



Bitlis Eren Üniversitesi
Fen Bilimleri Dergisi

Bitlis Eren University
Journal of Science

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

Cilt / Volume: 9

Sayı / Number: 1

Yıl / Year: 2020

Yazışma Adresi

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

fbe@beu.edu.tr
<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. Hakan ÇOBAN | Bitlis Eren Üniversitesi |
| Prof. Dr. Gülsün PAZVANT | İstanbul Üniversitesi |
| Prof. Dr. Ahmet Serdar YILMAZ | Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi |
| Prof. Dr. Ahmet SERTBAŞ | İstanbul Üniversitesi |
| Prof. Dr. Aydın BÜYÜKSARAÇ | Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi |
| Prof. Dr. Cemal MERAN | Pamukkale Üniversitesi |
| Prof. Dr. Atilla COŞKUN | Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi |
| Prof. Dr. Ertuğrul ŞAHMETLİOĞLU | Kayseri Üniversitesi |
| Prof. Dr. Koray KÖKSAL | Bitlis Eren Üniversitesi |
| Prof. Dr. Yadigar GÜLSEVEN SIDIR | Bitlis Eren Üniversitesi |
| Prof. Dr. Zerrin GÜL ESMERLİGİL | Çukurova Üniversitesi |
| Prof. Dr. Dursun ÖZYÜREK | Karabük Üniversitesi |
| Prof. Dr. Halil Demir | Karabük Üniversitesi |
| Prof. Dr. Mehmet Ali YURDUSEV | Manisa Celâl Bayar Üniversitesi |
| Prof. Dr. Mehmet BAYRAK | Sakarya Üniversitesi |
| Prof. Dr. Mehmet KURBAN | Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi |
| Prof. Dr. Merve OĞUZ | Erciyes Üniversitesi |
| Prof. Dr. Musa Hakan ARSLAN | Konya Teknik Üniversitesi |
| Prof. Dr. Necmettin SEZGİN | Batman Üniversitesi |
| Prof. Dr. Seda GÜNEŞDOĞDU SAĞDINÇ | Kocaeli Üniversitesi |
| Prof. Dr. Şemsettin KILINÇARSLAN | Süleyman Demirel Üniversitesi |
| Prof. Dr. Taner ALATAŞ | Fırat Üniversitesi |
| Prof. Dr. Teoman KANKILIÇ | Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi |
| Doç. Dr. Barış ÖZÜDOĞRU | Hacettepe Üniversitesi |
| Doç. Dr. Alaattin KAÇAL | Kütahya Dumlupınar Üniversitesi |
| Doç. Dr. Mehmet Sait İZGİ | Siirt Üniversitesi |
| Doç. Dr. Arzu ALTIN YAVUZ | Eskişehir Osmangazi Üniversitesi |
| Doç. Dr. Birşen BİLGİCİ | Ondokuz Mayıs Üniversitesi |
| Doç. Dr. Cenk TOKER | Hacettepe Üniversitesi |
| Doç. Dr. Betül APAYDIN YILDIRIM | Atatürk Üniversitesi |
| Doç. Dr. Sinan İNCE | Afyon Kocatepe Üniversitesi |
| Doç. Dr. Ercan IŞIK | Bitlis Eren Üniversitesi |
| Doç. Dr. Fatih DİKBAŞ | Pamukkale Üniversitesi |
| Doç. Dr. Gürler AKPINAR | Kocaeli Üniversitesi |
| Doç. Dr. Hülya OLMUŞ | Gazi Üniversitesi |
| Doç. Dr. İsmail AKKAYA | Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi |
| Doç. Dr. Mehtap KILIÇ EREN | Aydın Adnan Menderes Üniversitesi |
| Doç. Dr. Metin ARMAĞAN | Aydın Adnan Menderes Üniversitesi |
| Doç. Dr. Murat MUVAFIK | Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi |
| Doç. Dr. Mustafa Emre AYDEMİR | İstanbul Esenyurt Üniversitesi |
| Doç. Dr. Nihat ATMACA | Gaziantep Üniversitesi |
| Doç. Dr. Salih Alçay | Necmettin Erbakan Üniversitesi |
| Doç. Dr. Ayşe DOĞAN | Ege Üniversitesi |
| Dr. Öğr. Üyesi Behçet KOCAMAN | Bitlis Eren Üniversitesi |
| Dr. Öğr. Üyesi Cennet ESKAL | Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi |
| Dr. Öğr. Üyesi Ceren ÇUBUKÇU | Maltepe Üniversitesi |
| Dr. Öğr. Üyesi Derya ARSLAN | Bitlis Eren Üniversitesi |
| Dr. Öğr. Üyesi Duygu ANAKLI | Sivas Cumhuriyet Üniversitesi |
| Dr. Öğr. Üyesi Emel ERMİŞ | Eskişehir Teknik Üniversitesi |
| Dr. Öğr. Üyesi Emin KUĞU | TED Üniversitesi |
| Dr. Öğr. Üyesi Emrah AYDEMİR | Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi |
| Dr. Öğr. Üyesi Emrah DOKUR | Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi |
| Dr. Öğr. Üyesi Engin Yılmaz | Bitlis Eren Üniversitesi |

| | |
|--|--|
| Dr. Öğr. Üyesi Erkan AZİZOĞLU | Hakkâri Üniversitesi |
| Dr. Öğr. Üyesi Güventürk UĞURLU | Kafkas Üniversitesi |
| Dr. Öğr. Üyesi Mahire BAYRAMOĞLU AKKOYUN | Siirt Üniversitesi |
| Dr. Öğr. Üyesi Hanifi ÇİNİCİ | Gazi Üniversitesi |
| Dr. Öğr. Üyesi Hilal ÇELİK KAZICI | Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi |
| Dr. Öğr. Üyesi İlker TEMİZER | Sivas Cumhuriyet Üniversitesi |
| Dr. Öğr. Üyesi Kağan ERYÜRÜK | Necmettin Erbakan Üniversitesi |
| Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Emin ÖNCÜ | Dicle Üniversitesi |
| Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Fatih COŞKUN | Fırat Üniversitesi |
| Dr. Öğr. Üyesi Mehmet ÜSTÜNDAĞ | Malatya Turgut Özal Üniversitesi |
| Dr. Öğr. Üyesi Mehtap TANYOL | Munzur Üniversitesi |
| Dr. Öğr. Üyesi Mine GÜNGÖRMÜŞLER | İzmir Ekonomi Üniversitesi |
| Dr. Öğr. Üyesi Miraç KAMIŞLIOĞLU | Üsküdar Üniversitesi |
| Dr. Öğr. Üyesi Musa BUTE | Gaziantep Üniversitesi |
| Dr. Öğr. Üyesi Mustafa AKKUŞ | Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi |
| Dr. Öğr. Üyesi Mustafa AKPOLAT | Munzur Üniversitesi |
| Dr. Öğr. Üyesi Mustafa SİVRİ | İsparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi |
| Dr. Öğr. Üyesi Osman Ünsal BAYRAK | Atatürk Üniversitesi |
| Dr. Öğr. Üyesi Rabia Mehtap TUNCAY | Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi |
| Dr. Öğr. Üyesi Recep ÖZDAĞ | Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi |
| Dr. Öğr. Üyesi Saadet HACISALİHOĞLU | Bursa Teknik Üniversitesi |
| Dr. Öğr. Üyesi Sema ÖZKADİF | Çukurova Üniversitesi |
| Dr. Öğr. Üyesi Serdar GÖZÜTOK | Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi |
| Dr. Öğr. Üyesi Serhat Berat EFE | Bandırma Onyediy Eylül Üniversitesi |
| Dr. Öğr. Üyesi Serkan BAYAR | Atatürk Üniversitesi |
| Dr. Öğr. Üyesi Sinan KUTLUAY | Siirt Üniversitesi |
| Dr. Öğr. Üyesi Sultan ŞAHİN BAL | Bitlis Eren Üniversitesi |
| Dr. Öğr. Üyesi Şakir İŞLEYEN | Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi |
| Dr. Öğr. Üyesi Tarkan YORULMAZ | Çankırı Karatekin Üniversitesi |
| Dr. Öğr. Üyesi Tayfun FINDIK | Gazi Üniversitesi |
| Dr. Öğr. Üyesi Yakup ŞAHİN | Bitlis Eren Üniversitesi |
| Dr. Öğr. Üyesi Yener ALTUN | Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi |
| Dr. Öğr. Üyesi Mustafa AYDIN | Pamukkale Üniversitesi |
| Dr. Boran KARATAŞ | Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi |
| Öğr. Gör. Emir Ali MARİS | Mersin Üniversitesi |

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

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

1. **Çiğ ve UHT Sütlerinde Kimyasal Parametre Değişimlerinin Tespiti** 1-6
Determination of Chemical Parameter Changes in Raw and UHT Milks
M.G. Sucak, O. Ağyar, A. Özkaya, E. Yılmaz
2. **3-Metil-4-(3-benzensulfoniloksi-4-metoksibenzilidenamino)-4,5-dihidro-1H-1,2,4-triazol-5-on molekülünün DFT(B3LYP/mPW1PW91) ve HF Yöntemleriyle Yapısının İncelenmesi** 7-25
Investigation of Structure of 3-Methyl-4-(3-benzenesulfonyloxy-4-methoxybenzylideneamino)-4,5-dihydro-1H-1,2,4-triazol-5-one by DFT (B3LYP/mPW1PW91) and HF Methods
H. Medetalibeyoğlu, Ö. Aktaş-Yokuş, H. Yüksek
3. **7-Etil-6-klor-2-metil-kromon ve 7-Etil-6-klorflavonun Sentezi ve Teorik Hesaplamaları** 26-35
Synthesis and Theoretical Calculations of 7-Ethyl-6-chloro-2-methylchromone and 7-Ethyl-6-chloroflavone
B. Karabulut
4. **Cevap Yüzey Yöntemi Kullanılarak Poli(VPi-ko-MA) / Grafen Kompozitlerinin İletkenliğinin Optimizasyonu** 36-44
Optimization of Conductivity of Poly (VPi-co-MA) / Graphene Composites by Using Response Surface Method
G. Torğut
5. **Paraserbest Lie Cebirlerinin Ters Limiti** 45-49
Inverse Limit of Parafree Lie Algebras
Z. Veliöğlu
6. **Fe⁺ İyonu Aşlanmış TiO₂ Tek Kristallerin Manyetik Özelliklerinin İncelenmesi** 50-59
Investigation of Magnetic Properties of Fe⁺ Implanted TiO₂ Single Crystals
Ö. Karataş
7. **Yaygın ve Yaygın Olmayan Sirke Çeşitlerinin Antioksidan Kapasite Düzeylerinin Değerlendirmesi** 60-67
The Evaluation of the Antioxidant Capacity Levels of Some Common and Uncommon Vinegars
M. Konuş, C. Yılmaz, D. Çetin
8. **Karadeniz Teknik Üniversitesi Kanuni Kampüsü'nde Bazı Ofislerde Radon Gazı Ölçümü ve Çevrelerindeki Topraklarda Radyonüklid Seviyeleri** 68-77
Radon Gas Measurement and Radionuclide Levels in Soil Surrounding in Some Offices of Karadeniz Technical University Kanuni Campus
S. Uzun Duran, B. Küçükömeroğlu
9. **A computational approach for solving second-order nonlinear ordinary differential equations by means of Laguerre series** 78-84
İkinci mertebeden lineer olmayan adi diferansiyel denklemlerin Laguerre serileri ile çözümü için hesaplamalı bir yaklaşım
B. Gürbüz
10. **The Investigation of Antimicrobial Activities and Hypoglycemic Effect of Sumac (*Rhus coriaria* L.) Syrups in Different Region** 85-90
*Farklı Yörelere Ait Sumak Ekşilerinin (*Rhus coriaria* L.) Antimikrobiyal Aktivitesi ve Hipoglisemik Etkisinin Araştırılması*
S. Çiftçi Yegin, D. Odabaş Alver

11. **Bitlis İlinin Balık Yetiştiriciliğindeki Mevcut Durumu ve Yetiştiricilik Potansiyelinin Belirlenmesi** 91-109
Current Situation of Fish Culture in Bitlis Province and Determination of Aquaculture Potential
İ. Doğan, K. Köprücü
12. **P1 Transdüksiyon Yöntemi ile Birden Fazla Gen Bakımından Mutant Olan *Escherichia coli* Suşlarının Elde Edilmesi** 110-119
P1 Transduction Method to Construct Escherichia coli Mutant Strains Lacking More Than One Gene
E. Dibek, M. Sezer Kürkçü, B. Hazar Çiftçi, B. Çöl
13. **Cis ve Trans Formundaki 5-Floropirimidin-2-Karboksilik Asit Molekülünün DFT/TD-DFT ve NBO Analizleri** 120-129
DFT/TD-DFT and NBO Analysis of 5-Fluoropyrimidine-2-Carboxylic Acid Molecule in Cis and Trans Form
N. Kuş, S. Ilıcan
14. **Asya Ülkelerinin Beklenen Yaşam Süresi Bakımından Sınıflandırılmasında Etkili Olan Sosyoekonomik Değişkenlerin Kısmi En Küçük Kareler Diskriminant Analizi ile Belirlenmesi** 130-142
Determination of Socioeconomic Variables Affecting the Classification of Asian Countries in Terms of Life Expectancy by Partial Least Squares Discriminant Analysis
A.K. Kozan, E. Polat
15. **A Morphological and Stereological Study on Cervical Spinal Cord of One and Five Months Age Male Rat** 143-156
Bir Aylık ve Beş Aylık Erkek Ratlarda Medulla Spinalis'in Servikal Segmenti Üzerine Yapılan Morfolojik ve Stereolojik Bir Çalışma
M. Candan, G. Çakmak
16. **Sayısal İntegral Metodu ile Singüler Pertürbe Multi-Point Sınır Değer Problemlerinin Sayısal Çözümü** 157-167
A Numerical Solution for Singularly Perturbed Multi-Point Boundary Value Problems with the Numerical Integration Method
D. Arslan
17. **Haciosman Ormanı Tabiatı Koruma Alanı (Samsun) Florası, Vegetasyon ve Habitat Yapısı ile Genel Bitki Ekolojisi Özellikleri Üzerine Bir Değerlendirme** 168-193
An Evaluation on General Plant Ecology Features and Flora, Vegetation and Habitat Structures of Nature Reserve Area of Haciosman Forest (Samsun)
O. Ürker
18. **Yozgat ili Memeli Faunası (Classis: Mammalia)** 194-203
Mammals Fauna of Yozgat Province (Classis: Mammalia)
T. Yorulmaz, N. Arslan

Araştırma Makaleleri (Mühendislik) / Research Articles (Engineering)

19. **Adilcevaz Bölgesinde Rüzgâr Enerji Potansiyelinin İncelenmesi** 204-214
Investigation of Wind Energy Potential in Adilcevaz Region
S. Çelikdemir, M.T. Özdemir
20. **Yeni Tip Taşlama Yönteminde Taşlama Parametrelerinin Deneysel Tasarım Yöntemi İle Yüzey Pürüzlülüğü Üzerine Etkisinin İncelenmesi** 215-225
Investigation of the Effect of Grinding Parameters on Surface Roughness by Experimental Design Method in New Type Grinding Method
O. Adıyaman, F. Sönmez
21. **Tarihi Rombaki Yiğma Yapısının Performans Değerlendirmesi** 226-247
Performance Evaluation of Historical Rombaki Masonry Building
M. Karalar, M. Çavuşli

22. **Cu(II) İyonlarının Sulu Çözeltilerden Poli(Vinil Pirlidon)-Poli(Vinil Alkol)/Selüloz Membranlarla Ayrılması** 248-254
The Role of Institute Managers in Water and Electrical Consumption in Central Public Institutions: Case Study of Bursa
C. Çiftçi, F. Mavili
23. **Merkez Kamu Kurumlarındaki Su ve Elektrik Tüketiminde Kurum Yöneticilerinin Rolü: Bursa İli Örneği** 255-263
Reconfiguration of Electrical Distribution Systems by Harmony Search Method: Impact of Electrical Vehicles
M. Yalılı Kılıç, S.K. Akal Solmaz, A. Elmacı
24. **FeCo ve FeCoV Alaşımlarının Metalotermik Yöntem ile Üretilmesi ve Termodinamik Modellenmesi** 264-276
Metallurgical Production of FeCo and FeCoV Alloys and the Thermodynamical Modelling Studies of the Process
M. Buğdaycı, A. Turan
25. **Sıcak Presleme Yöntemi ile AZ91 Magnezyum Alaşımının Üretimi** 277-287
Processing of AZ91 Magnesium Alloy via Hot Pressing Technique
T. Aydoğmuş, F. Kelen, E. Aydemir
26. **Manyetik Fırtına Kaynaklı İyonosferik Değişimlerin GNSS Ölçümleri Kullanılarak İrdelenmesi** 288-296
Investigation of Ionospheric Changes Caused by Magnetic Storm Using GNSS Measurements
S. İnyurt, E. Şentürk
27. **Mamografi görüntülerindeki anormalliklerin yerel ikili örüntü ve varyantları kullanılarak sınıflandırılması** 297-305
Classification of abnormality in breast cancer mammography using local binary patterns and its variants
V.M. Tiryaki
28. **K-Means Kümeleme Algoritması Kullanılarak Oluşturulan Yapay Zekâ Modelleri ile Sediment Taşınımının Tespiti** 306-322
Detection of Sediment Transport with Artificial Intelligence Models Formed by Using K-Means Clustering Algorithm
K. Saplıoğlu, R. Acar
29. **Çameli Depremi (5.1) Artçı Şoklarının Çift Fark Algoritması İle İncelenmesi** 323-333
Çameli Earthquake (5.1) Investigation of Aftershocks with Double Difference Algorithm
F. Akar
30. **Derin Evrişimsel Sinir Ağı Kullanılarak Kayısı Hastalıklarının Sınıflandırılması** 334-345
Classification of Apricot Diseases by using Deep Convolution Neural Network
M. Turkoglu, K. Hanbay, I.S. Sivrikaya, D. Hanbay
31. **Pazarlama 4.0 İçin Genetik Algoritma Tabanlı Bir Karar Destek Modeli Önerisi** 346-356
A Genetic Algorithm Based Decision Support Model Proposal for Marketing 4.0
C. Aktürk
32. **An Investigation into the Electrochemical Behavior of Beta-Blocker Drugs Using Reduced Graphene Oxide Modified Screen Printed Electrodes** 357-365
İndirgenmiş Grafen Oksit Modifiye Yüzey Baskılı Karbon Elektrotlar Kullanılarak Beta-Bloker İlaçların Elektrokimyasal Davranışının Araştırılması
H. Çelik Kazıcı
33. **Mekanik Alaşımlama Yöntemi ile Üretilen Nanoyapılı Al₆₆Co₂₀Cu₁₄ Tozlarının Termal ve Mikroyapısal Özellikleri** 366-375
Thermal and Microstructural Properties of Nanostructured Al₆₆Co₂₀Cu₁₄ Powders Produced by Mechanical Alloying Method
M. Okumuş
34. **Düşük güçte bir motor test düzeneği kurulumu ve örnek bir uygulama gerçekleştirilmesi** 376-389
Designing a low power motor test assembly and performing a sample application
M. Akçay, S. Özer, İ.T. Yılmaz, E. Vural

| | | |
|---|---|---------|
| 35. | New Experimental Approaches to Sand Hardening by Microbial Biocalcification <i>Mikrobiyal Biyokalsifikasyon ile Kumun Sertleştirilmesinde Yeni Deneysel Yaklaşımlar</i> A. Arıç, İ. Deniz Can, T. Keskin | 390-401 |
| 36. | EVA Bazlı Reçine Modifikasyonunun Reolojik Özellikler Bakımından SBS Modifikasyonu ile Karşılaştırılması <i>The Comparison of the EVA Based Resin with SBS Modification in Terms of Rheological Properties</i> B. Furtana, E. Yalçın, B.V. Kök, M. Yılmaz | 402-412 |
| 37. | Investigating the Effect of Geometrical and Dynamic Parameters on the Performance of Darrieus Turbines: A Numerical Optimization Approach via QBlade Algorithm <i>Geometrik ve Dinamik Parametrelerin Darrieus Türbin Performansı Üzerindeki Etkisinin Araştırılması: QBlade Algoritması ile Sayısal Optimizasyon</i> A. Muratoğlu, M.S. Demir | 413-426 |
| 38. | Üç Farklı Bölgeye Ait Pomzanın Yüksek Plastisiteli Kile Etkisinin Karşılaştırılması <i>Comparison of The Effect of Pumice of Three Different Regions to High Plasticity Clay</i> Ö. Çimen, B. Dereli, E. Keleş | 427-433 |
| 39. | Derin Öğrenme Yöntemleri ile Borsada Fiyat Tahmini <i>Price Forecasting in Stock Exchange with Deep Learning Methods</i> G. Şişmanoğlu, F. Koçer, M.A. Önde, Ö.K. Şahingöz | 434-445 |
| 40. | Memristör Temelli 2. Dereceden Aktif Yüksek Geçiren Filtrenin İncelenmesi <i>Investigation of Memristor Based Second Order Active High Pass Filter</i> İ. Parlar, M.N. Almalı | 446-456 |
| 41. | Elektrik Dağıtım Şebekelerinde Kendi Kendini İyileştiren Sistemler <i>Self-healing Systems for Electrical Distribution Networks</i> G. Hasançebi, E.M. Yeğin, K. Karaarslan | 457-465 |
| 42. | Nonlinear Behavior of Beams Having Initially Small Imperfection Subjected to Sinusoidal Load <i>Sinüzoidal Yük Etkisindeki Küçük İlkel Kusurlu Kirişlerin Doğrusal Olmayan Davranışı</i> A. Tekin Atacan, R.F. Yükseler | 466-477 |
| Derleme Makaleleri / Review Articles (Basic Science) | | |
| 43. | Yarasa Gübresi (Guano) <i>Bat Fertilizer (Guano)</i> A. Arslan, M. Baş | 478-486 |
| Derleme Makaleleri / Review Articles (Engineering) | | |
| 44. | Veteriner İlaçlarının Çevrede Bulunuşu ve Etkileri <i>The Occurrence and Effect of Veterinary Pharmaceuticals in the Environment</i> A. Özgüven | 487-499 |

Araştırma Makalesi / Research Article

Çiğ ve UHT Sütlerinde Kimyasal Parametre Değişimlerinin Tespiti

Mustafa Güçlü SUCAK^{1*}, Oğuz AĞYAR¹, Ahmet ÖZKAYA², Eray YILMAZ

¹Adıyaman Üniversitesi Kahta Meslek Yüksekokulu, Veterinerlik Bölümü, Adıyaman, Türkiye

²Adıyaman Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü, Adıyaman, Türkiye

(ORCID: 0000-0001-6147-470X) (ORCID: 0000-0002-6107-894X)

(ORCID: 0000-0002-0173-3084)(ORCID: 0000-0001-7696-9174)

Öz

Bu çalışma, çiğ ve ticari UHT inek sütlerinin bazı biyokimyasal parametreler yönünden karşılaştırılması amacıyla yapıldı. Bu amaçla, süt numunelerinin mineral ve kimyasal bileşen parametre seviyeleri, sırasıyla İndüklenmiş Eşleşmiş Plazma Atomik Emisyon Spektrofotometresi (ICP-OES) ve Foss Elektrik (FT-120) süt analizörü cihazları kullanılarak ölçüldü. Doğal inek çiğ sütleri Muş Bölgesinden temin edilirken, ticari amaçla üretilen UHT sütleri Adıyaman ilindeki yerel marketlerden temin edildi. UHT sütleri tam yağlı ve yarım yağlı olarak iki gruba ayrıldı. Çiğ süt minerallerinden kalsiyum (Ca), demir (Fe), mangan (Mn) ve fosfor (P) düzeylerinin ticari sütlere göre daha yüksek çıktığı belirlendi. Ayrıca, çiğ süt kimyasal parametrelerinden yağsız kuru madde, yağ ve protein düzeylerinin de daha yüksek çıktığı gözlemlendi. Çalışma sonuçlarına dayanarak, ticari inek sütlerin besinsel düzeylerindeki azalmanın insan sağlığını etkileyebilecek oranda olmadığını düşünmekteyiz.

Anahtar kelimeler: Çiğ inek sütü, mineral, ticari süt, protein, yağ.

Determination of Chemical Parameter Changes in Raw and UHT Milks

Abstract

This study was done to compare raw and commercial UHT cow's milk with in terms of some biochemical parameters. On the basis of this aim, mineral and chemical parameter levels of the milk samples were measured by Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometer (ICP-OES), and Foss Electric (FT-120) milk analyzer, respectively. While natural cow raw milks were obtained from Mus region, UHT milk produced for commercial purposes was obtained from local markets in Adıyaman province. UHT milks were divided into two groups as full fat and half fat. It was determined that the levels of calcium (Ca), iron (Fe), manganese (Mn) and phosphorus (P) were higher in raw milk than in commercial milk. In addition, the levels of fat-free dry matter, fat and protein were also observed to be higher in the chemical composition parameters of raw milk. Based on the results of the study, we think that the decrease in the nutritional levels of commercial cow milk is not at a rate that may affect human health.

Keywords: Raw cow milk, mineral, commercial milk, protein, fatty.

1. Giriş

Dünyada yoğun olarak kullanılan gıdalardan biri olan süt, birçok hayvan türünden elde edilmektedir. Dünya genelinde sütün % 85'i inek, % 12'si manda, % 2.3'ü keçi, % 1.4'ü koyun ve % 0.2'si deve sütünden temin edilmektedir [1]. Süt içeriğinde bulunan kazein, laktoz, esansiyel yağ asitleri, vitaminler ve mineraller insanlar için yüksek besin değeri sağlamaktadır [2]. Epidemiyolojik çalışmalar da insan diyetindeki sütün besinsel önemini doğrulamaktadır. Özellikle süt kardiyovasküler hastalıklar, bazı kanser türleri, obezite ve diyabet gibi bazı kronik rahatsızlıkların önlenmesinde etkilidir [3]. İnsanların sütü tüketebilmesi için ısıtma işlemi maruz kalması gerekir. Isıtma işlemi sütün bozulmasına neden olan patojenik ve mikrobiyal faaliyetler engellenmektedir. Bu sebeple sütler, pastörizasyon işlemiyle 72-80

*Sorumlu yazar: mgsucak@gmail.com

Geliş Tarihi: 13.02.2019, Kabul Tarihi: 01.10.2019

$^{\circ}\text{C}$ ve Ultra-Yüksek Sıcaklık (UHT) sütlerde en az 135°C 'de ısıl işlemlere maruz bırakılır [4,5]. Fakat, yüksek sıcaklığa maruz kalan sütün kalitesinde ve kimyasal içeriğinde değişiklikler oluşmaktadır. Yüksek ısıl işlemlerde sütün kimyasal yapısını oluşturan laktoz, protein, vitamin, enzim, lipit ve kalsiyum/fosfor dengesinin bozulması rapor edilmiştir [6]. Ayrıca, ısıtılmış sütlerin saklanması sırasında devam eden Maillard reaksiyonunun oluşturduğu yeni maddeler nedeniyle sütün lezzet ve besin değeri kaybı vardır [7]. 2013 yılına göre Türkiye'de inek sütü üretimi 15.977.838 ton, keçi sütü 415.746 ton, koyun sütü 1.101.013 ton ve manda sütü 51.947 ton olarak gerçekleşmiştir ve kişi başına düşen süt tüketimi 37.3 kg olduğu belirtilmiştir [8]. Türkiye İstatistik Kurumunun (TÜİK) Haziran 2019 tarihli yayınına göre ticari süt işletmeleri tarafından içme süt üretiminin 121.735 ton olarak gerçekleştiğini ve 2018 yılına göre % 2.6 artış gösterdiği rapor edilmiştir [9]. Süt içeriğinde yaklaşık % 87 su, % 3.4 protein, % 4.2 yağ, % 4.6 laktoz, % 0.1 vitamin ve % 0.8 mineraller bulunmaktadır [10]. Sütün kimyasal içeriği üzerine hayvanın genetik, beslenme durumu ve çevresel faktörler etkili olmaktadır [11,12]. Doğal sütün fabrikaya gelinceye kadarki süreci, fabrikada uygulanan ısıl işlemler gibi birçok faktör süt içeriğinde değişimlere neden olmaktadır. Türkiye'de ticari süt sektörü önemli bir yer tutmaktadır ve birçok marka mevcuttur. Ticari sütler genel olarak tam yağlı, yarım yağlı ve meyveli sütler olarak marketlerde satışa sunulmaktadır. Yaptığımız literatür araştırmasında Türkiye'de çiğ inek sütü ile ticari amaçla fabrikalarda üretilen UHT inek sütlerinin biyokimyasal parametreler yönünden karşılaştırılmasının detaylı olarak yapılmadığı tespit edildi.

Bu çalışmada, çiğ ve ticari amaçla üretilen UHT inek sütlerinin protein, kuru madde, mineral, kazein, laktoz, yağ ve yağsız kuru madde düzeyleri karşılaştırılması amaçlanmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Araçlar

Süt numunelerinin kimyasal parametre seviyeleri FOSS MilkoScanTM FT-120 (Foss electric, Denmark) ve mineral konsantrasyonları ise ICP-OES Optima 5300 DV (Perkin-Elmer, USA) cihazları kullanılarak yapıldı.

2.2. Süt Numunelerin Temini

Çiğ inek sütü numuneleri, Türkiye'nin Muş ilinde doğal mera koşullarında ve otlaklarda beslenmiş ineklerden temin edildi. İkinci laktasyon döneminin başında olan 20 adet inekten süt örnekleri toplandı. Süt örnekleri alınmadan önce ineklerin tartımları yapıldı ve inekler 300-400 kg ağırlığında olduğu tespit edildi. Süt numuneleri FAO'nun kriterlerine göre soğuk zincirde laboratuvara getirildi [13]. Türkiye'de yaygın olarak üretimi yapılan UHT ticari inek sütleri Adıyaman ilinde bulunan yerel marketlerden temin edildi. Bu amaçla ticari tam yağlı UHT inek sütünden tam yağlı (TYİS) 6 marka, ticari yarım yağlı UHT inek sütünden (YYİS) 5 marka temin edildi.

2.3. Analizler

Çiğ ve ticari inek sütü numuneleri içeriğindeki protein, kazein, yağ, kuru madde, laktoz ve yağsız kuru madde (%) seviyeleri FOSS cihazı kullanılarak belirlendi [14]. Çiğ ve ticari inek sütü numuneleri mineral analizleri ICP-OES cihazında gerçekleştirildi. ICP-OES cihazında kalsiyum (Ca), demir (Fe), Magnezyum (Mg), Mangan (Mn), fosfor (P), çinko (Zn), potasyum (K) ve sodyum (Na) mineral düzeyleri tespit edildi. 2 mL süt üzerine 4 mL HNO_3 (% 65 a^{-1}) ve 1 mL HClO_4 (% 60 a^{-1}) ilave edildi ve mikrodalga çözme sistemi kaplarına aktarıldı. Çözme işleminden sonra hacim 0.1 M HNO_3 ile 20 mL'ye tamamlandı. Kör numunelerde aynı şekilde hazırlandı ve numune çözeltileri ICP-OES cihazında okundu [15]. Tablo 1 de mineral analiz cihazı ICP-OES'in ve Tablo 2 de mikrodalga cihazının çalışma koşulları ayrıntılı olarak verilmiştir [16].

Tablo 1. ICP-OES cihazı için çalışma koşulları

| | |
|---|------|
| Güç (W) | 1450 |
| Taşıyıcı gaz hızı (L min ⁻¹) | 0.5 |
| Pompa hızı (rpm) | 15 |
| Yardımcı gaz akışı (L min ⁻¹) | 0.3 |
| Plazma gaz akışı (L min ⁻¹) | 15 |
| Geçikme süresi (sn) | 50 |
| Durulama süresi (her numune arası) (sn) | 30 |
| Stabilizasyon süresi (sn) | 10 |
| Tekrar | 3 |

Tablo 2. Mikrodalga çözme sistemi programı

| Basamak | Güç (%) | Zaman (dk) | Sıcaklık (°C) |
|---------|---------|------------|---------------|
| 1 | 95 | 20 | 130 |
| 2 | 85 | 10 | 150 |
| 3 | 40 | 5 | 100 |

2.4. İstatistiksel Analiz

Sütlerin kimyasal ve mineral düzeylerinin istatistiksel değerlendirilmesi SPSS 20.00 yazılım programı kullanılarak hesaplandı. Gruplar arasındaki karşılaştırmada ANOVA varyans analizi kullanıldı. Gruplar arası farklılıkların tespitinde LSD testi kullanıldı. Verilerin analiz sonuçları ortalama \pm standart sapma olarak belirtildi.

3. Bulgular ve Tartışma

Tablo 3. Çiğ inek sütleri ve ticari UHT inek sütlerinin mineral düzeyleri (mg l⁻¹)

| Elementler | Çiğ İnek Sütü Grubu | UHT TYİS Grubu | UHT YYİS Grubu |
|------------|---------------------|------------------------------|------------------------------|
| Ca | 1183.75 \pm 82.31 | 959 \pm 31 ^c | 1146 \pm 65 |
| Fe | 0.83 \pm 0.09 | 0.38 \pm 0.06 ^c | 0.47 \pm 0.09 ^c |
| Mg | 104.00 \pm 9.30 | 94.33 \pm 4.54 | 109.00 \pm 4.76 |
| Mn | 0.32 \pm 0.02 | 0.24 \pm 0.01 ^b | 0.28 \pm 0.01 |
| P | 916.25 \pm 78.33 | 750 \pm 15 ^b | 882 \pm 31 |
| Zn | 4.36 \pm 0.57 | 3.92 \pm 0.16 | 4.64 \pm 0.32 |
| K | 1200.25 \pm 74.63 | 1010 \pm 16 ^c | 1203 \pm 49 |
| Na | 297.62 \pm 33.50 | 325 \pm 16 | 369 \pm 24 ^b |

Çiğ inek sütü grubuna göre karşılaştırma: a:p<0.05, b:p<0.01, c:p<0.001.
TYİS: Tam Yağlı İnek Sütü, YYİS: Yarım Yağlı İnek Sütü

Çiğ inek sütleri ve ticari UHT inek sütlerinin mineral düzeyleri Tablo 3 de verilmiştir. Kalsiyum mineral seviyeleri bakımından yapılan karşılaştırmada çiğ inek sütü grubunun en yüksek Ca seviyesine sahip olduğu, bunu sırasıyla YYİS ve TYİS grubunun takip ettiği görülmüştür. Çiğ inek sütü Ca düzeyinin TYİS sütü grubundan istatistiksel olarak yüksek çıktığı belirlenirken (p<0.001), Çiğ inek sütü Ca düzeyi ile YYİS grubu arasında istatistiksel fark olmadığı belirlendi (p>0.05). Demir mineral seviyeleri bakımından yapılan karşılaştırmada ise Çiğ inek sütü grubunun en yüksek Fe seviyesinde olduğu, TYİS ve YYİS grupları Fe düzeylerinin istatistiksel olarak Çiğ inek sütü grubuna göre azaldığı belirlendi (p<0.001). Çiğ inek sütü P ve K mineral düzeyleri TYİS grubundan yüksek çıktığı tespit edildi (p<0.01, p<0.001). Na mineral seviyeleri bakımından yapılan karşılaştırmada ise YYİS grubunun Na seviyesi Çiğ inek sütü grubundan yüksek çıktığı tespit edildi (p<0.01). TYİS grubu Na minerali düzeyi Çiğ inek sütü grubuna göre nispi artış gözlemlendi (p>0.05). Mn mineral düzeyi en yüksek Çiğ inek sütü grubunda olduğu belirlendi. Çiğ inek sütü Mn seviyesine göre TYİS grubunda istatistiksel olarak azaldığı tespit edilirken (p<0.01), Çiğ inek sütü Mn seviyesine göre YYİS grubunda bu azalış nispi oranda olduğu belirlendi (p>0.05). Pakistan'da yapılan bir çalışmada çiğ inek sütü ile dört farklı ticari

UHT sütleri arasındaki mineral düzeyleri karşılaştırılmıştır. Çiğ inek sütü mineralleri Na 20, K 152, Ca 680 ve Mg 205 mg l⁻¹ düzeylerinde tespit edilirken, UHT sütlerde bu minerallerin değerleri Na 55-80, K 115-128, Ca 755- 823 ve Mg 109-187 mg l⁻¹ düzeylerinde tespit etmişlerdir. Ayrıca UHT sütlerin içeriğindeki K ve Mg mineral düzeyleri çiğ inek süt grubuna göre azalırken, Na ve Ca mineral düzeylerinde artış olduğunu rapor etmişlerdir [17]. Mısır'da yapılan araştırmada, çiğ inek sütü ile UHT inek sütleri Fe, Mn ve Zn düzeyleri tespit edilmiştir. Araştırmada, çiğ inek sütü minerallerinden Fe 0.682, Mn 0.056 ve Zn 3.146 mg kg⁻¹ düzeylerinde tespit edilirken, UHT inek sütlerinde bu oran Fe 0.572, Mn 0.047 ve Zn 2.828 mg kg⁻¹ düzeylerinde bulmuşlardır [18]. Bakircioğlu ve ark., 2018 yılında Türkiye'de çiğ inek sütlerinde Ca düzeyi 950, Mg 429, Na 332, K 1645, Fe 3.1, Mn 0.049 ve Zn 3.4 mg kg⁻¹ düzeylerinde tespit ederken, UHT inek sütlerinde ise Ca 932, Mg 423, Na 339, K 1642, Fe 2.2, Mn 0.061 ve Zn 3.5 mg kg⁻¹ düzeylerinde tespit etmişlerdir [19]. Yapılan bu çalışmalarda, ticari UHT süt içeriğindeki bazı mineral düzeylerinde değişikliklerin olduğu gözlemlendi. Bu farklılıkların nedenleri olarak hayvanın genetik, beslenme durumu ve çevresel faktörlerden kaynaklandığı rapor edilmiştir [11,12]. Çalışmamızda, UHT inek sütleri içeriğinde Na düzeyi yüksek çıktığı tespit edilirken, diğer mineral düzeylerinde ise azalma gözlemlendi. İnsan metabolizması için gerekli olan mineralleri birçok besinsel kaynaktan almaktayız. Metabolizmamızda özellikle enzim aktivitelerinin ve immünolojik reaksiyonlar düzenlenmesinde rol alan bu mineraller metabolizmamızda birçok hastalığa karşı pozitif etkileri olduğu da bildirilmiştir [20,21]. Fe insan ve hayvan metabolizması için gerekli bir mineraldir. Özellikle hemoglobinin yapısı, bağışıklık ve enerji sistemi için çok önemlidir [22]. Mn ve Zn'nun antioksidan enzimlerin aktivitesinde ve hücrede radikallere karşı savunmada önemli fonksiyonları vardır [23,24]. Mg metabolizmada üç yüzden fazla enzimin yapısında kofaktör olarak önemli rol oynar. Kalsiyum ise kemik gelişimi için çok önemlidir [25]. Sütün yapısında bulunan kimyasal moleküllere özellikle hayvanların beslenme şartları, çevresel faktörler ve hayvanın genetik yapısı etkili olmaktadır [12].

Tablo 4. Çiğ inek sütleri ve ticari UHT sütlerin kimyasal parametreleri (%)

| Kimyasal parametreler | Çiğ İnek Sütü Grubu | UHT TYİS Grubu | UHT YYİS Grubu |
|--------------------------|---------------------|-------------------------|------------------------|
| Kuru madde | 12.90±0.32 | 10.92±0.25 ^c | 9.98±0.31 ^c |
| Yağsız kuru madde | 9.29±0.20 | 7.49±0.19 ^c | 7.90±0.38 ^c |
| Yağ | 3.61±0.30 | 2.99±0.01 ^a | 1.57±0.02 ^c |
| Protein | 3.66±0.16 | 2.71±0.07 ^c | 2.73±0.06 ^c |
| Laktoz | 4.62±0.11 | 4.00±0.10 ^b | 4.01±0.22 ^b |
| Kazein | 2.80±0.12 | 1.99±0.07 ^c | 2.21±0.13 ^a |

Çiğ inek sütü grubuna göre karşılaştırma a:p<0.05, b:p<0.01, c:p<0.001.

TYİS: Tam Yağlı İnek Sütü, YYİS: Yarıml Yağlı İnek Sütü

Çiğ inek sütleri ve ticari UHT sütlerin kimyasal parametreleri Tablo 4 de belirtilmiştir. Kuru madde, protein ve yağsız kuru madde düzeyleri Çiğ inek sütü grubunda en yüksek seviyede olduğu, TYİS ve YYİS gruplarında ise azaldığı belirlendi (p<0.001). Ayrıca, Çiğ inek sütü grubuna göre TYİS ve YYİS grupları yağ, laktoz ve kazein düzeylerindeki azalış istatistiksel olarak tespit edildi (p<0.05). Enb ve ark. Çiğ inek sütleri ile bu süttten elde edilen ürünlerin kimyasal bileşenleri tespiti yapmışlardır. Çalışmalarında çiğ inek sütü yağ % 3.20, protein % 3.20, kuru madde % 12.10 ve laktoz % 5.00 düzeylerinde tespit edilirken, UHT sütte yağ % 3.00, protein % 3.30, kuru madde % 11.90 ve laktoz % 4.70 düzeylerinde tespit etmişlerdir [18]. Imran ve ark. tarafından yapılan başka bir çalışmada, çiğ inek sütü kimyasal bileşenlerinden kuru madde % 13.5, protein % 3.28, kazein % 2.46 ve laktoz % 4.38 düzeylerinde tespit eder iken, inceledikleri dört ticari markalı UHT sütlerde ise kuru madde % 13.7-15.2, protein % 2.59-4.49, kazein % 1.94-3.36 ve laktoz % 3.49-4.21 düzey aralıklarında gözlemlenmişlerdir [17]. Çalışmamızda özellikle ticari UHT sütlerde yağ ve protein düzeyleri çiğ inek sütlerine göre azaldığı görüldü. Yukarıda belirtilen literatürlerde kimyasal parametrelerin birbirine yakın çıktığı görülmektedir. Pestana ve ark. Çiğ, pastörize ve UHT sütlerin kimyasal bileşenlerindeki farklılıkları tespit çalışmasında önemli sonuçlar rapor etmişlerdir. Çiğ süt, pastörize ve UHT süt protein düzeylerini sırasıyla % 3.20, % 3.19, % 3.20, yağ düzeylerini % 3.58, % 3.07, % 3.15, laktoz düzeylerini % 4.28, %, 4.25, % 4.27, kuru madde düzeylerini % 12.06, % 11.54, % 11.56 ve yağsız kuru madde düzeylerini % 8.47, % 8.47, % 8.41 olarak rapor etmişlerdir. Çalışmalarında, çiğ süt yağ ve kuru madde düzeylerine göre pastörize ve UHT sütlerinde istatistiksel azalma olduğunu belirtilirken, protein ve laktoz

düzeylerinde farklılığın olmadığı belirtilmiştir [26]. Sütün kimyasal yapısını oluşturan laktoz, protein, vitamin, enzim, lipit ve kalsiyum/fosfor dengesinin yüksek ısı ilemlerle oranlarında değişimler olduğu rapor edilmiştir [6]. Bu şartlar dışında sütün kimyası üzerine en önemli etkenlerden biride sütteki mikrobiyal faaliyetlerdir. Doğal sütün çiğ olarak tüketilmesi insan metabolizmasında hastalıklara neden olduğu bildirilmiştir. Bu nedenlerden dolayı sütün tüketilmeden önce ısıtılması önerilmektedir. Ayrıca, doğal sütün ısıtılması besin değerini önemli ölçüde değiştirmediği rapor edilmiştir [1].

4. Sonuçlar ve Öneriler

Çalışmamızda, doğal inek sütü Ca, Fe, Mn, P, protein, yağ, kuru madde ve yağsız kuru madde düzeylerine göre ticari sütlerde azalma olduğu tespit edildi. Her ne kadar ticari sütlerin kimyasal bileşenlerinde azalmalar tespit edilmiş olsa da içeriğindeki kimyasal bileşen düzeyleri seviyesi insan metabolizması için gerekli düzeydedir. Ayrıca, doğal sütlerin tüketiminin insan metabolizmasında oluşturabileceği mikrobiyal olumsuzluklar göz önüne alındığında, ticari sütlerin tüketilmesinin daha anlamlı olacağını düşünmekteyiz.

Teşekkür

Bu çalışmayı FEFYL/2015-0002 nolu proje ile destekleyen Adıyaman Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeler Birimi'ne teşekkür ederiz.

Yazarların Katkısı

Çalışmada tüm yazarlar eşit oranda katkı sunmuştur.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada, araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar

- [1] Claeys W.L., Cardoen S., Daube G., Block J.D., Dewettinck K., Dierick K., Zutter L.D., Huyghebaert A., Imberechts H., Thiange P., Vandenplas Y., Herman L. 2013. Raw or heated cow milk consumption: Review of risks and benefits. *Food Control*, 31: 251-262.
- [2] Claeys W.L., Verraes C., Cardoen S., De Block J., Huyghebaert A., Raes K., Dewettinck K., Herman L. 2014. Consumption of raw or heated milk from different species: An evaluation of the nutritional and potential health benefits. *Food Control*, 42: 188-201.
- [3] Pereira P.C. 2014. Milk nutritional composition and its role in human health. *Nutrition*, 30: 619-627.
- [4] Lewis M.J., Deeth H.C. 2009. Heat Treatment of Milk. In: *Milk Processing and Quality Management*, Tamime. A.Y. (Ed.), Wiley-Blackwell, Oxford, UK.
- [5] https://members.wto.org/crnattachments/2018/SPS/TUR/18_2510_00_x.pdf. (Erişim Tarihi: 15.12.2018).
- [6] Sakkas L., Moutafi A., Moschopoulou E., Moatsou G. 2014. Assessment of heat treatment of various types of milk. *Food Chem.*, 159: 293-301.
- [7] Elliott A.J., Datta N., Amenu B., Deeth H.C. 2005. Heat-induced and other chemical changes in commercial UHT milks. *J. Dairy Res.*, 72: 442-446.
- [8] Köseman A., Şeker İ. 2015. Current Status of Cattle, Sheep and Goat Breeding in Turkey. *Van Veterinary Journal*, 26 (2): 111-117.

- [9] TÜİK, 2019. Türkiye İstatistik Kurumu verileri. Süt ve Süt Ürünleri Üretimi. <https://ulusalsutkonseyi.org.tr/tuik-sut-ve-sut-urunleri-uretim-istatistikleri-haziran-2019-2651/> (Erişim tarihi:16.08.2019).
- [10] Mansson H.L. 2008. Fatty acids in bovine milk fat. *Food & Nutrition Research*, 52 (1): 1821
- [11] Caroli A.M., Chessa S., Erhardt G.J. 2009. Invited review: Milk protein polymorphisms in cattle: Effect on animal breeding and human nutrition. *J Dairy Sci.*, 92: 5335-5352.
- [12] Kalac P., Samkova E. 2010. The effects of feeding various forages on fatty acid composition of bovine milk fat: A review. *Czech Journal of Animal Science*, 55 (12): 521-37.
- [13] FAO, 2011. Molecular genetic characterization of animal genetic resources. FAO Animal Production and Health Guidelines, Rome, No: 9.
- [14] Chemists A.O.O.A, Horwitz W. 2000. Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists, 17 (1-2).
- [15] Ciftci H., Ozkaya A., Kariptas E. 2009. Determination of fatty acids, vitamins and trace elements in Pistacia terebinthus coffee. *Journal of Food, Agriculture and Environment*, 7: 72-74.
- [16] Özkaya A., Ertürk A.S., Sucak M.G., Ağyar O., Yılmaz E. 2017. Saanen Keçi Sütünün Bazı Biyokimyasal Özelliklerinin Belirlenmesi. *Iğdır Üni. Fen Bilimleri Enst. Der.*, 7 (4): 123-129.
- [17] Imran M., Khan H., Hassan S.S., Khan R. 2008. Physicochemical characteristics of various milk samples available in Pakistan. *J Zhejiang Univ Sci B*, 9 (7): 546-551.
- [18] Enb A., Donia M.A.A., Abd-Rabou N.S., Abou-Arab A.A.K., El-Senaity M.H. 2009. Chemical Composition of Raw Milk and Heavy Metals Behavior During Processing of Milk Products. *Global Veterinaria*, 3 (3): 268-275.
- [19] Bakircioglu D., Topraksever N., Yurtsever S., Kizildere M., Kurtulus Y.B. 2018. Investigation of macro, micro and toxic element concentrations of milk and fermented milks products by using an inductively coupled plasma optical emission spectrometer, to improve food safety in Turkey. *Microchemical Journal*, 136: 133-138.
- [20] Selvaraju R., Raman R.G., Narayanaswamy R., Valliappan R., Baskaran R. 2009. Trace element analysis in hepatitis B affected human blood serum by inductively coupled plasma-atomic emission spectroscopy (ICP-AES). *Romanian Journal of Biophysics*, 19: 35-42.
- [21] Emsley J. 2011. Nature's building blocks: an A-Z guide to the elements. Oxford, UK: Oxford University Press, 1-699.
- [22] Ullah R., Khader J.A., Hussain I., AbdElsalam N.M., Talha M., Khan N. 2012. Investigation of macro and micro-nutrients in selected medicinal plants. *African Journal of Pharmacy and Pharmacology*, 6 (25): 1829-1832.
- [23] Ayodele J.T., Bayero A.S. 2010. Manganese concentrations in hair and fingernail of some Kano inhabitants. *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*, 4 (1): 17-21.
- [24] Bhowmik D., Chiranjy B.C., Kumar K.P. 2010. Apotential medicinal importance of zinc in human health and chronic disease. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Sciences*, 1: 5-11.
- [25] Nestares T., Diaz-Castro J., Alferez M.J.M., Lopez- Aliaga I., Barrionuevo M., Campos M.S. 2008. Calcium-enriched goat milk, in comparison with similarly enriched cow milk, favours magnesium bioavailability in rats with nutritional ferropenic anaemia. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 88: 319-327.
- [26] Pestana J.M., Gennari A., Monteiro B.W., Lehn D.N., Volken de Souza C.F. 2015. Effects of Pasteurization and Ultra-High Temperature Processes on Proximate Composition and Fatty Acid Profile in Bovine Milk. *American Journal of Food Technology*, 10 (6): 265-272.

Araştırma Makalesi / Research Article

3-Metil-4-(3-benzensulfoniloksi-4-metoksibenzilidenamino)-4,5-dihidro-1H-1,2,4-triazol-5-on molekülünün DFT(B3LYP/mPW1PW91) ve HF Yöntemleriyle Yapısının İncelenmesi

Hilal MEDETALİBEYOĞLU^{1*}, Özlem AKTAŞ-YOKUŞ², Haydar YÜKSEK¹

¹Kafkas Üniversitesi, Kimya Bölümü, Kars

²Kafkas Üniversitesi, Fen Bilimleri Bölümü, Kars

(ORCID: 0000-0002-1310-6811) (ORCID: 0000-0003-3725-6731) (ORCID: 0000-0002-7910-3461)

Öz

3-Metil-4-(3-benzensulfoniloksi-4-metoksibenzilidenamino)-4,5-dihidro-1H-1,2,4-triazol-5-on molekülü gaz fazında DFT(B3LYP/mPW1PW91)/HF metotları ve 6-311G(d) temel seti kullanılarak optimize edilmiştir. Bileşiğin, kuantum kimyasal ve spektroskopik özellikleri optimize edilmiş yapı kullanılarak elde edilmiştir. Ayrıca HOMO-LUMO enerjileri (moleküler sınır orbital enerjileri) hesaplanmış ve bu enerjiler kullanılarak molekülün elektronik özellikleri (elektron ilgisi, elektronegativitesi, dipol moment, kimyasal sertlik ve kimyasal yumuşaklık vb.), mulliken atomik yükler popülasyon analizi ve termodinamik parametreleri (gibbs serbest enerjileri, entalpi ve entropi) hesaplanmıştır.

Anahtar kelimeler: 4,5-dihidro-1H-1,2,4-triazol-5-on, B3LYP/mPW1PW91 ve HF 6-311G(d), HOMO-LUMO enerjileri.

Investigation of Structure of 3-Methyl-4-(3-benzenesulfonyloxy-4-methoxybenzylideneamino)-4,5-dihydro-1H-1,2,4-triazol-5-one by DFT (B3LYP/mPW1PW91) and HF Methods

Abstract

3-Methyl-4-(3-benzenesulfonyloxy-4-methoxybenzylideneamino)-4,5-dihydro-1H-1,2,4-triazole-5-one molecule is optimized by using DFT (B3LYP/mPW1PW91)/HF levels in the gas phase and 6 311G(d) the basic set. The quantum chemical and spectroscopic properties of the compound were obtained by the optimized structure. In addition, HOMO-LUMO energies (the molecular frontier orbital) are calculated by using these energies and the electronic properties of the molecule (electron affinity, electronegativity, dipole moment, chemical hardness and chemical softness etc.), mulliken atomic charges population analysis and thermodynamic parameters (gibbs free energies, enthalpy and entropy) were calculated.

Keywords: 4,5-dihydro-1H-1,2,4-triazol-5-one, B3LYP/mPW1PW91 and HF 6-311G(d), HOMO-LUMO energies.

1. Giriş

4,5-Dihidro-1H-1,2,4-triazol-5-on türevli Schiff bazları, potansiyel biyoaktiviteye sahip olan ve yapısında üç azot atomu bulduran heterosiklik bileşiklerdir. 1,2,4-Triazol türevli bileşikler geniş spektrumlu aktivitelerinden dolayı tıp ve ilaç alanında yaygın şekilde kullanılmaktadır [1, 2]. 1,2,4-Triazol türevli bileşikler, antifungal [3], antibakteriyel [4], antitümör [5], antitripanozomal [6], antiproliferatif [7] ve antibiyotik [8] özelliklere sahip olduğu için klinik tedavide tercih edilmektedir. Ayrıca, 1,2,4-triazol türevli tebukonazol, epoksikonazol, siprokonazol ve triadimefon gibi antifungal ajanlar tarımsal mantar enfeksiyonlarının tedavisinde önemli bir rol oynamaktadır [9,10]. Son

*Sorumlu yazar: hilalmedet@gmail.com

Geliş Tarihi: 27.03.2019, Kabul Tarihi: 13.01.2020

zamanlarda, 1*H*-1,2,4-triazol-5-on türevli bileşikler yüksek optik seçici, elektrokimyasal olarak aktif kemosenör ve kolorimetrik sensör olarak da kullanılmıştır [11,12].

Günümüzde kullanılan teorik hesaplama metotları ile bir molekülün karakterizasyonu, kinetik ve kimyasal mekanizması üzerine birçok araştırma yürütülmektedir [13,14]. Bu çalışmada, 4,5-dihidro-1*H*-1,2,4-triazol-5-on türevli Schiff bazının geometrik optimizasyonu, IR ve NMR spektroskopik özellikleri, termodinamik ve elektronik özellikleri DFT (B3LYP/mPW1PW91) ve HF yöntemleri kullanılarak incelenmiştir.

2. Materyal ve Metot

Bu çalışma için molekülün 3D boyutlu yaklaşık geometrisini GaussView 5.0 [15] ile görselleştirildikten sonra molekülün teorik hesaplamaları Gaussian09W paket programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir [16]. Molekülün bağ açıları, bağ uzunlukları, dihedral açıları ve mulliken atomi kanalı gibi önemli parametreleri teorik olarak incelenmiştir. Bununla birlikte moleküle ait titreşim frekansları, ¹H ve ¹³C NMR kimyasal kayma değerleri deneysel ve teorik olarak kaydedilmiştir. Bileşiğinin gaz ortamında HOMO ve LUMO enerjileri hesaplanmış ve bu parametrelerden faydalanılarak her bir yöntem için olan ΔE enerji farkları ve elektronik parametreleri tayin edilmiştir. Molekülün gibbs serbest enerjileri, entalpi ve entropi gibi termodinamik özellikleride hesaplanmıştır. Tüm bu teorik hesaplar yapılırken B3LYP/mPW1PW91 ve HF metotları ve 6-311G(d) temel seti kullanılmıştır [17-21].

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Moleküler Geometrisi

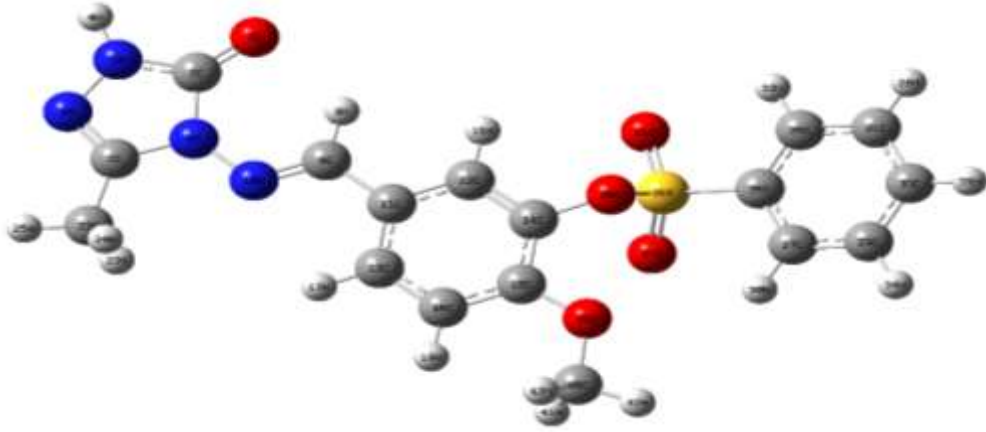
Molekülün geometri hesaplamaları gaz fazında gerçekleştirilmiştir. Molekülün yapısal parametreleri, atomlar arasındaki bağ açısı, dihedral açı, bağ uzunluğu ve mulliken atomik yükleri belirlenmiştir. 1,2,4-Triazol halkasındaki C2-O7 bağ uzunluğu sırasıyla 1.22 Å (B3LYP), 1.20 Å (HF) ve 1.21 Å (mPW1PW91) olarak gözlenmiştir ve bu bağ triazol halkasındaki N-H ile konjuge durumdadır. Literatürde kayıtlı benzen halkası için C-C bağ uzunlukları 1.40 Å ve C-H bağ uzunlukları 1.08 Å olduğu belirlenmiştir [22]. Bileşik için aromatik halkadaki C-C ve C-H bağ uzunluklarının ortalama değerleri alındığında ise 1.40 Å (B3LYP), 1.38 Å (HF) ve 1.40 Å (mPW1PW91) değerlerine sahip olduğu tespit edilmiştir. Molekülün B3LYP/6-311G(d) metoduyla elde edilen geometrik optimizasyonu Şekil 1’de verilirken bileşiğe ait yapısal parametrelerde Tablo 1’de gösterilmektedir. Literatüre kayıtlı deneysel değerlerle [22] teorik değerler arasında az da olsa farklılıkların olduğu gözlenirken en iyi değerlerin B3LYP ve mPW1PW91 baz setleri ile elde edilen değerler olduğu gözlenmiştir. Mulliken atomik yük popülasyon analizi, bileşiğin elektronik yapısı, polarlığı, atomlar üzerindeki yük dağılımını, atomik yapıların dipol momentini, bileşikteki yük transferini sağlayan donör ve akseptör çiftleri ve ayrıca moleküler yapı hakkında geniş bir bilgi sağladığı için çok kullanılan popülasyon analizidir [23]. Molekülde C1 ve C2 karbon atomlarının yük değeri diğer karbon atomlarına oranla daha yüksek olduğu gözlenmiştir bunun nedeni ise C1 karbon atomu iki elektronegatif komşu atom (N3 ve N6) ve C2 karbon atomu ise üç elektronegatif komşu atom (N5, N6 ve O7) tarafından çevrenmesidir. S36 ise en büyük pozitif değere sahiptir çünkü S36 üç elektronegatif atom (O20, O21 ve O37) tarafından çevrenmiştir. Bileşiğin, B3LYP/mPW1PW91 ve HF metotları ve 6-311G(d) baz setide hesaplanan Mulliken atomik yük değerleri Tablo 2 ve Şekil 2’de gösterilmiştir.

Tablo 1. Moleküle ait parametreler (Bağ uzunluğu (Å), Bağ Açısı (⁰) ve Dihedral Açısı (⁰))

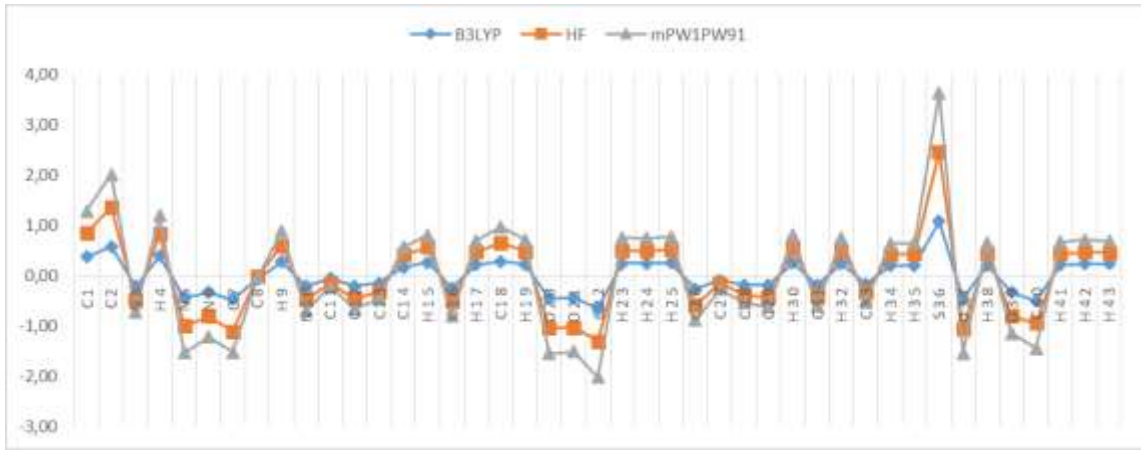
| Bağ Uzunluğu (Å) | Bağ Uzunluğu (Å) | | | Bağ Açısı (⁰) | Bağ Açısı (⁰) | | | Dihedral Açısı (⁰) | Dihedral Açısı (⁰) | | |
|------------------|------------------|------|----------|----------------------------|----------------------------|--------|----------|---------------------------------|---------------------------------|---------|----------|
| | B3LYP | HF | mPW1PW91 | | B3LYP | HF | mPW1PW91 | | B3LYP | HF | mPW1PW91 |
| C1-N3 | 1.30 | 1.27 | 1.29 | N3-C1-N6 | 111.45 | 111.35 | 111.33 | N6-C1-N3-N5 | -0.11 | -0.21 | -0.10 |
| C1-N6 | 1.39 | 1.38 | 1.38 | N3-C1-C22 | 125.09 | 125.36 | 125.34 | C22-C1-N3-N5 | 180.00 | 179.94 | 180.00 |
| C1-C22 | 1.49 | 1.49 | 1.48 | N6-C1-C22 | 123.46 | 123.28 | 123.32 | N3-C1-N6-C2 | 0.14 | 0.37 | 0.12 |
| C2-N5 | 1.37 | 1.35 | 1.36 | N5-C2-N6 | 101.12 | 101.83 | 101.11 | N3-C1-N6-C10 | 179.58 | 178.82 | 179.63 |
| C2-N6 | 1.42 | 1.39 | 1.41 | N5-C2-O7 | 130.05 | 129.55 | 130.04 | C22-C1-N6-C2 | -179.96 | -179.78 | -179.97 |

| | | | | | | | | | | | |
|---------|------|------|------|-------------|--------|--------|--------|-----------------|---------|---------|---------|
| C2-O7 | 1.22 | 1.20 | 1.21 | N6-C2-O7 | 128.83 | 128.62 | 128.85 | C22-C1-N6-N10 | -0.52 | -1.33 | -0.46 |
| N3-N5 | 1.38 | 1.37 | 1.37 | C1-N3-N5 | 104.69 | 104.97 | 104.69 | N3-C1-C22-H23 | 120.31 | 120.48 | 120.33 |
| H4-N5 | 1.01 | 0.99 | 1.00 | C2-N5-N3 | 114.48 | 113.76 | 114.58 | N3-C1-C22-H24 | -120.33 | -120.08 | -120.34 |
| N6-N10 | 1.37 | 1.36 | 1.36 | C2-N5-H4 | 125.18 | 125.37 | 125.05 | N3-C1-C22-H25 | 0.00 | 0.19 | 0.00 |
| C8-H9 | 1.09 | 1.07 | 1.09 | N3-N5-H4 | 120.34 | 120.86 | 120.37 | N6-C1-C22-H23 | -59.57 | -59.35 | -59.57 |
| C8-N10 | 1.29 | 1.26 | 1.28 | C1-N6-C2 | 108.26 | 108.08 | 108.28 | N6-C1-C22-H24 | 59.79 | 60.08 | 59.77 |
| C8-C11 | 1.46 | 1.47 | 1.46 | C1-N6-N10 | 121.26 | 121.07 | 121.27 | N6-C1-C22-H25 | -179.89 | -179.64 | -179.89 |
| C11-C12 | 1.40 | 1.39 | 1.40 | C2-N6-N10 | 130.48 | 130.82 | 130.45 | N6-C2-N5-N3 | 0.04 | 0.24 | 0.03 |
| C11-C13 | 1.40 | 1.39 | 1.40 | H9-C8-N10 | 121.97 | 122.34 | 122.01 | N6-C2-N5-H4 | -179.78 | -179.82 | -179.81 |
| C12-C14 | 1.38 | 1.37 | 1.38 | H9-C8-C11 | 117.70 | 117.20 | 117.89 | O7-C2-N5-N3 | -179.85 | -179.64 | -179.83 |
| C12-H15 | 1.08 | 1.07 | 1.08 | N10-C8-C11 | 120.34 | 120.46 | 120.10 | O7-C2-N5-H4 | 0.34 | 0.30 | 0.32 |
| C13-C16 | 1.39 | 1.38 | 1.38 | N6-N10-C8 | 119.10 | 119.90 | 119.06 | N5-C2-N6-C1 | -0.10 | -0.35 | -0.09 |
| C13-H17 | 1.08 | 1.07 | 1.08 | C8-C11-C12 | 118.80 | 118.73 | 118.82 | N5-C2-N6-N10 | -179.48 | -178.59 | -179.53 |
| C14-C18 | 1.41 | 1.39 | 1.40 | C8-C11-C13 | 122.95 | 122.93 | 122.81 | O7-C2-N6-C1 | 179.79 | 179.53 | 179.78 |
| C14-O20 | 1.39 | 1.38 | 1.39 | C12-C11-C13 | 118.26 | 118.35 | 118.36 | O7-C2-N6-N10 | 0.41 | 1.29 | 0.33 |
| C16-C18 | 1.40 | 1.39 | 1.40 | C11-C12-C14 | 120.64 | 120.36 | 120.51 | C1-N3-N5-C2 | 0.04 | -0.03 | 0.04 |
| C16-H19 | 1.08 | 1.07 | 1.08 | C11-C12-H15 | 120.96 | 121.16 | 121.05 | C1-N3-N5-H4 | 179.87 | -179.97 | 179.89 |
| C18-O39 | 1.35 | 1.33 | 1.34 | C14-C12-H15 | 118.40 | 118.48 | 118.44 | C1-N6-NC10-C8 | 178.71 | 176.90 | 178.67 |
| O20-S36 | 1.68 | 1.59 | 1.65 | C11-C13-C16 | 121.20 | 121.20 | 121.17 | C2-N6-N10-C8 | -1.98 | -5.05 | -1.95 |
| O21-S36 | 1.45 | 1.42 | 1.44 | C11-C13-H17 | 119.00 | 119.37 | 118.93 | H9-C8-N10-N6 | -0.08 | -0.06 | -0.08 |
| C22-H23 | 1.09 | 1.08 | 1.09 | C16-C13-H17 | 119.81 | 119.43 | 119.90 | C11-C8-N10-N6 | 179.89 | 179.84 | 179.90 |
| C22-H24 | 1.09 | 1.08 | 1.09 | C12-C14-C18 | 121.22 | 121.67 | 121.30 | H9-C8-C11-C12 | -0.35 | -1.26 | -0.40 |
| C22-H25 | 1.09 | 1.08 | 1.09 | C12-C14-O20 | 120.05 | 119.78 | 120.18 | H9-C8-C11-C13 | 179.44 | 178.55 | 179.37 |
| C26-C27 | 1.39 | 1.39 | 1.39 | C18-C14-O20 | 118.65 | 118.49 | 118.45 | N10-C8-C11-C12 | 179.68 | 178.83 | 179.62 |
| C26-C28 | 1.39 | 1.38 | 1.39 | C13-C16-C18 | 120.58 | 120.52 | 120.55 | N10-C8-C11-C13 | -0.53 | -1.36 | -0.61 |
| C26-S36 | 1.79 | 1.76 | 1.77 | C13-C16-H19 | 119.15 | 119.10 | 119.20 | C8-C11-C12-C14 | 179.82 | -179.91 | 179.87 |
| C27-C29 | 1.39 | 1.38 | 1.39 | C18-C16-H19 | 120.26 | 120.38 | 120.24 | C8-C11-C12-H15 | -0.16 | -0.35 | -0.20 |
| C27-H30 | 1.08 | 1.07 | 1.08 | C14-C18-C16 | 118.11 | 117.90 | 118.10 | C13-C11-C12-C14 | 0.02 | 0.27 | 0.09 |
| C28-H31 | 1.39 | 1.38 | 1.39 | C14-C18-O39 | 116.76 | 117.04 | 116.76 | C13-C11-C12-H15 | -179.96 | 179.83 | -179.98 |
| C28-H32 | 1.08 | 1.07 | 1.08 | C16-C18-O39 | 125.13 | 125.05 | 125.14 | C8-C11-C13-C16 | -179.76 | -179.74 | -179.77 |
| C29-C33 | 1.40 | 1.39 | 1.39 | C14-O20-S36 | 117.77 | 119.91 | 117.07 | C8-C11-C13-H17 | 0.15 | 0.07 | 0.15 |
| C29-H34 | 1.08 | 1.07 | 1.08 | C14-O20-O37 | 92.66 | 96.46 | 111.04 | C12-C11-C13-C16 | 0.03 | 0.07 | 0.00 |
| H31-C33 | 1.39 | 1.38 | 1.39 | C1-C22-H23 | 111.13 | 110.65 | 111.03 | C12-C11-C13-H17 | 179.94 | 179.88 | 179.92 |
| H31-H38 | 1.08 | 1.07 | 1.08 | C1-C22-H24 | 111.13 | 110.64 | 108.71 | C11-C12-C14-C18 | 0.01 | -0.53 | -0.08 |
| C33-H35 | 1.09 | 1.08 | 1.08 | C1-C22-H25 | 108.74 | 108.63 | 107.33 | C11-C12-C14-O20 | -176.78 | -177.86 | -177.08 |
| S36-O37 | 1.45 | 1.42 | 1.44 | H23-C22-H24 | 107.26 | 107.82 | 109.34 | H15-C12-C14-C18 | 179.98 | 179.90 | 179.99 |
| O39-C40 | 1.42 | 1.40 | 1.41 | H23-C22-H25 | 109.27 | 109.54 | 109.35 | H15-C12-C14-O20 | 3.20 | 2.56 | 2.98 |
| C40-H41 | 1.09 | 1.08 | 1.09 | H24-C22-H25 | 109.28 | 109.54 | 122.22 | C11-C13-C16-C18 | -0.11 | -0.16 | -0.11 |
| C40-H42 | 1.09 | 1.08 | 1.09 | C27-C26-C28 | 122.18 | 121.73 | 118.77 | C11-C13-C16-H19 | -179.98 | 179.79 | -179.97 |
| C40-H43 | 1.09 | 1.08 | 1.09 | C27-C26-S36 | 118.79 | 118.97 | 119.02 | H17-C13-C16-C18 | 179.98 | -179.96 | 179.97 |
| | | | | C28-C26-S36 | 119.03 | 119.30 | 118.54 | H17-C13-C16-H19 | 0.11 | -0.02 | 0.11 |
| | | | | C26-C27-C29 | 118.55 | 118.91 | 119.97 | C12-C14-C18-C16 | -0.08 | 0.44 | -0.03 |
| | | | | C26-C27-H30 | 120.07 | 120.05 | 121.49 | C12-C14-C18-O39 | -179.57 | -178.82 | -179.53 |
| | | | | C29-C27-H30 | 121.38 | 121.04 | 118.55 | O20-C14-C18-C16 | 176.75 | 177.80 | 177.02 |
| | | | | C26-28-H31 | 118.56 | 118.87 | 119.86 | O20-C14-C18-O39 | -2.74 | -1.46 | -2.48 |
| | | | | C26-C28-H32 | 119.96 | 120.05 | 121.59 | C12-C14-O20-S36 | -85.44 | -83.51 | -84.18 |

| | | | | | | | |
|--------------------|--------|--------|--------|------------------------|---------|---------|---------|
| H31-C28-H32 | 121.48 | 121.07 | 120.11 | C18-C14-O20-S36 | 97.69 | 99.08 | 98.73 |
| C27-C29-C33 | 120.15 | 119.95 | 119.76 | C18-C14-O20-O37 | 75.51 | 73.82 | 0.12 |
| C27-C29-H34 | 119.72 | 119.85 | 120.13 | C13-C16-C18-C14 | 0.13 | -0.09 | 179.58 |
| C33-C29-H34 | 120.13 | 120.19 | 120.07 | C13-C16-C18-O39 | 179.57 | 179.10 | 179.98 |
| C28-H31-C33 | 120.11 | 119.96 | 119.70 | H19-C16-C18-C14 | -180.00 | 179.96 | -0.56 |
| C28-H31-H38 | 119.66 | 119.76 | 120.22 | H19-C16-C18-O39 | -0.55 | -0.84 | -177.63 |
| C33-H31-H38 | 120.23 | 120.28 | 120.51 | C14-C18-O39-C40 | -177.51 | -173.01 | 2.90 |
| C29-C33-H31 | 120.45 | 120.58 | 119.73 | C16-C18-O39-C40 | 3.04 | 7.79 | 86.40 |
| C29-C33-H35 | 119.75 | 119.69 | 119.76 | C14-O20-S36-O21 | 88.18 | 80.60 | -160.23 |
| H31-C33-H35 | 119.80 | 119.73 | 107.96 | C14-O20-S36-C26 | -158.48 | -165.37 | -45.81 |
| O20-S36-O21 | 107.93 | 107.88 | 97.19 | C28-C26-C27-C29 | -0.06 | 0.03 | -0.03 |
| O20-S36-C26 | 96.98 | 98.73 | 108.25 | C28-C26-C27-H30 | -179.95 | -179.49 | -179.70 |
| O21-S36-C26 | 109.68 | 109.67 | 109.62 | S36-C26-C27-C29 | 179.44 | 179.90 | 179.61 |
| O21-S36-O37 | 120.66 | 119.69 | 120.68 | S36-C26-C27-H30 | -0.45 | 0.39 | -0.06 |
| C26-S36-O37 | 110.57 | 110.34 | 110.51 | C27-C26-C28-H31 | 0.17 | 0.04 | 0.11 |
| C18-O39-C40 | 118.50 | 119.93 | 118.11 | C27-C26-C28-H32 | 179.73 | 179.37 | 179.57 |
| O39-C40-H41 | 111.28 | 111.16 | 111.30 | S36-C26-C28-H31 | -179.34 | -179.83 | -179.53 |
| O39-C40-H42 | 105.68 | 106.02 | 105.82 | S36-C26-C28-H32 | 0.23 | -0.50 | -0.07 |
| O39-C40-H43 | 111.40 | 111.34 | 111.43 | C27-C26-S36-O20 | 76.59 | 81.15 | 78.75 |
| H41-C40-H42 | 109.38 | 109.30 | 109.30 | C27-C26-S36-O21 | -171.50 | -166.22 | -169.23 |
| H41-C40-H43 | 109.75 | 109.80 | 109.73 | C27-C26-S36-O37 | -36.05 | -32.33 | -33.85 |
| H42-C40-H43 | 109.24 | 109.11 | 109.16 | C28-C26-S36-O20 | -103.89 | -98.98 | -101.60 |
| | | | | C28-C26-S36-O21 | 8.01 | 13.65 | 10.42 |
| | | | | C28-C26-S36-O37 | 143.46 | 147.55 | 145.80 |
| | | | | C26-C27-C29-C33 | -0.01 | -0.02 | 0.00 |
| | | | | C26-C27-C29-H34 | -179.92 | -179.79 | -179.85 |
| | | | | H30-C27-C29-C33 | 179.88 | 179.49 | 179.67 |
| | | | | H30-C27-C29-H34 | -0.03 | -0.28 | -0.18 |
| | | | | C26-C28-H31-C33 | -0.20 | -0.12 | -0.17 |
| | | | | C26-C28-H31-H38 | 179.74 | 179.70 | 179.73 |
| | | | | H32-C28-H31-C33 | -179.76 | -179.45 | -179.62 |
| | | | | H32-C28-H31-H38 | 0.18 | 0.37 | 0.27 |
| | | | | C27-C29-C33-H31 | -0.02 | -0.07 | -0.07 |
| | | | | C27-C29-C33-H35 | -179.90 | -179.83 | -179.89 |
| | | | | H34-C29-C33-H31 | 179.89 | 179.71 | 179.78 |
| | | | | H34-C29-C33-H35 | 0.01 | -0.06 | -0.04 |
| | | | | C28-H31-C33-C29 | 0.13 | 0.14 | 0.15 |
| | | | | C28-H31-C33-H35 | -180.00 | 179.90 | 179.97 |
| | | | | H38-H31-C33-C29 | -179.81 | -179.68 | -179.74 |
| | | | | H38-H31-C33-H35 | 0.06 | 0.08 | 0.08 |
| | | | | C18-O39-C40-H41 | 60.26 | 57.58 | 60.24 |
| | | | | C18-O39-C40-H42 | 178.89 | 176.26 | 178.87 |
| | | | | C18-O39-C40-H43 | -62.58 | -65.19 | -62.59 |



