun artan sıcaklıktan negatif etkilendiğini göstermektedir. Benzer trendi 90°C ve 60°C sıcaklıkları içinde görebilmekteyiz [30]. 90°C'deki verim değerleri 60°C'nin altında kalmaktadır. Şekil 8'de görüleceği üzere demir matının çözeltiyeye geçme veriminin 12 saat sonrasında kabul edilebilir değerlere ulaştığı (%90 verim) tespit edilmiştir. Bu süreden sonra çözümlendirme verimi yükselmeye devam etmektedir.

3.5. Liç işlemi sonrası elde edilen kalıntıya ait sem görüntüsü

Liç işlemleri sonrası elde edilen atığa ait toz iletkenlik sağlamak amacıyla altın kaplama yapıp yüksek vakumlu taramalı elektron mikroskobu ile görüntüleme işlemleri yapılmış ve elde edilen görüntüler Şekil 8 ve 9'de verilmiştir. Görüntüleme sırasında yüzey analizleri EDS ünitesi ile yapılmış ve görüntünün alındığı bölgede tespit edilen yapılar belirlenmiştir. Şekil 13'de sülfürlü PGM'lerin genel SEM görüntüsü verilmiştir. Görüldüğü üzere PGM kalıntısı kısmen polimerleşme görüntüsü içermektedir. Görüntü içerisinde yer alan her bir bölge birbirinin aynısıdır. Bu görüntüye ait bölgeler içerisinden herhangi bir alan seçilerek SEM görüntüsü büyütüldüğünde kükürt den dolayı yapının polimerize olmuş gibi bir hali mevcuttur.



Şekil 8. Liç işlemi sonrası arta kalan PGM kalıntısına ait SEM görüntüsü.



Şekil 9. Matın çözünmesi sonrası arta kalan PGM kalıntısına ait EDS analizi.

10K büyütme sonrası EDS analizi yapılarak bölgenin içerisinde bulunan Pt-Pd-Rh-S bileşiklerinin olduğu tespit edilmiştir. Mat içerisinde PGM'lerin konsantrasyonlarına göre dengeli bir dağılım içeren EDS grafiği Pd değerinin en yüksek oluşundan ötürü en yüksek pik elde edilmiştir. Pt ve Rh değerleri için elde edilen grafik alanı uygundur. PGM'lerin sülfürlü bileşiklerinin çözünürlük sabitlerinin çok düşük olmasından (PtS için $K_{çç} = 8 \times 10^{-73}$; PdS için $K_{çç} = 2 \times 10^{-58}$ ve Rh_2S_3 için $K_{çç} = 10^{-51}$) dolayı matın hidroklorik asidi varlığında çözünmesi sırasında ihmal edilebilecek miktarda (ppb düzeylerinde) çözündüğü yapılan analizler ve ağırlık tartımları ile kontrol edilmiştir [30]. Elde edilen bu bulgu analitik kimya ders kitaplarında katyonlarının tespiti ve birbirlerinden ayrıştırılması konusu başlığında PGM'lerin HCl ile temasında bir çözünme olmayacağı belirtilmektedir.

4. Sonuç ve Öneriler

Bu araştırma makalesinde katalitik dönüştürücüler içerisinde bulunan PGM'lerin yüksek sıcaklıkta katı-katı ekstraksiyon yöntemiyle katalitik dönüştürücülerden ayrılması sonucu elde edilen demir matının oksidatif şartlar altında çözünme verimine etki eden parametreler incelenmiştir. Deneylerin gerçekleştirildiği basamaklarda hammadde XRD ve çözünmeden geri kalan malzeme SEM-EDS tekniği ile karakterize edilmiştir. Çözündürme parametreleri birbirleriyle ilişkili olarak takip edilmiş deneyler sonucunda elde edilen verilen doğrultusunda 5 gr demir matının 4 M HCl 200 mL ile 50 mg O_3 /dakika ve 800 devir/dakika reaksiyon şartlarında 12 saat süre sonunda $60^\circ C$ reaksiyon sıcaklığında %95 üzerinde verim elde edilebilmiştir. Reaksiyonun yavaşladığı ve/veya reaksiyon hızının istenilen düzeylerin altında kalması durumunda, yeni taze hazırlanmış çözelti ile reaksiyon kaldığı yerden devam ettirilebileceği önerilmektedir.

Deneyler sonucu elde edilen veriler doğrultusunda PGM'lerin geri kazanımı konusunda geliştirilen katı-katı ekstraksiyon yönteminden elde edilen demir matının çözeltiye alınma şartlarının incelenmesi bu alanda yapılabilecek mat çalışmalarına katkı sağlayacaktır. Bu veriler ile endüstriyel katı özellikle katalitik dönüştürücülerin önemli bir hammadde kaynağı olduğu düşünülecek olursa bu atıklardan elde edilen demir matının çözeltiye alınması için yeni bir bakış açısı ortaya konulması çalışılmıştır.

Teşekkür

Bu çalışma; Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından 217M284 numaralı proje kapsamında desteklenmiştir. Makalenin bilimsel olarak gelişimine katkı sağlayan hakemlere ve derginin bölüm editörüne teşekkür ederiz.

Yazarların Katkısı

Yazarlar eşit oranda katkı sağlamışlardır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar

- [1] Dong H., Zhao J., Chen J., Wu Y., Li B. 2015. Recovery of platinum group metals from spent catalysts: a review. *International Journal of Mineral Processing*, 145 108-113.
- [2] Crundwell F.K., Moats M., Ramachandran V. 2011. Extractive metallurgy of nickel, cobalt and platinum group metals. Elsevier, 334-360.
- [3] Kolliopoulos G., Balomenos E., Giannopoulou I., Yakoumis I., Pnias D. 2014. Behavior of platinum group metals during their pyrometallurgical recovery from spent automotive catalysts. *Open Access Library Journal*, 1 (5): 1-5.
- [4] Morcali M.H., Akman S., Yucel O. 2015. Determination of the Optimum NiS Fire Assay Parameters for Pt, Pd, and Rh in Automotive Exhaust Catalytic Converters. *Chemical Engineering Communications*, 202 (9): 1145-1154.
- [5] Peng Z., Li Z., Lin X., Tang H., Ye L., Ma Y., Rao M., Zhang Y., Li G., Jiang T. 2017. Pyrometallurgical Recovery of Platinum Group Metals from Spent Catalysts. *JOM*, 69 (9): 1553-1562.
- [6] Jung V. 1991. Automotive exhaust catalysts: PGM usage and recovery. EMC '91: Non-Ferrous Metallurgy-Present and Future. Dordrecht, Springer, Netherlands, 231-239.
- [7] Yamada K., Ogino M., Ezawa N., Inoue H. 2010. Method and apparatus for recovering platinum group elements. US patent 7,815,706.
- [8] Hoffmann J.E. 1988. Recovery of platinum-group metals from gabbroic rocks metals from auto catalysts. *JOM*, 40 (6): 40-44.
- [9] Ezawa N., Inoue H., Takada S., Masuda H. 1993. Process of recovering platinum group metal. US patent 5,252,305.
- [10] Van Schalkwyk R.F., Eksteen J.J., Akdogan G. 2013. Leaching of Ni-Cu-Fe-S converter matte at varying iron endpoints; mineralogical changes and behaviour of Ir, Rh and Ru. *Hydrometallurgy*, 136: 36-45.
- [11] Ivanović S.Z., Gorgievski M.D., Božić D.S., Trujić V.K., Mišić L.D. 2011. Removal of platinum group metals (PGMs) from the spent automobile catalyst by the pyrometallurgical process. 15th International Research/Expert Conference, TMT 2011. Prague, Czech Republic, 701-710.
- [12] Fornalczyk A., Saternus M. 2009. Removal of platinum group metals from the used auto catalytic converter. *Metalurgija*, 48 (2): 133-136.
- [13] Hagelüken C. 2006. Recycling of electronic scrap at Umicore precious metals refining. *Acta Metallurgica Slovaca*, 12: 111-120.
- [14] Kim B.-S., Lee J.-C., Jeong J., Yang D.-H., Shin D., Lee K.-I. 2013. A Novel Process for Extracting Precious Metals from Spent Mobile Phone PCBs and Automobile Catalysts. *Materials Transactions*, 54 (6): 1045-1048.
- [15] Kim B.-S., Lee J.-C., Seo S.-P., Park Y.-K., Sohn H.Y. 2004. A process for extracting precious metals from spent printed circuit boards and automobile catalysts. *JOM*, 56 (12): 55-58.
- [16] Keyworth B. 1982. The role of pyrometallurgy in the recovery of precious metals from secondary materials. *Precious Metals 1982, Sixth International Precious Metals Institute Conference*, California, USA, June 7-11.
- [17] Burkhard R., Hoffelner W., Eschenbach R.C. 1994. Recycling of metals from waste with thermal plasma. *Resources, Conservation and Recycling*, 10 (1): 11-16.
- [18] Boulos M.I., Fauchais P., Pfender E. 2013. *Thermal Plasmas: Fundamentals and Applications*. Springer US.

- [19] Fornalczyk A., Saternus M. 2013. Vapour treatment method against other pyro-and hydrometallurgical processes applied to recover platinum from used auto catalytic converters. *Acta Metallurgica Sinica*, 26 (3): 247-256.
- [20] Kayanuma Y., Okabe T.H., Maeda M. 2004. Metal vapor treatment for enhancing the dissolution of platinum group metals from automotive catalyst scrap. *Metallurgical and Materials Transactions B*, 35 (5): 817-824.
- [21] Han K.N., Kim P.N.-s. 2006. Recovery of platinum group metals. U.S. Patent 7,067,090.
- [22] Yamada K., Ogino M., Ezawa N., Inoue H. 2010. Method and apparatus for recovering platinum group elements. US patent 7,815,706.
- [23] Shibuya E.K., Sarkis J.E.S., Enzweiler J., Jorge A.P.S., Figueiredo A.M.G. 1998. Determination of platinum group elements and gold in geological materials using an ultraviolet laser ablation high-resolution inductively coupled plasma mass spectrometric technique. *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*, 13 (9): 941-944.
- [24] Juvonen M., Bartha A., Lakomaa T.M., Soikkeli L.A., Bertalan E., Kallio E.I., Ballok M. 2004. Comparison of Recoveries by Lead Fire Assay and Nickel Sulfide Fire Assay in the Determination of Gold/Platinum/Palladium and Rhenium in Sulfide Ore Samples. *Geostandards and Geoanalytical research*, 28 (1): 123-130.
- [25] Peng Z., Li Z., Lin X., Tang H., Ye L., Ma Y., Rao M., Zhang Y., Li G., Jiang T. 2017. Pyrometallurgical Recovery of Platinum Group Metals from Spent Catalysts. *JOM*, 69 (9): 1553-1562.
- [26] Van Schalkwyk R.F., Eksteen J.J., Petersen J., Thyse E.L., Akdogan G. 2011. An experimental evaluation of the leaching kinetics of PGM-containing Ni-Cu-Fe-S Peirce Smith converter matte, under atmospheric leach conditions. *Minerals Engineering*, 24 (6): 524-534.
- [27] Jeffery G.H., Bassett J., Mendham J., Denney R.C. 1991. *Vogel's Textbook of Quantitative Chemical Analysis*. Fifth Edition. Longman Scientific & Technical, Great Britain 314-327.
- [28] Hwang C.C., Streeter R.C., Young R.K., Shah Y.T. 1987. Kinetics of the ozonation of pyrite in aqueous suspension. *Fuel*, 66 (11): 1574-1578.
- [29] Rodríguez-Rodríguez C., Nava-Alonso F., Uribe-Salas A. 2018. Pyrite oxidation with ozone: stoichiometry and kinetics. *Canadian Metallurgical Quarterly*, 57 (3): 294-303.
- [30] Viñals J., Juan E., Ruiz M., Ferrando E., Cruells M., Roca A., Casado J. 2006. Leaching of gold and palladium with aqueous ozone in dilute chloride media. *Hydrometallurgy*, 81 (2): 142-151.

Araştırma Makalesi / Research Article

Şanlıurfa İli Suruç İlçesi Topraklarının Bazı Özellikleri ve Bitki Besin Elementi Kapsamlarının Belirlenmesi

Ali Rıza ÖZTÜRKMEN*, Emrah RAMAZANOĞLU, İsmail Cihan ÇİÇEK

*Harran Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Şanlıurfa
(ORCID: 0000-0001-5575-3278) (ORCID: 0000-0002-7921-5703) (ORCID:0000-0003-1534-0466)*

Öz

Bu çalışma Şanlıurfa İli Suruç İlçesi topraklarının özellikleri ve toprak verimlilik durumlarının değerlendirilmesi amacıyla yapılmıştır. Suruç Ovası geniş tarım arazilerinin olduğu ve yoğun tarım yapılan Şanlıurfa İlinde yer alan ovalardan biridir. Suruç Ovasından 70 adet toprak örneği 0 - 30 derinlikten GPS ile koordinatları kaydedilerek alınmıştır. Toprak örneklerinde yapılan analizler sonucunda oluşan frekans tablolarına göre; toprakların %70'i hafif alkalin reaksiyonlu, %100'ü tuzsuz, %51'inde organik madde az ve %65'inin yüksek kireç içerdiği belirlenmiştir. Bitkiye yararlı fosforun %40'ının az, potasyumun %99'unun yüksek olduğu mikro besin elementlerinden bakırın %100 yeterli, çinkonun %67'sinin düşük, demirin %77'nin düşük ve manganın %100 yeterli olduğu belirlenmiştir. Suruç ovası toprakları kireçli ana materyal üzerinde oluşan topraklar olduğu için bitkiye yararlı fosfor, demir ve çinko açısından sorun oluşturmaktadır.

Anahtar kelimeler: Suruç Ovası, bitki besin elementleri, toprak, toprak verimliliği.

Determination of Some Properties and Plant Nutrient Content of the Soil of Suruç District of Şanlıurfa Province

Abstract

This study was carried out to evaluate the soil characteristics and soil fertility conditions of Suruç district of Şanlıurfa Province. Suruç Plain is one of the plains in Şanlıurfa, where there are large agricultural lands and intensive agriculture. 70 soil samples were taken from the 0 - 30 cm depths from Suruç Plain by recording their coordinates with GPS. As a result of the analysis on soil samples; It was determined that the soils were slightly alkaline reaction %70, unsalted %100, low in organic matter %51 and very high lime %65. It is determined that among the micro nutrients that have low phosphorus %40 and potassium %99 useful for the plant, %100 copper is sufficient, %67 zinc is low, %77 iron is low and manganese %100 is sufficient. Since the Suruç Plain is the soil formed on the calcareous main material, it is a problem in terms of beneficial phosphorus, iron and zinc.

Keywords: Suruc Plain, plant nutrients, soil, soil fertility.

1. Giriş

Toprak genel olarak canlılar için gıda teminini sağlayan bitkisel üretimin yoğun olarak yapıldığı, yeryüzünde yaşayan bütün canlılar için barınma ve yaşamını ikame ettiği doğal bir ortamdır [1]. Nüfus artışındaki hız ile birlikte arazi kullanımındaki değişimi de kaçınılmaz bir durum olarak karşımıza çıkmış olup bu durum profesyonelce planlama yapılmadığında büyük ekonomik sorunlara neden olmaktadır [2]. Mevcut tarım arazilerinin verimlilik durumlarının tespiti ve toprak kalitesinin yükseltilmesi yeryüzünde yaşayan canlılar için önemli olup, sürdürülebilir tarımsal üretim içinse toprakların yönetilmesi ise zorunlu bir durum olmaktadır [3]. Toprak verimliliği toprakların birim alandan yüksek verimin alınmasını sağlayan önemli bir parametredir [4]. Bitkisel üretimde hedeflenen kalite ve miktarda ürünün alınması için toprakta bitkiler için gerekli olan yararlı bitki besin elementlerinin yeterli bir durumda olması gerekmektedir. Bu amaçla toprakların verimlilik durumlarını

*Sorumlu yazar: arozturkmen@harran.edu.tr

Geliş Tarihi: 25.07.2020, Kabul Tarihi: 08.09.2020

belirlemeye yönelik ülkemizde birçok çalışma yapılmıştır. Harran Ovası'nda farklı serilerdeki topraklarda bitkiler için yararlı mikro besin elementlerinin kapsamının belirlendiği çalışmada; çinko 0.16-1.20 mg/kg, demir 2.68-6.40 mg/kg, bakır 0.65-8.18 mg/kg, mangan 2.62-13.05 mg/kg belirlendiği ve mikro elementlerin ortalama olarak sırasıyla 0.43, 4.72, 1.60 ve 6.67 mg/kg belirlenmiştir. Çalışma sonucunda toprak serilerinde çinko %80, demir ise %40 kritik seviyesinin altında olduğunu bildirmişlerdir [5]. Toprakların verimlilik durumlarını değerlendirmek için Şanlıurfa ili Bozova ilçesinde yapılan bir çalışmada mikro besin elementlerinden mangan ve bakır, makro bitki besin elementlerinden ise potasyumun yüksek olduğu bildirilmiştir [6]. Ülkemizin topraklarını temsil edecek şekilde alınan 1511 toprak örneğinde yapılan çalışmada bitkiye yararlı mikro besin elementlerinin konsantrasyonları demir 4.5, bakır 0.2, mangan 1.0 ve çinko ise 0.5 mg/kg olarak belirlendiği ve ülkemiz topraklarının yararlı mikro besin element kapsamı yapılan çalışma sonucunda çinko %50, demir %27, mangan %0,7 sınır değerlerin altında belirlendiğini bildirilmiştir [7]. Harran Ovası topraklarının yararlı mikro besin element kapsamının belirlendiği çalışmada yüzey topraktan yapılan örnekleme ile çinko 0.80 mg/kg, bakır 4.01 mg/kg, mangan 28.39 mg/kg ve demir 18.66 mg/kg olarak tespit edilmiştir [8]. Şanlıurfa ili meyve bahçelerinde yapılan örnekleme çalışması sonucunda toprakların genelinde makro bitki besin elementlerinden azot, mikro bitki besin elementlerinden ise demir ve çinko noksanlığının çok ciddi boyutlarda olduğu belirlenmiştir [9]. Harran Ovası'nda kuru tarım yapılan arazilerde yapılan çalışmada mikro besin elementlerinden mangan ve çinko makro besin elementlerinden ise potasyumun yüksek olduğu, toprakların genel olarak killi bünyeli ve organik madde açısından yetersiz olduğu bildirilmiştir [10]. Harran ovasının kuzeyinde yapılan bir çalışmada farklı meyve bahçelerinden alınan toprak örneklerinde yapılan analizler sonucunda toprakların yüksek kireç içeriğe sahip olduğu ve makro besin elementlerinden yararlı potasyumun tüm meyve bahçelerinde yüksek olduğu belirlenmiştir [11].

Bu araştırmanın amacı Şanlıurfa ili Suruç ilçesi topraklarının bazı fiziksel ve kimyasal özelliklerinin belirlenmesi ile birlikte verimlilik durumlarının değerlendirilmesidir.

2. Materyal ve Metot

Şanlıurfa ilinde bulunan Suruç Ovası 38°05' ve 38°45' doğu boylamları ile 37°05' ve 37°45' kuzey enlemleri arasında yer almaktadır. Ova kuzeyde Karaçi ve Küçükbaş tepeleri, güneyde Suriye sınırı, doğuda Seyit ve Büyükbaş tepeleri ve batıda ise Karadağ ile çevrelenmiştir. Toprak örnekleri Suruç Ovası'nı temsil edecek şekilde Mayıs ayında 70 adet alınmış olup örnekleme noktaları GPS ile koordinatları kaydedilmiştir (Şekil 1). Toprak örnekleri arazide 0-30 cm derinlikten alınmış olup, topraklar daha sonra laboratuvarında analizler için hazır hale getirilmiştir.



Şekil 1. Toprak örneklerinin alındığı noktalar

Analizler için hazır hale getirilen toprak örneklerinde bazı fiziksel ve kimyasal analizler yapılmıştır. Saturasyon (%) [12], toprak reaksiyonu (pH) saturasyon çamurunda [13], kalsiyum karbonat (%) Scheibler kalsimetresiyle ile [14], toplam tuz (%) toprak örneklerinin elektriki iletkenlik aletinin çamur hücresine yerleştirilmesiyle belirlenmiştir [15]. Fosfor tayini (Olsen Metodu) 2 g toprak örneğinin üzerine 40 ml pH'sı 8.5 ayarlanmış sodyum bikarbonat (NaHCO₃) solüsyonu ile 30 dk çalkalanma sonucunda UV-VIS spektrofotometresi kullanılarak belirlenmiştir [16]. Organik madde (%) yaş yakma metodu kullanılarak [17] yapılmıştır. Yarayışlı potasyum tayini 4 gr toprak örneği üzerine pH 7'e ayarlanmış 40 ml NH₄OAc (1N) ekstraksiyon çözeltisinden eklenerek 1 saat süre ile çalkalanmış elde edilen süzükler daha sonra ICP-OES aletinde elementel okumalar gerçekleştirilmiştir [18]. Bitkiye yarayışlı mikro besin elementlerin (Cu, Fe, Mn ve Zn) tayininde 20 gr toprak örneği üzerine 40 ml DTPA ekstraksiyon solüsyonu eklenerek 2 saat süre ile çalkalanmıştır. DTPA ekstraksiyon solüsyonu 0.005 M DTPA, 0.01 M CaCl₂ ve 0.1M TEA kimyasallarından oluşmaktadır [19]. Bitkiye yarayışlı mikro besin element (Cu, Fe, Mn ve Zn) konsantrasyonları ICP-OES cihazı kullanılarak elementel okumalar gerçekleştirilmiştir.

3. Bulgular ve Tartışma

Çalışma alanına ait topraklarda yapılan analizler sonucunda toprakların fiziksel ve kimyasal özelliklerine ilişkin tanımlayıcı istatistikler verilmiştir (Tablo 1). Değişkenlik göstergesi olarak kabul edilen varyasyon katsayısı değerleri ≤%15 küçük, %16-30 orta, %≥30 yüksek değişken olarak sınıflandırılmıştır [20]. Çalışma alanı topraklarının parametreleri incelendiğinde, en az değişkenliği toprak reaksiyonu (pH) (CV=0.00), toplam tuz (CV=0.33) ve suya doygunluk (CV=11.59); yüksek düzeyde değişkenliği ise sırasıyla kireç (CV=38.91), Zn (CV=43.18), organik madde (CV=48.18), yarayışlı K (CV=49.42), Mn (CV=50.95), yarayışlı P (CV=52.74), Cu (CV=53.04) ve Fe (CV=75.41) göstermiştir. Sonuçlar birçok araştırmacı tarafından yapılan çalışmalarla uyum göstermektedir [20,21]. Suruç Ovası topraklarının yapılan analizler sonucunda oluşan fiziksel ve kimyasal özelliklerine ait tanımlayıcı istatistikler Tablo 1, toprakların bazı fiziksel ve kimyasal özelliklerine göre değerlendirilmesi Tablo 2 ve topraktaki yarayışlı bitki besin elementlerinin değerlendirilmesi Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 1. Suruç Ovası topraklarının bazı fiziksel ve kimyasal özelliklerine ait tanımlayıcı istatistikler (n=70)

Parametreler	Birimler	Max.	Min.	Ort.	V	CV	SD
Suya Doymunluk	%	74.00	44.00	58.14	45.45	11.59	6.74
Toplam Tuz	%	0.07	0.01	0.03	0.00	0.33	0.01
Kireç	%	66.90	3.90	29.73	133.84	38.91	11.57
Organik Madde	%	2.30	0.14	1.10	0.28	48.18	0.53
pH	----	7.78	7.20	7.53	0.01	0.00	0.10
Yarayışlı Fosfor	Kg P ₂ O ₅ da ⁻¹	20.21	1.48	6.75	12.67	52.74	3.56
Yarayışlı Potasyum	Kg K ₂ O da ⁻¹	453.60	16.10	159.12	6183.90	49.42	78.64
Demir	mg kg ⁻¹	10.86	0.53	2.40	3.29	75.41	1.81
Bakır	mg kg ⁻¹	3.68	0.66	1.15	0.37	53.04	0.61
Çinko	mg kg ⁻¹	1.29	0.14	0.44	0.03	43.18	0.19
Mangan	mg kg ⁻¹	13.44	1.07	3.65	3.44	50.95	1.86

V: Varyasyon, CV: Varyasyon Katsayısı, SD: standart sapma

Toplam Tuz: Araştırma alanı topraklarının toplam tuz içerikleri 0.07-0.01 dS/m arasında değiştiği ve ortalama olarak 0.03 olduğu belirlenmiştir (Tablo 1). Suruç Ovası topraklarının yapılan analizler sonucunda oluşan frekans tablosuna göre %100 oranında ovada tuzluluk yönünden herhangi bir sorunun olmadığı ve toprakların tuzsuz olduğu belirlenmiştir [23]. Şanlıurfa ilinde yapılan başka çalışmalarda Harran ve Akçakale ilçelerinin bir kısmı hariç, Şanlıurfa ili topraklarında tuzluluk yönünden bir problemin olmadığını ve her türlü bitki yetiştiriciliğinin yapılabilir durumda olduğu bildirilmiştir [9, 24, 6, 10, 25].

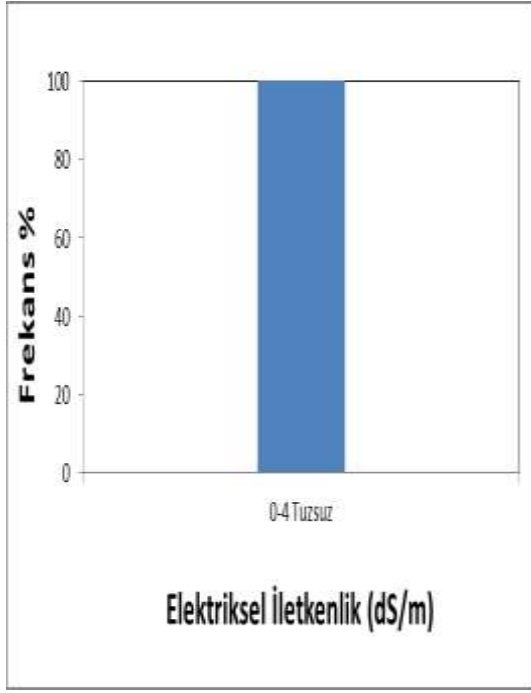
Tablo 2. Toprakların bazı fiziksel ve kimyasal özelliklerine göre değerlendirilmesi

Parametreler	Birim	Sınır Değeri	Sınıflama	Örnek sayısı	%
Suyla Doygunluk [22]	%	<30	Kumlu	-	-
		31-50	Tınlı	7	10
		51-70	Killi-Tınlı	60	86
		71-110	Killi	3	4
		>110	Ağır Killi	-	-
pH [22]	-	6.5-7.5	Nötr	21	30
		7.5-8.5	Hafif alkali	49	70
		>8.5	Kuvvetli alkali	-	-
Elektriksel İletkenlik (EC) [12]	(dS/m)	0-4	Tuzsuz	70	100
		4-8	Hafif tuzlu	-	-
		8-15	Orta derece tuzlu	-	-
		>15	Çok fazla tuzlu	-	-
Organik Madde	%	<1	Çok az	39	42
		1-2	Az	36	51
		2-3	Orta	5	7
		3-4	İyi	-	-
		>4	Yüksek	-	-
Kireç	%	<1	Az kireçli	-	-
		1-5	Kireçli	1	1
		5-15	Orta	1	1
		15-25	Fazla	24	33
		>25	Çok fazla	46	65

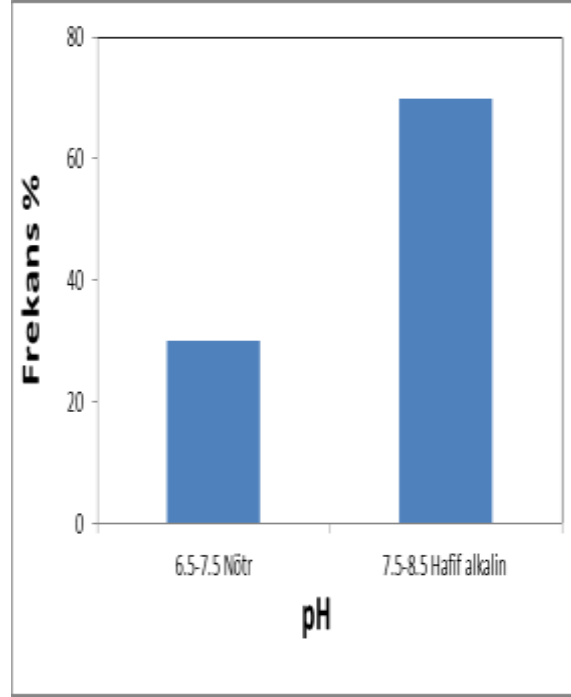
Tablo 3. Topraktaki yarayışlı bitki besin elementlerinin değerlendirilmesi

Bitki Besin Elementleri	Birim	Sınır Değerler	Sınıflama	Örnek sayısı	%
Yarayışlı Fosfor	kg P ₂ O ₅ da ⁻¹	0-3	Çok az	11	17
		3-6	Az	28	40
		6-9	Orta	19	27
		9-12	Yüksek	11	16
Yarayışlı Potasyum	kg K ₂ O da ⁻¹	<20	Az	1	1
		20-30	Orta	0	0
		30-40	Yeterli	0	0
		>40	Yüksek	69	99
Demir (DTPA)	mg kg ⁻¹	<2.5	Düşük	53	77
		2.5-4.5	Orta	16	23
Bakır (DTPA)	mg kg ⁻¹	<0.2	Yetersiz	-	-
		>0.2	Yeterli	70	100
Çinko (DTPA)	mg kg ⁻¹	<0.5	Düşük	47	67
		0.5-1.0	Yeterli	22	31
		>1.0	Fazla	1	2
Mangan (DTPA)	mg kg ⁻¹	<1	Yetersiz	-	-
		1.0	Yeterli	70	100

Toprak Reaksiyonu (pH): Araştırma alanı toprakları toprak reaksiyonu 7.20-7.78 arasında değişmiş ve ortalama 7.53 olarak belirlenmiştir (Tablo 1). Toprakların nötr ve hafif alkalin olarak belirlendiği ve çalışma alanının genel olarak hafif alkalin olduğu belirlenmiştir (Tablo 2). Çalışma alanı toprakları frekans tablosunda %30 nötr, %70 hafif alkalin olduğu görülmektedir (Şekil 3). Benzer sonuçlar birçok araştırmacının sonuçları ile uyum göstermektedir [6, 9, 10, 24, 25].



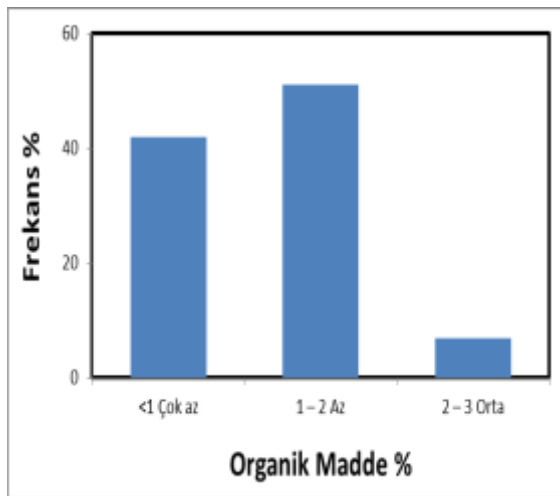
Şekil 2. Alanın % olarak toplam tuz dağılımı



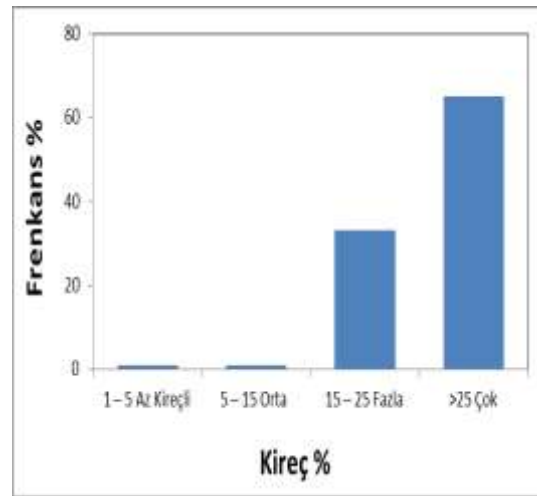
Şekil 3. Alanın toprak reaksiyonu dağılımı

Organik madde: Araştırma alanı topraklarında organik madde % 0.14-2.30 arasında değişmekte olup, ortalama 1.10 olarak belirlenmiştir (Tablo 1). Organik maddenin araştırma alanında genel olarak az olduğu (Tablo 2), ve toprakların organik madde oranı %42 çok az, %51 az ve %7 orta olarak belirlenmiştir (Şekil 4). Çalışma alanının organik madde seviyesinin oldukça düşük olması daha önce yapılan birçok çalışma ile uyum göstermektedir [6, 9, 10, 24, 25].

Kireç: Araştırma alanı topraklarında yapılan toplam kireç analizi sonucunda toprakların kireç içerikleri %3.90-66.90 arasında değişmekte olup, ortalama %29.73 olduğu belirlenmiştir (Tablo 1). Toprakların genel olarak çok yüksek kireç içeriğine sahip oldukları saptanmıştır (Tablo 2). Araştırma alanı topraklarında toplam kireç dağılımları ise %1 az kireçli, %1 orta, %33 fazla ve %65 çok yüksek kireç içeriğine sahip olduğu tespit edilmiş olup (Şekil 5), bu sonuçlar birçok araştırmacının yapmış olduğu çalışmalarla uyum göstermektedir [6, 9, 10, 24, 25]. Araştırma alanından alınan toprak örneklerindeki yüksek kireç içeriği toprakların üzerinde olduğu ana materyalden kaynaklanmaktadır. Suruç Ovası kireçli ana materyal üzerinde oluşmuş topraklardır.

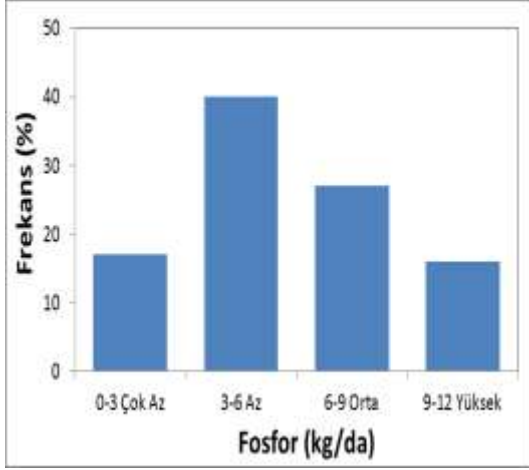


Şekil 4. Alanın % organik madde dağılımı

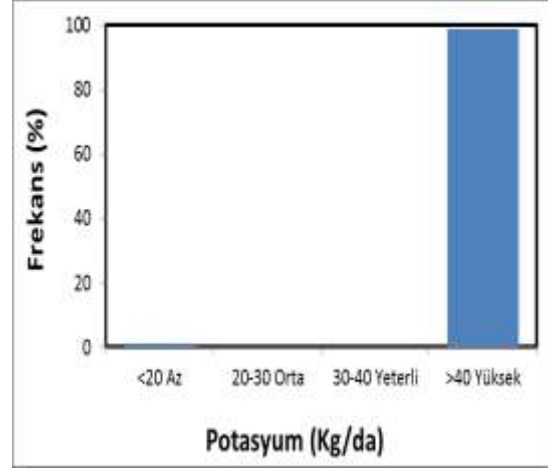


Şekil 5. Alanın % kireç dağılımı

Yarayışlı Fosfor: Araştırma alanı topraklarında yapılan fosfor tayini sonucunda toprakların yarayışlı fosfor içerikleri 1.48-20.21 Kg P₂O₅ da⁻¹ arasında değiştii ve ortalama 6.75 Kg P₂O₅ da⁻¹ olarak belirlenmiştir (Tablo 1). Araştırma alanı fosfor bakımından orta düzeydedir (Tablo 3). Araştırma alanı topraklarında fosfor dağılımı genel olarak %17 çok az, %40 az, %27 orta ve %16 yüksek olarak tespit edilmiştir (Şekil 6). Toprakların fosfor içeriklerindeki farklılık tarım yapılan arazilerde çiftçilerin farklı miktarlarda fosfor içerikli gübreleri kullanmasından kaynaklandığı ve fosfor bakımından bulunan sonuçların daha önce yapılan birçok çalışma ile uyum gösterdiği görülmüştür.



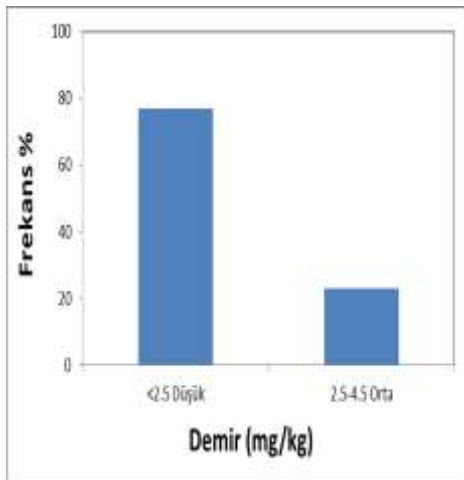
Şekil 6. Araştırma alanının % olarak fosfor dağılımı



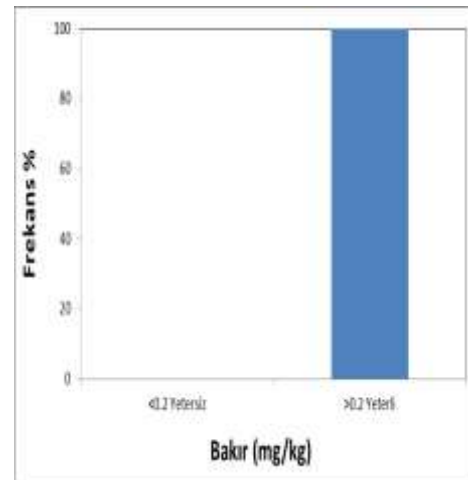
Şekil 7. Araştırma alanının % potasyum dağılımı

Yarayışlı Potasyum: Araştırma alanı topraklarında bitkiye yarayışlı potasyum miktarları 16.10-453.60 Kg K₂O da⁻¹ arasında değişmekle birlikte, ortalama 159.12 Kg K₂O da⁻¹ olarak belirlenmiştir (Tablo 1). Araştırma alanı toprakları genel olarak yarayışlı potasyum konsantrasyonu bakımından yüksek olduğu (Tablo 3), araştırma alanındaki dağılım ise %1 az, %99 yüksek olarak saptanmıştır (Şekil 7). Potasyum bitkilerde genellikle meyve kalitesi üzerine bir çok olumlu etkisi vardır. Bu nedenle topraklarda yarayışlı potasyumun düzenli olarak kontrol edilip, gerektiğinde gübreleme yapılmalıdır. Araştırma alanı ile ilgili bulunan sonuçlar birçok araştırmacının sonuçlarıyla uyum göstermektedir [6, 9, 10, 24, 25].

Demir: Araştırma alanı topraklarında bitkiye yarayışlı demir konsantrasyonu 0.53-10,86 mg kg⁻¹ arasında değiştii ve ortalama 2.40 mg kg⁻¹ olduğu belirlenmiştir (Tablo 1). Araştırma alanı topraklarında demir konsantrasyonunun düşük olduğu gözlenmiştir (Tablo 3) [19]. Araştırma alanı demir konsantrasyonu dağılımının %77 düşük ve %23 orta düzeyde olduğu tespit edilmiştir (Şekil 8). Araştırma sonuçları başka araştırmacıların yapmış olduğu çalışmalarla benzerlik göstermektedir [25].



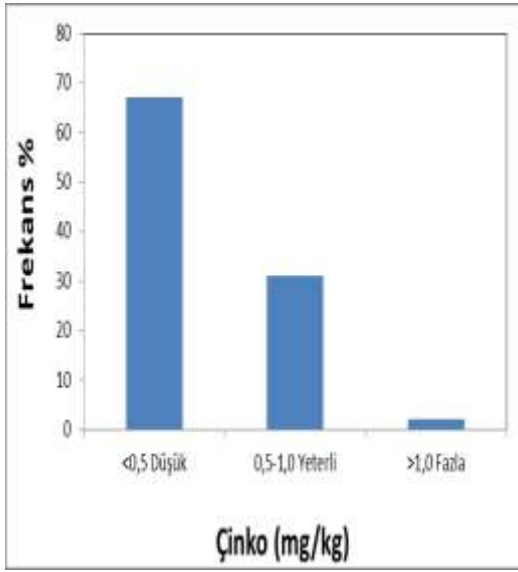
Şekil 8. Alanın % olarak demir dağılımı



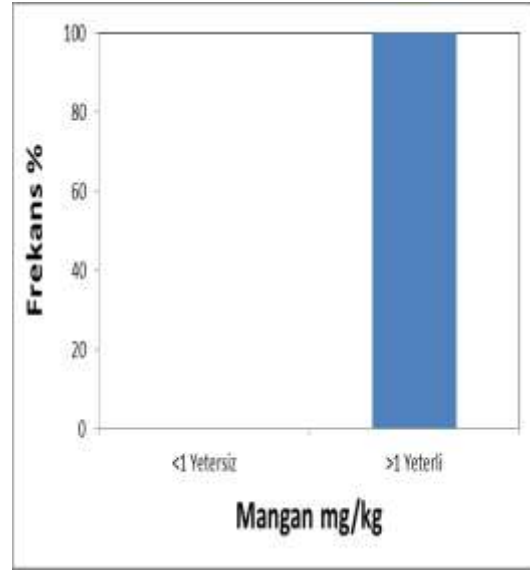
Şekil 9. Alanın % olarak bakır dağılımı

Bakır: Araştırma alanı topraklarında bitkiye yararışlı bakır konsantrasyonu $0.66-3.68 \text{ mg kg}^{-1}$ arasında değişmekte olup, ortalama 1.15 mg kg^{-1} olarak saptanmıştır (Tablo 1). Araştırma alanı toprakları bakır konsantrasyonu açısından yeterli olduğu belirlenmiştir (Tablo 3) [19]. Araştırma alanında demir konsantrasyonu dağılımı ise %100 oranında yeterli bulunmuştur (Şekil 9). Araştırma sonucu başka araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalarla benzerlik göstermektedir [25].

Çinko: Araştırma alanı topraklarında bitkiye yararışlı çinko konsantrasyonu $0.14-1.29 \text{ mg kg}^{-1}$ arasında değişmekte olup, ortalama 0.44 mg kg^{-1} olarak belirlenmiştir (Tablo 1). Araştırma alanı toprakları çinko konsantrasyonu açısından düşük olduğu saptanmıştır (Şekil 10) [19]. Araştırma alanı çinko konsantrasyonu dağılımı ise %67 düşük, %31 yeterli ve %2 yüksek olarak bulunmuştur. Başka araştırmacılar tarafından da yapılan çalışmalarda çinko yetersiz bulunmuştur [9, 25].



Şekil 10. Alanın % olarak Çinko dağılımı



Şekil 11. Alanın % olarak Mangan dağılımı

Mangan: Araştırma alanı topraklarında bitkiye yararışlı mangan konsantrasyonu $1.07-13.44 \text{ mg kg}^{-1}$ arasında değişmekte olup, ortalama 3.65 mg kg^{-1} olarak belirlenmiştir (Tablo 1). Araştırma alanı toprakları mangan konsantrasyonu açısından yeterli olduğu gözlenmiştir (Tablo 3) [19]. Araştırma alanı mangan konsantrasyonu dağılımı ise %100 oranında yeterli bulunmuştur (Şekil 11). Başka araştırmacılar tarafından da yapılan çalışmalarda mangan yeterli bulunmuştur [25, 26].

4. Sonuç ve Öneriler

Şanlıurfa ili Suruç ilçesinde tarımsal üretimin yapıldığı alanlarda yürütülen çalışmada 70 adet 0-30 derinliğinden alınan toprak örneklerinde yapılan analizlere göre Suruç Ovası topraklarının toprak reaksiyonu yönünde hafif alkalın reaksiyon, toprakların toplam tuz içeriğine göre tuzsuz, organik madde yönünden az ve kalsiyum karbonat içeriği yüksek olarak belirlenmiştir. Kireçli ana materyal üzerinde oluşmuş topraklar olduğundan toprakların alınabilir fosfor içeriği yönünden az olduğu, yararışlı potasyum içeriği yönünden yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bitkiye yararışlı mikro besin elementi içerikleri bakımından bakırın yeterli, çinkonun yetersiz, manganın yeterli ve demirin düşük olduğu gözlenmiştir.

Suruç Ovası geniş tarım arazilerinin olduğu ve yoğun tarım yapılan Şanlıurfa ilinde yer alan ovalardan biridir. Bu çalışma Şanlıurfa ili Suruç ilçesi topraklarının özellikleri ve toprak verimlilik durumlarının değerlendirilmesi amacıyla yapılmıştır. Elde edilen veriler sulama sonrası ovada meydana gelebilecek değişiklikleri ortaya koyacak ve ovada sulama sonrası yapılacak çalışmalara yön verecektir.

Teşekkür

Bu çalışma, Harran Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir (Proje No: 15048).

Yazarların Katkısı

Bu makaledeki değerlendirme ve grafik tasarımları Emrah RAMAZANOĞLU tarafından yapılmıştır. Makale Ali Rıza ÖZTÜRKMEN ve İsmail Cihan ÇİÇEK tarafından yazılmıştır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar

- [1] Alabi A.A., Adewale A.O., Adebo B., Ogungbe A.S., Coker J.O., Akinboro F.G., Bolaji G. 2019. Effects of different land uses on soil physical and chemical properties in Odeda LGA, Ogun State, Nigeria. *Environ Earth Sci.*, 78: 207.
- [2] Nassar M., Levy R., Noel Keough N., Nassar N. 2017. Agricultural Land Use Change and its Drivers in the Palestinian Landscape Under Political Instability, the Case of Tulkarm City. *Journal of Borderlands Studies*, 34 (2):1-18.
- [3] Kabir B.E., Bashari H., Bassiri M., Mosaddeghi R.M. 2020. Effects of land-use/cover change on soil hydraulic properties and pore characteristics in a semi-arid region of central Iran. *Soil&Tillage Research*, 197: 104478.
- [4] Nath J.A., Lal R. 2017. Effects of Tillage Practices and Land Use Management on Soil Aggregates and Soil Organic Carbon in the North Appalachian Region. *USA.Pedosphere*, 27 (1): 172-176.
- [5] Güzel N., Ortaş İ., İbrikçi H. 1991. Harran Ovası Toprak Serilerinde Yararlı Mikroelement Düzeyleri ve Çinko Uygulamasına Karşı Bitkinin Yanıtı. *Çukurova Üniv. Zir. Fak. Dergisi*, 6 (1): 15-30.
- [6] Saraçoğlu M., Taş M., Koşar İ., Yetim S., Sürücü A. 2009. Şanlıurfa İli Bozova İlçesi Topraklarının Bitki Besin Elementi Kapsamlarının Belirlenmesi. IX. Ulusal Ekoloji ve Çevre Kongresi, 7-10 Ekim 2009, Nevşehir.
- [7] Eyüpoğlu F., Kurucu N., Talaz S. 1995. Türkiye Topraklarının Bitkiye Yarıyışlı Bazı Mikro elementler (Fe, Cu, Zn, Mn) Bakımından Genel Durumu. *Toprak ve Su kaynakları Araştırma Yıllığı*, Yayın No: 98, 1996, Ankara.
- [8] Kızılgöz İ., Kızılkaya R., Kaptan H., Sürücü A. 1998. Harran Ovası yaygın toprak serilerinin DTPA ile ekstrakte edilebilir mikroelement içerikleri ve bazı toprak özellikleriyle ilişkileri. *Harran Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 2 (4): 27-34.
- [9] Kızılgöz İ., Kızılkaya R., Açar İ., Seyrek A., Kaptan H. 1999. Şanlıurfa Yöresinde antepfıstığı (*Pistacia vera* L.) yetiştirilen toprakların verimlilik düzeylerinin saptanması üzerine bir araştırma. GAP I. Tarım Kongresi, 26-28 Mayıs, II: 987-994, Şanlıurfa.
- [10] Saraçoğlu M., Polat H., Anlağan Taş M., Koşar İ., Yetim S., Sürücü A. 2010. Şanlıurfa İli Harran İlçesi Kuru Alanlardaki Toprakların Bitki Besin Elementi Kapsamlarının Belirlenmesi. I. Ulusal Toprak ve Su Kongresi, 1-4 Haziran, Toprak ve Su Kaynakları Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Eskişehir.
- [11] Ramazanoğlu E. 2019. Determination and Mapping of the Relationship between Potassium and Ammonium of Calcareous Soils with Different Moisture Content. *International Journal of Scientific and Technological Research*, 5 (7): 17-26.

- [12] Richards L.A. 1954. Diagnosis and Improvement Saline and Alkaline Soils. U.S. Dep. Agr. Handbook 60.
- [13] Black C.A. 1965. Methods of Analysis Agron. No: 9, Ame. Soc. Agr., Madison Wisconsin, USA.
- [14] Gülçur F. 1974. Toprağın Fiziksel ve Kimyasal Analiz Metodları. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları, İ.Ü. Yayın No: 1970, Yayın No: 201, Kurtulmuş Matbaası, İstanbul.
- [15] Jackson M.C. 1962. Soil chemical analysis. Prentice Hall. Inc. Eng., Cliff, USA.
- [16] Kuo S. 1996. Phosphorus in D.L. Sparks (Ed) Methods of Soil Analysis, Part 3, Chemical Methods, SSSA Book Series Number 5, SSSA., Madison, WI, 869-921.
- [17] Walkley A., Black I.A. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining organic carbon in soils: Effect of variations in digestion conditions and of inorganic soil constituents. Soil Sci., 63: 251-263.
- [18] Helmke P.A., Sparks D.L. 1996. Lithium, Sodium, Potassium, Rubidium, and Calcium, in Sparks. D.L., (Ed) Methods of Soil Analysis, Part 3, Chemical Methods, SSSA Book Series Number 5, SSSA., Madison, WI, 551-574.
- [19] Lindsay W.L., Norvel W.A. 1978. Development of DTPA soil test for Zn, Fe, Mn and Cu. Soil Sci. Amer. J., 42 (3): 421-428.
- [20] Wilding L.P., Bouma J., Gross D.W. 1994. Impact of spatial variability on interpretative modelling, In: Quantitative Modelling of Soil Forming Processes R.B. Bryant and Arnold R.W. (ed), SSSA Special Publication Number 39, SSSA, Inc. Madison Wisconsin, USA
- [21] Akbas F., Durak A. 2006. Entisol ordosuna ait bir arazide bazı toprak özelliklerinin değişiminin belirlenmesi. Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 20 (39): 43-52.
- [22] Ülgen N., Yurtsever N. 1995. Türkiye Gübre ve Gübreleme Rehberi. 4. Baskı, T.C. Başbakanlık Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü Toprak ve Gübre Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü Yayınları, Genel Yayın No: 209, Teknik Yayınlar No: T.66, Ankara, 1-230.
- [23] Tüzüner A. 1990. Toprak ve Su Analiz Laboratuvarları El Kitabı. Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü Yayınları, Ankara.
- [24] Seyrek A., Kızılgöz İ., Çullu M.A., İnce F. 1999. Harran Ovasında Taban Suyu Etkisindeki Toprakların Ağır Metal İçerikleri. GAP 1. Tarım Kongresi, 26-28 Mayıs, Şanlıurfa.
- [25] Saraçoğlu M., Anlağan Taş M., Koşar İ., Aydoğdu M., Kara H., Sürücü A., Oğur Özkan N. 2013. Şanlıurfa İli Hilvan İlçesi Kuru Alanlardaki Toprakların Bitki Besin Elementi Kapsamlarının Belirlenmesi. 6.Ulusal Bitki Besleme ve Gübreleme Kongresi, 3-7 Haziran, Toprak Gübre ve Su Kaynakları Merkez Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Nevşehir.
- [26] Bayraklı F., Gezgin S. 1996. Kanalizasyon suyu ile sulanan tarım topraklarında kirlenme durumu. İstanbul Büyükşehir Belediyesi Org. Bildiri. İstanbul.

Araştırma Makalesi / Research Article

Toz Metalurjisi ile Üretilen Şekil Hafızalı NiTi Alaşımlarında Nb Parçacık İlavésinin Mikroyapı ve Sertlik Üzerine Etkisi

Hakan GÖKMEŞE^{1*}, Hakan Burak KARADAĞ², Naci Arda TANIŞ³

¹Konya Necmettin Erbakan Üniversitesi, Seydişehir Ahmet Cengiz Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 42370, Konya

²Konya Necmettin Erbakan Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, 42360, Konya

³Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, 71100, Kırıkkale

(ORCID:0000-0003-0053-8444) (ORCID: 0000-0003-1045-7277) (ORCID: 0000-0001-5547-9790)

Öz

Bu çalışmada, toz metalürjisi yöntemi kullanılarak NiTi esaslı şekil bellekli alaşımı üzerinde Nb alaşım elementinin etkileri araştırılmıştır. Bu amaçla NiTi tozlarına ağırlıkça %1, 2 ve 4 takviye oranında Nb tozları ilave edilerek, toz karışımları hazırlanmıştır. Hazırlanan NiTi-Nb toz karışımları, gezegen (planetary) tipi öğütme cihazında 1 saat süreyle karıştırılmıştır. Toz karıştırma işlemini takiben NiTi ve NiTi-Nb toz karışımları çift etkili presleme cihazı kullanılarak, 1000MPa'da presleme işlemine tabii tutulmuştur. Presleme işlemi sonrası deney numuneleri argon atmosferi altında, 1180°C sıcaklıkta 1 saat sinterlenmiştir. Toz malzeme ve sinterlenen deney numunelerinin mikro yapı ve faz dönüşümlerinin tespit edilmesi amacıyla, X-ışını kırınım yöntemi (XRD), element dağılım spektrometresi (EDS) ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) çalışmalarda kullanılmıştır. NiTi ve NiTi-Nb deney numunelerinin sertliği, Vickers (HV0.5) mikro sertlik ölçüm yöntemi kullanılarak tespit edilmiştir. Nb takviye oranının artışıyla NiTi alaşımı yoğunluk ve sertlik değerinde artış meydana geldiği belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: NiTi, Nb, toz metalürjisi, mikro yapı, sertlik.

Effect on Microstructure and Hardness of Nb Particle Addition in NiTi Shape Memory Alloys Produced by Powder Metallurgy

Abstract

In this study, the effects of Nb alloy element on NiTi based shape memory alloy were investigated by using powder metallurgy method. For this purpose, powder mixtures were prepared by adding Nb powders at the ratio of 1, 2 and 4% by weight to NiTi powders. The NiTi-Nb powder mixes prepared were mechanically ground for 1 hour in a planetary grinding device. After mechanical grinding process, NiTi and NiTi-Nb powder mixtures were compressed under 1000MPa pressure by using double action pressing device and afterwards, the test samples were sintered under an argon atmosphere at 1050 °C for 1 hour. X-ray diffraction (XRD), elemental distribution spectrometry (EDS) and scanning electron microscope (SEM) were used to determine microstructure and phase transformations of powder materials and sintered test samples. The hardness of the NiTi and NiTi-Nb test samples were determined using the Vickers (HV0.5) micro hardness measurement method. An increase in density and hardness of NiTi alloy with the increase of Nb additive ratio was determined.

Keywords: NiTi, Nb, powder metallurgy, microstructure, hardness.

*Sorumlu yazar: hakan1440@gmail.com

Geliş Tarihi: 03.09.2020, Kabul Tarihi: 27.09.2020

1. Giriş

Toz metalürjisi (TM), metal işleme teknolojileri arasında yer alan hassas üretim teknolojileri arasında yer almaktadır. Bu yöntem boyutları ve şekilleri önceden belirlenmiş ve iyi paketlenme özelliğine sahip metal tozların sağlam, hassas ve yüksek performanslı parçalar haline getirilmesi işlemidir. Bu işlem sırasında; ön alaşımlı veya karıştırılmış tozlar bir kalıba doldurularak, istenilen şekilde preslenir ve daha sonrasında ham numuneler atmosfer kontrollü bir fırında yüksek sıcaklıkta dayanımı kazandırılır [1, 2].

Toz metalürjisi yöntemi özellikle parça üretim açısından sağladığı kolaylıklar sayesinde, birçok demir esaslı ve demir dışı metal karakterli malzemelerde olduğu gibi, NiTi alaşımlarının üretiminde de kullanılan yaygın bir yöntemdir [3].

Son zamanlarda üstün özelliklere sahip olan akıllı malzemeler mühendislik, tarım, uzay, havacılık gibi pek çok alan başta olmak üzere çeşitli uygulama alanlarında tercih sebebi olabilmektedir. Birçok uygulama alanı ve bu uygulama alanlarına yönelik olarak farklı akıllı malzeme çeşitleri bulunmaktadır. Özellikle şekil hafızalı alaşımlar, uygulanan büyük deformasyonların etkisi altında sıcaklık değişimi veya gerilim yoluyla malzeme şekil ve özelliklerinin geri kazanılabildiği alaşımlardır [4, 5]. Nitinol olarak isimlendirilen şekil hafızalı alaşımlar, Ni ve Ti oranları açısından birbirine benzer kimyasal kompozisyonlarda üretilebilmektedir. Bu malzemeler eşsiz şekil hafıza özellikler, iyi bir sönümlenme etkisi, iyi bir aşınma ve korozyon direnci göstermektedirler. Aynı zamanda NiTi alaşımlarının kullanılması ve tercih nedeni, Ni-Ti'nin çoklu tek yönlü şekil hafızası, iki yönlü şekil hafızası veya psödoelastik dönüşüm yetenekleri olmasıdır. Bu özelliklerinden dolayı son zamanlarda geniş bir şekilde kullanılabilmektedirler. Özellikle bu alaşımlar endüstriyel ve bilhassa tıbbi uygulamalarda çoğunlukla yer bulmaktadırlar [6]. Gözenekli yapıda olan nikel titanyum alaşımları biyomedikal uygulamalar için ümit verici biyomalzemelerdir. Yüksek darbe sönümlenme kapasiteleri, süperelastiklik ve canlı dokuların büyümesini sağlayan ayarlanabilir eşit dağılmış gözenekli yapıya sahip olması nedeniyle sert doku implantı olarak tercih edilmektedirler [7, 8]. Bu alaşımların üretiminde çoğunlukla döküm ve toz metalürjisi teknolojileri kullanılabilmektedir [9, 10]. Ancak döküm teknolojisinde küçük parça boyutlu ve karmaşık geometriye sahip şekil hafızalı parçaların maliyeti ve imalatı zor olabilmektedir. Bu durumların yanı sıra üretim sırasında eritilmiş NiTi alaşımı ve havada yer alan oksijen birlikteliği, Ti elementi ile çökelti fazı ortaya koyarak, malzeme içerisinde istenmeyen çökelti fazlarının oluşumuna sebep olabilmektedir [11]. Döküm yönteminden farklı olarak toz metalürjisi (TM) ile üretilen gözenekli NiTi alaşımların kompozisyon kontrolü sağlanabilmektedir. Daha önceki yapılan çalışmalar NiTi alaşımının kimyasal kompozisyonunun önemli olduğunu ortaya koymuştur. Çünkü martenzit \leftrightarrow östenit dönüşüm sıcaklığı alaşımdaki nikel oranına bağlıdır [12]. Bununla birlikte bu yöntem ile sonraki talaşlı işlemleri büyük ölçüde ortadan kaldırılarak, son şekil veya son şekle yakın olan karmaşık şekillerde, kontrol edilebilir gözenekli yapıya sahip parçaların seri üretimi sağlanır, döküm sırasında segregasyon nedeniyle meydana gelebilecek hatalar ise önlenmiş olur [13]. Bu durum çoğunlukla NiTi alaşımları üretiminde döküm teknolojisinin yanı sıra toz metalürjisi teknolojisinin de tercih edilme sebebidir [10].

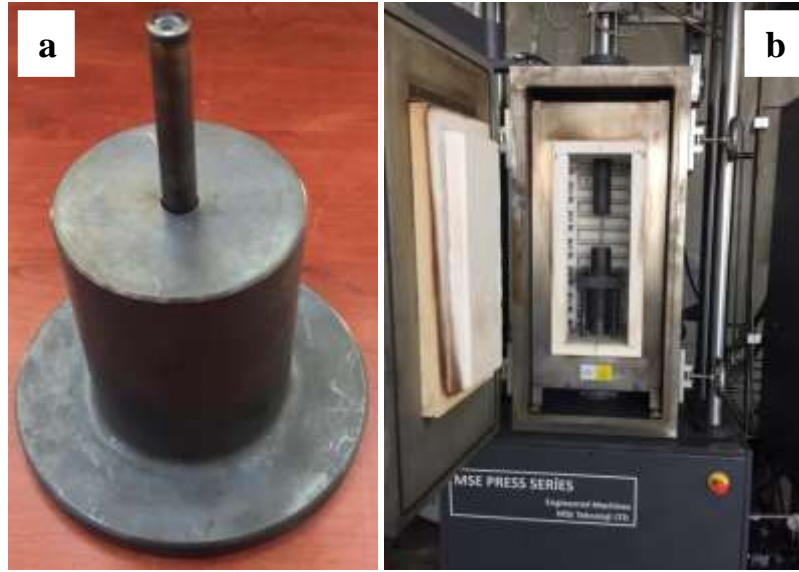
Yapılan araştırmalarda NiTi şekil hafızalı alaşımın kimyasal bileşiminin değişiminin yanı sıra, üçüncü bir kimyasal elementin mikro yapı, mekanik ve termal histeresis etkisi üzerine çalışılmaktadır. Mühendislik alanındaki uygulamaları hedefleyen NiTi şekil hafızalı alaşımlara eklenen en uygun elementler Cu, Pd, Fe, Pt, Nb, Al, Hf, Zr olarak gösterilebilir [14]. Bu elementlerden toz metalürjisi tekniği ile özellikle Nb takviyesi ile hazırlanan NiTi alaşımları üzerine çalışmalar neredeyse yok denecek kadar azdır. NiTi ikili sisteminde dönüşüm sıcaklıkları Ti/Ni oranına bağlıdır ve %0.1 Ni konsantrasyonu artışıyla yaklaşık 10 °C'lik bir azalma gerçekleşir. NiTi sisteminde Nb ile alaşımlandırma Ms sıcaklığını düşürmektedir. Süperelastisite, mikro yapı özellikleri (martenzit dönüşümü ve gözenekli malzeme NiTiNb tabakası) ve mekanik özelliklerin anlaşılabilmesi, NiTi alaşımı üzerinde yoğunlaşılan konular arasında devam etmektedir [15, 16].

Böylece bu çalışma kapsamında, son zamanlarda çoğunlukla tercih sebebi olan akıllı malzemeler arasında yer alan NiTi şekil bellekli alaşımları çalışılmıştır. Toz metalürjisi tekniği ile üretimin yanı sıra geleceğin metalleri arasında yer alan Niyobyum (Nb) takviyesinin NiTi alaşımının, mikro yapı ve mekanik özellikleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır.

2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada ticari olarak temin edilen NiTi alaşımı ve Nb tozları kullanılarak, TM metodu ile deney numuneleri üretilmiştir. Üretilen NiTi-Nb alaşımında kullanılan NiTi tozlarının boyutu yaklaşık 14 µm ve Nb tozlarının boyutu ise 43 µm'dir.

NiTi alaşım tozlarına ağırlıkça %1, 2 ve 4 takviye oranlarında Nb ilave edilerek hazırlanan toz karışımları, gezegen tip öğütücü de homojen dağılımının sağlanması amacıyla 1 saat mekanik olarak karıştırma işlemine tabii tutulmuştur. NiTi tozlar ile üç farklı oranda karıştırılan başlangıç tozları, presleme cihazında 1000MPa basınç altında sıkıştırılarak ham deney numuneleri üretilmiştir. Üretilen NiTi ve NiTi-Nb toz metal numuneler, çalışmada kullanılan kalıp ve presleme cihazı Şekil 1a ve b'de gösterilmiştir. Ø10x15 mm boyutlarında preslenen deney numuneleri, 10 °C/dk. hızda çalışan atmosfer kontrollü ısıtma fırını kullanılarak Argon gaz akışı altında, 1050 °C sıcaklıkta 1 saat sinterlenerek yüksek sıcaklık dayanımı kazandırılmıştır. Sinterlenen toz metal deney numunelerinin yoğunluk ölçümleri için Micromeritics–Accupyc2 1340 marka Helyum Pknometresi kullanılmıştır. Her bir deney numunesinde en az 5 ölçüm yapılarak ortalama yoğunluk sonuçları elde edilmiştir.

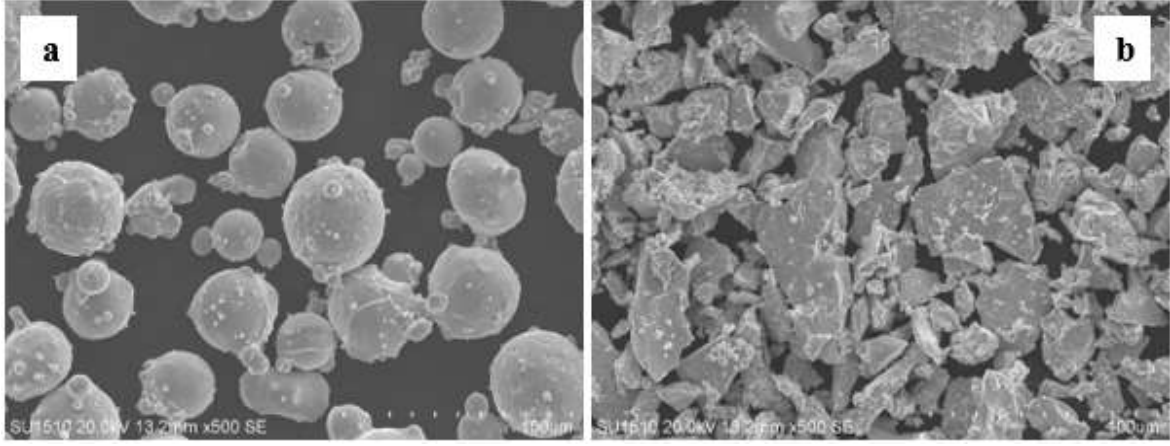


Şekil 1. Metal kalıp (a) ve presleme cihazı (b)

Deney numunelerinin özellikle Nb ilavesi sonrası gerek NiTi gerekse Nb fazının yanı sıra oluşması muhtemel diğer fazların tespiti amacıyla XRD analizi uygulanmıştır. Deney numunelerinin faz kompozisyonları, XRD (X-ray diffraction) tekniği ile Rigaku D/Max-2200 cihazı kullanılarak Cu-2α (1.54060 Å) radyasyonu ve 2θ=10-90°, 20-60 kV ile analiz edilmiştir. Deney numunelerinin yoğunluk ölçümleri sonrası sırasıyla zımparalama ve parlatma işlemlerini takiben HF, HNO3 ve saf su kullanılarak hazırlanan çözelti ile numunelerin dağlama işlemleri gerçekleştirilmiştir. Genel metalografi çalışmaları sonrası deney numunelerinin mikroyapısal karakterizasyonu için optik mikroskop ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) çalışmalarda kullanılmıştır. Bununla birlikte SEM cihazı ile bağlantılı çalışan enerji dağılımlı spektrometre (EDS) kullanılarak, mikroyapı odaklı elementel analiz ölçümleri yapılmıştır. Çalışmanın son aşamasında mikroyapı incelemelerini takiben, mikro vickers (HV 0.5) sertlik ölçüm işlemi uygulanmıştır.

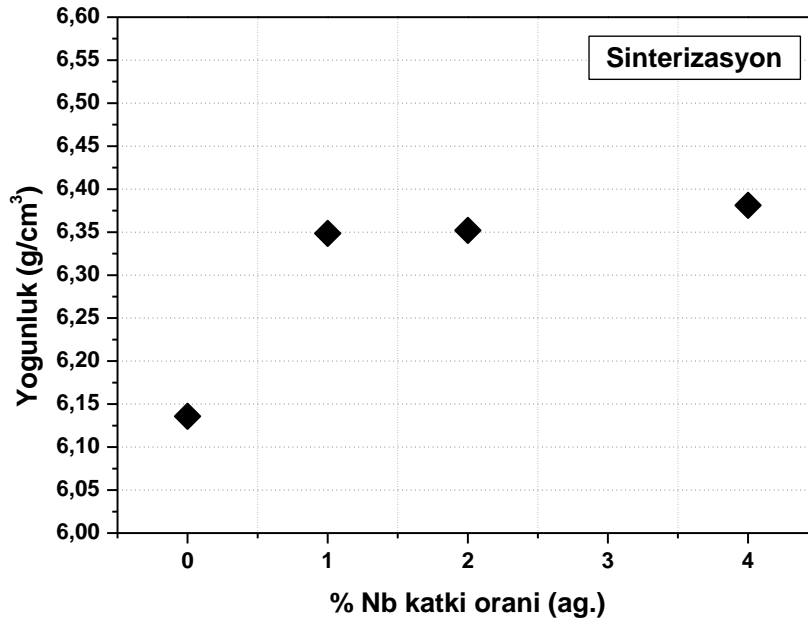
3. Bulgular ve Tartışma

NiTi-Nb toz metal alaşımlarının üretimi için başlangıçta kullanılan NiTi ve Nb tozlarının SEM görüntüsü Şekil 2'de verilmiştir. Başlangıç toz malzemelerin SEM görüntüleri incelendiğinde, atomize NiTi tozlarının (Şekil 2a) küresel şekil, Nb tozlarının (Şekil 2b) ise düzensiz şekil morfolojisinde yer aldığı görülmektedir.



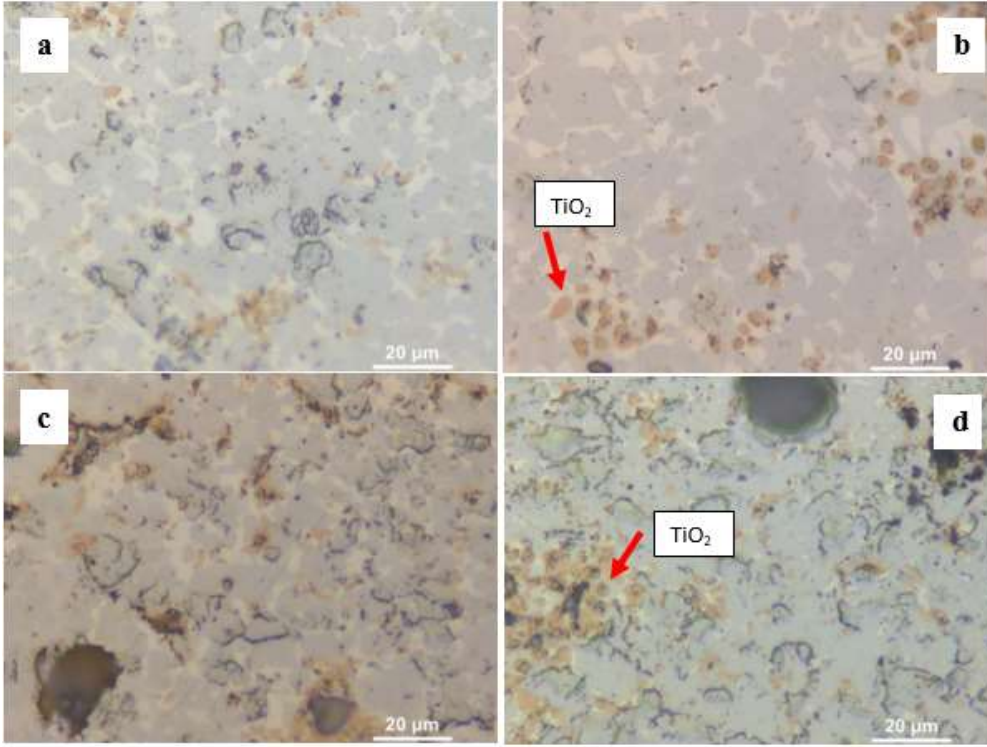
Şekil 2. Başlangıç toz malzemelerin SEM görüntüsü; a) NiTi, b) Nb

NiTi alaşımı (%0) ve %1, 2 ve 4 (ağırlıkça) Nb takviye oranına sahip NiTi-Nb alaşımlarının, sinterleme sonrası elde edilen yoğunluk sonuçları Şekil 3’de verilmiştir. Numunelerin yoğunlukları %0 takviye oranından %4 takviye oranına doğru artış gösterdiği belirlenmiştir. Buna göre sinterleme sonrası yoğunluk artışında $8,57\text{g/cm}^3$ yüksek yoğunluklu Nb alaşım elementinin etkili olduğu düşünülebilir. Belirtilen üretim parametreleriyle elde edilen bu oran, toz metalürjisi metodu ile üretilen NiTi-Nb alaşımları açısından istenilen seviyede olduğunu göstermektedir [17].



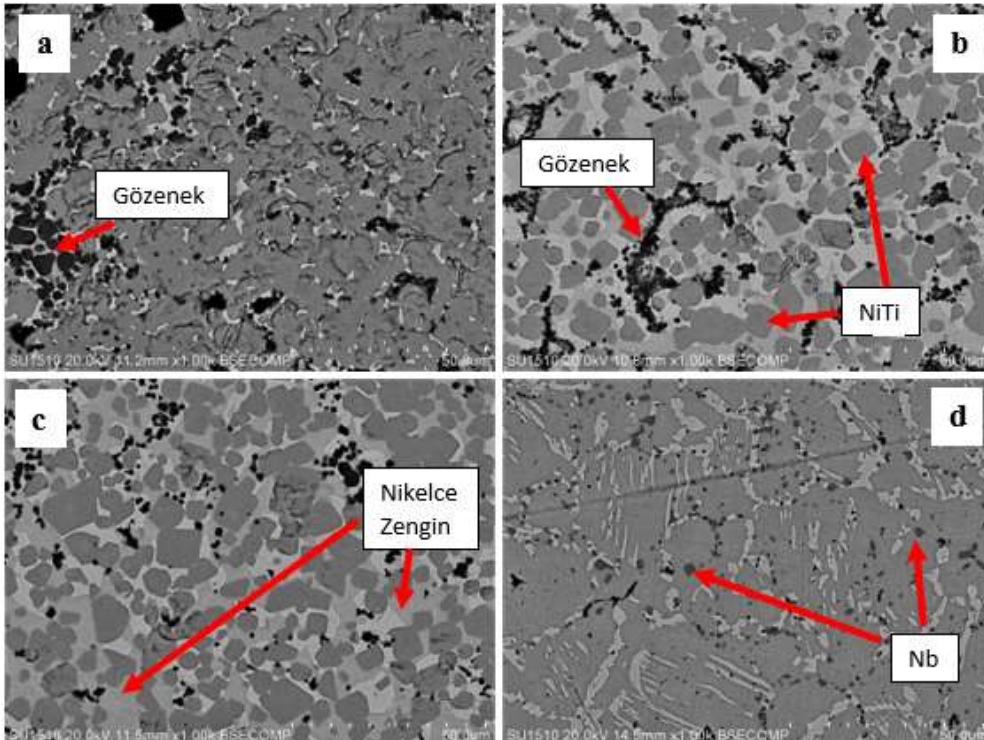
Şekil 3. NiTi-Nb alaşımının yoğunlukları

Sinterleme işlemi sonrası optik mikroskop mikroyapı görüntüleri Şekil 4’te gösterilmiştir. Şekil 4’te verilen mikro yapı görüntüleri incelendiğinde, taneler arasındaki boyun oluşumunun istenilen düzeyde olduğu [18], nihai yapı içerisinde oluşan gözeneklerin yapısı ve dağılımı da açık bir biçimde görülmektedir. Gözeneklerin etrafında görülen sarı renkli kısımlarda titanyumca zengin fazların olduğu ve gözenek içerisinde hapsolan oksijenin sebebiyle titanyumun oksitlenerek sarı renkte olduğu anlaşılmaktadır. Tanış ve arkadaşlarının [3] bakır ilaveli NiTi şekil bellekli alaşımlar ile ilgili yaptıkları benzer bir çalışmada, SEM – EDS analiz sonuçları bu görüşle benzerlik göstermektedir. Numunelerde gözenek yapısı incelendiğinde, basınç altında tanelerin yönlendiği ve gözeneklerin belli alanlarda toplandığı görülmüştür. Oluşan gözeneklerin boyu 150-200 mikrometre arasındadır.