Şekil 1. Molekülün optimize edilmiş moleküler yapısı



Şekil 2. Molekülün Mulliken yük grafiği

Tablo 2. Moleküle ait Mulliken atomik yük değerleri

| Atom | B3LYP | HF | mPW1PW91 |
|------|-------|-------|----------|
| C1 | 0.37 | 0.47 | 0.45 |
| C2 | 0.58 | 0.79 | 0.64 |
| N3 | -0.21 | -0.28 | -0.22 |
| H4 | 0.39 | 0.43 | 0.38 |
| N5 | -0.45 | -0.56 | -0.53 |
| N6 | -0.34 | -0.47 | -0.41 |
| O7 | -0.47 | -0.64 | -0.41 |
| C8 | -0.07 | 0.05 | -0.02 |
| H9 | 0.28 | 0.32 | 0.28 |
| N10 | -0.21 | -0.26 | -0.24 |
| C11 | -0.06 | -0.10 | -0.07 |
| C12 | -0.21 | -0.25 | -0.20 |
| C13 | -0.15 | -0.17 | -0.15 |
| C14 | 0.17 | 0.24 | 0.16 |
| H15 | 0.26 | 0.31 | 0.24 |
| C16 | -0.25 | -0.27 | -0.29 |
| H17 | 0.21 | 0.26 | 0.22 |
| C18 | 0.29 | 0.37 | 0.31 |
| H19 | 0.22 | 0.25 | 0.23 |
| O20 | -0.46 | -0.59 | -0.51 |
| O21 | -0.44 | -0.59 | -0.48 |
| C22 | -0.66 | -0.65 | -0.71 |
| H23 | 0.25 | 0.25 | 0.25 |

| | | | |
|-----|-------|-------|-------|
| H24 | 0.24 | 0.25 | 0.25 |
| H25 | 0.25 | 0.27 | 0.26 |
| C26 | -0.26 | -0.33 | -0.29 |
| C27 | -0.09 | -0.06 | -0.13 |
| C28 | -0.19 | -0.19 | -0.16 |
| C29 | -0.19 | -0.24 | -0.21 |
| H30 | 0.25 | 0.30 | 0.25 |
| C31 | -0.19 | -0.23 | -0.20 |
| H32 | 0.23 | 0.27 | 0.25 |
| C33 | -0.17 | -0.17 | -0.18 |
| H34 | 0.20 | 0.22 | 0.22 |
| H35 | 0.20 | 0.23 | 0.22 |
| S36 | 1.08 | 1.38 | 1.18 |
| O37 | -0.47 | -0.59 | -0.48 |
| H38 | 0.21 | 0.23 | 0.22 |
| O39 | -0.34 | -0.47 | -0.34 |
| C40 | -0.50 | -0.44 | -0.50 |
| H41 | 0.22 | 0.21 | 0.24 |
| H42 | 0.23 | 0.24 | 0.24 |
| H43 | 0.23 | 0.23 | 0.23 |

3.2. İnfrared Spektroskopisi

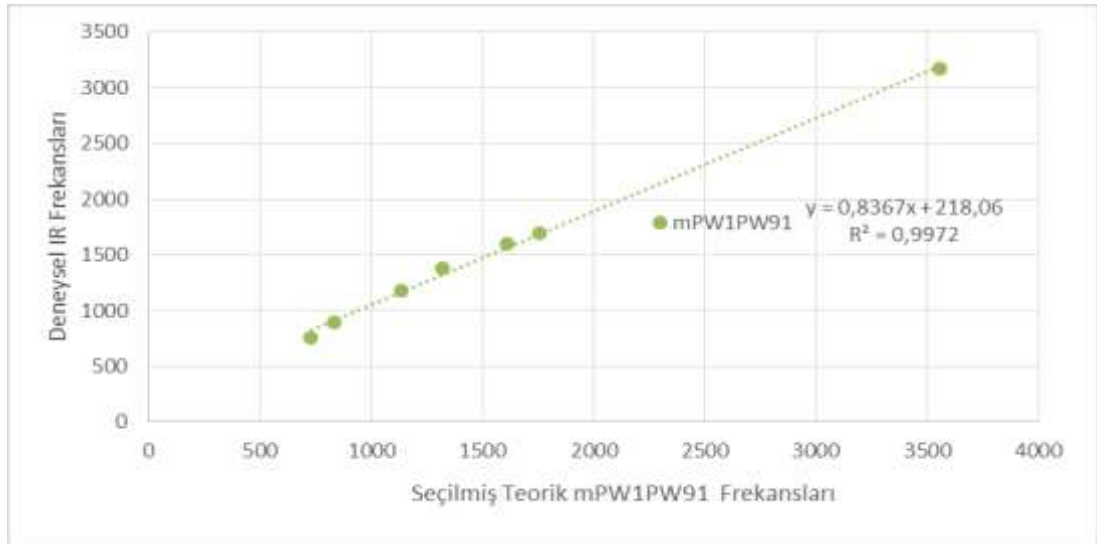
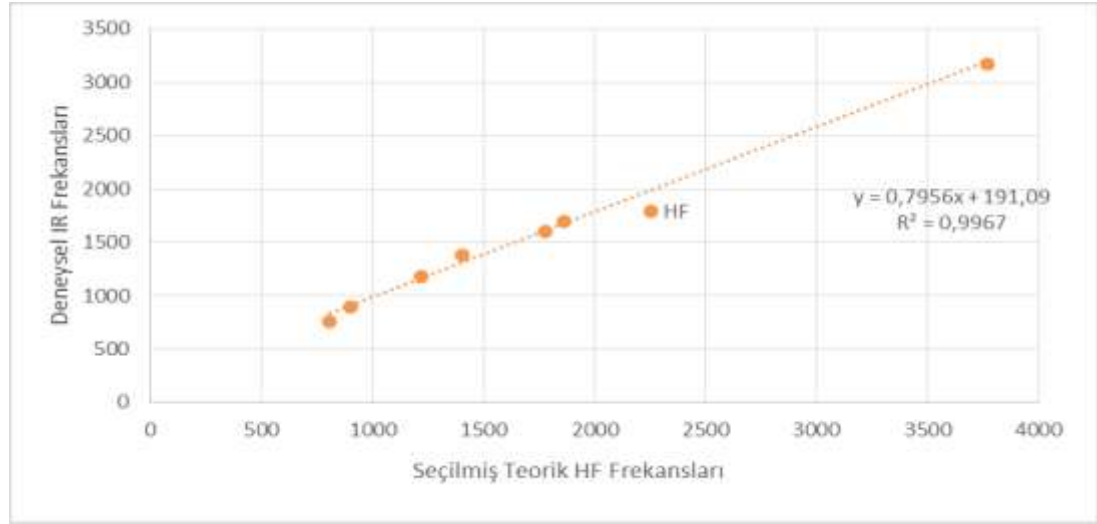
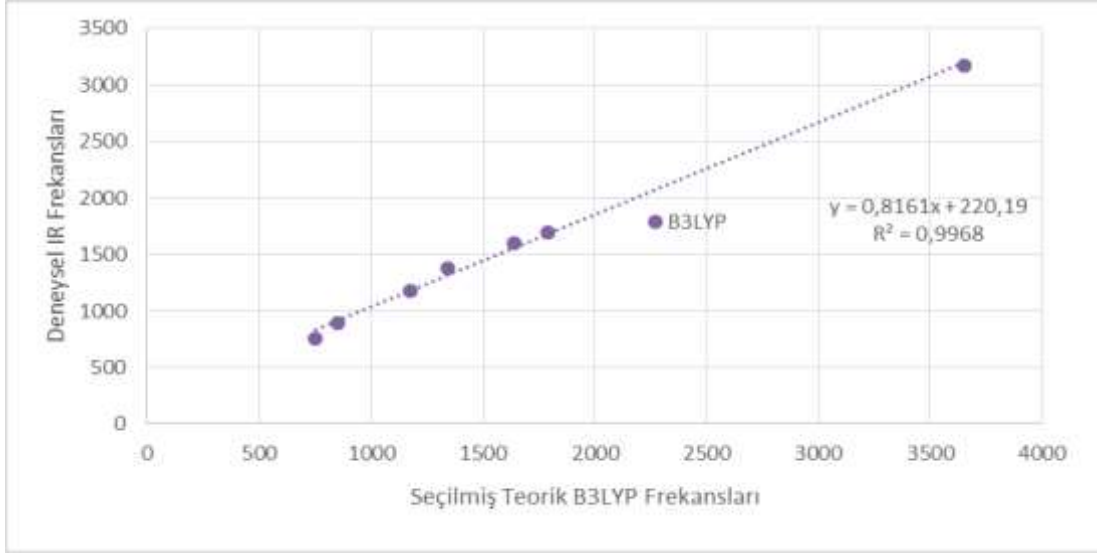
Molekülün titreşim frekanslarının hesaplanmasında B3LYP/mPW1PW91 ve HF metotları ve 6-311G(d) temel setleriyle çalışılmıştır. Teorik olarak elde edilen değerlerle deneysel sonuçlar [24] karşılaştırılmıştır. Moleküldeki N-H, C=O, C=N, S=O, aromatik CH gerilme, simetrik ve asimetrik CH gerilme, düzlem içi ve düzlem dışı CH eğilme titreşimleri tespit edilmiştir. Molekülün N-H gerilme titreşimleri; 3656 (B3LYP), 3771 (HF) ve 3558 cm^{-1} 'de (mPW1PW91), C=O gerilme titreşimleri; 1791 (B3LYP), 1864 (HF) ve 1759 cm^{-1} 'de (mPW1PW91), aromatik CH gerilme titreşimleri; 3000-3110 cm^{-1} aralığında gözlenirken CH düzlem içi eğilme titreşimleri; 1100 ve 1280 cm^{-1} 'de, aromatik halkaya ait düzlem dışı eğilme titreşimleri; 800 ve 990 cm^{-1} aralığında, C=N gerilme titreşimleri; 1639 (B3LYP), 1778 (HF) ve 1610 cm^{-1} 'de (mPW1PW91), S=O gerilme titreşimleri; 1344 (B3LYP), 1402 (HF) ve 1318 cm^{-1} 'de (mPW1PW91) teorik olarak hesaplanmıştır. Molekülün deneysel olarak N-H titreşimi; 3168 cm^{-1} , aromatik C-H gerilme titreşimi; 3033 cm^{-1} , C=O gerilme titreşimi; 1696 cm^{-1} 'de, C=N gerilme titreşimi; 1600 cm^{-1} , S=O gerilme titreşimleri; 1381 cm^{-1} ve 1184 cm^{-1} ve düzlem dışı eğilme titreşimleri ise 900-750 cm^{-1} bölgesinde görülmüştür [24]. Ayrıca deneysel olarak C=N gerilme titreşimlerinin varlığı hedeflenen bileşiğin sentezlendiğinin ispatıdır. Bileşiğin deneysel ve teorik IR spektrumları incelendiğinde, deneysel IR spektrumundaki desenin benzer olduğu fakat piklerde çok az şiddet değişimlerinin ve kaymaların olduğu görülmüştür. Bu sonuç deneysel sonucun teorik sonuçla uyumlu olduğunu göstermiştir. Deneysel olarak [24] elde edilen verilerle teorik hesaplamalar arasındaki ilişkinin incelenmesi amacıyla korelasyon grafiği çizilmiştir (Şekil 3). Hesaplanan metotlar ile deneysel sonuçlar [24] arasında kıyaslama yapıldığında sırasıyla Pearson korelasyon katsayıları 0.9968 (B3LYP), 0.9967 (HF) ve 0.9972 (mPW1PW91) olarak gözlenmiştir. Teorik olarak hesaplanan sonuçlar deneysel verilerle [24] oldukça iyi bir uyum içinde olduğu tespit edilmiştir. Bu çalışmada molekülün titreşim spektroskopisi moleküler yapının analizinde başarılı bir metot olduğu gözlenmiştir. Deneysel olarak bileşikte NH_2 'ye ve aldehite ait olan fermi dubletinin kaybolması ve C=N gerilme titreşimlerinin görülmesi amaçlanan bileşiğin oluştuğunu ispatlamıştır [23]. Deneysel ve teorik olarak hesaplanan değerler arasında farklılıklar bulunmaktadır bunun nedenleri arasında deneysel sonuçların katı fazda, teorik sonuçların ise gaz fazında alınmasından, teorik IR hesaplamalarının harmonik frekanslara ait olması aslında moleküllerin anharmonik katkılarına olmasındandır, ancak genel olarak deneysel [24] ve teorik sonuçların büyük bir uyum içinde olduğu tespit edilmiştir. Hesaplamalar sonucunda Pearson korelasyon katsayıları değerlendirildiğinde en iyi katsayının mPW1PW91 yöntemiyle elde edilen sonuç olduğu gözlenmiştir ve mPW1PW91 ile elde edilen katsayı ise 0.9972 olarak kaydedilmiştir ve diğer yöntemlerle elde edilen bu sonuçların deneysel verilerle [24] büyük bir uyum içinde olduğu gözlenmiştir. Bileşiğin hesaplanan tüm titreşim değerleri Tablo 3'te ve teorik/deneysel infrared spektrumları (IR) Şekil 4'te verilmiştir.

Tablo 3. Bileşiğin titreşim frekansları

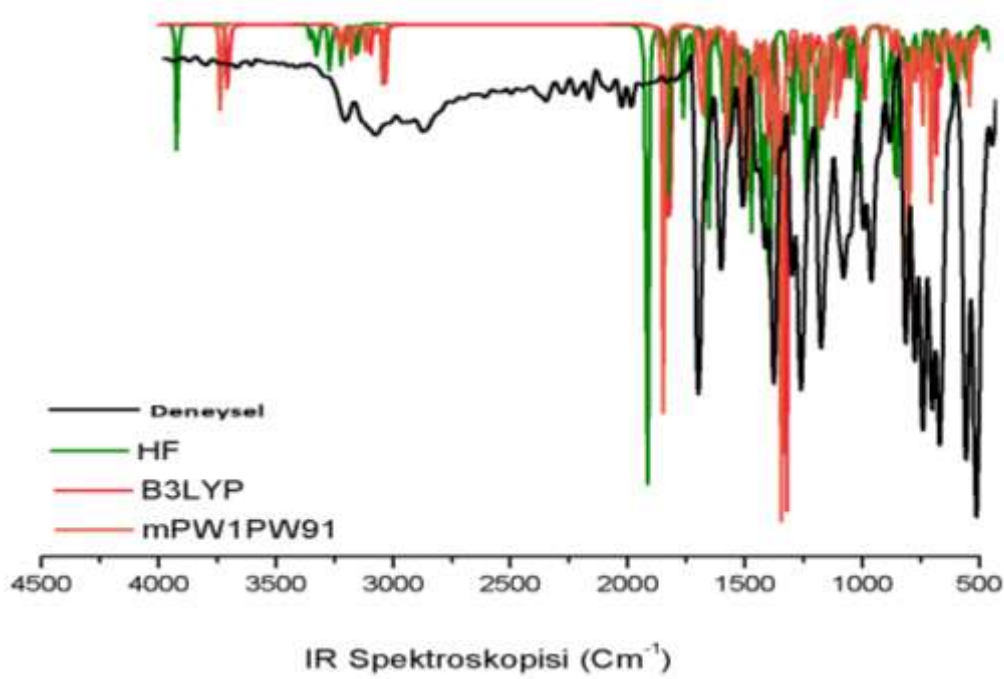
| Titreşim Frekansları (cm ⁻¹) | Deneysel | B3LYP | HF | mPW1PW91 |
|--|----------|-------|------|----------|
| τ COSC(87), τ NCCC(49), τ CNNC(23) | | 8 | 12 | 14 |
| τ NCCC(49), τ CNNC(23) | | 15 | 13 | 15 |
| τ OSCC(54), τ CCOS(28) | | 16 | 20 | 18 |
| τ OSCC(24), τ CCOS(12) | | 24 | 30 | 24 |
| τ C COS(18), τ CCCC(11), τ COCC(28) | | 43 | 41 | 41 |
| τ δ COSC(87), τ NCCC(49), τ CNNC(23) | | 53 | 55 | 51 |
| δ COS(11), δ NCC(20), δ CCC(14), τ COCC(15) | | 63 | 63 | 59 |
| τ SCCC(11), τ NCNN(19), τ COCC(22), τ CCOS(19) | | 84 | 84 | 82 |
| δ COS(20), τ COCC(15), τ CCCC(14), τ SCCC(15) | | 93 | 97 | 90 |
| τ CNNC(34), τ COCC(22), τ NCCC(10) | | 118 | 112 | 115 |
| τ CCCC(17), τ CNNC(34) | | 157 | 160 | 153 |
| δ OCC(10), τ CCCC(16), τ CNNC(16) | | 162 | 167 | 158 |
| δ SCC(21), τ OCOS(11), τ CNNC(18) | | 167 | 169 | 164 |
| δ SCC(11), τ HCCN(58), τ CNNC(20) | | 170 | 182 | 166 |
| δ SCC(33), τ CNNC(18), τ OCOS(13) | | 174 | 184 | 169 |
| δ SCC(24), δ CCO(10), τ OCOS(11) | | 193 | 201 | 186 |
| δ OCC(15), δ CCO(14) | | 202 | 211 | 196 |
| τ NCNN(22), τ CCCC(13), τ HCOC(10), τ NCNN(22) | | 237 | 238 | 230 |
| δ OSO(12), δ CCN(10), τ HCOC(46), τ NCNN(14), τ CCCC(13) | | 246 | 252 | 242 |
| τ NCCC(11), τ HCOC(38), τ CCCC(11) | | 253 | 261 | 248 |
| τ CNNC(32), τ HNNC(25), τ NNCN(18), τ CNNC(26) | | 289 | 291 | 285 |
| δ OCC(10), δ COC(26) | | 293 | 304 | 293 |
| ν SC(39) | | 302 | 326 | 298 |
| ν SC(13), τ CCCC(10), τ NCNN(13) | | 312 | 330 | 307 |
| δ CCN(36), δ OCN(11), δ CCN(36) | | 339 | 352 | 329 |
| δ SCC(11), δ CCO(15), δ OSO(16), τ OCOS(12) | | 357 | 388 | 349 |
| τ CCCC(35), τ HCCC(11) | | 406 | 427 | 391 |
| τ CCCC(18), τ NNCN(14), τ CCCC(24), τ HCCC(11) | | 409 | 427 | 398 |
| δ CCC(12), δ NNC(15), δ OCN(13), δ CNN(11), τ NCNN(10) | | 413 | 434 | 401 |
| δ OSO(21), τ CCCC(10), τ HNNC(50) | | 434 | 464 | 428 |
| τ CCCC(12), τ CCCC(12) | | 448 | 476 | 437 |
| δ OSO(18), τ OCOS(27), τ HCCC(11), τ CCCC(12) | | 455 | 480 | 445 |
| δ OSO(15), τ OCOS(14), τ ONNC(10), τ HNNC(54) | | 456 | 503 | 454 |
| δ OSO(20), τ CCCC(13), τ HCCC(11), τ OCC(14) | | 507 | 543 | 495 |
| δ COC(13), τ OCOS(23) | | 533 | 572 | 518 |
| δ OCN(16), δ OCC(11) | 538 | 555 | 583 | 540 |
| δ OSO(22), δ OCN(18), δ CNN(10) | | 575 | 610 | 561 |
| δ CCC(11) | | 584 | 621 | 569 |
| δ OCN(16), δ OCC(13) | 584 | 607 | 635 | 590 |
| δ CCC(38) | | 623 | 640 | 598 |
| ν CC(23), δ CCC(11) | | 630 | 650 | 614 |
| δ CCC(10), δ OSO(12) | | 646 | 677 | 625 |
| τ HNNC(10), τ NNCN(24), τ CNNC(14) | | 658 | 693 | 643 |
| ν SO(32), τ CCCC(13), τ HCCC(17) | | 666 | 717 | 664 |
| ν SO(13), τ CCCC(33), τ HCCC(19) | | 690 | 752 | 672 |
| ν SC(13), δ CCC(11) | 692 | 724 | 764 | 707 |
| ν OC(16), τ OCC(12), τ ONNC(33) | | 737 | 786 | 718 |
| τ OCC(13), τ HCCC(13) | 723 | 740 | 796 | 724 |
| τ HCCC(98) | | 750 | 808 | 730 |
| ν NN(11), τ ONNC(86) | | 756 | 814 | 740 |
| δ CCC(22), ν CC(12), ν OC(18) | 762 | 780 | 834 | 766 |
| ν SO(31), ν CC(10), δ CNN(27), ν NC(19) | 795 | 800 | 856 | 781 |
| τ HCCC(67), τ OCC(15) | | 823 | 884 | 797 |
| τ HCCC(98), ν SO(13), δ NNC(13), δ NCC(15) | 831 | 841 | 898 | 817 |
| δ NNC(17), δ NCC(20), τ HCCC(98) | | 851 | 903 | 832 |
| τ CCCC(17), τ HCCC(38) | | 895 | 978 | 867 |
| τ HCCC(45) | | 923 | 1002 | 897 |
| τ HCCC(39) | | 950 | 1007 | 923 |
| τ HCCC(77), δ CCC(30), ν CC(24) | | 964 | 1032 | 938 |
| ν CC(21), ν OC(12), τ HCCC(48) | | 966 | 1034 | 942 |
| δ NNC(14), δ HCH(15), τ HCCN(39) | | 991 | 1043 | 962 |
| τ HCCC(83) | 974 | 993 | 1048 | 965 |

| | | | | |
|--|------|------|------|------|
| τ HCNN(87), δ CCC(34), δ HCC(10) | | 1005 | 1063 | 973 |
| δ CCC(34), ν CC(17), τ HCCC(30), τ CCCC(16) | | 1008 | 1068 | 974 |
| δ CCC(33), ν CC(11), τ HCNN(85) | 1011 | 1035 | 1084 | 1007 |
| ν OC(59), δ CCC(19) | | 1047 | 1105 | 1025 |
| δ NNC(11), ν NC(14), ν CC(21), δ HCC(27) | | 1063 | 1113 | 1034 |
| τ HCCN(58), δ HCH(21), τ CNNC(10) | | 1067 | 1117 | 1046 |
| ν CC(18), δ NNC(15), ν NC(10), ν NN(10), ν SO(27), δ HCC(15) | | 1075 | 1127 | 1058 |
| δ HCC(27), ν CC(27), ν SC(13), ν SO(22) | | 1095 | 1137 | 1062 |
| ν NN(25), δ HNN(10), τ HCCN(18), ν CC(39), δ HCC(25) | 1090 | 1100 | 1153 | 1093 |
| ν NN(20), ν OC(17) | | 1122 | 1162 | 1098 |
| ν SO(56), ν CC(12), ν NN(11) | | 1142 | 1169 | 1128 |
| τ HCOC(64), δ HCH(12), ν OC(16), ν CC(11), δ HCC(14) | | 1171 | 1179 | 1134 |
| δ HCC(40), ν SO(51) | 1184 | 1177 | 1220 | 1137 |
| δ HCC(35), ν CC(14), τ HCOC(62), δ HCH(14) | | 1179 | 1232 | 1141 |
| δ HCC(71), ν CC(13) | | 1195 | 1232 | 1154 |
| ν NC(19), ν NN(15), ν SO(16), δ HCC(14), τ HCOC(14) | | 1199 | 1239 | 1167 |
| ν NC(20), ν NN(11), τ HCOC(41) | | 1209 | 1269 | 1184 |
| ν CC(13), δ HCC(38) | | 1238 | 1275 | 1206 |
| δ HCC(10), τ HCOC(30), ν NN(19), δ NCN(19) | | 1280 | 1279 | 1257 |
| ν OC(30), δ HCC(20), ν CC(14) | 1270 | 1297 | 1293 | 1269 |
| ν CC(13), δ HCC(22) | | 1307 | 1357 | 1281 |
| ν SO(72), ν CC(10), ν OC(41), δ HCC(15) | | 1316 | 1370 | 1283 |
| ν NN(13), δ NCN(24), δ CNN(14), ν SO(13), ν CC(13) | | 1326 | 1383 | 1303 |
| ν CC(27), δ HCC(64), ν SO(10) | 1306 | 1328 | 1393 | 1308 |
| ν SO(84), ν CC(21), δ HCC(40) | 1381 | 1344 | 1402 | 1318 |
| δ HCN(37), δ HCH(10), ν NC(20) | | 1373 | 1441 | 1333 |
| δ HNN(63), δ HCH(38) | | 1396 | 1468 | 1358 |
| δ HCN(11), δ HCH(44), ν OC(10), δ HNN(47), ν NC(14) | | 1414 | 1481 | 1368 |
| δ HNN(20), δ HCH(26), ν CC(10) | | 1432 | 1497 | 1395 |
| δ HCN(21), ν NC(10), δ HCH(35) | 1412 | 1455 | 1524 | 1414 |
| δ HCC(31), ν CC(21) | | 1473 | 1525 | 1420 |
| δ HCH(77), τ HCCN(22) | | 1475 | 1530 | 1426 |
| δ HCH(82) | | 1480 | 1546 | 1428 |
| δ HCH(54), τ HCCN(20), ν NC(11) | | 1490 | 1551 | 1445 |
| δ HCH(65), τ HCOC(24) | | 1499 | 1561 | 1446 |
| δ HCC(71), δ CCC(14), τ HCOC(17), δ HCH(55) | | 1504 | 1569 | 1454 |
| δ HCC(58), δ HCH(46), δ CCC(10), τ HCOC(22) | | 1507 | 1569 | 1456 |
| ν OC(14), δ HCC(38), ν CC(10), ν OC(14) | 1511 | 1540 | 1615 | 1502 |
| δ CCC(16), ν CC(37) | | 1589 | 1682 | 1560 |
| ν CC(30), δ HCC(20) | | 1617 | 1689 | 1583 |
| ν CC(17), δ HCC(25) | | 1619 | 1699 | 1584 |
| ν CC(22), δ HCC(16), ν NC(19) | | 1629 | 1719 | 1598 |
| ν NC(43) | | 1639 | 1778 | 1610 |
| ν NC(52) | 1600 | 1655 | 1800 | 1624 |
| ν OC(73), ν NC(15) | 1696 | 1791 | 1864 | 1759 |
| ν CH(81) | 2147 | 2992 | 3040 | 2899 |
| ν CH(93) | 2329 | 3022 | 3057 | 2930 |
| ν CH(97) | 2362 | 3055 | 3102 | 2966 |
| ν CH(100) | 2840 | 3073 | 3113 | 2990 |
| ν CH(93) | | 3116 | 3146 | 3029 |
| ν CH(82) | | 3119 | 3155 | 3030 |
| ν CH(56) | | 3136 | 3184 | 3037 |
| ν CH(72) | | 3142 | 3198 | 3050 |
| ν CH(71) | | 3155 | 3208 | 3062 |
| ν CH(58) | | 3165 | 3212 | 3070 |
| ν CH(60) | | 3166 | 3215 | 3071 |
| ν CH(63) | | 3168 | 3218 | 3072 |
| ν CH(51) | | 3183 | 3228 | 3085 |
| ν CH(51) | | 3183 | 3231 | 3086 |
| ν CH(51) | | 3185 | 3233 | 3087 |
| ν NH(100) | 3168 | 3656 | 3771 | 3558 |

v, gerilme; δ, düzlem içi eğilme; τ, torsion



Şekil 3. Bileşiğin IR titreşimleri için deneysel ve teorik değerler arasındaki korelasyon grafiği

Şekil 4. Bileşiğin IR spektrumları (cm⁻¹)

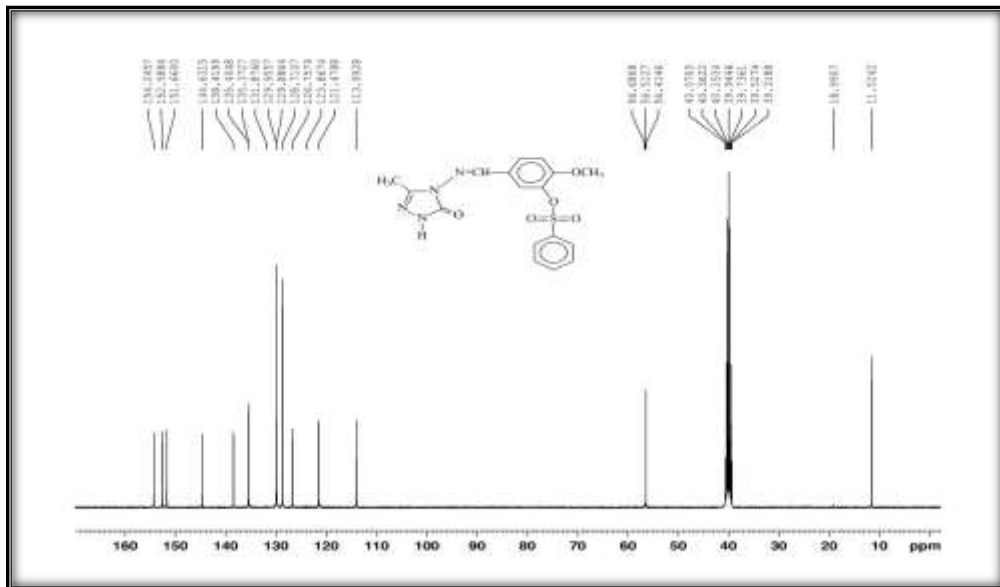
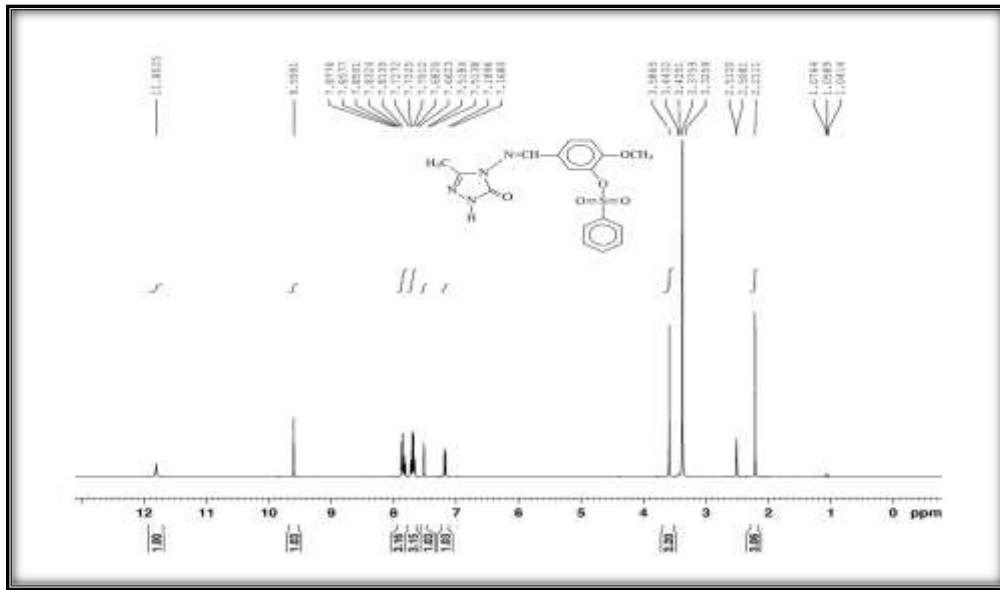
3.3. ¹H ve ¹³C Nükleer Manyetik Rezonans Spektroskopisi (¹H ve ¹³C NMR)

Molekülün ¹H- ve ¹³C-NMR kimyasal kayma değerleri optimize yapı üzerinden gaz ve DMSO ortamında teorik olarak elde edilmiş ve deneysel değerlerle [24] birlikte Tablo 4'te mukayeseli olarak verilmiştir. Bileşiğin ¹H- ve ¹³C-NMR kimyasal kayma değerlerinin çözücüye bağlı olarak hesaplamaları yapılmıştır. ¹H kimyasal kayma değerleri TMS (Tetrametilsilan) referans alınarak sırasıyla B3LYP/mPW1PW91 ve HF 6-311G(d) temel setleriyle yaklaşık 1.50-9.70 ppm aralığında hesaplanırken deneysel sonuçlar 2.21-11.80 ppm aralığında olduğu belirlenmiştir [24]. Bileşikteki NH protonu 1,2,4-triazol halkası için karakteristik protonudur. Halkada ki NH protonu asidik karakter gösterdiğinden 11.80 ppm gözlenmiştir. Bileşiğin ¹³C-NMR kimyasal kayma değerleri deneysel olarak 11.52-154.25 ppm aralığında gözlemlenirken [24], karbonlara ait kimyasal kayma değerleri sırasıyla B3LYP/mPW1PW91 ve HF 6-311G(d) temel seviyelerinde yaklaşık olarak 10.50-164.00 ppm aralıklarda olduğu gözlenmiştir. B3LYP/mPW1PW91 ve HF 6-311G(d) temel setlerine göre gaz fazında ve DMSO içerisinde Pearson korelasyon değerleri hesaplanmış ve her yöntem için grafikler çizilmiştir (Tablo 4, Şekil 5, Şekil 6).

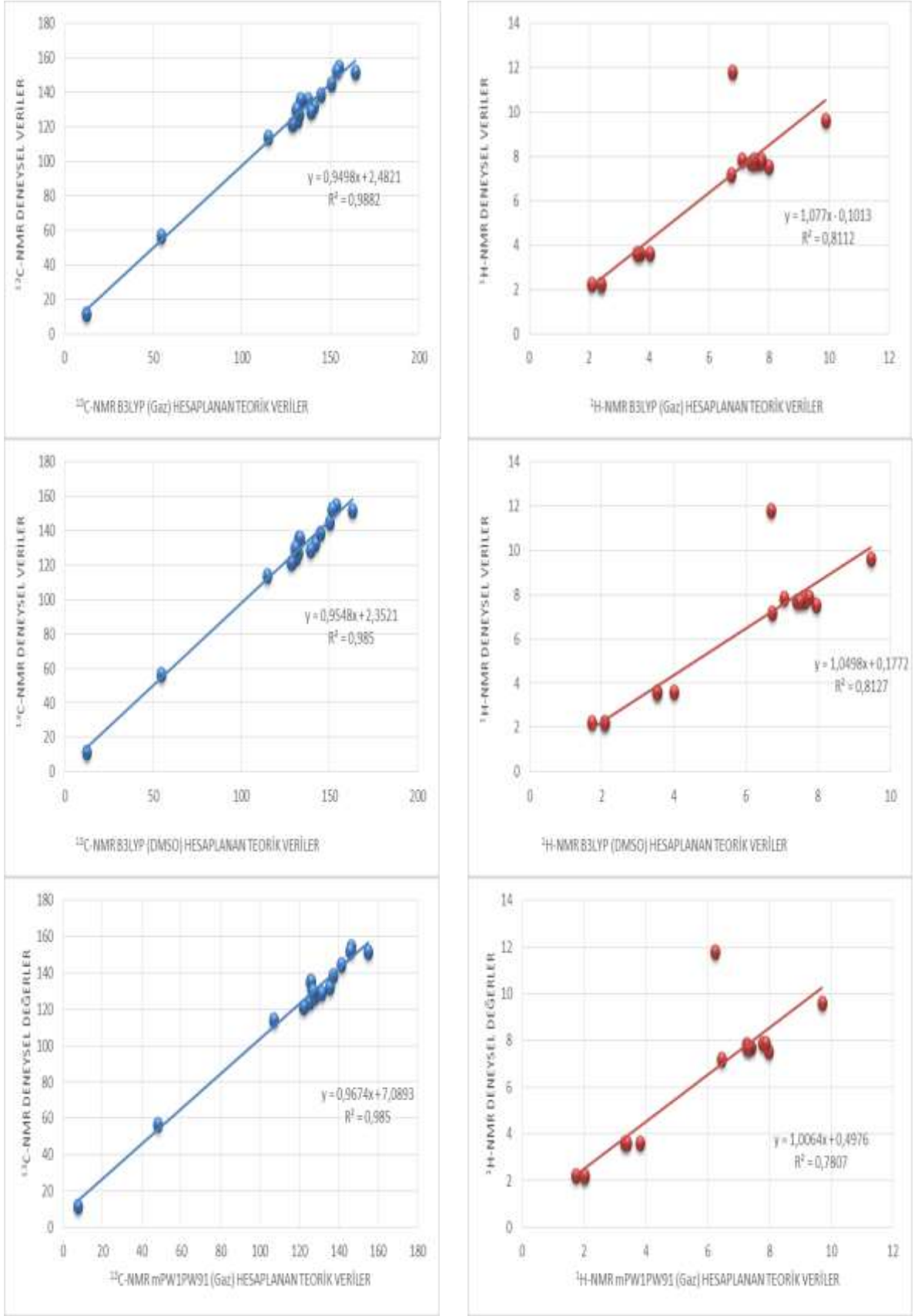
Tablo 4. Molekülün TMS'ye göre deneysel ve teorik olarak ¹³C ve ¹H-NMR (B3LYP/mPW1PW91 ve HF (Gaz ve DMSO ortamında) kimyasal kayma değerleri (d/ppm)

| Atomlar | Deneysel | B3LYP | B3LYP (DMSO) | mPW1PW91 | mPW1PW91 (DMSO) | HF | HF (DMSO) |
|---------|----------|--------|--------------|----------|-----------------|--------|-----------|
| C1 | 144.63 | 150.41 | 150.03 | 141.08 | 143.10 | 141.22 | 141.18 |
| C2 | 154.25 | 154.78 | 153.60 | 146.20 | 147.16 | 142.73 | 142.71 |
| C8 | 152.29 | 153.45 | 151.46 | 145.74 | 146.08 | 142.68 | 142.68 |
| C11 | 123.87 | 131.28 | 130.95 | 125.03 | 124.07 | 114.10 | 114.10 |
| C12 | 126.76 | 132.49 | 132.33 | 127.68 | 126.79 | 123.84 | 122.85 |
| C14 | 131.88 | 140.52 | 141.69 | 135.21 | 133.88 | 122.44 | 122.46 |
| C18 | 151.66 | 164.02 | 162.98 | 154.89 | 155.67 | 148.00 | 148.00 |
| C16 | 113.99 | 114.89 | 114.84 | 106.78 | 109.40 | 101.13 | 101.09 |
| C13 | 121.48 | 128.36 | 128.33 | 121.88 | 123.14 | 122.19 | 122.17 |
| C40 | 56.51 | 54.53 | 54.52 | 47.95 | 48.57 | 36.48 | 36.47 |
| C26 | 138.42 | 144.59 | 144.61 | 137.07 | 135.20 | 123.00 | 123.03 |
| C28 | 129.96 | 130.64 | 130.61 | 126.41 | 125.81 | 123.65 | 123.66 |
| C31 | 135.40 | 137.42 | 132.39 | 125.46 | 127.00 | 118.69 | 118.67 |
| C33 | 128.71 | 139.11 | 139.06 | 131.08 | 133.96 | 131.01 | 130.97 |
| C29 | 135.37 | 133.16 | 133.13 | 125.74 | 129.65 | 119.25 | 119.23 |
| C27 | 129.96 | 130.69 | 130.69 | 126.64 | 127.65 | 123.38 | 123.40 |
| C22 | 11.52 | 12.27 | 12.25 | 7.48 | 12.74 | 1.59 | 1.58 |

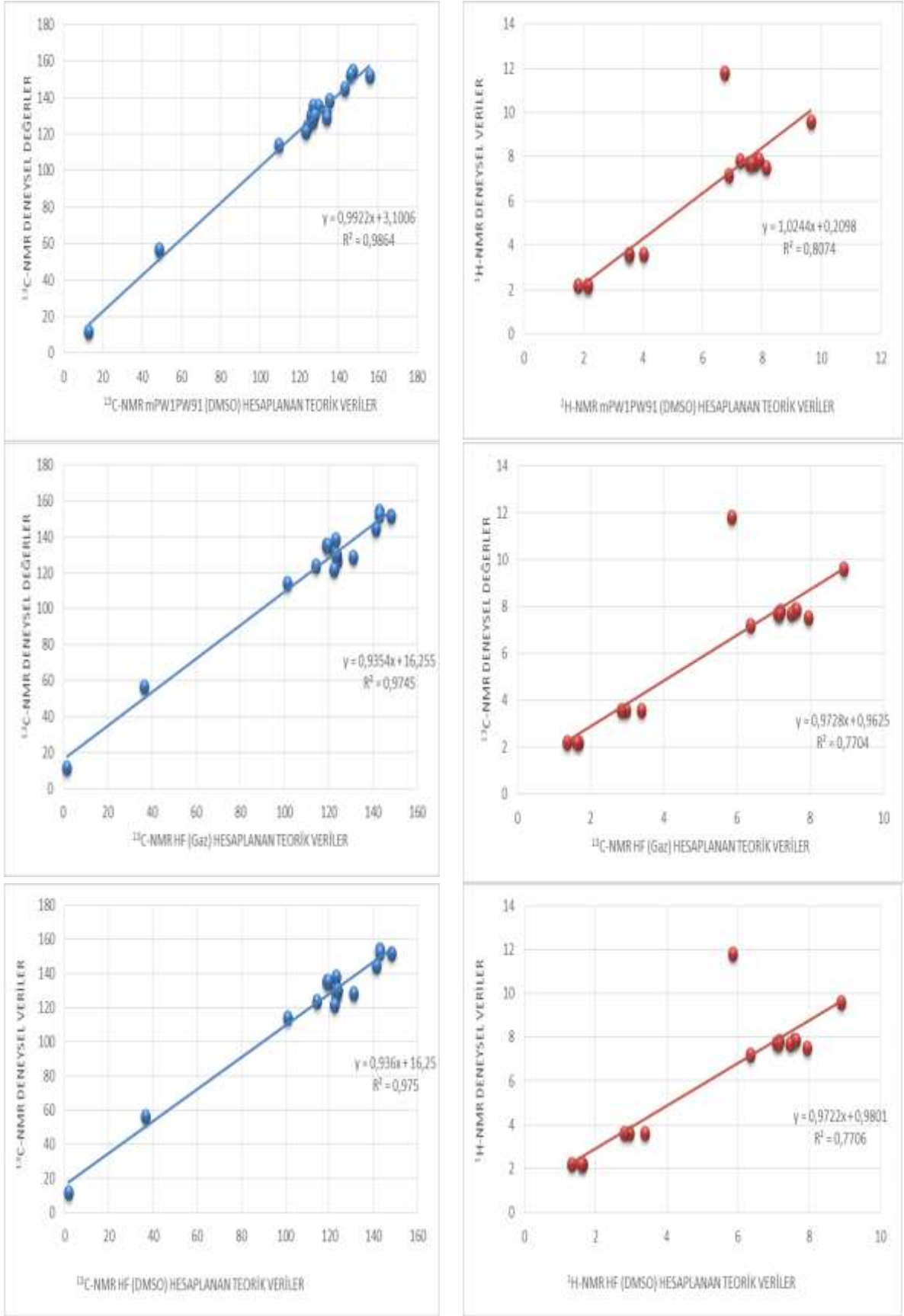
| | | | | | | | |
|------------|-------|------|------|------|------|------|------|
| H4 | 11.80 | 6.78 | 6.69 | 6.25 | 6.74 | 5.86 | 5.85 |
| H9 | 9.60 | 9.88 | 9.46 | 9.70 | 9.64 | 8.92 | 8.91 |
| H15 | 7.82 | 7.09 | 7.06 | 7.26 | 7.25 | 7.19 | 7.17 |
| H19 | 7.18 | 6.74 | 6.72 | 6.46 | 6.88 | 6.37 | 6.36 |
| H17 | 7.51 | 7.99 | 7.95 | 7.98 | 8.14 | 7.95 | 7.94 |
| H43 | 3.59 | 3.71 | 3.54 | 3.32 | 3.54 | 2.96 | 2.95 |
| H42 | 3.59 | 3.58 | 3.52 | 3.39 | 3.53 | 2.83 | 2.81 |
| H41 | 3.59 | 4.01 | 4.00 | 3.81 | 4.02 | 3.39 | 3.38 |
| H32 | 7.85 | 7.75 | 7.59 | 7.78 | 7.78 | 7.60 | 7.58 |
| H38 | 7.71 | 7.68 | 7.40 | 7.27 | 7.55 | 7.11 | 7.08 |
| H35 | 7.68 | 7.52 | 7.61 | 7.41 | 7.76 | 7.48 | 7.47 |
| H34 | 7.71 | 7.38 | 7.49 | 7.31 | 7.63 | 7.16 | 7.14 |
| H30 | 7.85 | 7.48 | 7.75 | 7.87 | 7.90 | 7.63 | 7.63 |
| H24 | 2.21 | 2.08 | 1.73 | 1.73 | 1.82 | 1.67 | 1.64 |
| H25 | 2.21 | 2.39 | 2.07 | 2.00 | 2.13 | 1.35 | 1.33 |
| H23 | 2.21 | 2.40 | 2.08 | 2.02 | 2.14 | 1.61 | 1.60 |



Şekil 5. Bileşiğin ¹H- ve ¹³C -NMR spektrumları (ppm)



Şekil 6. Bileşiğin gaz ve çözücü ortamındaki Pearson korelasyon grafikleri (GIAO metotuna göre)



Şekil 6. (Devamı)

3.4. HOMO-LUMO Enerjiler, Moleküler Elektrostatik Potansiyel (MEP) Haritası, Elektronik ve Termodinamik Özellikler

Tüm moleküller HOMO (Highest Occupied Molecular Orbital; Elektron bulunduran en yüksek enerjili Moleküler Orbital) ve LUMO (Lowest Unoccupied Molecular Orbital; Elektron bulundurmayan en düşük enerjili Moleküler Orbital) orbitallerine sahip olup bu orbitaller bir kimyasal reaksiyon için önemli bir rol üstlenirken öncü orbitaller olarak nitelendirilirler. HOMO-LUMO enerji farkı bileşiğin kimyasal kararlılığının bir tanımıdır [25]. Molekülün etkileşen orbitalleri arasındaki enerji seviyesi birbirine ne kadar yakınsa, diğer bir ifadeyle ΔE enerji farkı değeri ne kadar küçükse reaksiyon ve reaktant etkileşimi o kadar kolay olmaktadır. Bileşiğin gaz fazında HOMO-LUMO enerji değerleri her bir yöntemle göre belirlenmiş ve HOMO-LUMO enerji değerleri kullanılarak bileşiğin elektronik özellikleri tespit edilmiştir. Her bir yöntemde hesaplanan ΔE değerleri arasında çok az farkla değişimler gözlenmiştir (Şekil 7) ve en küçük ΔE değerleri B3LYP/mPW1PW91 ve en büyük ΔE değerleri HF 6-311G(d) temel setiyle elde edilen sonuçlar olduğu görülmüştür (Tablo 5).

$$\text{Enerji Aralığı } (\Delta E) = E_{\text{LUMO}} - E_{\text{HOMO}}$$

$$\text{Elektronegativite } (\chi) = (E_{\text{LUMO}} + E_{\text{HOMO}}) / 2$$

$$\text{Elektrofilik } (\omega) = \mu^2 / 2\eta$$

$$\text{Kimyasal Sertlik } (\eta) = (E_{\text{LUMO}} - E_{\text{HOMO}}) / 2$$

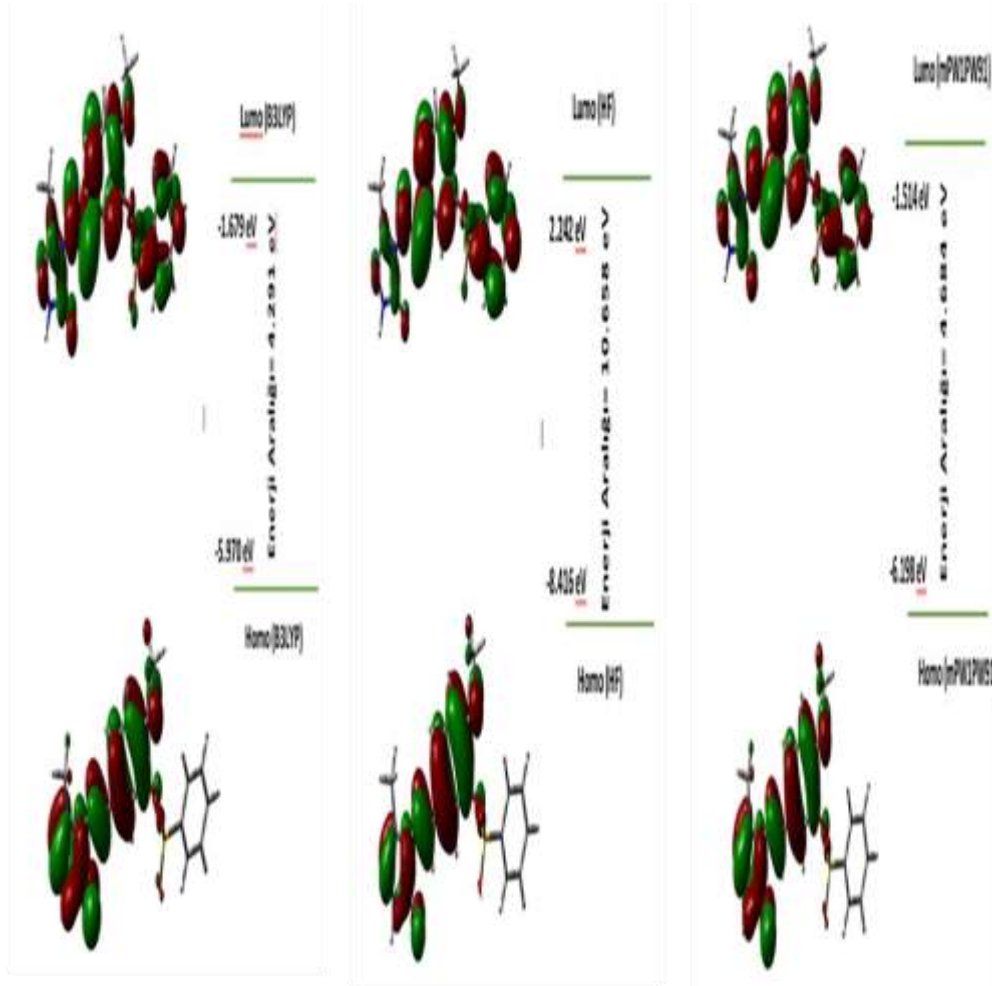
$$\text{Kimyasal Potansiyel } (\mu) = -\chi$$

$$\text{Kimyasal Yumuşaklık } (\sigma) = 1/\eta$$

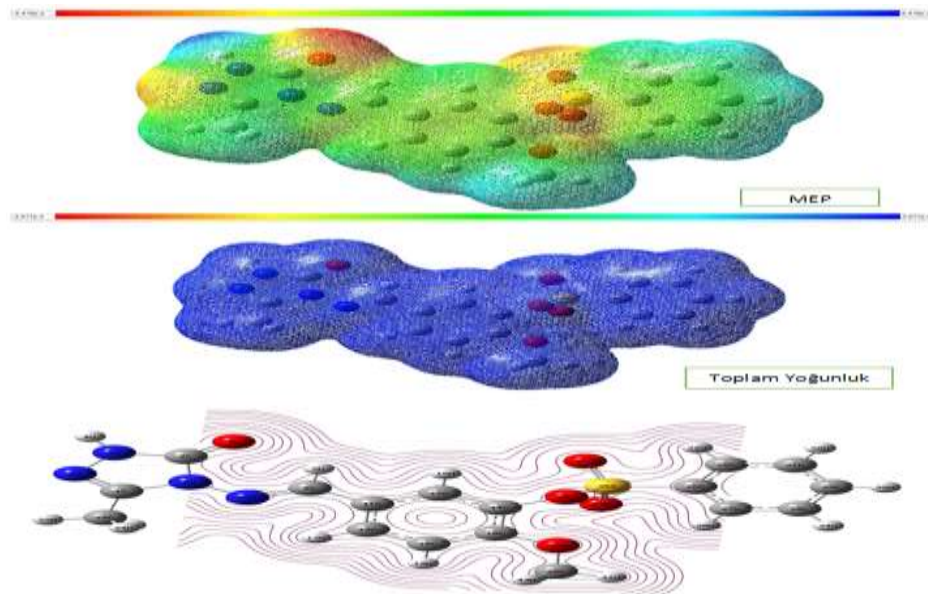
Tablo 5. Bileşiğin elektronik parametreleri

| | eV(B3LYP) | eV(HF) | eV(mPW1PW91) |
|------------------------------|-----------|---------|--------------|
| E_{LUMO} | -1.676 | 2.242 | -1.514 |
| E_{HOMO} | -5.996 | -8.416 | -6.198 |
| A | 1.676 | -2.242 | 1.514 |
| I | 5.996 | 8.416 | 6.198 |
| ΔE | 4.320 | 10.658 | 4.684 |
| χ | 3.836 | 3.087 | 3.856 |
| μ | -3.836 | -3.087 | -3.856 |
| ω | 0.021 | 0.034 | 0.024 |
| IP | -0.304 | -0.605 | -0.332 |
| σ | 342.790 | 138.940 | 316.146 |
| η | 2.160 | 5.329 | 2,342 |

Molekülün, moleküler elektrostatik potansiyeli birim pozitif yük ile moleküler sistemin yük dağılımı arasındaki etkileşim enerjisi olarak ifade edilip, bu amaç için renk kodlama sistemi kullanılmaktadır. Bileşiğin üzerinde kırmızı bölgeler en negatif potansiyelleri ifade ederken yani molekülün bütününde çekirdeğe göre elektron yoğunluğu fazla olan bölgeyi, mavi renkli bölgeler ise en pozitif potansiyeli yani kısmi pozitif yüklerin bulunduğu bölgeyi göstermektedir [26, 27]. Bileşiğin moleküler elektrostatik potansiyeline baktığımızda en negatif yani kırmızı olan bölgelerin elektrofilik atağa en yakın bölgeler olduğu gözlenmektedir. Ayrıca bileşiğin en pozitif bölgesi ise mavi ile gösterilen 1,2,4 triazol halkasındaki NH protonunun olduğu bölgedir. Moleküle ait MEP haritası Şekil 8'de verilmiştir. Molekül üzerinde negatif bölgelerin 1,2,4 triazol halkasında bulunan oksijen ve azot atomları üzerinde olduğu ve bu bölgelere bir elektrofilik atağın en uygun olacağı söylenebilir. Bileşik için pozitif bölgenin N-H hidrojenleri üzerinde olduğu görülmektedir.



Şekil 7. Moleküle ait HOMO-LUMO enerjileri ve ΔE değerleri



Şekil 8. Molekülün B3LYP/6-311G(d) metoduyla hesaplanan moleküler elektrostatik potansiyel (MEP) yüzeyi, Total Yoğunluğu ve Elektron Yoğunluğu haritaları

Molekülün B3LYP/mPW1PW91 ve HF 6-311G(d) temel setleri esas alınarak çeşitli termodinamik parametreleri hesaplanmış ve Tablo 6'da verilmiştir. Sıfır nokta titreşim enerjisi (ZPVE)

ve entropi (S) ölçekleme verilerinin tahminini doğrulamaktadır. Toplam enerjileri ve farklı teorik yöntemlerle elde edilen oda sıcaklığındaki bileşiğin toplam entropi değişimleri, gibbs serbest enerjileri ve entalpileri gibi termodinamik parametreler Tablo 6'da sunulmuştur.

Tablo 6. Molekül için hesaplanan termodinamik parametreler

| Parametreler | B3LYP/6-311G(d) | mPW1PW91/6-311G(d) | HF/6-311G(d) |
|---|-----------------|--------------------|--------------|
| Sıfır nokta titreşim enerjisi (Kcal/mol) | 201.432 | 204.003 | 217.484 |
| Toplam enerji (a.u) | -1650.964 | -1650.654 | -1642.848 |
| Dönme sabitleri (GHz) | | | |
| A | 0.68707 | 0.41961 | 0.40915 |
| B | 0.06271 | 0.06971 | 0.07038 |
| C | 0.06031 | 0.06174 | 0.06212 |
| Entropi: S (cal/molK) | | | |
| Dönme | 36.462 | 36.430 | 36.439 |
| Ötelenme | 43.760 | 43.760 | 43.760 |
| Titreşim | 99.012 | 96.172 | 91.038 |
| Toplam | 179.235 | 176.363 | 171.237 |
| Termal Enerji: E(Kcal/mol) | | | |
| Dönme | 0.889 | 0.889 | 0.889 |
| Ötelenme | 0.889 | 0.889 | 0.889 |
| Titreşim | 216.947 | 217.548 | 230.186 |
| Toplam | 216.169 | 219.325 | 231.964 |
| Termal Kapasite: CV(Cal/Mol-Kelvin) | | | |
| Dönme | 2.981 | 2.981 | 2.981 |
| Ötelenme | 2.981 | 2.981 | 2.981 |
| Titreşim | 86.492 | 85.367 | 79.524 |
| Toplam | 92.454 | 91.328 | 85.485 |
| Gibbs Serbet Enerji | 0.26151 | 0.2667 | 0.2892 |
| Dipol Moment (Debye) | | | |
| X | 3.341 | 3.289 | 3.031 |
| Y | 4.570 | 4.502 | 4.712 |
| Z | -2.238 | -2.226 | -2.728 |
| Toplam | 6.087 | 6.002 | 6.232 |

4. Sonuç ve Öneriler

3-Metil-4-(3-benzensulfoniloksi-4-metoksibenzilidenamino)-4,5-dihidro-1H-1,2,4-triazol-5-on molekülü gaz fazında B3LYP/mPW1PW91 ve HF 6-311G(d) temel setleri kullanılarak optimize edilmiştir. Hesaplanan titreşim frekansı sonuçlarından bileşiğe ait karakteristik piklerin varlığı deneysel [24] ve teorik sonuçların kendi aralarında uyumlu olduğunu göstermektedir. Ayrıca deneysel sonuçlarla aralarında kıyaslama yapıldığında sırasıyla Pearson korelasyon katsayılarının; 0.9968 (B3LYP), 0.9967 (HF) ve 0.9972 (mPW1PW91) olduğu gözlenirken hem literatür değerleri hem de kendi aralarında oldukça iyi bir uyumun olduğu tespit edilmiştir. Molekülün ¹H ve ¹³C NMR kimyasal kayma değerleri gaz ve çözücü ortamında hesaplanmış ve deneysel sonuçlarla [24] aralarında kıyaslama yapılmıştır. B3LYP/mPW1PW91 ve HF 6-311G(d) temel setlerine göre gaz fazında ve DMSO içerisinde ¹³C-NMR kimyasal kayma değerleri için Pearson korelasyon katsayıları; 0.9882/0.9850 (B3LYP (Gaz/DMSO)), 0.985/0.9864 (mPW1PW91 (Gaz/DMSO)) ve 0.9745/0.945 (HF (Gaz/DMSO)) olduğu gözlemiştir. ¹H-NMR kimyasal kayma değerleri için Pearson korelasyon katsayıları; 0.8112/0.9850 (B3LYP (Gaz/DMSO)), 0.7867/0.874 (mPW1PW91 (Gaz/DMSO)) ve 0.7704/0.7706 (HF (Gaz/DMSO)) olduğu gözlemiştir. En iyi sonuçların B3LYP ve DMSO çözücüsü ortamında elde edilen değerler olduğu tespit edilmiştir. ¹H NMR kimyasal kayma değerleri incelendiğinde 1,2,4 triazol halkasındaki N-H protonunun

asidik özelliği sebebiyle lineer korelasyondan sapmalar görülmüştür. Molekülün $\nu(\text{N-H})$ gerilimine ait pik 3168 cm^{-1} ve $\nu(\text{C=O})$ (karbonil) gerilimine ait pik 1696 cm^{-1} 'de, $\nu(\text{C=N})$ gerilimine ait pik 1600 cm^{-1} 'de, $\nu(\text{SO})$ gerilim pikleri 1381 ve 1184 cm^{-1} 'de ve aromatik halkaya ait eğilme titreşimleri $762-892 \text{ cm}^{-1}$ 'de görülmektedir. Molekülün MEP haritası incelendiğinde elektrofilik reaksiyon bölgeleri kırmızı bölgeler (negatif bölgeler) iken nükleofilik reaksiyon bölgeleri mavi ve yeşil bölgeler (pozitif bölgeler) olduğu tespit edilmiştir. Molekülün MEP haritasında üç tane elektrofilik reaksiyon bölgesi mevcuttur. Molekülde maksimum negatif bölge 1,2,4-triazole halkası üzerinde O7 ve aromatik halkası üzerinde O39, O28, O21, O37 atomları üzerine yoğunlaşırken maksimum pozitif bölge 1,2,4-triazole halkası üzerindeki N5-H4 protonu üzerinde yoğunlaşmıştır. Molekülün MEP haritası sonuçlarına göre, elektronegatif atomlar üzerindeki bölgeler negatif potansiyeli, N5-H4 hidrojeni ve aromatik halkadaki hidrojen atomlarının etrafındaki bölgeler ise pozitif potansiyeli göstermektedir ve ayrıca MEP haritaları molekülün kovalent olmayan etkileşimlere sahip olabilecek bölgeler konusunda da birçok bilgi sunmaktadır. Bununla birlikte molekülün HOMO-LUMO sınır orbitalleri arasındaki enerji farkları B3LYP/mPW1PW91 ve HF 6-311G(d) yöntemlerine göre sırasıyla $4.219/10.658$ ve 4.684 eV olarak hesaplanmış elde edilen sonuçlar molekülün kararlı olduğunu göstermiştir. Deneysel spektroskopik sonuçlar referans alınarak karşılaştırıldığında bir yoğunluk fonksiyonu metodu olan mPW1PW91 ile elde edilen sonuçların deneysel doğruluğa yakın olduğu görülmüştür. Sonuç olarak, bu çalışma 3-metil-4-(3-benzensulfoniloksi-4-metoksibenzilidenamino)-4,5-dihidro-1H-1,2,4-triazol-5-on molekülünün yapısal, elektronik, spektroskopik ve reaktivite özelliklerinin belirlenmesinde yüksek doğrulukta sonuçlar sağlamıştır.

Yazarların Katkısı

Makale için hipotezin oluşturulmasına ve gerekli düzenlemelerin takip edilmesine Prof. Dr. Haydar Yüksek katkı sağlamıştır. Çalışmada kullanılan “3-metil-4-(3-benzensulfoniloksi-4-metoksibenzilidenamino)-4,5-dihidro-1H-1,2,4-triazol-5-on” bileşiği için yürütülen deneyde veri yönetimine ve rapor hazırlamaya Dr. Öğr. Üyesi Özlem Aktaş-Yokuş katkı sağlamıştır. Yürütülen teorik hesaplamalardaki sonuçların sunumuna, literatürün araştırılmasına ve makalenin yazımına Dr. Öğr. Üyesi Hilal Medetalibeyoğlu 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] Azzouni S., Abdelli A., Gaucher A., Youssef Arfaoui Y., Efrif M.L., Prim D. 2018. From imidates to vinyl-1,2,4-triazoles: Synthesis, mechanistic aspects and first issues of their reactivity, *Tetrahedron*, 74: 6972-6978.
- [2] Akin S., Ayaloglu H., Gultekin E., Colak A., Bekircan O., Yildirim Akatin M. 2019. Synthesis of 1,2,4-triazole-5-on derivatives and determination of carbonic anhydrase II isoenzyme inhibition effects, *Bioorganic Chemistry*, 83: 170-179.
- [3] Kucukguzel I., Kucukguzel S.G., Rollas S., Otuk-Sanis G., Ozdemir O. Bayrak I., Altug T., Stables J.P. 2004. Synthesis of some 3-(aryllalkylthio)-4-alkyl/aryl-5-(4-aminophenyl)-4H-1,2,4-triazole derivatives and their anticonvulsant activity. *II Farmaco*, 59 (11): 893-901.
- [4] Ezabadi I.R., Camoutsis C., Zoumpoulakis P., Geronikaki A., Sokovic M., Glamocilija J., Ciric A. 2008. Sulfonamide-1,2,4-triazole derivatives as antifungal and antibacterial agents: synthesis, biological evaluation, lipophilicity and conformational studies. *Bioorganic & Medicinal Chemistry*, 16 (3): 1150-1161.

- [5] Xu J., Cao Y., Zhang J., Yu S., Zou Y., Chai X., Wu Q., Zhang D., Jiang Y., Sun Q. 2011. Design, synthesis and antifungal activities of novel 1,2,4-triazole derivatives. *European Journal of Medicinal Chemistry*, 46 (7): 3142-3148.
- [6] Papadopoulou M.V., William D. Bloomer W.D., Rosenzweig H.S., Kaiser M. 2017. The antitrypanosomal and antitubercular activity of some nitro(triazole/imidazole)-based aromatic amines. *European Journal of Medicinal Chemistry*, 138: 1106-1113.
- [7] Li B.L., Li B., Zhang R.L., Zhao J.J., Wang X.F., Liu Y.M., Shi Y.P., Liu J.B., Chen B.Q.. 2016. Synthesis and antiproliferative evaluation of novel 1,2,4-triazole derivatives incorporating benzisosenazolone scaffold. *Bioorganic & Medicinal Chemistry Letters*, 26 (4): 1279-1281.
- [8] Zhu H.B., Sun Z.Y. 2018. Aqueous detection of antibiotics with a Cd(II)-based metal-organic framework constructed by a tetra(1,2,4-triazole)-functionalized-bis(triphenylamine) ligand. *Inorganic Chemistry Communications*, 96: 202-205.
- [9] Chu X.M., Wang C., Wang W.L., Liang L.L., Liu W., Gong K.K., Sun K.L. 2019. Triazole derivatives and their antiplasmodial and antimalarial activities. *European Journal of Medicinal Chemistry*, 166: 206-223.
- [10] Avanzo R.E., Anesini C., Fascio M.L., Errea M.I., D'Accorso N.B. 2012. 1,2,4-Triazole D-ribose derivatives: Design, synthesis and antitumoral evaluation. *European Journal of Medicinal Chemistry*, 47: 104-110.
- [11] Bazzar M., Ghaemy M., Alizadeh R. 2013. Synthesis and characterization of new fluorescent polyimides bearing 1,2,4-triazole and 1,2-diaryl quinoxaline: Study properties and application to the extraction/elimination of metallic ions from aqueous media. *Reactive and Functional Polymers*, 73 (3): 492-498.
- [12] Liu W.Y., Xie Y.S., Zhao B.X., Lian S., Lv H.S., Gong Z.L., Shin D.S. 2010. The synthesis, X-ray crystal structure and optical properties of novel 1-ferrocenyl-2-(3-phenyl-1H-1,2,4-triazol-5-ylthio)ethanone derivatives. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 76 (5): 531-536.
- [13] Jin R.Y., Zeng C.Y., Liang X.H., Sun X.H., Liu Y.F., Wang Y.Y., Zhou S. 2018. Design, synthesis, biological activities and DFT calculation of novel 1,2,4-triazole Schiff base derivatives. *Bioorganic Chemistry*, 80: 253-260.
- [14] Süleymanoğlu N., Ustabaş R., Direkel Ş., Bingöl Alpaslan Y., Ünver Y. 2017. 1,2,4-triazole derivative with Schiff base; thiol-thione tautomerism, DFT study and antileishmanial activity. *Journal of Molecular Structure*, 1150: 82-87.
- [15] Dennington R., Keith T., Millam J. 2009. GAUSSVIEW, Version 5 Semichem Inc., Shawnee Mission, KS.
- [16] Frisch M.J., Trucks G.W., Schlegel H.B., Scuseria G.E., Robb M.A., Cheeseman J.R., Scalmani G., Barone V., Mennucci B., Petersson G.A., Nakatsuji H., Caricato M., Li X., Hratchian H.P., Izmaylov A.F., Bloino J., Zheng G., Sonnenberg J.L., Hada M., Ehara M., Toyota K., Fukuda R., Hasegawa J., Ishida M., Nakajima T., Honda Y., Kitao O., Nakai H., Vreven T., Montgomery Jr. J.A., Peralta J.E., Ogliaro F., Bearpark M., Heyd J.J., Brothers E., Kudin K.N., Staroverov V.N., Kobayashi R., Normand J., Raghavachari K., Rendell A., Burant J.C., Iyengar S.S, Tomasi J., Cossi M., Rega N., Millam N.J., Klene M., Knox J.E., Cross J.B., Bakken V., Adamo C., Jaramillo J., Gomperts R., Stratmann R.E., Yazyev O., Austin A.J., Cammi R., Pomelli C., Ochterski J.W., Martin R.L., Morokuma K., Zakrzewski V.G., Voth G.A., Salvador P., Dannenberg J.J., Dapprich S., Daniels A.D., Farkas O., Foresman J.B., Ortiz J.V., Cioslowski J., Fox D.J. 2009. Gaussian 09, Gaussian, Inc., Wallingford CT.
- [17] Lee C., Yang W., Parr R.G. 1988. Development of the Colle-Salvetti correlation-energy formula into a functional of the electron density, *Physical Review B*, 37: 785-789.
- [18] Becke A.D. 1988. Density-functional exchange-energy approximation with correct asymptotic behavior", *Physical review A: General physics*, 38 (6): 3098-3100.
- [19] Becke A.D. 1993. Density-functional thermochemistry. III. The role of exact Exchange, *The Journal of Chemical Physics*, 98: 372-377.
- [20] Perdew J.P. 1986. Density-functional approximation for the correlation energy of the inhomogeneous electron gas. *Physical Review B*, 33, 8822.
- [21] Perdew J.P., Wang Y. 1992. Accurate and simple analytic representation of the electron-gas correlation energy, *Physical Review B*, 45: 13244.

- [22] Sudha N., Abinaya B., Arun Kumar R., Mathammal R. 2018. Synthesis, Structural, Spectral, Optical and Mechanical Study of Benzimidazolium Phthalate crystals for NLO Applications, *Journal of Lasers Optics & Photonics*, 5 (2): 1-6.
- [23] Mulliken R.S. 1955. Electronic Population Analysis on LCAO–MO Molecular Wave Functions, *The Journal of Chemical Physics*, 23: 1833-1840.
- [24] Yokuş Ö. A., 2012. Bazı yeni 1,2,4-triazol türevlerinin sentezi ve biyolojik aktivitelerinin incelenmesi. Doktora Tezi, Kafkas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kars.
- [25] Fleming I. 1991. *Frontier Orbitals and Organic Chemical Reactions*, 249.
- [26] Cramer C.J. 2004. *Essentials of Computational Chemistry: Theories and Models* *Journal Computational Chemistry*, 596.
- [27] Levine I.N. 2000. *Many-Electron Atoms. Quantum chemistry*. Prentice- Hall Inc, New Jersey, 739s.

Araştırma Makalesi / Research Article

7-Etil-6-klor-2-metilkromon ve 7-Etil-6-klorflavonun Sentezi ve Teorik Hesaplamaları

Bayhan KARABULUT*

*Adıyaman Üniversitesi, Eğitim Fakültesi, Matematik ve Fen Bilimleri Eğitimi Bölümü, Adıyaman, Türkiye
(ORCID:0000-0002-6677-5023)*

Öz

Bu çalışmada, 7-Etil-6-klor-2-metil kromon ve 7-Etil-6-klorflavon bileşikler sentezlenmiştir ve teorik spektroskopik özellikleri B3LYP/6-31G(d,p) temel seti ile araştırılmıştır. Sentezlenen bileşiklerin ilk olarak DFT yöntemi ve 6-31G(d,p) temel setinden faydalanılarak optimizasyonları yapılmıştır. Bileşikler için ¹H NMR kimyasal kayma değerleri hesaplanmıştır ve teorik olarak hesaplanan değerlerin elde edilen deneysel verilerle uyum içinde olduğu görülmüştür. Deneysel ve teorik kimyasal kayma değerleri için korelasyon grafiği ile regrasyon analizleri yapılmıştır. Ayrıca, çalışılan bileşiklerin en yüksek dolu moleküler orbital enerjisi (HOMO) ve en düşük boş moleküler orbital enerjisi (LUMO), bağ uzunlukları, bağ açıları ve Mulliken atomik yük değerleri hesaplanmıştır. HOMO ve LUMO enerji değerlerinden yararlanılarak iyonizasyon potansiyeli, elektron ilgisi, elektronegatiflik, kimyasal sertlik, kimyasal yumuşaklık gibi parametrelerin hesaplamaları yapılmıştır.