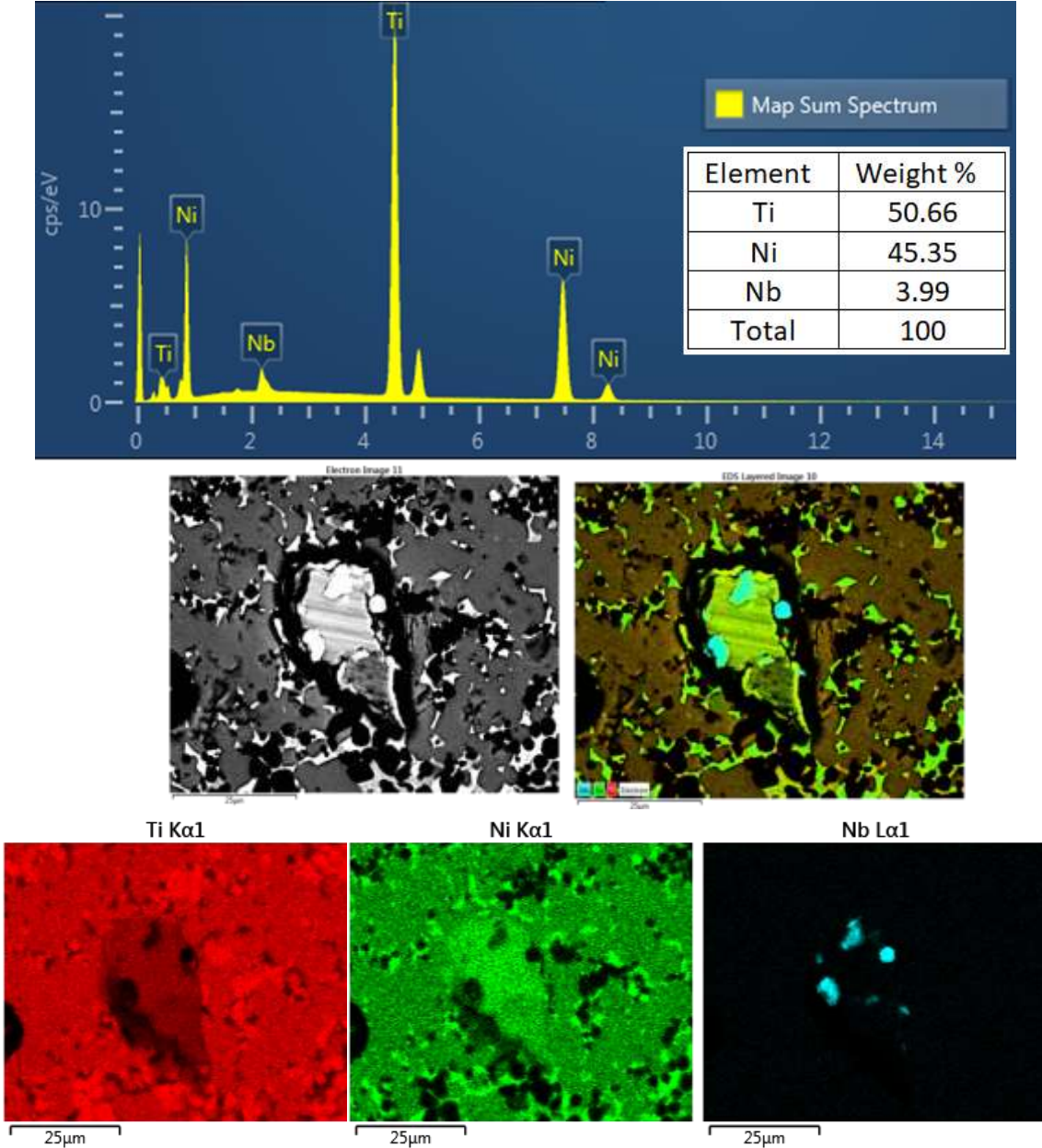
Şekil 4. NiTi-Nb alaşım mikroyapı görüntüleri; a) NiTi, b) %1 Nb, c) %2 Nb, d) %4 Nb

Şekil 5'te ağ. % 0, 1, 2 ve 4 Nb eklenen numunelerin SEM görüntüleri verilmiştir. Şekil 5a'da Nb takviyesi olmayan NiTi alaşım mikro yapı görüntüsünde, açık gri olan nikelce zengin Ni₃Ti fazı, Şekil 5b ve c'deki sırasıyla ağ.%1 ve 2 Nb eklenmiş NiTi alaşımlarına göre daha az görülmektedir. NiTi fazı ise takviyesiz numunede matrisin tamamını oluştururken, %1 ve 2 Nb takviyeli numunelerde matrisin belirli bölgelerinde oluşmuştur. Şekil 5d'de ağ. %4 Nb eklenen NiTi alaşımında, NiTi fazı matrisin tamamını oluştururken, nikelce zengin fazın lamelimsi bir oluşuma benzer şekilde matris içerisinde dağılım gösterdiği anlaşılmaktadır.



Şekil 5. NiTi-Nb alaşım mikroyapı görüntüleri; a) NiTi, b) %1 Nb c) %2 Nb d) %4 Nb

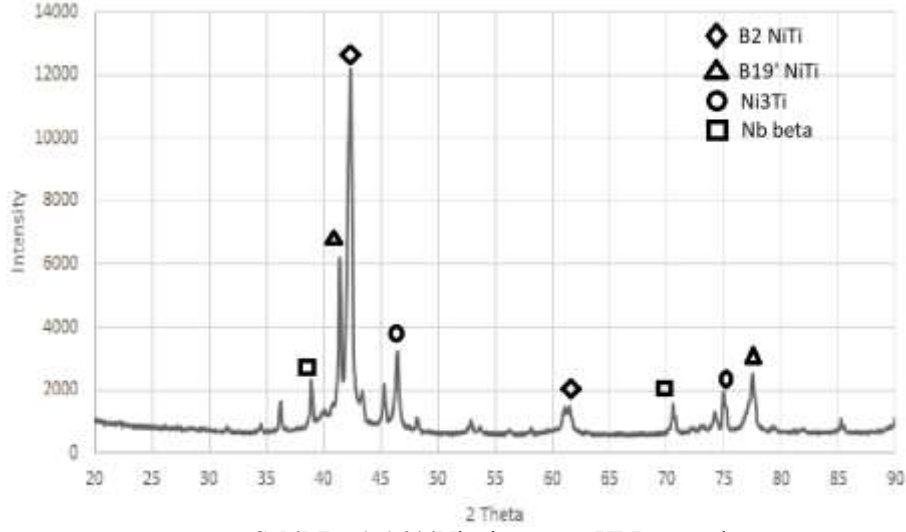
Şekil 6’da ağ. %4 Nb takviyeli NiTi alaşımının genel EDS analizi yapılmış ve elementel haritası çıkarılmıştır. Genel EDS analizinde %4 Nb takviyesi ile üretilen NiTi alaşımında, Nb dağılımının yer aldığı tespit edilmiştir. EDS harita dağılımı incelendiğinde, görüntü üzerinde açık gri olan bölgelerin nikelce zengin fazları tanımladığı açık bir şekilde görülmektedir. Ana yapıyı oluşturan gri bölgenin ise, eş atomik NiTi fazı olduğu belirlenmiş olup Nb tanelerinin nikelce zengin fazın etrafında yer aldığı saptanmıştır. Nb tanelerinin nikelce zengin faz ile birleştiği belirlenirken, NiTi fazı ile tam olarak ısınmamış ve gözeneklerin olduğu belirlenmiştir. NiTi-Nb alaşımları üzerine Yin ve ark. [19] yaptıkları çalışmada, SEM görüntüleri ve EDS analizlerinde matris içinde Nb zengin fazlarında oluştuğunu göstermişlerdir.



Şekil 6. NiTi-%4Nb alaşımının elementel analiz ve haritalama sonucu

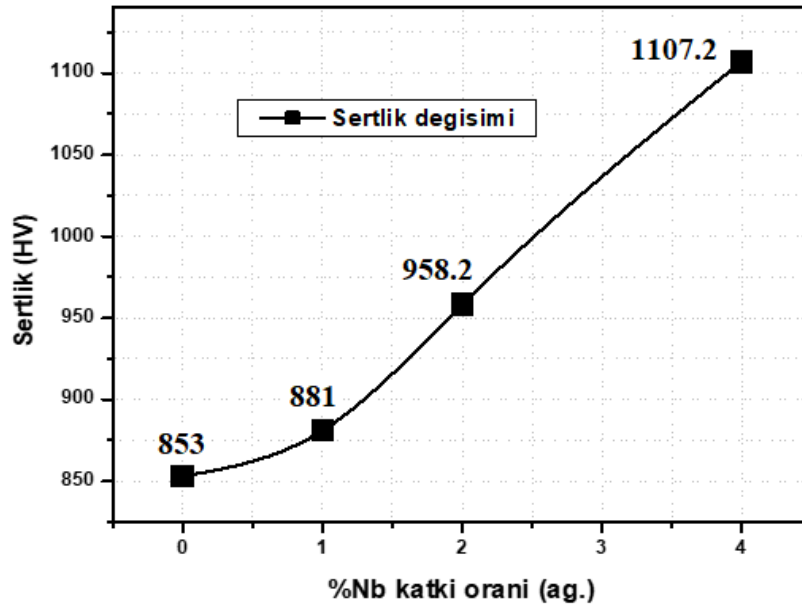
Ağırlıkça %4 Nb takviyesi içeren NiTi alaşımının XRD analiz sonucu Şekil.7’de verilmiştir. XRD analizi incelendiğinde, östenitik B2 fazının ve martenzitik B19’ fazlarının olduğu gözlemlenmiş ve sonuçlar Şekil.6’da verilen EDS analiz sonuçlarını destekler niteliktedir. β – Nb fazı 36° ve 70° 2θ açılarında düşük şiddette pikler olarak tespit edilmiştir. Cronemberger ve ark. [20] NiTi alaşımına Nb takviyesi ile yaptıkları çalışma da Nb fazının XRD şiddetinin takviye oranı arttıkça arttığını belirlemiştir.

ve en net sonuçları %9 takviye oranında bulmuşlardır. Şekil 5d ve Şekil 6’da belirlenmiş olan açık gri renkte Ni_3Ti fazının XRD pikleri de, analiz sonucunda şiddetli oldukları 2θ açılarında saptanmıştır.



Şekil 7. NiTi-%4Nb alaşımlarının XRD sonuçları

NiTi ve NiTi-Nb alaşımlarının mikro yapı incelemeleri ve analizleri neticesinde, elde edilen mikro sertlik sonuçları Şekil 8’de gösterilmiştir. Alaşımların mikro sertlik sonuçları incelendiğinde, artan Nb takviye oranı ile sertlik değerinde artış olduğu saptanmıştır. Bu duruma mikroyapısal açıdan, matris içerisinde Nb oranı yoğunluğunun artması ile oluşan gerilimin neden olduğu belirtilebilir. %4 Nb takviye oranı ile üretilen NiTi-Nb alaşımlarının mikro sertlik değeri, takviyesiz NiTi alaşımın mikro sertlik değerine göre yaklaşık %30 oranında artış gösterdiği belirlenmiştir. Liu ve ark. [21] yaptıkları çalışmada, daha yüksek takviye oranlarda Nb alaşım elementi ile çalışmışlar ve mikro sertlik değerinin artan Nb oranı ile arttığını ifade etmişlerdir. Fakat elde ettikleri mikro sertlik sonuçları bütün numuneler için yaptığımız çalışmaya oranla oldukça düşüktür. Bu çalışmada mikro sertlik sonuçlarının yüksek seyretmesi, Liu ve ark. kullandıkları ergitme yöntemi ile üretimin aksine ön alaşımlı küresel NiTi metal tozlarının kullanılması olarak öne sürülebilir. NiTi alaşımında %1-3 ve 5 Cu ilavesi yapılan benzer bir çalışmada, Cu parçacıklarının artışına bağlı olarak mikro sertlik değerinin arttığı belirtilmiştir [22].



Şekil 8. Mikro sertlik sonuçları

4. Sonuç ve Öneriler

NiTi-Nb toz metal alaşımlarında, Nb parçacık takviyesinin NiTi alaşımı mikro yapısal karakterizasyonu ve sertlik özellikleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Deneysel çalışmalar ve deneysel bulgular göz önünde bulundurulduğunda, sonuçlar aşağıda belirtilmiştir.

NiTi alaşımına kıyasla Nb takviyesi ile üretilen toz metal alaşımlarda sinterleme sonrası yoğunluk değerleri yaklaşık %50 oranında artış göstermiştir. Mikro yapısal açıdan Nb takviyesinin ön alaşımlı NiTi fazına difüze olduğu ve gözeneklerin etrafında titanyumca zengin fazların oluştuğu belirlenmiştir. Mikro yapıda gözeneklerin yaklaşık olarak 150-200 mikrometre civarında oluşum gösterdiği belirlenmiştir. Nikelce zengin fazın lamelimsi bir oluşum şeklinde matris içerisinde dağılım gösterdiği tespit edilmiştir. Yapılan genel EDS analizi ile, Nb takviyesinin matris içinde dağılımı görülmüştür. XRD analizi sonucuna göre, östenitik B2 fazının ve martenzitik B19' fazlarının oluştuğu ve ayrıca Nb fazının düşük şiddette pikler sergilediği tespit edilmiştir. NiTi alaşımına kıyasla %4Nb takviyesi ile yaklaşık %30 oranında mikro sertlik değerinde artış sağlandığı belirlenmiştir.

Yazarların Katkısı

Makale, yazarların birlikte katkıları ile ortaya çıkarılmıştır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar

- [1] Gökmeşe H., Bostan B. 2013. Improvements of dry sliding wear behaviour and mechanical properties in 2014 Al alloy by age-hardening. *Sci Res Essays*, 8 (45): 2227-2234.
- [2] Gokmese H., Ozdemir M., Bostan B. 2015. The Characterization and Production by Gas Atomization Method of Pre-alloyed AA 2014 Powder Metal Aluminum. *Int J Sci Technol Res.*, 1 (1): 2422-8702.
- [3] Gökmeşe H., Tanış A., Bostan B. 2018. Effect of Cu addition on microstructure and mechanical properties of NiTi based shape memory alloy. *International Advanced Researches and Engineering Journal*, 2 (1): 20-26.
- [4] Çakmak Ö., Kaya M. 2017. Akıllı Malzeme Şekil Hafızalı Alaşımların Termodinamiği. *Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 6 (2): 541-555.
- [5] Toptaş E., Akkuş N. 2007. Teknolojik araştırmalar: MTED 2007 (4) 15-22. *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 4 (4): 15-22.
- [6] Canbay C.A., Özkul İ. 2018. Yaşlandırma Süresinin TiNi Şekil Hafızalı Alaşımında Termodinamik Parametreler ve Yapısal Özellikler Üzerine Etkisinin İncelenmesi. *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilim Dergisi*, 30 (2): 313-318.
- [7] Li D.S., Zhang Y.P., Eggeler G., Zhang X.P. 2009. High porosity and high-strength porous NiTi shape memory alloys with controllable pore characteristics. *J Alloys Compd.*, 470 (1-2): 5-9.
- [8] Kaya M., Orhan N., Somunkiran İ. 2008. Effect of porosity on compressive strength of porous NiTi alloy fabricated by powder metallurgy. *J Fac Eng Arch Gazi Univ.*, 23 (4): 931-936.
- [9] Luo J., Bobanga J.O., Lewandowski J.J. 2017. Microstructural heterogeneity and texture of as-received, vacuum arc-cast, extruded, and re-extruded NiTi shape memory alloy. *J Alloys Compd.*, 712: 494-509.
- [10] Shihab S.A., Salman K.D., Saud L.J. 2020. Studying Wear Behavior of Ni-Ti- Ag Shape Memory Alloy Synthesized by P/T, 38 (6): 846-853.
- [11] Ternik P., Rudolf R. 2016. Numerical analysis of continuous casting of niti shape memory alloy. *Int J Simul Model.*, 15 (3): 522-531.

- [12] Zhu S.L., Yang X.J., Hu F., Deng S.H., Cui Z.D. 2004. Processing of porous TiNi shape memory alloy from elemental powders by Ar-sintering. *Mater Lett.*, 58 (19): 2369-2373.
- [13] Li B.Y., Rong L.J., Li Y.Y. 1998. Anisotropy of dimensional change and its corresponding improvement by addition of TiH₂ during elemental powder sintering of porous NiTi alloy. *Mater Sci Eng A*, 255 (1-2): 70-74.
- [14] Sharma N., Jangra K.K., Raj T. 2018. Fabrication of NiTi alloy: A review. *Proc Inst Mech Eng Part L J Mater Des Appl.*, 232 (3): 250-269.
- [15] Fan Q.C., Zhang Y., Zhang Y.H., Wang Y.Y., Yan E.H., Huang S.K., Wen Y.H. 2019. Influence of Ni/Ti ratio and Nb addition on martensite transformation behavior of NiTiNb alloys. *J Alloys Compd.*, 790 (April): 1167-1176.
- [16] Wang L., Xie L., Zhang L.C., Chen L., Ding Z., Lv Y., Zhang W., Lu W., Zhang D. 2018. Microstructure evolution and superelasticity of layer-like NiTiNb porous metal prepared by eutectic reaction. *Acta Mater.*, 143 (November): 214-226.
- [17] Chen Y., Jiang H., Rong L., Xiao L., Zhao X. 2011. Mechanical behavior in NiTiNb shape memory alloys with low Nb content. *Intermetallics*, 19 (2): 217-220.
- [18] Tosun G., Kılıç M., Özler L., Tosun N. 2018. Characterization of a porous nickel-titanium alloy produced with self-propagating high-temperature synthesis. *Materiali in tehnologije/Materials and technology*, 52 (4): 435-442.
- [19] Yin H., Ma G., Fan Q., Wang Y., Huang S., Yi Y. 2019. Thermal-induced phase transformation behavior of NiTiNb hypoeutectic, eutectic, and hypereutectic alloys. *Metals (Basel)*, 9 (2): 214.
- [20] Cronemberger M.E.R., Menezes V.H.F., Silva R da, Santos I.G.R., Sordi V.L., Kuri S.E., Rovere C.A.D., 2019. Effect of Nb Content in the Microstructural and Thermal Characteristics of NiTiNb Shape Memory Alloys. *Mater Res.*, 22 (suppl 1): 1-7.
- [21] Liu S., Han S., Wang L., Liu J., Tang H. 2019. Effects of Nb on the Microstructure and Compressive Properties of an As-Cast Ni₄₄Ti₄₄Nb₁₂ Eutectic Alloy. *Materials (Basel)*, 12 (24): 1-9.
- [22] Kılıç M., Yenigün B., Serkan B., Balalan Z., Kırık İ. 2019. Effect of Cu addition on porous NiTi SMAs produced by self-propagating high-temperature synthesis. *Mechanical Testing*, 61 (12): 1140-1144.

Araştırma Makalesi / Research Article

Sıtma Hastalığının Sınıflandırılmasında Evrimsel Sinir Ağlarının Performanslarının Karşılaştırılması

Aykut DİKER*

*Bandırma Onyedli Eylül Üniversitesi, Yazılım Mühendisliği Bölümü, Bandırma, Balıkesir
(ORCID: 0000-0002-1207-8548)*

Öz

Sıtma, Plasmodium adlı bir kan parazitinin neden olduğu ciddi bir hastalıktır. Sıtma teşhis etmenin standart yolu, parazit bulaşmış kırmızı kan hücreleri için kan bulaşmalarını mikroskop altında uzmanlar tarafından görsel olarak incelenmesidir. Bu yöntem verimsizdir ve tanı, muayeneyi yapan kişinin deneyimine ve bilgisine bağlıdır. Daha önce teşhis için sıtma kan hücrelerine makine öğrenimine dayalı otomatik görüntü tanıma teknolojileri uygulanmıştır. Bu çalışmanın amacı, sıtma hücrelerinin parazit veya enfekte olmayan olarak ayırmaktır. Ek olarak çalışmada, önceden eğitilmiş evrimsel sinir ağlarına dayalı bütünlük bir tanı sistemi önerilmiştir. Bu çalışmada sıtma hücrelerini sınıflandırmak için Ulusal Sağlık Enstitüleri'nden (NIH) elde edilen toplam 27558 imge kullanılmıştır. Deneysel çalışmalar sonucunda, sıtma hücrelerinin sınıflandırılmasında, sırasıyla AlexNet, GoogleNet, SqueezeNet, ShuffleNet ESA modelleri ile % 95.77, % 96.31, % 95.95, % 96.44 ve 0.9880, 0.9887, 0.9888, 0.9923 EAA performans değerleri elde edilmiştir. Sıtma hücrelerinin sınıflandırılmasında en iyi sonuç, %96.44 Doğruluk değeri ile ShuffleNet CNN modeli kullanılarak ulaşılmıştır.

Anahtar kelimeler: Sıtma, sınıflandırma, evrimsel sinir ağı.

Performances Comparison of Convolutional Neural Networks in the Classification of Malaria Disease

Abstract

Malaria is a serious disease caused by a blood parasite named Plasmodium. The standard way of diagnosing malaria is by visually examining blood smears for parasite-infected red blood cells under the microscope by qualified technicians. This method is inefficient and the diagnosis depends on the experience and the knowledge of the person doing the examination. The aim of this study is to separate malaria cells as parasites or non-infected. Additionally, an integrated diagnostic system based on pre-trained convolutional neural networks is proposed in the study. In this study, a total of 27558 images obtained from the National Institutes of Health (NIH) were used to classify malaria cells. As a result of experimental studies, 95.77%, 96.31%, 95.95%, 96.44% and 0.9880, 0.9887, 0.9888, 0.9923 AUC performance values were obtained in the classification of malaria cells with AlexNet, GoogleNet, SqueezeNet, ShuffleNet CNN models, respectively. The best classification result of malaria cells was achieved using the ShuffleNet CNN model with an Accuracy of 96.44%.

Keywords: Malaria, classification, convolutional neural network.

1. Giriş

Sıtma, dünya nüfusunu etkileyen en yaygın, korunmasız hastalıkların başında gelmektedir. Sıtma, enfekte sivrisineklerin ısırıkları yoluyla bulaşan parazitlerden kaynaklanmaktadır. Ayrıca, özellikle tropikal bölgelerde endemik bir hastalık ve başlıca ölüm nedeni olarak sayılmaktadır. Küresel olarak, 97 ülke ve bölgede 3,2 milyar insanın sıtmaya yakalanma riski bulunmaktadır ve 1,2 milyar kişi yüksek risk altında yaşamını sürdürmektedir [1-3]. Sıtma hastalığı plazmodyumun bir türü olarak bilinmektedir. İnsanın alyuvarını tehdit eden ve bir dizi belirtiyeye neden olabilen bir tür parazitik protozoandır [1]. Sıtma

*Sorumlu yazar: aykurdiker@gmail.com

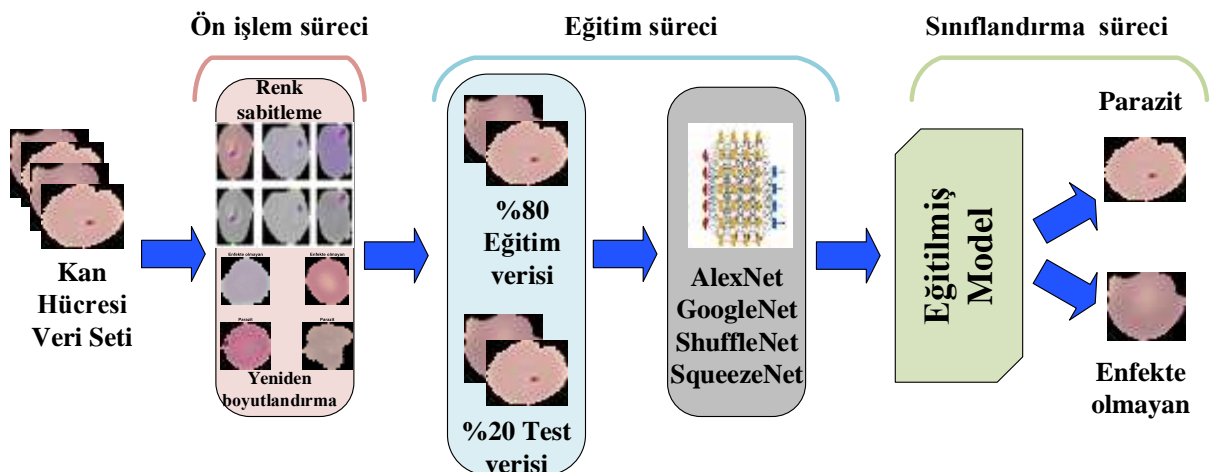
Geliş Tarihi: 20.08.2020, Kabul Tarihi: 19.10.2020

hastalığının klinik belirtileri nonspesifiktir ve sıtmayla uyumlu klinik semptomların eşlik ettiği parazitemi, özellikle endemik bölgelerde mutlaka klinik sıtma anlamına gelmemektedir. Endemik bölgelerdeki hastalığı tespit etmek için, klinik sıtmanın net bir vaka tanımına ihtiyaç vardır. Endemik olmayan bölgelerde, ateşin eşlik ettiği periferik parazitemi klinik sıtmayı tanımlamak için kullanılabilirken, endemik bölgelerde bu böyle değildir çünkü bireylerin % 60'ından fazlası her zaman asemptomatik parazitemiye sahip olabilmektedir [4]. Sıtma hastalığının ciddiyetini kavramak ve hastalığı önlemek için erken tanı testi ve tedavisi hayati öneme sahiptir. Sıtma tedavisinin risk faktörü, uzmanlık ve araştırmacı bilim insanlarının eksikliği nedeniyle hala aşılmakta güçlük çekilen sorunların başında gelmektedir. Sıtma hastalığının erken tespiti, sıtmanın neden olduğu ölümü kontrol etmek için gerekli olan konuların başında gelmektedir. Bu noktada, bilgisayar destekli sistemler, Yapay zeka, açık kaynaklı araçlar, teknikler bu hastalığın tespiti ve değerlendirilmesi için uzmanlar için eşsiz bir araç haline gelmiştir [5]. Sıtma hastalığının sınıflandırılmasında ve tespitinde literatürde birçok yöntem kullanılmıştır. Bunlar; Destek Vektör Makine (DVM) [6], k- En Yakın Komşuluk algoritması (k-Ek) [7], Yapay Sinir Ağları (YSA) [8], AdaBoost algoritması [9], Otsu metodu [2], Çok Katmanlı Algılayıcı (ÇKA) [10], İstatistiksel olarak geliştirilmiş kural tabanlı sınıflandırma metodu [11], Radyal tabanlı fonksiyon sınıflandırıcı [12], İnce ayarlı Evrişimsel Sinir Ağları (ESA) modeli [13] ve literatürde birçok alanda kullanılan Derin öğrenme algoritmaları [5, 14]. Aynı zamanda son yıllarda, literatürde popüler hale gelen derin öğrenme yöntemi, sıtma hastalığının sınıflandırılmasında olduğu gibi, birçok alanda kullanılmaktadır [15,16]. Bu çalışmada, sıtma hastalığının sınıflandırılması ve teşhisi için derin bir öğrenme yaklaşımlarının bir performans karşılaştırılmasının sunulması üzerine odaklanılmıştır. Bu amaçla, önceden eğitilmiş ESA modellerinden olan AlexNet [17], GoogleNet [18], ShuffleNet [19] ve SqueezeNet [20,21] kullanılmıştır. Amaç, kan hücresi görüntülerini “Parazit” veya “Enfekte olmayan” olarak sınıflandırmaktır. Aynı zamanda, önerilen çalışmanın ana hedeflerinden biri de kandaki sıtma paraziti sınıflandırmak için yukarıda bahsedilen en uygun ESA modelini belirlemektir.

Çalışmanın diğer bölümleri şu şekilde organize edilmiştir: Bölüm 2’de çalışmaya konu olan veri seti ve kullanılan yöntemler verilmiştir. Bölüm 3’de ise elde edilen deneysel sonuçlar sunulmuştur. Bölüm 4’de ise deneysel parametreler ve ilgili çalışmalar dikkate alınarak bir tartışma sunulmuştur. Bölüm 5’de ise sonuç ifadeleri sunulmuştur.

2. Materyal ve Metot

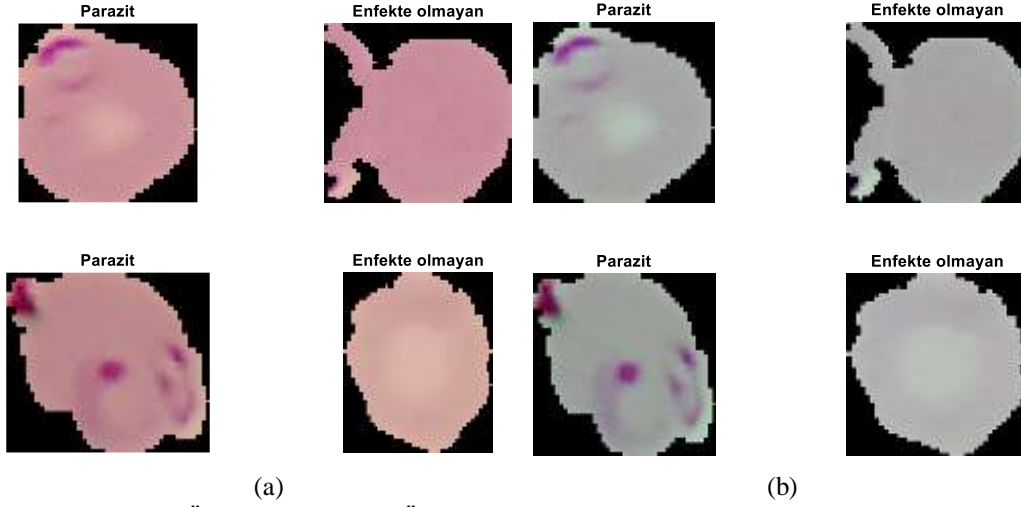
Bu çalışmada toplamda 2 sınıftan oluşan sıtma hastalığının sınıflandırılması için evrişimsel sinir ağlarına dayalı bir model önerisi yapılmıştır. Önerilen modelin blok şemasına Şekil 1’de yer verilmiştir.



Şekil 1. Önerilen sistemin blok diyagramı

Şekil 1’den görüldüğü gibi alınan sıtma hücreleri ön işlem sürecinde, imgenin algılanan renginin farklı aydınlatma koşullarında aynı kalmasını sağlamak için renk sabitleme tekniği kullanılmıştır [22]. Aynı zamanda ESA modellerinin girişine verilmek üzere uygun hale getirmek için, imgeler üzerinde

yeniden boyutlandırma işlemi yapılmıştır. Veri seti, ESA modellerine verilmek üzere rasgele olarak % 80 Eğitim verisi ve % 20 Test verisi olacak şekilde ayrılmıştır. Sonrasında ise, ESA modellerinden elde edilen modellerle birlikte, kan hücreleri “Parazit” veya “Enfekte olmayan” şeklinde sınıflandırılmıştır. Şekil 2’de ön işlem öncesi ve sonrası kan hücreleri görülmektedir.



Şekil 2. (a) Ön işlem öncesi (b) Ön işlem (Renk sabitleme tekniği kullanılarak) sonrası

2.1. Veri Seti

Bu çalışmada kullanılan veriler, Ulusal Sağlık Enstitüleri (National Institutes of Health-NIH) tarafından sağlanan halka açık bir veri tabanından elde edilmiştir. Aynı zamanda, kırmızı kan hücrelerini saptamak ve segmentlere ayırmak için de, seviye ayarlı bir algoritma da sunulmaktadır. Kullanılan tüm imgeler Mahidol-Oxford Tropikal Tıp Araştırma Birimi’nde bir uzman tarafından manuel olarak açıklanmıştır. Veri kümesi, eşit parazit ve enfekte olmamış hücre örneklerine sahip toplam 27.558 hücre imgesi içermektedir [22]. Veri kümesine ait özellikler Tablo 1’de görülmektedir.

Tablo 1. Veri kümesi dağılımı

Veri Seti Türü	Parazitli örneklerin sayısı	Enfekte olmayan örneklerin sayısı
Eğitim	11023	11023
Test	2756	2756

2.2. Evrişimsel Sinir Ağları

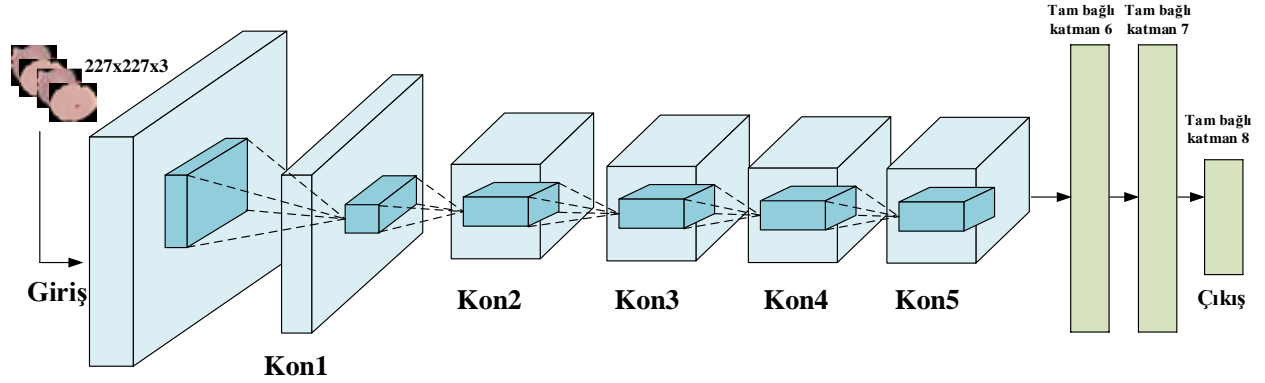
Evrişimsel Sinir Ağı (ESA) 2012’deki ImageNet yarışmasından bu yana görüntü işleme problemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. ESA imge sınıflandırma, görüntü tanıma, nesne izleme problemlerinde sıklıkla kullanılır ve yüksek performans değerlerine sahiptir. Bir konvolüsyon katmanında, önceki katmanın özellik haritaları öğrenilebilir çekirdekler haline gelir ve çıktı özelliği haritasını oluşturmak için etkinleştirme işlevini kullanılmaktadır. Her çıktı haritası konvolüsyonları çoklu giriş haritalarıyla birleştirebilmektedir. Genel olarak ESA, Denklem 1’de olduğu gibi formüle edilir.

$$x_j^e = f \left(\sum_{i \in M_j} x_i^{e-1} * k_{ij}^e + b_j^e \right) \quad (1)$$

Burada, M_j giriş haritasının bir seçimini temsil eder. Çıktı haritası j ve harita k her ikisi de girdi haritası i üzerinde toplanır, harita i ’ye uygulanan çekirdekler çıktı haritaları j ve k için farklıdır [18,19]. ESA’nın kapsamlı matematiksel ifadelerini edinmek için referans [23] incelenebilir. Bu çalışmada kullanılan ESA modelleri ve özellikleri sonraki bölümlerde verilmiştir.

2.2.1. AlexNet

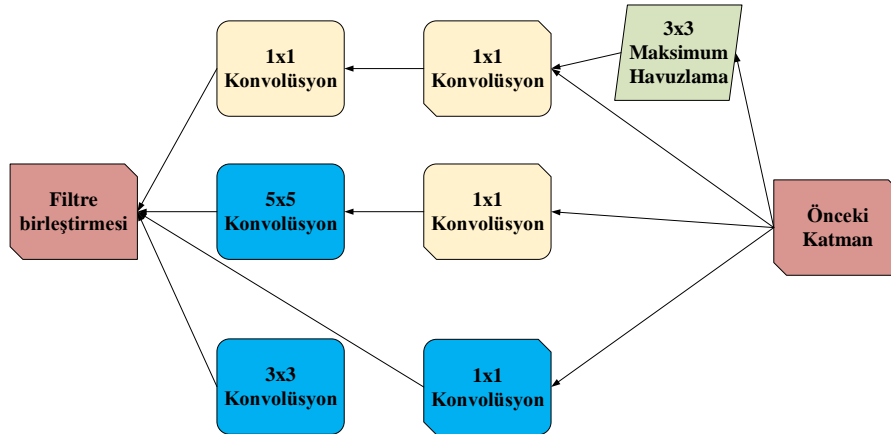
Derin öğrenme algoritmaları kullanılarak tasarlanan AlexNet, 2012 yılında ImageNet yarışmasını kazandığında dünya çapında tanınmıştır. Daha sonra “Derin Konvolüsyon Ağları ile ImageNet Sınıflandırması” başlıklı makalede bu ESA modeli yayınlanmıştır [23]. AlexNet mimarisi beş evrişim katmanı, havuzlama katmanı ve üç Tamamen Bağlı (Fully Connected) katmanından oluşmaktadır. AlexNet’in grafik gösterimi Şekil 3’de verilmiştir [17].



Şekil 3. AlexNet modelinin blok mimarisi

2.2.2. GoogleNet

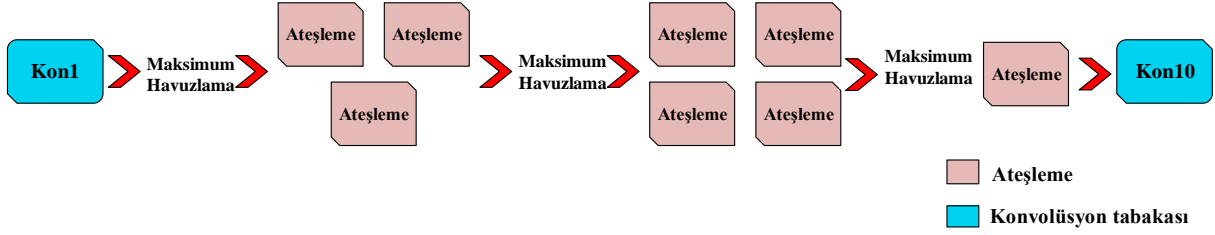
GoogleNet, yapısı içindeki başlangıç modülleri nedeniyle karmaşık bir mimariye sahip bir ESA modelidir. 22 katmanı bulunmaktadır ve 2014 yılında % 5.7 hata oranı ile ImageNet yarışmasını kazanmıştır. Genellikle konvolüsyonel ve biriktirilmiş katmanları ardışık olarak yığmaktan kaçınan ilk ESA mimarilerinden biri olarak düşünülmektedir. Ayrıca, tüm katmanları yığmaktan kaçınmak ve çeşitli filtreler eklemek zaman alan hesaplamalar gerektireceğinden, daha yüksek bellek maliyetlerine sebep olacağı için bellek ve güç kullanıcıları açısından önemli bir konuma sahiptir [18]. GoogleNet'teki başlangıç modüllerinin grafik gösterimi Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 4. GoogleNet'teki başlangıç modüllerinin blok gösterimi

2.2.3. SqueezeNet

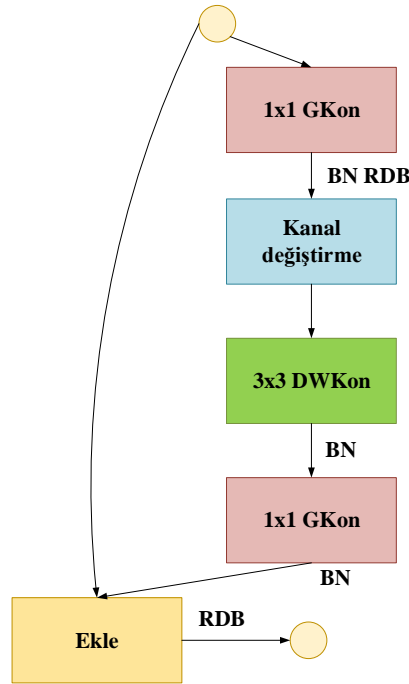
SqueezeNet ESA mimarisi Iandola ve arkadaşları tarafından 2016 yılında tanıtılmıştır. Bağımsız bir konvolüsyon tabakası (kon1), sekiz ateşleme (fire) modülü (ateşleme2–9) ve son konvolüsyon tabakası (kon10) bulunmaktadır. SqueezeNet, AlexNet'in ilk (ilk1) ve en yüksek beş doğruluğunu gerçekleştirirken veya aşarken, AlexNet'e kıyasla model boyutunda 50 kat azalma sağlar [19]. SqueezeNet'in grafik gösterimi Şekil 5'te verilmiştir.



Şekil 5. SqueezeNet modelinin blok gösterimi

2.2.4. ShuffleNet

ShuffleNet modeli artık bir yapıdır ve darboğaz yapısını içermektedir. ShuffleNet, diğer ESA mimarilerine kıyasla daha düşük karmaşıklığa ve daha az parametreye sahiptir. Bunun yanında, sadece darboğaz özellik haritasında uygulanan derinlikli konvolüsyon için, düşük güçlü mobil cihazlar için uygundur [24]. ShuffleNet mimarisi Şekil 6'da gösterilmektedir.



Şekil 6. ShuffleNet modelinin blok gösterimi

2.3. Performans Ölçütleri

Bu çalışmada modellerin performanslarını ölçmek için karmaşıklık matrisinden türetilen Duyarlılık (Duy), Özgüllük (Özg) ve Doğruluk (Doğ) gibi ve Alıcı işlem karakteristik (AİK) gibi çeşitli performans ölçütleri kullanılmıştır. Bir karmaşıklık matrisi temel olarak Gerçek pozitif (GP), Yanlış pozitif (YP), Gerçek negatif (GN) ve Yanlış negatif (YN) olan dört endeksten oluşmaktadır. GP ve GN, karışıklık matrisinin diyagonal ekseninde bulunur, gerçekten tahmin edilen parazit ve enfekte olmamış örneklerin sayılarını temsil etmektedir. YP ve YN endeksleri ise, parazit ve enfekte olmamış örnekler için yanlış teşhis edilen örnek sayısına karşılık gelmektedir [25–27]. Performans metriklerinin matematiksel ifadeleri Denklem (2)-(4)'de sırasıyla verilmiştir.

$$Duy = \frac{(GP)}{(GP + GN)} \quad (2)$$

$$Özg = \frac{(GN)}{(GN + GP)} \quad (3)$$

$$Doğ = \frac{(GP + GN)}{(GP + YP + GN + YN)} \quad (4)$$

Alıcı işlem karakteristiği (AİK) eğrisi, sınıflandırma işlemi için yaygın olarak kullanılan metriklerden birisidir. AİK eğrisinin çiziminde Yanlış pozitif oranlar (YPO) ve Gerçek pozitif oranlar (GPR) sırasıyla x eksenini ve y eksenini üzerinde temsil edilmektedirler. Bu Eğrinin altındaki alan (EAA) modellerin performanslarını değerlendirmek için hesaplanmaktadır. Bu EAA değeri mükemmel bir sınıflandırmayı temsil ettiğinden, EAA için 1'e ulaşmak amaçlanmaktadır [26, 28].

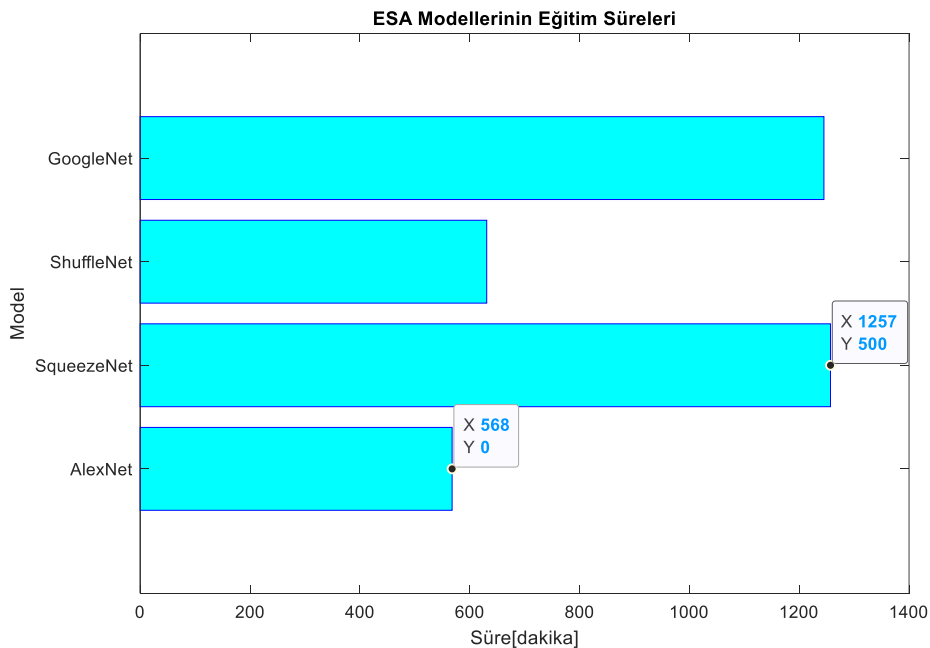
3. Bulgular

Tüm deneyler, iş istasyonu üzerinde 2,60 GHz'de Intel © Core CPU, 16 GB RAM ve 2 GB RAM NVIDIA GTX960M grafik kartı ile gerçekleştirilmiştir. Simülasyon platformu olarak ise MATLAB (2019a) kullanılmıştır. Ayrıca, sıtma hücrelerinin ESA modelleri ile yapılan eğitim ve test süresince kullanılan parametreler Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. ESA modellerinde kullanılan eğitim parametreleri

Parametre	Değer
Mini topluluk boyutu	32
Maksimum dönem	100
Başlangıç öğrenme oranı	1e-4
Optimize yöntemi	sgdm
Momentum	0.90

Sıtma hücrelerinin sınıflandırılması için yapılan deneysel çalışmada, ESA modellerinin başarımları incelenmiştir. ESA modellerini eğitimi testi için veri seti Tablo 1'de belirtildiği gibi % 80 Eğitim ve % 20 test için ayrılmıştır. Mini topluluk boyutu 32 olarak ayarlandığından döngü başına 688 imge kullanılmış ve maksimum dönem sayısı 100 olarak ayarlandığı için eğitim işlemi toplamda 68800 iterasyonda tamamlanmıştır. Şekil 7'de ESA modellerinin sıtma hücrelerinin eğitimi için harcadıkları süreler için grafik verilmiştir. Grafikten de görüleceği üzere AlexNet modeli eğitim için 568 dakika ile en az sürede eğitimi tamamlayan ESA modeli olurken, eğitimi 1257 dakika ile en geç tamamlayan ESA modeli SqueezeNet olduğu grafikten görülmektedir.



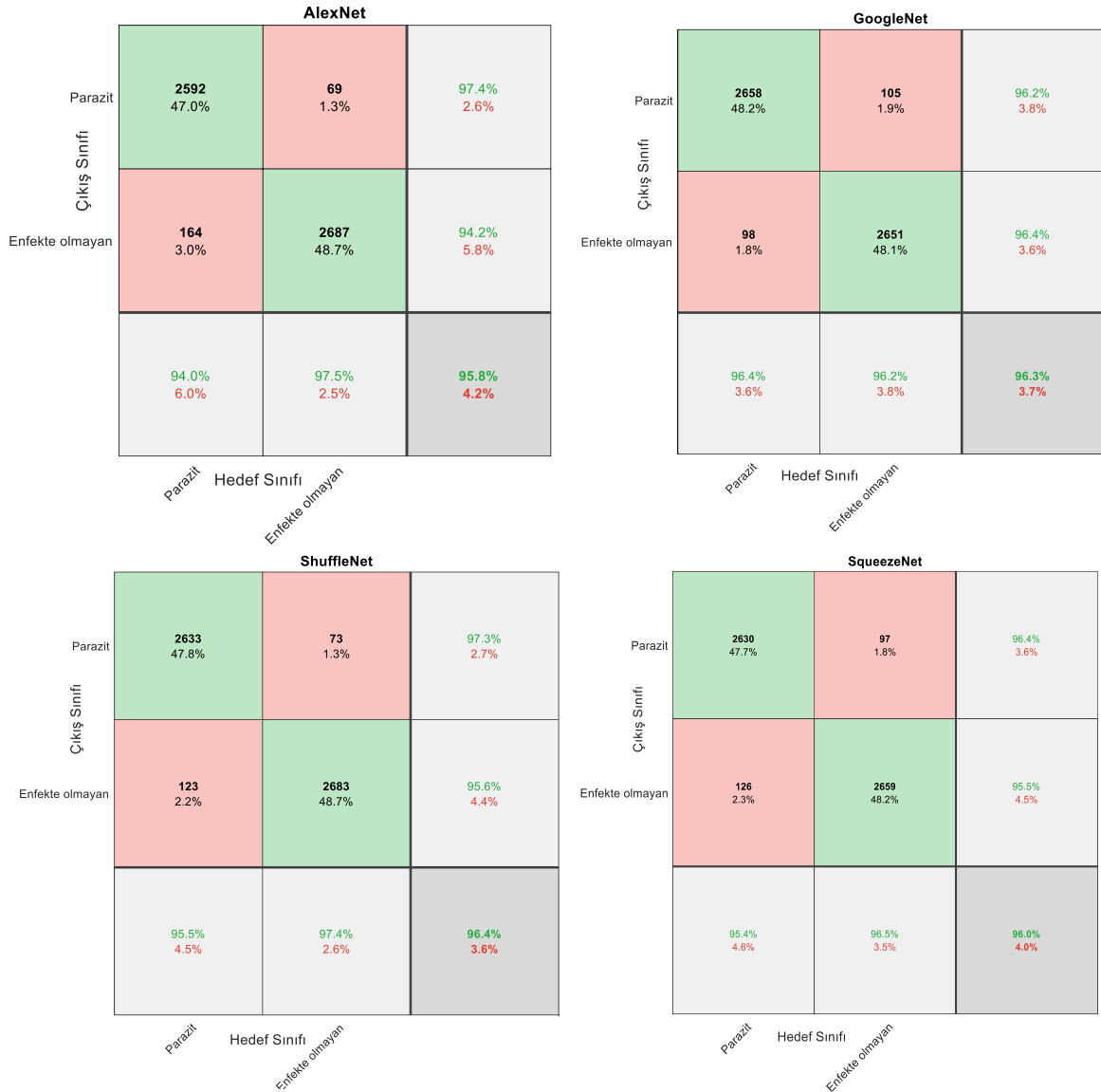
Şekil 7. ESA modellerinin eğitim için harcadıkları süreler

ESA modellerinin performans sonuçları incelendiğinde en düşük sınıflandırma oranına %95.77 ile AlexNet'in sahip olduğunu, en etkili sınıflandırma doğruluğunu %96.44 ile ShuffleNet modelinin sağladığı görülmüştür. Modellerin sınıflandırma performansında doğruluk değerlerinin yüksek orana sahip olduğu, buna karşılık duyarlılık ve özgüllük oranlarının ise daha düşük olduğu görülmüştür. Buna nedenin, modellere ait olan Şekil 8'de karmaşıklık matrisinin Gerçek Negatif değerinin düşüklüğü olduğu, ayrıca özellik seçimi yöntemi kullanılmadığı için olduğu düşünülmektedir.

Tablo 3. ESA modelleri performans sonuçları

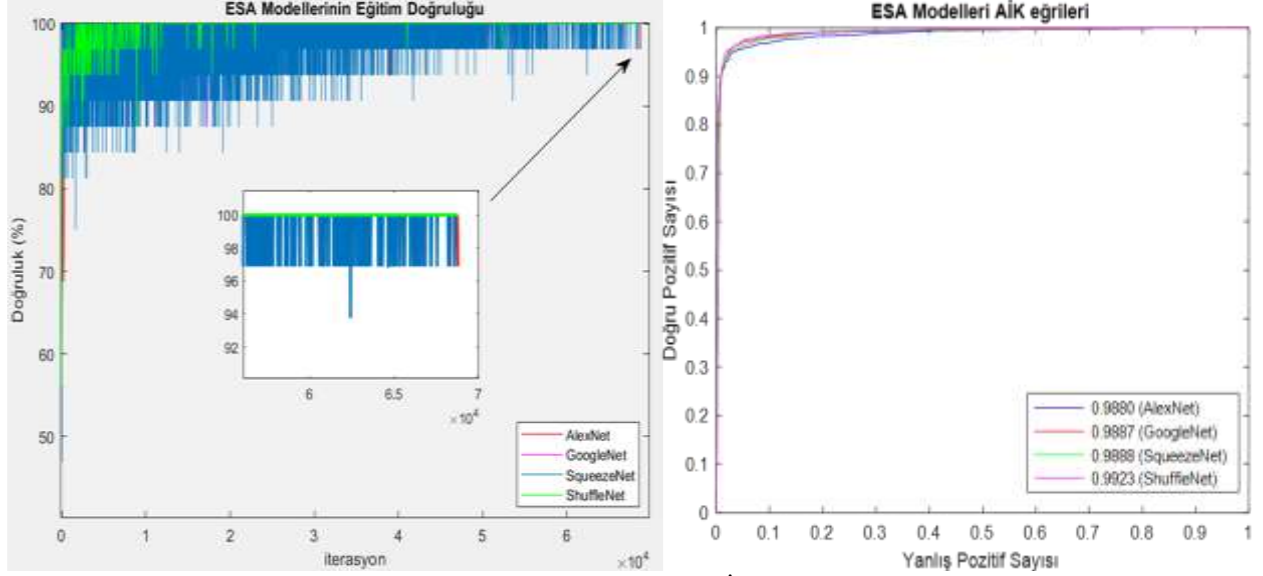
Modeller	Doğruluk	Duyarlılık	Özgüllük
AlexNet	%95.77	%49.10	%50.89
GoogleNet	%96.31	%50	%49.93
SqueezeNet	%95.95	%49.72	%50.27
ShuffleNet	%96.44	%49.52	%50.47

Şekil 8'de ESA modellerine ait karmaşıklık matrisleri verilmiştir. Karmaşıklık matrisleri irdelendiğinde ESA modellerinin sıtma hücrelerinde parazit ve enfekte olmayan hücreleri ayırt etme yeteneklerinin birbirine yakın olduğu görülmüştür. Bu bağlamda, karmaşıklık matrislerinde çapraz parametreler olan GP ve GN değerlerinin, YP ve YN parametrelerine göre daha çok örneği tespit ettikleri sonucu görülmüştür.



Şekil 8. ESA modellerinin karmaşıklık matrisleri

Şekil 9’da gösterilen ESA modellerinin sıtma hücrelerinin eğitim doğrulukları grafiği ve AİK eğrileri verilmiştir. Eğitim doğrulukları göz önüne alındığında, AlexNet modelinin yaklaşık 25000. iterasyondan sonra GoogleNet modelinin 27000. iterasyonda sonra, ShuffleNet modelinin 12000. iterasyonda sonra, SqueezeNet modelinin 25000. iterasyondan sonra elde edilen doğruluk değerlerinde kararlı hale geldikleri gözlemlenmiştir. AİK eğrileri örnek sayısından bağımsız olarak modellerin sınıf olarak başarımını görselleştiren ve ölçen metotlardan biridir. Ayrıca Şekil 9’da verilen, ESA modellerinin eğitim doğrulukları grafiğinde modellerin iterasyon son sayıları olan 60000-68800 aralığında aynı seviyeye geldiği grafik üzerinde yapılan yakınlaştırma işlemi neticesinde saptanmıştır. ESA modellerin AİK eğrileri de Şekil 9’da verilmiştir. Buradan hareketle, sıtma hücrelerinin sınıflandırma işlemi, en iyi doğruluk oranı ile ShuffleNet tarafından yapılmıştır ve EAA değeri 0.9923 olarak elde edilmiştir.



Şekil 9. ESA modellerinin Eğitim Doğrulukları, AİK eğrileri ve EAA değerleri

4. Tartışma

Çalışmanın bu bölümünde, sıtma hücrelerinin sınıflandırılmasında yapılan çalışmalara yer verilmiştir. Bu bağlamda, bu çalışmalara ait, veri setindeki örnek sayıları, kullanılan veri seti, sınıf sayıları, sınıflandırma başarı oranları göz önüne alınarak bir Tablo 4’de sunulmuştur.

Tablo 4. ESA modelleri performans sonuçları

Metotlar	Veri seti ve kayıt sayısı	Sınıf sayısı	Sınıflandırıcı başarı oranları
Karar Ağacı, Naive Bayes ,Minimum uzaklık, YSA [29].	CDC (Halk Sağlığı Konusunda Parazitlerin Laboratuvar Tanımı) -165 kayıt	2	% 88
VGG19-DVM [30]	Tagore Tıp Koleji & Hastane ve MAMIC veritabanı-2550 kayıt	2	% 93.1
LeNet-5 [31]	PEIR-VM- 2703 kayıt	2	% 95
AlexNet, ResNet, VGG-16 ve DenseNet [21]	Ulusal Sağlık Enstitüleri-27.558 kayıt	2	Genel doğruluk % 96.60
Bu çalışma Derin Evrimsel Sinir Ağları (ShuffleNet)	Ulusal Sağlık Enstitüleri-27.558 kayıt	2	% 96.44

Tablo 4’de seçilen çalışmalar veri setleri açısından incelendiğinde, deneysel çalışmalarda özel veri setlerinin kullanıldığı ve veri setlerinde yer alan sınıf sayıları dikkate alındığında ise en az iki sınıfa sahip problemler üzerinde çalışmaların yapıldığı görülmektedir. Bu bağlamda, yapılan çalışmada sıtma hücrelerinin sınıflandırmasında ShuffleNet ESA modelinin %96.44 doğruluk oranı elde ettiği görülmektedir. Referans [29]’de toplam 165 enfekte sıtma hücrelerinin mikroskopik kan görüntüleri kullanılarak Karar ağacı sınıflandırıcısı ile saptanması üzerine bir çalışma yapılmıştır. Çalışmada Karar ağacı sınıflandırıcısına ek olarak, Naive Bayes, Minimum uzaklık, YSA metotları da kullanılmıştır. Bir diğer çalışma [30]’da ise enfekte olmuş falciparum sıtma hücrelerini transfer öğrenme yaklaşımı kullanarak tanımlamak için yeni bir derin sinir ağı modeli tanıtılmıştır. Önerilen bu transfer öğrenme yaklaşımı, mevcut VGG ağı ile SVM’nin birleştirilmesiyle elde edilmektedir. Bu yaklaşım ve toplam 2550 kayıt ile %93.1 doğruluk oranı elde edilmiştir.

5. Sonuç

Bu çalışmada, sıtma hücrelerinin sınıflandırılması için çeşitli derin öğrenme tabanlı sınıflandırma yaklaşımlarının performans karşılaştırılması sunulmuştur. Bu makalede sunulan tüm sınıflandırma algoritmaları, genel doğruluk ve EAA açısından minimum performans sırasıyla % 95.77 ve 0.9880 olmak üzere nispeten iyi performans göstermiştir. Ayrıca, bu algoritmaların hesaplama (bellek ve zaman) açısından çok süre alması ve daha çok bellek miktarına ihtiyaç duydukları gözlemlenmiştir. Sıtma hücre imgelerini parazit ve enfekte olmamış olarak sınıflandırmak için ESA tabanlı mimarilerin uygulanmasının etkili sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Transfer öğrenme tabanlı ESA yaklaşımlarının performansı, ESA tabanlı sınıflandırma modellerinin özelliklerin çıkarılmasında iyi olduğu gerçeğini açıkça göstermektedir. Sonuç olarak, sıtma hücrelerinin sınıflandırılmasında, sırasıyla AlexNet, GoogleNet, SqueezeNet, ShuffleNet ESA modelleri ile % 95.77, % 96.31, % 95.95, % 96.44 ve 0.9880, 0.9887, 0.9888, 0.9923 EAA performans değerleri elde edilmiştir. ESA modelleri performans değerleri olarak Tablo 3’den anlaşılacağı üzere en iyi sınıflandırma sonucu, ShuffleNet ESA modeli ile edilmiştir. İleriki çalışmalarda ise, sıtma hücrelerinin sınıflandırılması çalışmaları daha derinlemesine irdelenecektir. Bu kapsamda, literatür çalışmaları derinlemesine incelenip, yeni bir ESA modeli sunulması amaçlanmaktadır.

Yazarların Katkısı

Çalışmanın tasarlanmasında, uygulamanın yapılması ve yorumlanması %100 yazarın kendisine aittir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada, araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar

- [1] Liang Z., Fulfilment P., The OF, For R, Degree THE, Master OF, Arts OF, 2017. Automatic Image Recognition of Rapid Malaria Emergency Diagnosis: A Deep Neural Network Approach Automatic Image Recognition of Rapid Malaria Emergency Diagnosis : a Deep Neural Network Approach. .
- [2] Sunarko B., Djuniadi Bottema M., Iksan N., Hudaya K.A.N., Hanif M.S. 2020. Red blood cell classification on thin blood smear images for malaria diagnosis. J Phys Conf Ser., doi: 10.1088/1742-6596/1444/1/012036.
- [3] Saritha D.S.J. 2019. Classifying Malaria Cell Images Dataset using Machine Learning Algorithms. Int J Res Appl Sci Eng Technol, 7 (4): 2409-2412.
- [4] Afrane Y.A., Zhou G., Githeko A.K., Yan G. 2014. Clinical malaria case definition and malaria attributable fraction in the highlands of western Kenya. doi: 10.1186/1475-2875-13-405.

- [5] Suriya M., Chandran V., Sumithra M.G. 2019. Enhanced deep convolutional neural network for malarial parasite classification. *Int J Comput Appl*, 0 (0): 1-10.
- [6] Bairagi V.K., Charpe K.C. 2016. Comparison of texture features used for classification of life stages of malaria parasite. *Int J Biomed Imaging*. doi: 10.1155/2016/7214156.
- [7] Malihi L., Asl K.A., Behbahani A. 2015. Improvement in Classification Accuracy Rate Using Multiple Classifier Fusion Towards Computer Vision Detection of Malaria Parasite (*Plasmodium vivax*). *Jundishapur J Heal Sci*. doi: 10.5812/jjhs.25114v2.
- [8] Das S., Sony P., Jyothi R.L. 2018. Automated Identification & Classification of Malarial Parasites in Thin Blood Smear Images. *International Research Journal of Engineering and Technology*, 5 (5): 4214-4218.
- [9] Saiprasath G., Nsren Babu R., ArunPriyan J., Vinayakumar R., Sowmya V., Soman kp.; center for computational Engineering and networking, Amrita School of Engineering I., 2019. Performance Comparison of Machine Learning Algorithms for Malaria Detection Using. *Ijar*, 6 (1):86-90.
- [10] Nugroho H.A., Akbar S.A., Murhandarwati E.E.H. 2016. Feature extraction and classification for detection malaria parasites in thin blood smear. In: *ICITACEE 2015 - 2nd Int. Conf. Inf. Technol. Comput. Electr. Eng. Green Technol. Strength. Inf. Technol. Electr. Comput. Eng. Implementation, Proc. IEEE*, 197-201.
- [11] Bbosa F., Wesonga R., Jehopio P. 2016. Clinical malaria diagnosis: rule-based classification statistical prototype. *Springerplus*, doi: 10.1186/s40064-016-2628-0.
- [12] Adebayo A.A., Oguntuyib T., Olabode O., Olumoyed M.Y., Nwaiwu J.C. 2019. Malaria Parasite Classification based on Severity level: A Comparative Evaluation of Sigmoid and Radial Basis Function. *Int J Sci Eng Res*, 10 (7): 1770-1778.
- [13] Krishnan S., Antani S., Jaeger S., 2017. Visualizing Deep Learning Activations for Improved Malaria Cell Classification. *First Work Med Informatics Healthc (MIH 2017)*, PMLR, 40-47.
- [14] Razzak M.I. 2015. Malarial Parasite Classification using Recurrent Neural Network. *Int J Image Process*, 9: 69-79.
- [15] Budak Ü., Cömert Z., Rashid Z.N., Şengür A., Çıbuk M. 2019. Computer-aided diagnosis system combining FCN and Bi-LSTM model for efficient breast cancer detection from histopathological images. *Appl Soft Comput J*, 85: 105765.
- [16] Budak Ü., Cömert Z., Çıbuk M., Şengür A. 2020. DCCMED-Net: Densely connected and concatenated multi Encoder-Decoder CNNs for retinal vessel extraction from fundus images. *Med Hypotheses*. doi: 10.1016/j.mehy.2019.109426.
- [17] Diker A., Avci E. 2019. Feature extraction of ECG signal by using deep feature. *7th Int Symp Digit Forensics Secur ISDFS 2019*. doi: 10.1109/ISDFS.2019.8757522.
- [18] Özyurt F. 2019. Efficient deep feature selection for remote sensing image recognition with fused deep learning architectures. *J Supercomput*. doi: 10.1007/s11227-019-03106-y.
- [19] Zhang X., Zhou X., Lin M., Sun J. 2018. ShuffleNet: An Extremely Efficient Convolutional Neural Network for Mobile Devices. *Proc IEEE Comput Soc Conf Comput Vis Pattern Recognit*, 6848-6856.
- [20] Ucar F., Korkmaz D. 2020. COVIDiagnosis-Net: Deep Bayes-SqueezeNet based diagnosis of the coronavirus disease 2019 (COVID-19) from X-ray images. *Med Hypotheses*, 140 (April): 109761.
- [21] Narayanan B.N., Ali R.A., Hardie R.C. 2019. Performance analysis of machine learning and deep learning architectures for malaria detection on cell images. In: *SPIE-Applications Mach. Learn.* s: 29.
- [22] Cömert Z. 2019. Otitis media için evrimsel sinir ağlarına dayalı entegre bir tanı sistemi. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 8 (4): 1498-1511.
- [23] Krizhevsky A., Sutskever I., Hinton G.E. 2012. ImageNet classification with deep convolutional neural networks. *Adv Neural Inf Process Syst*, 2: 1097-1105.
- [24] Guan C.Z. 2019. Realtime multi-person 2D pose estimation using ShuffleNet. *14th Int Conf Comput Sci Educ ICCSE 2019, (Iccse)*: 17-21.
- [25] Diker A., Cömert Z., Avci E., Velappan S. 2018. Intelligent system based on Genetic Algorithm and support vector machine for detection of myocardial infarction from ECG signals. In: *2018 26th Signal Process. Commun. Appl. Conf.* s: 1-4.
- [26] Diker A., Comert Z., Avci E., Togacar M., Ergen B. 2019. A Novel Application based on

- Spectrogram and Convolutional Neural Network for ECG Classification. 1st Int Informatics Softw Eng Conf Innov Technol Digit Transform IISEC 2019-Proc. doi: 10.1109/UBMYK48245.2019.8965506.
- [27] Diker A., Avci E., Cömert Z., Avci D., Kaçar E., Serhatlioğlu İ. 2018. Classification of ECG signal by using machine learning methods. In: 2018 26th Signal Process. Commun. Appl. Conf. s: 1-4.
- [28] Diker A., Cömert Z., Avci E. 2017. A Diagnostic Model for Identification of Myocardial Infarction from Electrocardiography Signals. Bitlis Eren Univ J Sci Technol, 7 (3): 132-139.
- [29] Muneer S., Khanzada T.J., Jatoi S., Naz B. 2018. Detection of Noisy Blood Images Indicating Prodromal Diseases. International Journal of Latest Trends in Engineering and Technology, 12 (6): 1-6.
- [30] Vijayalakshmi A., Rajesh Kanna B. 2019. Deep learning approach to detect malaria from microscopic images. Multimed Tools Appl. doi: 10.1007/s11042-019-7162-y.
- [31] Pan W.D., Yuhang D., Dongsheng W. 2012. Classification of Malaria-Infected Cells Using Deep Convolutional Neural Networks. Intech, i(tourism): 13.

Araştırma Makalesi / Research Article

The Electrochemical Synthesis of Ferritic Stainless Steel Alloyed With Nb in H₂SO₄ Environment

Hülya DEMİRÖREN*

*University of Canakkale Onsekiz Mart, Faculty of Engineering, Department of Material Science and Engineering, Canakkale, Turkey
(ORCID: 0000-0001-5213-6151)*

Abstract

The current paper, the corrosion behaviors of three types stainless steel alloys with particular Nb element rates synthesized to determine the influence of Nb amount. Niobium is stabilizing element for steels. Besides niobium has higher affinity than chromium. So niobium prevents chromium depletion by making niobium carbide. Niobium microalloying is helpful procedure in order to control recrystallization of steel. Niobium microalloying is related on grain refinement. FSS samples were unalloyed and alloyed with 0.5 and 1% Nb samples. Unalloyed sample is reference sample. The specimens are casting and then forging products. Different heat treatments were applied to samples because of homogenization. The samples were exposed the sulphric acid solution. Ferritic stainless steel (FSS) electrodes were analyzed using electrochemical impedance spectroscopy (EIS). The experiments were performed using with three electrodes system at room temperature. The corrosion product morphology on the surface tests of specimens was investigated with SEM. SEM micrographs showed that the samples exposed the generalized pitting in the solution. Corrosion rate was accounted by Stearn-Geary equation. It was observed that both niobium alloying and heat treatment for 30 minutes is increased oxidation resistance of ferritic stainless steel to pitting corrosion. The results indicated that niobium reinforced the passif layer.

Keywords: Ferritic stainless steel, niobium, corrosion, electrochemical synthesis.

Farklı Miktarlarda Niyobyum ile Alaşımlandırılmış Ferritik Paslanmaz Çeliğin Sülfürik Asitte Elektrokimyasal Sentezi

Bu çalışmada, Nb miktarının etkisini belirlemek için belirli oranlarda Nb elementine sahip üç tip paslanmaz çelik alaşımın korozyon davranışları sentezlenmiştir. Niyobyum, çelikler için stabilize edici elementtir. Ayrıca niyobyum, kromdan daha yüksek afiniteye sahiptir. Bu yüzden niyobyum, niyobyum karbür yaparak tane içinde krom fakirleşmesini önler. Niyobyum mikroalaşım, çeliğin yeniden kristalleşmesini kontrol etmek için kullanılan yararlı bir prosedürdür. Niyobyum mikroalaşım, tane inceltme ile de ilgilidir. FSS numuneleri alaşımsızdır ve %0.5 ve %1 Nb numuneleri ile alaşımlanmıştır. Alaşımsız numune, referans numunedir. Numuneler döküm ve dövme ürünüdür. Homojenizasyon elde etmek için numunelere farklı ısı işlemler uygulanmıştır. Numuneler sülfürik asit çözeltisine maruz bırakılmıştır. Ferritik paslanmaz çelik (FSS) elektrotları, elektrokimyasal empedans spektroskopisi (EIS) kullanılarak analiz edilmiştir. Testler, oda sıcaklığında üç elektrotlu sistem kullanılarak yapılmıştır. Numune yüzeylerindeki korozyon ürünlerinin morfolojisi SEM ile incelenmiştir. SEM mikrografları, numunelerin çözelti içinde çukurcuk korozyonuna uğradığı görülmüştür. Korozyon hızları Stearn-Geary denklemi ile hesaplanmıştır. Hem niyobyum alaşımının hem de 30 dakikalık ısı işlemin, ferritik paslanmaz çeliğin çukurcuk korozyonuna karşı korozyon direncini arttırdığı gözlemlenmiştir. Sonuçlar, niyobyumun pasif tabakayı güçlendirdiğini göstermiştir.

Anahtar kelimeler: Ferritik paslanmaz çelik, niyobyum, korozyon, ferritik paslanmaz çelik.

1. Introduction

There are three main types stainless steels austenitic, martensitic and ferritic Austenitic and ferritic SS have the best corrosion resistance among these steels. Steels have been used in a lot of industrial

*Corresponding author: hulyademiroren@gmail.com

Received: 07.10.2020, Accepted: 05.11.2020

applications. The consistence of oxide film and its repassivation kinetics can be improved by means of alloying elements. The decay of the passive layer can begin by means of alchemical or machine-driven attack in acidic environment resulting in the localized corrosion [1,2]. To improve corrosion behavior of the SS, the natural reaction of Cr and Fe on the outside to form passive layers consisting of both oxides and hydroxides is an significant agent [3]. There are a few methods. Alloying is a favorite method. The best alloying elements for stainless steels are Nb, Mo, Ti, V and W due to their stabilizer properties. The efficacy of Sn on corrosion rate of FSS in was analyzed by electrochemical methods and gravimetric tests at 25°C [4]. Tribocorrosion activity of AISI 4340 ferric SS flowing against alumina in 0.5 M H₂SO₄ has been checked employing a system of electrochemical measure [5]. The effect of Nb alloying is tested on the electrochemical activity of low-alloy steel using EIS in H₂SO₄ environment.[6]. Bojinov et.all.[7] found an addition of the electric circuit archetype to estimate the electrochemical action of anodic layers on unalloyed steel alloys in 1 M H₂SO₄ environment. Super 304H ASS were studied by polarization tests having dynamic and static character and surface analysis in order to determine effects of Nb and media temperature on pitting corrosion [8]. The corrosion behavior of 304L type SS was investigated in a unaired 1M H₂SO₄ solution [9]. Irani and Ghazani investigated the influence of grain refinement on electrochemical behavior of 18.5 % Cr ferritic stainless steel. They found that the refining grain has good effect on the samples [10]. 430 ferritic stainless steel in concrete was investigated. It was presented some measurements [11]. In other study, Fe-20Cr alloy was tested in 1 M H₂SO₄ at 30°C. Resistance of protective layer was observed using Mott-Scotty analysis [12]. Luo at all. investigated 316L stainless steel in calcium hydroxide and potassium hydroxide solutions. They found that 316L stainless steel has resistance to pitting corrosion [13]. Xu at all observed corrosion behavior and passive layer features of 304 stainless steel in high temperature solutions. They discussed the correlation between these phenomena [14].

Niobium is one of alloying elements extensively used due to properties improving corrosion and mechanical properties of steels. One of the major benefits of Nb is to prevent intergranular corrosion forming carbides before chromium. This occurs at 550–800°C. Intergranular corrosion and intergranular stress corrosion cracking arise from sensitization basically [15-20]. Bai et all. [21] investigated effect of niobium on 304 stainless steel in 60 % nitric acid media.

This paper presents the effect niobium element in enhancing corrosion resistance comparison with unalloyed stainless steel. Besides, it shows the effect of heat treatment and presents knowledge faithfulness of EIS.

2. Material and Method

2.1. Materials

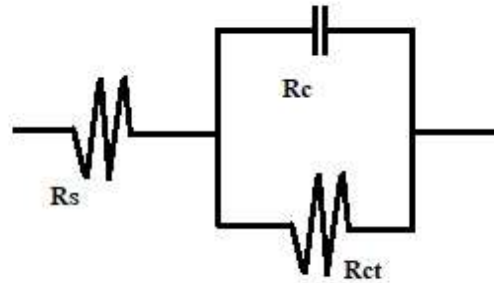
The specimens are 12Cr ferritic stainless steel. Table 1 shows the elemental analysis of samples. It has been constituted three sets: The first set is without heat treatment, the second set was exposed for 30 minutes and third set was exposed for 180 minutes at 1100°C. Then they were quenched. The samples were exposed to 1200 grid silicon paper. The electrochemical tests were realized in a conventional three-electrode device. Reference electrode is Ag/AgCl electrode and counter electrode is Pt foil. FSS is working electrode. The electrochemical investigations was performed with CHI 604 model potentiostat/galvanostat device. Merck mark chemicals are used. SEM photographs of samples were obtained

Table 1. The spectral analysis of specimens

Sample no	Alloy Ele.	Elements (wt. %)									
		C	Mn	Si	Cr	Nb(±0.02)	Ti	Mo	V	P	S
S1	FSS	0.048	0.25	0.28	18.21	-	-	-	-	0.02	0.01
S2	.5% Nb	0.054	0.081	0.03	18.15	0.5	-	0.065	0.030	0.030	0.012
S3	1 % Nb	0.052	0.109	0.246	18.06	1	-	0.061	0.026	0.019	0.009
S4	3% Nb	0.053	0.188	0.368	17.64	3	-	0.065	0.136	0.007	0.006

2.2. Electrochemical data

The electrochemical impedance spectroscopy was used as test method. The tests were performed under air and at room temperature. Impulses in EIS datas were applied in the frequencies 10^5 - 10^{-1} Hz with peak-to-peak AC amplitude of 7 mV. There is equivalent circuit model in Figure 1 [22].



Rs: Solution resistance
Rc: Capacitance resistance
Rct: Charge transfer resistance

Figure 1. Electrical circuit model of Fe-Cr alloys

3. Results and Discussion

3.1. An overview corrosion

Polarizations values are listed in Table 2

Table 2. Polarization parameters of FSS samples in 0.1 M H₂SO₄ acid solution

Samples	Homogenization period	R_p (ohm)	E_{corr} (Volt)	I_{corr} (mAmper)
S1	<i>a-without</i>	34.75	-0.520	1.5
	<i>b-1/2 hour</i>	23.33	-0.504	2.31
	<i>c-3 hours</i>	71.25	-0.527	0.83
S2	<i>a-without</i>	23.45	-0.523	2.37
	<i>b-1/2 hour</i>	34.35	-0.499	2.07
	<i>c-3 hours</i>	48.39	-0.507	1.36
S3	<i>a-without</i>	30.80	-0.523	1.89
	<i>b-1/2 hour</i>	36.34	-0.523	1.44
	<i>c-3 hours</i>	34.85	-0.522	1.68
S4	<i>a-without</i>	23.7	-0.501	2.23
	<i>b-1/2 hour</i>	38.23	-0.520	1.37
	<i>c-3 hours</i>	43.43	-0.519	1.55

Figure 2 shows the variations of the impedance spectra.