Anahtar kelimeler: Kromon, Flavon, Molekül Orbital, HOMO-LUMO, Yoğunluk Fonksiyonel Teorisi

Synthesis and Theoretical Calculations of 7-Ethyl-6-chloro-2-methylchromone and 7-Ethyl-6-chloroflavone

Abstract

In this study, 7-Ethyl-6-chlor-2-methyl chromone and 7-Ethyl-6-chloroflavone compounds were synthesized and their theoretical spectroscopic properties were investigated with the basis set of B3LYP/6-31G(d,p). The synthesized compounds were first optimized by using the DFT method and 6-31G(d,p) basis set. ¹H NMR chemical shift values were calculated and the theoretically calculated values were found to be consistent with the obtained experimental data. The regression analysis was performed with correlation graph for experimental and theoretical chemical shift values. In addition, the highest occupied molecular orbital energy (HOMO) and lowest unoccupied molecular orbital energy (LUMO), bond lengths, bond angles and Mulliken atomic charge values were calculated. The calculations for parameters such as ionization potential, electron affinity, electronegativity, chemical hardness, chemical softness were performed by using HOMO and LUMO energy values.

Keywords: Chromon, Flavon, Molecular Orbital, HOMO-LUMO, Density Functional Theory

1. Giriş

Kromon (benzopiran-4-on) yapısı flavonlar, izoflavonlar, flavonoller gibi flavonoidlerin temel halkasını oluşturur. Kromonlar (benzopiran), piran halkasına kaynaşmış benzen halkası içerir ve çeşitli polifenollerin temel yapılarını oluşturan heterosiklik bileşiklerdir. Hem doğal hem de sentetik kromon türevlerinin bazılarının antitümör, anti-vasküler [1], antimikrobiyal [2], antioksidan [3], TNF- α inhibitörü [4], antifungal [5], antikoagülan, antispazmolitik, östrojenik [6], antiviral [7], antihelmintik, antikanser [8], anti-HIV [9], antitüberküler [10], anti-inflamatuar [11], herbisidal, analjezik ve antikonvülzan [12] aktivite gösterdikleri bilinmektedir. Flavonoidler 15 karbon atomu üzerine kurulu (C6-C3-C6), molekül ağırlığı düşük ve bitkilerde bulunan polifenolik bileşiklerin büyük bir sınıfını

*Sorumlu yazar: bayhankarabulut@gmail.com

Geliş Tarihi: 22.04.2019, Kabul Tarihi: 01.08.2020

temsil ederler. Kroman halkası ile birlikte C-2, C-3 yada C-4 konumunda ikinci bir aromatik halkaya sahiplerdir. Küçük moleküllü heterosiklik bileşikler birçok ilacın önemli farmakoforları olmuştur [13]. Örneğin E vitamini antioksidan aktiviteye sahip, doğal olarak meydana gelen ve yapısında kroman halkası bulunan bir bileşiktir [14]. Flavonoid bileşikleri antiviral, antioksidan, antikanser, anti-inflamatuar [15], antibiyotik, antineoplastik, prooksidan, anti-hepatotoksik, vitaminler (vasküler koruma) ve anti-ülserojenik [16] gibi çeşitli biyolojik aktiviteler sergilerler. Dolayısıyla flavanoidler farmakolojik olarak umut verici bileşikler oldukları için sentezleri ve yapılarının aydınlatılması organik kimyada yaygın bir uygulama alanı bulmuştur.

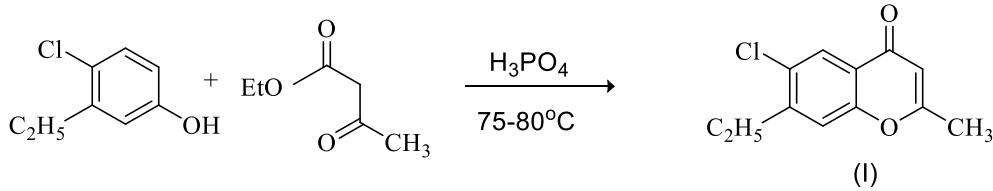
2. Materyal ve Metot

Çalışmada 4-klor-3-metilfenol (%99), 4-klor-3-etilfenol (%97), etil asetoasetat (%99) ve etil benzoilasetat (\geq %90), Sigma-Aldrich marka kullanıldı. ^1H NMR spektrumları sıfır noktası referansı olarak TMS kullanılarak Varian EM 360L NMR spektrometresiyle, IR spektrumları saf örneklerle Perkin Elmer Spectrum 100 FT-IR spektrometresiyle alındı, erime noktaları da Electrothermal 9100 Erime Noktası Tayin cihazıyla belirlendi.

2.1. Sentez

2.1.1. 7-Etil-6-klor-2-metilkromonun Sentezi (Bileşik I)

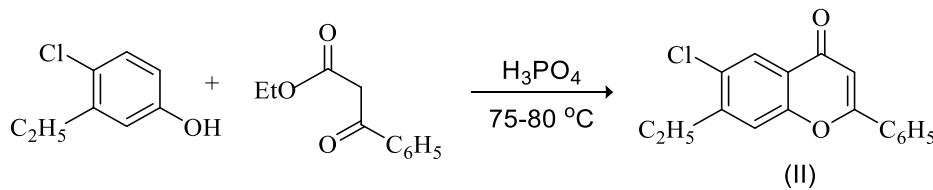
7-Etil-6-klor-2-metilkromonun sentezi Şekil 1’de verilmiştir. 50 mL’lik bir erlende, 3-etil-4-klorfenolün (1,56 g, 10 mmol) etil asetoasetattaki (1,5 mL, 12 mmol) çözeltisine, polifosforik asit (16 g, 47 mmol) eklendi. Viskoz bir sıvı olan polifosforik asitle diğer maddelerin iyice karışması sağlandı. Reaksiyon karışımı su banyosunda 75-80 °C’de 1 saat ısıtıldı. Reaksiyon tamamlandıktan sonra, soğutulan sarı renkli viskoz karışıma buzlu su katılarak polifosforik asit hidroliz edildi. Elde edilen suda çözünmeyen katı, vakumdan geçirilerek süzüldü ve su ile yıkandı. Açık havada süzgeç kâğıdı üzerinde kurutulan ham ürün etil alkolde kristallendirildi. Verim: 1,36 g (%61). e.n: 96 °C



Şekil 1. 7-Etil-6-klor-2-metilkromonun sentezi

2.1.2. 7-Etil-6-klorflavonun Sentezi (Bileşik II)

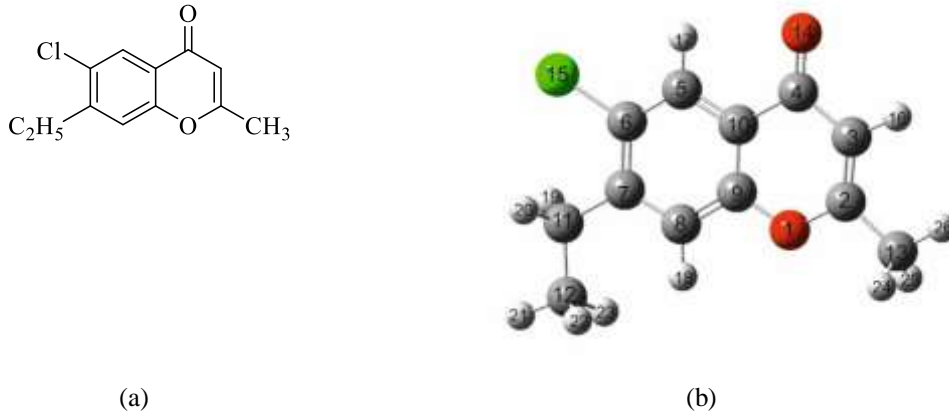
7-Etil-6-klorflavonun sentezi Şekil 2’de verilmiştir. 50 mL’lik bir erlende 3-etil-4-klorfenolün (1,56 g, 10 mmol) etil benzoilasetattaki (2 mL, 12 mmol) çözeltisine, polifosforik asit (16 g, 47 mmol) eklendi. Viskoz bir sıvı olan polifosforik asitle diğer maddelerin iyice karışması sağlandı. Reaksiyon karışımı su banyosunda 75-80 °C’de 1 saat ısıtıldı. Reaksiyon tamamlandıktan sonra, soğutulan sarı renkli viskoz karışıma buzlu su katılarak polifosforik asit hidroliz edildi. Elde edilen suda çözünmeyen katı, vakumdan geçirilerek süzüldü ve su ile yıkandı. Açık havada süzgeç kâğıdı üzerinde kurutulan ham ürün etil alkolde kristallendirildi. Verim: 0,86 g (%30). e.n: 152 °C



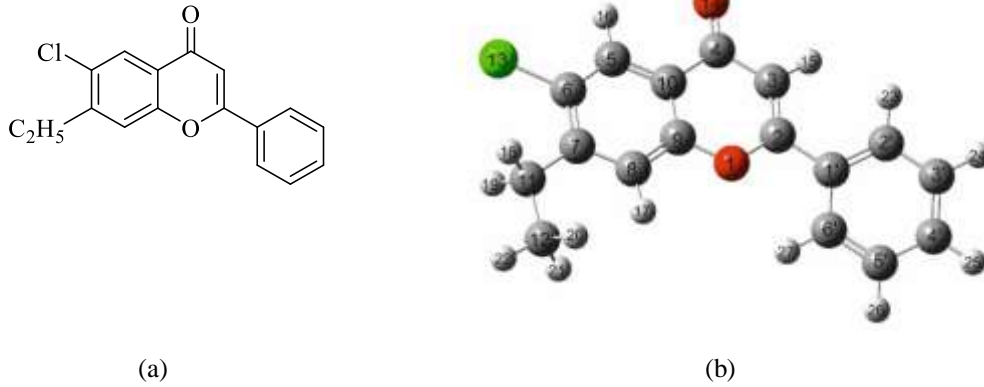
Şekil 2. 7-Etil-6-klorflavonun sentezi

3. Teorik Hesaplamalar

Bu çalışmada 7-Etil-6-klor-2-metilkromon ve 7-Etil-6-klorflavon bileşiklerine ait spektroskopik (^1H NMR, FTIR) ve elektronik özellikler Gaussian G09W paket programında [17], B3LYP (DFT-Density Functional Theory) [18] yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır. Her iki moleküle ait teorik hesaplamalar B3LYP/6-31G(d,p) temel seti baz alınarak hesaplanmış ve deneysel verilerle uyumluluğu karşılaştırılmıştır. Teorik hesaplamaların ilk evresinde B3LYP/6-31G(d,p) temel seti ile çalışılan bileşiklere ait optimizasyonlar yapılmıştır. Daha sonra, GIAO [19] metodunda her iki bileşiğin ^1H NMR kayma değerleri çözücü olarak kloroform kullanılarak elde edilmiştir. Teorik ^1H NMR kimyasal kayma değerleri ile deneysel kimyasal kayma değerleri arasındaki korelasyon incelenmiştir. Ayrıca, bileşiklerin teorik FTIR frekans değerleri HOMO ve LUMO enerjileri, moleküllere ait bağ uzunlukları, bağ açıları ve Mulliken atomik yük değerleri hesaplanmıştır.



Şekil 3. (a) 7-Etil-6-klor-2-metilkromon (Bileşik I) için kimyasal yapı ve (b) optimize edilmiş yapı.



Şekil 4. (a) 7-Etil-6-klorflavonun (Bileşik II) için kimyasal yapı ve (b) optimize edilmiş yapı.

4. Bulgular ve Tartışma

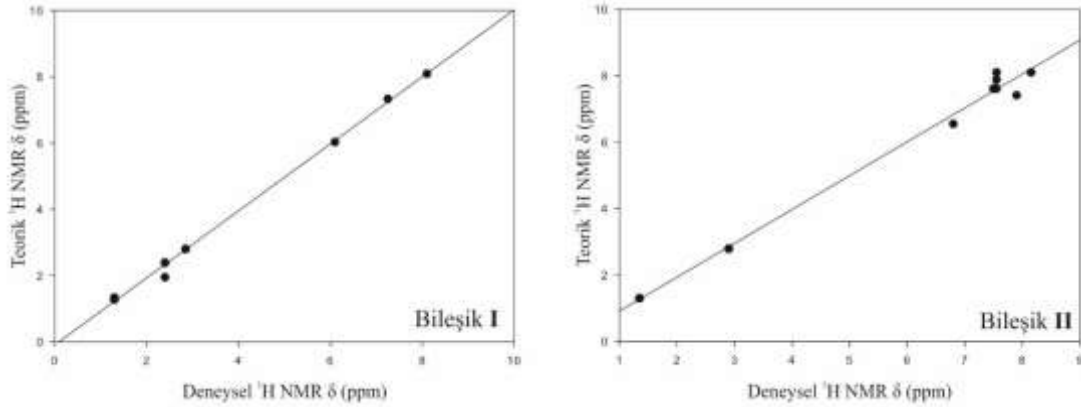
4.1. ^1H Nükleer Manyetik Rezonans Spektroskopisi (^1H NMR)

Bileşik I ve II için deneysel sonuçlarından edilen ve hesaplanan ^1H NMR kimyasal kayma değerleri Tablo 1' de verilmiştir. Her iki bileşiğin deneysel ve teorik ^1H NMR hesaplamalarında çözücü olarak CDCl_3 kullanılmıştır. Bileşik I ve II için deneysel ^1H NMR kimyasal kayma değerleri sırasıyla 1,30-8,10 ppm ve 1,35-8,15 ppm arasında ortaya çıkarken, teorik kimyasal kayma değerleri sırasıyla 1,28-8,09 ppm ve 1,30-8,10 ppm olarak hesaplanmıştır. Çalışılan bileşikler için en karakteristik ^1H NMR sinyali kromon halkasındaki $-\text{C}=\text{CH}$ protonlarına aittir ve bu protonlar için deneysel ve teorik kimyasal kayma değerleri sırasıyla 6,10 ile 6,03 ppm ve 6,80 ile 6,55 ppm olarak belirlenmiştir. Bu protonların yüksek alanda rezonans olması karbonil grubunda bulunan oksijenin elektronegatifliğinden kaynaklanmaktadır. Bileşik I ve II için deneysel ve teorik ^1H NMR kimyasal kayma değerleri arasındaki korelasyon grafikleri Şekil 5' de verilmiştir. Korelasyon katsayısı Bileşik I için 0,997, Bileşik II için ise

0,993 olarak hesaplanmıştır ki bu değerler bize deneysel verilerin hesaplamalarla büyük bir uyum içinde olduğunu göstermektedir.

Tablo 1. Bileşik **I** ve **II** için deneysel ve teorik ^1H NMR kimyasal kayma değerleri δ (ppm)

| Bileşik I | | | | Bileşik II | | | |
|------------------|---|--------------------------------------|----------------|-------------------|---------------------------------------|------------------------------------|----------------|
| Atom No | δ (Deneysel) (CDCl_3) | δ (B3LYP) (CDCl_3) | $\Delta\delta$ | Atom No | δ Deneysel (CDCl_3) | δ B3LYP (CDCl_3) | $\Delta\delta$ |
| H17 | 8,10 | 8,09 | 0,01 | H 16 | 8,15 | 8,10 | -0,55 |
| H18 | 7,25 | 7,33 | -0,08 | H 23 | 7,55 | 8,10 | 0,05 |
| H16 | 6,10 | 6,03 | 0,07 | H 27 | 7,55 | 7,88 | -0,33 |
| H19 | 2,85 | 2,80 | 0,05 | H 26 | 7,55 | 7,61 | -0,06 |
| H20 | 2,85 | 2,80 | 0,05 | H 25 | 7,55 | 7,61 | -0,06 |
| H24 | 2,40 | 2,39 | 0,01 | H 24 | 7,55 | 7,61 | -0,06 |
| H25 | 2,40 | 2,39 | 0,01 | H 17 | 7,90 | 7,41 | 0,49 |
| H26 | 2,40 | 1,95 | 0,45 | H 15 | 6,80 | 6,55 | 0,25 |
| H21 | 1,30 | 1,34 | -0,04 | H 18 | 2,90 | 2,79 | 0,11 |
| H22 | 1,30 | 1,28 | 0,02 | H 19 | 2,90 | 2,79 | 0,11 |
| H23 | 1,30 | 1,28 | 0,02 | H 20 | 1,35 | 1,30 | 0,05 |
| | | | | H 21 | 1,35 | 1,30 | 0,05 |
| | | | | H 22 | 1,35 | 1,30 | 0,05 |



Şekil 5. Bileşik **I** ve **II** için deneysel ve teorik ^1H NMR kimyasal kayma değerleri arasındaki korelasyon grafikleri.

4.2. Molekül Geometrisi

Bileşik **I** ve **II** için bağ uzunlukları ve bağ açıları sırasıyla Tablo 2 ve 3 de verilmiştir. Literatürde flavon molekülünün A, B ve C halkaları için C-C bağ uzunluklarının ortalamaları sırasıyla 1,395, 1,422 ve 1,396 Å, C=O bağ uzunlukları 1,226 Å ve C halkasına ait C-O bağ uzunlukları ise 1,366 Å olarak hesaplanmıştır [20]. Çalışmamızda ise A, B ve C halkaları için C-C bağ uzunluklarının ortalaması sırasıyla Bileşik **II** için 1,395; 1,395; 1,421 Å olarak hesaplanmıştır. Bileşik **I** için C-C bağ uzunlukları ise A halkası için 1,398 ve C halkası için ise 1,422 Å olarak hesaplanmıştır. C=O bağ uzunlukları ise **I** ve **II** bileşiği için sırasıyla 1,229 ve 1,224 Å olarak hesaplanmıştır. Her iki bileşik için alifatik C-C tekli bağlarının uzunluklarına ait ortalama değer 1,528 Å, C halkasına ait olan C-O tekli bağ uzunlukları **I**. bileşik için 1,363; 1,373 ve **II**. bileşik için ise 1,363; 1,370 olarak hesaplanmış ve hesaplanan bu değerlerin literatürle uyumlu oldukları gözlenmiştir.

Tablo 2. Bileşik I ve II için bağ uzunlukları

| Bileşik I | | | Bileşik II | | |
|-------------------|-------------|-------|-------------------|-------------|-------|
| Bağ Uzunluğu (Å°) | B3LYP | | Bağ Uzunluğu (Å°) | B3LYP | |
| 1 | O(1)-C(2) | 1,363 | 1 | O(1)-C(2) | 1,363 |
| 2 | C(2)-C(13) | 1,496 | 2 | C(2)-C(1') | 1,474 |
| 3 | C(2)-C(3) | 1,352 | 3 | C(1')-C(2') | 1,402 |
| 4 | C(3)-C(4) | 1,460 | 4 | C(2')-C(3') | 1,389 |
| 5 | C(4)-O(14) | 1,229 | 5 | C(3')-C(4') | 1,394 |
| 6 | C(4)-C(10) | 1,482 | 6 | C(4')-C(5') | 1,392 |
| 7 | C(10)-C(5) | 1,401 | 7 | C(5')-C(6') | 1,390 |
| 8 | C(5)-C(6) | 1,382 | 8 | C(6')-C(1') | 1,402 |
| 9 | C(6)-Cl(15) | 1,763 | 9 | C(2)-C(3) | 1,355 |
| 10 | C(6)-C(7) | 1,416 | 10 | C(3)-C(4) | 1,456 |
| 11 | C(7)-C(11) | 1,515 | 11 | C(4)-O(14) | 1,224 |
| 12 | C(11)-C(12) | 1,529 | 12 | C(4)-C(10) | 1,480 |
| 13 | C(7)-C(8) | 1,393 | 13 | C(10)-C(5) | 1,399 |
| 14 | C(8)-C(9) | 1,397 | 14 | C(5)-C(6) | 1,378 |
| 15 | C(9)-C(10) | 1,396 | 15 | C(6)-Cl(13) | 1,763 |
| 16 | C(9)-O(1) | 1,373 | 16 | C(6)-C(7) | 1,414 |
| | | | 17 | C(7)-C(11) | 1,513 |
| | | | 18 | C(11)-C(12) | 1,528 |
| | | | 19 | C(7)-C(8) | 1,390 |
| | | | 20 | C(8)-C(9) | 1,395 |
| | | | 21 | C(9)-C(10) | 1,393 |
| | | | 22 | C(9)-O(1) | 1,370 |

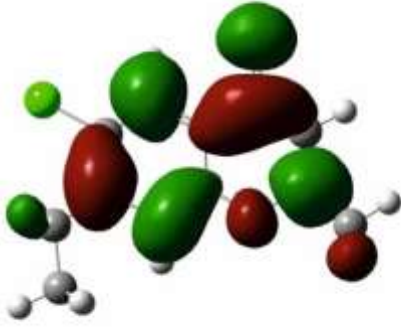
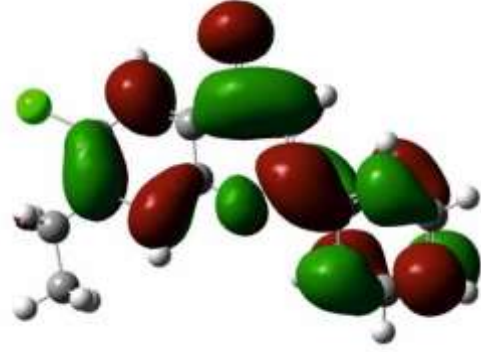
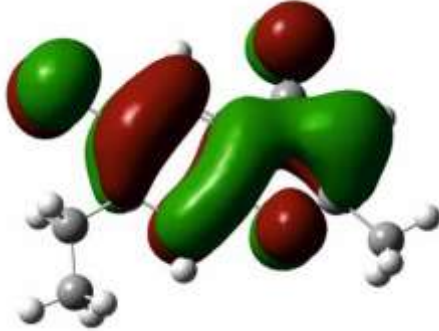
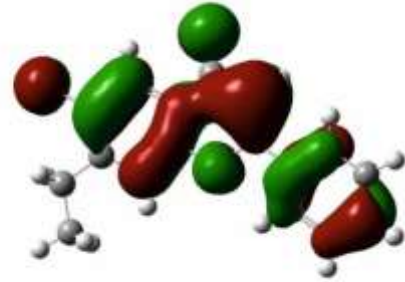
Tablo 3. Bileşik I ve II için bağ açıları

| Bileşik I | | | Bileşik II | | |
|---------------|------------------|--------|---------------|-------------------|--------|
| Bağ Açılı (°) | B3LYP | | Bağ Açılı (°) | B3LYP | |
| 1 | O(1)-C(2)-C(13) | 111,11 | 1 | O(1)-C(2)-C(1') | 112,14 |
| 2 | C(13)-C(2)-C(3) | 126,15 | 2 | C(2)-C(1')-C(2') | 120,77 |
| 3 | C(2)-C(3)-C(4) | 122,28 | 3 | C(1')-C(2')-C(3') | 120,53 |
| 4 | C(3)-C(4)-O(14) | 123,86 | 4 | C(2')-C(3')-C(4') | 120,25 |
| 5 | C(3)-C(4)-C(10) | 113,39 | 5 | C(3')-C(4')-C(5') | 119,65 |
| 6 | O(14)-C(4)-C(10) | 122,74 | 6 | C(4')-C(5')-C(6') | 120,30 |
| 7 | C(4)-C(10)-C(5) | 121,43 | 7 | C(5')-C(6')-C(1') | 120,46 |
| 8 | C(10)-C(5)-C(6) | 119,98 | 8 | C(6')-C(1')-C(2) | 120,43 |
| 9 | C(5)-C(6)-Cl(15) | 118,15 | 9 | C(1')-C(2)-C(3) | 125,96 |
| 10 | C(5)-C(6)-C(7) | 122,35 | 10 | C(2)-C(3)-C(4) | 122,70 |
| 11 | Cl(15)-C(6)-C(7) | 119,80 | 11 | C(3)-C(4)-O(14) | 123,73 |
| 12 | C(6)-C(7)-C(11) | 120,82 | 12 | C(3)-C(4)-C(10) | 113,44 |
| 13 | C(7)-C(11)-C(12) | 116,22 | 13 | O(14)-C(4)-C(10) | 122,82 |
| 14 | C(11)-C(7)-C(8) | 122,07 | 14 | C(4)-C(10)-C(5) | 121,58 |
| 15 | C(7)-C(8)-C(9) | 120,73 | 15 | C(10)-C(5)-C(6) | 120,00 |
| 16 | C(8)-C(9)-C(10) | 121,60 | 16 | C(5)-C(6)-Cl(13) | 118,14 |
| 17 | C(8)-C(9)-O(1) | 116,59 | 17 | Cl(13)-C(6)-C(7) | 119,49 |
| 18 | O(1)-C(9)-C(10) | 121,79 | 18 | C(6)-C(7)-C(11) | 120,84 |
| | | | 19 | C(7)-C(11)-C(12) | 116,28 |
| | | | 20 | C(6)-C(7)-C(8) | 117,07 |
| | | | 21 | C(7)-C(8)-C(9) | 120,77 |
| | | | 22 | C(8)-C(9)-C(10) | 121,54 |
| | | | 23 | C(8)-C(9)-O(1) | 116,59 |
| | | | 24 | C(9)-O(1)-C(2) | 119,91 |

4.3. HOMO-LUMO Enerjileri ve Elektronik Özellikler

Reaksiyonlara katılan temel orbitaller HOMO (En Yüksek Dolu Molekül Orbital) ve LUMO (En Düşük Boş Molekül Orbital)'dur. E_{HOMO} enerjisi molekülün elektron verme, E_{LUMO} enerjisi ise molekülün elektron alma yeteneği şeklinde açıklanır. Bu iki enerji değeri arasındaki fark ($\Delta E = E_{HOMO} - E_{LUMO}$) molekülün kimyasal kararlılığının bir göstergesidir ve ΔE ne kadar küçükse molekül o kadar yüksek kimyasal reaktiviteye sahiptir [21]. Bileşik I için hesaplanan $\Delta E = -4,92173$ ve Bileşik II için hesaplanan $\Delta E = -4,49804$ eV' luk değerler molekülün kararlı yapıda olduklarının göstergesidir. HOMO ve LUMO

enerji değerlerinden yararlanılarak iyonizasyon potansiyeli ($I=-E_{\text{HOMO}}$), elektron ilgisi ($A=-E_{\text{LUMO}}$), elektronegatiflik ($\chi=(I+A)/2$), kimyasal sertlik ($(\eta=I-A)/2$) ve kimyasal yumuşaklık ($(S=1/(2\eta))$) gibi parametreler hesaplanabilmektedir. Sertlik, bir molekülün polarizasyon kabiliyetinin, yumuşaklık ise elektron alma yeteneğini ölçüsü olarak tanımlanır. Bileşik I ve II için hesaplanan sertlik değerleri sırayla 2,46086, 2,24902 eV, yumuşaklık değerleri ise sırayla 0,20318 ve 0,22232 eV'tur. Elektronegatiflik bağı oluşturan atomların her birinin bağ elektronlarını çekebilme gücü olarak tanımlanır ve kimyasal aktivitenin önemli bir göstergesidir. Bileşik I için hesaplanan elektronegatiflik değeri 3,97354 iken Bileşik II için bu değer 4,40253 eV' tur. Bileşik I ve II için teorik olarak hesaplanan HOMO-LUMO şekilleri ve enerji değerleri Şekil 6' da ve hesaplanan elektronik yapı parametreleri ise Tablo 4' de verilmiştir.

Bileşik I için E_{LUMO} : -1,51268 eVBileşik II için E_{LUMO} : -2,15351 eVBileşik I için E_{HOMO} : -6,43441 eVBileşik II için E_{HOMO} : -6,65155 eV

Şekil 6. Bileşik I ve II için teorik olarak hesaplanan HOMO-LUMO şekilleri ve enerji değerleri

Tablo 4. Bileşik I ve II için hesaplanan elektronik yapı parametreleri

| | Bileşik I | Bileşik II |
|---|-----------|------------|
| E_{HOMO} (eV) | -6,43441 | -6,65155 |
| E_{LUMO} (eV) | -1,51268 | -2,15351 |
| $\Delta E = E_{\text{HOMO}} - E_{\text{LUMO}}$ (eV) | -4,92173 | -4,49804 |
| I (eV) | 6,43441 | 6,65155 |
| A (eV) | 1,51268 | 2,15351 |
| X (eV) | 3,97354 | 4,40253 |
| η (eV) | 2,46086 | 2,24902 |
| S (eV ⁻¹) | 0,20318 | 0,22232 |

4.4. İnfrared Spektroskopisi (IR)

Heteroaromatik bileşikler için IR spektrumunda 3000-3100 cm^{-1} bölgesi karakteristik C-H gerilme titreşimlerine aittir. Bununla birlikte C-H düzlem içi bükülme ve düzlem dışı bükülme titreşimleri sırasıyla 1300–1000 cm^{-1} ve 1000–750 cm^{-1} bölgelerinde gözlemlenir. Karbonil grubunun karakteristik titreşim frekansının belirlenmesi amacıyla çok çeşitli bileşikler üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Bu bileşikler için 1850-1550 cm^{-1} bölgesinde güçlü karbonil titreşimleri gözlenmiştir [22]. Bileşik I ve II için deneysel ve teorik IR titreşim frekans değerleri Tablo 5’ de verilmiştir. Flavon molekülü için 1646 cm^{-1} ’de gözlenen karakteristik pik C=O gerilme titreşim frekansına aittir. C=C gerilme titreşimleri aromatik bileşikler için genellikle 1430-1650 cm^{-1} bölgesinde gözlenirken, flavon bileşikleri için C=C gerilme titreşimleri tüm halkalarda 1606 cm^{-1} bölgesinde görülmektedir [20].

Tablo 5. Bileşik I ve II için deneysel ve hesaplanan IR titreşim frekans değerleri

| Bileşik I | | |
|---|---|----------|
| Titreşim türleri | Titreşim frekansları (cm^{-1}) | |
| | B3LYP/6-31G(d,p) | Deneysel |
| ν CH Arm. | 3105 | 3080 |
| ν CH ₃ Arm. | 3038 | 2985 |
| ν CH ₂ CH ₃ Arm. | 3004 | 2960 |
| ν CH ₃ Arm. | 2989 | 2937 |
| ν CH ₂ Arm. | 2947 | 2917 |
| ν C=O | 1683 | 1615 |
| δ CH ₂ CH ₃ Arm. | 1463 | - |
| δ CH Arm. | 1447 | 1426 |
| δ CH ₃ Arm. | 1437 | 1412 |
| δ CH ₂ Arm. | 1426 | 1380 |
| δ CH Arm. | 1224 | 1233 |
| δ CH Arm. | 1211 | 1208 |
| δ CH Arm. | 1204 | 1176 |
| Bileşik II | | |
| Titreşim türleri | Titreşim frekansları (cm^{-1}) | |
| | B3LYP/6-31G(d,p) | Deneysel |
| ν CH Arm. | 3087 | 3032 |
| ν CH Arm. | 3073 | 2982 |
| ν CH Arm. | 3045 | 3003 |
| ν CH ₃ | 2980 | 2907 |
| ν CH ₂ | 2927 | 2879 |
| ν C=O | 1657 | 1632 |
| ν CH Arm. | 1580 | 1553 |
| ν CH Arm. | 1528 | 1498 |
| δ CH ₃ | 1448 | 1435 |
| δ CH Arm. | 1422 | 1411 |
| δ CH ₂ | 1326 | 1352 |
| δ CH ₂ +CH ₃ | 1253 | 1292 |
| δ CH Arm. | 1239 | 1269 |

ν : gerilme; δ : düzlem içi eğilme; Arm: Aromatik

4.5. Mulliken Atomik Yük Dağılımları

Her iki bileşik için B3LYP/6-31G(d,p) temel seti kullanılarak elde edilen atomik yük değerleri Tablo 6’ da verilmiştir. Her iki bileşikte de karbonil grubuna bağlı olan C4 karbon atomunun en yüksek Mulliken atomik yük değerine sahip olması karbona bağlı olan elektronegatif oksijen atomundan kaynaklanmaktadır.

Tablo 6. Bileşik I ve II Mulliken atomik yük değerleri

| Bileşik I | | Bileşik II | |
|-----------|--------|------------|--------|
| Atom No | B3LYP | Atom No | B3LYP |
| O1 | -0,523 | O1 | 0,540 |
| C2 | 0,341 | C2 | 0,320 |
| C3 | -0,192 | C3 | -0,193 |
| C4 | 0,415 | C4 | 0,413 |
| C5 | -0,100 | C5 | -0,100 |
| C6 | -0,159 | C6 | -0,159 |
| C7 | 0,147 | C7 | 0,148 |
| C8 | -0,157 | C8 | -0,162 |
| C9 | 0,282 | C9 | 0,291 |
| C10 | 0,041 | C10 | 0,042 |
| C11 | -0,245 | C11 | -0,245 |
| C12 | -0,337 | C12 | -0,337 |
| C13 | -0,380 | C'1 | 0,043 |
| O14 | -0,552 | C'2 | -0,111 |
| C15 | -0,024 | C'3 | -0,104 |
| | | C'4 | -0,081 |
| | | C'5 | -0,099 |
| | | C'6 | -0,104 |
| | | C13 | -0,024 |
| | | O14 | -0,550 |

5. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada, 7-Etil-6-klor-2-metilkromon (I) ve 7-Etil-6-klorflavon (II) sentezlendi ve kimyasal yapıları deneysel ve teorik ^1H NMR ve IR sonuçları kullanılarak karakterize edildi. Her iki bileşiğin deneysel ^1H NMR kimyasal kayma değerleri ile B3LYP/6-31G (d,p) temel seti kullanılarak hesaplanan kimyasal kayma değerleri karşılaştırıldı ve sonuçların birbiriyle uyumu incelendi. Bileşiklerin sentezinde başlangıç maddesi olarak kullanılan 4-klor-3-etilfenol'in OH protonlarına ait 5,30 ppm'de görülen piklerin I ve II bileşiklerinin ^1H NMR spektrumunda kaybolması ve kromon halkasına ait karakteristik CH piklerinin deneysel ve teorik olarak bileşik I için 6,10 ve 6,03 ppm'de, bileşik II için ise 6,80 ve 6,55 ppm'de gözlenmesi bileşiklerin kimyasal yapısını kanıtlamaktadır. Hesaplanan bağ açıları ve bağ uzunlukları incelendiğinde literatür ile uyumlu olduğu görülmektedir. Her iki bileşikte beklendiği gibi en uzun bağların C-Cl bağlarına ait olduğu belirlenmiştir. IR sonuçları incelendiğinde başlangıç maddesi olarak kullanılan 4-klor-3-etilfenol'in OH gerilimine ait 3300-3600 cm^{-1} arasında ortaya çıkan pik her iki üründe de görülmemektedir. Kromon halkası için IR spektrumundaki karakteristik C=O gerilme titreşim frekansları her iki bileşik için sırasıyla teorik ve deneysel olarak 1683 ile 1615 cm^{-1} ve 1657 ile 1632 cm^{-1} olarak görülmektedir. Sentezlenen bileşikler için HOMO ve LUMO enerji farkı (ΔE) sırasıyla -4,921 ve -4,498 eV olarak hesaplanmıştır ve bu yüksek enerji aralığı moleküllerin kararlı yapıda olduğunun ve kimyasal reaktivitelerinin nispeten düşük olduğunun bir göstergesidir. Sonuç olarak, 7-Etil-6-klor-2-metilkromon ve 7-Etil-6-klorflavonun sentezi ve teorik hesaplamaları üzerine literatürde herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bileşiklerin deneysel ve teorik ^1H NMR ve IR sonuçları kimyasal yapılarını desteklemektedir. Ayrıca, deneysel ve teorik çalışmalardan elde edilen sonuçların birbiriyle uyumlu olduğu gözlenmiştir.

Yazarların Katkısı

Makalede tüm katkı şahsına 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] Gourdeau H., Leblond L., Hamelin B., Desputeau C., Dong K., Kianicka I., Custeau D., Boudreau C., Geerts L., Cai S.X., Drewe J., Labrecque D., Kasibhatla S., Tseng B. 2014. Antivascular and antitumor evaluation of 2-amino-4-(3-bromo-4,5-dimethoxy-phenyl)-3-cyano-4H-chromenes, a novel series of anticancer agents. *Molecular Cancer Therapeutics*, 3 (11): 1375-1384.
- [2] Sangani C.B., Shah N.M., Patel M.P., Patel R.G. 2012. Microwave-assisted synthesis of novel 4H-chromene derivatives bearing phenoxy-pyrazole and their antimicrobial activity assessment. *Journal of the Serbian Chemical Society*, 77 (9): 1165-1174.
- [3] Mladenović M., Mihailović M., Bogojević D., Matić S., Nićiforović N., Mihailović V., Vuković N., Sukdolak S., Solujić S. 2011. In Vitro Antioxidant Activity of Selected 4-Hydroxy-chromene-2-one Derivatives SAR, QSAR and DFT Studies. *International Journal of Molecular Sciences*, 12 (5): 2822–2841.
- [4] Cheng J.F., Ishikawa A., Ono Y., Arrhenius T., Nadzan A. 2003. Novel Chromene Derivatives as TNF- α Inhibitors. *Bioorganic&Medicinal Chemistry Letters*, 13 (21): 3647-3650.
- [5] Thareja S., Verma A., Kalra A., Gosain S., Rewatkar P.V., Kokil G.R. 2010. Novel Chromeneimidazole Derivatives As Antifungal Compounds: Synthesis and In Vitro Evaluation. *Acta Poloniae Pharmaceutica Drug Research*, 67 (4): 423-427.
- [6] Jain N., Xu J., Kanojia R.M., Du F., Jian-Zhong G., Pacia E., Lai M.T., Musto A., Allan G., Reuman M., Li X., Hahn D., Cousineau M., Peng S., Ritchie D., Russell R., Lundeen S., Sui Z. 2009. Identification and Structure-Activity Relationships of Chromene-Derived Selective Estrogen Receptor Modulators for Treatment of Postmenopausal Symptoms. *Journal of Medicinal Chemistry*, 52 (23): 7544-7569.
- [7] Mori J., Iwashima M., Takeuchi M., Saito H. 2006. A Synthetic Study on Antiviral and Antioxidative Chromene Derivative. *Chemical and Pharmaceutical Bulletin*, 54 (3): 391-396.
- [8] Kandeel M.M., Aliaa M.K., Abdelall E.K.A. 2012. Design and synthesis of substituted chromenes as potential anticancer agents. *International Journal of Pharmaceutical Research & Development*, 4 (3): 310-322.
- [9] Karia D.C., Pandya H.K., Godvani N.K. 2012. Synthesis, Characterization & Anti-Hiv Activity of 4-Hydroxy-3-(5-Methylisoxazol-3-Yl) Pyrano (3,2-C) Chromene-2,5-Dione. *Asian Journal of Biochemical and Pharmaceutical Research*, 2 (2): 126-130.
- [10] Kamdar N.R., Haveliwala D.D., Mistry P.T., Patel S. 2011. Synthesis and evaluation of in vitro antitubercular activity and antimicrobial activity of some novel 4H-chromeno[2,3-d]pyrimidine via 2-amino-4-phenyl-4H-chromene-3-carbonitriles. *Medicinal Chemistry Research*, 20 (7): 854-864.
- [11] Gupta S., Kumar N., Kumar S., Dudhe R., Gupta H. 2012. 3-Hydroxy-2-(substituted phenyl) - 4H-chromen-4-one derivatives- synthesis, spectral characterization and pharmacological screening. *International Journal of Therapeutic Applications*, 7: 1-8.
- [12] Bhat M.A., Siddiqui N., Khan S.A. 2008. Synthesis of novel 3-(4-acetyl-5H/methyl-5-substituted phenyl-4,5-dihydro-1,3,4-oxadiazol-2-yl)-2H-chromen-2-ones as potential anticonvulsant agents. *Acta Poloniae Pharmaceutica*, 65 (2): 235-239.
- [13] Thompson L.A., Ellman J.A. 1996. Synthesis and Applications of Small Molecule Libraries. *Chemical Reviews*, 96: 555-600.
- [14] Lingen H.L., Zhuang Wei., Hansen T., Rutjes F.P.J.T., Jørgensen K.A. 2003. Formation of optically active chromanes by catalytic asymmetric tandem oxa-Michael addition–Friedel–Crafts alkylation reactions. *Organic and Biomolecular Chemistry*, 11: 1953-1958.
- [15] Yao N., Song A., Wang X., Dixon S., Lam K.S. 2007. Synthesis of Flavonoid Analogues as Scaffolds for Natural Product-Based Combinatorial Libraries. *American Chemical Society*, 9: 668-676.
- [16] Atohoun Y.G.S., Doco R.C., Hougue M.T.A.K., Kuevi A.U., Kpotin G.A., Mensah J.B. 2016. Theoretical Study of antioxidant properties of three isomers flavonoids: kaempferol, luteolin and fisetin. *American Journal of Scientific And Industrial Research*, 7 (6): 145-152.
- [17] Frisch M.J., Trucks H.B., Schlegel G.E., Scuseria M., Robb J.R., Cheeseman G., Scalmani V., Barone B., Mennucci G.A., Petersson H., Nakatsuji M., Caricato X., Li H.P., Hratchian A.F., Izmaylov J., Bloino G., Zheng J.L., Sonnenberg M., Hada M., Ehara K, Toyota R, Fukuda J,

- Hasegawa M., Ishida T., Nakajima Y., Honda O., Kitao H., Nakai T., Vreven A., Montgomery J., Peralta F., Ogliaro M., Bearpark J.J., Heyd E., Brothers K.N., Kudin V.N., Staroverov R., Kobayashi J., Normand K., Raghavachari A., Rendell J.C., Burant S.S., Iyengar J., Tomasi M., Cossi N., Rega J.M., Millam M. 2009. Gaussian Inc. Wallingford CT.
- [18] Lee C., Yang W., Parr R.G. 1988. Development of the Colle- Salvetti correlation energy formula into a functional of the electron density. *Physical Review B*, 37 (2): 785-789.
- [19] Wolinski K., Hinton J.F., Pulay P. 1990. Efficient Implementation of the Gauge-Independent Atomic Orbital Method for NMR Chemical Shift Calculations. *Journal of the American Chemical Society*, 112: 8251-8260.
- [20] Erdoğan Y., Ünsalan O., Güllüoğlu M.T. 2009. Vibrational analysis of flavone. *Turkish Journal of Physics*, 33: 249-259.
- [21] Günay N., Gümüş H. Atalay Y. 2011. L-Asparaginyum Pikrat Molekülünün Spektroskopik Özelliklerinin Teorik Olarak İncelenmesi. *Sakarya Üniversitesi Fen Edebiyat Dergisi*, 15-32.
- [22] Boopathi M. M., Udhayakala P., Ramkumaar G.R. 2016. Vibrational spectroscopic (FT-IR, FT-Raman), NMR and electronic structure calculations of metaxalone. *Der Pharma Chemica*, 8 (7): 161-172.

Araştırma Makalesi / Research Article

Cevap Yüzey Yöntemi Kullanılarak Poli(VPi-ko-MA) / Grafen Kompozitlerinin İletkenliğinin Optimizasyonu

Gülben TORĞUT*

*Munzur Üniversitesi, Tunceli Meslek Yüksekokulu, Kimya ve Kimyasal İşlemeler Bölümü, Tunceli
(ORCID: 0000-0003-1730-1152)*

Öz

Bu çalışmada, öncelikle poli(Vinil pivalat-ko-Maleik anhidrit) [poli(VPi-ko-MA)] kopolimeri serbest radikalik polimerizasyon yöntemiyle 65 °C'de 24 saat süreyle sentezlenmiştir. FT-IR ile karakterize edilen kopolimerin kütlece farklı miktarlarda Grafen (GF) içeren kompozitleri çözelti döküm tekniği ile hazırlanmıştır. Kompozitler FT-IR ve SEM teknikleri ile karakterize edilmiştir. Uygulanan voltaj, frekans ve GF içeriği arasında kantitatif bir ilişki elde etmek için cevap yüzey yöntemi (CYY) kullanılmıştır. Ölçülen cevap, kompozitlerin elektriksel (AC) iletkenliğidir. Modeldeki parametrelerin (frekans, voltaj ve GF miktarı) önemi, varyans analizi ile belirlenmiştir (ANOVA). Model, maksimum elektriksel iletkenliği, 1619 Hz frekansta, voltaj 15.56 V'da ve GF miktarı ağırlıkça % 9.99 için 6.93×10^{-8} S cm⁻¹ olarak öngörmüştür.

Anahtar kelimeler: Polimer/GF kompozit, İletkenlik, Cevap yüzey yöntemi, ANOVA.

Optimization of Conductivity of Poly (VPi-co-MA) / Graphene Composites by Using Response Surface Method

Abstract

In this study, firstly Poly(Vinyl pivalate-co-Maleic anhydride) [poly(VPi-co-MA)] copolymer was synthesized by Free radical polymerization method at 65 °C for 24 hours. The composites of the copolymer characterized by FT-IR containing different amounts of Graphene (GF) were prepared by solution casting technique. Composites were characterized by FT-IR and SEM techniques. Response surface method (RSM) was used to obtain a quantitative relationship between applied voltage, frequency and GF content. The measured response is the electrical conductivity of the composites. The importance of parameters (frequency, voltage, and GF amount) in the model was determined by variance analysis (ANOVA). The model predicted maximum electrical conductivity as 6.93×10^{-8} S cm⁻¹ for frequency at 1619 Hz, voltage at 15.56 V, and GF amount 9.99%.

Keywords: Polymer / GF composite, Conductivity, Response surface method, ANOVA.

1. Giriş

Gündelik hayatımızda polimerden yapılmış malzemeler sık karşımıza çıkmaktadır. Polimerlerin bu şekilde yaygın kullanılmalarının en önemli sebeplerinden biri elde edilen bir polimerin eksik bulunan özelliğinin kimyasal modifikasyonla ya da karışımlarının hazırlanmasıyla değiştirilebilmesidir. Örneğin, elektronik cihazlarda kullanılan polimerlerin yüksek ısı iletkenliğe sahip olmaları istenmektedir. Bu yüzden ısı iletken olan polimerler üzerine yapılan çalışmaların sayısı artırılmakta ve polimerlerin mevcut iletkenliklerini iyileştirici katkı maddeleri kullanılmaktadır [1-3].

Günümüzde, nanomalzemeler yapısal özellikleri nedeniyle çok çeşitli uygulamalara sahiptirler. Özellikle, polimer / inorganik kompozitlerin hazırlanmasında dolgu maddesi olarak inorganik nanomalzemelerin kullanımına olan ilgi otomotiv, havacılık, inşaat ve elektronik sanayideki sayısız uygulamaları nedeniyle her geçen gün artmıştır [4-6]. Şimdiye kadar, araştırmaların çoğu,

*Sorumlu yazar: gtorgut@munzur.edu.tr

Geliş Tarihi: 13.05.2019, Kabul Tarihi: 11.11.2019

montmorillonit tipi katmanlı silikat bileşikler, sentetik kil [5, 6] veya doğal kökenli tabakalara dayanan polimer nanokompozitler üzerine odaklanmıştır. Ancak kil minerallerinin elektriksel ve termal iletkenliği oldukça zayıftır [7-9]. Bu eksikliklerin üstesinden gelmek için, karbon siyahı, karbon nanotüp (CNT) ve karbon nanofiber (CNF) gibi karbon bazlı nano doldurucular polimer nanokompozitlerin hazırlanmasında kullanılmıştır [10]. Bunların arasında CNT'lerin iletken dolgu maddesi [11] olarak çok etkili olduğu kanıtlanmıştır. Ancak CNT'lerin nano dolgu maddesi olarak kullanılmasının tek dezavantajı, yüksek üretim maliyetleridir [12]. Bu nedenle, CNT bazlı kompozit malzemelerin seri üretimi çok zordur ve çalışmalar uygun maliyetli iletken bir malzeme olan grafen üzerine yoğunlaşmıştır.

Grafen, petek bir kristal kafes içinde yoğun bir şekilde paketlenmiş, bir atom kalınlığında düzlemsel sp^2 bağlı karbon atomu tabakasına sahip iki boyutlu bir karbon nanofiller olarak kabul edilir. “Evrendeki en ince malzeme” olarak kabul edilir [13]. Grafenin, yüksek termal iletkenlik, üstün mekanik özellikler ve mükemmel elektronik taşıma kapasitesi gibi olağanüstü özelliklere sahip olduğu bilinmektedir [14]. Grafenin kendine özgü bu özellikleri, sayısız cihazda uygulama alanı bulmasını sağlamıştır [15]. Termal ve elektriksel olarak iletken olan nanokompozitler, ultra-ince karbon filmler, elektronik devreler, sensörler, ekranlar ve güneş pilleri bu kullanım alanlarına örnek olarak verilebilir [16, 17]. Bir nano doldurucu olarak grafen, daha yüksek yüzey alanı, en boy oranı, çekme dayanımı, sahip olduğu ısıl ve elektriksel iletkenlik nedeniyle diğer geleneksel nano doldurucular yerine tercih edilebilir.

Maleik anhidrit (MA), $C_4H_2O_3$ genel formülüne sahip çok fonksiyonlu ve kopolimerizasyon sistemlerinde çok tercih edilen eşsiz bir elektron-alıcı monomerdır. MA içerikli kopolimerler reaktif anhidrit halkası nedeniyle halka açılma tepkimeleri için oldukça elverişlidirler. Bu özelliklerine ek olarak ekonomik olmaları da onları birçok alanda yaygın olarak kullanılabilir hale getirmiştir. Yapıştırıcı özellik gösteren kompozitlerin hazırlanmasında, petrol su karışımlarının ayrılmasında ve mikro elektronikte kullanılmaktadırlar [18].

Cevap Yüzey Yöntemi (CYY) ve faktör tasarımı, deneysel modelleme için yaygın olarak kullanılan matematiksel ve istatistiksel bir tekniktir [19]. Sorunların analizinde ve bağımsız süreç faktörleri arasındaki zorlu ilişkilerin belirlenmesinde başarılı bir yöntemdir. Ayrıca, CYY parametrelerin önemini belirler ve bir süreci optimize eder. Ek olarak, sadeliği ve parametreler arasındaki etkileşimi göz önünde bulundurma kabiliyeti nedeniyle tercih edilir [20]. CYY'ni optimizasyonda kullanmak, minimum deneme sayısı ile daha doğru ve eksiksiz sonuçlar sağlar. CYY beş adımdan oluşur: İstenilen parametrelerin ve seviyelerinin tercihi, uygun tasarımla gerekli testlerin oluşturulması, deneylerin yapılması ve regresyon analizi, optimum çalışma koşulunun hesaplanması ve modelin doğrulanması [21].

Bu çalışmanın amacı, Poli (VPi-ko-MA)/Grafen kompozitinin iletkenliğini tahmin etmek için CYY deney tasarımını kullanmak ve iletkenlik üzerine GF miktarının, frekans ve voltaj gibi farklı önemli parametrelerin etkisini karşılaştırmaktır. Bu çalışmanın daha önce hiç yapılmamış olması dikkat çekicidir ve hazırlanan kompozitlerin hangi şartlarda en iyi iletkenlik göstereceği ilerdeki uygulama alanına ışık tutacaktır.

2. Materyal ve Metot

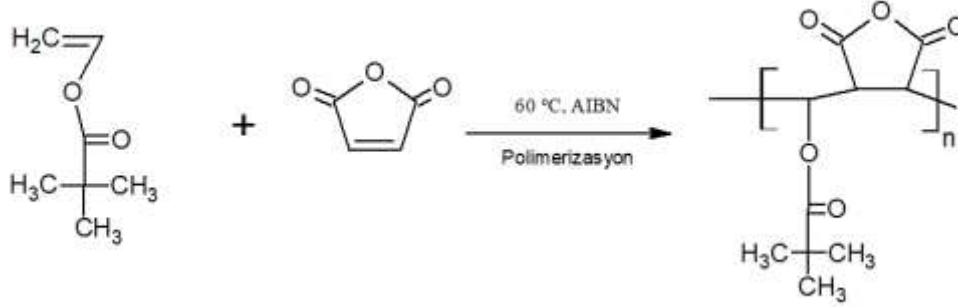
2.1. Malzemeler

Maleik anhidrit, Vinil Pivalat, GF ve Dioksan Sigma'dan satın alınmıştır. 2,2'-azobisisobütironitril (AIBN), kloroformdan yeniden kristalleştirilmiş ve başlatıcı olarak kullanılmıştır. Tüm kimyasallar başka bir işlem yapılmadan alındığı şekilde kullanılmıştır.

2.2. Kompozit Sentezi

Poli(VPi-ko-MA) kopolimerini sentezlemek için, geri soğutucu ve azot gazı tüpüne bağlanan 3 boyunlu bir balona 20 ml 1,4-Dioksan konulmuştur. Reaksiyon balonuna soğuk ortamda 1 g vinil pivalat ve 1 g maleik anhidrit eklenmiştir. Daha sonra, reaksiyon karışımına 0.02 g AIBN radikal başlatıcısı ilave edilmiştir. Tamamen çözüldükten sonra, argon gazı karışımından 10 dakika boyunca geçirilmiştir. Bu işlemden sonra, deney balonu $65^\circ C$ 'ye ayarlanmış yağ banyosuna yerleştirilerek polimerizasyon

reaksiyonu başlatılmış ve reaksiyon 24 saat sonra sonlandırılmıştır. Konsantre olan polimer çözeltisi soğuk ve fazla dietil eter içinde çöktürülerek süzölmüş ve 24 saat boyunca 40 °C vakumlu etüvde kurutulmuştur. Kompozit filmler, çözelti döküm tekniği ile hazırlanmıştır. Toz poli(VPi-ko-MA) kopolimeri yaklaşık 10 ml tetrahidrofuran içinde çözülmüştür. Daha sonra ağırlıkça % 2, 5, 8 ve 10 miktarlarında GF parçacıkları çözelti ile ultrasonik banyoda yarım saat karıştırılarak yuvarlak bir teflon kaba dökölmüştür. Hazırlanan kompozit önce açık havada sonra 45 °C'de vakum altında birkaç saat kurutulmuştur. Poli(VPi-ko-MA) kopolimeri sentezinin şematik gösterimi Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Kopolimerizasyon reaksiyon şeması

2.3. Deneysel dizayn

Bu çalışmada tasarım sürecinin geliştirilmesi, iyileştirilmesi ve optimize edilmesi için bir deney yöntemi olan CYY, çalışma parametrelerinin olası etkileşimlerindeki önemini araştırmak için kullanılmıştır. Merkezi kompozit tasarım (MKT), istatistiksel analiz yapmak ve regresyon modelini oluşturmak için Tasarım Uzman Yazılımı, sürüm 7.0.0 kullanılarak oluşturulmuştur. ANOVA (Varyans Analizi) kullanılarak istatistiksel olarak daha önemli model parametreleri tanımlanmıştır. Bu araştırma için üç değişken vardır: frekans (A), voltaj (B) ve Grafen miktarı (C). İletkenlik kullanılan yöntemin cevabıdır. Çalışma için her biri üç seviyede üç değişken kullanılarak yirmi deney yapılmıştır (Tablo 2). Üç bağımsız değişken arasındaki matematiksel ilişki, aşağıdaki denklemlerle ifade edilebilir.

$$R = \beta_0 + \sum_{i=1}^n \beta_i x_i + \sum_{i=1}^n \beta_{ii} x_i^2 + \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \beta_{ij} x_i x_j \quad (1)$$

Burada: R = tahmin edilen cevap (İletkenlik),
 x_i, x_j = bağımsız değişkenler,
 $\beta_0, \beta_i, \beta_{ii}, \beta_{ij}$ = modelin bulduğu katsayılarıdır.

Tablo 1. Deneysel tasarımda değişken faktörler ve özellikleri

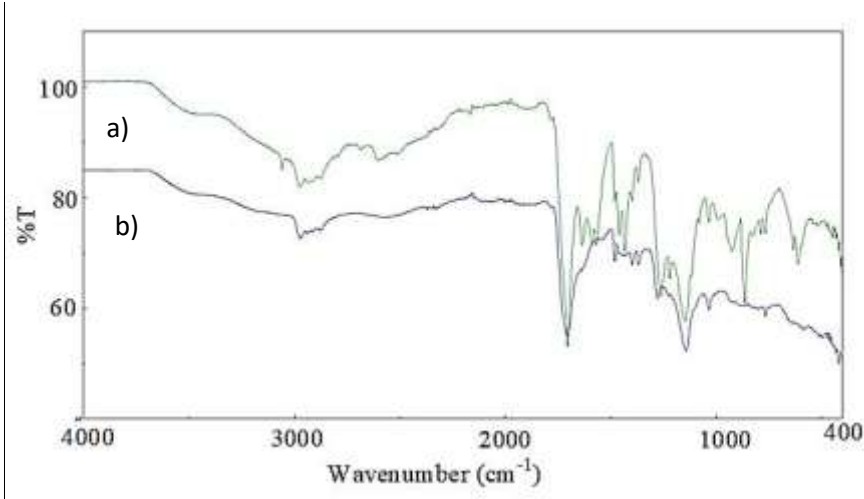
| Faktörler | Çalışma aralığı ve değerleri | | | | |
|-----------------------------------|------------------------------|-------|---------|--------|--------------------|
| | $-\alpha$ (-1.682) | -1 | 0 | +1 | $+\alpha$ (+1.682) |
| X_1 (A): Frekans (Hertz) | 50 | 537.5 | 1025.00 | 1512.5 | 2000 |
| X_2 (B): Voltaj (Volt) | -20 | -10 | 0.000 | 10 | 20 |
| X_3 (C): Kütlece grafen yüzdesi | 0 | 2.5 | 5.000 | 7.5 | 10 |

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Örneklerin FT-IR ve SEM Karakterizasyonu

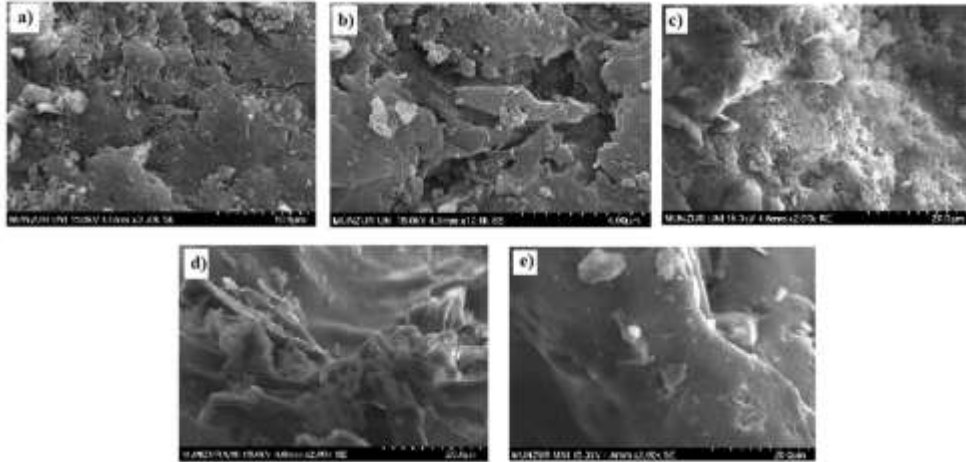
Şekil 2, saf poli(VPi-ko-MA) ve poli(VPi-ko-MA)/GF%8 bileşiklerinin ATR eğrilerini göstermektedir. Spektrum incelendiğinde poli(VPi-ko-MA) ve poli(VPi-ko-MA)/GN'nin pik pozisyonları temel olarak aynıdır ve GN'nin bariz bir absorpsiyon pikinin olmadığı açıktır. Spektrumda, 2974-3053 cm^{-1} VPi birimlerine ait metil gruplarını gösterirken, 1700 cm^{-1} MA halkasındaki C=O grubunun asimmetrik

gerilme titreşim bantlarını göstermektedir [22]. 1845 ve 1767 cm^{-1} bantları MA halkasındaki simetrik ve antisimetrik gerginliği gösterir. 1190 ve 1143 cm^{-1} kopolimerdeki C=O ve O(C=O) anhidrit bantlarıdır.



Şekil 2. a) poli(VPi-ko-MA) ve b) poli(VPi-ko-MA)/GF%8 bileşiklerinin IR spektrumu

Saf poli(VPi-ko-MA) kopolimerinin ve kütlece farklı oranlarda GF (%2, %5, %8, %10) ile katılanmış kompozitlerinin yüzey morfolojisi SEM ile karakterize edilmiştir. Şekil 3a, 3b ve 3c'de gösterildiği gibi, hem poli(VPi-ko-MA) hemde poli(VPi-ko-MA)/GF%2 ve poli(VPi-ko-MA)/GF%5 kompozitleri gözenekli bir yapıya sahiptir. Grafen yüzdesi arttıkça yüzeyin pürüzsüzleştiği şekil 3d ve 3e'de açıktır. Buda polimerin yüzey alanının GF katmanının yüklenmesi için elverişli olduğunu göstermektedir.



Şekil 3. SEM görüntüleri a) saf poli(VPi-ko-MA) b) poli(VPi-ko-MA)/GF%2 c) poli(VPi-ko-MA)/GF%5 d) poli(VPi-ko-MA)/GF%8 e) poli(VPi-ko-MA)/GF%10

3.2. Varyans Analizi ve Optimizasyon

Bu çalışmada, voltaj, frekans ve grafen miktarı proses değişkenleri olarak seçilmiş ve MKT kullanılarak kompozitlerin elektriksel iletkenliği araştırılmıştır. Tablo 2, bu çalışmada kullanılan MKT deneysel tasarımında 20 deney için değişken değerleri ve iletkenlik sonuçlarını listelemektedir. Poli(VPi-ko-MA) kopolimerin iletkenliği, varyans analizi (ANOVA) kullanılarak istatistiksel olarak analiz edilmiştir ve sonuçlar Tablo 3'te verilmiştir. Üç değişken ve cevap arasındaki matematiksel ilişki ikinci dereceden polinom denklemi ile aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$\begin{aligned}
\text{iletkenlik} = & +4.766E - 009 + 4.835E - 009A + 6.629E - 012B + 1.370E - 008C - 2.764E \\
& - 012AB + 4.959E - 009AC + 1.061E - 011BC + 6.219E - 010A^2 + 1.891E \\
& - 010B^2 + 9.626E - 009C^2
\end{aligned} \quad (2)$$

Eşitlik 2'deki pozitif işaretler sinerjik etkiyi gösterirken, negatif işaretler anta gonistik etkiyi göstermektedir [23]. Bu eşitliğe göre, frekans (A), voltaj (B) ve grafen miktarı (C) pozitif etkiye sahiptir. Buda poli(VPI-ko-MA) kopolimeri ve poli(VPI-ko-MA)/GF kompozitlerinin iletkenliğinin; frekans, voltaj ve GF miktarı artırıldığı zaman artacağını göstermektedir. Elektriksel iletkenlik için varyans analizi sonuçları (Tablo 3) incelendiği zaman C ve C^2 'nin önemli model terimleri olduğu görülmektedir ($P < 0.05$). Değişkenlere ait P -değerleri karşılaştırıldığında, GF miktarı için 0,1 den küçük olan değeri bu değişkenin lineer etkisinin önemli olduğunu; bu değişkende yapılacak herhangi bir değişikliğin kompozitin iletkenliğini değiştireceğini göstermektedir. Aynı zamanda GF miktarının (C) lineer etkisinin yanında ikinci dereceden etkisinin de oldukça önemli olduğu görülmektedir.

Tablo 2. Deneysel dizayn ve MKT sonuçları.

| Deney Sıra No | Bağımsız değişkenler | | | Cevap (Y) |
|---------------|-------------------------|--------------------|------------------------------|-----------------------|
| | A Frekans, (Hertz) | B Voltaj, (V) | C Grafen miktarı, (%wt) | iletkenlik (S/cm) |
| 1 | 445.26 | -11.89 | 2.03 | 1.59×10^{-9} |
| 2 | 445.26 | 11.89 | 2.03 | 1.59×10^{-9} |
| 3 | 1604.74 | -11.89 | 7.97 | 3.93×10^{-8} |
| 4 | 1025 | 0.00 | 5.00 | 4.83×10^{-9} |
| 5 | 1025 | 0.00 | 5.00 | 4.79×10^{-9} |
| 6 | 1604.74 | -11.89 | 2.03 | 5.51×10^{-9} |
| 7 | 1025 | 0.00 | 5.00 | 4.83×10^{-9} |
| 8 | 1025 | 0.00 | 5.00 | 4.79×10^{-9} |
| 9 | 1604.74 | 11.89 | 7.97 | 3.94×10^{-8} |
| 10 | 1025 | 0.00 | 0.00 | 4.37×10^{-9} |
| 11 | 1025 | 0.00 | 5.00 | 4.79×10^{-9} |
| 12 | 1025 | 0.00 | 10.00 | 5.86×10^{-8} |
| 13 | 2000 | 0.00 | 5.00 | 9.23×10^{-9} |
| 14 | 1025 | 0.00 | 5.00 | 4.79×10^{-9} |
| 15 | 445.26 | -11.89 | 7.97 | 1.56×10^{-8} |
| 16 | 50 | 0.00 | 5.00 | 2.88×10^{-9} |
| 17 | 445.26 | 11.89 | 7.97 | 1.56×10^{-8} |
| 18 | 1604.74 | 11.89 | 2.03 | 5.51×10^{-9} |
| 19 | 1025 | 0.00 | 5.00 | 4.79×10^{-9} |
| 20 | 1025 | 0.00 | 5.00 | 4.79×10^{-9} |

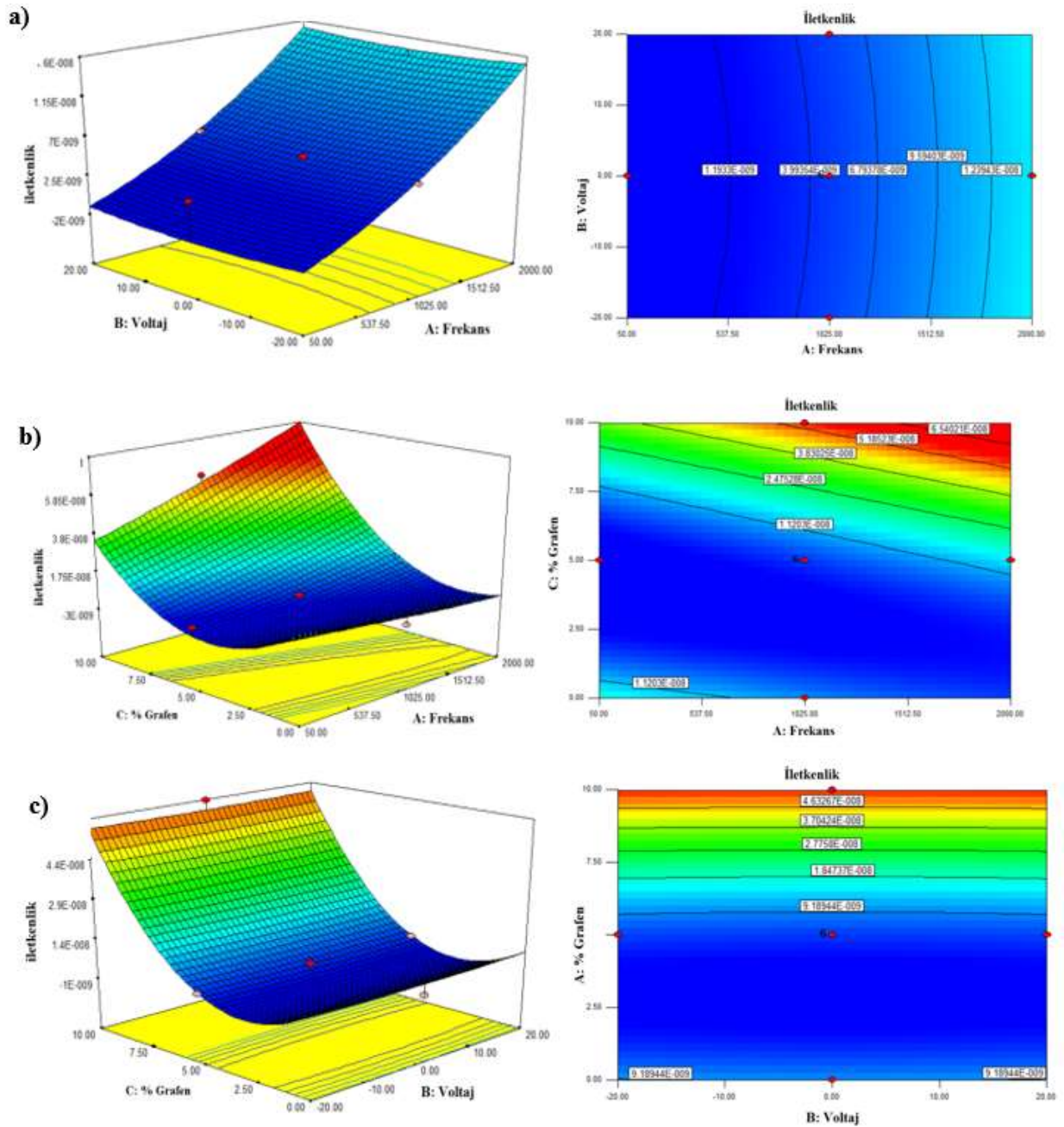
ANOVA bir deneysel tasarımda hangi faktörün en önemli olduğunu gösterir. Ayrıca, araştırılan faktörler arasındaki ilişkiyi belirler ve deney sonuçlarının anlamlı olup olmadığı hakkında bilgi verir [24]. ANOVA'dan elde edilen sonuçlar Tablo 3'de gösterilmektedir. Modelin P ve F değerleri sırasıyla < 0.0001 ve 34.26 'dır. İletkenlik için korelasyon katsayısının yüksek değeri ($R^2 = 0.97$), deneysel veriler ile model arasında iyi bir ilişki olduğunu kanıtlar. R^2 değerinin %97 olması, iletkenlik için toplam varyasyonun %97'sinin değişken faktörlere bağlı olduğunu göstermektedir [25].

Elektriksel iletkenlik üzerine her seferinde iki faktörün etkileşim etkilerinin 3D ve kontur grafikleri Şekil 4'de gösterilmiştir. Grafikler, üçüncü parametrenin orta seviyesindeki iki parametre arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Şekil 4a'da, AC iletkenliği, frekansla neredeyse doğrusal olarak artmıştır buna neden olarak ara yüzey polarizasyonu ve kompozitlerde meydana gelen dielektrik gevşeme süreçleri gösterilebilir [26]. Ancak artan voltajla iletkenliğin önemli ölçüde değişmediği gözlenmiştir [27]. Şekil 4b, grafen miktarı ve frekans arasındaki ilişkiyi göstermektedir. En yüksek iletkenlik yüksek frekans ve yüksek grafen miktarlarında gözlenmiştir. Özellikle grafen miktarı AC iletkenlik üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Buda ANOVA sonuçlarıyla desteklenmiştir. Voltaja karşı grafen yüzdesi (Şekil 4c) için yüzey grafiği incelendiğinde grafen miktarı %10'a yakın iken en yüksek iletkenlik gözlenirken voltajın iletkenlik üzerinde önemli bir etkisi olmadığı açıktır.

Tablo 3. Elektriksel iletkenlik için varyans analizi

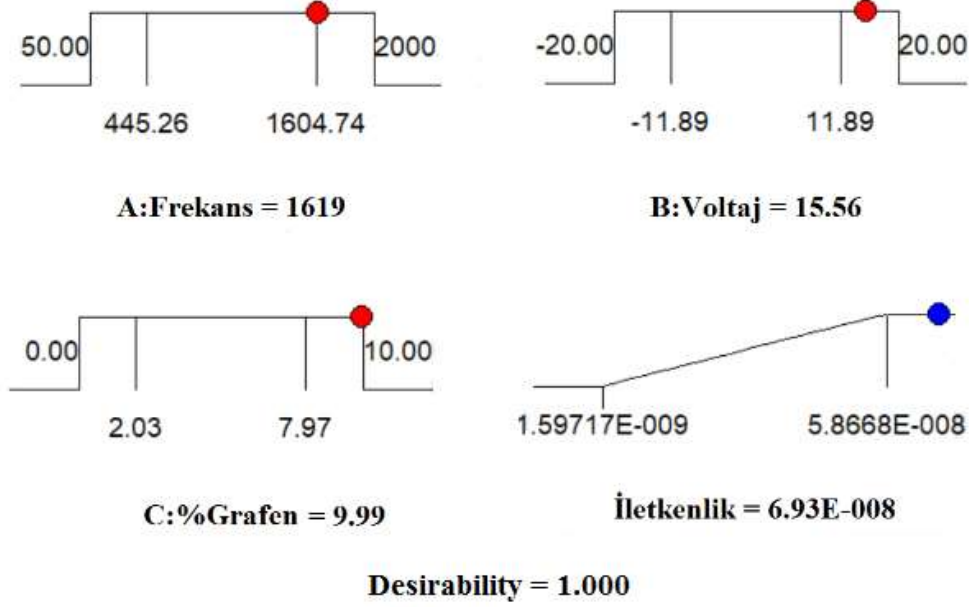
| Kaynak | Kareler toplamı | Serbestlik derecesi | Ortalama kare | F- değeri | P-değeri P > F | Anlamlılık |
|----------------|-------------------------|---------------------|-------------------------|------------------------|----------------|------------|
| Model | 4.425×10^{-15} | 9 | 4.916×10^{-16} | 34.26 | < 0.0001 | anlamlı |
| A-Frekans | 3.193×10^{-16} | 1 | 3.193×10^{-16} | 22.25 | 0.0008 | |
| B-Voltaj | 6.002×10^{-22} | 1 | 6.002×10^{-22} | 4.183×10^{-5} | 0.9950 | |
| C-% Grafen | 2.564×10^{-15} | 1 | 2.564×10^{-15} | 178.66 | < 0.0001 | |
| AB | 6.111×10^{-23} | 1 | 6.111×10^{-23} | 4.258×10^{-6} | 0.9984 | |
| AC | 1.967×10^{-16} | 1 | 1.967×10^{-16} | 13.71 | 0.0041 | |
| BC | 8.999×10^{-22} | 1 | 8.999×10^{-22} | 6.272×10^{-5} | 0.9938 | |
| A ² | 5.573×10^{-18} | 1 | 5.573×10^{-18} | 0.39 | 0.5471 | |
| B ² | 5.151×10^{-19} | 1 | 5.151×10^{-19} | 0.036 | 0.8535 | |
| C ² | 1.335×10^{-15} | 1 | 1.335×10^{-15} | 93.06 | < 0.0001 | |
| Uyum eksikliği | 1.435×10^{-16} | 5 | 2.870×10^{-17} | 52.68 | 0.0002 | anlamlı |
| Saf hata | 0.000 | 5 | 0.000 | | | |

$R^2 = 0.97$, Ayarlanmış $R^2 = 0.94$, Tahmini $R^2 = 0.76$, Yeterli hassasiyet=21.14



Şekil 4. Farklı deneysel şartlar için poli(VPI-co-MA) kopolimerinin AC iletkenliğinin 3D ve kontur grafikleri

Poli(VPi-ko-MA) kopolimerinin maksimum AC iletkenliği için Desing expert'in desirability programı kullanılmıştır ve optimum şartlar belirlenerek ve Şekil 5'de verilmiştir. Bulunan optimum şartlar, frekans için 1619 Hz, voltaj için 15.56 ve grafen miktarı için %9.99'dur. Bu şartlarda AC iletkenlik değeri 6.93×10^{-8} olarak bulunmuştur.