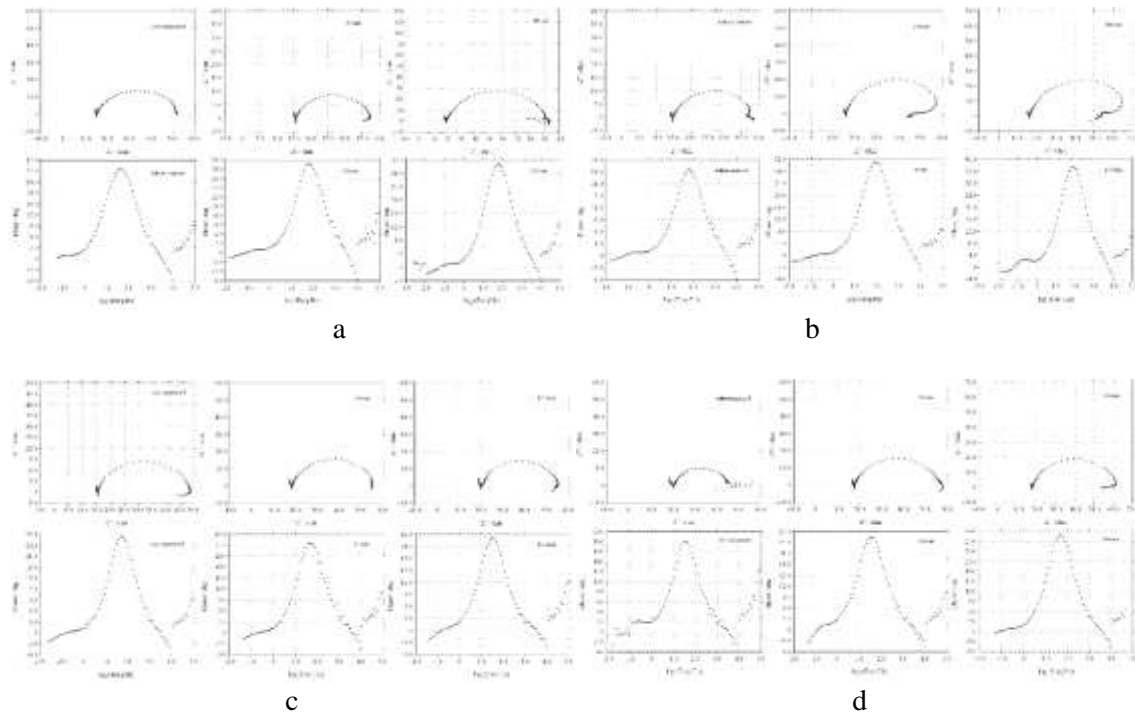


Figure 2. Variations of impedance spectra and the phase angel (θ)-log freq circles of a-S1 b-S2 c- S3 d-S4 in 0.1 Molar H_2SO_4

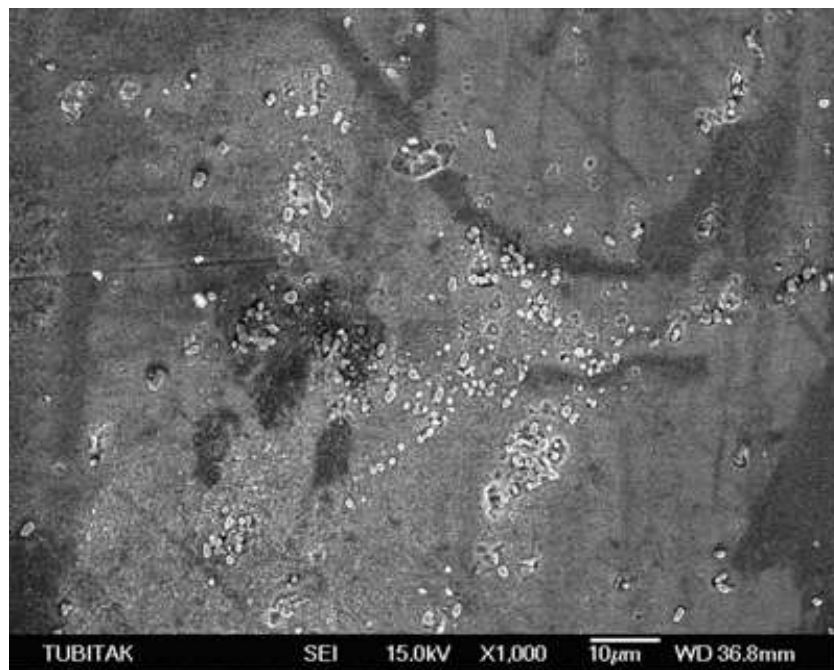


Figure 3. SEM images of S2-b specimen

To obtain polarization resistance (R_p) value used The Nyquist graphics including both charge transfer resistance (R_{ct}) (Fig. 3) and diffuse layer resistance (R_d) [23]. The semicircle in the high frequency region is refer to the impedance of the surface films formed on the surface. Warburg impedance was not seen in low frequencies. The E_{corr} values were obtained as -0.520 , -0.504 and -0.527 V in order. The highest phase angel is 1.8 Hz. The heat treatment improved R_p value. When heat treatment period increased the R_p value increased for S1 sample because of protective metal oxide layer formed on the surface. Additionally destroying of oxide layer was prevented by means of removing discontinuities because of heat treatment dissolved $M_{23}C_6$ carbides, as seen in Fig 4.

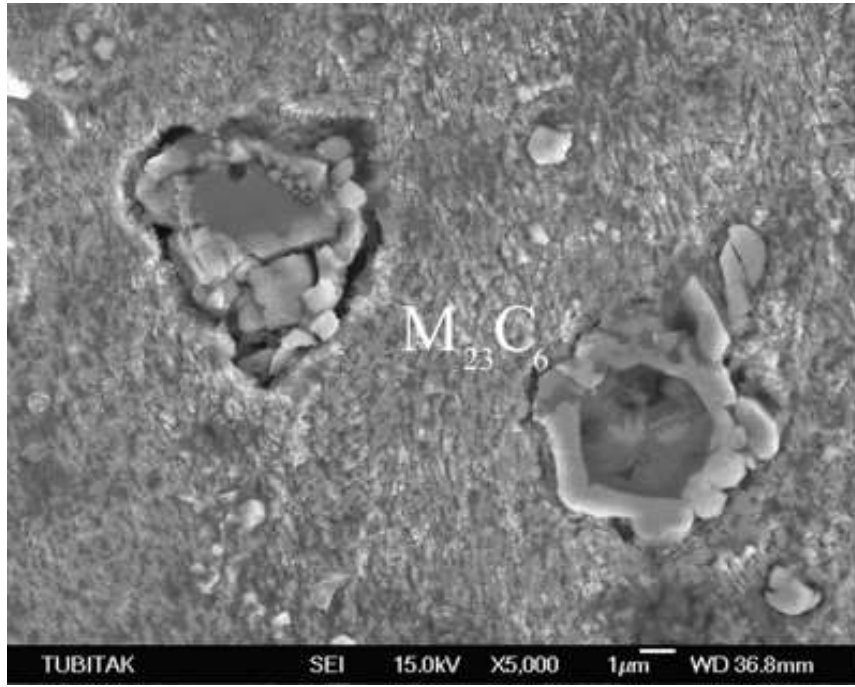


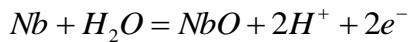
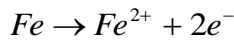
Figure 4. SEM images of sample S3

Nyquist diagrams exhibit semicircular change, as seen from in Fig. 2(b). Free-heat treatment sample S2 has the worst corrosion impedance (23.45Ω) and then resistance rised to 34.35Ω and 48.39Ω as homogenization time increased 30, 180 minutes respectively. This indicates that free-heat treatment sample S2 expose to corrosion because of damaging on its passive layer. In sample S2, the highest phase angel was attained as 2 Hz.

As observed from figure 2c, the type of Nyquist diagrams look like to others. The corrosion resistance of sample is observed at high frequencies and Warburg impedance was not observed at low frequencies region of the diagrams.

Nyquist diagram of sample S4 have semi-ellipse change as seen in Figure 2(d). The sample exposed to heat treatment-180 minutes has ultimate corrosion resistance. Maximum phase angel is 1.6 Hz.

None of samples has Warburg impedance. It can be explained that the corrosion mechanism has not controlled by diffusion and the ion diffusion actualizes toward metal surface on oxide layer. It can be said that the pitting resulted in corrosion damage. Consequently, stable oxides formed by means of oxidizing of metal. These electrochemical processes are following [24]:



According to Table 2, niobium improved corrosion resistance of free-heat treatment steel samples and exposed to heat treatment FSS electrodes for long period. When niobium amount increased the R_p values increased for samples homogenized for half an hour. Generally, all of the steels have exposed to heat treatment. Because of composed of a lot of elements, they need homogenizationoperation. So, it can be proposed that niobium reduced corrosion rate of ferritic stainless steel.

The value of R_p was obtained from Nyquist diagrams. R_p resistants are used to count the corrosion currents (I_{corr}) from the Stearn-Geary equaivalent ($I_{corr} = B / R_p$), the value of B is 52 mV for steel [25, 26].

3.2. Surface analysis

The specimens exposed to homogenization for 30 minutes are analyzed by SEM as seen in Fig. 5. Pitting is observed on the surface of samples. Additionally surface of samples with Nb are more regular surfaces.

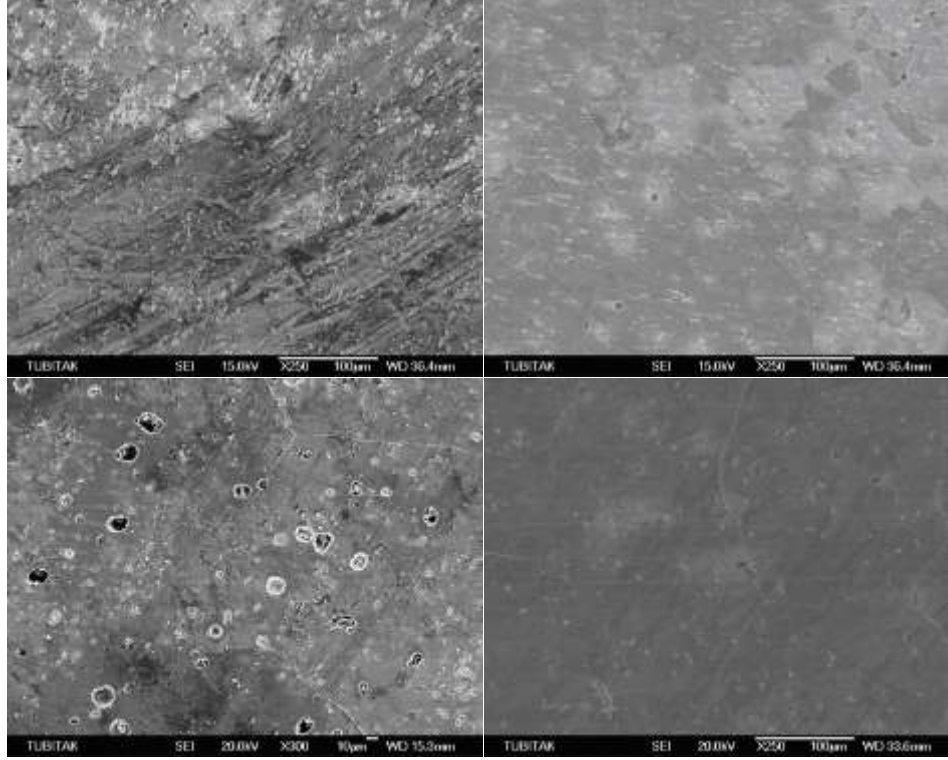


Figure 5. SEM images of samples S1- S4 homogenized for 30 minutes, respectively

According to results of experiment, it was obtained better result samples with niobium. It can be explained that: there is a stable layer on surface of sample. This layer was constituted by niobium. Alonso-Falleiros et. al. [27] and Seo [28] explained the conglomeration of Nb on the superface during active solution of ferritic steel in H_2SO_4 acidic environment. Niobium element formed niobium oxides, probably. The oxide layer protected the surface. Oxide layer formed by means of Nb has worse protection than that of Cr [29-31].

4. Conclusions

- The Impedance spectroscopy technique (*EIS*) must be preferred to study corrosion of stainless steel. Since the method has given accurate data.
- The stainless steels in sulphuric acid solutions suffered the localized corrosion commonly.
- According to *EIS* measurements, the addition of niobium has the useful influence of improving the corrosion resistance of the samples since niobium constitutes stable niobium carbide with carbon. Consequently, this prevents depletion of chromium in the matrix and then intergranular corrosion does not occur.
- When niobium amount increased, the R_p values increased for specimens exposed for half an hour.
- Pitting corrosion was determined on the surface of samples.

Author's Contributions

The entire work was done by the author

Statements of Conflicts of Interest

The author has no conflict of interest regarding this article.

Statement of Research and Publication Ethics

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

References

- [1] Beck T.R. 1974. Reactions and Electrochemical Kinetics of Freshly Generated Metal Surfaces. *Corrosion*, 30: 408-411.
- [2] Scully J.C. 1975. The role of hydrogen in stress corrosion cracking. In: A.W. Thompson and I.M. Bernstein, Editors, *Effect of Hydrogen on Behavior of Materials*, Proceedings of an International Conference, AIME.
- [3] Yu Y., Shironita S., Souma, K., Umeda, M. 2018. Effect of Chromium Content on the corrosion resistance of ferritic stainless steel in sulfuric acid solutions. *Heliyon*, 4 (11): 1-13.
- [4] Zhang X.J., Gao F., Liu Z., 2016. Effect of Sn on the Pitting Corrosion Behavior of Ultra-Purified 17% Cr Ferritic Stainless Steel. *J. of Iron and Steel Research*, 2310: 1044-1053.
- [5] Stemp M., Mischler S., Landolt D. 2003. The effect of mechanical and electrochemical parameters on the tribocorrosion rate of stainless steel in sulphuric acid. *Wear*, 255: 466-475.
- [6] Nam N.D., Kim J.K. 2010. Effect of Niobium on the corrosion behaviour of low alloy steel in sulfuric acid solution. *Corrosion Science*, 52: 3377-3384.
- [7] Bojinov M., Fabricius G., Laitine T., Makela K., Saario T., Sundholm G. 2001. Influence of molybdenum on the conduction mechanism in passive films on iron-chromium alloys in sulphuric acid solution, *Electrochimica Acta*, 46: 1339-1358.
- [8] Baia G., Lu S., Lia D., Lia Y. 2016. Influences of niobium and solution treatment temperature on pitting corrosion behaviour of stabilised austenitic stainless steels. *Corrosion Science*, 108: 111-124.
- [9] Idiri M., Boubeker B., Sabot R., Goudeau J-F., Dinhut J-L. Grosseau P. 1999. Structure and related corrosion behavior in 1M H₂SO₄ of bcc 304L films prepared by ion beam sputtering. *Surface and Coatings Technology*, 122: 230-234.
- [10] Irani H., Ghazani M.S. 2020. Effect of grain refinement on tensile properties and electrochemical behavior of Fe-18.5%Cr ferritic stainless steel. *Mat Chem and Phys*, 251: 123089.
- [11] Luon H., Su H., Dong C., Xiao K, Li X. 2015. *Data in Brief*, 5: 171-178.
- [12] Kim Y.J., Oh S.K., Ahn S., Oh K., Jung K., Kwon H. 2018. Electrochemical Analysis on the potential decay behavior of Fe-20Cr stainless steels in sulfuric acid solutions. *Electrochimica Acta*, 266: 1-6.
- [13] Luo H., Su H., Dong C., Li X. 2017. Passivation and electrochemical behavior of 316L stainless steel in chlorinated simulated concrete pore solution. *App Surface Science*, 400: 38-48.
- [14] Xu J., Wu X., Han E. 2012. The evolution of electrochemical behavior and oxide film properties of 304 stainless steel in high temperature aqueous environment. *Electrochimica Acta*, 71: 219-226.
- [15] El-Shenawy EH, El-bitar T, Anchev V. 2005. EIS as a Non Destructive Technique to Investigate the Corrosion Behavior of Some Nb-bearing 304L Stainless Steel in NaCl Solution. The 9th International Mining, Petroleum and Metallurgical Engineering Conference, Cairo University, February 21-24.
- [16] Hamdy A.S., El-Shenawy E., El-Bitar T. 2006. Electrochemical Impedance Spectroscopy Study of the Corrosion Behavior of Some Niobium Bearing Stainless Steels in 3.5% NaCl. *J. Electrochem. Sci.*, 1: 171-180.
- [17] Cowan R.L., Tedmon C.S. 1973. *Advances in Corrosion Science and Technology*. in: M.G. Fontana and R.W. Staehle Eds., Vol. 3, New York, NY, Plenum.
- [18] Sedriks A.J. 1996. *Corrosion of Stainless Steels*. 2nd ed., John Wiley, New York, NY.
- [19] Kain V., Prasad R.C., De P.K. 2002. Testing sensitization and predicting ... corrosion and intergranular stress corrosion cracking. *Corrosion*, 58: 15-38.

- [20] Kain V., Chandra K., Adhe K.N., De P.K. 2004. Effect of cold work on low-temperature sensitization behavior of austenitic stainless steel. *J. of Nuclear Materials*, 334: 115-132.
- [21] Lee J.B. 2006. Effects of alloying elements, Cr, Mo and N on repassivation characteristics of stainless steels using the abrading electrode technique. *Materials Chemistry and Physics*, 99: 224.
- [22] Demirören H. 2009. Corrosion behavior of ferritic stainless steel alloyed with different amounts of niobium in hydrochloric acid solution. *Journal of Applied Electrochemistry*, 39: 761-767.
- [23] Walter G.W. 1986. A review of impedance plot methods used for corrosion performance analysis of painted metals. *Corrosion Science*, 26 (9): 681-703.
- [24] Asselin E., Ahmed T.M., Alfantazi N.A. 2007. Corrosion of niobium in sulfuric and hydrochloric acid solution at 75 and 95 C. *Corr. Sci.*, 49: 694.
- [25] Bockris J., Reddy K.N. 1976. *Modern Electrochemistry*, John Wiley and Sons, New York.
- [26] Erbil M. 1988. The determination of corrosion rates by analysis of AC impedance diagrams. *Chimica Acta Turcica*, 1: 59-70.
- [27] Alonso-Falleiros N., Wolyneç S. 1998. Effect of niobium on corrosion resistance to sulfuric acid of 430 ferritic stainless steel *Materials Research*, 1-39: 39-45
- [28] Seo M., Hultquist G., Leygraf S.N. 1986. The influence of minor alloying elements (Nb, Ti and Cu) on the corrosion resistivity of ferritic stainless steel in sulfuric acid solution *Corr. Sci.*, 20-271: 949-960.
- [29] Alonso-Falleiros N, Wolyneç Stephan, 1998, Effect of Niobium on Corrosion Resistance to Sulfuric Acid of 430 Ferritic Stainless Steel, *Mat. Res.* 1: 466-472.
- [30] Uhlig H.H. 1963. *Corrosion and Corrosion Control. An Introduction to Corrosion Science and Engineering*. John Wiley and Sons, London.
- [31] Pourbaix M. 1974. *Atlas of Electrochemical Equilibrium in Aqua Solutions*. NACE International, Cebelcor, Houston, Texas, USA.

Derleme Makalesi / Review Article

Yüksek Hızlı Demiryolları, Üretim ve Ekonomik Kalkınmaya Etkisinin İncelenmesi

Mehmet Çağrı KIZILTAŞ*

*İstanbul Ticaret Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul
(ORCID 0000-0001-9852-9428)*

Öz

Yüksek hızlı demiryolları yenilikçi ulaştırma türlerinden birisidir. Kalkınmaya olumlu etkileri bilinmektedir. Kentleşmenin giderek arttığı çağımızda yenilikçi ve sürdürülebilir uygulamalar bağlamında yüksek konforlu, yüksek kapasiteli ve yüksek hızlı seyahate olan ihtiyaç günden güne artmaktadır. Sürdürülebilir ve çevreci de olması nedeni ile bu noktada yüksek hızlı demiryolları ön plana çıkmaktadır. Bu makalede ilk olarak söz konusu etkiler incelenmiş olup altyapı kalkınması ele alınmıştır. Ardından bu altyapının önemli bir parçası olarak köprüler ve tasarım esasları analiz edilmiştir. Akabinde Türkiye'nin bu bağlamda ulaştırma vizyonu ortaya konulmuştur. Son olarak da sonuç ve öneriler paylaşılmıştır.

Anahtar kelimeler: Yüksek hızlı demiryolları, üretim, kalkınma

A Review of High Speed Railways and Effects on Manufacturing and Development

Abstract

High speed railway is one of the innovative transportation mode. Its positive effect on development is a known issue. In this century which has an increasing urbanization trend, on the context of innovative and sustainable implementations, needs for high comfortable, high capacitated and high speed transport is enhancing day by day. At this point high speed railway gains a priority because of its environment friendly and sustainable characteristic. In this paper firstly mentioned effects are reviewed and infrastructural development is evaluated. Then as an important part of this infrastructure, bridges and their design criterias are analyzed. After these transportation vision of Turkey in this context is given. Lastly conclusions and recommendations are shared.

Keywords: High speed railways, manufacturing, development

1. Giriş

Ulaştırma küresel ölçekte tarihin başlangıcından itibaren gelişme ve kalkınmada başat bir rol oynamaktadır. Ulaştırma; kentleşme, uygarlık ve inşaat mühendisliği ile karşılıklı birbirini destekleyen, besleyen ve üreten bir ilişki içerisinde. Ulaştırma, kentleşme, inşaat aynı zamanda ekonomik kalkınmanın itici güçleridir. Zaten bütün bu faaliyetlerin sonucunda uygarlık ve yaşam seviyesinde yol kat edilmektedir. Bunada günümüzde kısaca teknik gelişmelerden hareketle teknolojik ilerlemeler denmektedir.

Demiryolları ise karayolu ulaştırma türünün dengesiz ağırlığını dengeleyebilecek en önemli etkenlerin başında gelmektedir. Karayollarının dengesiz ağırlığı, bu türün kapasitesini aşmakta, karayolu trafik güvenliğini sekteye uğratmakta ve trafik kazalarını ve kayıplarını arttırmaktadır. Dolayısı ile dengeli türel dağılımın ve türler arası entegrasyonun temininde hem genelde hem de ülkemizde demiryolu ulaştırma türünün rolü açıktır [1]. Demiryolları;

- Çevreci
- Az yer kaplayan

*Sorumlu yazar: mckiziltas@ticaret.edu.tr

Geliş Tarihi: 21.01.2020, Kabul Tarihi: 09.09.2020

- Enerji verimli
- Petrol bağımlılığı olmayan
- Alternatif enerji tüketimine imkân sağlayan
- Karayolu ulaştırma türünün yaklaşık 6 şeritte taşıdığı yolcuyla tek hat bir işletimde taşıyabilen bir ulaştırma türüdür.

Bu çalışmanın amacı yüksek hızlı demiryollarının (YHD) tasarım esasları dâhilinde avantajlı noktaları ve ulaştırmaya sağladığı kazanımları diğer ulaştırma türleri ile karşılaştırmak sureti ile ortaya koymak ve böylelikle söz konusu türün tercih edilme gerekçeleri ile ilgili açıklayıcı bir katkı sunmaktadır. Günden güne seyahatlerde gündelik ve haftalık bazlı olarak küresel ölçekte hayatımızda daha çok yer alacak olan söz konusu türün neden ve hangi bağlamda karayolu ve havayolu ulaştırma türlerine tercih edilmesi gerekliliği irdelenmekte ve açıklanmaya çalışılmaktadır. Bu çerçevede de yüksek hızlı demiryolunun (YHD) üretim ve kalkınmayı dolaylı ve doğrudan katkıları ele alınmaya çalışılmıştır.

Yüksek hızlı demiryolu (YHD) ulaştırma türünde ise demiryolu ulaştırma türünün haiz olduğu olumlu niteliklerinin hepsinin seviyesi yükselmektedir. Buna ilaveten diğer hizmet parametreleri olan konfor, güvenlik ve hız da çok daha üst seviyelerde temin edilebilmektedir. Yüksek hızlı demiryolları (YHD) bir ulaştırma türü olarak 50 yılı aşkın bir süreli bir geçmişe sahiptir. Söz konusu ulaştırma türü demiryollarının gelişmiş bir türü olarak, konvansiyonel (geleneksel) demiryollarından (KD) farklı olarak hız, konfor, güvenlik gibi parametreleri daha üst düzeylerde sağlamaktadır. Daha yüksek işletim hızlarına ulaşabildiğinden dolayı da daha uzun güzergâhlarda daha verimli işletimleri sağlayabilmekte, aynı uzunluktaki bir hatta konvansiyonel demiryoluna (KD) nazaran daha az istasyona sahip olmaktadır. Bu da aynı zamanda hız arttırma ve hız azaltma mesafeleri ile ilgili bir konu olup bunun paralelinde de yine hızına bağlı olarak, konvansiyonel demiryollarına (KD) nazaran daha büyük yatay kurlara (sağa ve sola dönüş çapları) sahip olmaktadır. Yüksek hızlı demiryollarının (YHD) küresel ölçekte tek bir tanımı ve sınıflandırmasından söz edilememektedir. Henüz yegâne bir tanıma erişilememiştir. Ancak esas alınabilecek birkaç temel tanımdan söz edilebilir. Yüksek hızlı demiryolları (YHD) genel olarak 200 km/saat'in üzerindeki işletim hızlarına imkân tanıyan altyapılar üzerindeki yüksek hız (YH) sistemleridir. Günümüzde birçok ülkede ortalama 300 km/saat'teki işletim hızları ile işletilen yüksek hızlı demiryolu (YHD) hattı bulunmaktadır. Uluslararası Demiryolları Birliği'ne (UIC_International Union of Railways) göre ise yüksek hızlı demiryolunun (YHD); altyapı, hizmet parametreleri, çeken çekilen araç, işletme ve hız gibi birçok parametreye göre ele alınması gerekmektedir [1].

- Yüksek hıza uygun olarak yeni inşa edilmiş olan altyapılar üzerinde işletilen sistemler için UIC'ın koyduğu asgari yüksek hız (YH) sistemi sınırı 250 km/saat'tir.
- UIC'e göre konvansiyonel demiryolu (KD) hatlarındaki altyapıdan rehabilite edilen hatlarda ki yüksek hızlı demiryolu (YHD) minimum hız değeri ise 200-220 km/saat'tir.
- Avrupa Birliği (AB) direktiflerindeki yüksek hızlı demiryolu (YHD) tanımına bakıldığında ise altyapı kıstası açısından bu alt sınır 250 km/saat olarak verilmiştir.
- Yine aynı direktiflerde konvansiyonel demiryolu (KD) hatlarının rehabilitesi ile elde edilen altyapılar için ise alt hız limiti 200 km/saat'tir [2].

Yüksek hızlı demiryolları (YHD) birbirinin mücavir alanındaki küçük, orta ve büyük ölçekli kentler arasındaki entegrasyonu arttırmakta, günü birlik ev iş yolculuklarına da çoğu zaman imkân tanıyabilmektedir. Bu yönü ile istihdamı arttırdığı gibi turizmi de ciddi katkılar sunabilmektedir. Ayrıca havayolları ile hem bütüncül, tamamlayıcı ve hem de rekabetçi özelliği vardır. Bu şekilde iki ulaştırma türü arasındaki doğru ve etkili bir bağlantı söz konusu bölgenin altyapı kalkınmasına ciddi katkılar sunmaktadır. Diğer taraftan ise yolcu taşımacılığına olduğu kadar yük taşımacılığına da hem maliyet ve hem de verim bakımından sunduğu katkılar ile kalkınmayı desteklemektedir. Diğer bir husus ise yerli ürettir. Demiryollarının ray, makas, lokomotif, vagon, balast, travers, motor ve ilgili aksamlar, sinyalizasyon ve yazılım gibi noktalarda gerçekleştirilecek olan yerli üretim hem ciddi istihdam alanları açma hem ithalat miktarını azaltıp cari açığı kapatma ve hem de teknolojik hamlelere itici güç gibi önemli katkılar sunabilir. Bu ise kalkınmayı doğrudan ve çok yönlü etkileyen bir hususa işaret etmektedir.

2. Materyal ve Metot

İster altyapı olarak addedilsin isterse teknoloji olarak, ilerlemelerin hiç birisi, kürenin neresinde olursa olsun hiçbir zaman birbirinden bütünü ile bağımsız olmamıştır. Günümüzde ise bütünü ile iç içedir. Zira otomobilin ya da herhangi bir manüel aracın olmadığı dönemlerde, yollar sadece (yaya) insanların kullanabileceği genişliktedir. Akabinde atlı ve benzeri araçların geçeceği genişliklere kavuşmuştur. Sonrasında otomobilin icadı ile çok daha geniş olan nihai şerit genişliği ölçülerine kadar ulaşmıştır. Demiryollarının yol genişliği de izli sabit bir güzergâhlı sistem olmasından hareketle kendine şartlarına has olarak ortaya çıkmaktadır. Altyapının doğrudan ya dolaylı olarak bir ülkenin ekonomik, teknolojik, sosyal ve politik gelişmişliğinin temel göstergelerinden birisi olduğu açıktır. Özetle bir ülkenin kalkınmışlık düzeyi kaba hatları ile altyapısı üzerinden tayin edilebilir. Öyle ki gelişmiş ülkeler, gelişmekte olan ülkeler ve gelişmemiş olan ülkelerin altyapıları ve yıllık altyapı yatırımları, bu noktaya ışık tutmaktadır. Altyapı; su (atık su, yağmur suyu, içme suyu), elektrik, doğalgaz, biyoyakıtlar ve alternatif yakıtlar, ulaştırma ve haberleşme (telefon, internet vs.) gibi temel türlerden oluşmaktadır. Bütün bu bileşenler günümüzdeki kentlerin olmazsa olmazları konumundadır. Bugün itibari ile dünya nüfusunun ve gelişmiş ülkeler ile gelişmekte olan ülkeler nüfusunun büyük çoğunluğunun kentlerde ve büyük kentlerde yaşadığı da dikkatlerden kaçırılmamalıdır. Hızla artan kentleşme ve sanayileşme, ekonomik kalkınmanın paralelinde ulaştırma ve hızlı erişim talebini de arttırmaktadır. Bu da kent içi ve kentlerarası ulaştırmada yüksek hız (YH) sistemlerini ön plana çıkarmaktadır [2].

- Gelişmiş ülkelerde yıllık altyapı yatırım bütçelerinin toplam bütçeden aldığı pay azdır. Zira bu ülkeler gelişmiş seviyeye geldiklerinden kısmi sorunlar ve periyodik harcamalar dışında büyük altyapı projelerine girişmemektedir.
- Gelişmekte olan ülkeler ise henüz gelişim periyodunda olduklarından dolayı altyapı bu ülkelerde hem etkileyen (tetikleyen, besleyen) ve hem de etkilenen bir parametre olarak stratejik bir noktadır.
- Gelişmemiş ülkelerde ise henüz ekonomik ivmelenme kazanılmadığı için ne yeterli ölçüde altyapıya olan gereksinim ivmelenmiş ve ne de altyapı kurulumu için itici güç temin edilebilmiştir.

Türkiye'nin 10. Kalkınma Planı dâhilinde 2023 Vizyonunda ülke sathında toplam 11.000 km yüksek hızlı demiryolu (YHD) hattı ve 4000 km de konvansiyonel demiryolu hattının tamamlanması hedefi bulunmaktadır. Küresel ölçekte Pekin'den Londra'ya İpek demiryolunun bir parçası olarak Türkiye'de yüksek hızlı demiryolu (YHD) yatırımları ağırlıklı olarak yolcu taşımacılığına hitap etmekte iken Pekin'den Londra'ya olan demiryolu projesi tamamlandığında önemli miktarlarda yük de taşıyacaktır. Hâlihazırda inşası devam Sivas-Erzincan-Erzurum-Kars yüksek hızlı demiryolu (YHD) hattının bir uzantısı olarak Bakü-Tiflis-Kars yüksek hızlı demiryolu (YHD) hattı geçtiğimiz sene Türkiye'nin önemli inşaat ve finansman destekleri ile tamamlanmıştır. Bu hatta ise yük taşımacılığı da yapılmaktadır [2].

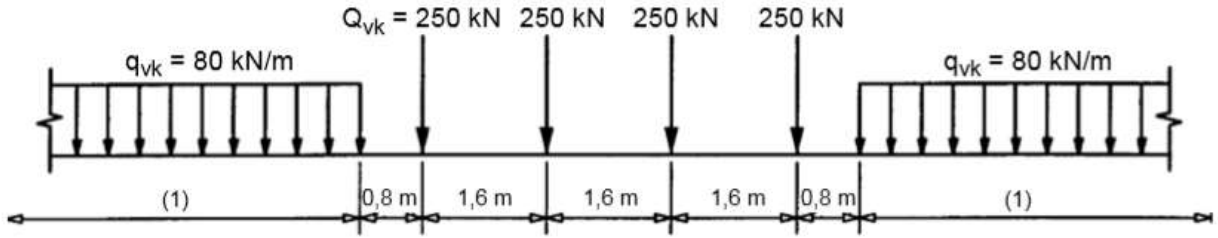
Bu kapsamda ilk olarak Ankara-Eskişehir yüksek hızlı demiryolu (YHD) hattı açılmış olup ardından ise Ankara-Konya yüksek hızlı demiryolu (YHD) hattı işleme alınmıştır. Akabinde ise Eskişehir-Konya yüksek hızlı demiryolu (YHD) hattı ve Eskişehir-İstanbul yüksek hızlı demiryolu (YHD) hattı açılmıştır. Böylelikle İstanbul'dan Konya'ya kadar yüksek hızlı demiryolu ile kesintisiz ulaşım sağlanmıştır. Hâlihazırda Ankara-Yozgat-Sivas yüksek hızlı demiryolu (YHD) hattı, Ankara-Afyon-Manisa-İzmir yüksek hızlı demiryolu (YHD) hattı ve Eskişehir-Bursa-Balıkesir yüksek hızlı demiryolu (YHD) hattının inşaları ise sürmektedir. Bunun yanı sıra gündemde olan birçok yüksek hızlı, hızlı ve konvansiyonel demiryolu hat projesi söz konusudur [3].

2.1. Yüksek Hızlı Demiryolu Yatırımının Altyapı Unsurlarından Köprülerin Yapılandırma Esasları

Bu nokta, standart ve geniş ray gabarisinde (hat açıklığı) demiryolu trafiğine uygulanmaktadır. Bu noktadaki yük modelleri güncel yüklere göre tanımlanmaktadır. Bunlar; ayrı olarak hesaba katılan dinamik artışlar dâhilinde hizmet trafiğinin etkilerini ifade etmektedir. Bu noktada belirlenen yük modellerinin dışındaki trafiğin hesaba katılması bağlamında gerektiği yerde ilgili terkip kuralları dâhilindeki alternatif yük modelleri ayrı ayrı her bir proje için değerlendirilmektedir. Bu nokta aşağıdaki olaylarda uygulanabilir değildir:

- Dar gabarili demiryolları
- Tramvaylar ve diğer hafif raylı sistemler
- Ayırık hatlar
- Askılı ve kablolu demiryolları
- Füniküler

Tasarımcılar; geçici yapıların bazı türlerinin esnekliğinden dolayı geçici köprülere özel önem vermelidirler. Geçici köprülerin tasarımında yük ve gereksinimler işletimciler tarafından belirlenmelidir. Normal demiryolu trafiğine bağlı olarak düşey yüklemenin statik etkilerini ifade etmektedir. Düşey yükler için karakteristik değerler ve yük terkipleri Şekil 1'deki gibidir [4].



Şekil 1. Yük Modeli 71 ve Düşey Yükler İçin Karakteristik Değerler [4]

Şekil 1'de verilen karakteristik değerler, normal demiryolu trafiğinden daha hafif ya da daha ağır olan demiryolu trafiği taşıyan hatlar üzerinde bir α katsayısı ile çarpılmalıdır. Yükler bir α katsayısı ile çarpıldığında 'sınıflandırılmış düşey yük' adını almaktadır. Bu α faktörü Tablo 2'deki gibi bir değişim göstermektedir.

Tablo 1. α Değerleri Değişimi [4]

α	0,75	0,83	0,91	1,00	1,10	1,21	1,33	1,46

İşletme bileşeni, kullanılacak olan α 'nın değerini belirleyebilir. Uluslararası hatlarda ise $\alpha \geq 1$ olması önerilmektedir. 25 tonluk dingil yükü trafik taşıyan hatlar için ise işletme bileşeni $\alpha=1,1$ olarak dikkate alınmalıdır. Aşağıda listelenen olaylar da aynı α faktörü ile çarpılmalıdır:

- Toprak işleri için eşdeğer düşey yük ve toprak basıncı etkileri
- Merkezkaç kuvvetleri
- Lase tesiri (sadece $\alpha \geq 1$ olan değerler için α ile çarpılmaktadır)
- Sürtünme ve frenleme kuvvetleri
- Yapıya kombine tepkime ve değişimli olayların izlenmesi
- Arazi Tasarım Durumları için derayman olayları
- Sürekli açıklıklı köprüler için yük modeli SW/0

Eğilme limitlerinin kontrolünde sınıflandırılmış düşey yükler ve diğer olaylar, α katsayısı ile çarpılmak sureti ile büyütülmektedir. Bunun tek istisnası ise α 'nın birim olarak alındığı yolcu konforudur [5]. Genel etkiler için ray altındaki ya da mücavir alanındaki toprak işlerinin demiryolu trafiği olaylarına bağlı olarak eşdeğer özellikli düşey yükleme, rayın seyir yüzeyinin altındaki bir 0,70 metre düzeyinde 3 metre genişlikli üniform yayılı uygun bir yük modeli olarak dikkate alınabilir. Sözü edilen üniform yayılı yüke herhangi bir dinamik katsayı ya da arttırma uygulanması gerekmemektedir. Bir ray yakınındaki yerel bir unsurun (örneğin balast koruma duvarı) tasarımı için, demiryolu trafik olaylarına bağlı olarak elemandaki maksimum yerel düşey, enine ve boyuna yükleme dikkate alınarak özel bir hesaplama yürütülmelidir [5].