Şekil 5. Maksimum iletkenliği veren parametrelerin optimum değerleri

4. Sonuç

Bu çalışmada, sentezlenen ve karakterize edilen poli(VPi-ko-MA) kopolimerinin en yüksek AC iletkenliği ve optimum proses şartları cevap yüzey yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Merkezi kompozit tasarım, frekans, uygulanan voltaj ve grafen miktarı arasında kantitatif ilişkiler kurmak için kullanılmıştır. Modelde terimlerin önemi varyans analizi (ANOVA) sonuçlarının analizi ile incelenmiş ve istatistiksel olarak önemsiz terimlerin ortadan kaldırılmasıyla daha basit ancak daha verimli model elde edilmiştir. Cevap yüzey yöntemi kullanılarak en yüksek elektriksel iletkenlik değeri ($6,98 \times 10^{-8}$) için optimum proses şartları, 1619 Hz frekans, 15.56 V voltaj ve %9.99 GF miktarı olarak bulunmuştur. İletkenlik için, ANOVA ile bulunan regrasyon katsayısı $R^2 = 0.97$ 'dir ve toplam varyasyonun sadece %3'ünün modelle açıklanamadığını göstermektedir. Sonuçlar, elektriksel iletkenliğin MKT modeliyle çok kesin bir şekilde tahmin edilebileceğini göstermiştir. Poli(VPi-ko-MA) kopolimerinin elektriksel iletkenliği, frekans ve grafen %'sinin artmasıyla önemli ölçüde artmıştır. Voltaj değişikliğinin ise iletkenlik üzerinde önemli bir etkisinin olmadığı görülmüştür.

Yazarların Katkısı

Çalışmanın tasarlanmasında, deneylerin 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] Koçyiğit Ü.M., Zengin H.B. 2015. Maleik Anhidrit Vinil Asetat Kopolimerinin Ester ve Karboksilat Tuz Türevlerinin Sentezi ve Karakterizasyonu. Cumhuriyet Üniversitesi Fen Fakültesi Fen Bilimleri Dergisi (CFD), 36 (5): 47-56.
- [2] Tavman D.H., Turgut A. 2006. Mikro ve nano boyutlu tanecik katkılı polimer kompozitlerin mekanik özellikleri. Proceedings of 11th International Materials Symposium, April 19-21 Nisan, Denizli, 570-575.
- [3] Boztuğ A. 1999. Bazı maleik anhidrit terpolimerlerinin ester türevlerinde bilişimin ısısal ve termomekanik özelliklere etkisi. Doktora Tezi, Cumhuriyet Üniversitesi, Fen-Bilimleri Enstitüsü, Sivas.
- [4] Godovsky D.Y. 2000. Device applications of polymer-nanocomposites. *Advances in Polymer Science*, 153: 163-205.
- [5] Alexandre M., Dubois P. 2000. Polymer-layered silicate nanocomposites: preparation, properties and uses of a new class of materials. *Materials Science and Engineering: R: Reports*, 28 (1-2): 1-63.
- [6] Ray S.S., Okamoto M. 2003. Polymer/layered silicate nanocomposites: a review from preparation to processing. *Progress in Polymer Science*, 28 (11): 1539–1641.
- [7] Garcia N.J., Bazan J.C. 2009. Electrical conductivity of montmorillonite as a function of relative humidity: La-montmorillonite. *Clay Minerals*, 44 (1): 81-88.
- [8] Uddin F. 2008. Clays, nanoclays, and montmorillonite minerals. *Metallurgical and Materials Transactions A*, 39 (12): 2804-2814.
- [9] Bao Y.Z., Cong L.F., Huang Z.M., Weng Z.X. 2008. Preparation and proton conductivity of poly(vinylidene fluoride)/layered double hydroxide nanocomposite gel electrolytes. *Journal of Materials Science*, 43 (1): 390-394.
- [10] Li Q., Park O.K., Lee J.H. 2009. Positive temperature coefficient behavior of HDPE/EVA blends filled with carbon black. *Advanced Materials Research*, 79: 2267-2270.
- [11] Geng Y., Liu M.Y., Li J., Shi X.M., Kim J.K. 2008. Effects of surfactant treatment on mechanical and electrical properties of CNT/epoxy nanocomposites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 39 (12): 1876-1883.
- [12] Liu N., Luo F., Wu H., Liu Y., Zhang C., Chen J. 2008. One step ionic-liquid-assisted electrochemical synthesis of ionic-liquid-functionalized graphene sheets directly from graphene. *Advanced Functional Materials*, 18: 1518-1525.
- [13] Geim A.K., MacDonald A.H. 2007. Graphene: exploring carbon flatland. *Physics Today*, 60 (8): 35-41.
- [14] Dreyer R.D., Park S., Bielawski C.W., Ruoff R.S. 2010. The chemistry of graphene oxide. *Chemical society reviews*, 39: 228-240.
- [15] Allen M.J., Tung V.C., Kaner R.B. 2010. Honeycomb carbon: a review of graphene. *Chemical reviews*, 110 (1): 132-145.
- [16] Matsuo Y., Hatase K., Sugie Y. 1999. Selective intercalation of aromatic molecules into alkyltrimethylammonium ion-intercalated graphite oxide. *Chemistry Letters*, 28 (10): 1109-1110.
- [17] Cassagneau T., Fendler J.H. 1998. High density rechargeable lithium-ion batteries self-assembled from graphite oxide nanoplatelets and polyelectrolytes. *Advanced Materials*, 10 (11): 877-881.
- [18] Şengöz O. 2014. Maleik anhidrit içeren kopolimerlerin sentezi, karakterizasyonu ve modifikasyonu. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- [19] Nasouri K., Shoushtari A.M. 2017. Designing, modeling and manufacturing of lightweight carbon nanotubes/polymer composite nanofibers for electromagnetic interference shielding application. *Composites Science and Technology*, 145: 46-54.
- [20] Arabia M., Ghaedia M., Ostovan A. 2016. Development of dummy molecularly imprinted based on functionalized silica nanoparticles for determination of acrylamide in processed food by matrix solid phase dispersion. *Food chemistry*, 210: 78-84.
- [21] Dyartanti E.R., Susanto H., Widiasta I.N., Purwanto A. 2017. Response surface method (RSM) for optimization of ionic conductivity of membranes polymer electrolyte poly (vinylidene fluoride) (PVDF) with polyvinyl pyrrolidone (PVP) as pore forming agent. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* 206: 012052.

- [23] Dincer S., Koseli V., Kesim H., Piskin E. 2002. Radical copolymerization of N-isopropylacrylamide with anhydrides of maleic and citraconic acids. *European Polymer Journal*, 38 (11): 2143-2152.
- [24] Kumar R., Singh R., Kumar N., Bishnoi K., Bishnoi N. 2009. Response surface methodology approach for optimization of biosorption process for removal of Cr (VI), Ni (II) and Zn (II) ions by immobilized bacterial biomass sp. *Bacillus brevis*. *Chemical Engineering Journal*, 146 (3): 401-407.
- [25] Wang B., Okoth O.K., Yan K., Zhang J. 2016. A highly selective electrochemical sensor for 4-chloro phenol determination based on molecularly imprinted polymer and PDDA-functionalized graphene. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 236: 294-303.
- [26] Tanyol M. 2017. Malahit Yeşili İçeren Atıksuların Fenton Oksidasyon Prosesi İle Renk Gideriminde İşletme Parametrelerinin Optimizasyonu. *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 29 (1): 183-191.
- [27] Kar E., Bose N., Dutta B., Mukherjee N., Mukherjee S. 2017. Poly(vinylidene fluoride)/submicron graphite platelet composite: A smart, lightweight flexible material with significantly enhanced β polymorphism, dielectric and microwave shielding properties. *European Polymer Journal*, 90: 442-455.
- [28] Hakkak F., Rafizadeh M., Sarabi A.A., Yousefi M. 2015. Optimization of ionic conductivity of electrospun polyacrylonitrile/poly (vinylidene fluoride) (PAN/PVdF) electrolyte using the response surface method (RSM). *Ionics*, 21 (7): 1945-1957.

Araştırma Makalesi / Research Article

Paraserbest Lie Cebirlerinin Ters Limiti

Zehra VELİOĞLU*

*Harran Üniversitesi, Matematik Bölümü, Şanlıurfa
(ORCID: 0000-0001-7151-8534)*

Öz

Bu çalışmada paraserbest Lie cebirlerinin ters limiti incelenmiştir. Ayrıca bir paraserbest Lie cebirinin Lie cebirlerden oluşan bir ters sistemin ters limitinin içine gömülebileceği gösterilmiştir. Bu sonuç kullanılarak her sonlu üretilmiş paraserbest metabelyen Lie cebirinin rezidüel sonlu olan bir cebirin içine gömülebileceği ispatlanmıştır.

Anahtar kelimeler: Paraserbest Lie Cebirleri, Ters Limit, Rezidüel sonlu.

Inverse Limit of Parafree Lie Algebras

Abstract

In this work we investigate inverse limit of parafree Lie algebras. Moreover we show that a parafree Lie algebra can be embedded in inverse limit of a inverse system of some Lie algebras. Using that result, we prove that every finitely generated parafree metabelian Lie algebras can be embedded in residually finite algebra.

Keywords: Parafree Lie Algebras, Inverse Limit, Residually Finite.

1. Giriş

Paraserbest grupların tanımı ilk olarak Baumslag tarafından yapılmıştır [1-3]. Daha sonra Baumslag ve Cleary bir bağıntılı paraserbest gruplar üzerinde çalışmış ve bu gruplar ile ilgili önemli sonuçlar elde etmiştir [4]. Baur paraserbest grupların tanımını Lie cebirlerine uyarlayarak paraserbest Lie cebirlerinin tanımını yapmıştır [5]. Daha sonra Ekici ve Velioğlu paraserbest Lie cebirlerinin direkt limiti [6] ve birleşimi [7] üzerinde çalışmalar yapmıştır.

Paraserbest Lie cebirleri serbest Lie cebirleri ile birçok ortak özellikleri olması bakımından özel bir cebir sınıfıdır. Buna rağmen bu özel cebir sınıfı henüz çok çalışılmamıştır. Bu çalışmada paraserbest Lie cebirlerinin ters limiti incelenmiş olup bir paraserbest Lie cebirinin Lie cebirlerden oluşan bir ters sistemin ters limitinin içine gömülebileceği gösterilmiştir. Ayrıca bu sonuç kullanılarak her sonlu üretilmiş paraserbest metabelyen Lie cebirinin rezidüel sonlu olan bir cebirin içine gömülebileceği ispatlanmıştır.

2. Gerekli Tanımlar

Bu çalışmada kullanılan tüm Lie cebirleri bir K cismi üzerinde tanımlı olup bu cismin karakteristiğinin sıfır olduğu kabul edilecektir.

Tanım 2.1. Bir L Lie cebirinin alt merkezi serisi aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$\gamma_1(L) = L, \gamma_2(L) = [L, L], \gamma_3(L) = [L, \gamma_2(L)], \dots, \gamma_k(L) = [L, \gamma_{k-1}(L)], \dots$$

olmak üzere,

$$L = \gamma_1(L) \supset \gamma_2(L) \supset \gamma_3(L) \supset \dots \supset \gamma_k(L) \supset \dots$$

*Sorumlu yazar: zehrav@harran.edu.tr

Geliş Tarihi: 14.05.2019, Kabul Tarihi: 08.08.2020

Tanım 2.2. Eğer $\gamma_k(L) = \{0\}$ ise L ye nilpotent Lie cebiri denir. Bu pozitif k tamsayılarının en küçüğüne ise L nin nilpotentlik sınıfı denir.

Eğer $\gamma_2(L) = \{0\}$ ise L ye abelyen denir.

$\gamma_2(L)$ nin alt merkezi serisinin ikinci terimi L'' ile gösterilir. Eğer $L'' = \{0\}$ ise L ye metabelyen denir.

Tanım 2.3. Eğer $\bigcap_{n \geq 2} \gamma_n(L) = \{0\}$ ise L ye rezidülu nilpotent denir.

Tanım 2.4. L bir Lie cebiri olsun. Aşağıdaki koşulların sağlanması durumunda L ye bir paraserbest Lie cebiri denir.

- i) L rezidülu nilpotenttir,
- ii) F serbest üreteç kümesi X olan bir serbest Lie cebiri olsun. O halde her $n \geq 2$ için $L/\gamma_n(L) \cong F/\gamma_n(F)$ dir.

3. Lie Cebirlerinin Ters Limiti

Tanım 3.1. J kümesi kısmi sıralı olmak üzere her $\alpha, \beta \in J$ için $\alpha \leq \gamma$ ve $\beta \leq \gamma$ olacak şekilde bir $\gamma \in J$ elemanı mevcut ise (J, \leq) ye bir direkt küme denir.

Tanım 3.2. J bir direkt küme ve her $\alpha \in J$ için A_α bir Lie cebiri olsun. Her $\alpha \leq \beta$ için $\pi_{\beta\alpha}: A_\beta \rightarrow A_\alpha$ homomorfizmlerini ele alalım. Aşağıdaki şartların oluşması durumunda

$$\left\{ \{A_\alpha\}_{\alpha \in J}, \{\pi_{\beta\alpha}\}_{\alpha \leq \beta} \right\}$$

sistemine bir ters sistem denir.

1. Id_{A_α} dönüşümü A_α üzerinde tanımlı birim dönüşümü olmak üzere her $\alpha \in J$ için $\pi_{\alpha\alpha} = \text{Id}_{A_\alpha}$.
2. $\alpha, \beta, \gamma \in J$ için, eğer $\alpha \leq \beta \leq \gamma$ sağlanıyorsa $\pi_{\gamma\alpha} = \pi_{\beta\alpha} \circ \pi_{\gamma\beta}$ dir.

Tanım 3.3. Her $\alpha \in J$ için A_α birer Lie cebiri ve $\left\{ \{A_\alpha\}_{\alpha \in J}, \{\pi_{\beta\alpha}\}_{\alpha \leq \beta} \right\}$ ise A_α ların bir ters sistemi olsun.

Bu sistemin ters limiti her $\alpha \in J$ için $\pi_\alpha: T \rightarrow A_\alpha$ homomorfizmi ile birlikte aşağıdaki özelliklerini sağlayan bir T Lie cebiridir.

1. Her $\alpha \leq \beta$ için $\pi_{\beta\alpha} \circ \pi_\beta = \pi_\alpha$ dir.
2. C bir Lie cebiri olmak üzere her $\alpha \leq \beta$ için $\varphi_\alpha = \varphi_\beta \circ \pi_{\beta\alpha}$ olacak şekilde $\varphi_\alpha: C \rightarrow A_\alpha$ dönüşümleri var olsun. O takdirde C den T ye bir tek $\varphi: C \rightarrow T$ homomorfizmi vardır ve her $\alpha \in J$ için $\varphi_\alpha = \pi_\alpha \circ \varphi$ sağlanır.

Bir ters sistemin ters limiti daima vardır ve bu limit izomorfizm farkıyla tek olup $T = \varprojlim A_\alpha$ ile gösterilir. Ayrıca

$$P = \prod_{\alpha \in J} A_\alpha,$$

A_α cebirlerinin direkt çarpımı olsun. Bu durumda

$$T = \varprojlim A_\alpha = \{(x_\alpha) \in P : \pi_{\beta\alpha}(x_\beta) = (x_\alpha), \alpha \leq \beta\}$$

olup ters limitin P nin bir alt cebiri olduğu söylenebilir.

Örnek 3.1. H bir Lie cebiri ve $N = \{\gamma_2(H), \gamma_3(H), \dots, \gamma_n(H), \dots\}$ ise H nin alt merkezi serisinin terimlerinin kümesi olsun. Bu küme ters içerilme bağıntısına ile birlikte bir direkt kümedir. Yani $i \leq j$ dir ancak ve ancak $\gamma_j(H) \subseteq \gamma_i(H)$ dir. Şimdi

$$\pi_{ji}: H/\gamma_j(H) \rightarrow H/\gamma_i(H)$$

doğal homomorfizmlerini ele alalım. Bu durumda

$$\left\{ \left\{ H/\gamma_i(H) \right\}_{i \geq 2}, \pi_{ji} \right\}_{i \leq j}$$

bir ters sistemdir. Bu sistemin ters limiti $\hat{H} = \lim_{\leftarrow} H/\gamma_i(H)$ ile gösterilir ve genellikle H nin tamlayıcısı olarak adlandırılır.

Önerme 3.1. Yukarda verilen örnekte H Lie cebiri eğer paraserbest ise bu cebir \hat{H} içine gömülebilir.

İspat. H Lie cebiri paraserbest ve \hat{H} ise $\left\{ \left\{ H/\gamma_i(H) \right\}_{i \geq 2}, \pi_{ji} \right\}_{i \leq j}$ sisteminin ters limiti olsun. $i \geq 2$ olmak üzere

$$\pi_i: \hat{H} \rightarrow H/\gamma_i(H)$$

ile tanımlı kanonik homomorfizmlerini ele alalım. Bu durumda \hat{H} limitini $\prod H/\gamma_i(H)$ ($i \geq 2$) direkt çarpımın bir alt cebiri olduğu biliniyor. O halde

$$h_i \in H \text{ ve } h_{i+1} \equiv h_i \pmod{\gamma_{i+1}(H)}$$

için bir $a \in \hat{H}$ elemanı $a = (h_1 + \gamma_2(H), h_2 + \gamma_3(H), \dots)$ şeklindedir. Bu durumda

$$\pi_i(a) = h_{i-1} + \gamma_i(H) \in H/\gamma_i(H)$$

dir. Ayrıca $i \geq 2$ için

$$\tau_i: H \rightarrow H/\gamma_i(H)$$

dönüşümleri $\pi_i \circ \beta = \tau_i$ için bir $\beta: H \rightarrow \hat{H}$ homomorfizmini gerçekler. Bu homomorfizm $u \in H$ için

$$\beta(u) = (u + \gamma_2(H), u + \gamma_3(H), \dots)$$

şeklinde tanımlanır. Şimdi bir $v \in \text{Ker} \beta$ elemanını ele alalım. Bu durumda

$$\beta(v) = (v + \gamma_2(H), v + \gamma_3(H), \dots) = \bar{0}$$

eşitliği elde edilir ve böylece

$$\beta(v) = (v + \gamma_2(H), v + \gamma_3(H), \dots) = (\gamma_2(H), \gamma_3(H), \dots)$$

olur. O halde her $i \geq 2$ için

$$v + \gamma_i(H) = \gamma_i(H)$$

olup her i için

$$v \in \gamma_i(H) \text{ ve } v \in \bigcap_{i=1}^{\infty} \gamma_i(H)$$

olur. H rezidülü nilpotent olduğu için

$$\bigcap_{i=1}^{\infty} \gamma_i(H) = \{0\}$$

dir. O halde

$$v = 0 \text{ ve } \text{Ker} \beta = \{0\}$$

dir. Bu β nın birebir olduğu anlamına gelir. O halde H, \hat{H} içine gömülebilir.

4. Rezidülü Sonlu Lie Cebirleri

Tanım 4.1. L bir Lie cebiri ve H ise sonlu boyutlu olan bir Lie cebiri olsun. Eğer her $0 \neq a \in L$ için $\phi(a) \neq 0$ olacak şekilde bir $\phi: L \rightarrow H$ homomorfizmi varsa ϕ ye rezidülü sonludur denir.

Önerme 4.1. Bir rezidülü sonlu Lie cebirinin her alt cebiri de rezidülü sonludur.

İspat: L rezidülü sonlu olan bir Lie cebiri ve T, L nin bir Lie alt cebiri olsun. $0 \neq h \in T$ elemanını ele alalım. L rezidülü sonlu olduğundan bir sonlu boyutlu H Lie cebiri ve bir

$$\phi: L \rightarrow H$$

homomorfizmi vardır öyle ki $\phi(h) \neq 0$ dir. Şimdi

$$\phi': T \rightarrow H$$

dönüşümü ϕ homomorfizminin T ye kısıtlanması olsun. O halde

$$\phi'(h) = \phi(h) \neq 0$$

dir. Böylece T rezidülü sonlu olur.

Önerme 4.2. $(L_i)_{i \in I}$ rezidülü sonlu olan Lie cebirlerinin bir ailesi olsun. O halde $L = \prod_{i \in I} L_i$ direkt çarpımı da rezidülü sonludur.

İspat: $0 \neq g = (g_i)_{i \in I} \in (L_i)_{i \in I}$ elemanını ele alalım. O halde bir $i_0 \in I$ vardır öyle ki $g_{i_0} \neq 0$. L_{i_0} rezidülü sonlu olduğundan sonlu boyutlu bir H Lie cebiri ve bir

$$\mu: L_{i_0} \rightarrow H$$

homomorfizmi vardır öyle ki $\mu(g_{i_0}) \neq 0$ dır. Şimdi

$$\pi: L \rightarrow L_{i_0}$$

bir projeksiyon dönüşümü olmak üzere $\mu' = \mu \circ \pi$ ile tanımlı

$$\mu': L \rightarrow H$$

dönüşümü ele alalım. O halde

$$\mu'(g) = \mu(g_{i_0}) \neq 0.$$

Böylece L rezidülü sonludur.

Sonuç 4.1. Eğer L rezidülü sonlu olan Lie cebirlerinin bir ters sisteminin ters limiti ise L de rezidülü sonlu olur.

İspat. $(L_i)_{i \in I}$ rezidülü sonlu olan Lie cebirlerin bir ters sistemi olsun öyle ki bu sistemin ters limiti $L = \lim_{\leftarrow} L_i$ olsun. Ters limitin tanımından L cebiri $\prod_{i \in I} L_i$ çarpımının bir alt cebiridir. Önerme 4.2. den $\prod_{i \in I} L_i$ rezidülü sonlu olduğu biliniyor. O halde Önerme 4.1. den L de rezidülü sonlu olur.

Sonuç 4.2. I sonlu bir küme olmak üzere $(P_i)_{i \in I}$ rezidülü sonlu olan paraserbest Lie cebirlerinin sonlu bir ailesi olsun. O halde $P = \bigoplus_{i \in I} P_i$ direkt toplamı da paraserbest olup rezidülü sonludur.

İspat: Sonlu çokluktaki paraserbest Lie cebirlerinin direkt toplamı paraserbesttir [8]. Bu durumda P bir paraserbest Lie cebiridir. Şimdi P nin rezidülü sonlu olduğunu gösterelim. P direkt toplamı sonlu çokluktaki $i \in I$ için $g_i = 0$ olan $g = (g_i)_{i \in I} \in \prod_{i \in I} P_i$ elemanlarını içeren $\prod_{i \in I} P_i$ direkt çarpımının bir alt cebiridir. Önerme 4.2. den $\prod_{i \in I} P_i$ rezidülü sonlu olduğu biliniyor. O halde Önerme 4.1. den P de rezidülü sonlu olur.

Sonuç 4.3. Her sonlu üretilmiş olan paraserbest metabelyen Lie cebiri rezidülü sonlu olan bir cebirinin içine gömülebilir.

İspat: P sonlu üretilmiş olan bir paraserbest metabelyen Lie cebiri olsun. O halde her $n \geq 2$ için $P/\gamma_n(P)$ cebirleri de sonlu üretilmiş metabelyen olup rezidülü sonludur [9]. Şimdi $n \geq 2$ için

$$P/\gamma_n(P) \rightarrow P/\gamma_{n-1}(P)$$

şeklindeki kanonik projeksiyonların sistemini düşünelim. Bu sistemin ters limiti \hat{P} dir. Sonuç 4.1. den \hat{P} rezidülü sonlu olduğu biliniyor. O halde Önerme 3.1. den P paraserbest Lie cebiri \hat{P} içine gömülebilir.

Teşekkür

Bu çalışmanın hazırlanmasında bilgi ve tecrübelerinden yararlandığımız sayın Prof. Dr. Naime EKİCİ'ye çok teşekkür ederiz.

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] Baumslag G. 1967. Groups with the same lower central sequence as a relatively free group I. The groups. Trans. Amer. Math. Soc., 129: 308-321.
- [2] Baumslag G. 1969. Groups with the same lower central sequence as a relatively free group. II Properties. Trans. Amer. Math. Soc., 142: 507-538.
- [3] Baumslag G. 2005. Parafree groups, Progress in Math., 248: 1-14.
- [4] Baumslag G., Cleary S. 2006. Parafree one-relator groups. J. of Group Theory, 9 (12): 191-201.
- [5] Baur H. 1978. Parafreie Lie algebren und homologie. Diss. EthNr., Zurich, 6126:1-60.
- [6] Ekici N., Veliöğlu Z. 2015. Direct Limit of Parafree Lie Algebras. Journal of Lie Theory, 25 (2): 477-484.
- [7] Ekici N., Veliöğlu Z. 2014. Unions of Parafree Lie Algebras, Algebra. Article ID 385397.
- [8] Banyat S. 2015. More on the direct sum of parafree Lie algebras. Global Journal Pure and Applied Mathematics, 11(1): 315-318.
- [9] Bahturin Y. 1987. Identical Relations in Lie Algebras. VNU Science Press, Utrecht.

Araştırma Makalesi / Research Article

Fe⁺ İyonu Aşılansmış TiO₂ Tek Kristallerin Manyetik Özelliklerinin İncelenmesi

Özgül KARATAŞ*

*Gebze Teknik Üniversitesi, Fizik Bölümü, Kocaeli
(ORCID:0000-0003-3848-5800)*

Öz

Bu çalışmada, oda sıcaklığında demir (Fe⁺) iyonları ile aşılansmış (100) ve (001) kristal yönelimine sahip tek kristal ve polikristal TiO₂ alttaşların manyetik özellikleri sunulmaktadır. İyon aşılama sonrasında ısı işleme tabi tutulan ve tutulmayan örneklerin mıknatıslanma, g- faktörü ve kristal manyetik anizotropileri Elektron Manyetik Rezonans (EMR) ve Titreşimli Örnek Manyetometre (VSM) teknikleri kullanılarak incelenmiştir. Deneysel veriler teorik bir modele dayandırılarak özel bir bilgisayar programı ile fit edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, aşılansmış örneklerin ferromanyetik bir davranış sergilediklerini ve manyetik özelliklerinin örneğin kristal yönelimine oldukça bağlı olduğunu göstermiştir.

Anahtar kelimeler: Ferro Manyetik Rezonans (FMR), Elektron Paramanyetik Rezonans (EPR), Titreşimli Örnek Manyetometre (VSM), TiO₂, İyon aşılama.

Investigation of Magnetic Properties of Fe⁺ Implanted TiO₂ Single Crystals

Abstract

In this study, magnetic properties of single crystal and polycrystalline TiO₂ substrates with crystal orientation (100) and (001) implanted with iron (Fe⁺) ions at room temperature are presented. After implantation magnetization, g-factor and crystal magnetic anisotropy of the annealed and non-annealed samples were investigated by Electron Magnetic Resonance (EMR) and Vibrating Sample Magnetometer (VSM) techniques. Experimental data were fit with a special computer program based on the theoretical model. The results obtained show that the implanted samples exhibit a ferromagnetic behavior and their magnetic properties are highly dependent on the crystal orientation of the sample.

Keywords: Ferro Magnetic Resonance (FMR), Electron Paramagnetic Resonance (EPR), Vibrating Sample Magnetometry (VSM), TiO₂, Ion implantation.

1. Giriş

Titanyum dioksit (TiO₂) kristalleri sıradışı kimyasal, elektronik ve optik özelliklere sahip olmaları nedeniyle gelecek vaat eden oksit yarı iletkenler arasında yer almaktadır [1-3]. Bu özelliklerinden dolayı foto-kataliz [4,5], güneş pilleri [6], foto-voltaik [7], gaz sensörleri [2,7], suyun fotoelektrolizi [8], memristör [9] vb. birçok teknolojik uygulamalarda yıllardır yaygın olarak kullanılmaktadır. Örneğin, 1971 yılında Leon Chua tarafından yeni (dördüncü) temel pasif devre elemanı olarak önerilen memristör konsepti [10], ilk olarak 2008 yılında TiO₂ kristali içindeki kusur dinamiğinin kullanılmasıyla deneysel olarak gösterilmiştir [11].

Rutil, anataz ve brukit olmak üzere üç farklı TiO₂ kristal fazı vardır [1,12]. Rutil faz, diğer fazlara oranla termodinamik açıdan daha kararlı olduğu için seyreltik manyetik yarı iletken (DMS) malzeme arayışlarında ve birçok farklı uygulamalar için oldukça ilgi çekicidir [13-16].

*Sorumlu yazar: ozgulkaratass@gmail.com, ozgulkaratas@gtu.edu.tr
Geliş Tarihi: 19.05.2019, Kabul Tarihi: 13.12.2019

İyon aşılama yöntemi, ince film veya bulk formundaki malzemelerin katkılandırılmasında kullanılan en önemli tekniklerden biridir [2, 7, 17-20]. Manyetik geçiş metal iyonları (Fe^{+3} , Co^{+2} , Mn^{+4} , Cr^{+3} , Cu^{+2} vb.) ile katkılandırılan TiO_2 tek kristalinin iletkenlik ve optik özelliklerinin değişmesinin yanı sıra manyetik özelliklerinde de büyük ölçüde değişiklikler meydana gelmesi, bu malzemelerin spintronik ve manyeto-elektronik cihazlarda uygulanabilirliğini oldukça arttırmaktadır [21].

Manyetik iyon katkılı malzemenin manyetik özellikleri katkılandırılan iyon ile kendi yerel çevresi (örgü kusurları, iyon boşlukları, vb.) arasındaki etkileşmeye bağlı olarak değişiklik göstermektedir [22, 23]. Elektron Paramanyetik Rezonans (EPR) ve Ferromanyetik Rezonans (FMR) teknikleri spin dinamiği, kristalin yerel manyetik özellikleri ve bunun altında yatan fiziksel özellikler hakkında zengin bilgi verdiği için iyon katkılı/katkısız TiO_2 tek kristalinin manyetik özelliklerinin araştırılmasında oldukça etkili yöntemlerdir [24-28]. Örneğin; Yıldız ve arkadaşları, kobalt (Co) katkılı TiO_2 tek kristal örneklerin oda sıcaklığında dev ferromanyetizma (giant ferromagnetism) özellik sergilediğini FMR tekniği kullanarak göstermişlerdir [29].

Oksit malzemelerdeki kusur oluşumuyla yakından ilgili olan ferromanyetizmanın açıklanmasına katkı sağlayan bu çalışmada, Fe^{+} iyonları aşılansız (100) ve (001) düzlemlerinde TiO_2 tek kristallerin manyetik özellikleri EPR, FMR ve VSM yöntemleri kullanılarak incelenmiştir. Ayrıca, bu çalışmaya ilaveten bu örneklerden elde edilen sonuçlar ile karşılaştırma amaçlı polikristal TiO_2 ince filmlere ait sonuçlar da sunulmuştur.

2. Materyal ve Metot

Çalışmada kullanılan (100) ve (001) kristal düzlemlerinde kesilmiş TiO_2 rutil tek kristal alttaşlar üzerine öncelikle iyon aşılama yöntemi kullanılarak Fe^{+} iyonları aşılandı. Alttaşlar üzerine uygulanan bu aşılama işlemi; 1.50×10^{17} iyon/cm² dozda, $8 \mu A/cm^2$ iyon akımı yoğunluğuna sahip, 40 keV enerjili Fe^{+} iyonları ile Kazan Fizik-Teknik Enstitüsü'nde bulunan ILU-3 iyon hızlandırıcı yardımıyla oda sıcaklığında gerçekleştirildi. Aşılama sırasında numunelerin aşırı ısınmasını önlemek için numune tutucu akan su ile soğutuldu. Aşılama işleminden sonra örneklerin bir kısmı atmosferik ortamda 950°C sıcaklığında 1 saat boyunca tavlandı. Ayrıca, magnetron saçırma yöntemiyle cam alttaş üzerinde ~60 nm kalınlığında polikristal TiO_2 ince filmler büyütüldü ve sonra bu örnekler hava ortamında 250°C'de 8 saat boyunca tavlandı. TiO_2 polikristal alttaşlar üzerine tek kristal alttaşlar ile benzer aşılama işlemi uygulandı.

Tavlansız ve tavlansız tek kristal örnekler ile polikristal örneklerin manyetik özellikleri, Ferromanyetik Rezonans (FMR) ve Elektron Paramanyetik Rezonans (EPR) teknikleri kullanılarak Gebze Teknik Üniversitesi, Fizik bölümünde bulunan Bruker EMX model X-band ESR spektrometre (9.5 GHz) yardımıyla incelendi. Ölçümler oda sıcaklığında ve statik manyetik alanın 0-22 kOe aralığında gerçekleştirildi. FMR ve EPR spektrumları, örneklerin 0-360° açı aralığında döndürülmesi ile her bir açı değerinde kaydedildi. Spektrumların açılma bağımlılıkları, uygulanan statik manyetik alanın örnek düzleminde (düzlem içi geometri) ve örnek düzlemine dik iki farklı kristal düzleminde (düzlem dışı geometri) döndürülmesiyle elde edildi. Böylece, her bir numune için ardışık üç kristal düzleminde açığa çıkan spektrumlar kaydedildi.

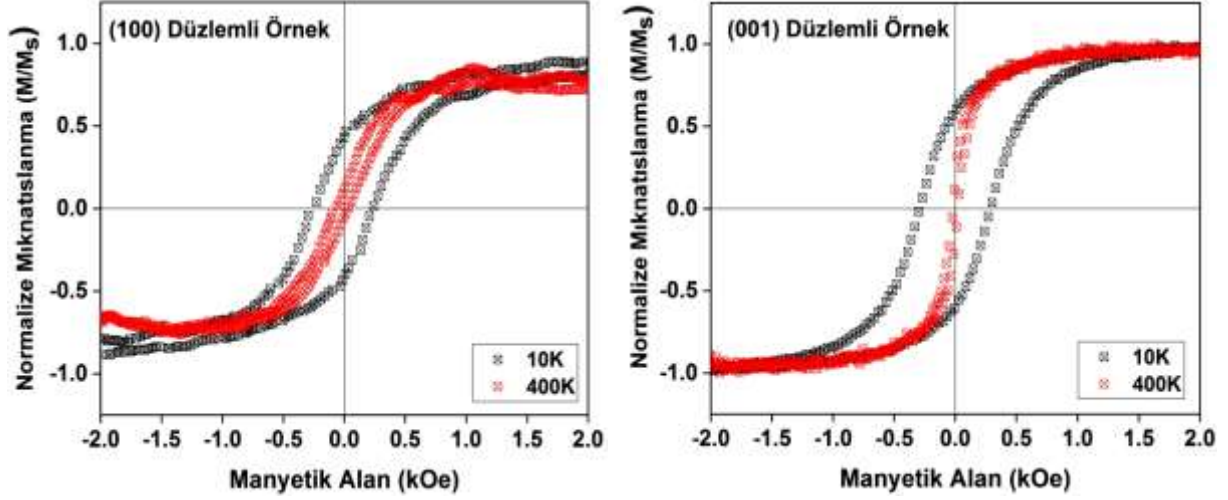
Fe^{+} iyonları ile aşılanan (100) ve (001) TiO_2 rutil tek kristal ve polikristal örneklerin manyetik rezonans ölçümleri ile birlikte mıknatıslanma ölçümleri de yapıldı. Bunun için, Gebze Teknik Üniversitesi, Fizik bölümü, Fiziksel Özellikler Ölçüm Sistemi (PPMS) Laboratuvarı'nda bulunan 9T'lık Quantum Design PPMS-VSM (Vibrating Sample Magnetometry) cihazı kullanıldı. Sıcaklığa ve manyetik alana bağlı mıknatıslanma ölçümleri 10 K ile 400 K sıcaklık aralığında gerçekleştirildi.

3. Bulgular ve Tartışma

3.1 VSM ölçümleri

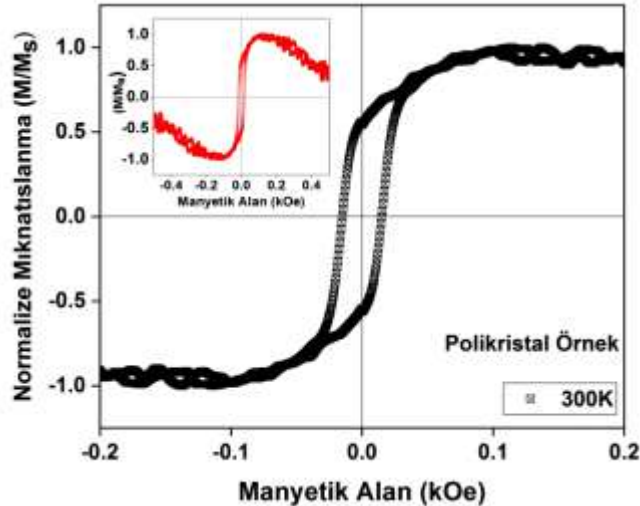
Titreşimli örnek manyetometre (VSM) sistemi kullanılarak Fe^{+} iyonları aşılanmış (100) ve (001) TiO_2 rutil tek kristal düzlemlerine sahip örnekler ile polikristal örneğin 10K ile 400K sıcaklık aralığında mıknatıslanma ölçümleri yapılarak histerisiz eğrileri çizilmiş ve bu örneklerin histerik davranışlarının sıcaklıkla nasıl değiştiği incelenmiştir. Örnekler manyetik alan film düzleminde kalacak şekilde VSM cihazına yerleştirilmiştir ve manyetik alanın ± 6 kOe aralığında değiştirilmesi ile mıknatıslanma ölçümleri yapılmıştır. Kolay ve zor eksenlerdeki histeri eğrileri, düzlem içi FMR ölçümlerinin sonuçlarına bağlı

olarak eşdeğer kabul edilmiştir. Şekil 1. ve Şekil 2.'de bu örneklerle ait manyetik histerisiz eğrileri yer almaktadır.



Şekil 1. Fe⁺ aşlanmış (100) ve (001) düzlemleri TiO₂ numunelerinin 10K ve 400K sıcaklık değerlerinde kaydedilen ve paramanyetik etkinin çıkarıldığı histerisiz eğrileri

Şekil 1'de (100) düzlemine yapılan aşılama ile elde edilen örneklerde oda sıcaklığındaki doyum mıknatıslanmasının ve koersif alanının (001) düzlemindekilere göre daha az olduğu görülmektedir. M-H eğrisinin şekli ve sıcaklığa göre davranışı, örgü içinde yerleşmiş seyreltik manyetik iyonlardan kaynaklı (intrinsik faz) bir manyetizma yerine daha çok birbirleriyle sıkı dipol veya değiş-tokuş etkileşimlerle bağlanmış nanoparçacıklardan oluşan bir tabakanın (extrinsik faz) oluştuğunu göstermektedir [30-34]. (001) düzleminde yapılan aşılama sonucunda elde edilen örneklerde farklı sıcaklıklarda elde edilen histerisiz eğrileri incelendiğinde, 400K'deki histerisiz eğrisinin kolay eksen davranışına daha yakın bir davranış sergilediği gözlemlenmektedir. Bu durum, (100) ve (001) düzlemleri TiO₂ alttaşlarda oluşan nanoparçacıkların tercih ettiği büyüme yönlerinin birbirlerinden farklı olduğunu göstermektedir.



Şekil 2. Fe⁺ aşlanmış polikristal TiO₂ numunesinin 300K sıcaklık değerinde kaydedilen ve diyamanyetik etkinin çıkarıldığı histerisiz eğrisi. Kırmızı renkli grafik, örneğin daha geniş manyetik alan aralığında ve diyamanyetik fazın katkısını bulunduran histerisiz eğrisini göstermektedir.

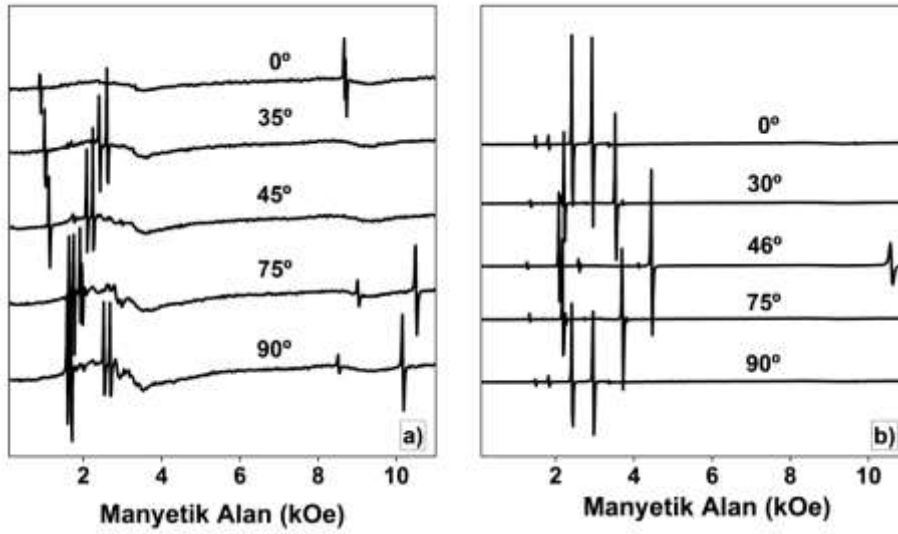
Polikristal TiO₂ numunesinin histerisiz eğrisi Şekil 2'de yer almaktadır. Bu örneğin mıknatıslanma ölçümleri dönen bir indüktif manyetometre ile elde edilmiştir. Örneğin büyük bir kısmı cam alttaştan oluştuğu için mıknatıslanmada diyamanyetik katkı görülmektedir. Ayrıca oda sıcaklığında elde edilen histerisiz eğrisi aynı sıcaklıktaki tek kristal örneklerin histerisiz eğrileri ile karşılaştırıldığında, polikristal örneğin histerisiz eğrisinin daha geniş olduğu gözlemlenmektedir. Yani oda sıcaklığı koersif

alan değeri daha büyüktür. Histerisiz eğrisinin genel şekli de polikristal örneklerde beklenen bir davranış sergilemektedir. Bu örnekte de ferromanyetik histerisiz eğrisinin gözlemlenmesi, nanoparçacıklardan oluşan bir tabakanın (extrinsik fazının) oluştuğunu göstermektedir.

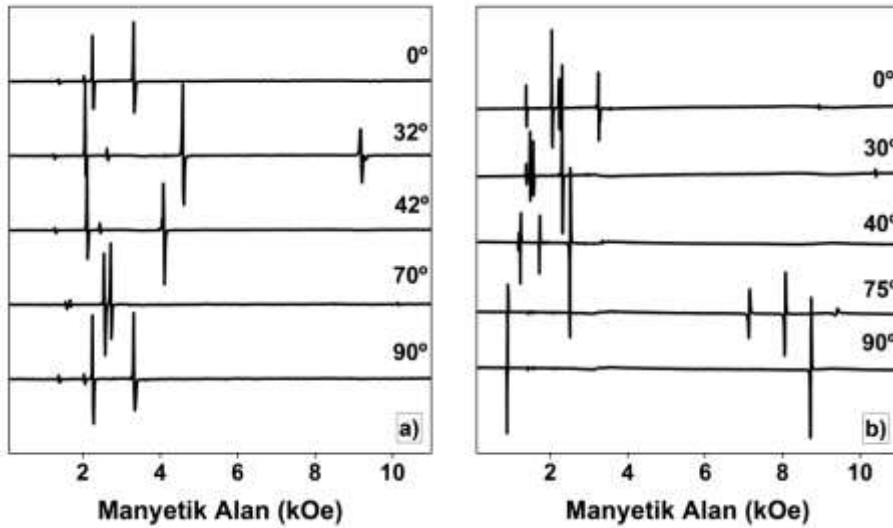
3.2 EPR ve FMR Ölçümleri

3.2.1 Tavlanmış örnekler

Aşılmalı ve tavlanmış (100) ile (001) TiO_2 rutil tek kristallerinin EPR spektrumları kaydedilmiştir. (100) TiO_2 rutil tek kristali için; ölçümler statik manyetik alanın (100) düzleminde (düzlem içi geometri) döndürülmesi ve statik manyetik alanın (001) düzleminde döndürülmesi (düzlem dışı geometri) olmak üzere iki dönme düzleminde gerçekleştirilmiştir. Benzer şekilde, (001) TiO_2 rutil tek kristalinin de (001) düzlem içi geometride ve (100) düzlem dışı geometride açığa bağlı spektrumları kaydedilmiştir. Şekil 3 ve Şekil 4'de her iki tek kristal için düzlem içi ve düzlem dışı geometride farklı açılarda kaydedilen EPR spektrumları gösterilmektedir.



Şekil 3. Fe^+ aşılmalı (100) TiO_2 tek kristal düzlemine sahip örneğin a) düzlem içi geometri, b) düzlem dışı geometride, oda sıcaklığında kaydedilen EPR spektrumları

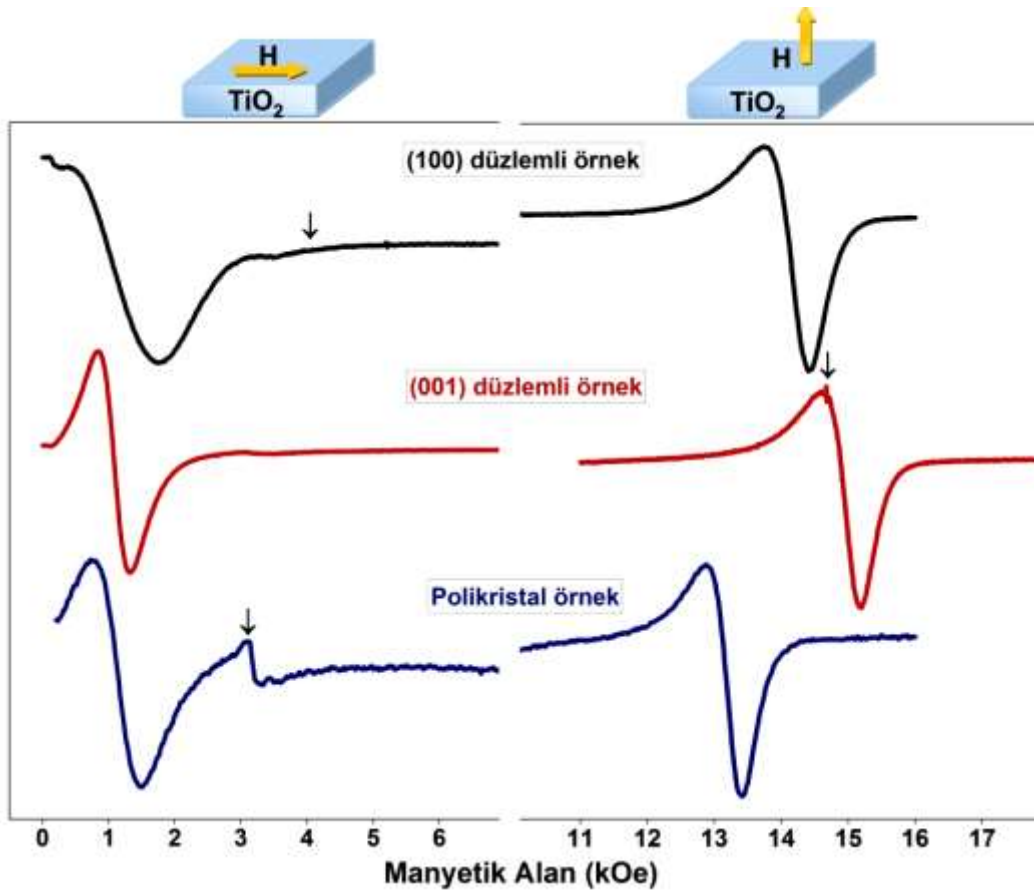


Şekil 4. Fe^+ aşılmalı (001) TiO_2 tek kristal düzlemine sahip örneğin a) düzlem içi geometri, b) düzlem dışı geometride, oda sıcaklığında kaydedilen EPR spektrumları

(100) ile (001) TiO_2 tek kristallerinin EPR spektrumları incelendiğinde, Fe^+ iyonları ile aşılansmış ve tavlansmış TiO_2 rutil kristallerde oda sıcaklığında herhangi bir ferromanyetik davranış gözlemlenmemiştir. Oda sıcaklığında yüksek anizotropi gösteren EPR spektrumlarının ise üç değerlikli seyreltik paramanyetik demir (Fe^{+3}) ($L=0$, $S=5/2$) iyonlarına ait çoklu pikler olduğu görülmektedir. Yüksek sıcaklıklarda (950°C) tavlansan demir aşılansmış numunelerde açısıl bağımlılığı olan Fe^{+3} EPR sinyalinin gözlemlenmesinin nedeni, tavlama işleminin uygulanmasından sonra aşılansmış demirin rutil yüzeyden tüm kristal içine nüfuz ederek örgüdeki Ti^{+4} pozisyonlarının yerine oturmasıdır [35].

3.2.2 Tavlansmamış örnekler

(100) ve (001) TiO_2 rutil tek kristal düzlemlerine sahip örnekler oda sıcaklığında Fe^+ iyonları ile aşılandıktan sonra, örneklerin diğeri bir kısmına herhangi bir tavlama işlemi uygulanmamıştır. Tavlama yapılmayan (100) ve (001) TiO_2 rutil tek kristal düzlemlerine sahip örnekler ile polikristal örneğin düzlem içi geometri ve düzlem dışı geometride döndürülmesiyle ESR spektrumları kaydedilmiştir. Şekil 5’de her iki tek kristal ve polikristal örnekler için kaydedilen ESR spektrumları görülmektedir.

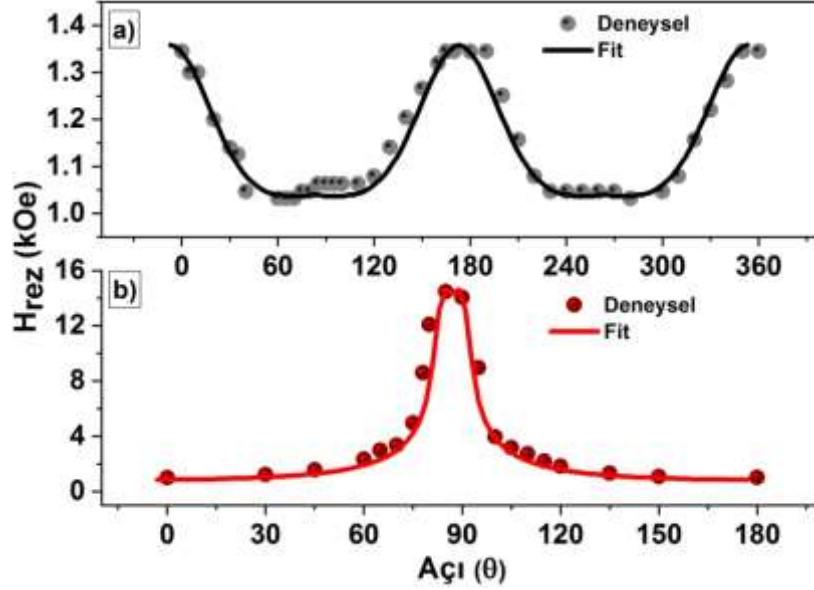


Şekil 5. Fe^+ aşılansmış (100) ve (001) TiO_2 tek kristal düzlemlerine sahip örnekler ile polikristal örneğin oda sıcaklığında kaydedilen ESR spektrumları

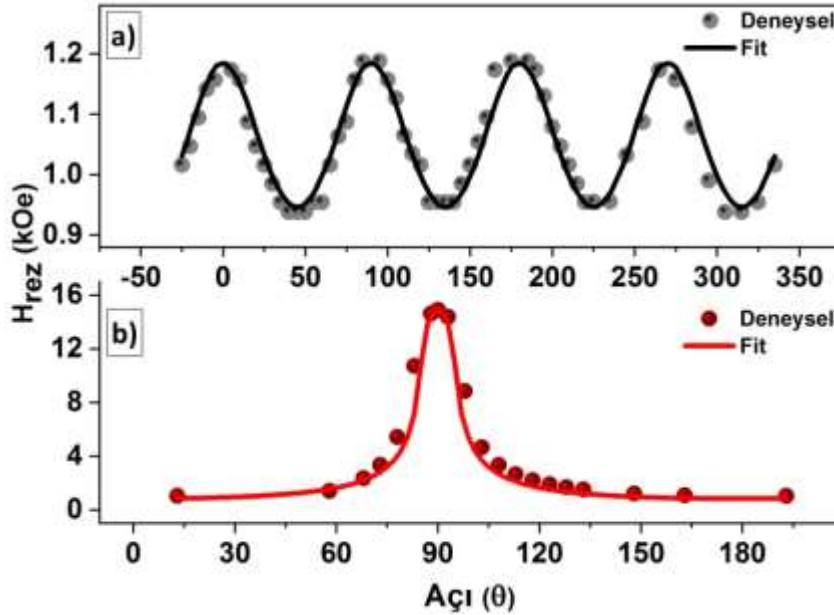
Spektrumlar incelendiğinde, Fe^+ iyonu ile aşılansan (100) ile (001) düzlemlili tek kristal ve polikristal örneklerde dar ve keskin EPR piklerinin yanında açısıl bağımlılığı olan geniş ve şiddetli ferromanyetik rezonans sinyali görülmektedir. Aşılama sonucunda oluşun ferromanyetizmanın sebebi iki farklı modelle açıklansabilir. Birincisi; intrinsik manyetizma olarak bilinen, yani Fe iyonlarının Ti sitelere yerleşmesiyle serbest elektron ya da oksijen kusurlar üzerinde tuzaklanmış (trapped) elektronlardan dolaylı değış-tokuş etkileşmesinin olması sonucu *seyreltilmiş manyetik oksit* malzeme oluşumu. İkincisi; extrinsic ferromanyetizma olarak bilinen, yani demir atomlarının kümelenerek metal (metal-oksit) nanoparçacık oluşturması ve bu nanoparçacıkların birbirleriyle manyetik dipol-dipol etkileşmesi sonucu serbest ya da oksijen kusurlarında lokalize elektronlar aracılığıyla değış-tokuş etkileşmeye girerek neredeyse sürekli bir manyetik tabaka davranışı göstermesi. Teoride her iki faz yüksek mıknatıslanma ve

anizotropiye sahip olmasına rağmen birçok deneysel çalışmada yüksek anizotropi ve mıknatıslanma değerleri daha çok extrinsic fazı işaret etmektedir [16, 33]

Benzer çalışmalarda, kobalt (Co), demir (Fe) ve nikel (Ni) iyonları ile aşıl原因an tek kristal TiO_2 malzemelerde manyetik anizotropinin varlığı gözlemlenmiştir [29, 37-41]. Çoğu durumda, bu geçiş elementleri (3d iyonları) ile aşıl原因an TiO_2 'nin düzlem içi manyetik anizotropisinin sebebi, bu metal iyonların kümeleşmesi gösterilmektedir [39, 41, 42]. Düzlem içi manyetik anizotropi, nano yapıların rutil matrisin kristal yapısı ile tutarlı bir şekilde büyümesinden kaynaklanmaktadır. ^{57}Fe -aşıl原因mış TiO_2 rutil numunelerinin oda sıcaklığında yapılan Mössbauer spektroskopisi (CEMS) ölçümleri, aşıl原因an numunelerdeki demirin büyük bir kısmının (yaklaşık %70) α -demir fazında olduğunu göstermektedir [43]. Dolayısıyla, rutil TiO_2 kristalinde gözlemlenen ferromanyetizmanın sebebi yüksek doz oranında demir iyon aşıl原因asıdır.



Şekil 6. Fe^+ aşıl原因mış (100) düzlemlili TiO_2 tek kristal örneğinin a) düzlem içi geometri, b) düzlem dışı geometride gözlemlenen ESR spektrumlarının rezonans alanlarının açısali bağımlılığı ve fit eğrileri



Şekil 7. Fe^+ aşıl原因mış (001) düzlemlili TiO_2 tek kristal örneğinin a) düzlem içi geometri, b) düzlem dışı geometride gözlemlenen ESR spektrumlarının rezonans alanlarının açısali bağımlılığı ve fit eğrileri

Şekil 6’da ve Şekil 7’de Fe⁺ aşılansmış (100) ve (001) düzlemleri TiO₂ tek kristal örneklerin düzlem içi ve düzlem dışı geometride kaydedilen ESR spektrumlarının rezonans alanlarının açısal bağımlılıkları ve fit eğrileri görülmektedir. Rezonans alanlarının açısal bağımlılığı incelendiğinde, düzlem içi geometride (001) TiO₂ tek kristalinde dört katlı manyetokristal anizotropinin oluştuğu görülürken, (100) TiO₂ tek kristalinde eksensel simetriye sahip iki katlı manyetokristal anizotropinin varlığı görülmektedir. Düzlem dışı geometride ise her iki örnek için yüksek anizotropi gözlemlenmiştir. Fe⁺ aşılansmış polikristal TiO₂ örneklerde ise, Şekil 5.’de görüldüğü gibi düzlem dışı anizotropi görülmesine rağmen düzlem içi yapılan FMR ölçümlerinde herhangi bir anizotropi gözlemlenmemiştir.

Şekil 6’da ve Şekil 7’de görülen deneysel veriler teorik bir modele [44] dayandırılan özel bir bilgisayar programı ile fit edilerek düzlem iç ve düzlem dışı manyetik anizotropi parametreleri belirlenmiştir. Deneysel verilerin fit edilmesinde kullanılan teorik modelde aşağıda verilen serbest enerji denklemi kullanılmıştır.

$$E_T = -M \cdot H + (2\pi M_0^2 \cos^2 \theta) + K_1(\alpha_1^2 \alpha_2^2 + \alpha_2^2 \alpha_3^2 + \alpha_1^2 \alpha_3^2) + K_u \sin^2 \theta \cos^2(\phi)$$

Bu denklemde; birinci terim dış DC manyetik alandaki Zeeman enerji terimi, ikinci terim tek eksenli anizotropiyi içeren demanyetizasyon enerji terimi, üçüncü terim kübik anizotropi enerji terimi ve son terim eksensel anizotropi enerji terimidir. Burada M, mıknatıslanma vektörünü; M₀, doyum mıknatıslanmayı; K₁, kübik anizotropi sabitini; α₁, α₂, α₃, mıknatıslanma vektörünün doğrultma kosinüslerini; K_u, eksensel anizotropi sabitini; θ, φ, küresel koordinat sistemindeki açıları ifade etmektedir. Deneysel verileri fit etmek için kullanılan bilgisayar programında K₁ ve K₂ parametreleri yerine, H₁ = K₁/M₀ ve H_u = K_u/M₀ olarak tanımlanan anizotropik alan parametreleri kullanılmıştır. Elde edilen fit değerleri Tablo 1.’de yer almaktadır.

Tablo 1. Fe⁺ aşılansmış (100) düzlemleri TiO₂ tek kristal ve (001) düzlemleri TiO₂ tek kristal örneklerin FMR spektrumlarının rezonans alanlarının açısal bağımlılığının teorik modelle elde edilen manyetik anizotropi parametreleri (w/γ: spektrometrenin rezonans alanı, M_{eff}: etkin mıknatıslanma değeri, H₁: kübik anizotropi alan sabiti, H_u: eksensel anizotropi alan sabiti)

| | (100) Düzlemleri Örnek | (001) Düzlemleri Örnek |
|-----------------------|------------------------|------------------------|
| w/γ (Oe) | 3750 | 3650 |
| M _{eff} (Oe) | 895 | 920 |
| H ₁ (Oe) | 25 | 65 |
| H _u (Oe) | 85 | 0 |

Çalışmadaki örnek sisteminde ferromanyetik rezonans sinyalleri, yüzeyin hemen altında aşılama ve tavlama sonucunda oluşan ve birbirleriyle etkileşerek ferromanyetik düzen oluşturan manyetik nanoparçacıklardan kaynaklanmaktadır [31, 32, 45]. Bu ferromanyetik davranış, Şekil 5’de görülen ferromanyetik rezonans sinyalleri ile Şekil 1. ve Şekil 2.’de görülen manyetik histerisiz eğrilerinin oluşumunda da açıkça ortaya çıkmaktadır. Ancak nanoparçacıklardan oluşan neredeyse sürekli bir manyetik tabaka, tam olarak sürekli bir manyetik faz tabakasına eşdeğer bir sistem değildir. Bu tip parçacıklı filmlerde aslında nanoparçacıkların ortalama şekilleri ve anizotropi yönleri çok etkili olmaktadır. Bundan dolayı FMR sinyalinin analizinde sadece etkin mıknatıslanma, etkin g-faktörü ve etkin anizotropi parametreleri elde edilir [45]. Bunlarında bulk manyetik malzeme parametrelerinden farklı çıkmasının nedeni, incelenen sistemdeki nanoparçacıkların ortalama şekillerinin küresel şekilden farklı olması ya da parçacıkların belirli büyüme yönlerini tercih etmelerinden dolayı kristal anizotropinin katkısının ortaya çıkmasıdır. Genellikle nanoparçacıkların anizotropisinde, parçacıkların şekli veya kristallığına bağlı olarak etkin mıknatıslanma ve g-faktörü değerleri elde edilir. Rastgele yönelimli tanecik gruplarında ise bu katkı sıfır kabul edilmektedir [34]. Fe⁺ aşılansmış TiO₂ tek kristal örneklerinin g faktörlerinin ~1.8 yakın çıkması, uzanmış şekillere sahip ve uzun eksenleri altaş düzlemine paralel fakat düzlem içinde rastgele yönelmiş nanoparçacık oluşumunu göstermektedir.

4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada, Fe⁺ iyonları aşılansmış (100) ve (001) düzlemleri TiO₂ tek kristaller ile polikristal örneklerin manyetik özellikleri EPR, FMR ve VSM yöntemleri kullanılarak incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, Fe⁺ iyonları ile aşılansmış TiO₂ rutil tek ve polikristal örneklerde oda sıcaklığında çok zayıf, dar ve keskin ESR piklerinin yanında açısall bağımlılığı olan geniş ve şiddetli ferromanyetik rezonans sinyali gözlenirken, Fe⁺ iyonları ile aşılansmış ve tavlansmış örneklerde ise herhangi bir ferromanyetik davranış gözlemlenmemiştir. Ayrıca tek kristal örneklerden elde edilen sonuçlar ile karşılaştırma amaçlı yine aynı doz Fe⁺ iyonlarıyla aşılansmış cam alttaş üzerine büyütülen ~60 nm kalınlığındaki polikristal TiO₂ ince filme ait sonuçlar da tartışılmıştır. Polikristal örnekte ise tek kristal örneklere göre hem VSM hem de FMR ölçümlerinde daha düşük mıknatıslanmaya sahip ferromanyetik davranış gözlemlenmiştir.

Çalışmadaki tavlansmamış örneklerde gözlemlenen ferromanyetizmanın sebebi, oda sıcaklığında yapılan Fe⁺ aşılması sonucunda TiO₂ yüzeyinin altında birbirleriyle sıkı bağlanmış nanoparçacıklardan oluşan manyetik bir tabakanın meydana gelmesidir. Ayrıca, (001) düzlemleri örnekte (100) düzlemleri örneğe göre bir miktar daha yüksek mıknatıslanma ve daha kübik anizotropiye has özellikler gözlemlenmiştir. Aşılansmış ve tavlansmış (100) ile (001) TiO₂ rutil tek kristallerinin EPR spektrumları ise üç değerlikli seyreltik paramanyetik demir (Fe⁺³) iyonlarının varlığını göstermektedir. Elde edilen ESR spektrumlarının parametreleri, Fe⁺³ iyonlarının TiO₂ tek kristalinin içinde Fe⁺⁴ pozisyonlara yerleştiğini göstermektedir. Fe⁺ iyonları ile aşılansmış ve tavlansmamış (100) düzlemleri TiO₂ örneklerde iki katlı düzlem içi anizotropi gözlenirken, (001) düzlemleri TiO₂ örneklerde ise dört katlı düzlem içi anizotropi görülmektedir. Bu durum, tek kristal TiO₂ matrisi içinde bulunan demir nanoparçacıklarının TiO₂ tetragonal yapısı ile uyumlu bir şekilde büyüdüğünü göstermektedir. Böylece aşılama yöntemi kullanılarak TiO₂ tek kristal alttaşlar üzerinde yapıya göre özel olarak yönlendirilmiş demir nanoparçacıklarının büyütülebilir olduğu gösterilmiştir.

Teşekkür

Çalışmada değerli katkılarından dolayı Prof. Dr. Bulat Rameev, Dr. Öğr. Üyesi Sinan Kazan ve Dr. Öğr. Üyesi Cengiz Okay'a; kullanılan örneklerin aşılması için laboratuvar olanaklarını sunan Prof. Dr. Rustam I. Khaibullin'e ve laboratuvar desteğinden dolayı Gebze Teknik Üniversitesi'ne teşekkür ederim.

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] Zerentürk A., Açıköz M., Kazan S., Yıldız F., Aktaş B., Khaibullin R.I., Rameev B. 2017. Low Temperature EPR Investigation of Co²⁺ Ion Doped into Rutile TiO₂ Single Crystal: Experiments and Simulations. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 423: 145-151.
- [2] Joshi S.R., Padmanabhan B., Chanda A., Ojha S., Kanjilal D., Varma S. 2017. Complex Damage Distribution Behaviour in Cobalt Implanted Rutile TiO₂ (110) Lattice. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B*, 410: 114-121.
- [3] Wu S.Y., Zheng W.C. 2002. Studies of EPR g-Factors on Rutile (TiO₂) with Co²⁺ Ion. *Z. Naturforsch*, 57a: 45-48.

- [4] Li H., Zhang Y., Wang S., Wu Q., Liu C. 2009. Study on Nanomagnets Supported TiO₂ Photocatalysts Prepared by a Sol-gel Process in Reverse Microemulsion Combining with Solvent-Thermal Technique. *J. Hazard Mater*, 30, 169 (1-3): 1045-1053.
- [5] Liao D. L., Liao B.Q. 2007. Shape, Size and Photocatalytic Activity Control of TiO₂ Nanoparticles with Surfactants. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 187 (2-3): 363-369.
- [6] O'Regan B., Gratzel M. 1991. A Low-cost, High-efficiency Solar Cell Based on Dye-sensitized Colloidal TiO₂ Films. *Nature*, 353: 737-740.
- [7] Joshi S.R., Padmanabhan B., Chanda A., Mishra I., Malik V.K., Mishra N.C., Kanjilal D., Varma S. 2016. Optical Studies of Cobalt Implanted Rutile TiO₂ (110) surface. *Applied Surface Science*, 387: 938-943.
- [8] Ghosh A.K., Maruska H.P. 1977. Photoelectrolysis of Water in Sunlight with Sensitized Semiconductor Electrodes. *J. Electrochem. Soc.*, 124 (10): 1516-1522.
- [9] Pickett M.D., Medeiros-Ribeiro G., Williams R.S. 2013. A Scalable Neuristor Built with Mott Memristors. *Nat. Mater.*, 12: 114-117.
- [10] Chua L.O. 1971. Memristor-The Missing Circuit Element, *IEEE Transactions on Circuit Theory*, CT-18 (5): 507-519.
- [11] Strukov D.B., Snider G.S., Stewart D.R., Williams R.S. 2008. The Missing Memristor Found. *Nature*, 453: 80-83.
- [12] Campbell S.A., Kim H.-S., Gilmer D.C., He B., Ma T., Gladfelter W.L. 1999. Titanium Dioxide (TiO₂)-based Gate Insulators. *Ibm Journal of Research and Development*, 43 (3): 383-392.
- [13] Ohno H. 1999. Properties of Ferromagnetic III-V Semiconductors. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 200 (1-3): 110-129.
- [14] Dietl T., Ohno H., Matsukura F., Cibert J., Ferrand D. 2000. Zener Model Description of Ferromagnetism in Zinc-Blende Magnetic Semiconductors. *Science*, 287 (5455): 1019-1022.
- [15] Matsumoto Y., Murakami M., Shono T., Hasegawa T., Fukumura T., Kawasaki M., Ahmet P., Chikyow T., Koshihara S., Koinuma H. 2001. Room-temperature Ferromagnetism in Transparent Transition Metal-doped Titanium Dioxide. *Science*, 291 (5505): 854-856.
- [16] Okay C., Vakhitov I.R., Valeev V.F., Khaibullin R.I., Rameev B. 2017. Magnetic Resonance Study of Fe-implanted TiO₂ Rutile. *Appl. Magn. Reson.*, 48: 347-360.
- [17] Akdogan N., Nefedov A., Zabel H., Westerholt K., Becker H.-W, Somsen C., Gok S., Bashir A., Khaibullin R., Tagirov L. 2009. High-temperature Ferromagnetism in Co-implanted TiO₂ Rutile. *Journal of Physics D: Applied Physics*, 42 (11): 115005.
- [18] Rameev B., Okay C., Yildiz F., Khaibullin R.I., Popok V.N., Aktas B. 2004. Ferromagnetic Resonance Investigations of Cobalt-implanted Polyimides. *Journal of Magnetism And Magnetic Materials*, 278 (1-2): 164-171.
- [19] Mikaizade F., Maksutoglu M., Khaibullin R.I., Valeev V.F., Nuzhdin V.I., Aliyeva V.B., Mammadov T.G. 2016. Magnetodielectric Effects in Co-implanted TiInS₂ and TiGaSe₂ Crystals. *Phase Transitions*, 89 (6): 568-577.
- [20] Khalitov N.I., Khaibullin R.I., Valeev V.F., Dulov E.N., Ivoilov N.G., Tagirov L.R., Kazan S., Sale A.G., Mikailzade F.A. 2012. Structural and Magnetic Studies of Co and Fe Implanted BaTiO₃ Crystals. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*, 272: 104-107.
- [21] Guskos N., Glenis S., Zolnierkiewicz G., Guskos A., Typek J., Berczynski P., Dolat D., Mozia S., Morawski A.W. 2015. Magnetic Properties of Co-modified Fe, N-TiO₂ Nanocomposites. *Open Physics*, 13: 78-82.
- [22] Errico L.A., Rentería M., Weissmann M. 2005. Theoretical Study of Magnetism in Transition Metal-Doped TiO₂ and TiO_{2-δ}. *Physical Review B*, 72: 184425.
- [23] Geng W.T., Kim Kwang S. 2003. Structural, Electronic, and Magnetic Properties of a Ferromagnetic Semiconductor: Co-doped TiO₂ rutile. *Physical Review B*, 68: 125203.
- [24] Xiang B.X., Jiao Y., Guan J., Wang L. 2015. Ion Implantation Induced Blistering of Rutile Single Crystals. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B*, 354: 255-258.
- [25] Huo-Ping Z., Nan-Nan X., Gong-Ping L., Tian-Jing L., Xing-xin G., Jing-Sheng C. 2013. The Magnetic Properties and Microscopic Structural of a Ferromagnetic Semiconductor: Rutile TiO₂ Single Crystals Implanted with Cobalt Ions. *Surface&Coating Technology*, 229: 109-111.
- [26] Kittel C. 1996. *Introduction to Solid State Physics*. Wiley Yayınları, 487s. New York.

- [27] Weil, J.A., Bolton, J.R. 2007. Electron Paramagnetic Resonance. Wiley Yayınları, 36s. Kanada.
- [28] Poole C.P., Horacio Jr., Farach A. 1986. Theory of Magnetic Resonance, Wiley Yayınları, 138s. Kanada.
- [29] Yıldız F., Rameev B., Khaibullin R., Tagirov L., Özdemir M. Aktas B. 2004. Giant Room Temperature Ferromagnetism in Rutile TiO₂ Implanted by Co. *Physica Status Solidi C*, 1 (12): 3319-3323.
- [30] Kazan S., Mikailzade F.A., Şale A.G., Maksutoğlu M., Acikgoz M. 2010. Magnetic Properties of Co-implanted BaTiO₃ Perovskite Crystal. *Physical Review B*, 82: 054402.
- [31] Dubowik J. 1996. Shape Anisotropy of Magnetic Heterostructures. *Physical Review B*, 54 (2): 1088-1091.
- [32] Kakazei G.N., Kravets A.F., Lesnik N.A., Pereira de Azevedo M.M., Pogorelov Y.G., Sousa J.B. 1999. Ferromagnetic Resonance in Granular Thin Films. *Journal of Applied Physics*, 85 (8): 5654-5656.
- [33] Okay C., Rameev B.Z., Khaibullin R.I., Okutan M., Yıldız F., Popok V.N., Aktas B. 2006. Ferromagnetic Resonance Study of Iron Implanted PET Foils. *Phys. Stat. Sol.*, 203 (7): 1525-1532.
- [34] Rameev B., Okay C., Yıldız F., Khaibullin R.I., Popok V.N., Aktas B. 2004. Ferromagnetic Resonance Investigations of Cobalt-implanted Polyimides. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 278: 164-171.
- [35] Khaibullin R.I., Tagirov L.R., Rameev B.Z., Ibragimov Sh.Z., Yıldız F., Aktas B. 2004. High Curie-temperature Ferromagnetism in Cobalt-implanted Single-crystalline Rutile. *J. Phys. Condens. Matter*, 16: L443-L449.
- [36] Ay F., Rameev B.Z., Basaran A.C., Kupriyanova G.S., Goikhman A.Y., Aktaş B. 2017. Magnetic Properties of Fe/Ni and Fe/Co Multilayer Thin Films. *Appl. Magn. Reson.*, 48: 85-99.
- [37] Akdoğan N., Rameev B.Z., Dorosinsky L., Sozeri H., Khaibullin R.I., Aktas B., Tagirov L.R., Westphalen A., Zabel H. 2005. Anisotropy of Ferromagnetism in Co-implanted Rutile. *J. Phys. Condens. Matter*, 17: L359-L366.
- [38] Cruz M.M., Silva R.C., Pinto J.V., Borges R.P., Franco N., Casaca A. 2013. Formation of Oriented Nickel Aggregates in Rutile Single Crystals by Ni Implantation. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 340: 102-108.
- [39] Khaibullin R.I., Ibragimov Sh.Z., Tagirov L.R., Popok V.N., Khaibullin I.B. 2007. Formation of Anisotropic Ferromagnetic Response in Rutile (TiO₂) Implanted with Cobalts Ions, *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. B*, 257 (1-2): 369-373.
- [40] Okay C., Rameev B.Z., Guler S., Khaibullin R.I., Khakimova R.R., Osin Y.N., Akdoğan N., Gumarov A.I., Nefedov A., Zabel H., Aktas B. 2011. Optical and Magnetic Properties of Ni-Implanted and Post-annealed ZnO Thin Films, *Appl. Phys. A*, 104 (2): 667-675.
- [41] Zhou S., Talut G., Potzger K., Shalimov A., Grenzer J., Skorupa W., Helm, Fassbender J., Cizmar E., Zvyagin S.A., Wosnitza J. 2008. Crystallographically Oriented Fe Nanocrystals Formed in Fe-Implanted TiO₂. *Journal of Applied Physics*, 103: 083907.
- [42] Dulov E.N., Ivoilov N.G., Khripunov D.M., Tagirov L.R., Khaibullin R.I., Valev V.F., Nuzhdin V.I. 2009. Mössbauer Study of The Magnetic Phase Composition of Single-crystalline Rutile (TiO₂) Implanted with Iron Ions. *Technical Physics Letters*, 35(6): 483-486.
- [43] Guler S., Rameev B., Khaibullin R.I., Bayrakdar H., Aktas B. 2006. EPR Study of Paramagnetic Fe³⁺ Centers in Iron-implanted TiO₂ Rutile. *Phys. Status Solidi A*, 203 (7): 1533-1538.
- [44] Aktaş B., Heinrich B., Woltersdorf G., Urban R., Tagirov L.R., Yıldız F., Özdoğan K., Özdemir M., Yalçın O., Rameev Z. 2007. Magnetic Anisotropies in Ultrathin Films Grown on The Surface Reconstructed GaAs Substrate, 102: 013912.
- [45] Netzelmann U. 1990. Ferromagnetic Resonance of Particulate Magnetic Recording Tapes. *Journal of Applied Physics*, 68 (4): 1800-1807.

Araştırma Makalesi / Research Article

Yaygın ve Yaygın Olmayan Sirke Çeşitlerinin Antioksidan Kapasite Düzeylerinin Değerlendirmesi

Metin KONUŞ*, Can YILMAZ, Doğan ÇETİN

*Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Fakültesi, Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümü, 65080, Van
(ORCID: 0000-0002-9953-1375) (ORCID: 0000-0002-0028-6614) (ORCID: 0000-0002-5733-4007)*

Öz

Sirke, mayalanabilir farklı hammaddeler kullanılarak elde edilen bir fermantasyon ürünüdür. Eski zamanlardan beri birçok uygarlık tarafından kullanılan sirke, mutfaklarda tatlandırma ve dezenfeksiyon gibi birçok işleve sahiptir. Sirke içerisinde barındırdığı çeşitli fenolik bileşikler, aminoasitler, vitaminler, organik asitler gibi maddeler sayesinde antimikrobiyal, antioksidan, antidiyabetik ve antikarsinojenik özellikleri ile sağlık üzerinde de birçok faydalı etkiye sahiptir. Bu çalışmada yaygın olarak marketlerde bulunan üzüm, elma ve nar sirkelerinin yanı sıra nadir bulunan kuşburnu, alıç, enginar ve karadut sirkeleri ile birlikte toplam yedi farklı sirke örneğinin antioksidan kapasiteleri 2,2-difenil-1-pikrilhidrazil (DPPH) ve galvinoxil yöntemleri kullanılarak belirlenmiştir. Çalışmanın sonucunda test edilen sirke örneklerinin antioksidan kapasite düzeyleri yüksekten düşüğe doğru sıralandığında DPPH yöntemine göre: nar > kuşburnu > alıç > karadut > enginar > üzüm > elma şeklinde olduğu ve galvinoxil yönteminde ise: nar > kuşburnu > alıç > enginar > karadut > üzüm > elma şeklinde olduğu görülmüştür. Bu sonuçlara göre enginar ve karadut sirkeleri hariç test edilen sirke örneklerinin antioksidan özelliklerinin her iki yöntemle de benzer sonuçlar sergilediği görülmektedir. Enginar ile karadut sirkelerinin DPPH ve galvinoxil yöntemlerine göre farklı sonuçlar vermesi; farklı metotlar kullanmanın antioksidan kapasite düzeylerinin belirlenmesinde daha doğru sonuçlar elde edilmesindeki önemini göstermektedir.

Anahtar kelimeler: Antioksidan kapasite, DPPH radikali, Galvinoxil radikali, Sirke.

The Evaluation of the Antioxidant Capacity Levels of Some Common and Uncommon Vinegars

Abstract

Vinegar is a fermentation product obtained by using fermentable different raw materials. Vinegar has been used by many civilizations since ancient times and many different functions such as sweetening and disinfection in kitchens. It has also many positive effects on health with its antimicrobial, antioxidant, antidiabetic and anticarcinogenic properties with the help of various phenolic compounds, amino acids, vitamins and organic acids. In this study, the antioxidant capacities of the seven vinegar samples, including the rare rhizome, hawthorn, artichoke and black mulberry vinegars, along with the grape, apple and pomegranate vinegar found in the grocery stores, were determined by using DPPH and galvinoxyl methods. When the antioxidant capacity levels of the vinegar samples are ordered from high to low, according to the DPPH method: pomegranate > rosehip > hawthorn > black mulberry > artichoke > grapes > apple and in galvinoxyl method: pomegranate > rosehip > hawthorn > artichoke > black mulberry > grape > apple. According to these results, the antioxidant properties of the vinegar samples tested with the exception of artichoke and black mulberry vinegar showed similar results with respect to both antioxidant capacity methods. Artichoke and black mulberry vinegars gave different results according to DPPH and galvinoxyl methods which proved the importance of using different methods in obtaining more accurate results in determining the antioxidant capacity levels.

Keywords: Antioxidant capacity, DPPH radical, Galvinoxyl radical, Vinegar.

*Sorumlu yazar: mkonus@yyu.edu.tr

Geliş Tarihi: 29.05.2019, Kabul Tarihi: 01.08.2019

1. Giriş

Sirke mayalanabilir karbon kaynağına sahip farklı hammaddelerden elde edilebilen bir fermantasyon ürünüdür [1]. Eskiden beri birçok farklı uygarlık tarafından kullanılan sirke birçok işleve sahiptir. Mutfaqlarda lezzet artırma ve dezenfeksiyon amacıyla kullanılmalarının yansira tıbbi amaçlarla da kullanılmıştır [2]. Sirke içerisinde barındırdığı çeşitli fenolik bileşikler, aminoasitler, vitaminler, organik asitler ve melanoidler sayesinde sahip olduğu antimikrobiyal, antioksidan, antidiyabetik ve antikarsinojenik özellikleri ile insan sağlığı üzerinde birçok faydalı etkiye sahiptir [3].

Serbest radikaller, son yörüngesinde bir ya da birden fazla eşlenmemiş elektron taşıyan yüksek oranda reaktif moleküllerdir [4]. Kararsız olan bu moleküller diğer moleküllerle tepkimeye girerek istenmeyen oksidasyon reaksiyonlarına neden olmaktadır. Böylece organizmada proteinler, lipitler ve nükleik asitlerdeki bozukluklar, membran bütünlüğünün bozulması, genetik mutasyonlar şeklinde birçok hasara neden olmaktadır [5]. Antioksidanlar ise serbest radikalleri süpürerek hücrenin hasar görmesini engelleyen ve genellikle yapısında fenolik grup taşıyan moleküllerdir [6]. Antioksidan moleküller vücut tarafından üretilebilirler ya da gıdalar aracılığıyla vücuda alınabilmektedirler [7]. Gıdaların sahip oldukları toplam antioksidan kapasiteyi belirlemek için günümüzde birçok biyokimyasal yöntem mevcuttur. Bu yöntemler, ölçüm için kullanıldıkları radikalın özelliğine bağlı olarak farklı sonuçlar verebilmektedirler [8]. Örneğin, DPPH yönteminde kararlı bir azot radikali kullanılmakta olup antioksidan kapasite belirlemelerinde yaygın olarak kullanılan yöntemlerin başında gelmektedir. Ayrıca, galvinoxil yönteminde ise bir karbon radikali kullanılmakta olup normal metabolik faaliyetler esnasında oluşan radikallere oldukça benzerdir [9]. Galvinoxil yöntemi antioksidan kapasite belirleme çalışmalarında DPPH yöntemi kadar yaygın kullanılan bir yöntem olmamasına rağmen bu yöntemde kullanılan karbon radikalının insan metabolizmasına uygunluğundan dolayı bu çalışmada kullanılması tercih edilmiştir.

Bu çalışmada, marketlerde yaygın bulunan ve kullanılan üzüm, elma ve nar sirkelerinin yanı sıra nadir bulunan kuşburnu, alıç, enginar ve karadut sirkeleri ile birlikte toplam yedi farklı sirke örneğinin antioksidan kapasiteleri DPPH ve galvinoxil yöntemleri kullanılarak belirlenmiştir. Böylece, test edilen sirke örneklerinin antioksidan kapasiteleri birden fazla yöntem ile ölçülerek, elde edilen sonuçların tutarlılığı değerlendirilmiştir.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Materyal

Bu çalışmada ticari olarak satışı yapılan yaygın üç farklı sirke çeşidi (üzüm, elma ve nar) ile birlikte marketlerde nadir bulunan ancak sanal ortamdaki alış-veriş sitelerinde satışı yapılan dört farklı sirke çeşidi (kuşburnu, alıç, enginar ve karadut) kullanılmıştır. Sirke örneklerinin marka ve içerik bilgileri Tablo 1'de belirtilmiştir. Bu sirkelerin etiket bilgilerine bakıldığında yaygın olarak satılan sirkelerin hepsinde katkı maddesi olarak sodyum metabisülfid bulunduğu belirtilirken, yaygın bulunmayan sirkelerde ise herhangi bir katkı maddesi bulunmadığı belirtilmektedir. Tümü Tarım ve Orman Bakanlığı'ndan onaylı olan ve yaygın bulunan sirkeler üzüm, elma ve nar sirkeleri yerel marketlerden temin edildi. Yaygın bulunmayan sirkeler ise internetten sanal alış-veriş sitelerinden sipariş edilerek temin edildi. Temin edilen tüm sirke örnekleri deney gününe kadar +4 °C dolapta muhafaza edildi.

Tablo 1. Test edilen sirke örneklerinin marka ve içerik bilgileri

| Marka | Ürün | İçerik |
|-------------|------------------|---|
| Köhne | Üzüm sirkesi | Üzüm sirkesi, antioksidan (sodyum metabisülfid) |
| | Nar sirkesi | Nar sirkesi, antioksidan (sodyum metabisülfid) |
| | Elma sirkesi | Elma sirkesi, antioksidan (sodyum metabisülfid) |
| Nahita | Kuşburnu sirkesi | % 100 Kuşburnu sirkesi |
| | Enginar sirkesi | % 100 Enginar sirkesi |
| Naturelife | Alıç sirkesi | % 100 Alıç sirkesi |
| Sirkecizade | Karadut sirkesi | % 100 Karadut sirkesi |

2.2. Yöntem

2.2.1. DPPH (2,2-difenil-1-pikrilhidrazil) yöntemi

Blois [10]'in DPPH yöntemi modifiye edilerek test edilen sirkelerin radikal süpürme kapasiteleri belirlendi. DPPH, kahverengi şişeler içerisinde konsantrasyonu 400 µM olacak şekilde saf etanol ile çözdürüldü. Tamamen çözünmesi için DPPH ultrasonikatör içerisinde 30 dakika bekletildi. Test edilen sirkeler etanol ile seyreltilerek beş farklı konsantrasyon hazırlandı. Nar sirkesi için 79,5-1272, kuşburnu sirkesi için 62,5-1000, elma sirkesi için 2,5-47,5, üzüm sirkesi için 7,9-127,9, enginar sirkesi için 25-400, karadut sirkesi için 16,7-266,6 ve alıç sirkesi için 25-400 kat seyreltme oranı kullanıldı. Standart madde olarak kullanılan askorbik asit için ise 5,32-85,08 µM konsantrasyon aralığı kullanıldı. Askorbik asit ile gerçekleştirilen deneyler hem laboratuvar koşullarında DPPH ve galvinoksil metotlarının başarılı şekilde uygulandığının kanıtlanması hem de sirkelerin toplam antioksidan kapasiteleri için referans teşkil etmesi için uygulanmıştır. Diğer taraftan, sirkelerin toplam antioksidan kapasitelerinin birbirleriyle karşılaştırılmalarında, basitçe, seyreltme faktöründen faydalanılmıştır. Her konsantrasyon ve kör (blank) için üçer örnek hazırlandı. Her örnek son konsantrasyonu 100 µM DPPH olan ortamda 30 dakika boyunca oda sıcaklığında inkübe edildi. İnkübasyondan sonra UV/VIS spektrofotometrede 517 nm'de referansa (etanol) karşı okundu. Tüm ölçümler üçer tekrar olarak gerçekleştirildi. Radikal yakalama aktivitesi (% RSA) Eşitlik 1'de belirtildiği gibi hesaplandı.

$$\% \text{ RSA} = ((\text{KörAbs} - \text{ÖrnekAbs}) / \text{KörAbs}) \times 100 \quad (1)$$

2.2.2. Galvinoksil yöntemi

Shi ve Niki [11] galvinoksil metodu optimize edilerek uygulandı. Bu yöntemde, 160 µM olacak şekilde galvinoksil solüsyonu etanol ile hazırlandı. Test edilen sirkeler ve standart olarak kullanılan troloks (E vitamini analogu) saf etanolde çözülerek beş farklı konsantrasyon olacak şekilde saf etanol ile seyreltmeler yapıldı. Nar sirkesi için 199,5-3192, kuşburnu sirkesi için 199,5-3192, elma sirkesi için 4,9-79, üzüm sirkesi için 16,6-266, enginar sirkesi için 66,7-1066,7, karadut sirkesi için 33,3-533,3 ve alıç sirkesi için 135,7-2171,4 kat seyreltme oranı kullanıldı. Standart madde olarak kullanılan troloks için ise 0,25-2,8 µM konsantrasyon aralığı kullanıldı. Her konsantrasyon ve kör için üçer örnek hazırlandı. Her tüpe farklı konsantrasyonlarda hazırlanmış maddelerden eklenerek son konsantrasyonu 8 µM galvinoksil olan çözelti içinde 20 dakika karanlık ortamda inkübasyona alındı ve spektrofotometrede 428 nm'de referansa (etanol) karşı okuma yapıldı. Tüm ölçümler üçer tekrar olarak gerçekleştirildi. % Radikal yakalama aktivitesi "Eşitlik 1" de belirtilen formül kullanılarak hesaplandı.

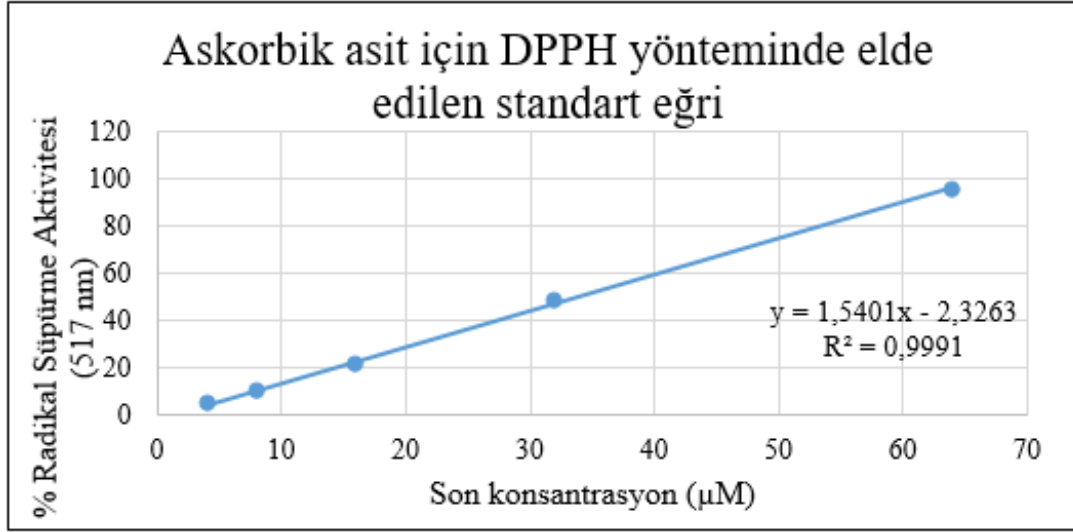
3. Bulgular ve Tartışma

3.1. DPPH yöntemi sonuçları

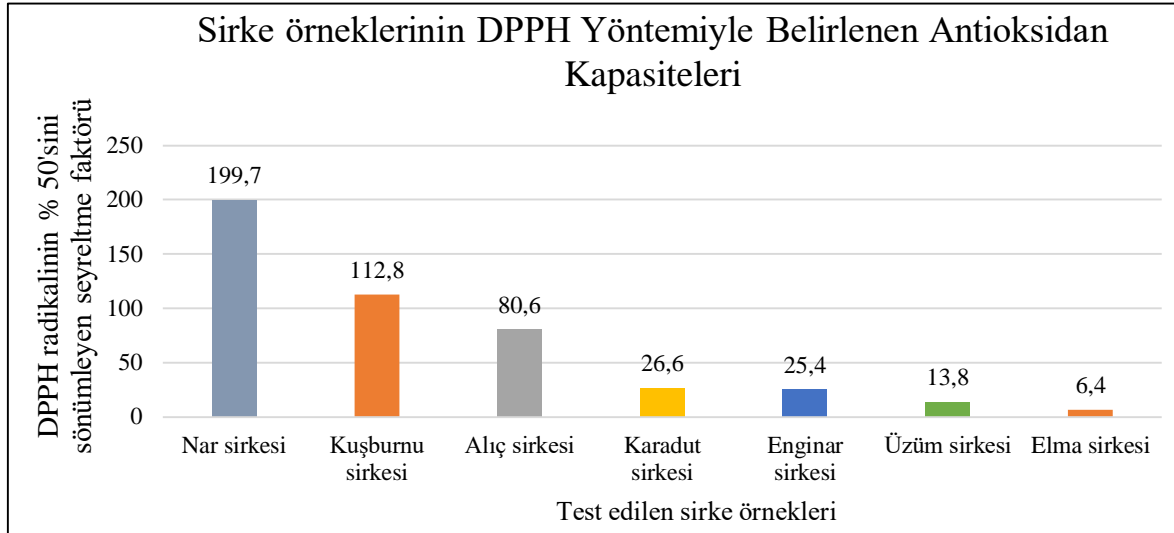
En yaygın antioksidan kapasite yöntemlerinden biri olan DPPH yönteminde bir azot radikali olan DPPH• radikali kullanılmaktadır. Bu yöntem başlangıçta mor renkte olan DPPH• radikalinin antioksidan madde etkisiyle DPPH-H formuna indirgenmesiyle meydana gelen renk değişiminin 517 nm'de ölçülmesi ve böylece süpürülen radikal miktarının hesaplanması prensibine dayanmaktadır [12]. Şekil 1'de DPPH yönteminde standart madde olarak kullanılan askorbik asidin radikal süpürme aktivitesini gösteren grafik görülmektedir. Grafikteki denkleme göre DPPH radikalinin %50'sini inhibe eden askorbik asit miktarı 33,98 µM olarak hesaplanmıştır.

Bu çalışmada DPPH yöntemiyle antioksidan kapasiteleri test edilen sirke örneklerinin radikalın yarısını inhibe eden seyreltme faktörü SF50 (radikalın %50'sini inhibe eden seyreltme faktörü) olarak ifade edildi. SF50 değeri bu çalışmada radikalın yarısını inhibe eden seyreltme oranını ifade ettiğinden dolayı bu değer arttıkça ortamdaki sirke konsantrasyonu azalacaktır. Bu yüzden SF50 değeri arttıkça radikal süpürme aktivitesi de artacaktır; yüksek oranda seyreltilen sirke yine de radikalın yarısını süpürecek aktiviteye sahip demektir. DPPH metodunda antioksidan kapasiteleri test edilen sirke örneklerinin SF50 değerleri Şekil 2'de verilmiştir. Bu değerlere göre test edilen sirke örneklerinin

antioksidan kapasiteleri yüksekten düşüğe doğru: nar > kuşburnu > alıç > karadut > enginar > üzüm > elma şeklinde olduğu görülmektedir.



Şekil 1. DPPH yönteminde askorbik asidin 517 nm'deki standart eğrisi



Şekil 2. DPPH yöntemiyle test edilen sirke örneklerinin SF₅₀ değerlerinin kıyaslanması

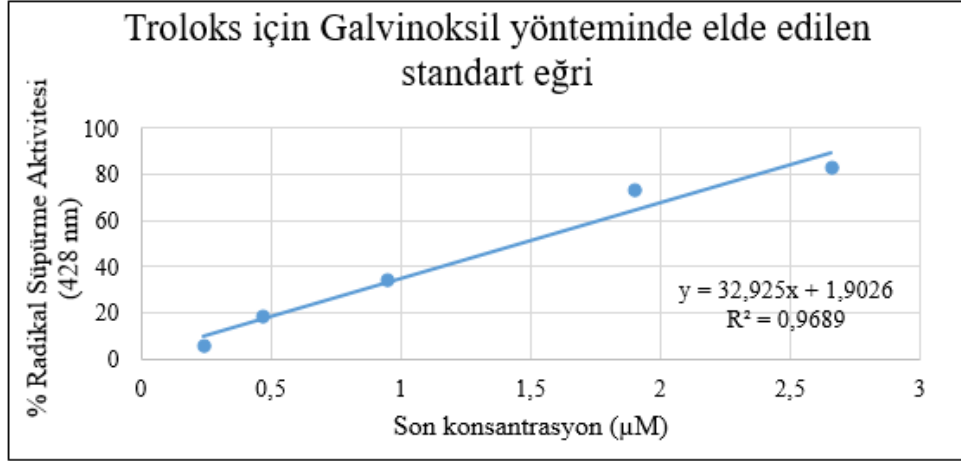
DPPH yönteminde en yüksek antioksidan kapasitenin nar sirkesinde olduğu tespit edilirken en düşük antioksidan kapasitenin elma sirkesinde olduğu tespit edildi. Ayrıca, nar ve kuşburnu sirkelerinin antioksidan kapasitelerinin test edilen alıç, karadut, enginar, üzüm ve elma sirkelerinden yüksek olması da benzer şekilde bu sirkelerin içeriğindeki fenolik ve flavonoid maddelerin daha yüksek olması nedeniyle olabilir. Yapılan çalışmalarda, antioksidan kapasitenin total flavonoid [13] ve total fenolik madde [14] içeriğiyle doğru orantılı olarak artışlar gösterdiği rapor edilmiştir.

Antioksidan kapasite için önemli olan diğer bir faktör de bu sirke örneklerinin sahip olduğu vitamin içeriğidir. Örneğin, C vitamini ile yapılan çalışmalarda kuşburnunda yüksek miktarda C vitamini bulunduğu [15] ve bunun da antioksidan aktivitenin artışına katkıda bulunduğu rapor edilmiştir [16]. Buna karşın, bu çalışmada nar sirkesinin antioksidan içeriğinin kuşburnu sirkesinden daha yüksek olduğu görülmüştür. Bunun nedeni ise nar sirkesinde katkı maddesi olarak kullanılan sodyum metabisülfitten kaynaklanmış olabilir [17].

3.2. Galvinoxil yöntemi sonuçları

Bir ferromanyetik radikal olan galvinoxil radikali 428 nm’de maksimum soğuruma sahiptir. Galvinoxil radikali hidrojen veren antioksidan maddeler tarafından indirgenebilmektedir [18]. Başlangıçta sarımsı bir renkte olan bu radikal antioksidan madde tarafından indirgendiğinde bu renkte bir açılma meydana gelir. Meydana gelen renk değişimi spektrofotometre ile 428 nm’de ölçülerek radikal süpürme aktivitesi hesaplanır.

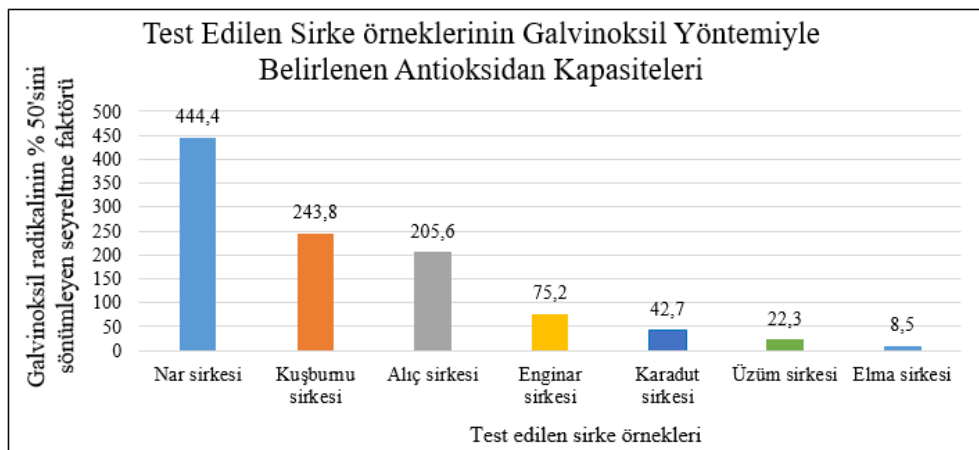
Şekil 3’te galvinoxil yönteminde standart madde olarak kullanılan troloksun radikal süpürme aktivitesini gösteren grafik görülmektedir. Grafikteki denkleme göre galvinoxil radikalinin %50’sini inhibe eden troloks miktarı 1,46 μM olarak hesaplanır.



Şekil 3. Galvinoxil yönteminde troloksun 428 nm’deki standart eğrisi

Bu yöntemde test edilen sirke örneklerinin radikal süpürme aktivitelerini test etmek için DPPH yönteminde olduğu gibi SF50 değerleri kullanıldı. Benzer şekilde, SF50 değeri radikalin % 50’sini inhibe eden seyreltme faktörünü ifade ettiğinden dolayı bu değer arttıkça galvinoxil radikalinin süpürme aktivitesi de artacaktır.

Şekil 4’te galvinoxil yöntemine göre test edilen sirke örneklerinin SF50 değerlerinin kıyaslanması görülmektedir. Bu değerlere göre test edilen sirke örneklerinin radikal süpürme aktiviteleri yüksek düşüğe doğru: nar > kuşburnu > alıç > enginar > karadut > üzüm > elma şeklinde olduğu görülmektedir.



Şekil 4. Galvinoxil yöntemiyle test edilen sirke örneklerinin SF₅₀ değerlerinin kıyaslanması

Bu yöntemde test edilen sirkelerin antioksidan kapasitelerinin sonuçları DPPH yöntemi ile bulunan sonuçlara oldukça benzer şekilde olduğu (karadut ve enginar sirkelerinin kendi aralarındaki sıralama hariç) görüldü. Bu da yaygın olarak kullanılmayan galvinoxil yönteminin de DPPH yöntemine

paralel sonuçlar verebildiğini ve DPPH yöntemiyle uyumlu bir şekilde kullanılacak bir yöntem olabileceğini göstermektedir.

DPPH yöntemi sonuçlarına göre enginar sirkesi (SF50=25,4) ile karadut sirkesinin (SF50=26,6) SF50 sonuçları birbirine oldukça yakın çıkmasına karşın, galvinoxil metodunda ise SF50 değerleri sırasıyla 75,2 ve 42,8 olmuştur. Bu sonuçlarda bize, farklı metotlar kullanmanın antioksidan kapasite düzeylerinin belirlenmesinde daha doğru sonuçlar elde edilmesindeki önemini göstermektedir.

Enginar ve karadutta ortak olarak klorojenik asit molekülleri bulunurken inulin sadece enginar yaygın olarak bulunurken antosiyanin ise sadece karadutta bulunmaktadır [19-22]. Bu yüzden enginar ile karadut sirkelerinin antioksidan kapasitelerinin DPPH ve galvinoxil yöntemlerine göre farklılık göstermesinin sebebi olarak enginardaki inulin ile karadutta bulunan antosiyanin maddelerinin, prosedürlerdeki mevcut radikallerle farklı şekillerde ve/veya oranlarda etkileşimleri düşünülebilir.

4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada yaygın olarak marketlerde bulunan üzüm, elma ve nar sirkelerinin yanı sıra nadir bulunan kuşburnu, alıç, enginar ve karadut sirkeleri ile birlikte toplam yedi sirke örneğinin antioksidan kapasiteleri DPPH ve galvinoxil yöntemleri kullanılarak belirlenmiştir. Test edilen sirke örneklerinin antioksidan kapasite düzeyleri yüksekte düşüğe doğru sıralandığında DPPH yöntemine göre: nar > kuşburnu > alıç > karadut > enginar > üzüm > elma şeklinde olduğu ve galvinoxil yönteminde ise: nar > kuşburnu > alıç > enginar > karadut > üzüm > elma şeklinde olduğu görülmektedir. Bu sonuçlara göre enginar ve karadut sirkeleri hariç test edilen sirke örneklerinin antioksidan özelliklerinin her iki antioksidan kapasite ölçüm yönteminde de paralellik gösterdiği görülmektedir. Enginar ve karadut sirkelerinde farklılık görülmesinin olası neden veya nedenleri ise enginar da bulunan inulin ve karadutta bulunan antosiyanin maddelerinden test edilen radikallerle etkileşim farklılıklarından kaynaklandığı düşünülmektedir. Ayrıca, karadutta antioksidan aktivitenin başlıca kaynağının antosiyanin maddesi olduğu [23] rapor edilirken enginar sirkesinde güçlü radikal süpürme aktivitesi gösteren birçok madde (lupeol, scolymoside, apigenin, narirutin, kafeik asit, klorojenik asit, ve ferulik asit) bulunduğu yapılan çalışmalarda belirtilmiştir [24-26]. Bunun da enginar ve karadut sirkelerinin antioksidan aktivitelerindeki farklılığın diğer bir nedeni olabileceği varsayılmaktadır.

DPPH yöntemi yaygın olarak kullanılan bir antioksidan kapasite yöntemidir. Buna karşın galvinoxil yöntemi daha nadir kullanılmaktadır. Bu çalışmada, galvinoxil ve DPPH yöntemlerinde benzer sonuçlar elde edilmesi galvinoxil yönteminin DPPH yöntemine hem bir alternatif hemde test edilen sonuçların teyit edilmesinde kullanılacak bir antioksidan kapasite yöntemi olduğunu göstermektedir. Ayrıca galvinoxil radikali bir karbon radikali olduğundan vücut metabolizmasında oluşan radikallere oldukça benzerdir [9]. Bu yüzden vücut metabolizmasına uygunluğu DPPH radikaline (azot radikali) göre daha fazladır.

Bu çalışmada kullanılan sirke örneklerinden nar, üzüm ve elma sirkeleri katkı maddesi olarak sodyum metabisülfite içerirken kuşburnu, alıç, karadut ve enginar sirkeleri herhangi bir katkı maddesi içermemektedir. Sodyum metabisülfitin antioksidan kapasiteye katkı sağladığı literatürde rapor edilmesine rağmen [17], bu çalışmada sodyum metabisülfite içermeyen örneklerin nar sirkesi hariç diğer örneklerle (üzüm ve elma) göre daha yüksek antioksidan kapasiteye sahip olduğu görülmüştür.

Yazarların Katkısı

Yazarlar çalışmanın tasarımında, deneylerde ve makale yazımında eşit oranda katkıda bulunmuşlardır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada, araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar

- [1] Öztürk A., Özdemir Y., Göksel Z. 2009. Elma Sirkesi Ve Teröpatik Etkileri. Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi, 1: 155-158.
- [2] Altunbağ E., Zencir E. 2018. Türk Ve Akdeniz Yemeklerinde Sirke Kullanımı. Journal of Gastronomy, Hospitality And Travel, 1 (2): 45-54.
- [3] Şengün İ.Y., Kılıç G. 2018. Dut Sirkesinin Mikrobiyolojik, Fiziksel, Kimyasal, Antiradikal ve Antimikrobiyal Özellikleri. Akademik Gıda, 16 (2): 168-175.
- [4] Sohal R.S. 1993. The free radical hypothesis of aging: an appraisal of the current status. Aging Clinical and Experimental Research, 5 (1): 3-17.
- [5] Memişoğulları R. 2005. Diyabette serbest radikallerin rolü ve antioksidanların etkisi. Düzce Tıp Fakültesi Dergisi, 3: 30-39.
- [6] Kähkönen M.P., Hopia A.I., Vuorela H.J., Rauha J.P., Pihlaja K., Kujala T.S., & Heinonen, M. 1999. Antioxidant Activity Of Plant Extracts Containing Phenolic Compounds. Journal of agricultural and food chemistry, 47 (10): 3954-3962.
- [7] Yavaşer R. 2011. Doğal Ve Sentetik Antioksidan Bileşiklerin Antioksidan Kapasitelerinin Karşılaştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Adnan Menderes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Aydın.
- [8] Prakash A., Rigelhof F., Miller E. 2001. Antioxidant activity. Medallion laboratories analytical progress, 19 (2): 1-4.
- [9] Tirzitis G., Bartosz G. 2010. Determination of antiradical and antioxidant activity: basic principles and new insights. Acta Biochimica Polonica, 57 (2).
- [10] Blois M.S. 1958. Antioxidant determinations by the use of a stable free radical. Nature, 181 (4617): 1199.
- [11] Shi H., Niki E. 1998. Stoichiometric and kinetic studies on Ginkgo biloba extract and related antioxidants. Lipids, 33 (4): 365.
- [12] Özenç B. 2011. *Fumaria officinalis*'in Antioksidan Aktivitesinin Belirlenmesi. Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- [13] Turgut D.Y., Seydim A.C. 2013. Akdeniz Bölgesinde yetiştirilen bazı nar (*Punica granatum L.*) çeşit ve genotiplerinin fenolik bileşenleri ve antioksidan aktivitelerinin belirlenmesi. Akademik Gıda, 11 (2): 51-59.
- [14] Bakır S. 2014. Bazı Sirke Çeşitlerinin Fenolik Madde İçeriği Ve İn Vitro Biyoerişebilirliğinin Ve Üzüm İle Elma Sirkesi Üretimi Sırasında Antioksidan Aktivitede Meydana Gelen Değişimlerin İncelenmesi. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [15] Yıldız Ü., Çelik F. 2011. Muradiye (Van) yöresinde doğal olarak yetişen kuşburnu (*Rosa spp.*) genetik kaynaklarının bazı fiziko-kimyasal özellikleri. Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 16 (2): 45-53.
- [16] Aydın H. 2011. Bazı baharatların farklı ekstraktlarının antioksidan özelliklerinin belirlenmesi Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne.
- [17] Hugh D., Grennan A., Abugila M.A., Weinkove C. 1987. Ascorbic acid as an antioxidant in measurements of catecholamines in plasma. Clinical chemistry, 33 (4): 569-571.
- [18] Selçuk A.R. 2012. Galvinoxil radikali bazlı spektrofotometrik antioksidan aktivite tayin yöntemi ve yaygın olarak kullanılan diğer yöntemlerle kıyaslanması. Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.
- [19] Sonnante G., D'Amore R., Blanco E., Pierri C.L., De Palma M., Luo J., Martin C. 2010. Novel hydroxycinnamoyl-coenzyme A quinate transferase genes from artichoke are involved in the synthesis of chlorogenic acid. Plant Physiology, 153 (3): 1224-1238.
- [20] Arfan M., Khan R., Rybarczyk A., Amarowicz R. 2012. Antioxidant activity of mulberry fruit extracts. International journal of molecular sciences, 13 (2): 2472-2480.
- [21] Pagano I., Piccinelli A.L., Celano R., Campone L., Gazzero P., De Falco E., Rastrelli L. 2016. Chemical profile and cellular antioxidant activity of artichoke by-products. Food & function, 7 (12): 4841-4850.
- [22] Budiman A., Aulifa D.L., Kusuma A.S.W., Sulastri A. 2017. Antibacterial and antioxidant activity of black mulberry (*Morus nigra L.*) Extract for acne treatment. Pharmacognosy Journal, 9 (5).

- [23] Yiğit D., Ahmet M.A.V.İ., Aktaş M. 2008. Antioxidant activities of black mulberry (*Morus nigra*). Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 1 (2): 223-232.
- [24] Wang M., Simon J.E., Aviles, I.F., He K., Zheng Q.Y., Tadmor Y. 2003. Analysis of antioxidative phenolic compounds in artichoke (*Cynara scolymus* L.). Journal of agricultural and Food Chemistry, 51 (3): 601-608.
- [25] Azzini E., Bugianesi R., Romano F., Di Venere D., Miccadei S., Durazzo A., Maiani G. 2007. Absorption and metabolism of bioactive molecules after oral consumption of cooked edible heads of *Cynara scolymus* L.(cultivar Violetto di Provenza) in human subjects: a pilot study. British Journal of Nutrition, 97 (5): 963-969.
- [26] Löhr G., Deters A., Hensel A. 2009. In vitro investigations of *Cynara scolymus* L. extract on cell physiology of HepG2 liver cells. Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences, 45 (2): 201-208.

Araştırma Makalesi / Research Article

Karadeniz Teknik Üniversitesi Kanuni Kampüsü'nde Bazı Ofislerde Radon Gazı Ölçümü ve Çevrelerindeki Topraklarda Radyonüklid Seviyeleri

Selcen UZUN DURAN^{1*}, Belgin KÜÇÜKÖMEROĞLU²

¹Karadeniz Teknik Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri MYO, Tıbbi Görüntüleme Bölümü, Trabzon

²Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fizik Bölümü, Trabzon

(ORCID: 0000-0003-4943-4654) (ORCID: 0000-0003-3963-3764)

Öz

Bu çalışmada KTÜ Kanuni Kampüsü'nde ofislerde radon gazı seviyesi ölçülmüş ve çalışanlar için radondan kaynaklanan doz eşdeğerleri tahmin edilmiştir. Radon gazı ölçümleri 30 ofiste yapılmıştır. Ölçümler üçer katlı on binanın her bir katında yapılmış ve katlara göre radon gazı değerleri karşılaştırılmıştır. Çalışanlar zamanının çoğunu ofislerinde geçirdikleri için ofislerde radon gazı ölçümü önemlidir. Radon gazı ölçümleri ALPHAGUARD PQ 2000 radon monitörü ile ölçülmüş, sonuçlar uluslararası değerler ile karşılaştırılmıştır. KTÜ Kanuni Kampüsünde ölçülen radon gazı değerleri izin verilen limit değerlerin altındadır. Ayrıca seçilen bu 10 binanın etrafından alınan toprak örneklerinde radyonüklid analizi yapılmış ve değerler uluslararası kuruluşların izin verdiği limit seviyelerle karşılaştırılmıştır.

Anahtar kelimeler: Radon-222, Alpha-Guard, Eşdeğer Doz

Radon Gas Measurement and Radionuclide Levels in Soil Surrounding in Some Offices of Karadeniz Technical University Kanuni Campus

Abstract

In this study, radon concentration was measured in offices at the Kanuni Campus of Karadeniz Technical University to estimate the effective dose of radon for office workers. Radon gas measurements were made in thirty offices. Measurements were made on each floor of the three floors of ten building and the level of the radon was compared to the floors. The measurement of radon concentration levels is important in campus offices because of where office workers spend most of their time in offices. Radon measurements were performed by an ALPHAGUARD PQ 2000 radon gas analyser and the results obtained in this study were compared with the international recommended values. The radon levels obtained in most assessed offices in the Kanuni Campus of Karadeniz Technical University were found to be within the permissible reference levels. In addition, radionuclide analysis was performed in the soil samples taken around these 10 buildings and the values were compared with the limit levels allowed by international organizations.

Keywords: Radon-222, Alpha-Guard, Equivalent dose

1. Giriş

Sağlık sorunlarının oluşumunda iki temel neden vardır; bünyesel ve çevresel etmenler. Çevresel etmenler ve bunlara neden olan ögeler halk sağlığı açısından giderek daha önemli olmaktadır ve bu etmenlerin toplum sağlığı üzerindeki etkileri kontrol altında tutulmaya çalışılmaktadır. Çevrede insan sağlığını doğrudan veya dolaylı etkileyebilecek etkenlerin başında insanların var oldukları günden bu yana birlikte yaşamakta oldukları doğal ve yapay yollardan maruz kaldıkları radyasyon gelmektedir. Radyasyon sürekli iç içe olduğumuz, yaşadığımız çevrenin bir parçasıdır. Radyasyonun temel kaynakları, kayalar ve toprakta bulunan doğal radyonüklidlerden kaynaklanan radyasyon ile havadaki

* Sorumlu yazar: selcenduran@ktu.edu.tr

Geliş Tarihi: 11.06.2019, Kabul Tarihi: 24.09.2019

ve yiyeceklerdeki doğal radyoaktif maddeler ve kozmik ışımalarıdır. Uranyumun doğal bir radyoizotopu olan ^{238}U değişik konsantrasyonlarda kaya ve topraklarda bulunur. ^{238}U ' nun doğal bozunma zincirinden radyoaktif olan ve soygaz özelliği gösteren ^{222}Rn oluşur. Radon, renksiz, kokusuz, tatsız ağır bir gazdır. 86 atom numarası ile periyodik cetvelin soygazlar sınıfında yer alır. Radonun yarılanma ömrü 3,82 gündür ve 5,48 MeV enerjili bir α -parçacığı yayımlar. İnsanların maruz kaldığı radyasyonun % 85'i doğal kaynaklı olup, maruz kalman doğal radyasyonun yarısının nedeni radon gazıdır [1].

Yer kabuğunda doğal süreçler sonucunda oluşan radonun çevreye yayılım göstermesi, coğrafik bölgenin jeolojik yapısıyla yakından ilişkilidir. Evlerdeki ve iş yerlerindeki radon gazının kaynakları, binaların temelindeki kaya, toprak ve yeraltı suları ve iklim koşullarıdır [2]. Oluşan radon ve diğer gazlar toprak boyunca yükselir ve binanın altında bir basınç oluşturur. Bu basınçtan dolayı radon gazı bina içine sızar. Dünya genelinde ülkelere göre değişiklik göstermekle birlikte kapalı mekanlar (evler, işyerleri, okullar, tüneller, metro istasyonları ve yeraltı maden ocakları) başta olmak üzere hemen her yerde değişik miktarda radon gazı bulunur [3]. İnsanlar zamanının önemli bir kısmını kapalı alanlarda geçirdiği için kapalı alanlarda radon ayrı bir önem kazanmaktadır.

Radyoaktif bozunmaya uğrayan radon gazı, solunum ve sindirim yoluyla vücuda alındığında, yaydığı alfa parçacıkları yolu ile akciğer ve mide dokularını radyasyona maruz bırakarak, dokulara hasar verebilirler. Yüksek dozda radyasyona maruz kalınması, akciğer kanserinin sigaradan sonra ikinci nedenidir [4]. Radon ve bozunma ürünlerine maruz kalan insanların, akciğer kanserine yakalanma olasılığının yüksek olduğu, ICRP-2010 raporunda belirtilmiştir [5].

Sağlık üzerine olumsuz etkileri nedeniyle, dünya genelinde, kapalı mekanlarda özellikle evlerde, iş yerlerinde, okullarda radon ölçümü çalışmaları yürütülmektedir. Bu çalışmaların yanında, metro istasyonları, kaplıcalar, madenler, fabrikalar, mağaralar, dükkanlar vb. iş yerlerini kapsayan çalışmalar da yapılmaktadır.

Ülkemizde ise, özellikle evlerde ve iş yerlerinde radon konsantrasyonu ölçüm çalışmaları yapılmıştır. Madenlerde [6-10], termal kaplıcalarda [11-14], mağaralarda [15-18] ve okullardaki (veya kamu binalarındaki) [19-20] çalışmaların sayısı gün geçtikçe artmaktadır.

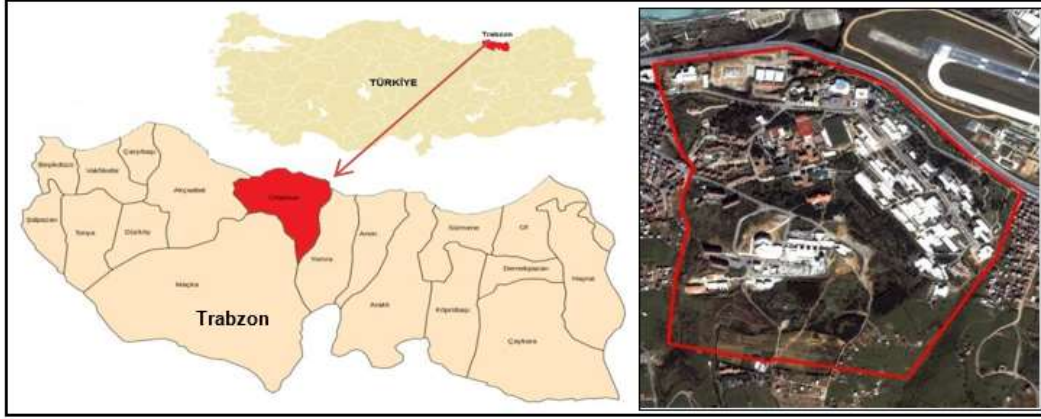
Trabzon'da ise evlerde ve okullarda radon gazı seviyesi ölçümleri pasif radon dedektörü kullanılarak yapılmıştır [21-22]. Fakat Karadeniz Teknik Üniversitesi Kanuni Kampüsü'nde daha önce böyle bir çalışma yapılmamıştır.

Bu çalışmanın amacı Karadeniz Teknik Üniversitesi Kanuni Kampüsü'nde bazı ofislerde radon gazı ölçümü ile ofis çevresindeki topraklarda radyonüklid ölçümü yapıp, çalışanlar için radondan kaynaklanan yıllık etkin doz eşdeğerlerini hesaplamaktır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Çalışma Alanı

Çalışma Türkiye'nin Doğu Karadeniz Bölgesi'nde bulunan Trabzon ilindeki Karadeniz Teknik Üniversitesi Kanuni Kampüsü'nde gerçekleştirilmiştir (Şekil 1). 1955 yılında kurulan Karadeniz Teknik Üniversitesi, İstanbul ve Ankara illeri dışında Türkiye'de kurulan ilk üniversitelerden biridir. 1 milyon 53 bin 839 metrekarelik bir alanı kaplayan kampüste yaklaşık 60 bin öğrenciye hizmet verilmektedir [23]. Çalışmada Kanuni kampüsü eğitim alanında ve Doğu Karadeniz Bölgesi'nde birçok kişiye hizmet veren 800 yatak kapasiteli Farabi Hastanesinde gerçekleştirilmiştir. Eğitim alanı kampüsün kuzey bölümünde, 1000 m uzunluğundaki ana arter üzerinde bulunan eğitim birimleri, rektörlük, idari binalar, kütüphane, spor alanları, kongre binası, şenlik alanı, futbol sahası ve öğrenci yurtlarından oluşmaktadır [24].



Şekil 1. Karadeniz Teknik Üniversitesi Kanuni Kampüsü [24].

2.2. Yöntem

2017-2018 yıllarında, Karadeniz Teknik Üniversitesi Kanuni Kampüsü'nde belirlenen 10 farklı binanın üç katında birer ofis olmak üzere, toplam 30 ofiste radon gazı ölçümleri yapılmıştır.

Radon, uranyum serisinin bozunma zincirinde bulunduğundan dolayı binanın altındaki toprağın uranyum miktarı, binalarda radon gazı seviyesinin değeri ile ilişkilidir. Radon gazının binaya girişinin temel nedeni, binanın temelinin altındaki toprak ile bina arasında oluşan sıcaklık ve basınç farkından dolayı oluşan gaz akışıdır. Bu gaz akışı binada bulunan çatlaklar ve boşluklardan bina içine sızmaktadır. Ayrıca binanın yapı malzemeleri de radon gazı üretmektedir. Kapalı ortamlarda radon gazı değerini etkileyen bir diğer etmen binanın havalandırma koşullarıdır. Bu çalışmada incelenen ofislerin tümü betonarme yapıda olmakla birlikte havalandırma koşulları ve binanın üzerinde bulunduğu toprağın yapısı farklılık gösterebilir. Bu nedenden dolayı radon gazı ölçümlerine ilave olarak binaların yakın çevresinden alınan toprak örneklerinde radyonüklid analizi yapılmıştır.

2.2.1. Radon Gazı Ölçümü

Bina içi radon seviyeleri iki farklı ölçüm tekniği kullanılarak yapılabilir. Bunlardan birisi aktif (anlık olarak), diğeri pasif (belli bir zaman süresince) ölçüm tekniğidir [25]. Bu çalışmada aktif olarak ölçüm yapan Alpha GUARD PQ-2000 radon dedektörü kullanılmıştır.

Alpha GUARD PQ-2000 radon ölçüm cihazı yerinde ölçüm yapabilen taşınabilir bir cihazdır. Cihaza tümleşik olarak bulunan iyon odası (alfa spektroskopisi pulse sayımı) sayesinde ortamın anlık radon değeri ölçülebilmektedir. Aynı zamanda cihaz radon değeri ile birlikte eş zamanlı olarak hava sıcaklığı, hava basıncı ve havanın nemi gibi diğer parametreleri de ölçmektedir. 2-2.000.000 Bq/m³ aralığındaki radon yoğunlukları ölçebilen cihaz, bilgisayara bağlanarak veri depolanmakta ve veriler analiz edilebilmektedir. Bu çalışmada DataEXPERT yazılımı kullanılarak, alınan veriler analiz edilmiştir. AlphaGUARD aktif radon ölçüm cihazı ile her bir ofiste bir haftalık ölçümler yapılmıştır. Bu ölçümlerde 10 dk. Difüzyon modunda çalıştırılan cihaz Şekil 2'de görülmektedir.



Şekil 2. AlphaGUARD aktif radon ölçüm cihazı.

İç ortamdaki hava için radon gazından kaynaklanan yıllık etkin doz eşdeğeri UNSCEAR da belirtilen parametreler dikkate alınarak aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır [26].

$$AEDE \left(\frac{mSv}{y} \right) = CRn.F.O.DCF \quad (1)$$

Burada CRn iç hava ortamındaki radon konsantrasyonunu, F radon ve bozunum ürünlerinden kaynaklanan denge faktörünü (0,4), O iç ortamda geçirilen süreyi (çalışanlar için yıllık ortalama 2000 saat) ve DCF radondan kaynaklanan doz dönüşüm faktörünü $7,9 \times 10^{-6} \text{ mSv h}^{-1} (\text{Bq m}^{-3})^{-1}$ göstermektedir [26].

2.2.2. Radyonüklid Analizi

Çalışmada toprak numunelerinin radyoaktivite analizleri için, KTÜ Fen Fakültesi Fizik Bölümü Laboratuvarında bulunan çok kanallı gama spektroskopisi kullanılmıştır. Gama spektroskopik ölçümler Canberra, yüksek saflıkta coaxial Ge dedektörü (GC 1519 model) kullanılarak yapılmıştır. Bu dedektör %15'lik relatif verime, 1332,5 keV'de 1,9 keV rezölüsyona sahiptir. Elde edilen ölçümlerin analizi Genie-2000 programı kullanılarak yapılmıştır.

Toprak numuneleri yüzeyden 15-20 cm derinliğe inilerek toplanmıştır. Numuneler alınırken rastlanan bitki ve kök artıkları, çürümüş ağaç, yaprak ve dalları gibi biyolojik kalıntılar örnekten ayrılmıştır. Yalnız toprak almaya dikkat edilerek çakıl ve taşlar da numune dışına bırakılmıştır. Numuneler önceden etiketlenmiş temiz, ağızları kapanabilen naylon torbalara konulup laboratuvara getirilmiştir. Toplanan numuneler oda sıcaklığında kurutulmuş, öğütme ve eleme işlemleri yapılmıştır. Toprak örnekleri 80 Mesh'lik elekten geçirilerek homojen olması sağlanmıştır. Deney geometrisine uygun biçimde hazırlanan toprak örnekleri, deney geometrisine uygun kapların içine konulmuş ve ağızları sıkıca kapatılarak ^{238}U ve ^{232}Th ürünleri arasındaki radyoaktif dengenin oluşması için 1 ay süreyle bekletilmiştir. Bu işlemler sonucunda numuneler sayıma hazır hale getirilmiştir. Ölçüm sonucunda alınan spektrumlarda, ^{238}U bozunma ürünü ^{214}Pb (295,2 keV), ^{214}Pb (352 keV), ^{214}Bi (609,4 keV); ^{232}Th bozunma ürünü ^{212}Pb (238,6 keV), ^{208}Tl (583,1), ^{228}Ac (911,1 keV) ve ^{40}K (1460 keV) pikleri belirlenmiş ve aşağıda verilen bağıntı kullanılarak aktivite değerleri hesaplanmıştır.

$$A = N/(m \times \epsilon \times p \times t) \quad (2)$$

Bağıntıda A aktivite değeri, N net sayım alanı (toplam alan-background alanı), m numunenin net kütlesi, ϵ verim, p (bolluk) olasılık, t sayım zamanıdır. Aktiviteler hesaplandıktan sonra ise soğurulan doz ve yıllık etkin doz eşdeğeri hesaplanmıştır. Soğurulan doz;

$$D \left(\frac{nGy}{s} \right) = (0,462xU^{238}) + (0,604xTh^{232}) + (0,0417xK^{40}) \quad (3)$$

bağıntısı ile hesaplandıktan sonra Yıllık Etkin Doz Eşdeğeri aşağıda ki bağıntıdan hesaplanmıştır.

$$AEDE \left(\frac{\mu Sv}{y} \right) = \text{Soğurulan Gama Dozu} \times \text{Çevresel Gama Dozu Dönüşüm Faktörü} \times \text{Meşguliyet Faktörü} \times \text{Zaman} \quad (4)$$

Bu eşitlikte; Çevresel Gama Dozu Dönüşüm Faktörü, hem kapalı ortam içinde hem de kapalı ortam dışında yapılan ölçümlerde değişmemekte ve 0,7 Sv/Gy olarak alınmaktadır. Meşguliyet Faktörü ise insanların bu ışınlara maruz kaldıkları süredir. Bu çalışmada, Denklem 4'de meşguliyet faktörü, insanların zamanlarının %20'sini açık alanlarda ve %80'ini kapalı alanlarda geçirdikleri göz önüne alınarak, kapalı ortam için 0,8 ve kapalı ortam dışı için ise 0,2 olarak alınmıştır. Zaman ise, bir yıldaki saat sayısıdır (8760 s/y) [1].

3. Bulgular ve Tartışma

Karadeniz Teknik Üniversitesi Kanuni Kampüsü'nde toplam 30 ofiste her bir ofiste 1 hafta süreli ölçülen aktif radon gazı dedektörü verileri analiz edilerek ve Denklem 1 kullanılarak yıllık etkin doz eşdeğerleri

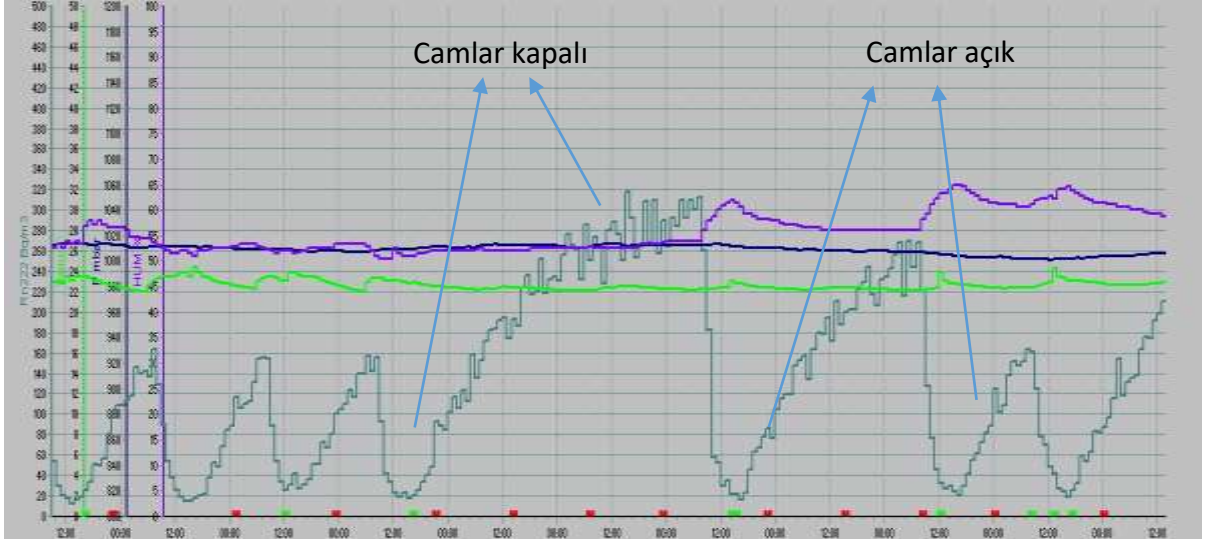
hesaplanmıştır. Ofis ortamında radon konsantrasyonu ve çalışan personelin aldığı yıllık etkin doz eşdeğeri Tablo 1’de verilmektedir.

Tablo 1. Ofis ortamında radon gazı konsantrasyonu ve çalışan personelin aldığı yıllık etkin doz eşdeğeri

| Ofis | Kat | Ortalama Radon Konsantrasyonu (Bq/m ³) | AEDE(mSv/y) |
|------|-------|--|-------------|
| O-1 | O1K1 | 79± 26 | 0,50 |
| | O1K2 | 67±22 | 0,42 |
| | O1K3 | 54±9,5 | 0,34 |
| O-2 | O2K1 | 90±16 | 0,57 |
| | O2K2 | 46 ±15 | 0,29 |
| | O2K3 | 20±8 | 0,12 |
| O-3 | O3K1 | 90±29 | 0,57 |
| | O3K2 | 78±11 | 0,49 |
| | O3K3 | 53 ±17 | 0,33 |
| O-4 | O4K1 | 26±6 | 0,16 |
| | O4K2 | 17±6 | 0,10 |
| | O4K3 | 13±6 | 0,08 |
| O-5 | O5K1 | 53±6 | 0,33 |
| | O5K2 | 46±6 | 0,3 |
| | O5K3 | 32±6 | 0,2 |
| O-6 | O6K1 | 234±27 | 1,5 |
| | O6K2 | 208±58 | 1,3 |
| | O6K3 | 113±32 | 0,7 |
| O-7 | O7K1 | 78±12 | 0,23 |
| | O7K2 | 65±13 | 0,41 |
| | O7K3 | 37±7 | 0,5 |
| O-8 | O8K1 | 54±14 | 0,12 |
| | O8K2 | 43±9 | 0,27 |
| | O8K3 | 19±7,5 | 0,34 |
| O-9 | O9K1 | 49±9 | 0,31 |
| | O9K2 | 38±10 | 0,24 |
| | O9K3 | 25±12 | 0,16 |
| O-10 | O10K1 | 64±10 | 0,40 |
| | O10K2 | 36±9 | 0,25 |
| | O10K3 | 12±3 | 0,08 |

Tablo 1 incelendiğinde, Ofis 6’nın 1. Katında (O6K1) en yüksek radon gazı değeri (234±27) olduğu görülmektedir. En düşük radon gazı değerinin (12±3) ise 10. Ofisin 3. Katında olduğu görülmektedir. Ortalama radon konsantrasyonu en düşük (18,6 Bq/m³) olan ofis 4. ofis, ortalama radon konsantrasyonu en yüksek olan (185 Bq/m³) ofis 6. Ofistir. Karadeniz Teknik Üniversitesi Kanuni Kampüsü’nde yapılan ölçümlerde 30 ofisin ortalama radon gazı seviyesi 61 Bq/m³ olarak belirlenmiştir.

Ofis-6’nın 3. Katında yapılan ölçümün ekran görüntüsü olan Şekil 3’de havalandırmanın, kapalı ortamdaki radon gazı konsantrasyonuna etkisini açıkça görülmektedir. Grafikte radon gazı değerlerinin artıp, azaldığı görülmektedir. Radon gazı değerleri camların açılıp havalandırma sağlandığı durumlarda azalmakta, camlar kapatıldığında artmaktadır. Bu ölçümde camlar gece kapanıp sabah açılmıştır. Camlar kapandığında ortamdaki radon gazı seviyesi yavaş yavaş artmakta, camlar açıldığında ise azalmaktadır. Ölçümün yapıldığı AlphaGUARD-2000 cihazı, anlık radon gazı seviyesi ile birlikte eş zamanlı olarak basınç, sıcaklık ve nem değerlerini vermektedir. Grafikte bu değerler görülmektedir.



Şekil 3. Havalandırma ile ortamdaki radon gazı değişimi (Ofis-6'nın 3. Katında yapılan ölçümün ekran görüntüsü)

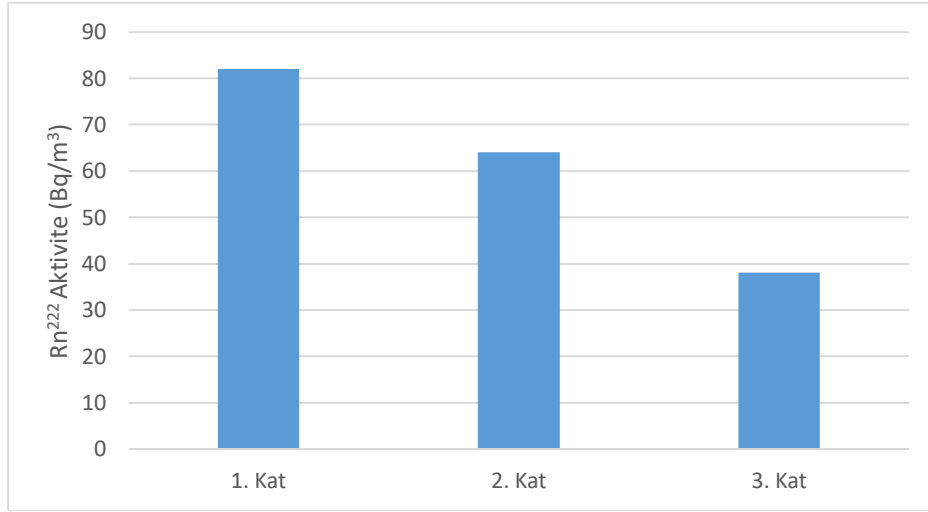
Gama spektroskopik analizi için seçilen 10 binanın çevresinden alınan toplam 14 toprak numunesinin ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K doğal radyoaktif elementinin aktiviteleri hesaplanmış ve Tablo 2'de verilmiştir. 14 adet toprak numunesinin ortalama ^{238}U aktivitesi 59 ± 1 Bq/kg olarak hesaplanmıştır. En düşük aktivite değeri 35 ± 6 Bq/kg, en yüksek aktivite değeri ise 81 ± 8 Bq/kg'dır. Ortalama ^{232}Th aktivitesi 26 ± 2 Bq/kg olup, değerler 12 ± 2 Bq/kg- $44\pm 6,5$ Bq/kg aralığındadır. Ortalama ^{40}K aktivitesi 603 ± 8 Bq/kg olarak hesaplanmıştır.

Tablo 2. Binaların etrafından toplanan toprak örneklerinin gama spektroskopik analizleri

| Numune adı | ^{238}U (Bq/kg) | ^{232}Th (Bq/kg) | ^{40}K (Bq/kg) | D (nGy/s) | AEDE ($\mu\text{Sv/y}$) |
|------------------|-----------------------------|------------------------------|----------------------------|----------------|------------------------------|
| T1 | 47±6 | 18±4 | 540±39 | 58 | 71 |
| T2 | 35±6 | 12±2 | 628±51 | 50 | 61 |
| T3 | 65±8 | 16±7 | 501±56 | 61 | 75 |
| T4 | 56±7 | 19±5 | 627±51 | 37 | 45 |
| T5 | 59±6 | 21±7 | 550±44 | 63 | 77 |
| T6 | 67±7 | 19±6 | 516±31 | 64 | 78 |
| T7 | 40±5 | 17±5 | 594±42 | 53 | 54 |
| T8 | 47±4 | 21±4 | 562±36 | 58 | 71 |
| T9 | 61±7 | 44±6,5 | 718±58 | 85 | 104 |
| T10 | 58±9 | 22±7 | 687±62 | 72 | 88 |
| T11 | 81±8 | 41±7 | 710±55 | 92 | 113 |
| T12 | 77±7 | 33±7 | 609±55 | 81 | 99 |
| T13 | 66±7 | 40±6 | 601±50 | 80 | 98 |
| T14 | 73±7 | 37±7 | 592±50 | 80 | 98 |
| Ortalama | 59±1 | 26±2 | 603±8 | 66 | 81 |
| Dünya ortalaması | 35 | 30 | 400 | UNSCEAR (2000) | |

4. Sonuç ve Öneriler

İnsanlar kapalı alanlarda bulunan radon gazından dolayı çeşitli sağlık riskleri ile karşılaşmaktadırlar. Ayrıca ülkemizde de akciğer kanseri yaygın kanser türlerindedir. Bu nedenle kapalı ortamlarda radon gazı değerlerinin tespit edilmesi önemlidir. Karadeniz Teknik Üniversitesi Kanuni Kampüsü'nde toplam 30 ofiste yapılan radon gazı ölçümlerinde, ortalama radon seviyesinin 61 Bq/m^3 olduğu tespit edilmiştir. Çalışmada radon gazı değerlerinin bina katlarına göre değişimi de incelenmiştir. Radon gazının katlara göre değişimi Şekil 4'de görülmektedir. Ortalama radon konsantrasyonu birinci katta $82 \pm 9 \text{ Bq/m}^3$, ikinci katta $64 \pm 6 \text{ Bq/m}^3$, üçüncü katta $38 \pm 5 \text{ Bq/m}^3$ değerindedir. Birinci kattan yukarıya doğru çıkıldıkça radon gazı seviyesi azalmaktadır. Toprağa dolayısı ile bina zeminine daha yakın olan bodrum, giriş ve birinci kattaki ofislerde radon gazı seviyesinin ikinci ve üçüncü katlara göre daha yüksek olması beklenen bir sonuçtur. Çünkü radon gazı toprakta bulunan ^{238}U 'un bozunması sonucu oluşmaktadır.



Şekil 4. Ortalama radon konsantrasyonunun katlara bağlı değişimi

Ev ve iş yerlerinde radon gazı değerleri için ulusal ve uluslararası kuruluşlarca limit değerler belirlenmiştir. Bu değerler Tablo 3'de verilmiştir. Bu değerlerin aşılması durumunda, ortamdaki radon konsantrasyonunu düşürme amaçlı tedbirlerin alınması tavsiye edilmektedir.

Tablo 3. Ev ve iş yerlerinde radon gazı değerleri için ulusal ve uluslararası kuruluşlarca belirlenen limitler [27].

| Organizasyon | Tavsiye edilen limitler (Bq/m³) | |
|--------------|---------------------------------|---------|
| | Ev | İş yeri |
| ICRP | ≤300 | ≤1000 |
| WHO | ≤100 | |
| AB | ≤300 | ≤1000 |
| TAEK | ≤400 | ≤1000 |

Karadeniz Teknik Üniversitesi Kanuni Kampüsü'nde belirlenen 10 binada toplam 30 ofiste yapılan radon gazı ölçüm sonuçları incelenip limit değerler ile karşılaştırıldığında, Tablo 1'deki sonuçların ulusal ve uluslararası kuruluşlarca belirlenen limit seviyelerden düşük olduğu görülmektedir. En yüksek değer olan $234 \pm 27 \text{ Bq/m}^3$ değerinin, ICRP ve TAEK'in iş yeri için belirlediği limit değerlerinin çok altında olduğu görülmektedir.

Tablo 4. İç havadaki ^{222}Rn seviyelerinin ve bu çalışmada belirlenen yıllık etkili dozların literatürdeki çalışmalarla karşılaştırılması.

| Kurum | ^{222}Rn (Bq/m ³) | AEDE (mSv/y) | Ülke | Referans |
|--------|---|-----------------|------------------|------------|
| Okul | 15-1390 | - | İtalya | 28 |
| Okul | 301-1582 | - | İspanya | 29 |
| Okul | 31-157 | 0.06-1.40 | Trabzon, Türkiye | 21 |
| Okul | 10-96.5 | 0.36-0.38 | Sakarya, Türkiye | 30 |
| Kampüs | 27-213 | 0.16-2.32 | Pakistan | 31 |
| Kampüs | 157-495 | 0.99-3.12 | Nijerya | 32 |
| Kampüs | 40-335 | 0.79-4.27 | İzmir, Türkiye | 33 |
| Kampüs | 0.2-94 | 0.18-2.00 | Sakarya, Türkiye | 34 |
| Kampüs | 12-234 | 0.08-1.5 | Trabzon, Türkiye | Bu çalışma |

Tablo 4’de radon gazı değeri ve yıllık etkin doz eşdeğerleri literatürdeki benzer çalışmalarla karşılaştırılmıştır. Sonuçlar incelendiğinde Karadeniz Teknik Üniversitesi Kanuni Kampüsü’nde ofislerde radon gazı seviyelerinin, Trabzon’da daha önce okullar için yapılan çalışmanın sonuçları ile benzer olduğu görülmektedir.

Toprak örneklerindeki doğal radyoaktivite konsantrasyonları HPGe gama spektrometresi kullanılarak ölçülmüştür. Tablo 2’ de bu çalışmadaki ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K sonuçları verilmiştir. Topraklarda doğal radyonüklid seviyelerinin dünya ortalaması ^{238}U , ^{232}Th , ve ^{40}K için sırası ile 35 Bq/kg, 30 Bq/kg, 400 Bq/kg dır. Karadeniz Teknik Üniversitesi Kanuni Kampüsü’nde radon ölçümü yapılan binaların çevresinden alınan toprak örneklerinde ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K ’un ortalama aktivite konsantrasyonları sırasıyla 59 ± 1 Bq/kg, 26 ± 2 Bq/kg, 603 ± 8 Bq/kg olarak bulunmuştur. Topraktaki ^{238}U seviyesi dünya ortalamasının 1,7 katı, potasyum ise dünya ortalamasının 1,5 katı kadardır.

5. Tartışma

KTÜ Kanuni Kampüsü’nde ofislerde ölçülen radon gazı seviyesi 12 Bq/m³ ile 234 Bq/m³ değerleri arasında değişmektedir. Ortalama değer 61 Bq/m³ dür. Bu değerler ICRP, TAEK, AB’nin iş yeri için önerdiği sınır değerlerinden (1000 Bq/m³) oldukça düşüktür. Diğer taraftan, ICRP (ICRP, 1993) yıllık etkin doz için müdahale sınırını 3-10 mSv/y belirlemiştir. Bu çalışmada, radondan kaynaklanan yıllık etkin doz eşdeğerleri 0.08-1.5 mSv/y aralığındadır. Ortalaması ise 0.4 mSv/y dır. Bu doz değerleri ICRP değerinin altında olduğu sonucuna ulaşılır.

Özellikle radon değerlerinin çalışma bölgesinde çalışma boyunca değişkenlik göstermesi sürekli radon ölçümlerinin gerekliliğini ortaya koymaktadır. Ortamdaki radon gazının havalandırma ile ortamdan uzaklaştığı bilinmektedir. Bu çalışmada radon gazı havalandırma ilişkisi bir kez daha ortaya konulmuştur. Çalışma ortamlarının sık sık havalandırılması ortamda biriken radon gazı seviyesinin düşmesi bakımından önemlidir.

Yazarların Katkısı

Çalışmada Belgin KÜÇÜKÖMEROĞLU fikir, kavram, tasarım, eleştirel inceleme, kaynak ve cihaz sağlama konusunda; Selcen UZUN DURAN ise veri toplama, analiz ve yorum, kaynak taraması ve makalenin yazımı konusunda katkı sağlamıştır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada, araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar

- [1] UNSCEAR 2000. Sources and effects of ionizing radiation, Report to General Assembly, with scientific Annexes United Nations, New York.
- [2] Rahman S.U., Rafique M., Matiullah A.J. 2009. Radon measurement studies in workplace buildings of the Rawalpindi region and Islamabad capital area, Pakistan. *Building and Environment*, 45 (2): 421-426.
- [3] TAEK, 2012. Teknik Rapor: Kapalı ortamlarda radon gazı.
- [4] International Commission on Radiological Protection (ICRP), 2010. Lung cancer risk from radon and progeny and statement on radon, Publication report 115.
- [5] International Atomic Energy Agency (IAEA), 2004. Radiation, people and the environment, Austria, <https://www.iaea.org/sites/default/files/radiation0204.pdf> (Erişim Tarihi: 12.02.2015).
- [6] Fişne A., Ökten G., Çelebi N. 2004. Türkiye Taşkömürü Kurumu (TTK) yeraltı maden ocaklarında radon gazı yayılımının incelenmesi. Türkiye 14. Kömür Kongresi, Zonguldak, Türkiye, Bildiri Kitabı, s 193-202.
- [7] Baldık R., Aytekin H., Çelebi N., Ataksor B., Taşdelen M. 2006. Radon concentration measurements in the Amasra coal mine, Turkey. *Radiation Protection Dosimetry*, 118 (1): 122-125.
- [8] Baldık R., Aytekin H., Çelebi N. 2009. Radon fluctuations in the Armutçuk coal mine, Turkey. *Fresenius Environmental Bulletin*, 18 (1): 87-91.
- [9] Yılmaz A., Kürkçüoğlu M.E., Haner B. 2009. Nükleer iz dedektörlerinin konumlarının radon konsantrasyonu ölçümleri üzerine etkisi. X. Ulusal Nükleer Bilimler ve Teknolojileri Kongresi, Muğla, Türkiye, Bildiri Kitabı, s 256-262.
- [10] Uzbey S., Tel E., Aytekin H., Albayrak N. 2013. Çorum ili yeraltı kömür ocaklarında radon yoğunluğu ölçümü. *Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi*, 3 (1): 1-5.
- [11] Durak S. 2010. Kütahya İli Kaplıca Sularında Radon-Radyum Konsantrasyonlarının Ve Kaplıcalardaki Kapalı Ortam Radon Konsantrasyonunun Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya, 85s.
- [12] Kılıç N. 2011. Kükürlü Kaplıcaları Atatürk Rehabilitasyon Merkezi'ndeki radon konsantrasyonunun belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa, 94s.
- [13] Akkuş İ. 2014. Afyonkarahisar Merkezdeki Kaplıcalarda Radon Konsantrasyonu ve Yıllık Etkin Doz Oranlarının Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon, 83s.
- [14] Duran S.U., Kucukomeroglu B., Damla N., Taskin H., Celik N., Cevik U., Ersoy H. 2017. Radioactivity Measurements and Risk Assessments of Spa Waters in Some Areas in Turkey. *Isotopes in Environmental and Health Studies*, 53 (1): 91-10.
- [15] Aytekin H., Baldık R., Çelebi N., Ataksor B., Taşdelen M., Kopuz G. 2006. Radon measurements in the caves of Zonguldak (Turkey). *Radiation Protection Dosimetry*, 118 (1): 117-121.
- [16] Haner B., Yılmaz A., Kürkçüoğlu M.E., Karadem A. 2010. Mencilis (Bulak) mağarasında radon seviyesi ölçümleri. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 14 (3): 218-224.
- [17] Karadem A. 2011. CR-39 Dedektörleri İle Mağaralarda Radon Konsantrasyonu Ölçümleri. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 97s.
- [18] Çevik U., Kara A., Çelik N., Karabidak M., Çelik A. 2011. Radon Survey And Exposure Assessment İn Karaca And Çal Caves, Turkey. *Water Air & Soil Pollution*, 214: 461-469.
- [19] Karakılıç V., Bayraktar G., Kürkçüoğlu M.E., Haner B., Yılmaz A. 2009. S.D.Ü. Bilgi Merkezi'nde radon ölçümleri. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 13 (3): 201-207.
- [20] Kürkçüoğlu M.E., Bayraktar G. 2012. Süleyman Demirel Üniversitesi'nde bina içi radon konsantrasyonlarının nükleer iz dedektörleri kullanılarak belirlenmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 16 (2): 167-183.
- [21] Çevik U., Çelik A., Çelik N., Özkalaycı F., Akbulut S. 2011. Assessment of Radiological Levels at Schools in Trabzon, Turkey. *Indoor and Built Environment*, 22 (2): 376-383.