2.1.1. Platformlar İçin Yükleme

Köprülerdeki istasyon platformları için yüklemeler ise demiryolu işletimcilerinin gereksinimlerine göre olmalıdır.

2.1.2. Korkuluklar ve Güvenlik Bariyerlerindeki Yüklemeler

Yaya korkulukları ve araç korkulukları için yatay yüklemeler, yaya yükleme etkileri için ilgili ulusal ve uluslararası gereksinimler ve kısıtlayıcı araç trafiğinden kaynaklı yükleme etkilerine göre yapılmalıdır.

2.1.3. Merkezkaç Kuvvetleri

Köprüdeki bir rayın köprü uzunluğunun bir kısmı ya da tamamı boyunca kurba tabi tutulduğu yerde merkezkaç kuvveti ve ray deverinin dikkate alınması gerekmektedir. Merkezkaç kuvvetleri, seyir yüzeyi üzerinde 1,80 metre yüksekliğindeki yatay bir doğrultuda dışa doğru etkiyecek şekilde hesaba katılmalıdır. Örneğin çift istifli konteynırlar gibi çeşitli trafik türleri için her bir projede münhasıran bir h_1 yükseltgenme değeri belirlenmelidir. Merkezkaç kuvveti her zaman düşey trafik yükleri ile terkip edilmelidir. Merkezkaç kuvveti φ_2 ve φ_3 gibi dinamik katsayılar ile çarpılmamalıdır. Merkezkaç yüklerinin düşey etkileri hesaba katıldığında ise devere bağlı olarak herhangi bir merkezkaç yük azaltmasının düşey yük etkisi, ilgili dinamik katsayı ile arttırılmaktadır [6]. Merkezkaç kuvvetinin karakteristik değeri, aşağıdaki eşitliklere göre belirlenecektir.

$$Q_{tk} = v^2(fXQ_{vk})/gXr = v^2(fXQ_{vk})/127r \quad (1)$$

$$q_{tk} = v^2(fXq_{vk})/gXr = v^2(fXq_{vk})/127r \quad (2)$$

Burada;

Q_{tk} , q_{tk} : Merkezkaç kuvvetlerinin karakteristik değerleri

f : Azaltma faktörü

v : Maksimum hız (metre/saat)

V : Maksimum hız (kilometre/saat)

g : Yerçekimi İvmesi (9,81 m/saniye²)

r : Dever yarıçapı

Değişken yarıçaplı bir kurb durumunda ise r değeri için uygun ortalama değerler alınmalıdır. Hesaplamalar her bir proje için münhasıran sahada belirlenen maksimum hat hızına dayalı olmalıdır.

2.1.4. Lase (Burunlama) Etkisi

Lase etkisi rayın merkez hattına dik bir şekilde rayların tepe noktasına yatay etkileyen bir şekilde yoğunlaştırılmış kuvvet olarak alınmalıdır. Bu kabul kuvveti hem düz raya ve hem de kurbu raya uygulanmalıdır.

Lase etkisinin karakteristik değeri $Q_{sk}=100$ kN olarak alınmalıdır. Bu noktada f katsayısı ya da φ katsayısı ile çarpılmasına gerek bulunmamaktadır. Özel trafik taşıyan hatlar için (örneğin yüksek hızlı demiryolu yolcu trafiği ile sınırlı hatlar) frenleme ve sürtünme kuvvetleri; işletmeci bileşeni tarafından belirlenen Q_{lbk} için 6000 kN ve Q_{lak} için 1000 kN'luk maksimum değerler dâhilinde hesaba katılan yapısal unsurun tesir uzunluğuna etkileyen dingil yükler toplamının %25'ine eşit olarak alınabilir. Sürtünme ve frenleme kuvvetleri müteakbil düşey yükler ile terkip edilmelidir. Hat; köprünün bir ya da her iki ucunda sürekli olduğunda ise sürtünme ya da frenleme kuvvetinin sadece bir bölümü tabliyelerden kirışlere aktarılmakta olup geri kalan kuvvet ise mesnetlerin arkasında dayanım sağlayan ray vasıtası ile iletilmektedir [7].

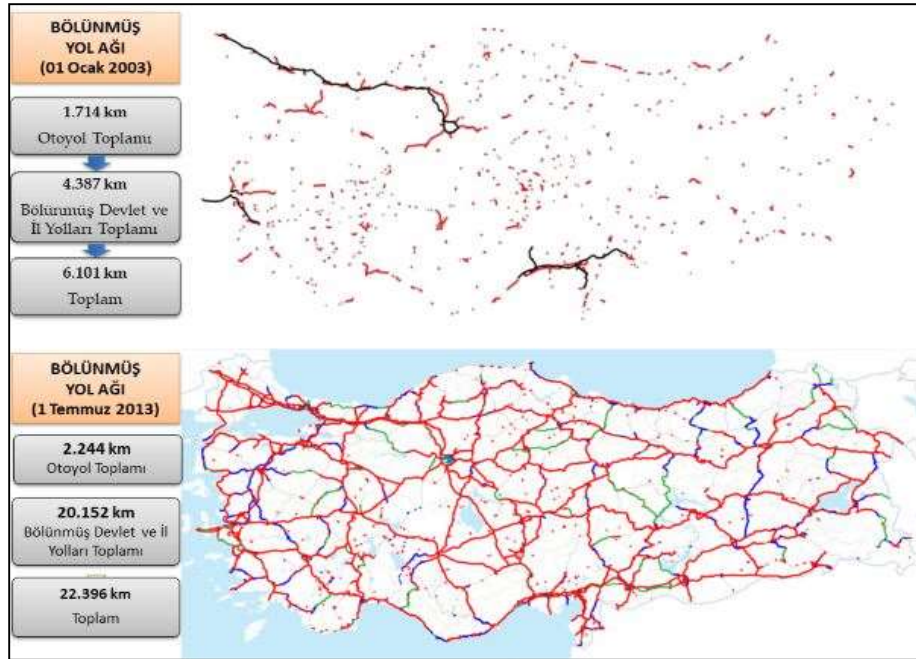
3. Bulgular ve Tartışma

Türkiye gelişmekte olan ülkeler sınıfında bulunmakta olup dünyanın en büyük 16. ve Avrupa'nın en büyük 6. ekonomisini durumundadır. 2023 hedefleri doğrultusunda en büyük 10 ekonomi arasına girme vizyonu geliştirilmiştir. Gelişmekte olan ülkemizde altyapı yatırımları yıllık bütçeden büyük paylar almaktadır. Ülkemizde günümüzden 2023 yılına kadar olan süreçte altyapı yatırımları içerisinde ulaştırmanın kabaca yıllık ortalama %50'lik paylara ulaşması öngörülmektedir [8]. Hem ülke geneli ve hem de İstanbul başta olmak üzere büyükşehirlerde uzun yıllar boyu karayolu ulaştırma türünün türler

arası dağılımda dengesiz bir ağırlığı söz konusu olmaktadır. Son on yıldaki süreçle birlikte karayolu türel payı %90'lardan %80'lere kadar düşürülmüş olup daha da düşürülmesi yönünde çalışmalar devam etmektedir. Bunun sağlanmasında da demiryolları, denizyolları ve havayollarına yapılan yatırımlar kritik bir rol oynamaktadır [8]. İlgili detaylar Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Ulaştırma Türlerine Göre Yolcu Trafığı [8]

	AB – 27	ABD	JAPONYA	ÇİN	TÜRKİYE
MİLYAR YOLCU-KM	2010	2009	2010	2010	2010
Karayolu	5248,1	6318,5	853,7	1491,4	226,9
Denizyolu	38,1	0,6	4,3	7,2	0,5
Demiryolu	493,9	58	393	876,2	5,5
Havayolu	524,2	887,9	73,8	403,2	18



Şekil 2. Türkiye'de Karayollarının 2003-2013 Periyodu Gelişimi [8]

Tablo 3. Taşıma Modları Arasındaki Pay Dağılımı ve 2023 Hedefi [9]

Taşıma Payları Yolcu-Km (Yurtiçi Yolcu)	Mevcut Durum (%)	2023 Hedefi (%)	Sonuç (%)
Karayolu	% 89,59	% 72	
Demiryolu	% 2,22	% 10	
Denizyolu	% 0,37	% 14	
Havayolu	% 7,82	% 4	

İlgili detaylar Tablo 3 ve Şekil 2'de gösterilmektedir. Genelde Türkiye'de özel de ise İstanbul'da son yıllarda ulaştırma yatırımlarına büyük bütçeler ayrılmakta ve devasa kapasiteli projeler hayata geçirilmektedir. Bu yatırımlardan başlıcaları İstanbul 3.Havalimanı, İstanbul 3.Boğaz Köprüsü, Osmangazi Körfez Köprüsü, Çanakkale 1915 Köprüsü, Avrasya Tüneli, Marmaray, Ankara-Eskişehir-

İstanbul Yüksek Hızlı Demiryolu (YHD) hattı ve Ankara-Konya Yüksek Hızlı Demiryolu (YHD) hattıdır. Ülkemizde demiryolları noktasında kayda değer bir deneyim bulunmaktadır. Osmanlı döneminde 11.000 km dolaylarında demiryolu hattı inşa edilmiş olup bunun 4000 km'den fazlası Anadolu topraklarındadır. Cumhuriyet döneminde de ilk yıllarda yapılan üretim ve sanayi atılımları dâhilinde kısa sürede 3000 km'nin üzerinde bir demiryolu hattı inşa edilmiştir. Akabinde 1950'li yıllarda karayollarına, o günün koşullarında büyük yatırımlar yapılmaya başlamıştır. Demiryolları 2.planda almıştır. 2000'li yıllardan itibaren Cumhuriyet'in ilk yıllarındaki ivme demiryolu ulaştırma türü adına tekrar yakalanmıştır. Bu bağlamda 2023 vizyonu dâhilinde söz konusu yıl için toplamda yaklaşık 26.000 km'lik bir demiryolu hattı ve yaklaşık 10.000 km'lik bir yüksek hızlı demiryolu (YHD) hattı hedefi konmuştur. Ülkemizde yüksek hızlı demiryolları ilk olarak Ankara-Eskişehir yüksek hızlı demiryolu (YHD) hattı ile başlamış olup akabinde Ankara-Konya yüksek hızlı demiryolu (YHD) hattı açılmıştır. Takibinde Eskişehir-Konya yüksek hızlı demiryolu (YHD) hat bağlantısı gerçekleştirilmiştir. Son olarak ise Eskişehir-İstanbul yüksek hızlı demiryolu (YHD) hat etabı tamamlanarak kesintisiz Ankara-Eskişehir-İstanbul yüksek hızlı demiryolu (YHD) hattı işletimi başlamıştır. Hâlihazırda İstanbul-Edirne yüksek hızlı demiryolu (YHD) hattının ihalesi yapılmış olup Ankara-Afyon-Manisa-İzmir yüksek hızlı demiryolu (YHD) hattının inşası ise sürmektedir (9). Diğer taraftan inşası devam eden bir diğer hat ise Ankara-Yozgat-Sivas yüksek hızlı demiryolu (YHD) hattıdır. Bu hattın devamında da Sivas-Erzincan-Erzurum-Kars hızlı demiryolu (HD) hattının hayata geçirilmesi planlanmaktadır. Bu proje de tamamlandığında Ankara'dan Kars'a kadar kesintisiz olarak yüksek kapasiteli ve yüksek hızlı demiryolu bağlantısı sağlanmış olacaktır. Bir diğer inşa halindeki hat ise Eskişehir-Osmaneli-Bursa-Bandırma yüksek hızlı demiryolu (YHD) hattıdır. Gündemdeki diğer başlıca hatlar ise;

- Ankara-Samsun yüksek hızlı demiryolu (YHD) hattı,
- Ankara-Kayseri yüksek hızlı demiryolu (YHD) hattı,
- Ankara-Malatya yüksek hızlı demiryolu (YHD) hattı,
- Ankara-Karaman-Antalya yüksek hızlı demiryolu (YHD) hattıdır.

Hat detayları Tablo 4'de ifade edilmektedir. Yüksek hızlı demiryollarının (YHD) havayolu yolcu taşımacılığına (HYT) nazaran bir diğer önemli artışı ise terminale erişim ve bekleme, kontrol gibi işlemlerinin çok daha az süre alıyor olmasıdır. Demiryolları ve özelde de yüksek hızlı demiryollarının (YHD) bir diğer avantajı ve açtığı kapı ise; demiryolu gar binalarıdır. Zira bunlar özellikle yüksek hızlı demiryolundaki (YHD) yenilenmiş tanımları ve artan fonksiyonları paralelinde yeni dönemin yeni ticari, sosyal ve çevresel çekim alanı ve etkinlik merkezlerinden birisine de dönüşebilir. Ankara yüksek hızlı tren garı 2016 yılı içerisinde hizmete alınmıştır [10]. Dünyada yüksek hızlı demiryollarının (YHD) öncüsü olan ülkeler Japonya, Fransa ve Almanya olmuştur. 1964 yılında ilk yüksek hızlı demiryolları (YHD) Japonya'da Shinkansen trenleri ile hayata geçirilmiştir. Akabinde ülkede uzun yıllar boyu söz konusu sistemde önemli gelişmeler kaydedilmiştir. Günümüzde yüksek hızlı demiryollarında (YHD) küresel ölçekte lider olan ülkeler Japonya, İspanya, Çin ve Fransa'dır. Son on beş yılda yüksek hızlı demiryollarına (YHD) yaptıkları büyük yatırımlar ile İspanya ve Çin de sektörde öncü durumuna gelmiştir [11].

Tablo 4. Türkiye'de Yüksek Hızlı Demiryolları [9]

Hat	Hat Uzunluğu/Seyahat Süresi
Ankara-İstanbul	533km./3 saat
Ankara-Eskişehir	245 km./1 saat 5 dakika
Ankara-Konya	212 km./1 saat 15 dakika
İstanbul-Konya	641 km./3 saat 30 dakika
Eskişehir-Konya	360 km./1 saat 26 dakika
Ankara-Sivas	466 km./3 saat
Ankara-İzmir	624 km./3 saat 20 dakika
Ankara-Afyon	281 km./1 saat 20 dakika
Bandırma-Bursa-Osmaneli	190 km./60 dakika
Ankara-Kayseri	350 km./2 saat
Halkalı-Bulgaristan	230 km./1 saat
Sivas-Erzincan-Erzurum-Kars	710 km./5 saat

Türkiye’de ulaştırma sisteminde trafik tıkanıklığı, sistemsiz verimin düşüklüğü, enerji kaybı ve yüksek düzeyli trafik kaza kayıpları gibi sorunlar devam etmektedir. Bunların bazılarında kısmi iyileştirmeler kaydedilse de henüz yeterli oranda değildir. Ortalama yıldan yıla trafik kazası sayılarında %1-5’lik azalmalar kaydedilmekte, ancak kimi yıllarda da tekraren nispi artış trendleri görülebilmektedir. Ölümlü yaralanmalı kazalar genelde yaz aylarında artmakta, kış aylarında ise azalmaktadır. Türkiye’deki ulaştırma sisteminin sorunlarının temeli, dengeli türel dağılım ve türler arası entegrasyonun sağlanamaması ile ilgilidir. Uzun yıllar hem yolcu taşımacılığı ve hem de yük taşımacılığında, hem kent içi ve hem de kentler arası taşımacılıkta karayolu ulaştırma türünün %90’ın üzerinde ağırlığı bulunmaktadır. 2000’li yıllardan itibaren bu eğilim tersine çevrilmiş olup günümüzde karayolunun dengesiz ağırlığı %80’lerde devam etmektedir. Bütün bu problemlerden kaynaklı olarak Türkiye’de hükümetler 2000’li yıllardan itibaren demiryollarına, özelde de yüksek hızlı demiryollarına (YHD) yatırım hamlesi başlatmıştır. Ülkede 1950’li yıllara kadar demiryollarına hızlı yatırım süreci devam etmiş olup sonrasında ise akamete uğramıştır. Uzun yıllar sadece karayolu ulaştırma türüne yapılan yatırımların ardından demiryollarına hızlı bir geri dönüş olduğu görülmektedir. Bunda Türkiye’de hem petrol ve hem de araç fiyatlarının oldukça yüksek olmasının da etkisi bulunmaktadır. Diğer taraftan da artan kentleşme, kent alanlarının yayılması, nüfus artışı, gelir artışı, hareketlilik ihtiyacının artması gibi nedenler ile Türkiye’de de hızlı ulaştırmaya olan talep yükselmiştir [12].

4. Sonuç ve Öneriler

Gelecekte ulaşımın yüksek hızlı trafik modları olan havayolları ve hızlı trenlerle gerçekleşmesi beklenmektedir. 400-600 km uzaklıklara yolcu taşımada, günümüzün en etkili olanağı hızlı trenlerdir. Bu uzaklıklarda, hem karayolunun, hem de havayolunun 200 km/saat’in üstünde hız yapan trenler karşısında rekabet gücü zayıflamaktadır. Japonya’dan Fransa’ya, Almanya, İtalya, İspanya ve ABD’ye kadar yaşanan deneyimler bu gerçeği desteklemektedir. AB’de 2020’ye kadar hızlı trenlerde hızın 340km/saat’e yükseleceği öngörülmektedir [13]. Yüksek hızlı demiryolu (YHD) doğru bir yatırım kararı ile belirli bir bölgedeki ulaşımın ana akımını ele geçirebilir. Böylelikle yüksek kapasite ve yüksek hızlı sosyal bir taşımacılık anlayışı ile turizm, istihdam ve ev iş yolculuklarında artış ve iyileştirme bağlamında satha dayalı bir kalkınmanın öncüsü olabilir. Aşağıda Tablo 5’te ilgili kentler arasında yıllara göre yüksek hızlı demiryollarının (YHD) aldığı türel pay artışı gösterilmektedir.

Tablo 5. Paris-Lyon ve Madrid Sevilya’da Yıllara Göre Türel Pay Değişimleri [13]

Tür	Paris-Lyon(%)		Madrid-Sevilya(%)	
	1981’e kadar	1984’ten sonra	1991’e kadar	1994’ten sonra
Havayolu	31	7	40	13
Demiryolu	40	72	16	51
Otomobil/ Otobüs	29	21	44	36

Tablo 6. İş Yolculuklarında Mesafeye Göre Otomobil Kullanımları [14]

Mesafe (km)	Otomobil (%)	Uçak (%)
80-160	96,97	0,00
160-400	93,73	2,83
400-800	66,64	30,45
800-1200	32,76	63,53
Bütün Seyahatler	80,67	16,37

Yukarıda Tablo 6’da ev iş yolculuklarında mesafeye göre otomobil ve havayolu kullanımı karşılaştırması yapılmıştır. Görüldüğü üzere havayolları ev iş yolculuklarının büyük bir bölümünde otomobiller ile rekabetçi olamaz. Bu rekabetçiliği sağlayan yüksek hızlı demiryollarıdır (YHD). Önemli bir yolculuk unsuru olan ev iş yolculuklarında yüksek hızlı demiryolunun (YHD) ciddi ölçülerde otomobilin yerine ikame olabilmesi ciddi anlamda yakıt tasarrufu sağlayacak, iş alanlarını birbirine bağlamak ve daha uzun belli mesafelere kadar endüstriyel alan entegrasyonlarını sağlamak sureti ile kalkınmaya ve üretime önemli katkılar sağlayacaktır. Uluslararası Demiryolları Birliği (UIC) yüksek

hızlı demiryollarını işletme, altyapı ve hizmet parametreleri başta olmak üzere birçok unsura dayalı olarak değerlendirmektedir. Ancak bütünü ile yüksek hıza uygun olarak yeni inşa edilmiş altyapılar için UIC'nin koymuş olduğu minimum yüksek hız sınırı ise 250 km/saat'tir [14].

Avrupa Birliği yüksek hızlı demiryollarında minimum 250 km/saat hız alt limitini altyapı bağlamında koymuştur. Yine Avrupa Birliği tarafından da konvansiyonel hatların rehabilitesi ile elde edilen altyapılar üzerinde işletilen trenlerin yüksek hızlı kabul edilmesi için belirlenen hız alt limiti 200 km/saat'tir. Tren setleri açısından konuya bakıldığında ise Avrupa Birliği'nce yüksek hızlı tren işletimi için belirlenen hız alt limitleri 250 km/saat ile 300 km/saat'lerdedir. En genel tanımı ile 200 km/saat'in üzerindeki işletim hızlarına haiz hatların yüksek hızlı demiryolu olarak kabul edildiği belirtilebilir [15]. Türkiye'de genel olarak demiryollarına yönelen bir kalkınma politikası olduğu da açıktır. Zira 2000'li yılların başında ilk etapta yoğun bir şekilde karayollarının geometrik standartlarının, sinyalizasyonunun ve altyapısının iyileştirilmesine yönelik kapsamlı çalışmalar yapılmıştır. Belirli oranda yol da kat edilmiştir. Akabinde bir yandan da karayollarında akıllı ulaştırma sistemlerinin (AUS) kurulmasına girilmeye başlanmıştır. Mevcut durumda bunun bir devamı olarak da bir kalkınma aşaması olarak demiryollarına ciddi anlamda yoğunlaşma olduğu hem inşaat ve hem de planlama çalışmalarından anlaşılmaktadır. Diğer taraftan da yüksek hızlı demiryollarına (YHD) daha çok odaklanıldığı görülmektedir [16].

Teşekkür

Moral, destek ve motivasyonundan dolayı Yahyâ Âlparıslan KIZILTAŞ'a teşekkür ederim.

Yazarların Katkısı

Çalışmada tüm katkı yazara aittir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada, araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar

- [1] Ilıcalı M., Catbas N., Kızıltas M.C., Ongel A. 2014. Multimodal Transportation Issues in Istanbul: A Case Study for Traffic Redistribution Due to Long Span Bridge Rehabilitation. *Periodical of Advanced Materials Research*, 831: 413-417.
- [2] Ilıcalı M., Kızıltaş M., Ergin E., Ekinci B. 2013. Transist İstanbul Ulaştırma Sisteminde Modlararası Entegrasyon ve Dengeli Modal Dağılım. *Transist 2013*, İstanbul.
- [3] Altan M., Kızıltaş M., Ayözen Y. 2020. Comparative Evaluation of the Development, Current Situation and Investment Plans of High Speed Railways on National, Regional and International Basis. İstanbul Aydın Üniversitesi, *IJEMME Dergisi* (basımda).
- [4] Altan M., Kızıltaş M., Ayözen Y. 2020. High Speed Railways, Current Status and Development Trends At International Scale and Turkey. İstanbul Aydın Üniversitesi, *IJEMME Dergisi* (basımda).
- [5] 10.Kalkınma Planı Ulaştırma ve Trafik Güvenliği Ö.İ.K. Raporu. 2012. Ankara
- [6] Gökirmak H. 2013. Developing Rail Policy For Turkey. Süleyman Şah University, Faculty of Management and Administrative Sciences, Department of International Trade and Finance.
- [7] Campos J., De Rus G. 2009. Some stylized facts about high-speed rail: A review of HSR experiences around the World. *Transport policy*, 16 (1): 19-28.
- [8] Kızıltaş M., Altan M. 2018. A Review in term of Service Parameters on the Modal Choice sand Mass Transport, İzmir.

- [9] Altan M., Kızıldaş M. 2020. Yüksek Hızlı Demiryolları, Yolcu Ve Yük Taşımacılığı Karşılaştırmaları Bağlamında Küresel Ölçekli Bir Derleme Çalışması. Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, ULAKBİM (basımda).
- [10] Ureña M., Menerault P., Garmendia M. 2009. The high-speed rail challenge for big intermediate cities: A national, regional and local perspective. *Cities*, 26 (5): 266-279.
- [11] Takagi R. 2005. High speed railways: the last 10 years. *Japan Railway and Transport Review*, 40: 4-7.
- [12] Xia C., Xia H., De Roeck G. 2014. Dynamic response of a train-bridge system under collision loads and running safety evaluation of high-speedtrains. *Computers and Structures*, 140: 23-38.
- [13] Altan M., Kızıldaş M. 2018. Toplu Taşımada Çok Amaçlı Karar Verme ve Metropolitan Bir Alanda Ev-İş Ulaşım Hizmeti Modellemesi. *Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi*, 8 (1): 99-105.
- [14] Zhou H., Ni Y., Ko J. 2010. Constructing input to neural Networks for modeling temperature-caused modal variability: mean temperatures, effective temperatures, and principal components of temperatures. *Engineering Structures*, 32 (6): 1747-1759.
- [15] Kızıldaş M., Altan M. 2017. Evaluation of Intermodal Integration on the Context of Marmaray and Bosphorus Bridges. *IRF Regional Congress*, Dubai.
- [16] Veneri P., Burgalassi D. 2012. Questioning polycentric development and its effects. Issues of definition and measurement for the Italian NUTS-2 regions. *European Planning Studies*, 20 (6): 1017-1037.

Derleme Makalesi / Review Article

Kendi Kendini İyileştirebilen Mühendislik Seramikleri

Mustafa Güven GÖK*

*Hakkâri Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Bölümü, 30000, Hakkâri
(ORCID: 0000-0002-5959-0549)*

Öz

Yüksek sertlik ve aşınma direncine sahip olan mühendislik seramiklerini eşsiz kılan en önemli özelliği yüksek sıcaklık şartlarına olan dayanımlarıdır. Dolayısıyla bu malzemeler havacılık, uzay, otomotiv, elektronik ve enerji sektörleri gibi birçok alana hitap ederek oldukça geniş uygulama alanlarına sahiptirler. Mühendislik seramiklerinin işlevselliğini daha da arttırabilmek için birçok yaklaşım geliştirilmiştir. Bunlardan en önemlisi seramiklerin kırılma tokluğunun iyileştirilmesidir. Ayrıca son yıllarda seramiğe yüksek sıcaklıkta kendi kendini iyileştirme özelliği kazandırılarak akıllı seramikler geliştirilmesine yönelik çalışmalar dikkat çekmektedir. Burada “kendini iyileştirme” ifadesinden kasıt; malzeme yüzeyinde kullanım esnasında veya öncesinde oluşan mikro çatlakların yine kullanım esnasında yüksek sıcaklıkta kendiliğinden onarılarak malzemenin yeniden mukavemet kazanması olayıdır. Mühendislik seramiklerinin yüksek sıcaklıkta kullanım esnasında kendiliğinden hasar alması çok karşılaşılan bir problem iken geleneksel yöntemlerle bu hasarın anında ve sistemin çalışması sürecinde saptanması neredeyse imkânsızdır. Dolayısı ile seramik malzemeye yüksek sıcaklıkta çalışma esnasında kendini iyileştirme özelliği kazandırmak bu malzemenin hizmet ömrünü ve kullanıldığı sistemin güvenliğini arttıracaktır. Bu çalışmada ilgili literatür ışığında seramiklerin kırılma tokluğunu arttırmaya yönelik mekanizmalar, kendini iyileştirebilen seramiklerin önemi, kendini iyileştirme mekanizması, bunların üretim yöntemi ve parametreleri, bileşimleri, mekanizmanın aktif hale gelmesi için gerekli olan sıcaklık değerleri, mikroyapı ve mekanik özelliklerindeki değişimler derlenerek sunulmuştur.

Anahtar kelimeler: Kendini İyileştirebilme, Mühendislik Seramikleri, Akıllı Seramik, Kırılma Tokluğu.

Self-Healing Ability of Engineering Ceramics

Abstract

Engineering ceramics have high hardness and wear resistance. The most important feature that makes engineering ceramics unique is their resistance to high temperature conditions. Therefore, these materials have a wide range of applications by addressing many fields such as aviation, aerospace, automotive, electronics and energy. Many methods have been developed to further increase the performance of engineering ceramics. The most important of these methods is to improve the toughness of the ceramics. Moreover, in recent years, studies on the development of smart ceramics (self-healing ceramics at high temperatures) attract attention. “Self-healing” means that the material which micro cracks formed on the surface during or before use automatically repairs itself and material regains its strength. While it is a very common problem that engineering ceramics take self-damage during use at high temperatures with traditional methods, it is almost impossible to detect this damage immediately and during the operation of the system. Therefore, providing self-healing properties to ceramic material during high temperature operation will increase the service life of this material and the safety of the system it is used in. In this study, in the light of the related literature, mechanisms to increase the fracture toughness of ceramics, the importance of self-healing ceramics, self-healing mechanism, their production method and parameters, compositions, temperature values required for activation of the mechanism, changes in microstructure and mechanical properties are presented.

Keywords: Self-Healing, Engineering Ceramics, Smart Ceramic, Fracture Toughness.

1. Giriş



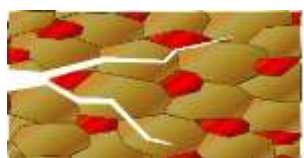
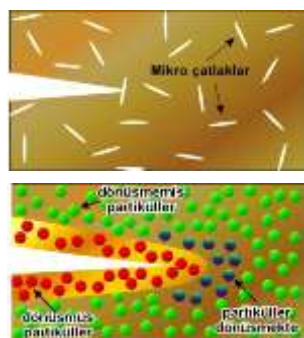

Mühendislik seramikleri, çok yüksek sıcaklıklara dayanıklı olmaları, kimyasal karalılıklarının iyi olması, yüksek sertlikleri, yoğunluklarının metallere göre daha düşük olması, erozyon, aşınma ve oksitlenmeye karşı dirençli olmaları ve oldukça etkili basma mukavemeti sergilemeleri nedenleri ile yüksek teknolojiye sahip ürünler için stratejik önemdedirler. Bu sayede kesici takımlardan ısı kalkımı

*Sorumlu yazar: m.guvengok@hakkari.edu.tr

Geliş Tarihi: 18.02.2020, Kabul Tarihi: 18.05.2020

uygulamalarına, gaz türbini (jet motoru) bileşenlerinden dizel motor parçalarına, balistik yelek ve zırh uygulamalarından biyomalzemelere kadar oldukça geniş uygulama alanlarına sahiptirler [1-9]. Bu uygulama alanlarına verilecek örnekleri daha da arttırmak mümkündür. Ancak seramikler gevrek malzemelerdir ve dolayısı ile kırılma toklukları metallere göre daha düşüktür. Bu durum da seramiklerin kullanım ömrünü ve güvenilirliğini azaltmaktadır. Yüksek kırılma tokluğuna sahip seramik malzemeler geliştirmeye yönelik çok sayıda çalışma yapılmaktadır. Bu çalışmalarda temel amaç seramik bünyesinde kullanım esnasında oluşan mikro çatlakların ilerlemesinin durdurularak malzemenin kırılma tokluğunun artırılmasıdır. Üretim esnasında seramik matris bünyesine fiber veya viskerlerin (whisker, ince tek kristal yapıları ve yüksek uzunluk/kalınlık oranına sahip fiber takviye elemanı), partiküllerin, nanotüp veya nanoplakaların eklenmesi kırılma tokluğu değerinde bir artışa sebep olmaktadır. Seramik bünyesine eklenen bu takviye fazları, geometri ve karakteristiklerine bağlı olarak farklı mekanizmalarla çatlak ilerlemesini önleyici yani kırılma tokluğunu iyileştirici olarak davranırlar [1-12]. Bu mekanizmalar Tablo 1’de özetlenmiştir.

Tablo 1. Seramiklerde mikroyapı kontrolü ve takviye fazı sayesinde çatlak ilerlemesini önleyerek kırılma tokluğunu iyileştirmeye yönelik mekanizmalar

Mekanizmanın Genel Adı	Mekanizmanın Detaylı Açıklaması	Şematik Gösterimi
Çatlak yönünün sapıtılması (Crack deflection)	- Çatlak yapı içerisinde ilerlerken, takviye malzemesiyle kesiştiğinde çatlakın ilerleme düzleminin yönü değişerek enerjisi azalmaktadır	
Çatlak eğilmesi (Crack bowing)	- Takviye fazına ait parçacıklar çatlakla kendi üzerinden basamak atlatarak çatlakın enerjisini azaltmaktadır	
Çatlak dallanması (Crack branching)	- Takviye malzemesi ile kesişen çatlak, iki veya daha fazla çatlaklar haline bölünerek enerjisi azalır	
Çatlak ucunun bölgesel olarak engellenmesi (Crack tip shielding by process zone)	- Yapı içerisindeki kontrollü olarak oluşturulmuş çok sayıda mikroçatlaklar ile kesişen çatlak ucunun enerjisi absorblanır - Çatlakla bitişik bölgelerdeki gerilmelerden dolayı bazı malzemelerde faz dönüşümü meydana gelerek daha tok bir faz oluşur ve çatlakın ilerleyebilmek için ihtiyaç duyduğu enerji artar	
Çatlak ucunun köprüleme ile engellenmesi (Crack tip shielding by bridging)	- Takviye fazı çatlakla kapamaya çalışan bir yay gibi davranarak çatlakın daha da yayılmasını engeller	

Seramiklerde çatlak ilerlemesini engelleyerek kırılma tokluğunu artırma işleminin dışında, son yıllarda geliştirilen ve bünyesinde oluşan çatlakları kendi kendine onararak tekrar mukavemet kazanabilen seramiklerin üretim işlemi de başlı başına ayrı ve etkin bir mekanizmadır. Bu durum kendi kendini iyileştirme (self-healing) olarak tanımlanır ve bazı seramiklerde kendini iyileştirme

mekanizması etkin hale getirilebilir [13-19]. Burada kendini iyileştirme ifadesinden kasıt; yüksek sıcaklıkta çalışan seramik malzeme yüzeyinde kullanım esnasında oluşabilecek veya öncesinde oluşmuş olan mikro çatlakların yine kullanım esnasında yüksek sıcaklıkla beraber kendiliğinden onarılarak malzemenin yeniden mukavemet kazanmasıdır. Bu tür seramikler akıllı seramik olarak da tanımlanmaktadır. Ayrıca kendini iyileştirme özeliği kazandırabilmek için seramiklerin yapısına eklenen partikül veya visker şeklindeki ikinci fazlar sayesinde hem seramiğin kırılma tokluk değeri artarken (Tablo 1’de açıklanan mekanizmalar) hem de kendini iyileştirme özelliği kazanabilmektedir. Bir seramiğe kendini iyileştirme özelliği kazandırılabilmesi durumunda malzemenin;

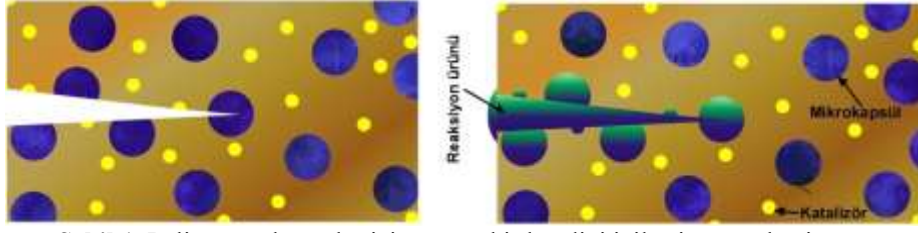
- a) güvenilirliğinde artış,
- b) muayene, bakım ve tamirat giderlerinde azalma ve
- c) kullanım ömründe ciddi bir iyileşme meydana gelmektedir [14].

Böylece mühendislik seramiklerinin işlevselliğini daha da arttırabilmek mümkündür.

Kendini iyileştirebilen seramiklerle ilgili ilk çalışmalar 1980’li [19] yıllarda yapılmış olup literatürde yurtdışı kaynaklı farklı çalışmalar mevcuttur. Ancak bu konuda Türkçe olarak hazırlanmış herhangi bir bilimsel çalışma veya kaynak bulunamamıştır. Dolayısı ile bu makale, ülkemizde “kendini iyileştirebilen seramikler” konusunu merak edenler ve/veya çalışmak isteyenler için önemli bir bilimsel kaynak oluşturacaktır.

2. Seramiklerde kendini iyileştirme mekanizması

Seramiklerde kendini iyileştirme, kullanım esnasında oluşacak hasarların önlenmesinde en etkin yöntemdir. Bu yüzden kendini iyileştirme mekanizması malzemede hasar gerçekleştiği anda kendiliğinden etkin hale gelmeli ve hasar almış bölgeyi eski mukavemetli haline geri döndürmelidir. Mühendislik seramikleri, yüksek sıcaklıklarda çalışan türbin kanatçıkları, yanma odaları, gelişmiş türbin motorlarının farklı parçaları gibi teknoloji ürünlerinin yapısal bileşenlerini oluşturmaktadır ve bunlara yüksek teknoloji seramikleri de denmektedir [1-12, 20, 21]. Bu kullanım alanlarından da anlaşılacağı üzere yüksek teknoloji seramikleri aynı anda hem mekanik etki ve hem de yüksek sıcaklığa maruz kalmaktadır. Dolayısı ile seramik malzemelerde kendini iyileştirme mekanizması polimer ve metal malzemelerden daha farklı olmalıdır. Örneğin Şekil 1’de verilen mekanizma seramikler için uygun değildir. Bu mekanizmada üretim esnasında malzeme içerisinde dağıtılmış olan ve içerisine iyileştirici ajan (katalizör ile bir araya geldiğinde hacimce genleşen ve bu sayede çatlakları dolduran kimyasal) depolanmış mikrokapsüller ile malzeme içerisine yine üretim esnasında dağıtılan ve katalizör ihtiva eden kapsüller hasar esnasında kırılmakta ve içerilerindeki iyileştirici ajanlar ile katalizörler serbest kalarak çatlakın oluştuğu bölgeye boşalmaktadır. Çatlak bölgesinde iyileştirici ajan ile katalizörün bir araya gelmesiyle kimyasal bir reaksiyon oluşmakta ve çatlak bölgesi ana malzeme (matris) ile bağ yaparak kapanmaktadır [17, 18, 22–24]. Ancak bu mekanizma daha çok polimer esaslı malzemelerin kendini iyileştirme mekanizması olarak kullanılmaktayken seramik esaslı malzemeler için uygun bir yöntem değildir. Çünkü seramikler genellikle yüksek sıcaklık uygulamalarında kullanılmakta ve/veya kullanım esnasında belirli veya değişken bir mekanik etkiye maruz kalmaktadırlar. Hâlbuki içerisinde iyileştirici ajan bulunduran mikrokapsüller ile sağlanan kendini iyileştirme mekanizmasında, yapı içerisinde ilerleyen çatlakın, ana yapıdan (matris) daha düşük kırılma dayanımına sahip mikrokapsül ile kesiştiği anda kapsülün kırılması ve içerisindeki iyileştirici ajanın serbest kalması istenmektedir. Mikrokapsülün kırılma dayanımının matristen daha yüksek olması durumunda ise matris içerisinde ilerleyen çatlak mikrokapsül ile kesiştiğinde yönünü değiştirecek ve matris içerisinde ilerlemeye devam edecektir ve sonuç olarak kapsül içerisindeki iyileştirici ajan serbest kalmadığı için kendini iyileştirme gerçekleşmeyecektir. Dolayısı ile bu mekanizmada mikrokapsüllerin kırılma dayanımının ana malzemeden düşük olması zorunlu olduğu için seramik esaslı sistemin mekanik özellikleri, yapı içerisindeki düşük kırılma dayanımlı mikrokapsül (iyileştirici ajan içeren) şeklindeki ikinci fazların varlığından olumsuz yönde etkilenecektir. Dolayısı ile seramik malzemelerin mukavemetini ve yüksek sıcaklığa dayanım özelliklerini olumsuz yönde etkileme potansiyeli olan, matristen daha düşük kırılma dayanımına sahip mikrokapsül şeklindeki ikinci fazlar istenmemektedir.