- [22] Kurnaz A., Küçükömeroğlu B., Çevik U., Çelebi, N. 2011. Radon Level and Indoor Gamma Doses in Dwellings of Trabzon, Turkey. *Applied Radiation And Isotopes*, 69 (10): 1554-1559.
- [23] KYSSMP, 2016. Karadeniz Teknik Üniversitesi Kanuni Yerleşkesi Stratejik Master Planı. KTÜ Basımevi, Trabzon.
- [24] Güneroğlu N., Bekar M., Aktürk E., Dihkan A. 2018. Hobby Gardens in Urban Green Area Systems; The Case Study of Karadeniz Technical University Kanunı Campus. *Journal of Social And Humanities Sciences Research (JSHSR)*, 5: 2253-2263.
- [25] Papastefanou C. 2002. An overview of instrumentation for measuring radon in soil gas and groundwaters. *Journal of Environmental Radioactivity*, 63: 271-283.
- [26] Nikolov J., Todorovic N., Panti T., Forkapic S., Mrdja D., Bikit I., Krma M., Veskovic M. 2012. Exposure to Radon in the Radon Spa Niška Banja, Serbia. *Radiation Measurements*, 47 (6): 443-450.
- [27] Kürkçüoğlu M.E., Tozun F. 2015. Isparta İl Merkezindeki İş Yerlerinde Atmosferik Radon Ölçümleri. *SDU Journal of Science (E-Journal)*, 10 (1): 62-74.
- [28] Venoso G., De Cicco F., Flores B., Gialanella L., Puglies M., Roca V., Sabbarese C. 2009. Radon concentrations in schools of the Neapolitan area. *Radiation measurements*, 44 (1): 127-130.
- [29] Llerena J.J., Cortin D., Durán I., Sorribas R. 2010. ²²²Rn concentration in public secondary schools in Galicia (Spain). *Journal of environmental radioactivity*, 101 (11): 931-936.
- [30] Kapda E., Altinsoy N. 2012. A Comparative Study of Indoor Radon Concentrations Between Dwellings And Schools. *Radiation Physics and Chemistry*, 81 (4): 383-386.
- [31] Khan S.A., Ali S., Tufail M., Qureshi A.A. 2005. Radon Concentration Levels in Fatima Jinnah Women University Pakistan. *Radioprotection*, 40 (1): 11-27.
- [32] Obed R.I., Ademola A.K., Vascotto M., Giannini G. 2011. Radon Measurements by Nuclear Track Detectors in Secondary Schools in Oke-Ogun Region, Nigeria. *Journal of Environmental Radioactivity*, 102 (11): 1012-1017.
- [33] Alkan T., Karadeniz Ö. 2014. Indoor ²²²Rn Levels And Effective Dose Estimation of Academic Staff in Izmir-Turkey. *Biomedical and Environmental Sciences*, 27 (4): 259-267.
- [34] Zenginerler Z., Ertugral F., Yakut H., Tabar E., Demirci N., Gunermelikoglu K. 2016. Measurement of Seasonal indoor Radon Concentration in Sakarya University, Turkey. *Acta Physica Polonica A*, 130 (1): 450-452.

Araştırma Makalesi / Research Article

A computational approach for solving second-order nonlinear ordinary differential equations by means of Laguerre series

Burcu GÜRBÜZ*

*Johannes Gutenberg-Universität Mainz, Institut für Mathematik, Mainz
Üsküdar Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, İstanbul
(ORCID: 0000-0002-4253-5877)*

Abstract

In this work, a novel efficient numeric procedure for obtaining the approximate solution of a class of second-order nonlinear ordinary differential equations is presented which play a significant part in science and engineering branches. The technique is based on matrix equations and collocation points with truncated Laguerre series. The acquired approximate solutions subject to initial conditions are obtained in terms of Laguerre polynomials. Also, some examples together with error analysis techniques are acquired to demonstrate the efficacy of the present method, and the comparisons are made with current studies.

Keywords: Laguerre series, nonlinear ordinary differential equations, collocation method.

İkinci mertebeden lineer olmayan adi diferansiyel denklemlerin Laguerre serileri ile çözümü için hesaplamalı bir yaklaşım

Öz

Bu çalışmada, fen ve mühendislik dallarında önemli bir rol oynayan ikinci dereceden doğrusal olmayan adi diferansiyel denklemlerin bir sınıfının yaklaşık çözümünü elde etmek için yeni ve etkili bir sayısal prosedür sunulmuştur. Teknik, matris denklemlerine ve kesilmiş Laguerre serileri ile sıralama noktalarına dayanmaktadır. Başlangıç koşullarına tabi olarak elde edilen yaklaşık çözümler, Laguerre polinomları tarafından elde edilir. Ayrıca, mevcut yöntemin etkinliğini ortaya koymak için hata analizi teknikleri ile birlikte bazı örnekler alınmış ve güncel çalışmalar ile karşılaştırmalar yapılmıştır.

Anahtar kelimeler: Laguerre serileri, doğrusal olmayan adi diferansiyel denklemler, sıralama yöntemi.

1. Introduction

Nonlinear differential equations play important role in many fields of engineering, science and even in mathematical models in social sciences. Some real phenomena examples are given for mathematical models for urban growth, modeling learning theories in education and psychology, reaction rates in chemistry, optional pricing in economics so on. Moreover, nonlinear models in biology are important to explain by mathematical models. In order to solve these type of equations

Nonlinear differential equations with initial and boundary value conditions are significant problems and they are important in many fields such as engineering, astrophysics, physical sciences. In recent years, in order to get the solutions of these problems both analytically and numerically some techniques have been introduced. These type of equations are of great importance on applied sciences [3]. Due to this reason, the second-order nonlinear ordinary differential equations are considered:

*Corresponding author: burcu.gurbuz@uskudar.edu.tr

Received: 11.06.2019, Accepted: 19.09.2019

$$\sum_{k=0}^2 P_k(x)y^{(k)}(x) + \sum_{p=0}^2 \sum_{q=0}^N Q_{pq}(x)y^{(p)}(x)y^{(q)}(x) = g(x), \quad 0 \leq x \leq b < \infty \quad (1)$$

with the mixed conditions

$$\sum_{k=0}^1 (a_{kj}(x)y^{(k)}(0) + b_{kj}(x)y^{(k)}(b)) = \lambda_j, \quad j = 0,1 \quad (2)$$

where the functions $P_k(x), Q_{pq}(x)$, and $g(x)$ are defined $0 \leq x \leq b < \infty$; a_{kj}, b_{kj} , and λ_j are appropriate and real constants; $y(x)$ is the unknown function to be computed. For this purpose, approximate solution of the problem (1)-(2) is assumed as

$$y(x) \cong y_N(x) = \sum_{n=0}^N a_n(x)L_n(x), \quad 0 \leq x \leq b < \infty \quad (3)$$

where $L_N(x)$ delineates the Laguerre polynomials;

$$L_N(x) = \sum_{k=0}^N \frac{(-1)^k}{k!} \binom{N}{k} x^k, \quad n \in \mathbb{N}, \quad 0 \leq x < \infty \quad (4)$$

and $a_n, (n = 0,1, \dots, N)$ are unknown coefficients with regard to the Laguerre polynomials, and $N \in \mathbb{Z}^+$ and $N \geq 2$.

2. Operational Matrix Relations

In this section, operational matrix relations are given for finding the approximate solution with regards to Laguerre polynomials in the form (3). For this purpose, Eq. (1) is considered in the form of two parts: the linear ordinary part and the nonlinear quadratic part, respectively as

$$L[y(x)] + N_2[y(x)] = g(x) \quad (5)$$

where

$$L[y(x)] = \sum_{k=0}^2 P_k(x)y^{(k)}(x)$$

and

$$N_2[y(x)] = \sum_{p=0}^2 \sum_{q=0}^N Q_{pq}(x)y^{(p)}(x)y^{(q)}(x)$$

Now, each terms of the Eq.(1) are presented by the matrix forms [2]. So, the linear ordinary part in Eq.(5) in the matrix form is shown as

$$\begin{aligned} [y(x)] &= \mathbf{L}(x)\mathbf{A}, \\ [y^{(1)}(x)] &= \mathbf{L}(x)\mathbf{C}\mathbf{A}, \\ [y^{(2)}(x)] &= \mathbf{L}(x)\mathbf{C}^2\mathbf{A} \end{aligned} \quad (6)$$

where

$$\mathbf{L}(x) = [L_0(x) \quad L_1(x) \quad \dots \quad L_N(x)],$$

$$\mathbf{C} = [c_{mn}],$$

$$c_{mn} = \begin{cases} -1, & m < n \\ 0, & m \geq n \end{cases},$$

$$\mathbf{A} = [a_0 \quad a_1 \quad \dots \quad a_N]^T.$$

Then we define matrix representations of nonlinear quadratic part as

$$[(y(x))^2] = \mathbf{L}(x)\bar{\mathbf{L}}(x)\bar{\mathbf{A}},$$

$$[y^{(1)}(x)y(x)] = \mathbf{L}(x)\mathbf{C}\bar{\mathbf{L}}(x)\bar{\mathbf{A}},$$

$$\left[\left(y^{(1)}(x) \right)^2 \right] = \mathbf{L}(x)\mathbf{C}\bar{\mathbf{L}}(x)\bar{\mathbf{C}}\bar{\mathbf{A}},$$

$$[y^{(2)}(x)y^{(1)}(x)] = \mathbf{L}(x)\mathbf{C}^2\bar{\mathbf{L}}(x)\bar{\mathbf{C}}\bar{\mathbf{A}},$$

$$[y^{(2)}(x)y(x)] = \mathbf{L}(x)\mathbf{C}^2\bar{\mathbf{L}}(x)\bar{\mathbf{A}},$$

$$\left[\left(y^{(2)}(x) \right)^2 \right] = \mathbf{L}(x)\mathbf{C}^2\bar{\mathbf{L}}(x)\bar{\mathbf{C}}^2\bar{\mathbf{A}};$$

(7)

and

$$\bar{\mathbf{L}}(x) = \text{diag} [\mathbf{L}(x) \quad \mathbf{L}(x) \quad \dots \quad \mathbf{L}(x)],$$

$$\bar{\mathbf{C}} = \text{diag} [\mathbf{C} \quad \mathbf{C} \quad \dots \quad \mathbf{C}],$$

$$\bar{\mathbf{A}} = [a_0\mathbf{A} \quad a_1\mathbf{A} \quad \dots \quad a_N\mathbf{A}]^T.$$

3. Method of Solution

By putting the collocation points

$$x_i(x) = \frac{b}{N}i, \quad i = 0, 1, \dots, N, \quad 0 \leq x_0 < x_1 < \dots < x_N \leq b < \infty \quad (8)$$

into Eq.(1), for $i = 0, 1, \dots, N$ thus the fundamental matrix equation is obtained as

$$\sum_{k=0}^2 P_k(x_i)y^{(k)}(x_i) + \sum_{p=0}^2 \sum_{q=0}^p Q_{pq}(x_i)y^{(p)}(x_i)y^{(q)}(x_i) = g(x_i)$$

or

$$\sum_{k=0}^2 \mathbf{P}_k \mathbf{Y}^{(k)} + \sum_{p=0}^2 \sum_{q=0}^p \mathbf{Q}_{pq} \mathbf{Y}^{(p,q)} = \mathbf{G}$$

where

$$\mathbf{P}_k = \text{diag} [P_k(x_0) \quad P_k(x_1) \quad \dots \quad P_k(x_N)],$$

$$\mathbf{Q}_{pq} = \text{diag} [Q_{pq}(x_0) \quad Q_{pq}(x_1) \quad \dots \quad Q_{pq}(x_N)],$$

and

$$\mathbf{Y}_k = \begin{bmatrix} y^{(k)}(x_0) \\ y^{(k)}(x_1) \\ \vdots \\ y^{(k)}(x_N) \end{bmatrix}, \quad \mathbf{Y}^{(p,q)} = \begin{bmatrix} y^{(p)}(x_0)y^{(q)}(x_0) \\ y^{(p)}(x_1)y^{(q)}(x_1) \\ \vdots \\ y^{(p)}(x_N)y^{(q)}(x_N) \end{bmatrix}, \quad \mathbf{G} = \begin{bmatrix} g(x_0) \\ g(x_1) \\ \vdots \\ g(x_N) \end{bmatrix}.$$

Also, we consider the ensuing matrix forms of the nonlinear quadratic part from (7)

$$\mathbf{Y}^{(0,0)} = \mathbf{L}_{00}^* \bar{\mathbf{A}}, \quad \mathbf{Y}^{(1,0)} = \mathbf{L}_{10}^* \bar{\mathbf{A}}, \quad \mathbf{Y}^{(1,1)} = \mathbf{L}_{11}^* \bar{\mathbf{A}},$$

$$\mathbf{Y}^{(2,0)} = \mathbf{L}_{20}^* \bar{\mathbf{A}}, \quad \mathbf{Y}^{(2,1)} = \mathbf{L}_{21}^* \bar{\mathbf{A}}, \quad \mathbf{Y}^{(2,2)} = \mathbf{L}_{22}^* \bar{\mathbf{A}};$$

$$\mathbf{L}_{00}^* = \begin{bmatrix} \mathbf{L}(x_0)\bar{\mathbf{L}}(x_0) \\ \mathbf{L}(x_1)\bar{\mathbf{L}}(x_1) \\ \vdots \\ \mathbf{L}(x_N)\bar{\mathbf{L}}(x_N) \end{bmatrix}, \quad \mathbf{L}_{10}^* = \begin{bmatrix} \mathbf{L}(x_0)\mathbf{C}\bar{\mathbf{L}}(x_0) \\ \mathbf{L}(x_1)\mathbf{C}\bar{\mathbf{L}}(x_1) \\ \vdots \\ \mathbf{L}(x_N)\mathbf{C}\bar{\mathbf{L}}(x_N) \end{bmatrix}, \quad \mathbf{L}_{11}^* = \begin{bmatrix} \mathbf{L}(x_0)\mathbf{C}\bar{\mathbf{L}}(x_0)\bar{\mathbf{C}} \\ \mathbf{L}(x_1)\mathbf{C}\bar{\mathbf{L}}(x_1)\bar{\mathbf{C}} \\ \vdots \\ \mathbf{L}(x_N)\mathbf{C}\bar{\mathbf{L}}(x_N)\bar{\mathbf{C}} \end{bmatrix},$$

$$\mathbf{L}_{20}^* = \begin{bmatrix} \mathbf{L}(x_0)\mathbf{C}^2\bar{\mathbf{L}}(x_0) \\ \mathbf{L}(x_1)\mathbf{C}^2\bar{\mathbf{L}}(x_1) \\ \vdots \\ \mathbf{L}(x_N)\mathbf{C}^2\bar{\mathbf{L}}(x_N) \end{bmatrix}, \quad \mathbf{L}_{21}^* = \begin{bmatrix} \mathbf{L}(x_0)\mathbf{C}^2\bar{\mathbf{L}}(x_0)\bar{\mathbf{C}} \\ \mathbf{L}(x_1)\mathbf{C}^2\bar{\mathbf{L}}(x_1)\bar{\mathbf{C}} \\ \vdots \\ \mathbf{L}(x_N)\mathbf{C}^2\bar{\mathbf{L}}(x_N)\bar{\mathbf{C}} \end{bmatrix}, \quad \mathbf{L}_{22}^* = \begin{bmatrix} \mathbf{L}(x_0)\mathbf{C}^2\bar{\mathbf{L}}(x_0)\bar{\mathbf{C}}^2 \\ \mathbf{L}(x_1)\mathbf{C}^2\bar{\mathbf{L}}(x_1)\bar{\mathbf{C}}^2 \\ \vdots \\ \mathbf{L}(x_N)\mathbf{C}^2\bar{\mathbf{L}}(x_N)\bar{\mathbf{C}}^2 \end{bmatrix}.$$

Then the fundamental matrix equation can be shown as

$$\sum_{k=0}^2 \mathbf{P}_k \mathbf{L} \mathbf{A} + \sum_{p=0}^2 \sum_{q=0}^p \mathbf{Q}_{pq} \mathbf{L}_{pq}^* \bar{\mathbf{A}} = \mathbf{G}$$

or

$$\mathbf{W} \mathbf{A} + \mathbf{V} \bar{\mathbf{A}} = \mathbf{G} \tag{9}$$

where

$$\mathbf{W} = \sum_{k=0}^2 \mathbf{P}_k \mathbf{L} \mathbf{A} = [w_{ij}]_{(N+1) \times (N+1)},$$

$$\mathbf{V} = \sum_{p=0}^2 \sum_{q=0}^p \mathbf{Q}_{pq} \mathbf{L}_{pq}^* \bar{\mathbf{A}} = [v_{ij}]_{(N+1) \times (N+1)}, \quad i, j = 0, 1, \dots, N.$$

Furthermore, fundamental matrix equation (9) is written in the augmented matrix form

$$[\mathbf{W}; \mathbf{V}; \mathbf{G}] \tag{10}$$

If the identical procedure is used for the mixed conditions (2), then

$$\text{for } j = 0, \mathbf{U}_0 = [y(0)] = \mathbf{L}(0),$$

$$\text{for } j = 1, \mathbf{U}_1 = [y^{(1)}(0)] = \mathbf{L}(0)\mathbf{C}.$$

Also, briefly

$$\mathbf{U} = \begin{bmatrix} \mathbf{U}_0 \\ \mathbf{U}_1 \end{bmatrix}_{2 \times (N+1)}, \mathbf{O}_2 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}_{2 \times (N+1)^2}, \boldsymbol{\lambda} = \begin{bmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \end{bmatrix}; [\mathbf{U}; \mathbf{O}_2; \boldsymbol{\lambda}]. \tag{11}$$

Therefore, so as to get the solution of the problem (1)-(2) the row matrices (11) are replaced by the appropriate two rows of the augmented matrix (10). Thus, the new augmented matrix $[\tilde{\mathbf{W}}; \tilde{\mathbf{V}}; \tilde{\mathbf{G}}]$ is constructed and by having the solution of the system, required Laguerre coefficients are calculated. Accordingly, requisite approximate solution is is ocured in the Eq. (3).

4. Error Analysis

Here, a short introduction for the error analysis of the Laguerre polynomial solution (3) is held to demonstrate the exactitude of the method. Error function is defined by $x = x_\alpha, \alpha = 0,1, \dots$

$$E_N(x_\alpha) = \left| y(x_\alpha) - \sum_{k=0}^2 P_k(x_\alpha) y_N^{(k)}(x_\alpha) - \sum_{p=0}^2 \sum_{q=0}^N Q_{pq}(x_\alpha) y_N^{(p)}(x_\alpha) y_N^{(q)}(x_\alpha) + g(x_\alpha) \right| \cong 0$$

where $E_N(x_\alpha) \leq 10^{-k\alpha} = 10^{-k}, (k \in \mathbb{Z}^+)$ is recommended, then the truncation limit N is escalated till having enough small prescribed 10^{-k} for the value of disparity $E_N(x_\alpha)$ at each of the point [3].

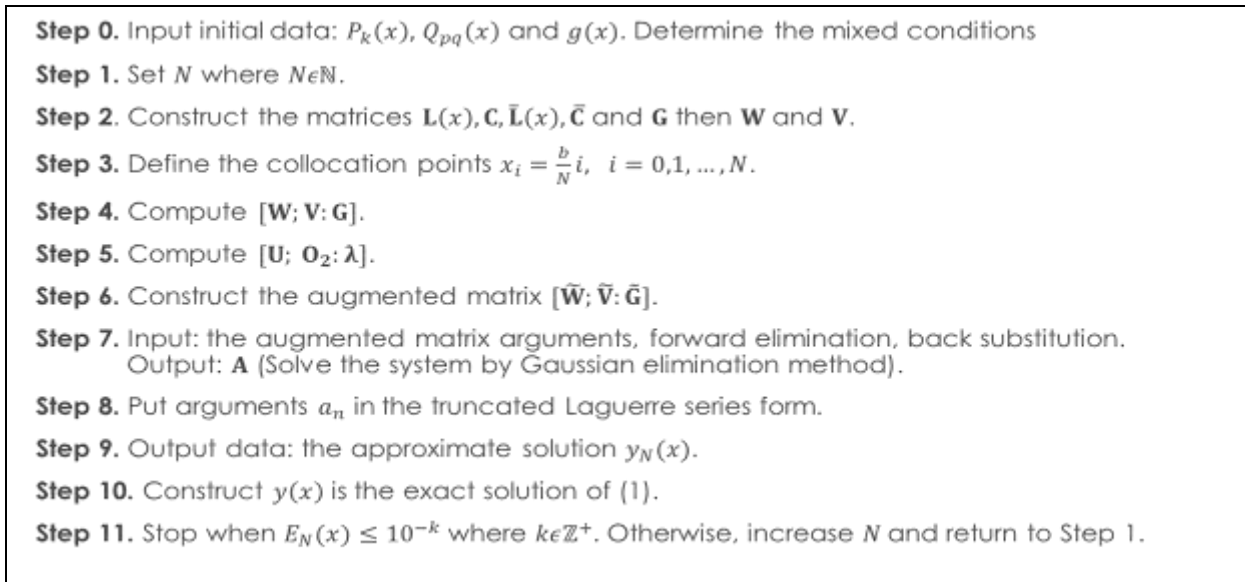


Figure 1. Algorithm of the present method.

5. Numerical Experiments

In this section, an example will be given to show applicability of our method. All the calculations and plots are done by using Maple18 and MatlabR2014b.

Example 5.1. [4]

Second-order nonlinear ordinary differential equation with quadratic terms with initial conditions is considered as an illustrative example:

$$y''(x) + 2y'(x) + y(x) + y^2(x) - y''(x)y'(x) = 12 \exp(x) + 2 ; \quad y(0) = 3, y'(0) = 2. \quad (12)$$

Problem's exact solution is $y(x) = 2 \exp(x) + 1$.

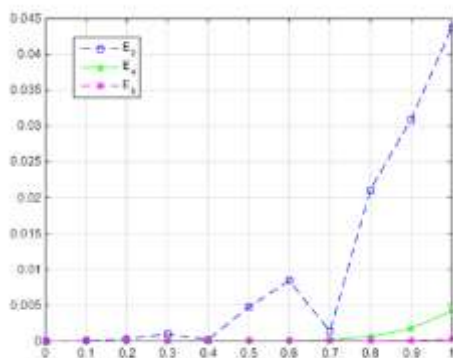


Figure 2. Comparison of the $x > 0$ of Example 5.1. for different N values

Table 1. $|E_N|$ comparisons of Example 5.1.

| x | $ E_2 $ | $ E_4 $ | $ E_5 $ |
|-----|-------------|-------------|-------------|
| 0.0 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 |
| 0.1 | 0.341836E-4 | 0.530766E-5 | 0.450128E-6 |
| 0.2 | 0.280551E-3 | 0.281048E-4 | 0.194988E-5 |
| 0.3 | 0.971761E-3 | 0.563571E-4 | 0.318105E-5 |
| 0.4 | 0.236493E-3 | 0.671672E-4 | 0.339969E-5 |
| 0.5 | 0.474425E-2 | 0.525094E-4 | 0.365512E-5 |
| 0.6 | 0.842376E-2 | 0.476701E-4 | 0.530256E-5 |
| 0.7 | 0.137505E-2 | 0.162679E-3 | 0.552450E-5 |
| 0.8 | 0.211081E-1 | 0.617047E-3 | 0.104534E-4 |
| 0.9 | 0.309206E-1 | 0.177815E-2 | 0.808003E-4 |
| 1.0 | 0.436563E-1 | 0.420369E-2 | 0.282554E-3 |

6. Conclusion

In this study, a computational procedure depending on Laguerre polynomials has been proposed in spite of solving a class of second-order nonlinear ordinary differential equations having quadratic terms numerically. Furthermore, the error analysis is explained and applied to determine the reliability of the method. The technique has been tested on illustrative example which has been shown by figure and table. The method has significant importance such as; the present method has short and concise computing procedure by writing the algorithm in Maple18, has sufficient results when N is chosen large enough and the method also can be extended on other studies [5].

Author's Contributions

The author developed the theoretical formalism, performed the numerical calculations and performed the simulations. Besides, the author made substantial contributions to conception and design, participated in drafting the article or revising it critically for important intellectual content. Finally, the author gave final approval of the version to be submitted and any revised version.

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] Fried I. 1979. Numerical Solution of Differential Equations. Academic Press, New York.
- [2] Jones D.S., Plank M., Sleeman B.D. 2009. Differential Equations and Mathematical Biology. Chapman and Hall/CRC.
- [3] Bracken A.J., Tuckwell H.C. 1992. Simple mathematical models for urban growth, Proceedings of the Royal Society of London. Series A: Mathematical and Physical Sciences, 438 (1902): 171-181.
- [4] Murray J.D. 1989. Mathematical Biology. Springer, Berlin.
- [5] Gürbüz B., Sezer M. 2016. Laguerre polynomial solutions of a class of initial and boundary value problems arising in science and engineering fields. Acta Physica Polonica A, 129 (1): 194-197. DOI:10.12693/APhysPolA.130.194.
- [6] Gürbüz B., Sezer M. 2017. A numerical solution of parabolic-type Volterra partial integro-differential equations by Laguerre collocation method. International Journal of Applied Physics and Mathematics, 7 (1): 49-58.
- [8] Jordan D.W., Smith P. 2007. Nonlinear Ordinary Differential Equations: An Introduction for Scientists and Engineers. 4th Edition, Oxford University Press, New York.
- [9] King A.C., Billingham J., Otto S.R. 2003. Differential Equations: Linear, Nonlinear, Ordinary, Partial. Cambridge University Press, New York.

Araştırma Makalesi / Research Article

The Investigation of Antimicrobial Activities and Hypoglycemic Effect of Sumac (*Rhus coriaria* L.) Syrups in Different Region

Sevim ÇİFTÇİ YEGİN*, Duygu ODABAŞ ALVER

*Giresun University, Health Service Vocational School of Higher Education, Giresun, Turkey
(ORCID: 0000-0003-3950-4399) (ORCID: 0000-0002-3133-3495)*

Abstract

This study aimed to determine the antimicrobial activity and hypoglycemic effect of sumac sours collected from different regions. *Rhus coriaria*, is the only species of rhus in Turkey. It shows spread in different regions in Turkey. Particularly, it is used as sour in Anatolia. Sumac sour is usually consumed in south provinces in Turkey. In the study, three Gram (-), three Gram (+) and 1 yeast strains obtained from the culture collection of the Microbiology Laboratory of Ordu University were used. The antimicrobial effects of samples were investigated by using agar disc diffusion method. Hypoglycemic effect was investigated with α -amylase and α -glucosidase inhibition assays. In result of the study, almost all samples formed zones ranging from 31.5 to 6 mm against bacteria and yeast, but Antep, Hatay sumac syrup samples did not create against *Candida albicans* and *Candida albicans*, *Staphylococcus aureus*, respectively. Consequently, sumac syrups were determined to be an effective antimicrobial activity. In addition, we can say that there are hypoglycemic effects of sumac syrup samples in Mersin, Hatay and Gaziantep respectively.

Keywords: Antimicrobial activity, Hypoglycemic effect, Sumac syrup.

Farklı Yörelere Ait Sumak Ekşilerinin (*Rhus coriaria* L.) Antimikrobiyal Aktivitesi ve Hipoglisemik Etkisinin Araştırılması

Öz

Bu çalışmada, farklı yörelere ait sumak ekşilerinin antimikrobiyal aktivitesi ve antidiyabetik etkisinin belirlenmesi amaçlanmıştır. *Rhus coriaria*, *Rhus* cinsinin yurdumuzda yetişen tek türüdür. Türkiye’ de farklı bölgelerde yayılım göstermektedir. Sumak, ekşilik verici olarak kullanılan bir baharattır. Ülkemizin güney illerinde çoğunlukla tüketilir. Çalışmada Ordu Üniversitesi Biyoloji Bölümü Mikrobiyoloji laboratuvarı kültür koleksiyonundan elde edilen üç Gram (-), üç Gram (+) ve bir maya suşu kullanılmıştır. Agar disk difüzyon metodu ile örneklerin antimikrobiyal aktivitesi incelenmiştir. α -amilaz ve α -glikozidaz inhibisyonunun ölçülmesi ile hipoglisemik etkisi belirlenmiştir. Çalışmamızda hemen hemen tüm örneklerin bakteriler ve mayaya karşı 31,5 ile 6 mm arasında değişen zonlar oluşturduğu gözlenmiştir. Antep örneği *Candida albicans* ve Hatay örneği *Candida albicans* ile *Staphylococcus aureus*’a karşı zon oluşturmamıştır. Sonuç olarak, sumak ekşisinin etkili bir antimikrobiyal aktiviteye sahip olduğunu söyleyebiliriz. Ayrıca sumak ekşisi örneklerini Mersin, Hatay, Gaziantep şeklinde sıralayarak hipoglisemik etkisi olduğunu belirtebiliriz.

Anahtar kelimeler: Antimikrobiyal aktivite, Hipoglisemik etki, Sumak ekşisi.

1. Introduction

Recently, together the awareness of health, the inadequacy against diseases and the detection of side effects of drugs increased the demand for the use of natural products. When wild plants are evaluated in terms of medicine, it is seen that these herbs are the raw materials of many drugs used for human and animal health [1].

*Corresponding author: sevimbio@gmail.com

Received: 27.06.2019, Accepted: 18.10.2019

Rhus coriaria L. (Anacardiaceae), known as locally name Sumac, is collected in the autumn months. It is used in powder form or boiled with a certain amount of water. There are different two types as berries and leaves of plant [2]. *Rhus coriaria* is the only species of the *Rhus* that grows in our country. In our country, its distributed Mediterranean, Aegean, Southeastern Anatolia, North Anatolia, Thrace and Central Anatolia regions [3]. Many plants were investigated in terms of microbiological, pharmacological and plant defense mechanisms [4]. Resistance to antibiotics of microorganisms and the discovery of new pathogenic microorganisms were led to investigate the antimicrobial properties of medicinal plants [5].

α -amylase is the main enzyme that is responsible for the breakdown of starch to more simple sugars [6,7]. Although the activity of the enzyme has not been directly involved in the etiology of diabetes, α -amylase inhibitors have known to improve glucose tolerance in diabetic patients [8].

In recent years, diabetes is a disease that is commonly seen and reduces the quality of life of patients. Studies on plants traditionally used among the people are carried out continuously. Particularly, it's are carried out different studies of the plants used against diabetes [9, 10]. The aim of the study is state antimicrobial activity and hypoglycemic effect of sumac syrups.

2. Material and Method

As a material; Hatay, Gaziantep and Mersin sumac sours are bought in local markets commercially.

2.1. Antimicrobial Activity

Microorganisms were obtained from the cultures of Microbiology Laboratory of Ordu University Biology Department. Three Gram (+) bacterial strains (*Bacillus cereus*, *Clostridium perfringen*, *Staphylococcus aureus*), three Gram (-) bacterial strains (*Pseudomonas aeruginosa*, *Escherichia coli*, *Klebsiella pneumonia*) and a yeast strain (*Candida albicans*) were used for the determination of antimicrobial activity.

In the study, The Agar Disc Diffusion Method was used. In this technique, a suitable trough with the test organism is used with a trough system in which the substance to be tested is located. At the end of the incubation period, if the substance is effective, inhibition zones are formed around the pits without significant growth. Formed the diameters of the inhibition zones are measured and evaluated [11, 12].

2.2. Hypoglycemic Effect

2.2.1. Assay of α -amylase inhibition

α -amylase inhibition (*in vitro*) was analyzed according to the method of Bernfeld with minor modifications [13, 14]. The % 0.5 starch solution was made by boiling and blending 0,25 g potato starch into 50 mL deionized water for 15 min. The α -amylase (EC 3.2.1.1) 0,5 unit/mL enzyme solution was prepared by blending α -amylase in phosphate buffer solution including 6,7 mM NaCl. Samples (5-100 μ g/mL) and acarbose were dissolved at various concentrations in phosphate buffer solution. The color reagent was a solution including 20 mL-96 mM DNS (Dinitrosalicylic acid), 8 mL-5,31 M sodium potassium tartrate in 2 M NaOH and 12 mL deionized water. 1 mL of samples or acarbose and 1 mL enzyme solution were waited at 25 °C for 30' by mixed. The 1 mL mix was supplemented to 1 mL starch solution. It's waited at 25 °C for 3'. After, the 1 mL color reagent was supplemented. Sample tubes were waited in 85° C water bath for 15'. After, the reaction mix was diluted with 9 mL distilled water. Absorbance of the mix was recorded at 540 nm using spectrophotometer and α -amylase inhibition activities were expressed as IC₅₀ (Inhibition concentration %50). The IC₅₀ values were determined by linear regression analysis using four different concentrations in three times and represent mean of the data. Blanks were prepared. After, the color reagent was supplemented to starch solution and incubated into the water bath. Acarbose solution was used as positive control.

2.2.2. Assay of α -glucosidase inhibition

A previously described bioassay method was used for measurement α -glucosidase inhibition of samples [15]. The enzyme solution is contained 20 μ L-0,5 U/mL α -glucosidase (EC 3.2.1.20) (20-0,5 unit/mL) and 120 μ L- 0,1 M-pH 6,9 PBS (Phosphate buffered saline). Samples and acarbose were dissolved at different concentrations in PBS, were stirred with enzyme solution and waited during 15' at 37°C. The reaction was stopped by supplementing 80 μ L, 0,2 M NaCO₃ solution. The absorbance was measured at 405 nm in spectrophotometer. The IC₅₀ values of samples for the α -glucosidase inhibition activities were determined by linear regression analysis using four different concentrations in three times and represent mean of the data.

3. Results and Discussion

As you can see in Table 1, sumac syrup samples demonstrated generally antimicrobial activity against the used bacteria except for *Candida albicans* and *Staphylococcus aureus*. While Hatay and Antep sumac syrup samples show no activity against *Candida albicans*, only Hatay sample has no effect against *Staphylococcus aureus*.

Table 1. Inhibition zone diameters (mm) of samples against bacteria and yeast

| | Gaziantep Sumac Syrup (mm) | Hatay Sumac Syrup (mm) | Mersin Sumac Syrup (mm) |
|--------------------------------|----------------------------|------------------------|-------------------------|
| <i>Bacillus cereus</i> | 12.5 | 7 | 12 |
| <i>Clostridium perfringens</i> | 17 | 7 | 10 |
| <i>Staphylococcus aureus</i> | 21 | - | 14 |
| <i>Pseudomonas aeruginosa</i> | 28 | 6 | 15 |
| <i>Klebsiella pneumoniae</i> | 20 | 10 | 12 |
| <i>Escherichia coli</i> | 31.5 | 11 | 11.6 |
| <i>Candida albicans</i> | - | - | 8 |

In table 2 shows that, sumac syrup samples showed lower α -glucosidase inhibition and α -amylase inhibition in comparison with acarbose ($p < 0.05$). Hatay and Mersin sumac syrup samples were demonstrated six and four times lower α -amylase inhibition activity than acarbose, respectively. Acarbose, an alpha-glucosidase inhibitor, is a group of drugs by slow the degradation of carbohydrates from the intestine and prevent the rapid rise of blood sugar after meal.

Table 2. Hypoglycemic effects (IC₅₀- μ g mL⁻¹) of Sumac Syrup Samples and Acarbose

| | Gaziantep Sumac Syrup | Hatay Sumac Syrup | Mersin Sumac Syrup | Acarbose |
|--|-----------------------|-------------------|--------------------|----------|
| <i>α-Glucosidase Inhibition</i> (IC ₅₀ - μ g mL ⁻¹) | 2620.75 | 2048.15 | 1090.55 | 79.12 |
| <i>α-Amylase Inhibition</i> (IC ₅₀ - μ g mL ⁻¹) | 1329.29 | 576 | 377.9 | 94.89 |

Sumac as species is commonly used in the country. It is known many benefits of sumac as to be useful used in the treatment of anorexia, indigestion, diarrhoea, hyperglycaemia and haemorrhage [16].

Dıgrak et al. [17] determined antibacterial and antifungal activity of some medicinal plants including *Rhus coriaria* in Turkey. Antimicrobial activity was tested by disc diffusion method using *Bacillus brevis* FMC 3, *Bacillus cereus* FMC 19, *Bacillus subtilis* IMG 22, *Bacillus megaterium* DSM 32, *Escherichia coli* DM, *Pseudomonas aeruginosa* DSM 50071, *Enterobacter aerogenes* CCM 2531, *Listeria monocytogenes* Scott A, *Staphylococcus aureus* Cowan 1 and *Micrococcus luteus* LA 2971, *Candida albicans* CCM 314, *Candida tropicalis*, *Rhus coriaria* showed 35-51 mm inhibition zones against bacteria in all trials [14]. Results obtained from this study are consistent with the literature (Table 1).

In another study, antibacterial properties of sumac samples with different maturity were examined. In general, *Bacillus* bacteria are more sensitive. It has shown Gram (-) bacteria greater inhibition zone than Gram (+) bacteria. Moreover, it showed that the antibacterial effect according to their degree of maturity did not change, but there was directly proportional increase to sumac concentrations [18].

Ibrahim and El-Shehawey [16] investigated the antimicrobial content of sumac extracts. *St. aureus*, *B. subtilis*, *S. typhimurium*, *E-coli* HMY13 bacteria were used in this study. The zone diameters of two extracts were determined between 12 -19 mm depend on the extract concentration as positive correlation. They found that formed between of 12 mm-29 mm zone diameters increasing as the percentage close to each other in extract of both spices [19].

In another study, *Salmonella typhimurium* ATCC 13311 in tomato was washed with distilled water, suspensions containing sumac extract and partridge oil for reducing bacteria population. It is compared resistance against nalidixic acid. As a result, it has been suggested that suspensions containing both sumac extract and partridge oil can be used for microbial protection of tomatoes without affecting quality [20].

In one review study, antimicrobial and antioxidant properties of sumac have been reported by many studies [21, 22, 23].

The researchs on sumac extracts reported desirable bioactivities: antifungal, antimalarial, antifibrogenic, antimicrobial, anti-inflammatory, antioxidant, antimutagenic, antiviral, anti-tumorigenic, anti-thrombin, cytotoxic, hypoglycemic and leukopenic [24].

In the investigated sumac syrup samples, Mersin Sumac syrup samples have the highest α -glucosidase and α -amylase inhibition activities. The other results were given in Table 2. Acarbose used as control in these assays shows the highest α -glucosidase and α -amylase inhibition activity when compared with the samples (Table 2). The results obtained for acarbose are quite compatible with the literature [14].

According to ethnobotanical studies in the review, plants that the most commonly used between people in patients with gestational diabetes mellitus in diabetes mellitus treatment in Turkey were discussed. There is no information about the use of Sumac in pregnant women in the literature [9].

Karaman and Elgin Ceben stated that sumac is taken part in the hypoglycemic list. Fruits and leaves of sumac are consumed by distillation decoction method [10].

It has already been reported that *Rhus coriaria* might have hypoglycemic activity by inhibition of α -amylase, α -glycoside hydrolase [24].

In the Alloxan-induced diabetic rats, administration of the extract of *Rhus coriaria* fruits produced a statistically significant acute and long-term decrease in postprandial blood glucose concentration [25].

4. Conclusion and Suggestions

In this study, sumac syrups belonging to different regions were used and their antimicrobial activities and hypoglycemic effect of sumacs were determined. Sumac spice has gained importance with its hypoglycemic and antimicrobial properties. In the future, it can be used as an effective natural source with hypoglycemic effect in diabetes mellitus especially Hatay and Mersin sumac syrup. Sumac can be evaluated as hypoglycemic agents according to the literature. Although sumac shrup was used in our study, we obtained effective hypoglycemic and antimicrobial results for sumac shrup as well as sumac powder. Therefore, we can say that consumption of sumac as sumac shrup is important as sumac sour. According to literature, sumac powder was used for determination of biochemical activities of sumac many times but not sumac shrup so this study is important to be the first as using sumac shrup. In the light of literature, *in vivo* studies related to sumac shrup can be studied and current usage areas can be supported.

Author's Contributions

Biochemical analysis of the study was done by Dr. Sevim ÇİFTÇİ YEGİN and microbiological analysis by Duygu ODABAŞ ALVER.

Statement of Conflicts of Interest

No potential conflict of interest was reported by the authors.

Statement of Research and Publication Ethics

The author declares that this study complies with Research and Publication Ethics. None of the experiments involved sacrificing animals and, therefore, we did not require a specific approval from any institutional animal and human research ethics committee.

5. References

- [1] Kırbağ S., Zengin F. 2006. Elazığ Yöresindeki Bazı Tıbbi Bitkilerin Antimikrobiyal Aktiviteleri. *Journal of Agriculture Science*, 16 (2): 77-80.
- [2] Yücel E., Tapırdamaz A., Yücel Şengül İ., Yılmaz G., Ak A. 2011. Determining the Usage Ways and Nutrient Contents of Some Wild Plants Around Kisecek Town (Karaman/Turkey). *Biological Diversity and Conservation*, 4 (3): 71-82.
- [3] Koyuncu M., Köroğlu A. 1991. *Rhus coriaria* Yaprak ve Meyvelerinin Anatomik İncelenmesi. *Doğa-Tr Journal of Pharmacy*, 1: 89-96.
- [4] Kırbağ S., Bağcı E. 2000. *Piceae abies* (L.) Karst.ve *Picea orientalis* (L.) Link Uçucu Yağlarının Antimikrobiyal Aktivitesi Üzerine Bir Araştırma. *Journal of Quafqaz University*, 3 (1): 183-190.
- [5] Naz S., Siddiqi R., Ahmad S., Rasool S.A., Sayeed S.A. 2007. Antibacterial Activity Directed Isolation of Compounds from *Punica granatum*. *Journal of Food Sciences*, 72: 341-345.
- [6] Alexander R.J. 1992. Maltodextrins: Production, Properties and Applications. *Starch Hydrolysis Products in Worldwide Technology, Production and Applications*, Edited by Schenck FW, Hebeda RE, New York: VHC Publishers, 233-276.
- [7] Davies G.J., Henrissat B. 1995. Structures and Mechanisms of Glycosyl Hydrolases. *Structure*, 3 (9): 853-859.
- [8] Lebovit H.1998. α -Glucosidase Inhibitors as Agents in the Treatment of Diabetes. *Diabetes Reviewer*, 6: 132-145.
- [9] Durmuş R.N., Şahin E., Bireller S. 2016. Gestasyonel Diyabette Hipoglisemik Etkili Bitkilerin Kullanımı. *Deneysel Tıp Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 6 (11): 3-16.
- [10] Karaman Ö., Elgin Cebe G. 2016. Diyabet ve Türkiye’de Antidiyabetik Olarak Kullanılan Bitkiler. *Journal of Faculty of Pharmacy of Ankara University*, 40 (3): 47-61.
- [11] Dorman H.J.D., Deans S.G. 2000. Antimicrobial Agents From Plants Antibacterial Activity of Plant Volatile Oils. *Journal of Applied Microbiology*, 88: 308-316.
- [12] Koneman E.W., Allen S.D., Janda W.M., Schreckenberger P.C., Winn W.C. 1997. *Color Atlas and Textbook of Diagnostic Microbiology*. Lippincott-Raven Pub, 536p. Edinburg.
- [13] Bernfeld P. 1955. *Methods in Enzymology*, Academic Press, 263p. New York.
- [14] Güder A. 2016. Influence of Total Anthocyanins from Bitter Melon (*Momordica charantia* Linn.) as Antidiabetic and Radical Scavenging Agents. *Iran Journal of Pharmaceutical Research*, 15 (1): 301-309.
- [15] McCue P., Kwon Y.I., Shetty K. 2005. Anti-Amylase, Anti-Glucosidase and Anti-Angiotensin I-Converting Enzyme Potential of Selected Foods. *Journal of Food Biochemistry*, 29: 278-294.
- [16] Wtherilt H., Pala M. 1994. Spices, Herbs and Edible Fungi. *Developments in Food Science*, 34: 285-307.
- [17] Dığrak M., Alma M.H., İlçim A. 2001. Antibacterial and antifungal activities of Turkish medicinal plants. *Pharmaceutical Biology*, 39 (5): 346-350.
- [18] Nasar-Abbas S.M., Kadir Halkman A. 2004. Antimicrobial Effect of Water Extract of Sumac (*Rhus coriaria* L.) on the Growth of Some Food Borne Bacteria Including Pathogens. *International Journal of Food Microbiology*, 97: 63-69.

- [19] Ibrahim F.Y., El-Shehawı S.M. 2013. The Antimicrobial and Antioxidant Effects of Aquous Thyme and Sumac Extracts in Refregirated Minced Beef Meat. *International Journal of Product Development*, 18 (1): 23-35.
- [20] Tiryaki Gündüz G., Aktuğ Gönül Ş., Karapinar M. 2010. Efficacy of Sumac and Oregano in the Inactivation of *Salmonella Typhimurium* on Tomatoes. *International Journal of Food Microbiology*, 141: 39-44.
- [21] Durmuş D., Türer C.Ç. 2018. Effects of Polyphenolic Compounds from Phytochemicals on Periodontium. *Journal of Biotechnology and Strategic Health Research*, 2 (3): 138-145.
- [22] Ünver A., Özcan M.M. 2010. Fatty Acid Composition of Seed and Pericarp of Sumach (*Rhus coriaria* L.) Grown Wild in Different Regions of Turkey. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 8 (1): 31-33.
- [23] Rayne S., Mazza G. 2007. Biological Activities of Extracts from Sumac (*Rhus* spp.): A review. *Plant Foods for Human Nutrition*, 62 (4): 165-75.
- [24] Giancarlo S., Rosa L.M., Nadjafi F., Francesco M. 2006. Hypoglycaemic Activity of Two Spices Extracts: *Rhus coriaria* L. and *Bunium persicum* Boiss. *Natural Product Research*, 20: 882-886.
- [25] Mohammadi S., Montasser Kouhsari S., Monavar Feshani A. 2010. Antidiabetic Properties of the Ethanolic Extract of *Rhus coriaria* Fruits in Rats. *DARU Journal of Pharmaceutical Sciences*, 18 (4): 270-275.

Araştırma Makalesi / Research Article

Bitlis İlinin Balık Yetiştiriciliğindeki Mevcut Durumu ve Yetiştiricilik Potansiyelinin Belirlenmesi

İlbey DOĞAN¹, Kenan KÖPRÜCÜ^{2*}

¹Çemişgezek İlçe Tarım ve Orman Müdürlüğü, Elazığ, Türkiye
²Fırat Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi, 23119 Elazığ, Türkiye
(ORCID: 0000-0002-4128-4449) (ORCID: 0000-0002-5697-5224)

Öz

Bu çalışmada, Bitlis ilinin balık yetiştiriciliğindeki mevcut durumu ve su ürünleri yetiştiricilik potansiyelinin belirlenmesi amaçlandı. Mevcut işletmelerin ve su kaynaklarının tamamına yıl boyunca 3 aylık periyotlar halinde gidildi. İşletmelerdeki yetkili kişi ve çalışanlarla yüz yüze yapılan anket çalışmasıyla işletmelerin yapısal, biyolojik, teknik, sosyal ve ekonomik özellikleri hakkında veriler elde edildi. Ayrıca, su kaynaklarının bazı fiziksel (sıcaklık, debi ve bulanıklık) ve kimyasal (oksijen, pH ve nitrat) özellikleri tespit edildi. Elde edilen sonuçlara göre; işletmelerin %20'si vadi arasında, %40'ı dağ eteğindeki yamaçlarda ve %40'ı ise açık arazide kurulmuştur. İşletmelerin %80'inin üretimde kaynak suyunu kullandığı, %20'sinin ise göl üzerinde üretim yaptığı belirlendi. Bitlis ilindeki işletmelerin yıllık üretim kapasiteleri 25-100 ton arasında değişmektedir. İşletmelerin il genelindeki toplam proje kapasitesi 211 ton/yıl, fiili kapasitesi 176 ton/yıl ve ortalama kapasite kullanım oranı ise %74,21±35,46'dır. Bu işletmelerin %60'ı ihtiyaç duydukları yıllık 6 250 000 adet yavru balığı kendi kuluçkahanelerinde üretirken, %40'ı ise ihtiyaç duyduğu yıllık 130 000 adet yavru balığı dışarıdan satın almaktadır. Mevcut işletmelerin %80'inin beton havuzlarda, %20'sinin ise ağ kafeslerde balık üretimini yaptığı tespit edildi. Bitlis ilindeki işletmelere ait toplam fiili üretim; %94,3 oranında beton havuzlarda, %5,7 oranında ise ağ kafeslerde gerçekleşmektedir. Bitlis ilindeki balık üretim tesisleri %100 şahıs işletmesi olarak faaliyet göstermektedir. İşletmelerin %20'sinin öz sermaye kullandıkları, %80'inin de öz sermaye haricinde teşviklerden faydalanarak faaliyet gösterdiği tespit edildi. Bu ildeki mevcut işletme sahiplerinin %60'ı 44-52, %40'ı ise 53-63 yaş aralığındadır. Bunların %40'ı ilköğretim, %20'si ortaokul ve %40'ı ise lise mezunudur. Mevcut işletmelerde toplam 20 kişi çalışmakta olup, bunların %70'i ilköğretim, %25'i lise ve %5'i ise lisans mezunudur. Toplam personelin %95'i erkek, %5'i ise bayandır. İldeki potansiyel su kaynaklarının ortalama sıcaklık değerleri 9,51-14,42 °C arasında olup, debisi 6,75-426,3 L/sn, bulanıklığı 0,55-12,95 JTU, çözünmüş oksijeni 4,86-9,25 mg/L, pH'sı 6,27-9,76 ppm ve nitrat düzeyi 0,00-14,70 mg/L aralığında değişmektedir. Sonuç olarak, Bitlis ilinde kültür balıkçılığının nitelik ve niceliğinin artırılabilmesi, üretimin optimize edilebilmesi ve geleceğe yönelik projeksiyonların yapılabilmesi, su ürünleri üretiminin il, bölge ve ülke ekonomisine olan katkılarının artırılabilmesi için; mevcut işletmeler yapısal, teknik ve ekonomik yönlerden geliştirilmelidir. Devlet desteğinin artması ve çeşitlilik kazanması, teknolojik gelişmeler ve potansiyel su kaynaklarının her geçen yıl balık üretiminde kullanılmasına paralel olarak su ürünleri yetiştiriciliğine olan ilginin artması beklenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Bitlis, Balık Yetiştiriciliği, Mevcut Durum, Su Ürünleri Potansiyeli

Current Situation of Fish Culture in Bitlis Province and Determination of Aquaculture Potential

Abstract

In this study, the aim is to find out the current situation of fish culture along with the potential of aquaculture in Bitlis Province. All of the existing enterprises and water resources were used in 3-month periods throughout a year long process. In the face-to-face survey conducted with authorized people and employees in the enterprises; Data on the structural, biological, technical, social and economic characteristics of the enterprises were obtained. In addition, the water resources; some physical (temperature, flow rate and turbidity) and chemical (oxygen, pH and

* Sorumlu yazar: kkoprucu@firat.edu.tr

Geliş Tarihi: 28.06.2019, Kabul Tarihi: 25.09.2019

nitrate) properties were determined. According to the obtained results; 20% of the enterprises are located in the valley, 40% in the slopes and 40% in the open land. Trout production is done in the total pool area of 6 019 m² in these enterprises. It was determined that 80% of the enterprises used spring water in production, and 20% of them used the water of the lake. The annual production capacity of the enterprises in Bitlis Province varies between 25-100 tons. The total project capacity of the enterprises in the province is 211 tons/year, the actual capacity is 176 tons/year and the average capacity utilization rate is 74.21±35.46%. When these enterprises are take into consideration individually, it was found out that 60% of them produce an annual average of 6 250 000 fry fish in their own hatcheries, while 40% buy an annual 130 000 fry fish per year. It has been determined that 80% of the enterprises are in concrete ponds and 20% in fish cages. Total actual production in Bitlis Province is 94.3% in concrete ponds and 5.7% in network cages. Fish production enterprises in Bitlis Province operate as an 100% private enterprise. It was revealed that 20% of the enterprises use equity and 80% of them operate by using incentives other than equity. In this province, 60% of the existing owners are 44-52 and 40% are between 53-63. The 40% of them are primary school, 20% are secondary school and 40% are high school graduates. A total of 20 people are employed in the existing enterprises, 70% of them are primary school, 25% are high school and 5% are undergraduate. The 95% of the current staff are male and 5% is female. The average temperature of potential water resources in the province is between 9.51-14.42 °C and the flow rate is 6.75-426.3 L/s, the turbidity is 0.55-12.95 JTU, the dissolved oxygen is 4.86-9.25 mg/L, pH is 6.27-9.76 ppm and nitrate level ranges between 0.00-14.70 mg/L. In conclusion, the existing enterprises in Bitlis Province should be developed in the structural, technical and economic aspects, in order to increase the quality and quantity of aquaculture production, optimize the production, make projections for future, increase its contribution to the economy of the province, region and country. The interest in aquaculture is expected to increase in line with the increase in the state support, its diversity, technological developments and the use of potential water resources in fish production year by year.

Keywords: Bitlis Province, Fish Culture, Current Situation, Aquaculture Potential

1. Giriş

Dünya nüfusunun artmasıyla birlikte gıda ihtiyacı artmış ve buna bağlı olarak tüm dünyada su ürünleri yetiştiriciliği faaliyetleri ivme kazanmıştır. Sağlıklı beslenmedeki önemli rolünden dolayı, su ürünlerine olan ilgi de gün geçtikçe artmıştır. Avcılık yoluyla elde edilen su ürünlerinin sınırlı olması ve ihtiyacı karşılayamaması nedeniyle, su ürünleri yetiştiriciliği vazgeçilmez bir üretim modeli haline gelmiştir [1, 2]. Dünyada en hızlı gelişen gıda sektörü su ürünleri yetiştiriciliğidir [3]. Bu sektör önemli bir gıda kaynağını sağlamanın yanısıra; yoğun istihdam oluşturması, endüstri alanında ham madde temininde yer alması ve değerli bir ihracat ürünü sunması bakımından da önemlidir [4].

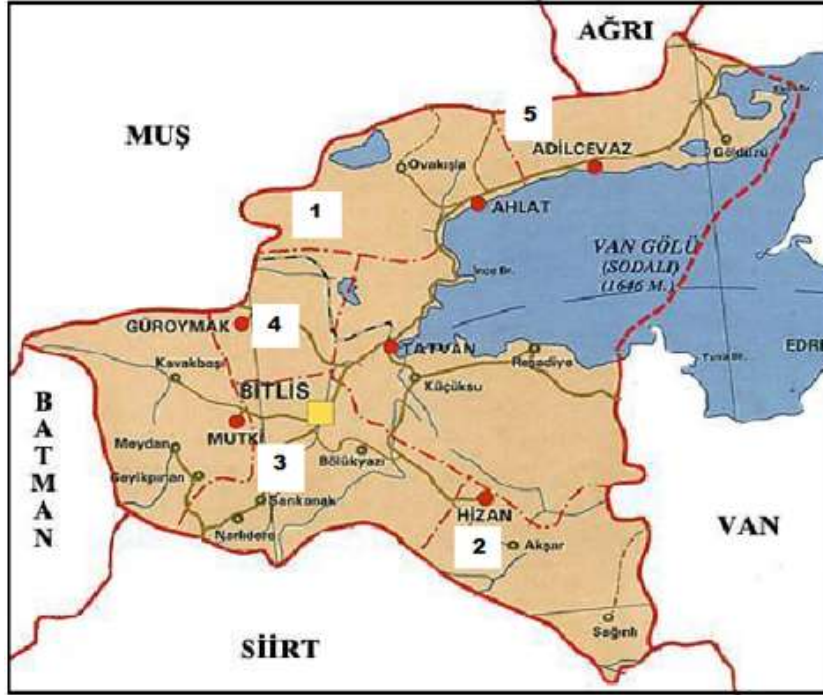
Ülkemiz su ürünleri sektörü sürekli bir değişim ve gelişim içerisinde. Yetiştiricilik yolu ile üretilen balık miktarı 2000 yılında 79.031 ton iken, bu miktar hızlı bir artış göstererek 2018 yılında 314.573 tona ulaşmış ve ülkemize kattığı değer 4.049.886.200 TL olmuştur. Toplam su ürünleri üretimimiz ise 628.631 tona ulaşmıştır. Mevcut üretimin %35,3'ünü deniz balıkları, %9,9'unu diğer deniz ürünleri, %4,8'ini iç su ürünleri ve %50'sini yetiştiricilik ürünleri oluşturmuştur. Yetiştiricilik yoluyla üretilen balıkların %66,6'sı denizlerde ve %33,4'ü ise iç sularda gerçekleşmiştir [5]. Önemli su kaynaklarına sahip olan ülkemizin üretim potansiyeli değerlendirildiğinde, fiili üretimin beklenen değerlere ulaşamadığı görülmektedir. Bu durum, diğer sektörlerde de karşımıza çıkabilen; altyapı yetersizliği, üretim planlamasının işlevsellikten uzak olması, finansman kaynaklarının doğru kullanılmaması ve pazar araştırmasının yeterince yapılmaması gibi nedenlere bağlanabilir. Mevcut sorunlar; doğru verilere ulaşılması ve bu verilerin gerçekçi, ön yargısız ve sağlıklı bir biçimde yorumlanması ile çözümlenebilir. Aksi takdirde, verimli ve nitelikli bir üretim yapısının oluşması mümkün değildir [6]. Türkiye birçok ülke ile kıyaslandığında su ürünleri yetiştiriciliğinde optimal şartlara sahip ekolojik ve limnolojik özellikleri olan ender ülkelerdendir. Bu avantajların üretimde etkin bir şekilde kullanılması durumunda su ürünlerinin ekonomiye olan katkısı artacaktır [7].

Ülke genelinde olduğu gibi Bitlis ilinde de çeşitli su kaynakları mevcuttur. Van, Nazik, Nemrut, Arin ve Aygır Gölleri'nin yanısıra; Garzan ve Bitlis çayları, Güzeldere, Ağkız ve Oranz dereleri ile Karasu bu ilin başlıca akarsularını oluşturmaktadır. Bunun dışında çok sayıda irili ufaklı dere ve çaylar da bulunmaktadır [8]. Mevcut su kaynaklarından sulama, içme, balık avcılığı, balık yetiştiriciliği, elektrik üretimi, kaplıca turizmi ve su sporları gibi alanlarda faydalanılmaktadır. Bitlis İl Tarım ve Orman Müdürlüğü'nün 2017 yılı kayıtlarına göre; Bitlis ili 176 ton alabalık yetiştiriciliğiyle ülke genelindeki alabalık üretiminde %0,05'lik bir paya

sahiptir [9]. Bitlis ili zengin su kaynaklarına sahip olmasına rağmen, kültür balığı üretiminde arzu edilen seviyede değildir. Bu nedenle çalışmada, Bitlis ilinin balık yetiştiriciliğindeki mevcut durumu ve su ürünleri yetiştiricilik potansiyelinin belirlenmesi, güçlü ve zayıf yönlerinin ortaya konulması amaçlanmıştır.

2. Materyal ve Metot

Araştırmanın ana materyalini, Bitlis ilindeki gökkuşağı alabalığı yetiştiriciliği yapan işletmeler ve potansiyel su kaynakları oluşturmaktadır. Bitlis İl Tarım ve Orman Müdürlüğü kayıtlarına göre; ilde aktif olarak üretim yapan toplam 5 adet işletme ve 37 adet su kaynağı bulunmaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. Bitlis ilindeki gökkuşağı alabalığı üreten işletmelerin konumu (1-5) ve su kaynakları [10]

Çalışma, 1 Haziran 2017 ile 1 Haziran 2018 tarihleri arasında gerçekleştirilmiştir. İşletmelerin yapısal, biyolojik, teknik, sosyal ve ekonomik özelliklerinin belirlenmesine yönelik anket formu hazırlanmıştır [11-18]. Aktif olan işletmelerin ve mevcut su kaynaklarının tamamına yıl boyunca 3 aylık periyotlar halinde gidilmiştir. İşletmelerdeki yetkili kişi ve çalışanlarla yüz yüze yapılan anket çalışmasıyla veriler elde edilmiştir. Ayrıca, ildeki potansiyel su kaynaklarının bazı fiziksel (sıcaklık, debi, bulanıklık) ve kimyasal (oksijen, pH, nitrat) özellikleri tespit edilerek, balık yetiştiriciliğine uygunluğu değerlendirilmiştir.

Su sıcaklığı termometre (1 °C taksimatlı), çözülmüş oksijen miktarı (mg/L) portatif bir oksijen metre, pH'sı portatif bir pH metre, bulanıklılık ise "Secchi disc" [19] kullanılarak ölçülmüştür. Sudaki nitrat düzeyi spektrofotometrik yöntemle belirlenmiştir [20]. Su debisinin belirlenmesinde; yüzdürme ve enine kesit yöntemi ile su kaynağında 20 m uzunluğunda bir aralık belirlenmiş ve bu 20 m içerisindeki 5 ayrı noktadan en ve derinlik ölçüleri alınarak ortalama derinlik ve genişlik tespit edilmiştir. Ortalama 25 cm uzunluğunda ve 5 cm enindeki tahta parçası daha önce belirlenen 20 m uzunluğundaki alanın başlangıç noktasından bırakılarak toplam mesafeyi kaç saniyede tamamladığı ölçülmüş ve " $En \times Boy \times Derinlik \times 0,85 / Zaman$ " formülü ile hesaplanmıştır [21]. Ayrıca, Bitlis İl Tarım ve Orman Müdürlüğü kayıtlarından yararlanılarak, mevcut verilerin güvenilirliği test edilmiştir.

İşletmelerin kapasite kullanım oranları, su kaynaklarının çözülmüş oksijen, pH, nitrat, sıcaklık, bulanıklılık ve debisine ait mevsimsel ölçüm değerleri arasındaki farkın önem derecesi (0,05) "tek yönlü t testi" kullanılarak belirlenmiştir. Bu değerlere ait aritmetik ortalama ve standart sapma (Ss)'nin hesaplanması, belirtilen istatistiksel analizlerin yapılması işlemlerinde "SPSS 21.0 bilgisayar paket programı" kullanılmıştır.

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. İşletmelerin kuruluş yeri, yılı, üretim durumu ve yerleşim merkezine uzaklığı

Bitlis İl Tarım ve Orman Müdürlüğüne kayıtlı olan ve aktif olarak entansif gökkuşağı alabalığı yetiştiriciliği yapan 5 adet işletme mevcuttur. Bunların yerleşim merkezine uzaklıkları 10,1-98,1 km arasında değişmektedir (Tablo 1). Ayrıca, pasif olan 1 adet işletmenin çeşitli ekonomik problemlerden dolayı üretimini geçici olarak durdurduğu, yarı entansif sazan ve entansif karadeniz alabalığı yetiştiriciliği yapan toplam 2 adet işletmenin ise 2017 yılında faaliyetine son verdiği tespit edilmiştir.

Tablo 1. Bitlis ilindeki gökkuşağı alabalığı işletmelerinin kuruluş yeri, yılı, üretim durumu ve yerleşim merkezine uzaklığı

| İşletme no | Kuruluş yeri | Kuruluş yılı | Üretim durumu | Merkeze uzaklığı (Km) |
|------------|--------------|--------------|---------------|-----------------------|
| 1 | Ahlat | 1989 | Aktif | 63,3 |
| 2 | Hizan | 2005 | Aktif | 46,0 |
| 3 | Merkez | 2012 | Aktif | 10,1 |
| 4 | Güroymak | 2004 | Aktif | 32,3 |
| 5 | Adilcevaz | 1996 | Aktif | 98,1 |

Yıldız ve Şener [6], Karadeniz Bölgesi'ndeki alabalık işletmelerinin %96,1'inin herhangi bir yerleşim merkezine uzaklığının 20 km'den az, %33,9'unun ise 50 km'den daha fazla mesafede olduğunu rapor etmişlerdir. Emre vd. [11], Akdeniz Bölgesi'ndeki alabalık işletmelerinin %88'inin herhangi bir yerleşim birimine uzaklığının 20 km'den daha az, %2'sinin 51 km'den fazla, %10'unun ise 21-50 km arasında değişen bir mesafede olduğunu belirlemişlerdir. Rad ve Köksal [22]'a göre, Türkiye'deki alabalık işletmelerinin %80'i en yakın yerleşim merkezine 20 km'den daha az bir mesafede olup, %20'si 20-50 km arasındadır. Doğan ve Yıldız [23], Marmara Bölgesi'ndeki alabalık işletmelerinin %96,4'ünün en yakın yerleşim birimine uzaklığının 20 km'den daha az, %3,6'sının 20-50 km arasında değişen bir mesafede olduğu bildirmişlerdir. Bitlis'teki işletmelerin %33,3'ünün merkeze uzaklığı 20 km'den az olup, %66,7'si 32,3-98,1 km arasındadır.

3.2. İşletmelerin arazi özellikleri

Bitlis ilinde gökkuşağı alabalığı üretimi yapan işletmelerin %20'si vadi arasında, %40'ı dağ eteğindeki yamaçlarda ve %40'ı ise açık arazide yetiştiricilik faaliyetlerini sürdürmektedir. Genellikle dik arazi yapısından dolayı tesis kurulumunda zorluklarla karşılaşıldığı işletme sahipleri tarafından belirtilmiştir. İşletmelerin yer seçimi yaparken özellikle, kendi arazilerinden çıkan ya da yakın çevrelerinde bulunan su kaynaklarını tercih ettikleri belirlenmiştir. Aydın ve Sayılı [4]'ya göre, Samsun'daki karada alabalık üreten işletmelerin; %20'si vadi arasında, %40'ı dağ eteğinde ve %40'ı ise açık arazide kurulmuşlardır. Kocaman vd. [24], Erzurum'da yaptıkları bir çalışmada; işletmelerin %81'inin vadi arasında, %14,2'sinin dağ eteğinde ve %4,8'inin ise açık arazide kurulduğunu tespit etmişlerdir. Adıgüzel ve Akay [25], Tokat'taki işletmelerin; %47,37'sinin dağ eteğinde, %31,58'inin açık arazide ve %21,05'inin vadi arasında olduğunu bildirmişlerdir. Güneş ve Köprücü [26], Kahramanmaraş'taki işletmelerin %50'sinin vadi arasında, %40'ının dağ eteğinde ve %10'unun ise açık arazide kurulduğunu belirlemişlerdir. Karabulut ve Köprücü [27] Malatya'daki mevcut işletmelerin %50'sinin vadi arasında, %40'ının açık arazide ve %10'unun ise dağ eteğinde kurulduğunu tespit etmişlerdir. İşletmelerin arazi durumları açısından kuruluş yerleri genellikle bölgenin coğrafik yapısı ve su kaynağına yakınlığıyla doğrudan ilişkilidir.

3.3. Üretimde kullanılan su ve havuz özellikleri

Bitlis ilindeki gökkuşağı alabalığı işletmelerinin %80'inde kaynak suyu kullandığı, %20'sinin ise göl üzerinde üretim yaptığı belirlenmiştir. Mevcut işletmelerin %80'i beton havuzlarda, %20'si ise ağ kafeslerde (Aygır Gölü'nde) üretim yapmaktadır. Beton havuzlarda balık yetiştiriciliği yapan tesislerin fiili üretim miktarları toplam üretimin %94,3'ünü, ağ kafeslerde yapılan fiili üretim kapasitesi ise toplam üretimin %5,7'sini oluşturmaktadır. Karadaki üretim toplam 6 019 m² havuz alanında

gerçekleştirilmektedir. Bu amaçla; yavru (644 m²), büyütme (1500 m²), anaç (2364 m²) ve pazarlama (1511 m²) havuzları kullanılmaktadır. Dikdörtgen, yamuk ve yuvarlak şekilli havuzlar mevcuttur. Karabulut ve Köprücü [27], Malatya'daki alabalık işletmelerin %80'inin kaynak suyunu, %20'sinin ise akarsuyu kullandıklarını tespit etmişlerdir. Gümüş ve Şahin [28]'e göre, Antalya'daki alabalık işletmelerinin %91,4'ü kaynak suyu kullanmaktadır. İşletmelerin %45,8'inde kullanılan suyun sıcaklığının 10 °C'nin altında olduğunu bildirmişlerdir. Bu durum alabalık üreten işletmelerin ağırlıklı bir şekilde kaynak suyu kullandıklarını göstermektedir.

3.4. İşletmelerin yönetim yapısı ve sermaye kullanımı

Bitlis ilinde gökkuşağı alabalığı üreten işletmelerin %100'ünün şahıs işletmesi olduğu, şirket statüsünde veya ortaklı işletme şeklinde faaliyet gösteren işletme bulunmadığı tespit edilmiştir. İşletmelerin %20'si üretimde öz sermaye kullanmakta, %80'i ise öz sermayenin yanı sıra teşviklerden de faydalanmaktadır. Karataş vd. [12]'ne göre Sivas'taki alabalık işletmelerinin; %85,72'si şahıs, %7,14'ü adi ortaklık ve %7,14'ü ise kamu kuruluşu şeklindedir. Yüksel [14]'e göre, Burdur'daki alabalık işletmelerinin yapısı; %73,9 gerçek kişi, %21,5 şirket ve %4,6 adi ortaklık şeklindedir. Gümüş vd. [16], Antalya'daki alabalık işletmelerinin yönetim yapısının; %62,4 şahıs-aile, %34,4 şirket-ortaklık ve %3,2 kamu kuruluşu olduğunu belirlemişlerdir. Güneş ve Köprücü [26]'ye göre, Kahramanmaraş'taki alabalık işletmelerinin; %60'ı şahıs-aile ve %40'ı ise şirket-ortaklık şeklindedir. Karabulut ve Köprücü [27], Malatya'daki alabalık üreten işletmelerin şirket yapısının; %50 şirket-ortaklık, %40 şahıs-aile %10 kooperatif olduğunu bildirmişlerdir. Bitlis'teki işletmelerin %100'ünün şahıs işletmesi şeklinde olmasının en önemli nedeni; ekonomik sebeplerle tesislerin faaliyetlerine hep küçük kapasitelerde başlamaları ve üretimde sonuç aldıkça revize projelerle kapasite artırımına gitmeleridir. Henüz şirketleşecek düzeye gelemedikleri ve alt yapıyı sağlam temeller üzerine inşa edemedikleri için, ileriye atacakları adımlarda daha temkinli davrandıkları tespit edilmiştir.

3.5. İşletme sahiplerinin yaş dağılımı, medeni durumu, eğitimi, sosyal güvencesi ve diğer mesleklerle olan ilişkisi

Gökkuşağı alabalığı yetiştiriciliği yapan işletme sahiplerinin yaş dağılımı incelendiğinde; yaşları 44-52 arasında olanların oranı %60, 53-63 arasında olanların ise %40 olduğu görülmüştür. Bu durum işletme sahiplerinin ağırlıklı olarak orta yaş grubunda olduğunu göstermektedir. İşletme sahiplerinin tamamı evli olup, %40'ı ilköğretim, %20'si ortaokul ve %40'ı ise lise mezundur. Bunların %80'i SGK'lı, %20'si ise emeklidir. Bu kişilerin balık yetiştiriciliğinin yanı sıra; %40'ı balık avcılığı ve %20'si çiftçilik ve %40'ı ise muhtarlık işleriyle de uğraşmaktadır. Sadece balıkçılıkla uğraşanların işlerine daha iyi motive olduğu gözlemlenmiştir.

3.6. Çalışan personelin sayısı, cinsiyeti ve eğitim durumu

Bitlis ilindeki gökkuşağı alabalığı işletmelerinde çalışan toplam 20 personelden %95 (19 kişi)'i erkek, %5 (1 kişi)'i ise bayandır. Bunların geneli aile fertlerinden oluşmaktadır. Aile fertleri dışında vasıflı ya da vasıfsız geçici işçiler, işlerin yoğun olduğu zamanlarda mevcut işçilere destek amaçlı çalıştırılmaktadır. Doğan ve Yıldız [23], Marmara Bölgesindeki alabalık işletmelerinin %52,9'unda 1-3 personel, %3,9'unda ise 21 veya daha fazla personel çalıştırıldığını bildirmişlerdir. Güneş ve Köprücü [26]'ye göre, Kahramanmaraş'taki alabalık işletmelerinin %20'si 1-3 personel, %50'si 4-9 personel ve %30'u ise 10'dan fazla personel çalıştırmaktadır. Karabulut ve Köprücü [27], Malatya'daki alabalık üreten işletmelerde toplam 21 kişinin istihdam edildiğini; işletmelerin %40'ında 1, %30'unda 2 ve %20'sinde ise 3 kişinin çalıştırıldığını tespit etmişlerdir. Üstündağ vd. [29], Karadeniz Bölgesindeki işletmelerde 1-5 arasında değişen sayıda personel çalıştırıldığını, sadece 1 personel çalıştıran işletmelerin oranının %38,7 olduğunu belirtmişlerdir. Yapılan bu çalışmalar, mevcut işletmelerde kapasite arttıkça çalışan personel sayısının da arttığını göstermektedir. Bu işletmelerde çalışan personelin cinsiyet ve yaş dağılımına ait oranlar coğrafik bölgelere göre farklılık göstermektedir. Balık yetiştiriciliği kaba iş gücüne dayalı olduğundan, genellikle erkekler tarafından tercih edilmektedir. Bu durum, mevcut işletmelerde çalışan kadın personel oranının düşük seviyede olmasını açıklamaktadır.

Çalışan personelin eğitim seviyeleri incelendiğinde; %70 (14 kişi)'nin ilköğretim, %25 (5 kişi)'nin lise ve %5 (1 kişi)'nin lisans mezunu olduğu görülmüştür. Gümüş vd. [16]'ne göre, Antalya'daki alabalık üreten işletmelerinde çalışan personelin; %60,2'si işçi, %32,9'u aile bireyi ve %6,9'u ise su ürünleri mühendisidir. Doğan ve Yıldız [23], Marmara Bölgesindeki mevcut işletmelerde çalışan personelin; %31,1'inin aile bireylerinden, %33,8'inin vasıfsız işçilerden, %25,6'sının eğitilmiş işçilerden, %6,1'inin mühendislerden ve %3,4'ünün teknikerlerden oluştuğunu bildirmişlerdir. Güneş ve Köprücü [26], Kahramanmaraş'taki alabalık işletmelerinde çalışan personelin en büyük kısmını işçilerin (%76,40) oluşturduğunu, bunu sırasıyla aile bireyleri (%18,86) ve su ürünleri mühendisleri (%6,74)'nin takip ettiğini belirlemişlerdir. Karabulut ve Köprücü [27], Malatya'daki alabalık üreten işletmelerde çalışan personelin %14,28'inin mühendis, %85,72'sinin ise vasıfsız işçilerden oluştuğunu, teknik eleman çalıştırılmadığını ve tüm personelin erkek olduğunu tespit etmişlerdir. Bitlis'teki alabalık işletmelerinde çalışan personelin niteliğine ait oranlar diğer araştırmacıların sonuçlarıyla benzerlik göstermektedir.

3.7. Havuz ve kafeslerin bakımı ve dezenfeksiyonu, suyun analizi

İşletmelerde beton havuzlar fırça yardımı ile, kafes ağları ise güneşte kurutma, askıda çırpma ve basınçlı suyla yıkama yöntemleri kullanılarak temizlenmekte, havuz tabanı ve duvarları sönmemiş kireç ile dezenfekte edilmektedir. Tesislerin %20'si ayda bir, %40'ı üç ayda bir ve %40'ı ise altı ayda bir genel bakım ve temizlik işlerini yapmaktadır. İşletmelerin %20'sinin su analizlerini İl Sağlık Müdürlüğüne 6 ayda bir kez yaptırdığı, %80'inin ise hiç yaptırmadığı tespit edilmiştir.