Şekil 1. Polimer malzemeler için uygun bir kendini iyileştirme mekanizması

Bunun yerine seramik malzemeler için kendi kendini iyileştirmenin temel mekanizması aşağıdaki gibi açıklanabilir;

- 1- Malzeme yüksek sıcaklıkta çalışırken kullanım esnasında mekanik etkilerden dolayı mikro çatlakların oluşumu,
- 2- Yüksek sıcaklıkta (1000 °C civarları) matris içerisinde oksitli olmayan (karbür ve nitrür gibi) ikinci faz partiküllerinin oksidasyona uğraması,
- 3- Oksidasyon ürünlerinin oluşumu,
- 4- Oksidasyon ürünlerinin hacimce genişip birbirleriyle bağ yaparak çatlakları doldurması (Şekil 2).

Çatlakların doldurulmasıyla çatlak üzerinde oluşan camsı faz sayesinde ortaya ekstra bir bağlanma kuvveti çıkar ve böylece çatlak uçlarındaki gerilme yoğunlaşmaları azalır. Üstelik bu sayede malzeme kısmi olarak veya tamamen eski mukavemetini geri kazanır ve bazı durumlarda ana malzemeden daha mukavemetli bir yapı oluşur [13, 14, 25].

Literatürdeki çalışmalarda [13-16, 25-36], ikinci faz olarak genellikle partikül veya visker morfolojisinde olan silisyum karbür (SiC) kullanıldığı görülmektedir. Matris olarak ise çoğunlukla alümina (Al₂O₃) veya oksitli seramikler kullanılmaktadır. Matris içerisine dağıtılmış (disperse edilmiş) olan SiC partikülleri, malzemenin kırılma tokluğunu iyileştirme etkisinin yanında kendini onarabilme (self-healing) özelliği de kazandırmaktadır. Yapıdaki disperse edilmiş silisyum karbürün yüksek sıcaklıkta (1000 – 1300 °C) oksidasyonu sonucunda seramik bünyesindeki çatlakların tamamen kapandığı ve malzemenin tekrar dayanım kazandığı belirtilmektedir [13, 14, 25-28, 37]. Bu mekanizma Şekil 2'de şematik olarak özetlemiştir. Buna göre;

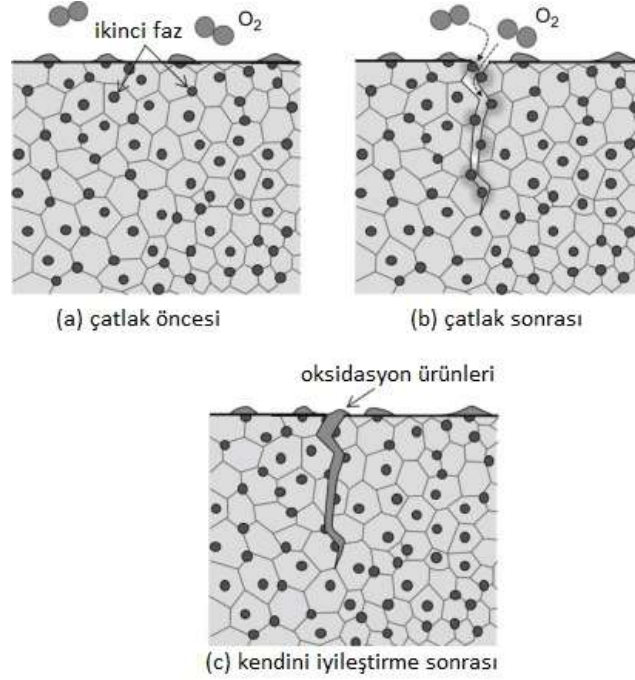
- 1- Yüksek sıcaklıkta, çatlak duvarlarındaki SiC ikinci faz partikülleri, ilk olarak oksijen ile reaksiyona girer.
 - 2- Bu reaksiyon sonucunda, aşağıdaki denklem 1 uyarınca çatlak duvarlarında SiO₂ oluşur ve bulunduğu yerde hacimce %80 oranında genişerek çatlaklar arasındaki boşluklar doldurulmuş olur.
- $$\text{SiC} + 2\text{O}_2 = \text{SiO}_2 + \text{CO}_2(\text{CO}) + 943\text{kJ} \quad (1)$$
- 3- Ayrıca oksitlenme reaksiyonu büyük bir ekzotermik ısı açığa çıkarır ve oluşan oksitli yapı kısmen ergiyerek matrisle güçlü bir bağ oluşturur.
 - 4- Böylece onarılmış çatlak bölgesi, çoğu durumda, ana malzemeden daha yüksek dayanıma sahip olur.

Bazı çalışmalarda [34, 35], SiC dışında benzer mekanizma ile titanyum karbür (TiC) ve titanyum disilisit (TiSi₂) gibi seramikler de kendini iyileştirme etkisi kazandıran ikinci faz partikülü olarak kullanılmıştır. Bu konuda kullanılan matris ve ikinci faz malzemelerine ait morfoloji ve miktar bilgileri, iyileşme sonrası ortaya çıkan oksidasyon ürünleri, kendini iyileştirme için gerekli olan iyileştirme sıcaklığı ve malzemenin tekrar mukavemet kazanma durumları Tablo 2'de özetlenmiştir. Seramiklerde tam anlamıyla kendini iyileştirmeden bahsedebilmek için aşağıdaki üç koşulun aynı anda gerçekleşmesi gerekmektedir [13].

- 1- Kendini iyileştirme reaksiyonu sonucunda, mekanik olarak en az matris malzemesi kadar mukavemetli reaksiyon ürünleri oluşmalıdır.
- 2- Çatlak duvarları arasındaki hacim, kendini iyileştirme sonucu oluşan reaksiyon ürünleri ile tamamen doldurulmalıdır.
- 3- Matris malzemesi ve çatlak duvarları arasındaki bağ yeteri kadar mukavemetli olmalıdır.

Bu koşulları karşılayabilmek için matris içerisine eklenecek ikinci fazın morfolojisi, cinsi, miktarı ve iyileştirme sıcaklığı en önemli parametrelerdir. Tablo 2'den de anlaşılacağı üzere ikinci faz olarak genellikle partikül veya visker şeklindeki SiC kullanılmaktadır. Bunun nedeni, SiC kullanılması durumunda oluşan reaksiyon ürünü olan SiO₂ 'nin hacimce genişme faktörünün yüksek oluşudur.

Dolayısı ile genellikle, oksidasyon reaksiyonu sonucunda çatlak bölgesinde SiO_2 ve/veya TiO_2 'nin oluşması istenmektedir. SiO_2 'nin hacimce genişleme faktörü ($\Delta V/V_0$) 1,07 civarında iken; $\text{TiO}_2 + \text{SiO}_2$ 'nin ise 1,67 civarındadır [33].



Şekil 2. Kendini iyileştirme mekanizmasının şematik gösterimi; (a) çatlak öncesi, (b) çatlak oluştuğundan hemen sonra, (c) yüksek sıcaklıkta kendini iyileştirme sonrası [13, 25, 26]

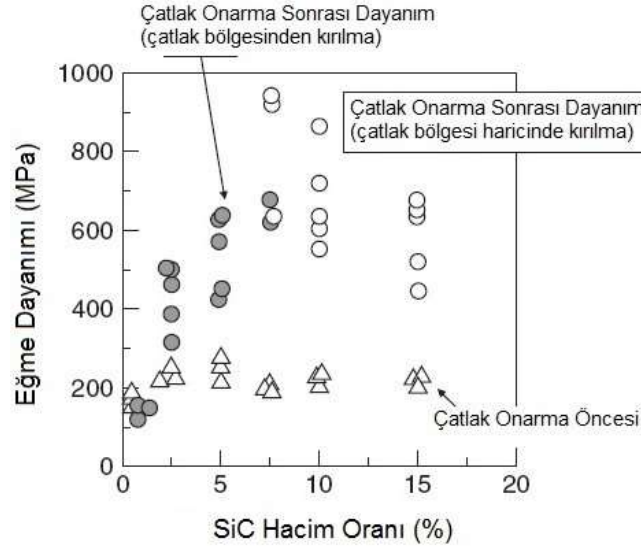
Tablo 2. Kendini iyileştirebilen seramikler için ikinci faz malzemeleri, oksidasyon ürünleri, ısıl işlem sıcaklıkları ve mukavemet kazanma durumları

İkinci faz (iyileştirici takviye)	Matris (ana malzeme)	İkinci faz miktarı (Hac. %)	Oksidasyon ürünleri	İyileştirme sıcaklığı (°C)	Mukavemet kazanma durumu	Ref.		
Partikül	SiC	Al ₂ O ₃	SiO ₂	1000-1300	↑	[25]		
				1300		[13]		
		Müllit		1000-1300		[32]		
				1200		[36]		
	Si ₃ N ₄	1100		[31]				
		1200-1350		[30]				
	TiSi ₂	Müllit		15		TiO ₂ , SiO ₂	600-1200	[34]
	TiC	Al ₂ O ₃		15-30		TiO ₂	400-1000	[35]
Visker	SiC		20	SiO ₂	1000-1300	[27]		

3. Kendini iyileştirme için gerekli olan optimum ikinci faz miktarı, sıcaklık ve üretim yöntemi

Tablo 2'den de anlaşılacağı üzere literatürdeki çalışmalarda seramik matris'e en az hacimce %15 oranında kendini iyileştirme özelliği kazandıran ikinci faz partikülü eklenmektedir. Çünkü çatlak onarma kabiliyetini belirleyen en önemli faktörlerden birisi de yapıdaki ikinci faz partikülünün (genellikle SiC) miktarıdır. Yapıdaki SiC miktarına bağlı olarak malzemenin etkin bir çatlak onarma yeteneği sergileyebilmesi için bir alt limit vardır. Şekil 3'de alümina (Al₂O₃) esaslı ve farklı oranlarda SiC ihtiva eden kendini iyileştirebilen seramiklerin çatlak onarma öncesi ve sonrası dayanımları görülmektedir [13]. Buna göre, kendini iyileştirme sonrası özellikle yaklaşık olarak %10 SiC oranlarına kadar yapılan eğme deneylerinde malzemenin tekrar çatlak bölgesinden kırıldığı ancak bu oranın üzerinde kırılmanın çatlak bölgesi haricinde gerçekleştiği anlaşılmaktadır. Ayrıca malzemenin tekrar eski mukavemetini kazanabilmesi için optimum ihtiyaç duyulan sıcaklığın da 1000-1300 °C civarlarında

olduğu anlaşılmış olup bu konuda yapılan çalışmalarla ilgili detaylı örnekler aşağıda verilmiştir [13-18, 22-37].



Şekil 3. Al₂O₃-SiC kompozitinde SiC oranına bağlı olarak çatlak onarma sonrası eğme dayanımları [28]

Konuyla ilgili Chlup ve diğ. [32] tarafından yapılan bir çalışmada araştırmacılar ağırlıkça %15 SiC partikülleri ihtiva eden Al₂O₃-SiC ikili kompozitini 1600 °C sıcaklık, 35 MPa basınç ve 4 saat süreyle sıcak pres tekniği kullanarak sinterlemişlerdir. Ardından Vickers indentasyonu ile oluşturdukları yüzey çatlaklarının iyileşme davranışları araştırılmıştır. Bunun için numuneler 1000 ile 1300 °C sıcaklıklar arasında 1 saat süreyle, normal oksijen ortamında ısıl işleme tabi tutulmuştur. Sonuç olarak 1300 °C civarındaki sıcaklıkta 1 saat süreli sinterleme işleminin, çatlakın tamamen onarılması için yeterli olduğu tespit edilmiştir.

Başka bir çalışmada araştırmacılar [31], hacimce %15 SiC ihtiva eden müllit ve SiC tozlarını yaş olarak karıştırmıştır. Çalışmada hacimce %1,5 oranında Y₂O₃ partiküllerini sinterleme yardımcı elemanı olarak yapıya eklenmiştir. Sıcak pres yöntemi ile gerçekleştirilen üretim işlemi için 1650°C sıcaklık, 35 MPa basınç ve 4 saat sinterleme süresi parametreler olarak belirlenmiştir. Ardından talaşlı imalat yöntemi ile bu numuneler üzerinde çeşitli delikler ve oluklar açılmıştır. Bu işlem esnasında talaşlı imalat takımının temas ettiği yüzeylerde oluşan mikro çatlakların iyileşmesi için numuneler farklı sıcaklık (1200, 1300 ve 1350 °C) ve sürelerde (1-10 saat) normal atmosferdeki ortamlarda ısıl işleme tabi tutularak iyileşme mekanizmalarının aktif hale getirilmesi amaçlanmıştır. En iyi iyileşmenin 1350°C 'de 1 saat çatlak onarma işlemine tabi tutulmuş numunelerde olduğu anlaşılmıştır.

SiC katkısı ile çatlak onarma özelliği kazandırılmış malzemeler ile ilgili farklı bir çalışma da, Takahashi ve diğ. [30] tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada araştırmacılar tarafından, ağırlıkça %20 'si SiC olan Si₃N₄ ve SiC tozlarını yaş karıştırma yöntemi ile alkol içerisinde 48 saat karıştırılmıştır. Sinterleme yardımcı elemanı olarak ise ağırlıkça %8 oranında Y₂O₃ partikülleri ilave edilmiştir. Sinterleme işlemi, sıcak pres yöntemi kullanarak 1850 °C sıcaklık ve 35 MPa basınç altında 2 saat süreyle gerçekleştirilmiştir. Ardından üretilen numunelerin yüzeyinde indentasyon çatlakları oluşturulmuş ve bir deney düzeneğinde 1200 °C sıcaklık ile aynı anda 200-250 MPa gerilme uygulayarak bu koşullar altındaki numunelerde çatlakların iyileşebilme yetenekleri karakterize edilmeye çalışılmıştır. Buna göre, 200 MPa gerilme ve farklı oksijen basınçlarına (50 ve 21000 Pa) maruz bırakılan numunelerdeki çatlaklar 3 ve 5 saat sonunda azalmakta ve hatta yüksek oksijen basıncı altındaki numunelerde çatlaklar tamamen kaybolmaktadır. Araştırmacılar, 200 MPa gerilme altında çatlak iyileştirmenin etkili olabilmesi için minimum oksijen basıncının 500 Pa olması gerektiğini belirtmişlerdir. Ayrıca 250 MPa gerilme altındaki numunelerde çatlakların tamamen iyileşemediği de görülmüştür.

Yoshioka ve diğ. [35] alümina içerisinde hacimce %15 ve 30 oranında TiC partiküllerini dağıtmış ve bu toz karışımlarını spark plazma sinterleme (SPS) yöntemiyle 1500 °C'de, 35 MPa basınç altında sinterleyerek malzemeye çatlak onarma özelliği kazandırmaya çalışmışlardır. Deneylerde mikro indentasyonla malzeme yüzeyinde oluşturulan çatlakların çatlak onarma testi öncesi ve sonrası

mikroyapıları analiz edilmiştir. Çatlak onarma işlemi için numuneler normal atmosfer koşullarında 400 ile 1000 °C aralıklarındaki farklı sıcaklıklarda 1 saat süreyle bekletilmiştir. Sonuç olarak %30 TiC içeren Al₂O₃-TiC kompozitinin 800 °C'de oldukça iyi bir çatlak onarma özelliğine sahip olduğu belirlenmiştir. Tüm bu çalışmalardan hareketle kendini iyileştiren seramiklerin toz metalürjisi yöntemleriyle üretildikleri, efektif bir kendini iyileştirmeden söz edebilmek için yapıda minimum %15 oranında ikinci faz partikülü (SiC, TiC) bulunmasının zorunlu olduğu, ısıl işlem sıcaklığının 800 ile 1300 °C arasında olması gerektiği ve en iyi iyileşmenin 1000 °C'nin üzerinde yapılan ısıl işlemlerde elde edildiği sonucuna varılmıştır.

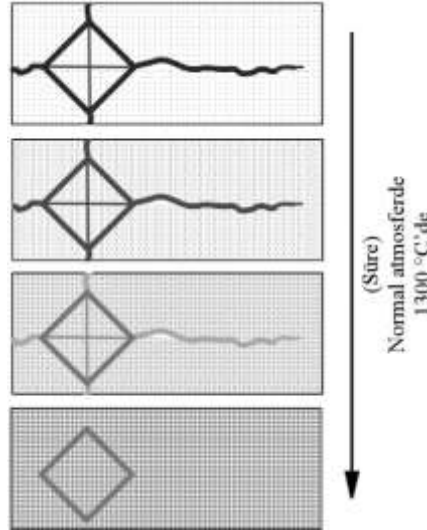
4. Kendini iyileştirme sonrası mikroyapı değişimi

Seramiklerde kendini iyileştirme olayı malzemenin mikroyapısından da açıkça gözlenebilmektedir. Kendini iyileştirmenin kanıtı olarak kullanılacak seramik mikroyapısına ulaşabilmek için genellikle aşağıdaki işlemler gerçekleştirilmektedir;

- 1- Üretilen seramik yüzeyinde vickers indentasyon yöntemi ile mikro çatlaklar oluşturulur,
- 2- Oluşturulan bu mikro çatlakların taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve/veya optik mikroskop ile görüntüleri alınır,
- 3- Yüzeyinde mikro çatlaklar oluşturulmuş seramik belirlenen parametrelerde kendini iyileştirme için ısıl işlem uygulanır,
- 4- Kendini iyileştirme sonrası tekrar SEM ve/veya optik mikroskopta indentasyon bölgesinden görüntü alınarak çatlakların kaybolduğu kanıtlanır.

Çatlakların kapanma mekanizmasını açıklayabilmek için araştırmacılar [13], hacimce %15 SiC (ortalama partikül boyutu 0,27 µm) ihtiva eden Al₂O₃-SiC kompozitini normal atmosferde, 1300 °C 'de ısıl işleme tabi tutmuş ve eş zamanlı olarak da bünyesindeki indentasyon çatlaklarının mikroyapısını gözlemlemişlerdir. Çatlakın iyileşmesi süreye bağlı olarak gözlenmiş olup mikroyapıdaki bu değişim şematik olarak Şekil 4'de verilmiştir. Buna göre şu sonuçlara ulaşılmıştır;

- 1- ilk olarak reaksiyon ilerledikçe reaksiyon ürünleri buğulu bir görüntü oluşturmakta,
- 2- çatlaklar reaksiyon ürünleri ile mükemmel bir şekilde doldurulmakta,
- 3- reaksiyon ürünleri kabarcıklı yapılar oluşturmakta ve
- 4- indentasyonun oluşturduğu çatlaklar tamamen ortadan kaybolmaktadır.

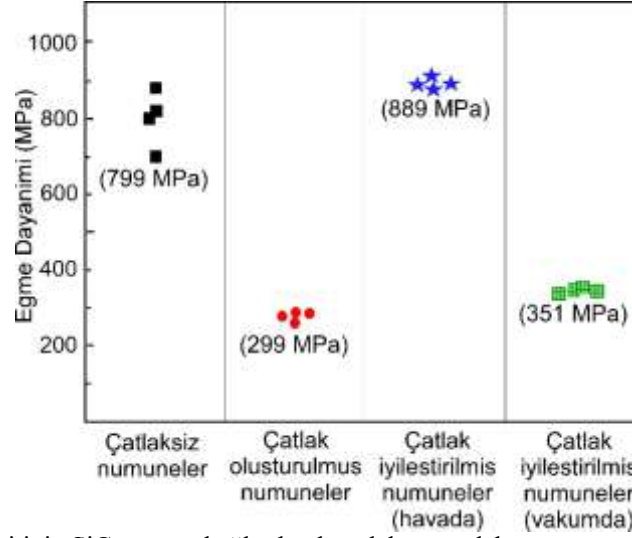


Şekil 4. Seramik malzemelerde kendini iyileşmesinin süreye bağlı gelişiminin şematik olarak gösterimi

5. Kendini iyileştirme sonrası mekanik özelliklerdeki değişim

Literatürdeki bazı çalışmalarda [4, 25, 30] kendini iyileştirmiş çatlak bölgesinin ana malzemeden daha yüksek dayanıma sahip olduğu belirtilmektedir. Bu durum kendini iyileştirme ısıl işlemi sırasında reaksiyon ürünlerinin oluşmasının büyük bir ekzotermik ısıya yol açması ve reaksiyon sonucu oluşan oksitli yapının kısmen ergiyerek matrisle güçlü bir bağ oluşturmasıyla açıklanmaktadır. Şekil 5'de

görüldüğü gibi çatlak oluşturulmuş kompozitin ortalama dayanımı 299 MPa, çatlaksız kompozitin ortalama dayanımı ise 799 MPa iken kendini iyileştirme sonrası ortalama eğme dayanımını 889 MPa değerlerine kadar yükselmiştir [27].



Şekil 5. ZrB₂-SiC kompozitinin SiC oranına bağlı olarak çatlaksız, çatlak onarma öncesi ve onarma sonrası farklı atmosferlerdeki eğme dayanımı [27]

Kim ve diğerleri [38], ağırlıkça %3 Y₂O₃ sinterleme katkısının yanı sıra %15 SiC ihtiva eden Al₂O₃-SiC seramiğinin çatlak oluşturulmadan önceki ve indentasyon yöntemi ile çatlaklar oluşturulduktan sonraki eğme dayanımlarını sırasıyla yaklaşık 850 MPa ve 240 MPa olarak ölçmüşlerdir. Ardından yapılan deneylerde, 1300 °C'de 1 saat süreyle yapılan kendini iyileştirme ısıl işlemi sonrasında eğme dayanımının yaklaşık 900 MPa değerlerine kadar yükseldiğini tespit edilmiştir.

Hacimce %18 SiC ihtiva eden Al₂O₃-SiC kompozitinin kendini onarma sonrası dayanımındaki değişimi belirlemek amacıyla üç noktalı eğme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bunun için kare kesitli çubuk numuneler kullanılmıştır. Çatlak onarma testleri için ilk önce numune yüzeylerinin tam ortasında 0,1 mm uzunluğunda yarı eliptik mikro çatlaklar oluşturulmuştur. Ardından kompozitler 10 saat çatlak onarma ısıl işlemine (1000, 1100, 1200 ve 1300 °C sıcaklıklarda) maruz tutulmuştur. 1300°C'de yapılan ısıl işlem sonucunda çatlakların tamamen kapandığı ve dayanımın yaklaşık 400 MPa'dan 900 MPa seviyelerine kadar yükseldiği belirlenmiştir [13].

Talaş kaldırma işlemi sonrası yapılan kendini iyileştirme işlemi ile de hacimce %15 SiC ihtiva eden müllit ve SiC esaslı seramiklerin eğme dayanımındaki değişimler analiz edilmiştir. Buna göre, yüzeyine oval oluk açılmış numunelerde, talaş kaldırma işlemi sonrası, eğme dayanımı yaklaşık 150 MPa civarında iken 1350 °C'de normal atmosferde çatlak onarma işlemi sonrasında bu değer 450 MPa değerlerine kadar yükselmiştir [31].

Sonuç olarak kendini iyileştirme sonrası seramiğin eski mukavemetini geri kazandığı ve hatta bazı durumlarda hasarsız halinden daha da mukavemetli olabildiği anlaşılmaktadır. En iyi mukavemetin elde edilmesi için kendini iyileştirme ısıl işleminin 1300 °C civarlarında gerçekleştirilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır.

6. Sonuç

Bu çalışmada seramiklerin kırılma tokluğunu arttırmaya yönelik mekanizmalar, kendi kendini iyileştirebilen akıllı seramiklerin önemi, kendini iyileştirme mekanizması, üretim yöntemi ve parametreleri, bileşimleri, mekanizmanın aktif hale gelmesi için gerekli olan sıcaklık değerleri, mikroyapı ve mekanik özelliklerindeki değişimler ilgili literatür ışığında derlenerek incelenmiştir. Buna göre;

- 1- Seramik bünyesine ikinci faz olarak partiküllerin, fiberlerin, viskerlerin, nanotüp veya nanoplakaların eklenmesi mikro çatlakların ilerlemesini durdurarak malzemenin kırılma tokluğunun arttırmaktadır.

- 2- Kullanım esnasında seramik yüzeyinde oluşan çatlakların kendiliğinden onarılmasını sağlayarak malzemeye tekrar mukavemet kazandırma prosesi kendini iyileştirme olarak tanımlanmakta olup bu sayede malzemenin işlevselliğini daha da arttırmak mümkündür.
- 3- Seramiklerde kendini iyileştirmenin mekanizması kısaca “malzeme bünyesindeki ikinci faz partikülünün, yüksek sıcaklıkta çatlak bölgesinde oksitlenmesi ve bu oksitlenme sonucu oluşan reaksiyon ürünlerinin çatlak bölgesini kapatıp ana malzemeyle bağ yapması” şeklindedir.
- 4- Kendini iyileştiren seramiklerde matris olarak genellikle Al_2O_3 , ikinci faz olarak da hacimce genişleme faktörü yüksek olduğundan SiC partikülleri kullanılmaktadır.
- 5- Kendini iyileştiren seramikler çoğunlukla toz metalurjisi yöntemleriyle üretilmektedir.
- 6- Etkin bir kendini iyileştirmenin elde edilebilmesi için yapıda en az hacimce %15 oranında SiC bulunmalıdır.
- 7- Mikroyapı açısından en iyi kendini iyileştirme $1000\text{ }^\circ\text{C}$ 'nin üzerinde ve normal oksijen atmosferinde veya yüksek oksijen basıncı altında yapılan ısıl işlemlerde elde edilmektedir.
- 8- Kendini iyileştirme ile seramik malzemenin eski mukavemetini geri kazanması ve bazı durumlarda ilk halinden daha da mukavemetli olması mümkündür. Bunun gerçekleşebilmesi için ihtiyaç duyulan optimum ısıl işlem sıcaklığı $1300\text{ }^\circ\text{C}$ civarlarındadır.

Teşekkür

Bu çalışma Hakkâri Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi (BAP) destekli FM2017BAP10 numaralı projenin ürünüdür.

Yazarların Katkısı

Çalışmada tüm katkı yazara aittir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada, araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar

- [1] Ashby M.F., Jones D.R.H. 2013. Ceramics. in Engineering Materials 2 (Fourth Edition), Edited by Ashby M.F., Jones D.R.H., Boston, Butterworth-Heinemann, 299-312.
- [2] Shi X.L., Xu F.M., Zhang Z.J., Dong Y.L., Tan Y., Wang L., Yang J.M. 2010. Mechanical properties of hot-pressed Al_2O_3/SiC composites. Mater. Sci. Eng. A, 527 (18-19): 4646-4649.
- [3] Sajgalik P., Dusza J., Hoffmann M.J. 1995. Relationship between Microstructure, Toughening Mechanisms, and Fracture Toughness of Reinforced Silicon Nitride Ceramics. J. Am. Ceram. Soc., 78 (10): 2619-2624.
- [4] De Aza A.H., Chevalier J., Fantozzi G., Schehl M., Torrecillas R. 2002. Crack growth resistance of alumina, zirconia and zirconia toughened alumina ceramics for joint prostheses. Biomaterials, 23 (3): 937-945.
- [5] Lewis M.H., Dohedoe R.S. 2002. Creep of Ceramics. in Encyclopedia of Materials: Science and Technology, Edited by Buschow K.H.J., Cahn R.W., Flemings M.C., Ilschner B., Kramer E.J., Mahajan S., Veysière P., Oxford, Elsevier, 1-7.
- [6] Marshall D.B., Hannink R.H.J. 2013. Ceramics: Transformation Toughening. in Encyclopedia of Materials: Science and Technology, Edited by Buschow K.H.J., Cahn R.W., Flemings M.C., Ilschner B., Kramer E.J., Mahajan S., Veysière P., Oxford, Elsevier, 1113-1116.
- [7] Yavas B., Sahin F., Yucel O., Goller G. 2015. Effect of particle size, heating rate and CNT addition on densification, microstructure and mechanical properties of B_4C ceramics Ceram. Int., 41 (7): 8936-8944.

- [8] Ozel S., Vural E. 2016. The microstructure and hardness properties of plasma sprayed Cr₂O₃/Al₂O₃ coatings. *J. Optoelectron. Adv. M.*, 18 (11-12): 1052-1056.
- [9] Ozel S., Turhan H. 2010. The Microstructure and Hardness Properties of ZrO₂+Y₂O₃/Al₂O₃ Layers Coated by Using Plasma Spray Process on Al Bronze Surface. *Praktische Metallographie*, 47 (10): 560-570.
- [10] Gogotsi G.A. 2003. Fracture toughness of ceramics and ceramic composites. *Ceram. Int.*, 29 (7): 777-784.
- [11] Ocak B.C., Yavas B., Akin I., Sahin F., Goller G. 2018. Spark plasma sintered ZrC-TiC-GNP composites: Solid solution formation and mechanical properties. *Ceram. Int.*, 44 (2): 2336-2344.
- [12] Gopal V., Manivasagam G. 2019. Zirconia-alumina composite for orthopedic implant application. in *Applications of Nanocomposite Materials in Orthopedics*, Edited by Inamuddin, A.M., Mohammad A., Woodhead Publishing, 201-219.
- [13] Nakao W., Koji T., Kotoji A. 2009. Self-healing of Surface Cracks in Structural Ceramics. in *Self-healing Materials Fundamentals, Design Strategies, and Applications*, Edited by Ghosh S.K., Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 183-213.
- [14] Madhan M., Prabhakaran G. 2012. Self-healing Ability of Structural Ceramics – A Review. in *Trends in Intelligent Robotics, Automation, and Manufacturing*, Edited by Ramanathan K.C., Springer, 466-474.
- [15] Sihyun P., Ahn T., Kim S., Kim H., Shim K. 2015. Crack self-healing behavior in silicon carbide composite ceramics to secure structural integrity and improve economics. *Journal of Ceramic Processing Research*, 16: 114-131.
- [16] Rebillat F. 2014. Advances in self- healing ceramic matrix composites. in *Advances in ceramic matrix composites*, Edited by Low I.M., Woodhead Publishing Limited, 369-398.
- [17] Aissa B., Haddad E.I., Jamroz W.R. 2014. *Self-healing Materials : Innovative Materials for Terrestrial and Space Applications*. Smithers Rapra Technology, 274 p, Shropshire, United Kingdom.
- [18] Wypych G. 2017. *Self-Healing Materials Principles & Technology*. First Edition ChemTec Publishing, 262 p, Ontario, Canada.
- [19] Easler T.E., Bradt R.C., Tressler R.E. 1981. Strength Distributions of SiC Ceramics After Oxidation and Oxidation Under Load. *J. Am. Ceram. Soc.*, 64 (12): 731-734.
- [20] Ding Y., Dong S., Huang Z. 2017. Fabrication of short C fiber-reinforced SiC composites by spark plasma sintering. *Ceramics International*, 33: 101-105.
- [21] Meng X., Xu C., Xiao G., Yi M., Zhang Y. 2016. Microstructure and anisotropy of mechanical properties of graphene nanoplate toughened Al₂O₃ -based ceramic composites. *Ceram. Int.*, 42 (14): 16090-16095.
- [22] Hull E.R., Parisi J., Fibers P.C. 2007. *Self Healing Materials An Alternative Approach to 20 Centuries of Materials Science*. Springer, 388 p, Netherlands.
- [23] Blaiszik B.J., Kramer S.L.B., Olugebefola S.C., Moore J.S., Sottos N.R., White S.R. 2010. Self-Healing Polymers and Composites. *Annu. Rev. Mater. Res.*, 40 (1): 179-211.
- [24] Mercy L., Prakash S. 2016. Self healing composite materials : A review. *International Journal of ChemTech Research*, 9 (3): 316-324.
- [25] Nakao W. 2010. Second Step Approach for Self Healing Ceramics. *Thermec 2009*, 638: 2133-2137.
- [26] Osada T., Nakao W., Takahashi K., Ando K. 2014. Self-crack-healing behavior in ceramic matrix composites. in *Advances in Ceramic Matrix Composites*, Edited by Low I.M., Woodhead Publishing, 410-441.
- [27] Lee P., Ahn T.H., Kim S.H., Kim H.M., Shim K.B. 2015. Crack self-healing behavior in silicon carbide composite ceramics to secure structural integrity and improve economics. *J. Ceram. Process. Res.*, 16: 114-131.
- [28] Takahashi K., Ando K., Nakao W. 2011. Crack-Healing Ability of Structural Ceramics and Methodology to Guarantee the Reliability of Ceramic Components. in *Raw Materials, Processing, Properties, Degradation and Healing*, Edited by Sikalidis C., IntechOpen.
- [29] Takahashi K., Yokouchi M., Lee S.K., Ando K. 2003. Crack-Healing Behavior of Al₂O₃ Toughened by SiC Whiskers. *J. Am. Ceram. Soc.*, 86 (12): 2143-2147.
- [30] Takahashi K., Jung Y.S., Nagoshi Y., Ando K. 2010. Crack-healing behavior of Si₃N₄/SiC

- composite under stress and low oxygen pressure. *Mater. Sci. Eng. A*, 527 (15): 3343-3348.
- [31] Lee S.K., Ono M., Nakao W., Takahashi K., Ando K. 2005. Crack-healing behaviour of mullite/SiC/Y₂O₃ composites and its application to the structural integrity of machined components. *J. Eur. Ceram. Soc.*, 25 (15): 3495-3502.
- [32] Chlup Z., Flasar P., Kotoji A., Dlouhy I. 2008. Fracture behaviour of Al₂O₃/SiC nanocomposite ceramics after crack healing treatment. *J. Eur. Ceram. Soc.*, 28 (5): 1073-1077.
- [33] Greil P. 2012. Generic principles of crack-healing ceramics. *J. Adv. Ceram.*, 1 (4): 249-267.
- [34] Yoshioka S., Nakao W. 2015. Methodology for evaluating self-healing agent of structural ceramics. *J. Intell. Mater. Syst. Struct.*, 26 (11): 1395-1403.
- [35] Yoshioka S., Boatemaa L., Zwaag S., Nakao W., Sloof W. G. 2016. On the use of TiC as high-temperature healing particles in alumina based composites. *J. Eur. Ceram. Soc.*, 36 (16): 4155-4162.
- [36] Nakao W., Takahashi K., Ando K. 2007. Threshold stress during crack-healing treatment of structural ceramics having the crack-healing ability. *Mater. Lett.*, 61 (13): 2711-2713.
- [37] Nguyen S.T., Nakayama T., Suematsu H., Iwasawa H., Suzuki T., Niihara K. 2019. Self-crack healing ability and strength recovery in ytterbium disilicate/silicon carbide nanocomposites. *Int. J. Appl. Ceram. Technol.*, 16 (1): 39-49.
- [38] Kim H., Kim M., Kang S., Ahn S., Nam K. 2008. Bending strength and crack-healing behavior of Al₂O₃/SiC composites ceramics. *Mater. Sci. Eng. A*, 483: 672-675.

Derleme Makalesi / Review Article

Towards a Testbed for Dependable Power Distribution Grids

Kubilay DEMİR^{1*}, Hauke SASCHA²

¹Bitlis Eren University, Department of Electrical Electronics Engineering, Turkey

²Landshut University of Applied Sciences, Germany

(ORCID: 0000-0001-5355-2472) (ORCID: 0000-0001-7822-0191)

Abstract

The evolution of power grids into digitized smart grids (SGs) brings about promising opportunities but also considerable challenges. On the one hand, smart grids promise more efficient, sustainable and reliable operation while providing more market functions and better customer service. On the other, however, the distributed nature of power generation in SGs poses challenges w.r.t. dependable distributed command and control (C2), digital service provisioning, and secure and reliable data communication. Distributed C2 of systems such as SGs hinges on reliable, timely and secure data communication. Thus, future SGs will be fully digitized. As such, for dependable SGs, novel, secure, resilient methods and communication protocols must be developed. In order to do so, a novel hardware-in-the-loop simulation testbed should be developed and used to validate the research that is capable of accurately modelling both the digital IT networks that control the SG, as well as the SG's power infrastructure -- from big transformer substations to prosumer households. There is a general lack of hardware integrated test-beds that focus on the distributed control and wireless edge networks for smart grids. In this paper, we demonstrate a cyber-physical testbed development framework, which we believe to help the researchers to in the development future cyber-physical testbeds. Our assessment also reveals the need for such testbed for implementation of future SG applications.

Keywords: Smart grid, communication, reliability, dependability, digitalization.

Güvenilebilir Dağıtım Şebekeleri için Dijitalleşme

Öz

Güç şebekelerinin sayısallaştırılmış akıllı şebekelere (AŞ'ler) evrimi gelecek vaat eden fırsatlar ve aynı zamanda önemli zorluklar yaratmaktadır. Bir yandan, akıllı şebekeler daha fazla pazar işlevi ve daha iyi müşteri hizmeti sunarken daha verimli, sürdürülebilir ve güvenilir bir operasyon vaat ediyor. Öte yandan, AŞ'lerde elektrik üretiminin dağılık doğası, güvenilir dağıtılmış komuta ve kontrol (K2), dijital servis sağlama ve güvenli ve güvenilir veri iletişimi açısından zorluklar doğurmaktadır. AŞ'ler gibi dağıtılmış K2 sistemleri, güvenilir, zamanlı ve güvenli veri iletişimine dayanır. Böylece, gelecekteki AŞ'ler tamamen dijital hale getirilecektir. Bu nedenle, güvenilir AŞ'ler için yeni, güvenli, esnek yöntemler ve iletişim protokolleri geliştirilmelidir. Bunu yapabilmek için, hem AŞ'yi kontrol eden dijital BT (bilgi teknolojileri) ağlarını hem de AŞ'nin güç altyapısını doğru bir şekilde modelleyebilecek araştırmayı doğrulamak için yeni bir çevrim içi donanım simülasyonu testi geliştirilmeli ve kullanılmalıdır -- büyük trafo merkezlerinden tüketici hanelerine kadar. Akıllı şebekeler için dağıtılmış kontrol ve kablosuz kenar ağlara odaklanan, genel donanım entegre edilmiş test ortamları eksikliği vardır. Bu yazıda, gelecekteki enerji ağlarının temel taşı olduğuna inandığımız siber-fiziksel bir test ortamı öneriyoruz. Değerlendirmelerimize göre: fiziksel elektrik şebekesi birimlerini BT teknolojileri ile beraber çalıştıran bir test ortamı, AŞ uygulamaları için çok daha gerçekçi sonuçlar verecektir.

Anahtar kelimeler: Akıllı elektrik tesisleri, güvenilirlik, haberleşme, dijitalleşme.

1. Introduction

Power generation and distribution systems are among the largest and most complex cyber-physical system of systems ever deployed, both technologically and administratively (see Figure 1). Over the better part of a century, the basic tenets of overall systems design in this domain have changed little.

*Corresponding author: kdemir@beu.edu.tr

Received: 19.12.2019, Accepted: 28.05.2020

Complexity has been handled by implementing a hierarchical design approach: energy is generated by massive power station and delivered via tightly controlled transmission and distribution grids, thus segregating power generation and consumption. Furthermore, institutional systems operators control the generation, grid resources, and their mutual coordination using dedicated industrial control systems. Due to the penetration of renewable energy resources into the entire power grid, this is changing [1,5].

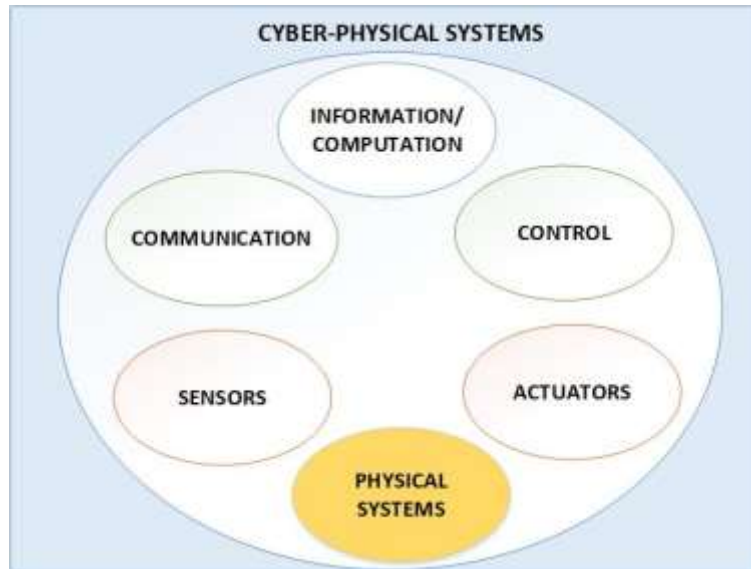


Figure 1. Illustration of Cyber-Physical Systems

The centrally managed power grid is in the process of being transformed into an adaptive, distributed, fully digitized power infrastructure, the Smart Grid. The trend towards distributed power generation is not only envisioned to yield a more efficient, dependable and resilient power grid, but also to lessen the reliance on fossil fuels for power generation. Thus, control structures for the distribution grid must be capable of handling the demands imposed by the massive incorporation of distributed sustainable energy sources such as solar and wind power [1,2,5].

As energy production is now pushed towards the edge of the network, i.e., occurring in the low-voltage distribution grid, new opportunities and challenges arise. On the one hand, distributed energy production offers benefits with regard to higher autonomy of local energy grids, potentially giving distribution grid operators more independence from the transmission grid. As a consequence, less energy has to be drawn from the transmission grid, resulting in reduced strain on system components, such as transformers, and reducing the investment that will be needed for the expansion of transmission lines and traditional centralized power generation capacity [1]. Less reliance on centralized systems is foreseen to provide dependability benefits, particularly with regard to digital control systems [1].

On the other hand, distributing energy generation brings about new challenges in a number of fields, ranging from regulatory questions, to the need for new business models, to power infrastructure and IT investments, and secure, dynamic, dependable, distributed, digital control mechanisms [2].

Reliable, secure C2 and communication protocols, in conjunction with the testbed demonstrator, in turn, enable the development of (value-added) digital services on the energy network. Realtime simulations in both the IT and Power Systems side integrate with physical grid and IT hardware components. The components required and their integration into the proposed lab infrastructure are listed further down. There is a general lack of hardware integrated test-beds that focus on the distributed control and wireless edge networks for smart grids. In this paper, we present a cyber-physical testbed framework, which we believe to be a cornerstone of future energy networks.

The rest of the paper are organized as follows. Research goals and methodology is presented in section 2, underlying the basic principles and operating fundamentals to implement the proposed testbed. Section 3 defines the proposed testbed. Section 4 presents the work plan and research results, along with along with probable research topics that can be conducted on the testbed. We finally conclude the paper and discuss the future research directions in section 5.

2. Methodology and Testbed

In construction of the cyber-physical testbed, the focus should be on the investigation and development of a digital infrastructure and integrated physical platform for dependable distribution-side smart grid services. This comprises:

- Analyses of the required distribution of IT hardware and software systems,
- Analyses of the communication systems and protocols necessary to link the distributed IT systems.
- Analyses of the physical resources (power components) that can be integrated with cyber systems.
- Development of a hardware integrated cyber-physical simulation testbed.

The aim in the building such a testbed should be as follows:

- Enhancement of existing and development of novel methods, protocols and software systems for distributed coordination and control for the smart grid,
- Monitoring and analyzing the effects of cyber-attacks over the physical systems by using the developed testbed.

Given the nature of smart grids as part of a critical infrastructure operated under heavy regulation in an established market environment, the conducted researches running on the testbed should comply with the number of constraints [3]. Considering these constraints, assessment of the researches running on the testbed should be able to the researcher to answer the question of how digitization in low-voltage energy grids can be used to yield a distributed power system that is more dependable, secure, efficient, sustainable and resilient than traditional energy networks. To answer this question, the researchers can use techniques from the fields of computer science, such as distributed systems design, software engineering, computer networks and communication, and dependable systems, and apply it to the electrical engineering field of power generation and distribution. Moreover, regulatory aspects are taken into account during systems development. IT investment and integration costs should be also balanced against a benefits analysis when proposing the deployment of systems [2].

2.1. Methodology

Methodologically, the proposed testbed-construction research is conducted in three phases, each of which builds upon the previous phase in a bottom-up approach:

Phase 1: Pro-Sumer Household Coordination and Control; During this phase, the researchers should determine the demands of distributed coordination required at the home level. This includes the integration of energy producing systems (e.g., photovoltaics), energy consumers (e.g., Electric Vehicles), and energy stores and buffers (e.g., home batteries) into a home-level control and coordination system. At this level, the technical constraints with regards to aspects such as communication latency, security and resilience to attacks are more controllable than in later phases, providing a base for the development of protocols and systems [2,3].

Phase 2: Neighborhood Distribution Systems Coordination and Control; Moving from a single household to a complete segment on the low-voltage distribution grid, the methods, protocols and systems developed in the previous is extended and, where necessary, complemented with new systems for the coordination of distributed resources. At this level, the distribution grid provider with its power infrastructure components becomes an active participant in the coordination. Ancillary services (frequency and voltage control, scheduling and dispatching, etc.) have to be taken into account at this level [1,2]. Additionally, communication on this level occurs over larger area, possibly using various different types of network (protocols) and carriers, and has to be coordinated developing new protocols. The feasibility of implementing a local energy exchange and services platform on top of the coordination system, i.e., the local digitized energy control center, should also be investigated.

Phase 3: Distribution-Transmission Grid Interoperation; Finally, interoperation between the transmission grid and the digitized distribution grid should be investigated. In particular, the researchers should look at how to achieve integration of smart, potentially self-sufficient microgrids, distribution grids and the transmission grid. This includes ensuring basic ancillary services required to guarantee overall network stability, the digital services required between distribution grid customers, the distribution grid operator and the transmission grid operator, and the digital infrastructure that has to be deployed for efficient and dependable operation. Beyond these basic services, higher-level data

driven services for various scenarios should be integrated into the local energy control center. These scenarios cover potential services between distribution and transmission grid operator, such as a virtual power plant operation mode of the distribution grid, as well as service interfaces between prosumer distribution grid customers and the energy market which are mediated by the distribution grid operator [1,2]. Regulatory, business and power & IT investments are main factors are taken into account during development.

To handle the above-mentioned three phases during the construction of the testbed integrating simulation, emulation, and physical systems, 3 steps below should be followed:

- what kind of devices, software and protocols do we have to develop for a SG prosumer household, challenges etc.
- then moving on to integration of SG prosumers into the local distribution grid, challenges of C&C for the distribution grid for the operator, required development and invest in local and regional power control systems, potentially business side, Deterlab large network and real-time simulations, etc.
- then moving on towards challenges wrt interoperation of prosumers, distribution grid operator and transmission operator.

2.2. Testbed

The foundation of implementing these phases is a robust integrated simulation framework with hardware-in-the-loop. Realtime simulations in both the IT and Power Systems side should integrate with physical grid and IT hardware components [4,7]. There is a general lack of hardware integrated testbeds that focus on the distributed control and wireless edge networks for smart grids, which we believe to be a cornerstone of future energy networks. To fully implement an energy and communication grid testbed we need to include power infrastructure and control systems, in addition to the dataflow and communication IT infrastructure.

For the power side, the researcher should focus on creating a real-time hardware-in-the-loop test bed using such as EV batteries and other electrical system components with a Real-Time Digital Simulator (RTDS). RTDS is capable of simulating high voltage transmission systems in the safety of software and distribution grids on scales impractical to physically model in a lab. Connected with real hardware large quantities of simulated smart grid data can be generated by both the simulation and real-world devices in unison synchronized with NTP and GPS timestamps. This allows a realistic integration of distributed generation resources to both the edges and intermixed with existing established multi-bus transmission and distribution systems, many of which have anonymized models available online for free [4,7].

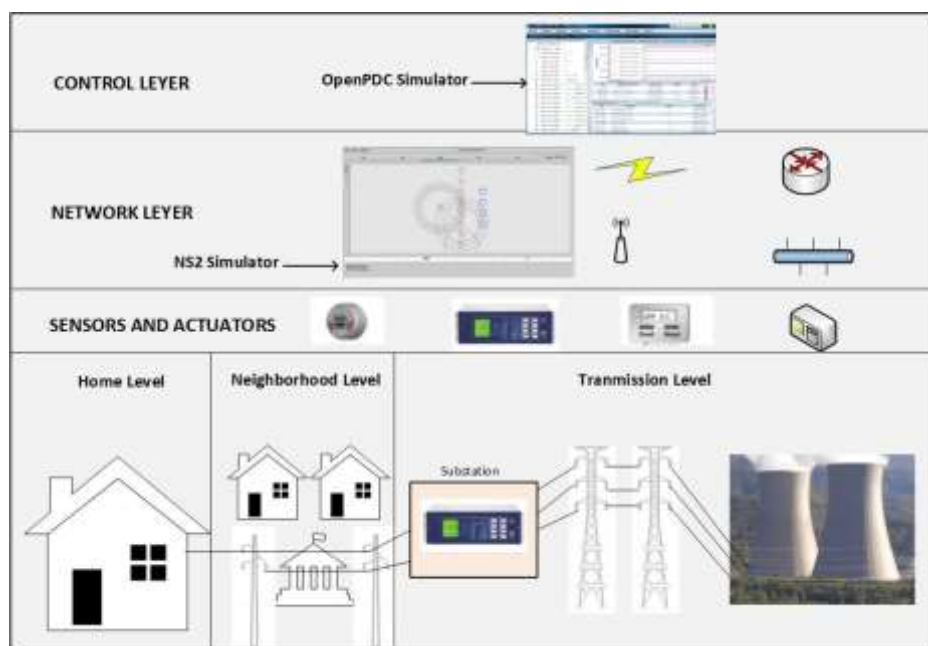


Figure 2. The proposed Cyber-Physical test bed architecture

We envision the communication side of smart distribution grids taking the form of a neighborhood area network (NAN) wireless communication being the basis for communication command and control processes from a power distribution network (PDN) as depicted in Figure 2. Some test-beds support wireless communication but all for indoor communication. There is a lack of similar testbeds for wide area outdoor networks, which support outdoor wireless sensor networks (WSN) deployment and/or usage of cellular carrier networks [4,7]. Analysis is needed on the type and quality of service system operators would need to negotiate for in a service level agreement, as some devices and applications need bandwidth, while others instead require latency or uptime guarantees. Cisco Fog routers, which are equipped with cellular modems and standard WiFi frequencies, in addition to the ability to run custom code, make a useful testbed component for testing code running across a wireless network. For more advanced wireless testing, software defined radios provide access to custom configurations of wireless spectrum and protocols.

To emulate the full wired network attack surface, Deterlab can create large networks with varying attributes and computing capacity to act as a WAN and PDN transfer medium for the data. It's capability to spin up virtual machines on nodes defined throughout a network simulator (NS) graph allows for inserting code for data processing, overlay networks, or adversarial network members [4,7]. This WAN network, in tandem with wireless networking components, is key to testing the full scope of security risks and implications to a mixed public private utility network.

Phase 1 Using these components the researchers should begin phase 1 by accurately modeling a prosumer household and its connection to the PDN. They then create a complete hardware-in-the-loop setup based on the model system implemented at the existing power infrastructure hardware. They can implement the testbed to control and receive feedback from the existing hardware systems, which include photovoltaics, batteries, and EVs connected to an energy bus system. They then analyze this system to understand its operation under standard conditions and under attack scenarios, from which we determine the requirements for reliable operation of this prosumer household. From this they can amend and extend the design of the command and control infrastructure, for instance by installing further devices such as code running edge routing technology. This yields a model of a prosumer household connected to a smart distribution grid.

Phase 2 From the phase 1 model, the researchers build up a complete distribution grid with multiple prosumer households tweaking their parameters to see the impact on their neighbors, the distribution grid, and renewable generation sources. From this they look at modeling small, localized control centers and the interactions with control entities on the distribution grid. They should look specifically at the control data flow between command components on the distribution grid, focusing on the components of the system that benefit from digitizing. Based on this research they theorize changes in the overall control topologies, suggesting hierarchical approaches and methodologies for distributing control logic to computation systems located across the distribution network.

Phase 3 focuses on the interconnect between the distribution and transmission grid at the substation level. Aim of the phase is to focus on how the distribution grid and its entities interact with the transmission grid through substation equipment, and look at increased integration based on the demands of protection logic found at the interface between transmission and distribution [6]. The benefits of upgrading substation communications with the distribution grid entities must be determined, thereby providing a complete model for smart distribution grid operation from the transmission grid interconnection to the prosumer.

3. Assessment

The proposed testbed enables the researchers to provide novel, secure, resilient and dependable methods for the distribution-side smart grid. The testbed framework focuses on ICT systems, software and protocols to achieve efficient and secure operation, and includes an analysis and countermeasures to attacks. The power infrastructure be modelled but largely assumed to be an existing infrastructure; where necessary, the limited augmentation of lines, generation capacity and electrical system components in the power system should be taken into account, and recommendations made. Specifically, during the development of the testbed, the following steps should be carried out:

- A technical guide on dependable control and coordination of a **smart prosumer household**, including secure protocols for data interchange, ICT systems and home grid integration

- A technical guide on dependable control and coordination of **neighborhood grids**, including secure protocols for data interchange, ICT systems and distribution grid integration
- A technical guide on dependable operation of **smart distribution grids from substation to households**, including secure protocols for data interchange, ICT systems and distribution/transmission grid interconnection.

According to our assessment, a testbed constructed based on the above-mentioned criteria provides realistic results for smart grid applications versus the existing testbed testing either ICT or power grid sides.

On the other hands, Figure 3. shows that the applications running on these three power grid areas require remarkably different latencies. While home grid and neighborhood grid require relatively higher and flexible latency values, transmission grid requires strict latency values, which is not easy to provide with on the shelf products [1-2]. Moreover, Table 1 denotes while transmission grid requires high reliability and security, home and neighborhood grids require high privacy and medium reliability and security [3,4].

To properly model such a complex system with different and dynamic latency, reliability and security requirements, we consider that the proposed hardware integrated and cyber-physical smart grid testbed is necessary and a must for safety implementation of future smart grid applications. The proposed model is built by the authors' large experiences on this field, which helps researchers build such a testbed near future.

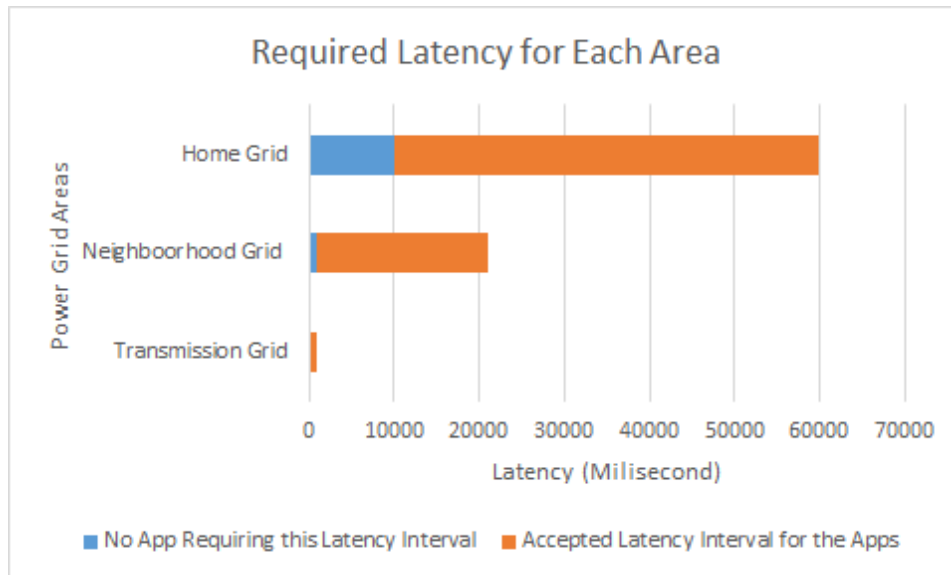


Figure 3. Latency Requirements of Different Power Grid Area Applications

Table 1. Security, Privacy and Reliability Requirements Comparison of Power Grid Areas

	Reliability	Security	Privacy
Transmission Grid	99,5	High	Low
Neighborhood Grid	99	Medium	Medium
Home Grid	98	Medium	High

4. Conclusion

Implementing a cyber-physical application, particularly for critical infrastructures such as the Smart Grid, requires a testbed combining both IT infrastructure and the physical infrastructure in order to properly assess the effect of the both failures of cyber and physical components. Wireless networks, in particular in the access network, will be the prominent communication media for SG devices. Modelling wireless media via simulation tools do not give correct results for time-sensitive applications of SG. Therefore, developing such a testbed is of great importance when considering the future of power distribution grids will base on IT infrastructure. However, developing such a complex testbed is not a

trivial issue. In this work, we propose a cyber-physical testbed framework with development phases and probable research topics that can be conducted on. Our assessment also shows the requirements of such testbed. For future work, we plan to implement a small-scale such a test bed and discuss possible issues about getting correct results for both IT and power sides.

Acknowledgement

Thanks to my colleagues giving feedback about the paper and the topic.

Author's Contributions

All authors have contributed equally to this work.

Statements of Conflicts of Interest

There is no conflict of interest among the authors.

Statement of Research and Publication Ethics

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

References

- [1] Fang X., Misra S., Xue G., Yang D. 2012. Smart grid-the new and improved power grid: A survey. *IEEE communications surveys & tutorials*, 14 (4): 944-980.
- [2] Gungor V.C., Sahin D., Koçak T., Ergut S., Buccella C., Cecati C., Hancke G.P. 2013. A Survey on smart grid potential applications and communication requirements. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 9 (1): 28-42.
- [3] Oldak M., Kilbourne B. 2010. Communications requirements comments of utilities telecom council. Department of Energy, Washington, DC, USA.
- [4] Cintuglu M.H., Mohammed O.A., Akkaya K., Uluagac A.S. 2017. A survey on smart grid cyber-physical system testbeds. *IEEE Communications Surveys Tutorials*, 19 (1): 446-464.
- [5] Demir K., Germanus D., Suri N. 2015. Robust qos-aware communication in the smart distribution grid. *Peer-to-Peer Networking and Applications*, 10 (1): 193-207.
- [6] Wang W., Lu Z. 2013. Cyber security in the smart grid: Survey and challenges. *Computer Networks*, 57 (5): 1344-1371.
- [7] Hahn A., Ashok A., Sridhar S., Govindarasu M. 2013 Cyber-Physical Security Testbeds: Architecture, Application, and Evaluation for Smart Grid. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 4 (2): 847-855.
- [8] <https://www.iotone.com/term/cyber-physical-systems-cps/t145> (Accessed: 07.11.2019).

BEU FEN BİLİMLERİ DERGİSİ

YAZIM KURALLARI

İLK SUNUŞ FORMATI

Makaleler elektronik ortamda Word dosyası olarak sunulmalıdır. Makale, A4 kâğıda, 11 punto büyüklüğündeki Times New Roman fontuyla, tüm kenarlardan 2,5 cm boşluk bırakılarak, tek satır aralıklı olarak yazılmalıdır. Makaleler 20 sayfayı geçmeyecek şekilde yazılmalı ve online olarak <http://dergipark.gov.tr/bitlisfen> adresinden gönderilmelidir. Kör hakemlik uygulamasından dolayı makale ana dosyasında yazar bilgileri verilmemelidir. Yazar bilgileri ayrı bir dosya yüklenerek verilmelidir. Bir sayıda aynı yazara ait en fazla 2 yayın bulunabilir. **Gönderiler, araştırma ve yayın etiğine uygun olmak zorundadır.** Makaleler aşağıda verilen düzene ve kurallara göre yazılmalıdır.

Makalenin ana bölümleri Giriş, Materyal ve Metot, Bulgular ve Tartışma, Sonuç ve Kaynaklardan oluşur.

Benzerlik Oranı: Gönderilen makalelerin benzerlik oranı %15'i geçmemelidir. Her bir benzerlik oranı ise %3'i geçmemelidir.

Makale Dili: Türkçe veya İngilizce'dir.

Başlık: İçeriğe uygun, kısa ve anlaşılır olmalıdır. Türkçe ve İngilizce başlıklar Times New Roman, 14 punto, kalın (**bold**), ilk harfleri büyük ve ortalanarak yazılmalıdır.

Yazar isimleri ve adresleri: Başlığın altındaki yazar isimleri kısaltmasız, ilk harf büyük ve soyadı büyük harflerle, 12 punto, ortalı olarak yazılmalıdır. Yazar isimlerinden sonra virgül ve adres belirtmek için üst simge olarak rakam kullanılmalıdır (1, 2, 3, gibi). Sorumlu yazar isminde mutlaka üst simge yıldız sembolü olmalıdır

(*). Yazarların tam adresleri isimlerinin hemen alt kısmına küçük harflerle (İlk harfler büyük), ortalı, italik ve 10 punto yazılmalı, sorumlu yazarın e-mail adresi ilk sayfanın sol alt köşesinde (*) sembolü ile belirtilmelidir.

Özet ve Anahtar kelimeler (Summary ve Keywords): Makalede Türkçe ve İngilizce öz olmalı ve makale özü en az 75, en fazla 250 sözcük içerecek şekilde 10 punto olarak yazılmalıdır. Her iki özün hemen altında en az 3, en fazla 6 sözcükten oluşan Anahtar Kelimeler (Keywords) 10 punto olarak yazılmalıdır.

Ana Metin: Makaledeki ana başlıklar ve varsa alt başlıklar anlaşılır ve numaralı olmalıdır. Tüm ana metin başlıkları sola yanaşık, İlk harfleri büyük diğerleri küçük harflerle, 11 punto ve kalın karakter olmalıdır. Alt başlıklar 11 punto yazılmalıdır. Metin; iki yana yaslı, paragraflar arası satır boşluğu kullanılmamalı, alt başlıklardan hemen sonraki ilk paragrafta girinti olmamalıdır.

Giriş: Konu hakkında kısa bir literatür bilgisi vermeli, sonunda çalışmanın amacı kısaca belirtilmelidir.

Materyal ve Metot: Detaylı ve açıklayıcı bir biçimde verilmelidir.

Bulgular ve Tartışma: Bu bölümde elde edilen sonuçlara yer verilmeli, sonuçlar gerekirse şekil ve tablolarla da desteklenmelidir. Elde edilen bulgular ilgili literatürlerle karşılaştırılmalıdır.

Sonuç ve Öneriler: Sonuçlar gereksiz tekrarlardan kaçınılarak mutlaka yorumlanmalıdır. Sonuçların başka araştırmalarla benzerlik ve farklılıkları verilmeli, bunların olası nedenleri tartışılmalıdır.

Teşekkür: Gerek görüldüğü takdirde ya da proje vs. kapsamında bir çalışma ise; çalışmada yardımları olan kişi(ler), kurum ve kuruluşlara yardım ve desteklerinden dolayı teşekkür edilmelidir.

Kaynaklar: Kaynakların metin içinde gösterimi numara sırasına göre olmalıdır ([1], [2] v.b.). Makale içinde verilen her kaynak, makalenin Kaynaklar kısmında mutlaka yer almalıdır. Kaynaklar makale sonunda numara sırasına göre verilmelidir. Kaynakların makale sonundaki gösterimi aşağıdaki örneklerdeki gibi olmalıdır.

Kaynak bir makale ise;

1. Köksal K., Koç F. 2016. Optical Manipulation of Photo-induced Current in Spherical Semiconductor Quantum Dots by Optical Vortices. *Philosophical Magazine*, 96 (25): 2686-2695.
2. Kurşat M., Emre İ., Yılmaz Ö., Erecevit P. 2011. Antioxidant and antimicrobial activity in the seeds of *Origanum vulgare* L. subsp. *gracile* (C. Koch) letswaart and *Origanum acutidens* (Hand.-Mazz.) letswaart from Turkey. *Grasas y aceites*, 62 (4): 410-417.

Kaynak bir kitap ise;

1. Chapra C.S., Canale R.P. 2003. Yazılım ve Programlama Uygulamalarıyla Mühendisler için Sayısal Yöntemler. Literatür Yayınları, İstanbul, 1-1004.
2. Demirsoy A. 1999. Genel ve Türkiye Zoocoğrafyası (Hayvan Coğrafyası). Meteksan Yayınları, Ankara, 1-965.

Kitap bölümü ise;

1. Cullen J. 1975. *Artemisia* L. In: Flora of Turkey and East Aegean Islands, Edited by Davis PH., Vol: 5, Edinburgh Univ Press, Edinburgh, 311-324.
2. Cassidy J., Elder R. 1984. Spillways of high dams. In: Developments in Hydraulic Engineering 2, Edited by Novak P., Applied Science Publishers Ltd., Essex, UK, 153-173.

Kaynak sempozyum ise;

1. Akyüz M., Kırbağ S. 2012. Fatty Acid and Vitamin Composition of *Pleurotus eryngii* var. *ferulae* Grown on Various Agro-wastes. 21. Ulusal Biyoloji Kongresi, 3-7 Eylül, İzmir, 1168-1169.
2. Tabur M.A., Uzun A., Ayvaz Y. 2004. Why is White-headed Duck Wintering in Lake Burdur (Turkey) decreasing? 1st International Eurasian Ornithology Congress, Abstract Book, 8-11 April, Antalya, 63.

Web adresi;**İnternet kaynağın yazar ismi ve tarihi biliniyorsa;**

1. Şenel F. 2006. Kırım-Kongo Kanamalı Ateşi. <http://www.biltek.tubitak.gov.tr/pdf/kene>. (Erişim Tarihi: 21.01.2007).

Yazar ve tarih isimleri bilinmiyorsa;

1. Biyolojik çeşitlilik, 2005. Türkiye'nin Biyolojik Çeşitliliği. <http://www.bcs.gov.tr/1.4.php> (Erişim tarihi: 15.01.2007).

Kaynak Tez ise;

1. Kurşat M. 2010. Türkiye'de Yetişen *Artemisia* L. (Asteraceae) Taksonlarının Taksonomik Revizyonu. Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 1-348.

Kaynak Anonim ise;

1. Anonim, 1990. Sulak Alanların Korunması. Doğal Hayatı Koruma Derneği, İstanbul, 1-93.

Şekil ve Tablolar: Fotoğraf, resim, çizim ve grafik gibi göstermeler şekil olarak verilmelidir. Resim, şekil ve grafikler net ve ofset baskı tekniğine uygun olmalıdır. Şekiller (Renkli ve siyah-beyaz fotoğraflar, siyah-beyaz çizimler, haritalar) metin içerisinde verilmelidir. Şekiller 16x20 cm den büyük olmamalıdır. Resim ve fotoğraflar en az 600 dpi çözünürlükte olmalıdır. Tüm tablo ve şekiller makale

boyunca sırayla numaralandırılmalı (Tablo 1., Şekil 1.), başlık ve açıklamalar içermelidir. Açıklamaların sonunda nokta veya virgül konulmamalıdır. Tablo başlıkları tablonun üstünde, şekil başlıkları ise şekil altında ortalı ve 10 punto olmalıdır.

Birim Sistemi: Makalelerde kullanılan birim sistemleri SI birim sistemlerine uyumlu olmalıdır.

Yayına Kabul Edilen Makalelerin Son Düzeltmelerindeki Dikkat Edilecek Hususlar

- Tüm kenar boşlukları (sağ, sol, üst ve alt) 2,5 cm ve satır aralığı tek olmalı,
- Özetler 10 punto, ana metin 11 punto olmalı,
- Makale başlıkları (Türkçe – İngilizce) 14 punto, kalın yalnızca ilk harfler büyük,
- Metin ana başlıkları 11 punto, kalın yalnız ilk harfler büyük,
- Alt başlıklar 11 punto, kalın ve sadece ilk harfi büyük olmalıdır.

BEU JOURNAL OF SCIENCE

Manuscript Preparation

Format of First Submission

Manuscripts should be submitted digitally as MS Word. Files should be prepared by using A4 paper size with 2.5 cm margin from all sides, in 11 font size and Times New Roman font with single space. Manuscripts should not exceed 20 pages and should be submitted via <http://dergipark.gov.tr/bitlisfen> web site. Author informations should not be given in the main file of the article due to blind review. Author informations should be given by uploading a different file. Up to 2 publications of the same author can be found in one issue. Submissions must comply with research and publication. Manuscripts should be written according to following rules and structure.

Main sections of the article are Introduction, Material and Methods, Results and Discussion, and References. An Acknowledgement section can be included before References.

Similarity Ratio: The similarity rate of submitted articles should not exceed 15%. Each similarity rate should not exceed 3%.

Manuscript Language: Turkish or English.

Title: It should a concise and clear phrase describing the content of the text. Both Turkish and English titles should be centered and bold in Times New Roman with 14 font size and First Letters Should Be Capitalized.

Author Names and Addresses: Full names of all authors are given below the title. Surnames (Family Names) and first letters of the Given Names should be capitalized with 12 font size as centered. Author names are separated by coma. Superscript Arabic letters (¹, ², ³, ect.) should be used to indicate addresses. Corresponding author should be indicated with an asterisk (*). Full addresses of the authors should be written with lower case italic letter and be centered (10 font) immediately after author names. E-mail address of the corresponding author should be given lower left corner of the first page, leading with an asterisk (*).

Abstract and Key Words: All manuscript should include Turkish and English abstracts and each abstract should be written in 1 font size including at least 75 words and at most 250 words. Keywords consisting of at least 3 words and at most 6 words should be written in 10 points just under both abstracts.

Main Text: Titles of main sections and subsections should be comprehensible and numbered. All main section titles should be left aligned, bold, and in 11 font size with capitalized first letters. Subsection titles should be in 11 font size. The text should be justified. There should be no space between paragraphs. Paragraphs following a title should not have first-line indent.

Introduction: A brief summary of the subject and the current literature should be given. The aim of the study should be briefly stated at the end.

Material and Method: It should be given in detail and clearly.

Results and Discussion: The results should be presented in a comprehensible manner which may include figures and tables. Presented results should be compared with the literature.

Conclusion: The results should be interpreted in avoiding unnecessary repetitions. It should be stated and discussed with its possible reasons if the results comply with previous studies or not.

Acknowledgement: If appropriate, acknowledgements to sponsor(s) and assisting individual(s) should be given.

References: References should be cited in text according to order of appetences with Arabic numbers in square brackets (e.g. [1], [2], ect.). All references cited in the text should be listed in References and vice versa. Journal names should not be abbreviated in the References. References should be listed according to numeric order at the end of the article. References should be written according to following examples.

Article;

1. Köksal K., Koç F. 2016. Optical Manipulation of Photo-induced Current in Spherical Semiconductor Quantum Dots by Optical Vortices. *Philosophical Magazine*, 96 (25): 2686-2695.
2. Kurşat M., Emre İ., Yılmaz Ö., Erecevit P. 2011. Antioxidant and antimicrobial activity in the seeds of *Origanum vulgare* L. subsp. *gracile* (C. Koch) letsvaart and *Origanum acutidens* (Hand.-Mazz.) letsvaart from Turkey. *Grasas y aceites*, 62 (4): 410-417.

Book;

1. Chapra C.S., Canale R.P. 2003. Yazılım ve Programlama Uygulamalarıyla Mühendisler için Sayısal Yöntemler. Literatür Yayınları, İstanbul, 1-1004.
2. Demirsoy A. 1999. Genel ve Türkiye Zoocoğrafyası (Hayvan Coğrafyası). Meteksan Yayınları, Ankara, 1-965.

Book Chapter;

1. Cullen J. 1975. *Artemisia* L. In: Flora of Turkey and East Aegean Islands, Edited by Davis PH., Vol: 5, Edinburgh Univ Press, Edinburgh, 311-324.
2. Cassidy J., Elder R. 1984. Spillways of high dams. In: Developments in Hydraulic Engineering 2, Edited by Novak P., Applied Science Publishers Ltd., Essex, UK, 153-173.

Symposium Proceeding;

1. Akyüz M., Kırbağ S. 2012. Fatty Acid and Vitamin Composition of *Pleurotus eryngii* var. *ferulae* Grown on Various Agro-wastes. 21. Ulusal Biyoloji Kongresi, 3-7 Eylül, İzmir, 1168-1169.
2. Tabur M.A., Uzun A., Ayvaz Y. 2004. Why is White-headed Duck Wintering in Lake Burdur (Turkey) decreasing? 1st International Eurasian Ornithology Congress, Abstract Book, 8-11 April, Antalya, 63.

Web sites;**If the author name and date are known;**

1. Senel F. 2006. Kırım-Kongo Kanamalı Atesi. <http://www.biltek.tubitak.gov.tr/pdf/kene>. (Access Date: 21.01.2007).

If the author name and date are unknown;

1. Biyolojik çeşitlilik, 2005. Türkiye'nin Biyolojik Çeşitliliği. <http://www.bcs.gov.tr/1.4.php> (Erişim tarihi: 15.01.2007).

Thesis;

1. Kurşat M. 2010. Türkiye'de Yetişen *Artemisia* L. (Asteraceae) Taksonlarının Taksonomik Revizyonu. Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 1-348.

Anonymous;

1. Anonim, 1990. Sulak Alanların Korunması. Doğal Hayatı Koruma Derneği, İstanbul, 1-93.

Figures and Tables: Images like photos, pictures, drawings, and graphs should be given as figures. Figures should be clear and appropriate for press. All figures should be given within the text. Figures should not exceed the size of 16x20 cm. Pixel based figures should be minimum of 600 dpi. All tables and figures should be numbered (e.g. Table 1, Figure 1), and should include a title and legend. There should be no period or comma after the legend. The tiles should be centered and in 10 font size. Tables

and figure titles should be placed above the table and below the figure, respectively.

Units: All units should be given according to SI (International System of Units).

Final Check List For Articles Accepted For Publication

- All margins are 2.5 cm.
- Paragraphs are single spaced.
- Article titles (Turkish and English) are bold and in 14 font size with capitalized first letters.
- Main section titles are bold and in 11 font size with capitalized first letters.
- Subsection titles are bold and in 11 font size and only the first letter of the first word is capitalized.

BEU FEN BİLİMLERİ DERGİSİ YAYIN İLKELERİ

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

Dergide yayımlanacak makalelerin bilimsel etik kuralları içerisinde olması gerekmektedir. Makalede yer alan tüm yazarlar, çalışmalarının yayın haklarını Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi'ne verdiklerine dair **Telif Hakları Formu**'nu imzalamalıdır. Bu form iletilmeden yayın kabul edilse de yayımlanmayacaktır. Bütün bu bilgiler aşağıdaki DergiPark sistemi, e-posta adresi veya posta adresi ile editörlüğe gönderilmelidir. Dergide yayımlanacak makalelerin içeriğinden kaynaklanan her türlü yasal sorumluluklar ve telif haklarına ilişkin doğabilecek hukuki sorumluluklar tamamen yazarlara aittir.

Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Editörlüğü

Bitlis Eren Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
13000, Merkez, Bitlis/TÜRKİYE
E-posta : fbe@beu.edu.tr
Web : <http://dergipark.gov.tr/bitlisfen>



Makale No/Article ID:

B.E.U.

FEN BİLİMLERİ DERGİSİ

Telif Hakkı Devir Formu / Copyright Form

[Makale Adı / Article title]

.....
.....
.....

Başlıklı makalenin telif hakkından feragat etmeyi/ettiğimizi, makalenin telif hakkının Bitlis Eren Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'ne devredildiğini ve Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Editörlüğü makalenin yayımlanabilmesi konusunda yetkili kılındığını kabul eder ve imza ederiz.

Ayrıca, adı geçen makalenin tüm içeriği konusunda tüm sorumluluk yazar/yazarlara ait olup, makalenin içeriği konusunda doğabilecek sorunlardan Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Editörlüğü sorumlu değildir.

Bütün yazarlar tarafından imzalanması gerekiyor: (Sorumlu yazar/Corresponding author*)

<u>Yazarın Adı ve Soyadı / Author Names</u>	<u>İmzası / Signature</u>	<u>Tarih / Date</u>
1		
2		
3		
4		
5		

NOT: Eksik imza durumunda sorumluluk imzalayan yazarlara aittir. Form doldurulup imzalandıktan sonra online veya e-posta yoluyla gönderilmelidir:

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

E-mail : fbe@beu.edu.tr



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