3.8. İşletmelerdeki yavru balık üretimi

Bitlis ilindeki gökkuşağı alabalığı işletmelerinin %60'ı (3 işletme) ihtiyaç duydukları yıllık 6 250 000 adet yavru balığı kendi kuluçkahanelerinde üretirken, %40'ı ise ihtiyaç duyduğu yıllık 130 000 adet yavru balığı dışarıdan satın almaktadır (Tablo 2). Kendi yavru balığını üreten bu işletmeler bağımsız kuluçkahane binasına sahip olup, sadece bir kuluçkahanenin üst katı idari bina ve lokanta olarak kullanılmaktadır. İşletmelerde kuluçkahane binasında kullanılan suların giriş-çıkışları büyütmeye havuzlarından ayrı tutulmuş, böylece hastalık bulaşma riskinin en aza indirildiği görülmüştür.

Tablo 2. Bitlis ilindeki gökkuşağı alabalığı işletmelerinin yavru balık üretim miktarları

| İşletme no | Kendi üretimi (adet yavru balık/yıl) | Dışarıdan alım (adet yavru balık/yıl) |
|------------|--------------------------------------|---------------------------------------|
| 1 | 5 000 000 | 0 |
| 2 | 250 000 | 0 |
| 3 | - | 50 000 |
| 4 | 1 000 000 | 0 |
| 5 | - | 80 000 |
| İl geneli | 6 250 000 | 130 000 |

Gümüş ve Şahin [28]'e göre, Antalya'daki alabalık işletmelerinin %61,4'ü yumurta ve yavru balık ihtiyacının tamamını kendi üretimlerinden karşılarken, %25'i üretim ile birlikte satın alma ve %13,6'sı ise sadece satın alma yoluna gitmektedir. Bu durum Bitlis'teki alabalık işletmeleriyle benzerlik göstermektedir.

3.9. İşletmelerin üretim kapasitesi ve kapasite kullanımı

Bitlis ilindeki gökkuşağı alabalığı üreten işletmelerin; yıllık proje kapasiteleri 25-100 ton, fiili kapasiteleri 9-100 ton ve kapasite kullanım oranları ise %31,04-100 arasında değişmektedir. İl geneli toplam proje kapasitesinin 211 ton/yıl ve fiili kapasitenin 176 ton/yıl, ortalama kapasite kullanım oranının ise %74,21±35,46 (p<0,05) olduğu belirlenmiştir (Tablo 3).

Tablo 3. Bitlis ilindeki gökkuşağı alabalığı işletmelerinin proje ve fiili kapasiteleri, kapasite kullanım oranları

| İşletme no | Proje kapasitesi (ton/yıl) | Fiili kapasite (ton/yıl) | Kapasite kullanım oranı (%) |
|------------|----------------------------|--------------------------|-----------------------------|
| 1 | 100 | 100 | 100 |
| 2 | 29 | 29 | 100 |
| 3 | 29 | 9 | 31,04 |
| 4 | 28 | 28 | 100 |
| 5 | 25 | 10 | 40,00 |
| İl geneli | 211 | 176 | 74,21±35,46 (p<0,05) |

Güneş ve Köprücü [26], Kahramanmaraş'taki alabalık üreten işletmelerin kapasite kullanım oranlarını; küçük (%69,98), orta (%96,88) ve büyük (%60) ölçekli işletmeler olarak bildirmişlerdir. Kahramanmaraş genelinde kapasite kullanım oranının %73,98 olduğunu tespit etmişlerdir. Karabulut ve Köprücü [27]'ye göre, Malatya'daki alabalık üreten işletmelerin ortalama kapasite kullanım oranı %40,6 olup, bu oran küçük (%59,85), orta (%42,22) ve büyük (%38,34) ölçekli işletmelerde istatistiksel olarak önemli (p<0,05) farklılıklar göstermektedir. Bitlis'teki alabalık işletmelerinin kapasite kullanım oranı (%74,21), Kahramanmaraş'taki işletmelerle benzer olup, Malatya'dakilerden ise daha yüksektir. Bununla birlikte mevcut işletmelerin kapasitelerini tam anlamıyla kullanamama sebepleri; kuluçkahane yönetimi hakkında yetersiz bilgiye sahip olmaları, dölleme ve yavru büyütme aşamasında kayıpların fazla olması, yeterli donanımlara sahip kalifiye elamanların bulunmaması, sermaye yetersizliği ve alt yapı sorunlarıdır.

3.10. İşletmelerin taşınmaz varlıkları ve makine-ekipman durumu

Bitlis ilindeki gökkuşağı alabalığı işletmelerinin hepsi idari bina, yem deposu, restoran ve balık satış yerlerine ve binek araçlara sahiptir. Tesislerin çevresindeki diğer alanlar da depolama amacıyla kullanılmaktadır. İşletmelerde kullanılan malzemeler; tesisin bulunduğu yerin özelliğine, alt yapısına ve üretimin kapasitesine bağlı olarak farklılıklar göstermektedir. Tesislerde soğuk hava deposu ve yem makinesi bulunmamaktadır. İhtiyaç halinde kullanılan soğutma dolaplarının yeterli olduğu belirtilmiştir. Ayrıca, 3 tesiste kuluçka dolabı, 4 tesiste boylama makinesi, 1 tesiste buz makinesi, 2 tesiste jeneratör ve multimetre, 1 tesiste ise kamyonet ve tekne mevcuttur.

3.11. İşletmelerin bakım-onarım giderleri

Bitlis ili genelinde, gökkuşağı alabalığı yetiştiriciliği yapan işletmelerin (yıllık toplam); “sabit harcamaları (Bina-havuz)” 25 250 TL, “alet-makine bakım onarımı” 14 000 TL, “arazi düzenleme giderleri” 15 500 TL ve “su kullanım giderleri” 17 000 TL'dir (Tablo 4). İşletmelerin giderleri arasında en büyük payı bina-havuz giderleri almaktadır. İşletmelerin giderleri; tesislerin büyüklüğüne, kullanılan yapı malzemesine, makine ve aletlere, yıllık üretim miktarına, personel sayısına, arazi yapısına, şehir ve girdi merkezlerine olan uzaklıklarına ve üretim periyodu içerisindeki balık ölümlerine bağlı olarak değişiklik göstermektedir.

Tablo 4. Bitlis ilindeki gökkuşağı alabalığı işletmelerinin yıllık giderlerine ait dağılım (TL)

| İşletme no | Sabit harcamalar (bina-havuz) | Alet-makine bakım ve onarımı | Arazi düzenleme | Su kullanımı | Toplam |
|------------|-------------------------------|------------------------------|-----------------|--------------|--------|
| 1 | 10 000 | 5 500 | 9 000 | 6 000 | 30 500 |
| 2 | 5 000 | 3 000 | 5 000 | 4 500 | 17 500 |
| 3 | 2 000 | 1 000 | 500 | 1 750 | 5 250 |
| 4 | 3 000 | 2 000 | 1 000 | 1 750 | 7 750 |
| 5 | 5 250 | 2 500 | - | 3 000 | 10 750 |
| İl geneli | 25 250 | 14 000 | 15 500 | 17 000 | 71 750 |

3.12. Yemin temini ve kullanımı

Balıkların beslenmesinde genellikle peletlenmiş ekstrude yem kullanılmaktadır. Yemleme sıklığı; balığın verilen yemi almasına ve balıkların ortalama ağırlığına göre değişkenlik göstermektedir. Yavru balıklar, yeme alıştırma döneminde günlük 6-7 kez, semirtme döneminde ortalama 3-4 kez, ortalama

120 gr ağırlığa ulaştıktan sonra ise günlük 1-2 kez yemlenmektedir. Yem ihtiyaçları ruhsatlı yem bayilerinden temin edilmektedir. İşletmelerin %60'ı yem ödemelerini peşin olarak gerçekleştirirken %40'ı vadeli ödeme yapmak durumunda olduklarını belirtmişlerdir.

3.13. İşletmelerin ürünü pazarlama şekli

Üretilen balıklar perakende veya toptan satış yöntemiyle pazarlanmaktadır. Bu işletmeler lokantaya sahip olduklarından, ürünlerini buralarda da tüketime sunmaktadırlar. Pazarlama şekilleri işletmelerin buldukları yere göre farklılık göstermektedir. Örneğin; bir tesiste 150 gr'lık 2 adet balık porsiyon olarak tüketime sunulurken, diğer bir tesiste 300 gr olan 1 adet alabalık porsiyon olarak kullanılmaktadır. Bu gramajlarda pazarlanan alabalıkların pazar fiyatı ise lokantada uygulanan hizmet şekline ve pişirme yöntemlerine göre farklılık göstermektedir. Örneğin; bir işletmede kendin pişir kendin ye gibi imkânlar sunulurken, diğer bir tesiste farklı pişirme yöntemleri kullanarak tüketici kitlelerini belirlemektedirler. Bitlis ilinde balık işleme tesisi bulunmadığından, ürünün işlenerek pazarlanması söz konusu değildir. İşletmeler, ilin balık ihtiyacını ancak karşılayabildikleri için üretilen balıklar genelde iç piyasaya pazarlanmaktadır.

3.14. Desteklemelerden yararlanma durumu

Bitlis ilindeki gökkuşağı alabalığı işletmelerinin 2015-2018 yılları arasında aldıkları destek miktarları incelendiğinde (Tablo 5); desteklemelerden 2 işletmenin düzenli olarak, 2 işletmenin ise aralıklarla faydalandığı, 1 işletmenin ise bundan yararlanmadığı görülmektedir.

Tablo 5. Bitlis ilindeki gökkuşağı alabalığı işletmelerinin 2015-2018 yıllarında aldıkları destek miktarları (TL)

| İşletme no | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | Toplam |
|------------|--------|--------|--------|--------|---------|
| 1 | 50 648 | 20 206 | 57 750 | 0 | 128 604 |
| 2 | 18 850 | 18 849 | 21 750 | 21 750 | 81 199 |
| 3 | 6 075 | 0 | 7 010 | 7 010 | 20 095 |
| 4 | 15 718 | 17 225 | 3 136 | 19 710 | 55 789 |
| 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| İl geneli | 91 291 | 56 28 | 89 646 | 48 470 | 285 687 |

3.15. Bitlis'teki su kaynaklarının bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri

Bitlis ilindeki su kaynaklarının balık yetiştiriciliği potansiyelini belirlemek amacıyla; 3 adet göl, 23 adet yer altı suyu ve 11 adet dere ve çay olmak üzere toplam 37 su kaynağında çözünmüş oksijen, pH, nitrat, sıcaklık, bulanıklık ve debi değerleri ölçülmüştür (Tablo 6-43).

Tablo 6. Tuğ Çayı analiz değerleri

| Tuğ Çayı (Tatvan) | İlkbahar | Yaz | Sonbahar | Kış | Ortalama±Ss | Önem derecesi |
|-------------------------|----------|-------|----------|-------|-------------|---------------|
| Çözünmüş oksijen (mg/L) | 10,10 | 7,60 | 8,20 | 9,52 | 8,86±0,99 | p<0,05 |
| pH (ppm) | 6,55 | 5,98 | 7,26 | 7,81 | 6,90±0,69 | p<0,05 |
| Nitrat (mg/L) | 8,18 | 35,84 | 10,51 | 0,001 | 13,63±15,48 | p<0,05 |
| Sıcaklık (°C) | 12,60 | 13,75 | 9,22 | 6,11 | 10,42±2,99 | p<0,05 |
| Debi (L/sn) | 350 | 240 | 186 | 255 | 257,8±59,12 | p<0,05 |
| Bulanıklık (JTU) | 17,00 | 8,60 | 11,80 | 10,20 | 11,90±3,15 | p<0,05 |

Tablo 7. Harabeşehir Çayı analiz değerleri

| Harabeşehir Çayı (Ahlat) | İlkbahar | Yaz | Sonbahar | Kış | Ortalama±Ss | Önem derecesi |
|--------------------------|----------|-------|----------|-------|-------------|---------------|
| Çözünmüş oksijen (mg/L) | 11,23 | 8,65 | 9,33 | 10,00 | 9,80±1,10 | p<0,05 |
| pH (ppm) | 6,63 | 5,99 | 7,04 | 6,87 | 6,63±0,46 | p<0,05 |
| Nitrat (mg/L) | 8,30 | 36,00 | 10,60 | 0,002 | 13,73±15,53 | p<0,05 |
| Sıcaklık (°C) | 10,33 | 19,22 | 11,50 | 9,05 | 12,53±4,57 | p<0,05 |
| Debi (L/sn) | 470 | 255 | 280 | 320 | 331,3±96,3 | p<0,05 |
| Bulanıklık (JTU) | 14,20 | 8,40 | 11,50 | 12,70 | 11,70±2,46 | p<0,05 |

Tablo 8. Aygır Gölü analiz değerleri

| Aygır Gölü (Adilcevaz) | İlkbahar | Yaz | Sonbahar | Kış | Ortalama±Ss | Önem derecesi |
|-------------------------|----------|-------|----------|-------|-------------|---------------|
| Çözünmüş oksijen (mg/L) | 8,66 | 7,54 | 8,02 | 9,16 | 8,35±0,62 | p<0,05 |
| pH (ppm) | 7,90 | 7,22 | 7,02 | 7,44 | 7,40±0,33 | p<0,05 |
| Nitrat (mg/L) | 9,60 | 37,30 | 11,90 | 0,003 | 14,70±15,92 | p<0,05 |
| Sıcaklık (°C) | 11,20 | 22,95 | 14,09 | 9,39 | 14,41±5,21 | p<0,05 |
| Debi (L/sn) | - | - | - | - | - | - |
| Bulanıklık (JTU) | 3,10 | 1,20 | 2,40 | 1,60 | 2,08±0,73 | p<0,05 |

Tablo 9. Ziyaret Menbası analiz değerleri

| Ziyaret Menbası (Güroymak) | İlkbahar | Yaz | Sonbahar | Kış | Ortalama±Ss | Önem derecesi |
|----------------------------|----------|--------|----------|--------|-------------|---------------|
| Çözünmüş oksijen (mg/L) | 7,86 | 6,51 | 7,97 | 7,90 | 7,56±0,61 | p<0,05 |
| pH (ppm) | 8,20 | 6,01 | 7,82 | 7,90 | 7,48±0,86 | p<0,05 |
| Nitrat (mg/L) | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | 0,00±0,00 | - |
| Sıcaklık (°C) | 12,28 | 13,76 | 10,32 | 8,60 | 11,24±1,95 | p<0,05 |
| Debi (L/sn) | 50,0 | 32,0 | 40,0 | 45,0 | 41,75±6,65 | p<0,05 |
| Bulanıklık (JTU) | 5,00 | 1,50 | 3,30 | 4,10 | 3,48±1,29 | p<0,05 |

Tablo 10. Kümbet Suyu analiz değerleri

| Kümbet Suyu (Güroymak) | İlkbahar | Yaz | Sonbahar | Kış | Ortalama±Ss | Önem derecesi |
|-------------------------|----------|--------|----------|--------|-------------|---------------|
| Çözünmüş oksijen (mg/L) | 6,75 | 5,54 | 6,90 | 6,98 | 6,54±0,59 | p<0,05 |
| pH (ppm) | 7,55 | 6,94 | 6,15 | 6,72 | 6,84±0,50 | p<0,05 |
| Nitrat (mg/L) | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | 0,00±0,00 | - |
| Sıcaklık (°C) | 10,26 | 10,74 | 9,95 | 10,04 | 10,25±0,31 | p<0,05 |
| Debi (L/sn) | 350 | 186 | 212 | 241 | 247,3±62,43 | p<0,05 |
| Bulanıklık (JTU) | 3,10 | 2,00 | 2,40 | 2,30 | 2,45±0,40 | p<0,05 |

Tablo 11. Altınoluk Çayı analiz değerleri

| Altınoluk Çayı (Hizan) | İlkbahar | Yaz | Sonbahar | Kış | Ortalama±Ss | Önem derecesi |
|-------------------------|----------|--------|----------|-------|-------------|---------------|
| Çözünmüş oksijen (mg/L) | 9,80 | 7,67 | 8,30 | 8,78 | 8,64±0,78 | p<0,05 |
| pH (ppm) | 7,30 | 7,75 | 7,82 | 7,11 | 7,50±0,30 | p<0,05 |
| Nitrat (mg/L) | 0,001 | <0,001 | <0,001 | 0,001 | 0,00±0,00 | - |
| Sıcaklık (°C) | 12,60 | 14,60 | 12,20 | 10,30 | 12,43±1,53 | p<0,05 |
| Debi (L/sn) | 350 | 200 | 250 | 300 | 275±55,90 | p<0,05 |
| Bulanıklık (JTU) | 1,00 | 0,20 | 0,80 | 0,60 | 0,65±0,30 | p<0,05 |

Tablo 12. Mutki Deresi analiz değerleri

| Mutki Deresi (Mutki) | İlkbahar | Yaz | Sonbahar | Kış | Ortalama±Ss | Önem derecesi |
|-------------------------|----------|-------|----------|-------|-------------|---------------|
| Çözünmüş oksijen (mg/L) | 9,50 | 8,20 | 8,37 | 9,70 | 8,94±0,66 | p<0,05 |
| pH (ppm) | 7,35 | 7,98 | 7,22 | 6,96 | 7,38±0,38 | p<0,05 |
| Nitrat (mg/L) | 0,001 | 12,25 | 9,73 | 3,56 | 6,39±5,61 | p<0,05 |
| Sıcaklık (°C) | 11,60 | 13,64 | 9,50 | 8,60 | 10,84±1,95 | p<0,05 |
| Debi (L/sn) | 280 | 150 | 180 | 260 | 217,5±54,03 | p<0,05 |
| Bulanıklık (JTU) | 14,30 | 9,50 | 11,40 | 13,80 | 12,25±1,93 | p<0,05 |

Tablo 13. Yenibağ Deresi analiz değerleri

| Yenibağ Deresi (Mutki) | İlkbahar | Yaz | Sonbahar | Kış | Ortalama±Ss | Önem derecesi |
|-------------------------|----------|-------|----------|-------|-------------|---------------|
| Çözünmüş oksijen (mg/L) | 8,80 | 6,40 | 7,50 | 7,39 | 7,52±0,85 | p<0,05 |
| pH (ppm) | 7,40 | 6,95 | 7,85 | 7,52 | 7,43±0,32 | p<0,05 |
| Nitrat (mg/L) | 0,001 | 12,31 | 9,82 | 3,67 | 6,45±5,63 | p<0,05 |
| Sıcaklık (°C) | 11,30 | 12,20 | 10,80 | 10,25 | 11,14±0,72 | p<0,05 |
| Debi (L/sn) | 100 | 45,0 | 60,0 | 75,0 | 70,0±20,31 | p<0,05 |
| Bulanıklık (JTU) | 6,60 | 4,30 | 5,50 | 5,70 | 5,53±0,82 | p<0,05 |

Tablo 14. Bitlis Deresi analiz değerleri

| Bitlis Deresi (Merkez) | İlkbahar | Yaz | Sonbahar | Kış | Ortalama±Ss | Önem derecesi |
|-------------------------|----------|-------|----------|-------|-------------|---------------|
| Çözünmüş oksijen (mg/L) | 9,66 | 7,15 | 8,40 | 8,67 | 8,47±1,03 | p<0,05 |
| pH (ppm) | 7,22 | 8,30 | 7,56 | 7,82 | 7,73±0,46 | p<0,05 |
| Nitrat (mg/L) | 0,001 | 12,12 | 9,62 | 3,45 | 6,28±5,56 | p<0,05 |
| Sıcaklık (°C) | 10,50 | 13,85 | 12,00 | 7,06 | 10,85±2,88 | p<0,05 |
| Debi (L/sn) | 530 | 250 | 360 | 450 | 397,5±120,4 | p<0,05 |
| Bulanıklık (JTU) | 16,70 | 10,10 | 11,40 | 12,80 | 12,75±2,86 | p<0,05 |

Tablo 15. Duav Deresi analiz değerleri

| Duav Deresi (Merkez) | İlkbahar | Yaz | Sonbahar | Kış | Ortalama±Ss | Önem derecesi |
|-------------------------|----------|-------|----------|-------|-------------|---------------|
| Çözünmüş oksijen (mg/L) | 8,25 | 7,60 | 7,82 | 8,10 | 7,94±0,25 | p<0,05 |
| pH (ppm) | 6,58 | 5,24 | 5,78 | 6,40 | 6,00±0,53 | p<0,05 |
| Nitrat (mg/L) | 0,001 | 12,40 | 9,91 | 3,76 | 6,52±5,66 | p<0,05 |
| Sıcaklık (°C) | 12,50 | 14,60 | 10,50 | 8,63 | 11,56±2,23 | p<0,05 |
| Debi (L/sn) | 405 | 292 | 333 | 375 | 351,3±42,71 | p<0,05 |
| Bulanıklık (JTU) | 12,20 | 16,30 | 11,40 | 11,90 | 12,95±1,96 | p<0,05 |

Tablo 16. Güroymak Şelalesi analiz değerleri

| Güroymak Şelalesi (Güroymak) | İlkbahar | Yaz | Sonbahar | Kış | Ortalama±Ss | Önem derecesi |
|------------------------------|----------|-------|----------|-------|-------------|---------------|
| Çözünmüş oksijen (mg/L) | 11,12 | 10,30 | 10,80 | 11,50 | 10,93±0,44 | p<0,05 |
| pH (ppm) | 7,62 | 7,47 | 7,58 | 7,64 | 7,58±0,07 | p>0,05 |
| Nitrat (mg/L) | 4,24 | 7,52 | 4,11 | 8,89 | 6,19±2,39 | p<0,05 |
| Sıcaklık (°C) | 10,60 | 12,81 | 11,55 | 9,98 | 11,24±1,07 | p<0,05 |
| Debi (L/sn) | 300 | 260 | 270 | 280 | 277,5±14,79 | p<0,05 |
| Bulanıklık (JTU) | 1,20 | 0,60 | 0,80 | 0,90 | 0,88±0,22 | p<0,05 |

Tablo 17. Aydınlar Suyu analiz değerleri

| Aydınlar Suyu (Adilcevaz) | İlkbahar | Yaz | Sonbahar | Kış | Ortalama±Ss | Önem derecesi |
|---------------------------|----------|-------|----------|-------|-------------|---------------|
| Çözünmüş oksijen (mg/L) | 7,60 | 6,80 | 7,55 | 7,48 | 7,36±0,33 | p<0,05 |
| pH (ppm) | 6,68 | 5,78 | 6,35 | 6,28 | 6,27±0,32 | p<0,05 |
| Nitrat (mg/L) | 0,001 | 5,42 | 0,001 | 10,41 | 3,96±5,00 | p<0,05 |
| Sıcaklık (°C) | 10,02 | 11,10 | 10,63 | 10,33 | 10,52±0,40 | p<0,05 |
| Debi (L/sn) | 161 | 118 | 146 | 137 | 140,5±15,57 | p<0,05 |
| Bulanıklık (JTU) | 2,60 | 1,80 | 1,90 | 1,50 | 1,95±0,40 | p<0,05 |

Tablo 18. Aşağı Süphan Suyu analiz değerleri

| Aşağı Süphan Suyu (Adilcevaz) | İlkbahar | Yaz | Sonbahar | Kış | Ortalama±Ss | Önem derecesi |
|-------------------------------|----------|-------|----------|------|-------------|---------------|
| Çözünmüş oksijen (mg/L) | 5,71 | 5,02 | 5,86 | 5,90 | 5,62±0,36 | p<0,05 |
| pH (ppm) | 7,60 | 7,95 | 7,80 | 7,45 | 7,70±0,19 | p<0,05 |
| Nitrat (mg/L) | 0,001 | 7,78 | 1,48 | 4,11 | 3,34±3,41 | p<0,05 |
| Sıcaklık (°C) | 9,76 | 10,90 | 10,54 | 9,93 | 10,28±0,46 | p<0,05 |
| Debi (L/sn) | 150 | 110 | 120 | 140 | 130±15,81 | p<0,05 |
| Bulanıklık (JTU) | 7,60 | 5,40 | 4,10 | 5,80 | 5,73±1,25 | p<0,05 |

Tablo 19. Yolçatı Suyu analiz değerleri

| Yolçatı Suyu (Adilcevaz) | İlkbahar | Yaz | Sonbahar | Kış | Ortalama±Ss | Önem derecesi |
|--------------------------|----------|-------|----------|--------|-------------|---------------|
| Çözünmüş oksijen (mg/L) | 4,98 | 4,60 | 4,85 | 5,01 | 4,86±0,16 | p<0,05 |
| pH (ppm) | 7,80 | 7,95 | 7,80 | 8,20 | 7,94±0,16 | p>0,05 |
| Nitrat (mg/L) | 10,54 | 10,54 | 1,35 | <0,001 | 5,61±5,72 | p<0,05 |
| Sıcaklık (°C) | 10,16 | 10,97 | 10,54 | 9,96 | 10,41±0,39 | p<0,05 |
| Debi (L/sn) | 130 | 80,0 | 85,0 | 110 | 101,3±20,12 | p<0,05 |
| Bulanıklık (JTU) | 6,50 | 4,80 | 5,70 | 6,00 | 5,75±0,62 | p<0,05 |

Tablo 20. Çanakyayla Suyu analiz değerleri

| Çanakyayla Suyu (Adilcevaz) | İlkbahar | Yaz | Sonbahar | Kış | Ortalama±Ss | Önem Derecesi |
|-----------------------------|----------|-------|----------|-------|-------------|---------------|
| Çözünmüş oksijen (mg/L) | 5,36 | 5,05 | 5,18 | 5,28 | 5,22±0,12 | p<0,05 |
| pH (ppm) | 6,69 | 7,06 | 7,53 | 7,84 | 7,28±0,44 | p<0,05 |
| Nitrat (mg/L) | 0,001 | 3,58 | 0,001 | 13,96 | 4,39±6,60 | p<0,05 |
| Sıcaklık (°C) | 10,21 | 10,94 | 9,24 | 9,15 | 9,89±0,74 | p<0,05 |
| Debi (L/sn) | 140 | 90,0 | 110 | 130 | 117,5±19,20 | p<0,05 |
| Bulanıklık (JTU) | 3,30 | 1,50 | 2,70 | 2,60 | 2,53±0,65 | p<0,05 |

Tablo 21. Harmantepe Suyu analiz değerleri

| Harmantepe Suyu (Adilcevaz) | İlkbahar | Yaz | Sonbahar | Kış | Ortalama±Ss | Önem derecesi |
|-----------------------------|----------|-------|----------|-------|-------------|---------------|
| Çözünmüş Oksijen (mg/L) | 5,10 | 4,39 | 4,86 | 4,90 | 4,81±0,26 | p<0,05 |
| pH (ppm) | 6,66 | 7,25 | 7,36 | 6,95 | 7,06±0,27 | p<0,05 |
| Nitrat (mg/L) | 0,001 | 8,97 | 0,001 | 17,77 | 6,69±8,51 | p<0,05 |
| Sıcaklık (°C) | 11,60 | 12,30 | 11,28 | 10,94 | 11,53±0,50 | p<0,05 |
| Debi (L/sn) | 200 | 145 | 130 | 180 | 163,8±27,70 | p<0,05 |
| Bulanıklık (JTU) | 4,90 | 2,20 | 3,70 | 3,50 | 3,58±0,96 | p<0,05 |

Tablo 22. Kınalıkoç Suyu analiz değerleri

| Kınalıkoç Suyu (Ahlat) | İlkbahar | Yaz | Sonbahar | Kış | Ortalama±Ss | Önem derecesi |
|-------------------------|----------|-------|----------|-------|-------------|---------------|
| Çözünmüş oksijen (mg/L) | 5,50 | 5,21 | 5,66 | 5,32 | 5,42±0,17 | p<0,05 |
| pH (ppm) | 6,55 | 7,30 | 7,51 | 7,44 | 7,20±0,38 | p<0,05 |
| Nitrat (mg/L) | 0,001 | 8,7 | 0,001 | 10,80 | 4,88±5,69 | p<0,05 |
| Sıcaklık (°C) | 10,60 | 11,78 | 11,17 | 10,13 | 10,92±0,62 | p<0,05 |
| Debi (L/sn) | 260 | 150 | 130 | 215 | 188,8±51,77 | p<0,05 |
| Bulanıklık (JTU) | 3,20 | 1,60 | 2,40 | 2,60 | 2,45±0,57 | p<0,05 |

Tablo 23. Ovakişla Suyu analiz değerleri

| Ovakişla Suyu (Ahlat) | İlkbahar | Yaz | Sonbahar | Kış | Ortalama±Ss | Önem derecesi |
|-------------------------|----------|-------|----------|------|-------------|---------------|
| Çözünmüş oksijen (mg/L) | 6,80 | 6,47 | 6,75 | 6,70 | 6,68±0,13 | p>0,05 |
| pH (ppm) | 7,65 | 7,42 | 7,88 | 7,59 | 7,64±0,17 | p<0,05 |
| Nitrat (mg/L) | 0,001 | 0,001 | 0,001 | 9,89 | 2,47±4,95 | p<0,05 |
| Sıcaklık (°C) | 10,27 | 10,97 | 10,61 | 9,43 | 10,32±0,57 | p<0,05 |
| Debi (L/sn) | 385 | 190 | 250 | 310 | 283,8±72,23 | p<0,05 |
| Bulanıklık (JTU) | 2,00 | 0,40 | 1,60 | 1,30 | 1,33±0,59 | p<0,05 |

Tablo 24. Saka Suyu analiz değerleri

| Saka Suyu (Ahlat) | İlkbahar | Yaz | Sonbahar | Kış | Ortalama±Ss | Önem derecesi |
|-------------------------|----------|-------|----------|-------|-------------|---------------|
| Çözünmüş oksijen (mg/L) | 4,94 | 4,45 | 4,86 | 4,90 | 4,79±0,20 | p<0,05 |
| pH (ppm) | 6,52 | 5,94 | 7,62 | 7,88 | 6,99±0,79 | p<0,05 |
| Nitrat (mg/L) | 0,001 | 7,13 | 7,39 | 1,35 | 3,97±3,84 | p<0,05 |
| Sıcaklık (°C) | 11,17 | 12,06 | 11,02 | 10,63 | 11,22±0,52 | p<0,05 |
| Debi (L/sn) | 65,00 | 25,00 | 40,00 | 55,00 | 46,25±15,26 | p<0,05 |
| Bulanıklık (JTU) | 14,80 | 11,20 | 13,80 | 13,50 | 13,25±1,32 | p<0,05 |

Tablo 25. Taşharman Suyu analiz değerleri

| Taşharman Suyu (Ahlat) | İlkbahar | Yaz | Sonbahar | Kış | Ortalama±Ss | Önem derecesi |
|-------------------------|----------|-------|----------|-------|-------------|---------------|
| Çözünmüş oksijen (mg/L) | 5,83 | 5,29 | 5,74 | 5,90 | 5,69±0,24 | p<0,05 |
| pH (ppm) | 7,25 | 7,56 | 7,51 | 7,21 | 7,38±0,15 | p>0,05 |
| Nitrat (mg/L) | 0,43 | 0,001 | 3,06 | 2,40 | 1,47±1,49 | p<0,05 |
| Sıcaklık (°C) | 10,41 | 12,36 | 10,28 | 9,65 | 10,68±1,01 | p<0,05 |
| Debi (L/sn) | 90,00 | 80,00 | 82,00 | 90,00 | 85,50±4,56 | p<0,05 |
| Bulanıklık (JTU) | 11,30 | 8,70 | 10,05 | 10,36 | 10,10±0,93 | p<0,05 |

Tablo 26. Yumurtatepe Suyu analiz değerleri

| Yumurtatepe Suyu (Tatvan) | İlkbahar | Yaz | Sonbahar | Kış | Ortalama±Ss | Önem derecesi |
|---------------------------|----------|-------|----------|-------|-------------|---------------|
| Çözünmüş oksijen (mg/L) | 7,50 | 6,84 | 7,25 | 7,33 | 7,23±0,24 | p<0,05 |
| pH (ppm) | 6,06 | 7,41 | 6,58 | 7,24 | 6,82±0,54 | p<0,05 |
| Nitrat (mg/L) | 0,001 | 0,001 | 4,11 | 0,001 | 1,03±2,06 | p<0,05 |
| Sıcaklık (°C) | 10,80 | 12,22 | 10,54 | 9,85 | 10,85±0,86 | p<0,05 |
| Debi (L/sn) | 32,00 | 20,00 | 23,00 | 26,00 | 25,25±4,44 | p<0,05 |
| Bulanıklık (JTU) | 8,70 | 6,70 | 7,70 | 7,30 | 7,60±0,73 | p<0,05 |

Tablo 27. Çekmece Suyu analiz değerleri

| Çekmece Suyu (Tatvan) | İlkbahar | Yaz | Sonbahar | Kış | Ortalama±Ss | Önem Derecesi |
|-------------------------|----------|-------|----------|-------|-------------|---------------|
| Çözünmüş oksijen (mg/L) | 5,50 | 4,82 | 4,95 | 5,13 | 5,10±0,26 | p<0,05 |
| pH (ppm) | 6,77 | 6,38 | 6,45 | 6,91 | 6,63±0,22 | p<0,05 |
| Nitrat (mg/L) | 0,001 | 2,92 | 0,001 | 21,97 | 6,22±10,59 | p<0,05 |
| Sıcaklık (°C) | 12,34 | 13,86 | 11,17 | 10,97 | 12,09±1,15 | p<0,05 |
| Debi (L/sn) | 25,00 | 15,00 | 18,00 | 20,00 | 19,50±3,64 | p<0,05 |
| Bulanıklık (JTU) | 3,90 | 2,10 | 2,60 | 3,20 | 2,95±0,67 | p<0,05 |

Tablo 28. Kuruyaka Suyu analiz değerleri

| Kuruyaka Suyu (Tatvan) | İlkbahar | Yaz | Sonbahar | Kış | Ortalama±Ss | Önem derecesi |
|-------------------------|----------|-------|----------|-------|-------------|---------------|
| Çözünmüş oksijen (mg/L) | 6,48 | 5,26 | 6,17 | 6,33 | 6,06±0,48 | p<0,05 |
| pH (ppm) | 6,77 | 7,49 | 6,85 | 7,47 | 7,15±0,34 | p<0,05 |
| Nitrat (mg/L) | 0,001 | 4,89 | 0,001 | 0,70 | 1,40±2,35 | p<0,05 |
| Sıcaklık (°C) | 10,28 | 11,68 | 10,01 | 9,91 | 10,47±0,71 | p<0,05 |
| Debi (L/sn) | 35,00 | 24,00 | 19,00 | 25,00 | 25,75±5,80 | p<0,05 |
| Bulanıklık (JTU) | 7,30 | 5,80 | 8,49 | 7,07 | 7,17±0,96 | p<0,05 |

Tablo 29. Göllü Suyu analiz değerleri

| Göllü Suyu (Tatvan) | İlkbahar | Yaz | Sonbahar | Kış | Ortalama±Ss | Önem derecesi |
|-------------------------|----------|-------|----------|-------|-------------|---------------|
| Çözünmüş oksijen (mg/L) | 5,10 | 4,60 | 4,80 | 5,08 | 4,90±0,24 | p<0,05 |
| pH (ppm) | 6,87 | 7,25 | 7,12 | 6,90 | 7,04±0,18 | p<0,05 |
| Nitrat (mg/L) | 0,001 | 12,12 | 8,31 | 14,35 | 8,70±6,31 | p<0,05 |
| Sıcaklık (°C) | 10,60 | 11,72 | 9,91 | 9,63 | 10,47±0,93 | p<0,05 |
| Debi (L/sn) | 55,00 | 45,00 | 45,00 | 50,00 | 48,75±4,79 | p<0,05 |
| Bulanıklık (JTU) | 5,20 | 3,80 | 4,10 | 4,80 | 4,48±0,64 | p<0,05 |

Tablo 30. Gölbaşı Suyu analiz değerleri

| Gölbaşı Suyu (Güroymak) | İlkbahar | Yaz | Sonbahar | Kış | Ortalama±Ss | Önem derecesi |
|-------------------------|----------|-------|----------|-------|-------------|---------------|
| Çözünmüş oksijen (mg/L) | 9,24 | 8,65 | 8,86 | 9,12 | 8,97±0,23 | p<0,05 |
| pH (ppm) | 6,80 | 7,24 | 7,26 | 7,11 | 7,10±0,18 | p<0,05 |
| Nitrat (mg/L) | 0,001 | 11,99 | 0,001 | 0,001 | 3,00±6,00 | p<0,05 |
| Sıcaklık (°C) | 9,50 | 10,20 | 9,22 | 9,13 | 9,51±0,42 | p<0,05 |
| Debi (L/sn) | 165 | 138 | 130 | 145 | 144,5±12,97 | p<0,05 |
| Bulanıklık (JTU) | 2,10 | 1,30 | 1,50 | 1,80 | 1,68±0,30 | p<0,05 |

Tablo 31. Güzelli Suyu analiz değerleri

| Güzelli Suyu (Güroymak) | İlkbahar | Yaz | Sonbahar | Kış | Ortalama±Ss | Önem derecesi |
|-------------------------|----------|-------|----------|-------|-------------|---------------|
| Çözünmüş oksijen (mg/L) | 8,40 | 8,02 | 8,30 | 8,50 | 8,31±0,18 | p<0,05 |
| pH (ppm) | 7,41 | 7,56 | 7,50 | 7,81 | 7,57±0,15 | p<0,05 |
| Nitrat (mg/L) | 0,001 | 7,65 | 0,001 | 4,76 | 3,10±3,77 | p<0,05 |
| Sıcaklık (°C) | 9,60 | 10,07 | 9,46 | 9,10 | 9,56±0,35 | p<0,05 |
| Debi (L/sn) | 105 | 81,00 | 79,00 | 84,00 | 87,25±10,40 | p<0,05 |
| Bulanıklık (JTU) | 1,80 | 0,70 | 1,20 | 1,50 | 1,30±0,41 | p<0,05 |

Tablo 32. Değirmenköy Suyu analiz değerleri

| Değirmenköy Suyu (Güroymak) | İlkbahar | Yaz | Sonbahar | Kış | Ortalama±Ss | Önem derecesi |
|-----------------------------|----------|-------|----------|-------|-------------|---------------|
| Çözünmüş oksijen (mg/L) | 7,93 | 7,26 | 7,55 | 7,68 | 7,61±0,24 | p<0,05 |
| pH (ppm) | 7,30 | 7,74 | 7,56 | 7,48 | 7,52±0,16 | p<0,05 |
| Nitrat (mg/L) | 0,001 | 9,23 | 0,001 | 13,96 | 5,80±6,97 | p<0,05 |
| Sıcaklık (°C) | 11,36 | 13,25 | 10,78 | 10,35 | 11,44±1,11 | p<0,05 |
| Debi (L/sn) | 125 | 111 | 104 | 106 | 111,5±8,20 | p<0,05 |
| Bulanıklık (JTU) | 10,02 | 5,70 | 6,20 | 6,10 | 7,01±1,75 | p<0,05 |

Tablo 33. Üzümveren Suyu analiz değerleri

| Üzümveren Suyu (Güroymak) | İlkbahar | Yaz | Sonbahar | Kış | Ortalama±Ss | Önem derecesi |
|---------------------------|----------|-------|----------|-------|-------------|---------------|
| Çözünmüş oksijen (mg/L) | 7,39 | 7,25 | 7,46 | 7,45 | 7,39±0,08 | p>0,05 |
| pH (ppm) | 6,15 | 7,04 | 6,17 | 6,21 | 6,39±0,38 | p<0,05 |
| Nitrat (mg/L) | 0,001 | 3,97 | 0,001 | 0,001 | 0,99±1,99 | p<0,05 |
| Sıcaklık (°C) | 10,60 | 10,82 | 9,63 | 9,57 | 10,16±0,56 | p<0,05 |
| Debi (L/sn) | 41,00 | 35,00 | 30,00 | 36,00 | 35,50±3,91 | p<0,05 |
| Bulanıklık (JTU) | 3,30 | 1,80 | 2,60 | 2,10 | 2,45±0,57 | p<0,05 |

Tablo 34. Altınkalbur Suyu analiz değerleri

| Altınkalbur Suyu (Merkez) | İlkbahar | Yaz | Sonbahar | Kış | Ortalama±Ss | Önem derecesi |
|---------------------------|----------|--------|----------|-------|-------------|---------------|
| Çözünmüş oksijen (mg/L) | 7,15 | 6,39 | 6,95 | 6,48 | 6,74±0,32 | p<0,05 |
| pH (ppm) | 7,46 | 7,12 | 7,26 | 7,32 | 7,29±0,12 | p>0,05 |
| Nitrat (mg/L) | <0,001 | <0,001 | <0,001 | 0,001 | 0,00±0,00 | - |
| Sıcaklık (°C) | 10,18 | 10,78 | 10,03 | 9,73 | 10,18±0,38 | p<0,05 |
| Debi (L/sn) | 17,00 | 9,00 | 10,00 | 10,00 | 11,50±3,20 | p<0,05 |
| Bulanıklık (JTU) | 1,30 | 0,40 | 0,60 | 0,50 | 0,70±0,35 | p<0,05 |

Tablo 35. İçmeli Suyu analiz değerleri

| İçmeli Suyu (Merkez) | İlkbahar | Yaz | Sonbahar | Kış | Ortalama±Ss | Önem derecesi |
|-------------------------|----------|-------|----------|------|-------------|---------------|
| Çözünmüş oksijen (mg/L) | 8,89 | 8,15 | 8,23 | 8,41 | 8,42±0,29 | p<0,05 |
| pH (ppm) | 7,59 | 7,51 | 7,94 | 7,66 | 7,68±0,16 | p<0,05 |
| Nitrat (mg/L) | 0,001 | 7,76 | 0,001 | 4,87 | 3,16±3,83 | p<0,05 |
| Sıcaklık (°C) | 10,63 | 11,23 | 10,16 | 9,89 | 10,48±0,51 | p<0,05 |
| Debi (L/sn) | 293 | 226 | 210 | 250 | 244,8±31,28 | p<0,05 |
| Bulanıklık (JTU) | 8,10 | 3,50 | 3,60 | 4,10 | 4,83±1,90 | p<0,05 |

Tablo 36. Yumurtatepe Suyu analiz değerleri

| Yumurtatepe Suyu (Merkez) | İlkbahar | Yaz | Sonbahar | Kış | Ortalama±Ss | Önem derecesi |
|---------------------------|----------|--------|----------|-------|-------------|---------------|
| Çözünmüş oksijen (mg/L) | 9,10 | 8,67 | 8,23 | 9,25 | 8,81±0,40 | p<0,05 |
| pH (ppm) | 6,81 | 7,23 | 7,15 | 7,02 | 7,05±0,16 | p<0,05 |
| Nitrat (mg/L) | <0,001 | <0,001 | <0,001 | 0,001 | 0,00±0,00 | - |
| Sıcaklık (°C) | 11,63 | 12,14 | 11,57 | 10,70 | 11,51±0,52 | p<0,05 |
| Debi (L/sn) | 11,00 | 4,00 | 5,00 | 7,00 | 6,75±2,68 | p<0,05 |
| Bulanıklık (JTU) | 0,80 | 0,40 | 0,40 | 0,60 | 0,55±0,17 | p<0,05 |

Tablo 37. Sapur Çayı analiz değerleri

| Sapur Çayı (Tatvan) | İlkbahar | Yaz | Sonbahar | Kış | Ortalama±Ss | Önem derecesi |
|-------------------------|----------|--------|----------|-------|-------------|---------------|
| Çözünmüş oksijen (mg/L) | 9,63 | 8,74 | 9,12 | 9,52 | 9,25±0,35 | p<0,05 |
| pH (ppm) | 6,53 | 6,88 | 7,26 | 7,14 | 6,95±0,28 | p<0,05 |
| Nitrat (mg/L) | <0,001 | <0,001 | <0,001 | 0,001 | 0,00±0,00 | - |
| Sıcaklık (°C) | 9,95 | 10,76 | 9,22 | 8,14 | 9,52±0,96 | p<0,05 |
| Debi (L/sn) | 319 | 277 | 249 | 258 | 275,8±26,94 | p<0,05 |
| Bulanıklık (JTU) | 10,03 | 5,89 | 6,61 | 6,23 | 7,19±1,66 | p<0,05 |

Tablo 38. Adabağ Suyu analiz değerleri

| Adabağ Suyu (Tatvan) | İlkbahar | Yaz | Sonbahar | Kış | Ortalama±Ss | Önem derecesi |
|-------------------------|----------|--------|----------|-------|-------------|---------------|
| Çözünmüş oksijen (mg/L) | 5,55 | 5,21 | 5,34 | 6,07 | 5,54±0,33 | p<0,05 |
| pH (ppm) | 7,02 | 6,98 | 7,13 | 7,46 | 7,15±0,19 | p<0,05 |
| Nitrat (mg/L) | <0,001 | <0,001 | <0,001 | 0,001 | 0,00±0,00 | - |
| Sıcaklık (°C) | 11,63 | 12,85 | 10,87 | 10,66 | 11,50±0,86 | p<0,05 |
| Debi (L/sn) | 24,00 | 20,00 | 20,00 | 22,00 | 21,50±1,66 | p<0,05 |
| Bulanıklık (JTU) | 2,20 | 1,20 | 2,90 | 2,70 | 2,25±0,66 | p<0,05 |

Tablo 39. Sarıkum Suyu analiz değerleri

| Sarıkum Suyu (Tatvan) | İlkbahar | Yaz | Sonbahar | Kış | Ortalama±Ss | Önem derecesi |
|-------------------------|----------|--------|----------|-------|-------------|---------------|
| Çözünmüş oksijen (mg/L) | 7,84 | 7,16 | 7,65 | 7,90 | 7,64±0,29 | p>0,05 |
| pH (ppm) | 7,86 | 7,55 | 7,71 | 7,78 | 7,73±0,11 | p>0,05 |
| Nitrat (mg/L) | <0,001 | <0,001 | <0,001 | 4,11 | 1,03±2,06 | p<0,05 |
| Sıcaklık (°C) | 10,45 | 11,24 | 10,22 | 10,11 | 10,51±0,44 | p<0,05 |
| Debi (L/sn) | 55,00 | 49,00 | 47,00 | 50,00 | 50,25±2,95 | p<0,05 |
| Bulanıklık (JTU) | 2,60 | 1,90 | 2,10 | 2,20 | 2,20±0,26 | p<0,05 |

Tablo 40. Hersan Çayı analiz değerleri

| Hersan Çayı (Merkez) | İlkbahar | Yaz | Sonbahar | Kış | Ortalama±Ss | Önem derecesi |
|-------------------------|----------|--------|----------|-------|-------------|---------------|
| Çözünmüş oksijen (mg/L) | 9,22 | 6,12 | 8,45 | 8,96 | 8,19±1,23 | p<0,05 |
| pH (ppm) | 5,90 | 5,84 | 6,02 | 6,10 | 5,97±0,10 | p>0,05 |
| Nitrat (mg/L) | <0,001 | <0,001 | <0,001 | 0,001 | 0,00±0,00 | - |
| Sıcaklık (°C) | 10,66 | 16,18 | 9,22 | 8,76 | 11,21±2,96 | p<0,05 |
| Debi (L/sn) | 110 | 20,00 | 50,00 | 95,00 | 68,75±35,77 | p<0,05 |
| Bulanıklık (JTU) | 12,80 | 4,60 | 5,10 | 5,50 | 7,00±3,36 | p<0,05 |

Tablo 41. Aygır Gölü analiz değerleri

| Aygır Gölü (Adilcevaz) | İlkbahar | Yaz | Sonbahar | Kış | Ortalama±Ss | Önem derecesi |
|-------------------------|----------|-------|----------|-------|-------------|---------------|
| Çözünmüş oksijen (mg/L) | 8,12 | 7,66 | 7,98 | 8,23 | 8,00±0,21 | p<0,05 |
| pH (ppm) | 7,90 | 7,23 | 7,02 | 7,44 | 7,40±0,33 | p<0,05 |
| Nitrat (mg/L) | 0,001 | 2,64 | 0,001 | 0,001 | 0,66±1,32 | p<0,05 |
| Sıcaklık (°C) | 11,20 | 23,01 | 14,10 | 9,38 | 14,42±5,24 | p<0,05 |
| Debi (L/sn) | - | - | - | - | - | - |
| Bulanıklık (JTU) | 3,00 | 1,10 | 2,40 | 1,60 | 2,03±0,73 | p<0,05 |

Tablo 42. Nazik Gölü analiz değerleri

| Nazik Gölü (Ahlat) | İlkbahar | Yaz | Sonbahar | Kış | Ortalama±Ss | Önem derecesi |
|-------------------------|----------|-------|----------|-------|-------------|---------------|
| Çözünmüş oksijen (mg/L) | 8,17 | 7,82 | 8,14 | 8,23 | 8,09±0,16 | p<0,05 |
| pH (ppm) | 6,79 | 7,20 | 7,26 | 7,11 | 7,09±0,18 | p<0,05 |
| Nitrat (mg/L) | 0,001 | 1,53 | 0,001 | 0,001 | 0,38±0,77 | p<0,05 |
| Sıcaklık (°C) | 10,78 | 15,75 | 7,36 | 1,27 | 8,79±5,27 | p<0,05 |
| Debi (L/sn) | - | - | - | - | - | - |
| Bulanıklık (JTU) | 4,10 | 2,50 | 3,40 | 3,30 | 3,33±0,57 | p<0,05 |

Tablo 43. Van Gölü analiz değerleri

| Van Gölü (Tatvan) | İlkbahar | Yaz | Sonbahar | Kış | Ortalama±Ss | Önem derecesi |
|-------------------------|----------|-------|----------|-------|-------------|---------------|
| Çözünmüş oksijen (mg/L) | 7,75 | 7,60 | 8,20 | 7,92 | 7,87±0,22 | p<0,05 |
| pH (ppm) | 9,75 | 9,92 | 9,88 | 9,49 | 9,76±0,17 | p>0,05 |
| Nitrat (mg/L) | 0,001 | 4,89 | 0,001 | 0,001 | 1,22±2,45 | p<0,05 |
| Sıcaklık (°C) | 12,60 | 15,80 | 9,22 | 7,20 | 11,21±3,28 | p<0,05 |
| Debi (L/sn) | - | - | - | - | - | - |
| Bulanıklık (JTU) | 5,50 | 4,60 | 4,80 | 4,50 | 4,85±0,39 | p<0,05 |

Bitlis ilindeki su kaynaklarının çözünmüş oksijen değerleri; ilkbaharda 5,10-9,63 mg/L, yazın 4,39-10,30 mg/L, sonbaharda 4,80-10,80 mg/L ve kışın 4,90-11,50 mg/L arasında değişmektedir. Su kaynaklarının yıl içerisindeki ortalama çözünmüş oksijen değerlerinin 4,86-9,25 mg/L arasında değişim gösterdiği tespit edilmiştir. Mevcut su kaynaklarının pH değerleri; ilkbaharda 6,52-9,75 ppm, yazın 5,24-9,92 ppm, sonbaharda 5,78-9,88 ppm ve kışın 6,10-9,49 ppm arasında olup, yıl içerisindeki ortalama pH değerleri 6,27-9,76 ppm arasında değişmektedir. Nitrat değerleri; ilkbaharda 0,00-9,60 mg/L, yazın 0,00-37,30 mg/L, sonbaharda 0,00-10,60 mg/L ve kışın 0,00-21,97 mg/L arasında değişmektedir. Bu su kaynaklarının yıl içerisindeki ortalama nitrat değerlerinin ise 0,00-14,70 mg/L arasında değiştiği belirlenmiştir. Sıcaklık değerleri; ilkbaharda 9,50-12,60 °C, yazın 10,07-23,01 °C, sonbaharda 9,22-14,00 °C ve kışın 1,27-10,97 °C arasında olup, yıl içerisindeki ortalama sıcaklık değerleri ise 9,51-14,42 °C arasında değişmektedir. Debi değerleri; ilkbaharda 11-530 L/sn, yazın 4-277 L/sn, sonbaharda 5-360 L/sn ve kışın 10,66-450 L/sn arasında değişmektedir. Su kaynaklarının yıl içerisindeki ortalama debi değerleri ise 6,75-426,3 L/sn arasında değişim göstermektedir. Bulanıklık değerleri; ilkbaharda 3,10-14,20 JTU, yazın 0,20-16,30 JTU, sonbaharda 0,60-11,40 JTU ve kışın 0,50-13,80 JTU arasında olup, yıl içerisindeki ortalama bulanıklık değerleri 0,55-12,95 JTU arasında değişmektedir.

Entansif alabalık yetiştiriciliği için Tarım ve Orman Bakanlığı tarafından belirlenmiş olan su kalitesi kriterleri mevcuttur [30]. Bu kriterlere göre; suyun çözünmüş oksijen miktarı 9,2-11,5 mg/L, pH'sı 6,5-8,0 ppm ve sıcaklığı 9-17 °C arasında olmalı, nitrat 100 mg/L'den, bulanıklık ise 10 JTU'dan az olmalıdır. Belirtilen su kalitesi kriterlerine göre, Bitlis İlinde; ortalama çözünmüş oksijen değeri 9,2-11,5 mg/L arasında olan 3 adet, pH değeri 6,5-8,5 aralığında olan 32 adet, nitrat değeri 100 mg/L'nin altında olan 37 adet, sıcaklığı 9-17 °C' arasında olan 37 adet, debisi 100 L/sn'den fazla olan 19 adet ve bulanıklık değeri 10 JTU'dan az olan 30 adet su kaynağı bulunmaktadır.

4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada, Bitlis ilinin su ürünleri yetiştiriciliğindeki mevcut durumu ve su ürünleri yetiştiriciliği potansiyeli açığa çıkarılmıştır. Bu amaçla, mevcut 5 adet gökkuşuğu alabalığı yetiştiricilik tesisine ve 37 adet su kaynağına yıl boyunca ve 3 aylık periyotlar halinde gidilmiştir. İşletmelerdeki yetkili kişi ve çalışanlarla yüz yüze yapılan anket çalışmasıyla işletmelerin yapısal, biyolojik, teknik, sosyal ve ekonomik özellikleri hakkında veriler elde edilmiştir. Ayrıca, su kaynaklarının oksijen, pH, nitrat, sıcaklık, debi ve bulanıklık değerleri tespit edilmiştir.

Bölgedeki iş imkânlarının kısıtlı olması ve balıkçılığın katma değer sağlayacağı düşüncesi, bu ilde kültür balıkçılığına yönelişte etkili olmuştur. Tarihsel süreçte bölge halkının Van Gölü ile iç içe olması da balık ile üretici arasında doğal bir bağlantı kurmaktadır.

Bitlis ilindeki gökkuşuğu alabalığı işletmelerinin arazideki konumları bölgenin coğrafik yapısıyla ve su kaynağına yakınlığıyla doğrudan ilişkilidir. Mevcut işletmelerin su kaynaklarına yakın olması, kuluçkahanelerin tesisin içinde bulunması ve ulaşım sorunlarının olmaması bunlar için önemli bir avantaj sağlamaktadır. Bununla birlikte, bütün işverenler bürokratik sorunlardan, yem maliyetinin çok yüksek olmasından ve işletmelerde görülen balık hastalıklarından yakınmaktadır. İşletmeler balık hastalıklarının önlenmesi ve tedavisine yönelik yeterli bilgiye sahip değildir. Balık hastalıkları konusunda uzmanlaşmış birimlerin desteğine ihtiyaç duyulmaktadır. Balık ölümlerinin yaşandığı veya yem ödeme vadelerinin kısa tutulduğu olumsuz durumlarda, işletmeler üretimi sürdürebilmek için banka kredilerine başvurmaktadır. Yemin temin edildiği merkezlerin işletmelere uzak oluşu nakliye giderlerini ve dolayısıyla üretim maliyetini artırmaktadır. İşletmelerinin giderleri; tesislerin büyüklüğüne,

kullanılan yapı malzemesine, makine ve aletlere, yıllık üretim miktarına, personel sayısına, arazi yapısına, şehir ve girdi merkezlerine olan uzaklıklarına ve üretim periyodu içerisindeki balık ölümlerine bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Bu işletmelerin önemli bir kısmının kapasite kullanım oranları düşük olup, projelendirilmiş üretim kapasitelerine ulaşamamıştır. Mevcut işletmeler genelde küçük aile tipi işletmeleridir. Bunların büyük bölümü maddi imkânsızlıklardan dolayı uygun olmayan şartlarda üretim yapmaktadır. Ayrıca işletmeler kalifiye elaman istihdam edemediklerinden, olması gereken üretim verimliliğine sahip değildir. Bu işletmeler doğrusal ve sürekli bir büyüme sağlamak yerine, daha çok mevcut kapasitelerini koruma eğilimindedir. Bunun en önemli sebebi yüksek maliyetler ve ekonomik sıkıntılardır. Bazı işletmeler için üretimde kullanılan suyun debisinin sınırlı olması da büyümeye engel olan faktörler arasındadır. İşletmelerin örgütlü olmadığı, karşılaşılan sorunlarla tek başlarına mücadele ettikleri, bu nedenle çözüm noktasında başarısız oldukları tespit edilmiştir.

Bu işletmeler aynı zamanda lokantaya da sahiptir. Balık iç organları ve yemek artıkları kesinlikle balık beslemesinde kullanılmamalıdır. İşletmelerde çalışan işçilere bu konuda gerekli uyarı ve bilgilendirmenin yapılması balık ve insan sağlığı açısından önem taşımaktadır.

Balıkların üretilmesi veya pazarlanmasında işletmelerin sıkıntıları yoktur. Ancak yüksek yem maliyeti nedeniyle balıkların büyütülmesinde sıkıntı yaşanmaktadır. Balıklar piyasaya perakende veya toptan peşin ödeme yoluyla satılmaktadır. Ayrıca işletmelere ait lokantalarda da tüketilmektedir.

Bitlis ilindeki gökkuşağı alabalığı işletmelerinde görülen önemli sorunlardan bir diğeri ise, çalışanların sosyo-ekonomik şartlarının istenilen düzeyde olmamasıdır. İşletmelerin üretimdeki payının genişletilebilmesi; çalışanların sosyal haklarının yeterince sağlanması, onlara değer verilerek bilgi ve donanımlarının artırılması ile mümkün olacaktır. Bunun yanı sıra, bu işletmelerde mutlaka su ürünleri mühendisi ve su ürünleri teknikeri çalıştırılarak teknik bilgi eksikliğinin giderilmesi sağlanmalıdır. Karşılaşılan problemlerin çoğu bir uzman yardımı ile çözülebilecek niteliktedir.

Ayrıca, mevcut gökkuşağı alabalığı işletmelerinin düzenli veri kayıt alt yapısının olmaması önemli bir eksiklik olarak görülmüştür. Bu konuda üreticilere gerekli teknik destek sağlanarak veri kayıt sistemi oluşturma şekilleri öğretilmiştir. Veri kayıt sistemi kullanımının sürekli hale getirilmesi durumunda fayda sağlayacağı belirtilmiştir. İşletmelerde oturtulmaya çalışılan bu veri kayıt sistem mantığı, genellikle yüksek kapasiteli yetiştiricilik şirketlerinde kullanılmakta olup, Bitlis ilindeki mevcut işletmelerin bu sisteme ağırlık vererek kendilerini geliştirmeleri; ekonomik seviyelerinin artmasına ve daha büyük işletmeler haline gelmelerine katkı sağlayacaktır.

Bitlis ilinde ortalama çözünmüş oksijen değeri 9,2-11,5 mg/L arasında olan 3 adet, pH değeri 6,5-8,5 aralığında olan 32 adet, nitrat değeri 100 mg/L'nin altında olan 37 adet, sıcaklığı 9-17 °C' arasında olan 37 adet, debisi 100 L/sn'den fazla olan 19 adet ve bulanıklık değeri 10 JTU'dan az olan balık yetiştiriciliğine uygun 30 adet potansiyel su kaynağı bulunmaktadır.

Mevcut su kaynaklarının analizi sonucu elde edilen veriler; yer altı sularının oksijen miktarının genellikle düşük olduğunu göstermektedir. Bunun dışındaki su kaynaklarına ait veriler genellikle kabul edilebilir değerler arasındadır. Bazı su kaynaklarındaki oksijen düşüklüğünün ise suyun havalandırılması ile giderilebileceği değerlendirilmektedir. Yer altı suları tarımsal faaliyetlerde daha çok sulama amacıyla kullanılmaktadır. Çiftçilerin sulama ile birlikte su ürünleri üretimini de alternatif olarak değerlendirmesi önerilmektedir. Özellikle düşük debilerde olduğu görülen yer altı sularının küçük kapasiteli alabalık kuluçkahaneleri için uygun olabileceği düşünülmektedir.

Çay ve dere suları ise çözünmüş oksijen, pH, nitrat, sıcaklık ve debi miktarı açısından optimal şartları sağlamaktadır. Bununla birlikte, özellikle ilkbahar aylarında karların erimesi veya yağmur yağışları sonucu toprak aşınması nedeniyle suyun bulanıklığı artmaktadır. Bu nedenle çay ve dere suları balık yetiştiriciliğinde yılın 12 ayı süresince kullanılamaz. Bulanık suların uzun süreli tesiste kullanılması; yem miktarı ve yemleme sıklığının düşürülmesine, balıklarda büyümenin gerilemesine, solungaç hastalıklarına, bağışıklık sisteminin zayıflamasına ve sağlık problemlerine yol açabileceği ve balık ölümlerinin yaşanabileceği gözden kaçırılmamalıdır.

Bitlis ilinde kafeslerde gökkuşağı alabalığı yetiştiriciliği yapan sadece bir işletme (Aygır Gölü'nde) mevcuttur. Suların ısınması; bu işletmede balık stok miktarının azaltılmasına, üretim kapasitesinin düşük seviyelerde tutulmasına sebep olmaktadır. Ayrıca işletmenin bulunduğu gölün sulama suyu temininde yoğun olarak kullanılması balık üretiminin gelişimini olumsuz etkilemektedir. Diğer taraftan bilinçli üretim modelinin uygulanması, suyun diğer fiziksel ve kimyasal özelliklerinin iyi olması sağlıklı bir üretimin gerçekleşmesine imkan sağlayabilir.

Nazik Gölü balık avcılığı yönünden verimli olarak kullanılmakta ancak, balık yetiştiriciliğinde

değerlendirilmemektedir. Bunun en önemli nedeni, soğuk geçen kış aylarında göl yüzeyinin tamamen donmasıdır. Buna rağmen balık yetiştiriciliği amacıyla mevsimlik olarak değerlendirilebilir.

Bitlis ilindeki mevcut su kaynaklarında yapılan örneklemeler neticesinde, tarımsal kirliliğe bağlı olarak değişen nitrat değerlerinin balık yetiştiriciliği açısından genel olarak herhangi bir sorun oluşturmadığı tespit edilmiştir. Bunun yanı sıra, il sınırları içerisinde su kaynaklarının kirlenmesine sebebiyet verecek büyük ölçekli herhangi bir sanayi kuruluşu, fabrika, maden işletmesi vb. bulunmadığından, potansiyel su kaynaklarının su ürünleri üretiminde kullanılmasında herhangi bir sakınca görülmemektedir.

Ayrıca, saha çalışmaları sırasında rastlanan ve ilin Tatvan ve Güroymak ilçe sınırları içerisinde bulunan jeotermal su kaynaklarının da tilapia vb. balıkların yetiştiriciliğinde kullanılabileceği öngörülmektedir.

Su ürünleri üretimine olan ihtiyaç her geçen yıl artarken ülkemizdeki mevcut su kaynaklarının yetiştiricilikte kullanım kapasiteleri de dolmaktadır. Bu nedenle, ilerleyen yıllarda Bitlis ilindeki potansiyel su kaynaklarının üretimde kullanılması için girişimcilerin teşebbüslerde bulunabileceği düşünülmektedir. Ayrıca, güvenlik açısından tereddütlerin tamamen ortadan kalkması durumunda, özellikle Hizan ilçesindeki su kaynağı potansiyeli verimli bir şekilde balık üretiminde kullanılabilir.

Sonuç olarak, Bitlis ilindeki kültür balıkçılığının nitelik ve niceliğinin arttırılabilmesi, üretimde optimizasyonun sağlanabilmesi, geleceğe yönelik projeksiyonların yapılabilmesi, su ürünleri üretiminin il, bölge ve ülke ekonomisine olan katkılarının arttırılabilmesi için; mevcut işletmeler yapısal, teknik ve ekonomik yönden geliştirilmelidir. Bölgede kültür balıkçılığı verileri istenen düzeyde olmasa da devlet desteğinin her geçen yıl artması ve çeşitlilik kazanması, gelişen teknoloji ve potansiyel su kaynaklarının değerlendirmeye alınmasıyla birlikte kültür balıkçılığına olan ilgi de her geçen gün artacaktır.

Teşekkür

Bu çalışma, birinci yazarın yüksek lisans tezinden özetlenmiştir. Yazarlar, çalışmayı maddi olarak destekleyen Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (FÜBAP) Koordinasyon Birimine (Protokol No: SÜF.18.08), kurumsal bazı verilerin sağlanması ve yayınlanmasında herhangi bir sakınca görülmeyen Bitlis İl Tarım ve Orman Müdürlüğüne teşekkür ederler.

Yazarların Katkısı

Yazarların makaleye katkısı eşittir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada, araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar

- [1] Seyis T. 2003. Türkiye’de Su Ürünleri Pazarlama Sistemi ve Balık Hallerinin Fonksiyonel Durumu. Doktora Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 55 s., İzmir.
- [2] Köprücü K. 2007. Türkiye Su Ürünleri Üretim Durumu ve Değerlendirilmesi. Türk Tarım Dergisi, 178: 22-28.
- [3] FAO (Food and Agriculture Organization), 2016. World Review of Fisheries and Aquaculture. T.C. Tarımsal Ekonomi ve Politika Geliştirme Enstitüsü, Ankara.
- [4] Aydın O., Sayılı M. 2009. Samsun İlinde Alabalık İşletmelerinin Yapısal ve Ekonomik Analizi. GOÜ, Ziraat Fakültesi Dergisi, 26 (2): 97-107.
- [5] TÜİK (Türkiye İstatistik Kurumu), 2018. Su Ürünleri İstatistikleri, Ankara.

- [6] Yıldız M., Şener E. 2003. Karadeniz Bölgesi'ndeki Gökkuşığı Alabalığı (*Oncorhynchus mykiss*) ve Deniz Levreği (*Dicentrarchus labrax*) Yetiştiriciliği Yapan İşletmelerin Yapısal Analizi ve Biyo-Teknolojik Özellikleri. İstanbul Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi, 29 (2): 241-252.
- [7] Akbulut B., Kurtoğlu İ.Z., Üstündağ E., Aksungur M. 2009. Karadeniz Bölgesinde Balık Yetiştiriciliğinin Tarihsel Gelişimi ve Gelecek Projeksiyonu. Journal of Fisheriesciences.com, 3 (2): 76-85.
- [8] URL-1, 2019. <https://bitlis.tarimorman.gov.tr/Menu/17/Ilimiz-Hakkinda-Genel-Bilgiler> (Erişim Tarihi: 19.04.2019).
- [9] Anonim, 2017. Bitlis Gıda Tarım ve Hayvancılık İl Müdürlüğü Kayıtları.
- [10] URL-2, 2019. <https://www.google.com/search?q=bitlis+fiziki+haritas%C4%B1&tbm=isch&source=iu&ictx=1#> (Erişim Tarihi: 24.09.2019).
- [11] Emre Y., Diler İ., Sevgili H., Oskay D.A., Sayı C. 2007. Akdeniz Bölgesi'ndeki Alabalık İşletmelerinin Yapısal Özelliklerinin İncelenmesi (2000-2003). Türk Sucul Yaşam Dergisi, 3-5 (5-8): 476-489.
- [12] Karataş M., Sayılı M., Koç B. 2008. Sivas İli Gökkuşığı Alabalığı İşletmelerinin Yapısal ve Ekonomik Analizi. Biyoloji Bilimleri Araştırma Dergisi (BİBAD), 1 (2): 55-61.
- [13] Yıldız M., Doğan K., Şener E. 2008. Marmara Bölgesi Gökkuşığı Alabalığı (*Oncorhynchus mykiss*) İşletmelerin Yapısal, Teknolojik ve Verimlilik Analizleri. İstanbul Üniversitesi Su Ürünleri Dergisi, 23: 1-16.
- [14] Yüksel O. 2010. Burdur İli Gökkuşığı Alabalığı İşletmelerinin Yetiştiricilik ve Yapısal Durumlarının Survey Çalışması ile Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- [15] Emre Y., Sayın C., Kıştin F., Emre N., Karaman S. 2011. Alabalık (*Oncorhynchus mykiss*) Kafes Yetiştiriciliğinin Mevcut Durumuna Yönelik Bazı Değerlendirmeler. Biyoloji Bilimleri Araştırma Dergisi (BİBAD), 4 (1): 119-127.
- [16] Gümüş E., Şahin N.M., İkiz R., Yılmaz S. 2013. Antalya İlindeki Gökkuşığı Alabalığı (*Oncorhynchus mykiss*) İşletmelerinde Çalışanların Sosyo-Ekonomik Yapılarının İncelenmesi. Ege Üniversitesi Su Ürünleri Dergisi, 30 (4): 161-166.
- [17] Yeşilayer, N., Gören, H.M., 2013. Tokat'ta Alabalık Yetiştiriciliği Yapan Karasal İşletmelerin Yapısal ve Biyo-Teknik Analizi. Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 30 (1): 41-51.
- [18] Kocaman E., Sayılı M. 2014. Gümüşhane ilinde gökkuşığı alabalık işletmelerinin ekonomik analizi. Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi, 29 (1): 36-45.
- [19] Preisendorfer R.W. 1986. Secchi Disc Science: Visual Optics of Natural Waters. Limnology and Oceanography, 31 (5): 909-926.
- [20] Yücesoy C., Onur F., Özkan S. 1989. Sularda Nitrat Tayininde Kullanılan Spektrofotometrik Yöntemlerin Karşılaştırılması. FABAD Farmasötik Bilimler Dergisi, 14: 216-223.
- [21] Yılmaz C. 2011. Alabalık Yetiştiriciliği. Elazığ İl Tarım Müdürlüğü, 2. Baskı, Elazığ.
- [22] Rad F., Köksal G. 2001. Türkiye'deki Gökkuşığı Alabalığı (*Oncorhynchus mykiss*) İşletmelerinin Yapısal ve Biyo-Teknik Analizi. Turkish Journal of Veterinary and Animal, 25: 567-575.
- [23] Doğan K., Yıldız M. 2008. Marmara Bölgesi Gökkuşığı Alabalığı (*Oncorhynchus mykiss*) İşletmelerinde Çalışanların Sosyo-Ekonomik Analizi. İstanbul Üniversitesi Su Ürünleri Dergisi, 23: 17-27.
- [24] Kocaman E.M., Aydın A., Ayık Ö. 2002. Erzurum'da Faaliyet Gösteren Alabalık İşletmelerinin Yapısal ve Ekonomik Analizi. EU Journal of Fisheries & Aquatic Sciences, 19 (3-4): 319-327.
- [25] Adıgüzel F., Akay M. 2005. Tokat İlinde Gökkuşığı Alabalık İşletmelerinin Ekonomik Analizi. GOÜ Ziraat Fakültesi Dergisi, 22 (2): 31-40.
- [26] Güneş E., Köprücü K. 2019. Kahramanmaraş'taki Gökkuşığı Alabalığı (*Oncorhynchus mykiss*) Kuluçkahanelerinin Yapısal, Biyolojik ve Teknik Yönlerden Araştırılması. Acta Aquatica Turcica, 15 (1): 68-79.
- [27] Karabulut M., Köprücü K. 2019. Malatya'daki Gökkuşığı Alabalığı (*Oncorhynchus mykiss*) Kuluçkahanelerinin Yapısal ve Biyolojik Yönden İncelenmesi. BEÜ Fen Bilimleri Dergisi, 8 (1): 1-10.

- [28] Gümüş E., Şahin N.M. 2015. Antalya İlindeki Gökkuşağı Alabalığı (*Oncorhynchus mykiss*) İşletmelerinin Kuluçka Faaliyetlerinin Analizi. *Biyoloji Bilimleri Araştırma Dergisi (BİBAD)*, 8 (2): 44-50.
- [29] Üstündağ E., Aksungur M., Dal A., Yılmaz C. 2000. Karadeniz Bölgesi'nde Su Ürünleri Yetiştiriciliği Yapan İşletmelerin Yapısal Analizi ve Verimliliğinin Belirlenmesi, Proje Sonuç Raporu, Su Ürünleri Merkez Araştırma Enstitüsü, Trabzon.
- [30] URL-6, 2019. <https://www.tarimorman.gov.tr/BSGM/Belgeler/Icerikler/Su%20%C3%9Cr%C3%BCnleri%20Yeti%C5%9Ftiricili%C4%9Fi/2-20Alabal%C4%B1k%20Yeti%C5%9Ftiricili%C4%9Fi%20%C4%B0%C3%A7in%20Su%20Kalite%20Kriterleri.pdf> (Erişim Tarihi:19.04.2019).

Araştırma Makalesi / Research Article

P1 Transdüksiyon Yöntemi ile Birden Fazla Gen Bakımından Mutant Olan *Escherichia coli* Suşlarının Elde Edilmesi

Esra DİBEK¹, Merve SEZER KÜRKÇÜ^{2*}, Begüm HAZAR ÇİFTÇİ³, Bekir ÇÖL¹

¹Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü, 48600 Muğla

²Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Araştırma Laboratuvarları Merkezi, 48600 Muğla

³Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Fen Fakültesi, Kimya Bölümü, 48600 Muğla

(ORCID: 0000-0002-8110-5466) (ORCID: 0000-0003-0947-2912)

(ORCID: 0000-0001-6169-0091) (ORCID: 0000-0001-8997-4116)

Öz

Bakterilerde gen fonksiyonlarının keşfedilmesi ve fenotipik çalışmalarının yapılabilmesi için mutant suşların oluşturulması gerekmektedir. Bazı durumlarda, birden fazla gen açısından mutant olan suşlar oluşturulmalıdır çünkü bazı spesifik aktiviteler birden fazla gen tarafından kodlanmaktadır. P1 fajı, *Escherichia coli*'de, ikili, üçlü veya çoklu mutantların oluşturulmasında başvurulan, genelleştirilmiş bir transdüksiyon fajıdır. Bu faj, gelişimi sırasında, *E. coli* kromozomunun parçalarını (her bir partikülde genomun yaklaşık % 2'si olmak üzere), rastgele bir şekilde faj kafasına paketleyebilmektedir. *E. coli* DNA'sını içeren fajlar, içerdikleri DNA parçalarını, alıcı bakteri hücrelerine enjekte edebilmektedir. Verici ve alıcı DNA bölgeleri arasındaki benzerlik ve seçici bir belirteç yardımıyla, transdüktanlar'ın elde edilmesi mümkün olmaktadır. Transdüksiyon için tercihen, P1 fajının, virülan bir türevi (P1vir) kullanılmaktadır, çünkü bu form, bakterinin genomuna entegre olamamaktadır. Fajın bu özelliğinin kullanılmasıyla geliştirilen tekniklerden birisi, P1 transdüksiyon tekniği olarak adlandırılmaktadır. Rekombinasyon teknolojisinde kullanılan bu teknik, *E. coli* genomuna ait DNA parçalarını, farklı suşlar arasında taşınmasını sağlamaktadır. Bu çalışmada, optimize ettiğimiz P1 transdüksiyon metodolojisinin, deneysel akış ve yeterli detaylarla birlikte, Türk bilim camiasına, ana dilimizde sunulması amaçlanmıştır. Bunun için, KEIO koleksiyonundan elde edilen dört adet tekli gen mutantları kullanılmıştır. İlk olarak, kanamisin (Kan) duyarlı bir alıcı suş oluşturmak için, her bir mutant suştan, Kan gen kasetleri çıkarılmıştır. Kan^R kasetlerine sahip diğer dört adet KEIO mutant suşu, donör suşlar olarak kullanılmış ve P1 fajı bu suşlar ile kültür edilerek, lizatlar elde edilmiştir. Bu lizatlar ve alıcı suşlar daha sonra, lizatlardaki fajların içerdikleri DNA parçalarını, alıcı suş genomuna entegre edebilmesi için, transdüksiyona tabii tutulmuştur. Kanamisin ile seleksiyon sonucu, yeni mutant suşlar olan ikili mutantlar elde edilmiştir. Sonuçta, isimleri $\Delta tsgA$, $\Delta yhdT$, $\Delta yhdTompA$, $\Delta yhdTompA$ ve $\Delta yhdTompA$ olan, dört adet ikili mutant oluşturulmuştur. Deneysel akıştaki ilgili protokoller ve sonuçlara ait detaylar sunulmuş ve tartışılmıştır.

Anahtar kelimeler: P1 faj, transdüksiyon, *Escherichia coli*, ikili mutant.

P1 Transduction Method to Construct *Escherichia coli* Mutant Strains Lacking More Than One Gene

Abstract

Assigning gene functions and performing phenotypic studies of the bacteria require the construction of specific mutants that at times should lack more than one gene due to the redundancy of particular gene activities. P1 phage is a generalized transducing phage that can be used in constructing double, triple or multiple mutants of *Escherichia coli*. This phage is able to mistakenly package random fragments of *E. coli* chromosome (~2 % of the genome into each particle) into the phage head during phage development. The phages with *E. coli* DNA can inject that DNA into recipient cells. Given homology between donor and recipient, and a selectable marker, transductants can be obtained. For transduction, a virulent derivative of phage P1 is preferably used because this form cannot integrate into the bacterial genome. The virulent phage can only develop using the lytic mode of development and produces phage progeny upon lysis of the host cell. This technique is based on recombination

*Sorumlu yazar: mervesezer@mu.edu.tr

Geliş Tarihi: 08.07.2019, Kabul Tarihi: 05.12.2019

technology, allowing the DNA fragments of the *E. coli* genome to be transported among the strains. In this study, we optimized the P1 transduction methodology, which we aim to present to the Turkish scientific community in the native language with the experimental flow and sufficient details. For this reason, a number of four single gene mutants obtained from the KEIO collection were used. First, kanamycine (Kan) gene cassettes were removed from each mutant strain to create a recipient strain that is kan sensitive. The other four KEIO mutant strains with Kan^R cassettes were used as the donor strains and P1 phage were cultured with these strains and the lysates were obtained. These lysates and recipient strains were then transduced to integrate the DNA fragments of the lysates into the recipient strain genome. Upon selection with kanamycine, new mutant strains, double mutants are obtained. As a result, four double mutants namely *ΔtsgAugpA*, *ΔyhdTompA*, *ΔugpAmdtG* and *ΔaroGmalF* were obtained and the details pertaining to the protocols and results are presented and discussed.

Keywords: P1 phage, transduction, *Escherichia coli*, double mutant.

1. Giriş

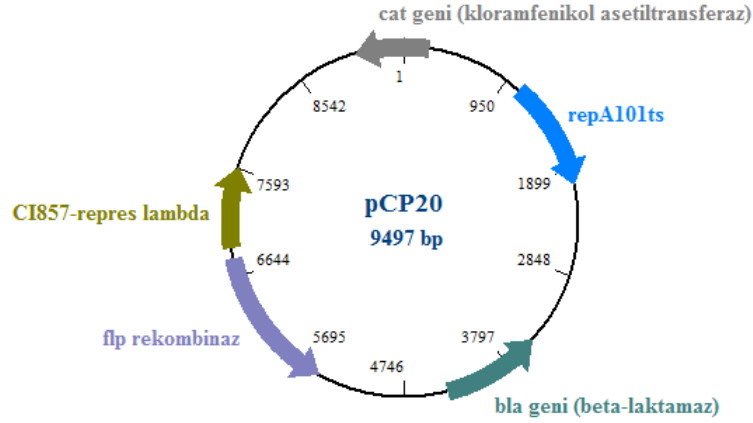
Bakteriyofaj terimi, bakterileri enfekte eden virüsler için kullanılan genel bir terim olup, P1 bakteriyofajı moleküler mikrobiyoloji çalışmalarında en sık kullanılan fajlardan biridir. P1 bakteriyofajı, ilk olarak Luigi Bertani tarafından 1951 yılında izole edilmiştir [2]. P1 fajı ılıman bir faj olup çift zincirli, doğrusal yapıda genoma sahiptir [11]. Genomunda *cre-lox* olarak adlandırılan, çok aktif bir bölgeye özgü, rekombinasyon sistemine sahiptir ve bu bölge DNA'daki belirli bir bölgede rekombinasyonu teşvik etmektedir. Bu bölgedeki rekombinasyon çok sık olduğundan, bölgenin her iki tarafındaki genetik belirteçlerin bağlantısız olduğu görülmektedir, bu da *cre-lox* bölgesinde sonlanan bir lineer haritanın ortaya çıkmasına neden olmaktadır [9]. P1 fajının tüm genom dizisi 2004 yılında Lobočka ve arkadaşları tarafından yayınlanmıştır. Bu faj *E.coli* ve bazı bakteriler içerisinde lizogenik hayat döngüsünü geçirirken, faj genomu hücrede bir plazmid gibi kalarak ya da hücre genomuna entegre olarak replike olmaktadır [7]. Bakteriyofajlar sadece hücreleri enfekte etmek ve öldürmekle kalmaz, aynı zamanda transdüksiyon olarak adlandırılan bir süreçte bazen bakteriyel DNA'yı bir hücreden diğerine aktarır. İki tip transdüksiyon görülmektedir, bunlardan genel transdüksiyon olarak adlandırılan, bakteri DNA'sının herhangi bir bölümünün bir bakteriden diğerine aktarılmasını sağlarken, özel transdüksiyon olarak adlandırılan diğer transdüksiyon tipinde ise, belirli genlerin bir bakteriden diğerine aktarılması sağlanmaktadır [9].

Replikasyon sırasında, fajın hücre genomuna entegre olması ve replikasyon sırasında gerçekleşen transdüksiyon, mikrobiyal genetik çalışmalarında kullanılmaktadır. Transdüksiyon, bir bakteri konakçı hücrelerinden gelen genlerin, bir bakteriyel virüsün (bakteriyofaj) genomuna dahil edildiği ve daha sonra bakteriyofaj başka bir enfeksiyon döngüsünü başlattığında başka bir konakçı bakteriye taşıdığı genetik rekombinasyon sürecidir [3]. Salmonella'da genetik rekombinasyon çalışmaları sırasında Zinder ve Lederberg tarafından 1952 yılında keşfedilmiştir [13,14]. Yapılan çalışmalar sonucunda yaklaşık 100 kb büyüklüğünde DNA parçalarının bir bakteriden diğerine P1 bakteriyofajı ile aktarılabilirdiği gösterilmiştir [10].

1955 yılında Lennox ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmalar ile de P1 fajının *E. coli*'de transdüksiyon gerçekleştirebildiği bildirilmiştir [6]. Bu çalışmalar ile birlikte özellikle *E.coli* türü üzerinde genetik çalışmalar yapan araştırmacılar tarafından bu teknik sıklıkla kullanılmaya başlanmıştır. Bakterilerin genetik yapısını değiştirmek, bakteriyel genlerin fonksiyonlarını bulmak için ve diğer birçok genetik deney için önemli bir moleküler biyolojik teknik olarak kullanılmıştır [10].

Transdüksiyonun terminolojisine göre, bakteriyel DNA'yı toplayan faja, transdüksiyon partikülü, bu fajın çoğaldığı ve konakçı DNA'yı topladığı orijinal bakteriyel suş'a, verici (donör) suş, enfekte ettiği bakteri suşuna da alıcı (resipient) suş adı verilmektedir. Başka bir bakteriden transdüksiyonla DNA alan hücrelere de transdüktant denilmektedir [9]. Bu teknikte faj, ilk olarak, genomu aktarılacak DNA dizilerini içeren bir suş ile büyütülür ve P1 lizatları elde edilir. Ortaya çıkan faj lizatı da ikinci bir alıcı suşu enfekte etmek için kullanılır. Elde edilen lizat, faj DNA'sının yanı sıra, bakteriyel DNA da içermektedir ve alıcı suşun enzimleri tarafından katalize edilen genetik rekombinasyon ile alıcı genomuna bakteriyel DNA fragmentlerin eklenmesi gerçekleşmektedir [7]. Bu teknik ile çalışılırken, alıcı ve verici suşlar, P1 virüs lizatları ve lizatların hücreye tutunabilmeleri için özellikle gerekli olan 50 mM kalsiyum klorür (CaCl₂) ve 20 mM sodyum sitrat içeren seçici besiyerleri önemlidir.

FLP (flippase) rekombinaz geni, FLP rekombinazı kodlamakta olup, FLP-FRT (flippase-flippase recognition target) rekombinasyonu bir organizmanın DNA'sının *in vivo* koşullarda kontrol edilmesini sağlayan ve moleküler genetik çalışmalarda kullanılan bir rekombinasyon teknolojisidir [12]. Bu teknolojiye kullanılan bir plazmid de pCP20 plazmididir. pCP20 plazmidini 9,4 kb büyüklüğünde olan bir plazmidir. Bu plazmid Flp rekombinaz, kloramfenikol (Cm^R) ve ampisilin (Amp^R) direnç genlerini taşımakta olup, sıcaklığa duyarlı bir replikasyon orijini içerir (Şekil 1). Plazmiddeki kloramfenikol ve ampisilin direnç genleri, plazmid içeren veya alan bakteri suşlarının seçilimi için kullanılmaktadır ve P1 transdüksiyon deneylerinde tercih edilmektedir [4]. pCP20 plazmidini yüksek sıcaklıkta kendini replike etme özelliğini kaybetmektedir. Bu yüzden hücre içerisinde plazmidini yanlış zamanda kaybetmemek için çalışmalarda inkübasyon sıcaklıklarına özellikle dikkat edilmelidir.



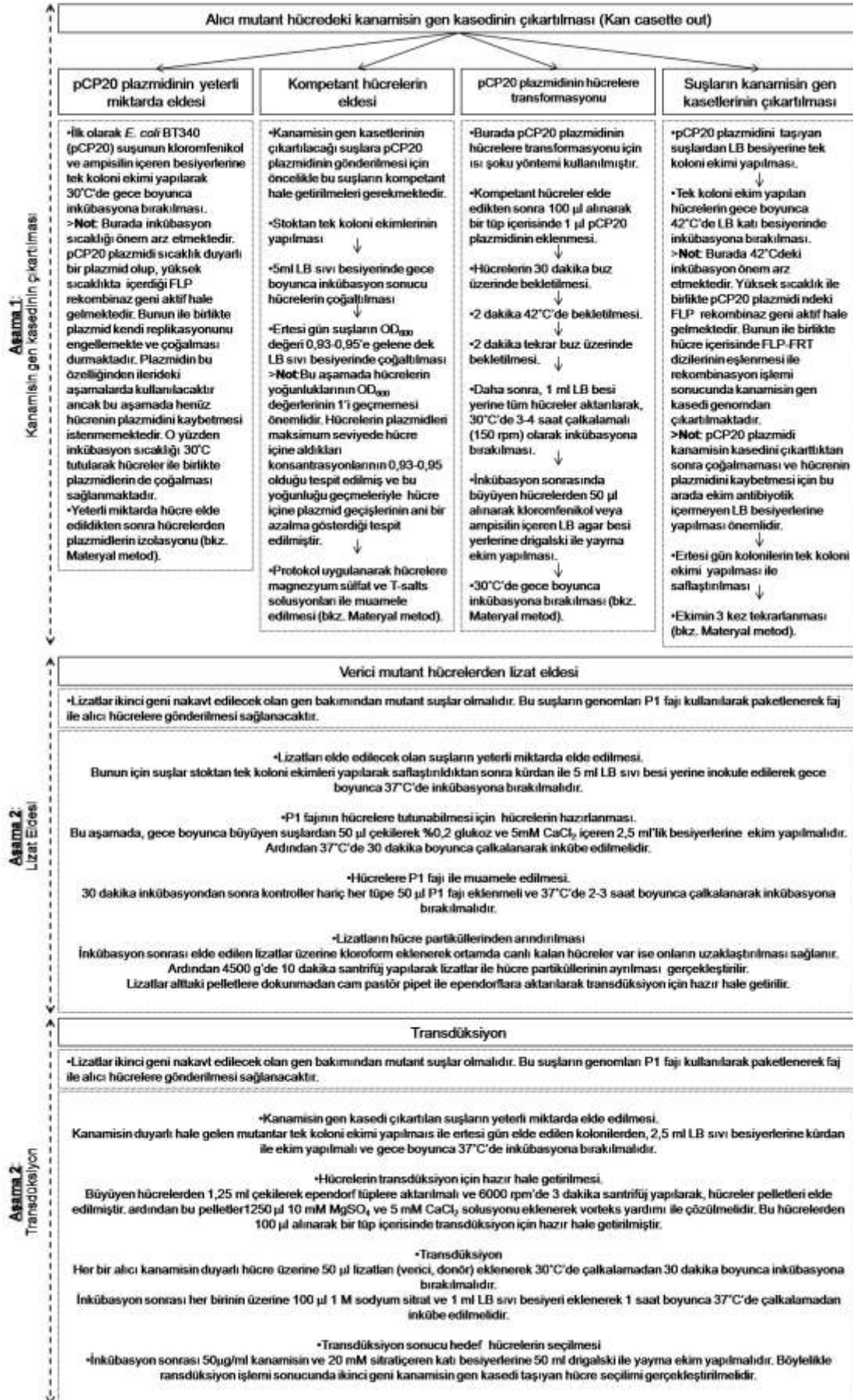
Şekil 1. pCP20 plazmidinin haritası

Yapılan bu çalışmada kullanılan mutant suşlarındaki kanamisin gen kasetlerinin iki ucunda FRT dizileri yer almaktadır [1]. pCP20 plazmidinde yer alan FLP rekombinaz enzimi bu dizileri tanıyarak kanamisin gen kasedinin buradan çıkartılmasını ve hücrelerin kanamisin duyarlı olmalarını sağlamaktadır. Bu sayede bir genin genomdan çıkartılması, rekombinasyon ile o gen bölgesi yerine kanamisin gen kasedi sokulması ve seleksiyon ile gerçekleştirilebilmektedir [5]. Bu plazmid taşıyan iki suştan biri olan *E. coli* BT340 (pCP20) suşu, plazmidin yeterli miktarda elde edilmesi ve izolasyonu için kullanılmıştır. *E. coli* BT340 suşunun genotipi şu şekildedir; F-, $\Delta(argF\ lac)169$, $\phi 80dlacZ58(M15)$, *glnX44(AS)*, *lrfbC1*, *gyrA96(NalR)*, *recA1*, *endA1*, *spoT1*, *thiE1*, *hsdR17*, pCP20.

Öncelikle kanamisin kasetini çıkartmak için pCP20 plazmidinin söz konusu mutanta gönderilmesi gerekmektedir. P1 transdüksiyon deneyleri için, uygun P1 lizatının oluşturulması, transdüksiyon ve seleksiyon aşamaları gerçekleştirilmelidir. Bu çalışmada ülkemizdeki araştırmacıların ve öğrencilerin kullanımına sunmak üzere, P1 transdüksiyon deneylerinin akışı ve detayları, tarafımızca ilk defa oluşturulan ikili (double) mutantların elde edilmesi ile birlikte sunulmuştur.

2. Materyal ve Metot

Yapılan çalışmada temel olarak Silhavy ve arkadaşları tarafından yayınlanan protokoller kullanılmıştır [8]. Ayrıca gerek duyulan yerlerde bazı optimizasyon çalışmaları gerçekleştirilerek protokol revize edilmiştir. P1 transdüksiyon tekniği kullanılarak bir genin nakavt edilebilmesi için pCP20 plazmidinin eldesi, kompetant hücre eldesi ve kanamisin gen kasedinin çıkartılması, lizat eldesi ve transdüksiyon çalışmaları gerçekleştirilmektedir. Bu çalışmada izlenen deneysel akış şematik olarak özetlenmiştir (Şekil 2).



Şekil 2. Yapılan çalışmada izlenen deneysel akışın şematik olarak gösterimi

2.1. Kullanılan *E. coli* suşları

Yapılan bu çalışmada JW3417, JW0940, JW1040, JW3993 *E. coli* suşları transdüksiyon aşamasında kullanılmıştır. Bunun yanı sıra, JW3327, JW3225, JW3417, JW0737 *E. coli* suşları da lizatların eldesinde kullanılmıştır (Tablo 1). Bu suşlar laboratuvarımızda bulunan Keio koleksiyonundan temin edilmiştir (Baba vd. 2006).

Tablo 1. Çalışmada kullanılan *E. coli* suşları

| Suşlar | Genotip | Kaynakça |
|---------------------------------------|--|----------|
| <i>E. coli</i> K-12 BW25113 | <i>lacI^qrrnB_{T14} ΔlacZ_{WJ16} hsdR514</i> | 14 |
| JW3417 <i>E. coli</i> K-12 | <i>lacI^qrrnB_{T14} ΔlacZ_{WJ16} hsdR514</i> | 12 |
| BW25113 <i>ΔugpA::Kan^R</i> | <i>ΔaraBAD_{AH33}ΔrhaBAD_{LD78}ΔugpAΩKm^R</i> | 12 |
| JW0940 <i>E. coli</i> K-12 | <i>lacI^qrrnB_{T14} ΔlacZ_{WJ16} hsdR514</i> | 12 |
| BW25113 <i>ΔompA::Kan</i> | <i>ΔaraBAD_{AH33}ΔrhaBAD_{LD78} ΔompAΩKm^R</i> | 12 |
| JW1040 <i>E. coli</i> K-12 | <i>lacI^qrrnB_{T14} ΔlacZ_{WJ16} hsdR514</i> | 12 |
| BW25113 <i>ΔmdtG::Kan</i> | <i>ΔaraBAD_{AH33}ΔrhaBAD_{LD78} ΔmdtGΩKm^R</i> | 12 |
| JW3993 <i>E. coli</i> K-12 | <i>lacI^qrrnB_{T14} ΔlacZ_{WJ16} hsdR514</i> | 12 |
| BW25113 <i>ΔmalF::Kan</i> | <i>ΔaraBAD_{AH33}ΔrhaBAD_{LD78}ΔmalFΩKm^R</i> | 12 |
| JW3327 <i>E. coli</i> K-12 | <i>lacI^qrrnB_{T14} ΔlacZ_{WJ16} hsdR514</i> | 12 |
| BW25113 <i>ΔtsgA::Kan</i> | <i>ΔaraBAD_{AH33}ΔrhaBAD_{LD78}ΔtsgAΩKm^R</i> | 12 |
| JW3417 <i>E. coli</i> K-12 | <i>lacI^qrrnB_{T14} ΔlacZ_{WJ16} hsdR514</i> | 12 |
| BW25113 <i>ΔyhdT::Kan</i> | <i>ΔaraBAD_{AH33}ΔrhaBAD_{LD78}ΔyhdTΩKm^R</i> | 12 |
| JW0737 <i>E. coli</i> K-12 | <i>lacI^qrrnB_{T14} ΔlacZ_{WJ16} hsdR514</i> | 12 |
| BW25113 <i>ΔaroG::Kan</i> | <i>ΔaraBAD_{AH33}ΔrhaBAD_{LD78}ΔaroGΩKm^R</i> | 12 |

2.2. pCP20 plazmidi ve izolasyonu

İlk olarak *E. coli* BT340 (pCP20) suşu kloramfenikol ve ampisilin içeren besiyerlerine tek koloni ekimi yapılarak, 30°C'de gece boyunca inkübasyona bırakılmıştır. 37°C'de inkübasyona bırakılmamasının nedeni, pCP20 plazmidinin sıcaklığa duyarlı bir plazmid olmasıdır. Yüksek sıcaklıkta plazmitteki FLP rekombinaz geni aktif hale gelmekte ve plazmid kendi replikasyonunu engelleyebilmektedir. O yüzden plazmidi taşıyan suşun düşük sıcaklıkta yetiştirilerek, plazmidin de çoğalması sağlanmıştır. Daha sonra plazmid izolasyonu, GeneAll (Cat No:101-150) plazmid izolasyon kiti ile gerçekleştirilmiştir.

2.3. pCP20 plazmidinin transformasyonu için kompetant hücrelerin eldesi

Suşlar pCP20 plazmidinin transformasyonu için kompetant hale getirilirken, ilk olarak stoktan tek koloni ekimleri yapılmıştır. Ertesi gün tek düşen koloniden kürdan ile 5 ml LB sıvı besi yerine inokule edilmiştir. Gece boyunca 37°C'de inkübasyona bırakıldıktan sonra, 500 µl'si 50 ml LB besi yerine aktarılarak, OD₆₀₀ değeri 0,93-0,95'e gelene dek suşlar büyütülmüştür. OD₆₀₀ değerinin 1'i geçmemesine dikkat edilmiştir. Daha sonra büyütülen hücreler soğutmalı santrifüjde 4°C'de 5000 rpm hızında 5 dakika boyunca santrifüjlenerek çöktürülmüştür. Pellet halinde elde edilen *E. coli* hücreleri 25 ml soğuk 0,1 M magnezyum klorür (MgCl₂) ile çözülerek tekrardan çöktürülmüştür. Daha sonra elde edilen pellet *E. coli* hücreleri 12,5 ml T-salts solusyonu (75 mM CaCl₂, 6 mM MgCl₂) ile tekrardan yıkanarak, yaklaşık yarım saat boyunca buz üzerinde bekletildikten sonra, tekrar çöktürülmüştür. Ardından soğuk kompetant hücreler 2,5 ml T-salts solusyonu ile çözülerek transformasyon için hazır olacak şekilde elde edilmiştir. Elde edilen kompetant hücrelerden 100 µl'sine pCP20 plazmid transformasyonu "ısı şoku ile transformasyon" protokolüne göre gerçekleştirilmiştir. Transformasyon sonrası kloramfenikol (Cm^R) ve ampisilin (Amp^R) içeren LB-agar besiyerlerine 50 µl hücre süspansiyonu, drigalski ile ekimi yapılmıştır. Ardından 30°C'de gece boyunca inkübasyona bırakılmıştır.

2.4. Isı şoku ile transformasyon yöntemi

Kompetant *E. coli* hücreleri elde edildikten sonra, bu hücelere 1 µl plazmid eklenip, sırasıyla; 30 dakika buz üzerinde, 2 dakika 42°C'de, 2 dakika tekrar buz üzerinde bekletilmiştir. Daha sonra, 1 ml LB besi yeri eklenerek, tüm hücreler, 30°C'de 3-4 saat çalkalamalı (150 rpm) olarak inkübasyona bırakılmıştır. Inkübasyon sonrasında büyüyen hücrelerden 50 µl alınarak LB kloramfenikol veya ampisilin içeren LB agar besi yerlerine drigalski ile yayma ekim yapılmıştır.

2.5. Hedef mutant suşlardan kanamisin kasedinin çıkartılması

Hedef suşlara pCP20 plazmidinin transformasyonu sonucu elde edilen, plazmidi taşıyan suşlardan LB besiyerine tek koloni ekimi yapılmıştır. Her bir örnekten kontrol amaçlı 4 adet koloni seçilmiştir. Tek koloni ekim yapılan hücreler gece boyunca 42°C'de inkübasyona bırakılmıştır. pCP20 plazmidinin, kanamisin kasedini çıkarıldıktan sonra çoğalmaması ve hücrenin plazmidini kaybetmesi için, burada ekim antibiyotik içermeyen LB besiyerlerine yapılmıştır. Ertesi gün kolonilerin saflaştırılması amacı ile tekrardan tek koloni ekimi yapılmıştır. Bu işlem 3 kez tekrarlanmıştır. Koloniler pürifiye edilmiştir.

Tek koloni seçimleri gerçekleştirildikten sonra, kanamisin kasetlerini kaybeden örneklerden emin olunması amacı ile bir kontrol ekimi yapılmıştır. Burada elde edilen koloniler, kloramfenikol (Cm^R), ampisilin (Amp^R), kanamisin (Kan^R) içeren ve antibiyotik içermeyen LB besiyerlerine ekilerek 37°C'de gece boyunca inkübasyona bırakılmıştır. Kanamisin kasedi çıkartılan suşların antibiyotikli besiyerlerinde üreme göstermemesi (Kan^S, Amp^S, Cm^S olması), LB besiyerinde üremesi kontrol kriteri olarak kullanılarak, suşlardan kanamisin kasedinin çıkartıldığından ve plazmid içermediğinden emin olunmuştur.

2.6. Lizat eldesi ve transdüksiyon

Lizatları elde edilecek olan suşların stoktan tek koloni ekimleri yapılmıştır. Ertesi gün tek düşen koloniden kürdan ile 5 ml LB sıvı besi yerine inokule edilmiştir. Gece boyunca 37°C'de inkübasyona bırakılmıştır. Ertesi gün, gece boyunca büyüyen örneklerden 50 µl çekilerek % 0,2 glukoz ve 5 mM CaCl₂ içeren 2,5 ml'lik besiyerlerine ekim yapılmıştır. 37°C'de 30 dakika boyunca çalkalanarak inkübasyona bırakılmıştır. Bunun yanı sıra, lizat eklenmeyecek olan bir kontrol de inkübasyona eklenmiştir. 30 dakika inkübasyondan sonra, kontroller hariç, her tüpe 50 µl P1 fajı eklenmiştir. Vorteksleme yapmadan hafifçe karıştırılmıştır. Ardından, tekrardan 37°C'de 2-3 saat boyunca çalkalanarak inkübasyona bırakılmıştır. Inkübasyon sonrası, lizat eklenen örnekler ile eklenmeyen kontrol arasında üreme farkı gözlemlenmiştir. Ardından steril cam pastör ile her bir örneğe 3 damla kloroform eklenerek vorteksleme yapılmıştır. 4500xg'de 10 dakika santrifüj yapılarak elde edilen lizatlar, alttaki pelletlere dokunmadan cam pastör pipet ile ependorflara aktarılmıştır. Böylelikle transdüksiyon için kullanılacak olan lizatlar elde edilmiştir.

Kanamisin kasedi çıkartılan suşlardan tek koloni ekimi yapılarak, elde edilen kolonilerden, 2,5 ml LB sıvı besiyerlerine kürdan ile ekim yapılmıştır ve gece boyunca 37°C'de inkübasyona bırakılmıştır. Büyüyen hücrelerden 1,25 ml çekilerek ependorf tüplere aktarılmıştır. Tüplere aktarım kontaminasyonu önlemek için ince cam pastör pipet ile yapılmıştır. Ardından 6000 rpm'de 3 dakika santrifüj yapılarak, hücreler çöktürülmüştür. Pelletler üzerine 1250 µl 10 mM MgSO₄ ve 5 mM CaCl₂ solusyonu eklenerek vorteks ile çözülmüştür. Hazırlanan kanamisin kasedi çıkartılan suşlardan 100 µl tüplere konulmuştur. Lizat eklenecek olanlara yapılan eşleşmelere göre 50 µl lizatları (verici, donör) eklenmiştir. 30°C'de çalkalamada 30 dakika boyunca inkübasyona bırakılmıştır. Inkübasyon sonrası her birinin üzerine 100 µl 1 M sodyum sitrat eklenerek karıştırılmıştır. Ardından her birinin üzerine 1 ml LB sıvı besiyeri eklenmiştir. 1 saat boyunca 37°C'de çalkalamadan inkübasyona bırakılmıştır. Inkübasyon sonrası 50 µg/ml kanamisin ve 20 mM sitrat içeren katı besiyerlerine 50 µl drigalski ile yayma ekim yapılmıştır. Gece boyunca 37°C'de inkübasyona bırakılmıştır. Elde edilen suşlardan saflaştırma yapılması için 50 µg/ml kanamisin ve 20 mM sitrat içeren katı besiyerlerine tek koloni ekim yapılmıştır.

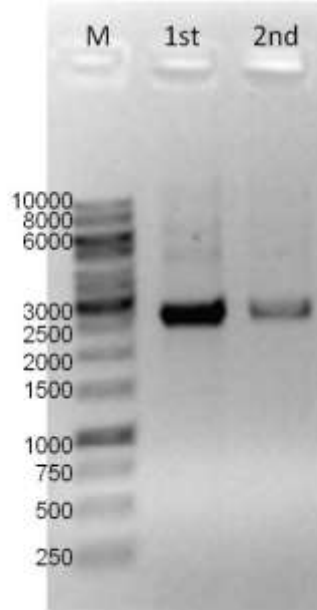
3. Bulgular ve Tartışma

E. coli BT340 (pCP20) suşu kanamisin besiyerlerine tek koloni ekimi yapılarak 30°C'de gece boyunca inkübasyona bırakılarak büyütülmüştür (Şekil 3).



Şekil 3. pCP20 plazmidini içeren BT340 *E. coli* suşunun kloramfenikol ve ampisilin içeren LB agar besiyerlerinde tek koloni ekim görüntüleri

Bu şekilde yeterli miktarda pCP20 plazmidinin eldesi sağlanmıştır. Bu hücrelerden plazmid izolasyonu gene-all plazmid izolasyon kiti ile gerçekleştirilmiştir (Şekil 4).



Şekil 4. pCP20 plazmidinin agaroz jel elektroforez analizi

Bu aşamada ilk olarak JW3417 *E. coli* K-12 BW25113 Δ ugpA Ω Km^R, JW0940 *E. coli* K-12 BW25113 Δ ompA Ω Km^R, JW1040 *E. coli* K-12 BW25113 Δ mdtG Ω Km^R ve JW3993 *E. coli* K-12 BW25113 Δ malF Ω Km^R suşları kompetant hale getirilerek, pCP20 plazmidinin ısı şoku yöntemi ile transformasyonu gerçekleştirilerek, pCP20 plazmidini taşıyan suşlar elde edilmiştir (Şekil 5). Ardından bu suşlar kanamisin gen kasetlerini kaybetmeleri için inkübasyon süreçlerinden geçirildikten sonra, kanamisin gen kasetlerini kaybetmiş olan JW3417 *E. coli* K-12 BW25113 Δ ugpA Ω Km^S, JW0940 *E. coli* K-12 BW25113 Δ ompA Ω Km^S, JW1040 *E. coli* K-12 BW25113 Δ mdtG Ω Km^S ve JW3993 *E. coli* K-12 BW25113 Δ malF Ω Km^S suşları elde edilmiştir (Tablo 2).



Şekil 5. Isı şoku yöntemi ile pCP20 plazmidinin transforme edilmesi sonucu elde edilen koloniler

Tablo 2. Çalışmada kanamisin gen kasetleri çıkartılarak elde edilen suşlar

| Suşlar | Genotip | Kaynakça |
|---------------------------------------|--|------------|
| JW3417 <i>E. coli</i> K-12 | <i>lacI^rrrnB_{T14} ΔlacZ_{WJ16} hsdR514</i> | Bu çalışma |
| BW25113 <i>ΔugpA::Kan^S</i> | <i>ΔaraBAD_{AH33}ΔrhaBAD_{LD78} ΔugpAΩKm^S</i> | Bu çalışma |
| JW0940 <i>E. coli</i> K-12 | <i>lacI^rrrnB_{T14} ΔlacZ_{WJ16} hsdR514</i> | Bu çalışma |
| BW25113 <i>ΔompA::Kan^S</i> | <i>ΔaraBAD_{AH33}ΔrhaBAD_{LD78} ΔompAΩKm^S</i> | Bu çalışma |
| JW1040 <i>E. coli</i> K-12 | <i>lacI^rrrnB_{T14} ΔlacZ_{WJ16} hsdR514</i> | Bu çalışma |
| BW25113 <i>ΔmdtG::Kan^S</i> | <i>ΔaraBAD_{AH33}ΔrhaBAD_{LD78} ΔmdtGΩKm^S</i> | Bu çalışma |
| JW3993 <i>E. coli</i> K-12 | <i>lacI^rrrnB_{T14} ΔlacZ_{WJ16} hsdR514</i> | Bu çalışma |
| BW25113 <i>ΔmalF::Kan^S</i> | <i>ΔaraBAD_{AH33}ΔrhaBAD_{LD78}ΔmalFΩKm^S</i> | Bu çalışma |

Hedeflenen genlerin genomdan çıkartılması için kullanılacak olan lizatlar elde edilmiştir. Bu lizatlar farklı *E. coli* suşlarından elde edilmiştir. JW3327 *E. coli* K-12 BW25113 *ΔtsgAΩKm^R*, JW3417 *E. coli* K-12 BW25113 *ΔyhdTΩKm^R*, JW3417 *E. coli* K-12 BW25113 *ΔugpAΩKm^R*, JW0737 *E. coli* K-12 BW25113 *ΔaroGΩKm^R* suşlarına P1vir fajı ile muamele edilerek, bu suşların lizatları elde edilmiştir. Lizat elde edilmesi aşamasında, her bir verici suş için bir de P1 virüsü eklenmeden kontrol olarak büyümelerine bakılmıştır. P1vir fajı eklenen hücrelere ile eklenmeyenler arasındaki bulanıklılık farkı ile lizat oluşumları takip edilmiştir. Virüs eklenen suşlarda lizat oluşumu olduğundan ve bakteri hücreleri çoğalmadıklarından şeffaf bir görüntü gözlemlenirken virüs eklenmeyen bakteri hücreleri gelişmelerine devam ederek, besiyerinde gözle görülür bir yoğunluğa ulaşmışlardır (Şekil 6).



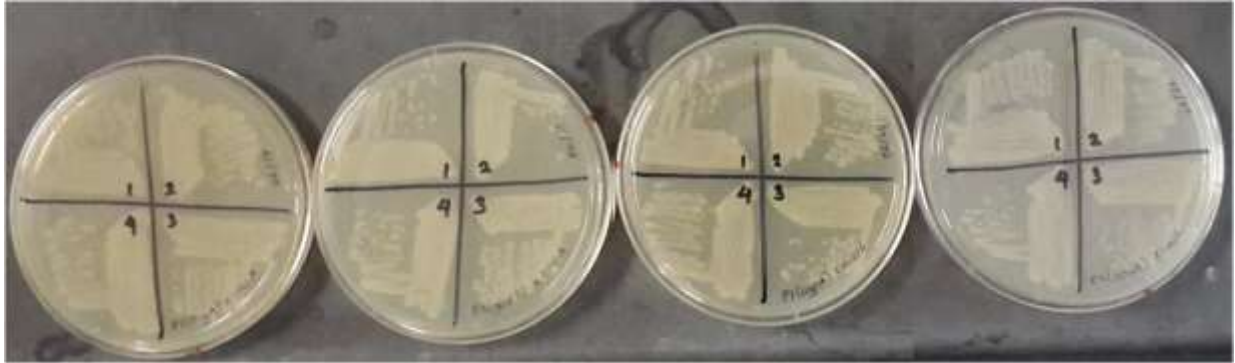
Şekil 6. Lizat eldesi sırasında virüs eklenen ve eklenmeyen suşların büyümelerinin ve lizat oluşumunun bakteri yoğunluğu ile takip edilmesi

Ardından her biri kendisi için hedef belirlenen suş ile transdüksiyon aşamasından geçirilmiştir. JW3417 *E. coli* K-12 BW25113 $\Delta ugpA\Omega Km^S$ suşuna $\Delta tsgA\Omega Km^R$ lizatu ile JW0940 *E. coli* K-12 BW25113 $\Delta ompA\Omega Km^S$ suşuna $\Delta yhdT\Omega Km^R$ lizatu ile JW1040 *E. coli* K-12 BW25113 $\Delta mdT\Omega Km^S$ suşuna $\Delta ugpA\Omega Km^R$ lizatu ile JW3993 *E. coli* K-12 BW25113 $\Delta malF\Omega Km^S$ suşuna $\Delta aroG\Omega Km^R$ lizatu ile muamele edilerek transdüksiyon gerçekleştirilmiştir.

Transdüksiyon sonucu *E. coli* K-12 BW25113 $P_{1tsgA}(Kan^R) \rightarrow \Delta ugpA(Kan^S)$, *E. coli* K-12 BW25113 $P_{1yhdT}(Kan^R) \rightarrow \Delta ompA(Kan^S)$, *E. coli* K-12 BW25113 $P_{1ugpA}(Kan^R) \rightarrow \Delta mdT(Kan^S)$, *E. coli* K-12 BW25113 $P_{1aroG}(Kan^R) \rightarrow \Delta malF(Kan^S)$ suşları elde edilmiştir (Tablo 3). Elde edilen suşların besiyerindeki üremiş durumlarını gösteren görüntüler şekil 7’de verilmiştir.

Tablo 3. Çalışmada elde edilen iki gen bakımından noksan mutant suşlar

| Suşlar | Genotip | Kaynakça |
|--|---|------------|
| <i>E. coli</i> K-12 BW25113 $P_{1tsgA}(Kan^R) \rightarrow \Delta ugpA(Kan^S)$ | $lacI^qrrnB_{T14} \Delta lacZ_{WJ16} hsdR514$ $\Delta araBAD_{AH33} \Delta rhaBAD_{LD78} \Delta tsgA\Omega Km^S \Delta ugpA\Omega Km^R$ | Bu çalışma |
| <i>E. coli</i> K-12 BW25113 $P_{1yhdT}(Kan^R) \rightarrow \Delta ompA(Kan^S)$ | $lacI^qrrnB_{T14} \Delta lacZ_{WJ16} hsdR514$ $\Delta araBAD_{AH33} \Delta rhaBAD_{LD78}$ $\Delta yhdT\Omega Km^S \Delta ompA\Omega Km^R$ | Bu çalışma |
| <i>E. coli</i> K-12 BW25113 $P_{1ugpA}(Kan^R) \rightarrow \Delta mdT(Kan^S)$ | $lacI^qrrnB_{T14} \Delta lacZ_{WJ16} hsdR514$ $\Delta araBAD_{AH33} \Delta rhaBAD_{LD78}$ $\Delta ugpA\Omega Km^S \Delta mdT\Omega Km^R$ | Bu çalışma |
| <i>E. coli</i> K-12 BW25113 $P_{1aroG}(Kan^R) \rightarrow \Delta malF(Kan^S)$ | $lacI^qrrnB_{T14} \Delta lacZ_{WJ16} hsdR514$ $\Delta araBAD_{AH33} \Delta rhaBAD_{LD78} \Delta aroG\Omega Km^S \Delta malF\Omega Km^R$ | Bu çalışma |



Şekil 7. Elde edilen ikili mutant *E. coli* suşlarının petri görüntüleri

4. Sonuç ve Öneriler

Yapılan çalışma sonucunda P1 fajı kullanılarak seçilen *E. coli* suşlarından diğer suşlara kanamisin gen kasedi ile oluşturulan mutasyonlar taşınmıştır ve böylelikle iki gen bakımından mutasyona uğramış olan yeni suşlar, “ikili (double) mutantlar” elde edilmiştir. Bu çalışmada seçilen *E. coli* suşlarından alıcı suşlara *tsgA*, *yhdT*, *ugpA*, *aroG* gen mutasyonları taşınmıştır. Bu teknik kullanılarak iki *E. coli* suşlar arasında mutasyonlar taşınabilir ve birçok gen bakımından mutasyona uğramış yeni suşlar elde edilebilir. Bu sayede bakterilere sahip olmadıkları özellikler, yetenekler kazandırılabilir ya da kaybettirilebilir.

Teşekkür

Bu çalışma 114Z987 nolu Tübitak projesi tarafından desteklenmiştir. Ayrıca KEIO koleksiyonunu temin eden National Bio Resource Project Japan (NBRP) ve laboratuvarımızdaki P1 deneysel alt yapısının kurulmasındaki değerli katkılarından dolayı sayın Prof. Dr. Tim Larson’a teşekkür ederiz. Muğla SK Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri koordinatörlüğüne de teşekkür ederiz.

Yazarların Katkısı

Bu makalede, veri toplama ve işleme, analiz/verilerin yorumlanması ve makale bölümlerinin yazılması, bütün yazarlar arasında belirli görev dağılımları ile gerçekleştirilmiştir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Etik Kurul Beyanı

Yapılan çalışmada, araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur. Bu çalışmada etik kurul izni gerekmemektedir.

Kaynaklar

- [1] Baba T., Ara T., Hasegawa M., Takai Y., Okumura Y., Baba M., Datsenko KA., Tomita M., Wanner B.L., Mori H. 2006. Construction of *Escherichia coli* K-12 in-frame, single-gene knockout mutants: the Keio collection. *Molecular Systems Biology*, 2 (1): 1-11.
- [2] Bertani G. 1951. Studies on lysogenesis. The mode of phage liberation by lysogenic *Escherichia coli*. *JBacteriol. Sep*, 62 (3): 293-300.
- [3] BrammarWJ. 2001. Specialized Transduction. *Encyclopedia of Genetics*, 1858-1860.
- [4] Cherepanov PP., Wackernagel W. 1995. Gene disruption in *Escherichia coli*: TcR and KmR cassettes with the option of Flp-catalyzed excision of the antibiotic-resistance determinant. *Gene*, 158: 9-14.
- [5] Datsenko KA., Wanner BL. 2000. One-step inactivation of chromosomal genes in *Escherichia coli* K-12 using PCR products. *Proc Natl Acad Sci*. 6, 97 (12): 6640-6645.
- [6] Lennox ES. 1955. Transduction of linked genetic characters of the host by bacteriophage P1. *Virology*, 1:190-206.
- [7] Lobock BM., Rose DJ., Plunkett G., Rusin M., Samojedny A., Lehnerr H., Yarmolinsky MB., Blattner FR. 2004. Genome of Bacteriophage P1. *Journal of Bacteriology*, 186 (21):7032-7068.
- [8] Silhavy T.J., Berman ML., Enquist L.W. 1984. Experiments with gene fusions. *Cold Spring Harbor Laboratory, Trends in genetics. Trends in Genetics*, 1: 61.
- [9] Snyder L., Champness W. 2007. *Molecular genetics of bacteria*. American Society for Microbiology, Washington, DC, USA, 3rded., 293-337.
- [10] Thomason L.C., Costantino N., Court D.L. 2014. *E. coli* Genome Manipulation by P1 Transduction. *Current protocols in molecular biology*. 79 (1): 1.17.1-1.17.8.
- [11] Yarmolinsky M.B., Sternberg N. 1988. Bacteriophage P1. *The Bacteriophages*, 1: 291-438
- [12] Zhu X.D., Sadowski P.D. 1995. Cleavage-dependent Ligation by the FLP Recombinase. Characterization of a mutant flp protein with an alteration in a catalytic amino acid. *Journal of Biological Chemistry*, 270 (39): 23044-23054.
- [13] Zinder N.D. 1992. Forty years ago: the discovery of bacterial transduction. *Genetics*, 132: 291-294.
- [14] Zinder N.D., Lederberg J. 1952. Genetic exchange in Salmonella. *J. Bacteriol.*, 64:679-699.

Araştırma Makalesi / Research Article

***Cis ve Trans* Formundaki 5-Floropirimidin-2-Karboksilik Asit Molekülünün DFT/TD-DFT ve NBO Analizleri**

Nihal KUŞ*, Saliha ILICAN

*Eskişehir Teknik Üniversitesi, Fen Fakültesi, Fizik Bölümü, Yunus Emre Kampüsü, 26470 Eskişehir
(ORCID: 0000-0003-4162-7152) (ORCID: 0000-0003-4064-4364)*

Öz

5-Floropirimidin-2-karboksilik asit molekülünün kararlı durumları, baz setlerine difüz fonksiyonları eklenerek, DFT/B3LYP fonksiyonu ile hesaplandı. C-C-O-H dihedral açısına bağlı olarak molekülün minimum düzeyde *cis* ve *trans* olarak iki konformasyona sahip olduğu bulundu. Her iki konformasyon için infrared (IR) spektrum analizi yapıldı. Zamana bağlı yoğunluk fonksiyonel teorisi hesaplarından (TD-DFT) uyarılmış enerji düzeylerinin singlet ve triplet enerjileri belirlendi. Fock matrisinin ikinci dereceden pertürbasyon teorisi ile yapılan doğal bağ orbital analizleri (NBO) ile stabilizasyon enerjileri, ve HOMO-LUMO alt ve üst aralıklarına bağlı enerjileri hesaplandı. Ayrıca moleküle ait C-C ve C-N bağ uzunlukları kullanılarak halkaya ait HOMA (Harmonik osilatörde aromatikliğin ölçüsü) dizini bulundu.

Anahtar kelimeler: 5-Floropirimidin-2-Karboksilik Asit, DFT/TD-DFT, NBO, HOMO-LUMO.

DFT/TD-DFT and NBO Analysis of 5-Fluoropyrimidine-2-Carboxylic Acid Molecule in *Cis* and *Trans* Form

Abstract

Stable states of the 5-fluoropyrimidine-2-carboxylic acid molecule were calculated by adding diffuse functions to the basis sets using DFT / B3LYP function. Depending on the C-C-O-H dihedral angle, it was found that the molecule had a minimum of two conformations as *cis* and *trans*. Infrared (IR) spectrum analysis was performed for both conformations. Singlet and triplet energies of excited energy levels were determined from time-dependent density functional theory calculations (TD-DFT). Stabilization energies and energies of HOMO-LUMO lower and upper ranges were calculated by natural bond orbital analysis (NBO) of the Fock matrix with second order perturbation theory. In addition, HOMA (measure of aromaticity in harmonic oscillator) sequence of the ring was found by using C-C and C-N bond lengths of the molecule.

Keywords: 5-Fluoropyrimidine-2-Carboxylic Acid, DFT/TD-DFT, NBO, HOMO-LUMO.

1. Giriş

Pirimidin molekülü (C₄H₄N₂) azot içeren aromatik baz yapısında olup, sıklıkla nükleik asitlerde bulunan, sitozin (C), timin (T) ve urasil (U) bazlarını içerir. Sitozin, bazı ribonükleik asit (RNA) ve deoksiribonükleik asit (DNA) yapısında bulunur. DNA yapısında timin bulunurken, RNA yapısında ise sadece urasil bulunur. Aynı zamanda, bazı vitamin ve koenzimlerin yapısında bulunan ve biyolojik açıdan çalışmaya açık ve çok ilgi çekici bir moleküldür [1]. Rasyonel olarak gelişmiş bir anti-kanser ilaç sınıfının klasik bir örneği olan floropirimidinler ise, oral formülasyonlara dönüştürüldükleri zaman kanser kemoterapisine yönelik rasyonel yaklaşımların odağını oluşturmaktadır [2, 3]. Kanser hastaları, bulantı ve kusma oranının düşük olmasından dolayı, 5-floropirimidini tercih etmişlerdir. Bu nedenle, çok sayıda tedavi görmüş hastanın seçim nedeni olmuştur [4]. Pirimidin molekülündeki C₂ ve C₅ atomlarına bağlı H atomlarının sırasıyla, karbolik asit ve flor ile yer değiştirmesi sonucu, lineer formülü

*Sorumlu yazar: nkus@eskisehir.edu.tr

Geliş Tarihi: 09.07.2019, Kabul Tarihi: 02.12.2019

$C_6H_4FNO_2$ olan 5-floropirimidin-2-karboksilik asit (5FP2CA) molekülü elde edilir. Titov ve çalışma arkadaşlarının 1972 yılında yapmış oldukları bir araştırmada, pirimidin karboksilik asit molekülünün asit özelliklerinin, karboksilik gruplarının pirimidin halkasındaki pozisyonları ile belirlenebileceği ve pirimidin karboksilik asit molekülüne ait almış oldukları infrared (IR, kızılötesi) spektrumunda, karboksil grubuna ait C=O titreşim frekanslarının asitlik sabitleriyle doğrudan ilgili olduğu rapor edilmiştir [5].

Fausto ve çalışma arkadaşları 2006 yılında, katı argonda, 10K sıcaklıkta izole edilmiş monomerik diazinlerin (pirazin, pirimidin ve piridazin) titreşim spektrumlarını matris izolasyon tekniğini kullanarak elde etmişler ve deneysel verileri DFT (B3LYP/6-311++G(d,p)) hesap sonuçları ile karşılaştırmışlardır [6].

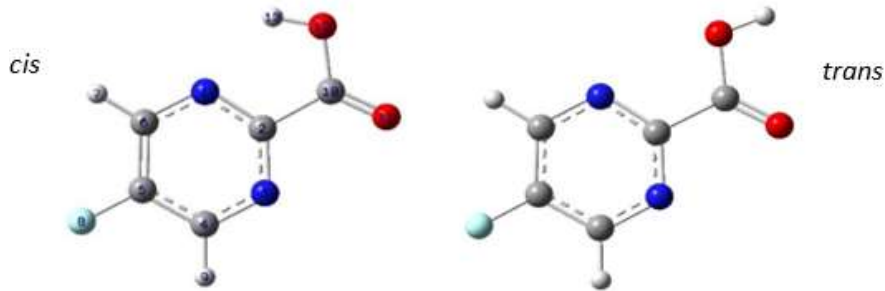
2. Materyal ve Metot

5FP2CA molekülünün optimizasyonu ve hesaplamaları Gaussian 09 programı [7] ile yoğunluk fonksiyonel teorisi (DFT) düzeyinde gerçekleştirilmiştir [8, 9]. Hesaplar yapılırken, 6-311++G(d,p) temeli ve Becke'nin 3 parametrelili Lee, Yang ve Parr (B3LYP) hibrit işlevselliği kullanılmıştır [10-12]. Kızılötesi dalga sayıları 0,978 faktörü kullanılarak hesaplanmıştır. IR spektrumunu çizmek için, hesaplanan dalga sayıları ve IR yoğunluğu Lorentzian fonksiyonlarının maksimumlarının yarı pik genişlikleri (FWHM) ile ifade edilen açıklığı 2 cm^{-1} olarak alınmıştır.

Hesaplanan elektronik yük yoğunluğu analizleri, Gaussian 09 programında uygulanan NBO 3.1 ve MultiWFN (sürüm 3.2) program paketi kullanan doğal bağ orbital (NBO) yöntemi kullanılarak yapılmıştır [13-15].

3. Hesaplamalar ve Sonuçları

5FP2CA molekülünün B3LYP/6-311++G(d,p) temel seti kullanılarak C-C-O-H dihedral açısının 15 derecelerle döndürülerek yapılan potansiyel enerji yüzey hesaplarından, kararlı durumda, *cis* ve *trans* durumunda, iki farklı konformasyona sahip olduğu görülmüştür (Şekil 1). *Cis* formu, *trans* formundan daha kararlı bir yapıya sahip olup, iki konformasyon arasındaki elektronik ve sıfır nokta enerji ile birlikte elektronik enerji farkları sırasıyla $5,95\text{ kJ mol}^{-1}$ ve $5,91\text{ kJ mol}^{-1}$ olarak bulunmuştur.

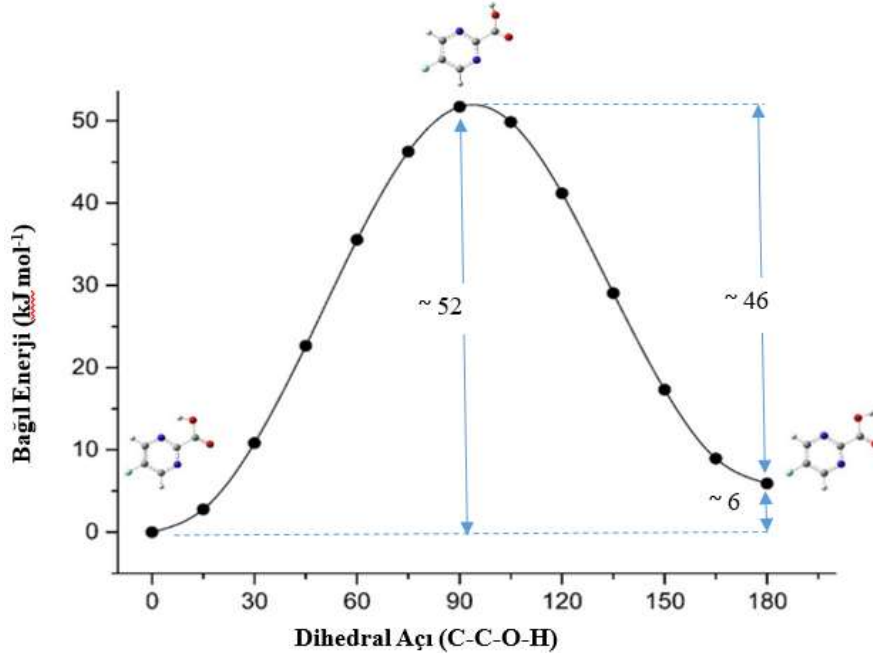


Şekil 1. 5FP2CA molekülünün optimize edilmiş konformasyonları (*cis* ve *trans*)

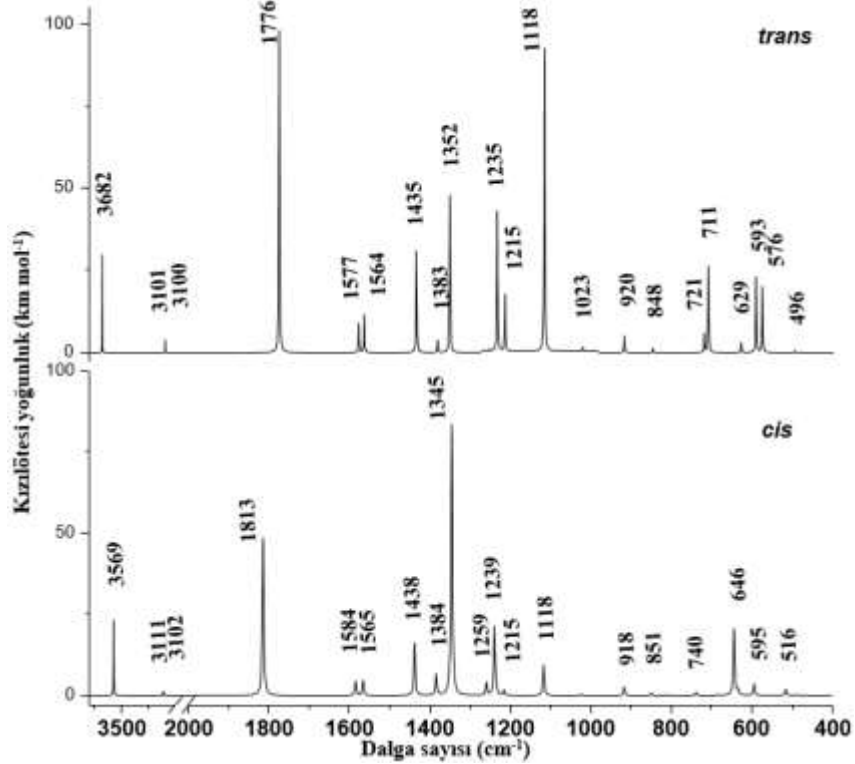
5FP2CA molekülünün iki konformasyonu arasındaki dönüşüm için potansiyel enerji profili, Şekil 2' de verilmiştir. *Cis* ve *trans* formlarına ait bariyer enerjileri yapılan dihedral açı değişimine göre, $\sim 52\text{ kJ mol}^{-1}$ ve tersi durumunda $\sim 46\text{ kJ mol}^{-1}$ olarak hesaplanmıştır. Geçiş durumunda molekülün en yüksek enerjiye sahip olduğu ve C-C-O-H dihedral açısının $93,8^\circ$ olduğu bulunmuştur. Titreşim spektrumlarının yorumlanması, DFT (B3LYP)/6-311++G(d,p) teorisi düzeyinde yapılan teorik hesaplamalar ile gerçekleştirilmiştir.

Şekil 3' te B3LYP/6-311++G(d,p) yaklaşım düzeyinde teorik olarak elde edilen *cis* ve *trans* formundaki molekülün IR spektrumları karşılaştırılmıştır. Her iki konformasyonun C = O gerilme bandının tek tip pik olduğu görülmüş ve dalga sayısı *cis* için 1813 cm^{-1} , *trans* için 1776 cm^{-1} bölgesinde gözlenmiştir. Aynı şekilde Reva ve çalışma arkadaşının benzoik asit (BA) molekülü ile birlikte argon ortamında yaptıkları matris izolasyon deneyinde BA monomeri için C = O gerilme bandının dalga

sayısını 1745 cm^{-1} de gözlemlerken, dimer durumunda ise (DBA) 1745 cm^{-1} bölgesinde gözlemlenmiştir [16]. Her iki konformasyona ait hesaplanan spektrum daha sonra düşük sıcaklıkta matris gazında yapılacak olan deneylerde kullanılacak olup; amaç, iki konformasyonu da matris gazında tutsaklamak ve spektrumlarını deneysel olarak alıp, teorik hesaplanan spektrumlarla karşılaştırmaktır. Tablo 1’ de her iki konformasyona ait hesaplanan spektrumlar ve yoğunlukları verilmiş olup, tahmin edilen yaklaşık titreşim modları bulunmuştur.



Şekil 2. 5FP2CA molekülünün C-O bağı etrafında 15 derecelik açılarla dönmesi sonucu DFT-B3LYP/6-311++G(d,p) temel setinde hesaplanarak çizilen potansiyel enerji grafiği

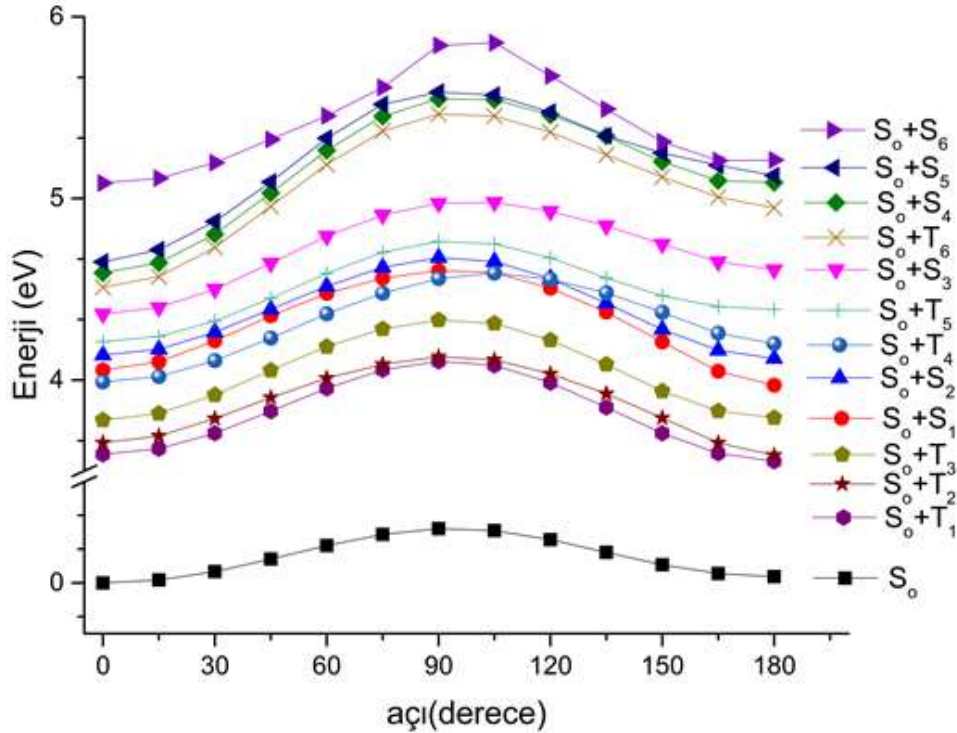


Şekil 3. 5FP2CA molekülünün cis ve trans formundaki B3LYP/6-311++G(d,p) düzeyinde hesaplanan IR spektrumu

Tablo 1. 5FP2CA molekülünün cis ve trans formuna ait B3LYP/6-311++ G(d,p) düzeyinde hesaplanan dalga sayıları (ν ; cm^{-1}), IR yoğunlukları (km mol^{-1}) ve yaklaşık modları

| Hesaplanan frekans <i>cis</i> | Yoğunluk <i>cis</i> | Hesaplanan frekans <i>trans</i> | Yoğunluk <i>trans</i> | Yaklaşık mod |
|----------------------------------|------------------------|------------------------------------|--------------------------|---|
| 3569 | 147,1 | 3682 | 96,1 | ν OH |
| 3111 | 6,3 | 3101 | 8,6 | ν C ₆ H |
| 3102 | 6,7 | 3100 | 8,1 | ν C ₄ H |
| 1813 | 305,2 | 1776 | 313,6 | ν C=O |
| 1584 | 27,9 | 1577 | 28,0 | ν halka1 |
| 1565 | 29,3 | 1564 | 36,3 | ν halka2 |
| 1438 | 102,4 | 1435 | 98,3 | ν halka3 |
| 1384 | 41,3 | 1382 | 12,3 | ν halka4 |
| 1345 | 524,7 | 1352 | 150,0 | δ OH + δ halka1 + ν halka5 |
| 1259 | 24,4 | 1254 | 2,2 | δ C ₄ H + δ C ₆ H |
| 1239 | 132,8 | 1235 | 138,1 | ν CF + δ C ₄ H + δ C ₆ H |
| 1235 | 4,3 | 1218 | 0,4 | ν halka6 + δ OH |
| 1216 | 10,2 | 1215 | 55,0 | δ OH + δ halka2 |
| 1118 | 59,4 | 1118 | 296,4 | ν C-O |
| 1025 | 2,8 | 1023 | 4,1 | δ halka1 + δ C ₄ H + δ C ₆ H |
| 947 | 0,2 | 944 | 0,01 | γ CH _{as} |
| 919 | 17,3 | 920 | 16,3 | γ CH _s |
| 852 | 5,1 | 848 | 4,2 | δ halka3 |
| 814 | 2,0 | 827 | 0,4 | γ C-C |
| 740 | 6,4 | 721 | 17,9 | γ C=O + γ C-C |
| 689 | 1,1 | 711 | 82,8 | τ halka1 + τ C-C |
| 646 | 128,9 | 629 | 9,6 | δ halka1 |
| 636 | 9,2 | 593 | 74,2 | δ CC=O + δ halka2 |
| 595 | 22,1 | 577 | 63,0 | γ O-H |
| 516 | 12,1 | 496 | 1,7 | τ halka2 + τ COO |
| 488 | 1,8 | 485 | 0,4 | τ halka1 + γ C-C |
| 419 | 0,01 | 418 | 0,2 | τ halka2 |

ν ; gerilme, δ ; bükülme, γ ; sallanma, τ ; burulma, s; simetrik, as; antisimetrik



Şekil 4. 5FP2CA molekülünün C-C-O-H dihedral açısının 15 derecelik değişimleri ile elde edilmiş TD-DFT sonuçları (S_0 temel düzeyde; *cis* formu, C-C-O-H=0°; *trans* formu, C-C-O-H=180°)

Molekülün *cis* formunda, $S_1(n,\pi^*)$ durumu $T_4(n,\pi^*)$ durumu ile hemen hemen izoenerjiktir. Bu yakınlık T_3 (3,78 eV) yolu ile T_2 'ye (3,66 eV) ve oradan da T_1 'e (3,59 eV) çok etkin bir sistem içi geçişe ve daha sonrada sönlümlere yol açar. Yapılan tüm bu DFT/TD-DFT hesaplamalar, daha sonraki çalışma olan, matris izolasyon deneyinde moleküle verilecek UV (morötesi) ve NIR (yakın infrared) ışınlarının hangi enerji aralıklarında olması gerektiği ile ilgili yardımcı bilgilerdir. Daha önce Kuş ve Fausto tarafından yapılan bir çalışmada, azot gazında tutsaklanan krotonik asit molekülüne verilen NIR ile, molekülün yüksek enerjiye sahip konformasyonlarının spektrumları gözlenmiştir [17].

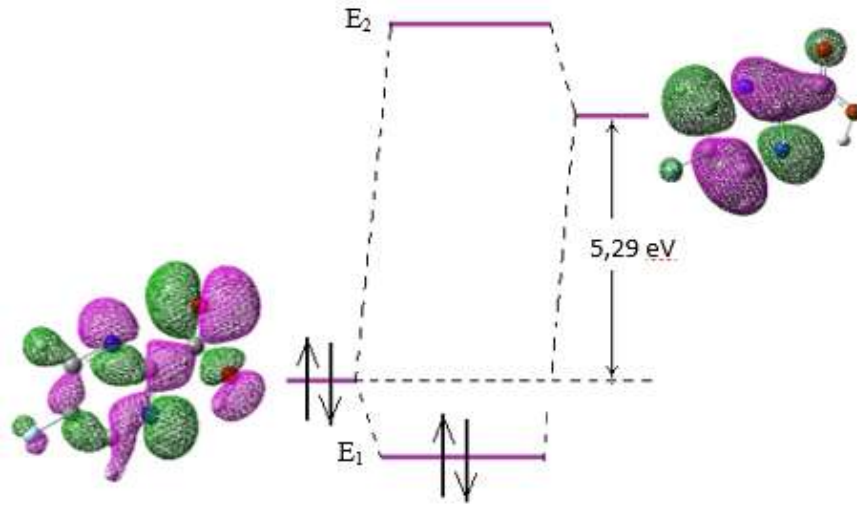
Tablo 1. 5FP2CA molekülünün cis formunun singlet durumları, tipi ve yüzdesi, bağlı enerjisi, osilatör gücü ve uyarılma enerjisi

| <i>durum</i> | <i>tip</i> | % <i>tip</i> | ΔE (eV) | <i>f</i> | <i>E</i> (nm) |
|-------------------------|----------------|----------------|-----------------|---------------|---------------|
| S_0 | | | 0 | | |
| S_1 | 36 → 38 | 0,52988 | 4,0558 | 0,0006 | 305,70 |
| S_2 | 35 → 37 | 0,44951 | 4,1367 | 0,0031 | 299,70 |
| S_3 | 35 → 38 | 0,59643 | 4,3641 | 0,0002 | 284,10 |
| S_4 | 36 → 37 | 0,40891 | 4,5908 | 0,0007 | 270,07 |
| S_5 | 34 → 37 | 0,59462 | 4,8511 | 0,0373 | 255,58 |
| S_6 | 33 → 37 | 0,56098 | 5,084 | 0,0274 | 243,87 |

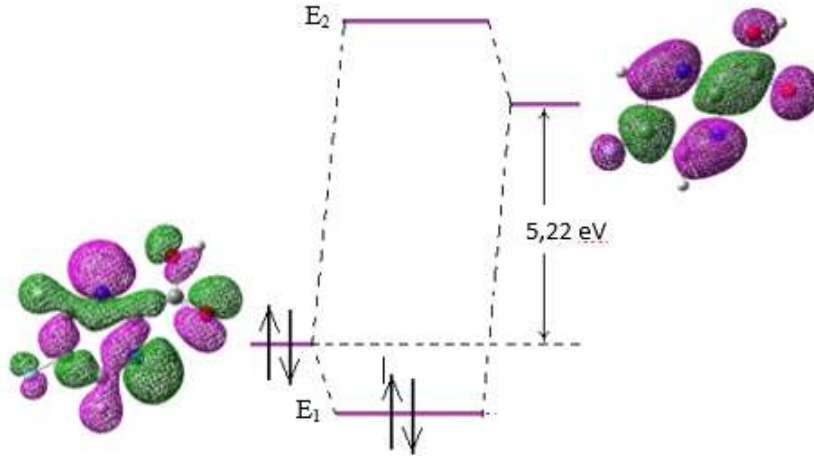
Tablo 2. 5FP2CA molekülünün trans formunun singlet durumları, tipi ve yüzdesi, bağlı enerjisi, osilatör gücü ve uyarılma enerjisi

| <i>durum</i> | <i>tip</i> | % <i>tip</i> | ΔE (eV) | <i>f</i> | <i>E</i> (nm) |
|-------------------------|----------------|----------------|-----------------|---------------|---------------|
| S_0 | | | 0,0616 | | |
| S_1 | 36 → 37 | 0,70468 | 3,9099 | 0,0000 | 317,10 |
| S_2 | 36 → 38 | 0,69081 | 4,0576 | 0,0042 | 305,56 |
| S_3 | 35 → 37 | 0,69601 | 4,5464 | 0,0002 | 272,71 |
| S_4 | 35 → 38 | 0,68916 | 5,0256 | 0,0005 | 246,71 |
| S_5 | 34 → 38 | 0,68916 | 5,0643 | 0,0305 | 244,82 |
| S_6 | 32 → 37 | 0,70534 | 5,1495 | 0,0012 | 240,77 |

Tablo 1 ve 2' de *cis* ve *trans* formlar için singlet durumları, geçiş tipleri ve yüzdeleri, osilatör güçleri ve uyarılma enerjileri verilmiştir. Osilatör gücünün en yüksek olduğu değerler, absorpsiyon olasılığının en fazla olduğu durumları gösterir. Aynı zamanda, geçiş dipol momentini bilinen kuantum mekanik miktarının da fazla olduğunu belirtir [18]. 5FP2CA molekülünün *cis* formu için en yüksek osilatör gücüne (0,0373) sahip geçiş tipi S_5 singlet durumudur. HOMO-LUMO (molekülde dolu en yüksek moleküler orbital- en düşük (ilk) boş moleküler orbital) enerji aralığı tip olarak $36 \rightarrow 37$ durumuna karşılık geldiğine göre (Şekil 5 ve 6), S_5 durumunun tipi için HOMO₂-LUMO diyebiliriz. Aynı şekilde *trans* formunda da, osilatör gücünün en yüksek olduğu durum (0,0305) S_5 durumunda gözlenmiş olup, bu geçiş tipinin de HOMO₂-LUMO₊₁ olduğunu söyleyebiliriz. HOMO-LUMO enerji aralığı *cis* formunda S_4 singlet durumunda, *trans* formunda ise S_1 singlet durumunda yüzde oranı olarak en büyük değerdedir. Bu enerji aralığının büyük olması molekülün aromatik olarak daha kararlı olduğunu göstermektedir.



Şekil 5. 5FP2CA molekülünün *cis* formunun HOMO-LUMO enerji aralığı (mor ve yeşil renkleri, negatif ve pozitif dalga fonksiyon işaretlerine karşılık gelir).



Şekil 6. 5FP2CA molekülünün *trans* formunun HOMO-LUMO enerji aralığı (mor ve yeşil renkleri, negatif ve pozitif dalga fonksiyon işaretlerine karşılık gelir).

B3LYP/6-311++G(d,p) teori düzeyinde yapılan NBO analizinde, molekülün *cis* formu için π durumundaki stabilizasyon enerjileri toplamı yaklaşık 541 kJ mol^{-1} iken, *trans* formunda ise yaklaşık 473 kJ mol^{-1} olarak bulunmuştur. Stabilizasyon enerji hesaplarında (Denklem 1), i ve j NBO orbitalleri arasında Fock matris (F_{ij}^2) elemanı kullanılmıştır [13].

$$E(2) = \Delta E_{ij} = q_i \frac{F_{ij}^2}{\varepsilon_j - \varepsilon_i} \quad (1)$$

Tablo 3. *Cis* formu için, B3LYP/6-311++G(d,p) ile elde edilen NBO bazında Fock matrisinin ikinci dereceden pertürbasyon teorisi analizi ile verilen seçilmiş NBO çiftleri için stabilizasyon enerjileri ^a.

| DonörNBO (i) | AkseptörNBO (j) | E(2) kJ mol ⁻¹ | E(j)-E(i) au | F(i,j) au |
|-----------------|-----------------------|------------------------------|-----------------|--------------|
| $\pi(N1 - C2)$ | $\pi^*(N3 - C4)$ | 49,1 | 0,32 | 0,055 |
| $\pi(N1 - C2)$ | $\pi^*(C5 - C6)$ | 110,5 | 0,32 | 0,083 |
| $\pi(N3 - C4)$ | $\pi^*(N1 - C2)$ | 140,7 | 0,30 | 0,092 |
| $\pi(N3 - C4)$ | $\pi^*(C5 - C6)$ | 59,9 | 0,31 | 0,060 |
| $\pi(C5 - C6)$ | $\pi^*(N1 - C2)$ | 67,0 | 0,28 | 0,060 |
| $\pi(C5 - C6)$ | $\pi^*(N3 - C4)$ | 114,2 | 0,29 | 0,080 |
| LP(1) N1 | $\sigma^*(C2 - N3)$ | 47,2 | 0,90 | 0,092 |
| LP(1) N3 | $\sigma^*(N1 - C2)$ | 51,8 | 0,86 | 0,094 |
| LP(3) F8 | $\pi^*(C5 - C6)$ | 79,7 | 0,42 | 0,085 |
| LP(1) O11 | Ry*(1) C10 | 63,8 | 1,89 | 0,152 |
| LP(2) O11 | $\sigma^*(C2 - C10)$ | 92,4 | 0,61 | 0,105 |
| LP(2) O11 | $\sigma^*(C10 - O12)$ | 134,5 | 0,62 | 0,128 |
| LP(2) O12 | $\pi^*(C10 - O11)$ | 192,4 | 0,34 | 0,113 |

^aŞekil 1'de atom numaralandırması verilmiştir. Ry; Rydberg orbitali.

Donör orbital işgali q_i ile birlikte akseptör ve donör enerji farkı dikkate alınmıştır ($\varepsilon_j - \varepsilon_i$). Molekülün her iki formu için en yüksek stabilizasyon durumunun LP(2) O12 $\rightarrow \pi^*(C10 - O11)$ geçişlerinde olduğu bulunmuştur (*cis* için ~ 92 kJ mol⁻¹, *trans* için ~ 191 kJ mol⁻¹).

Tablo 4. *Trans* formu için, B3LYP/6-311++G(d,p) ile elde edilen NBO bazında Fock matrisinin ikinci dereceden pertürbasyon teorisi analizi ile verilen seçilmiş NBO çiftleri için stabilizasyon enerjileri ^a.

| DonörNBO (i) | AkseptörNBO (j) | E(2) kJ mol ⁻¹ | E(j)-E(i) au | F(i,j) au |
|-----------------|-----------------------|------------------------------|-----------------|--------------|
| $\pi(N1 - C2)$ | $\pi^*(N3 - C4)$ | 54,8 | 0,31 | 0,057 |
| $\pi(N1 - C2)$ | $\pi^*(C5 - C6)$ | 112,1 | 0,31 | 0,082 |
| $\pi(N1 - C2)$ | $\pi^*(C10 - O11)$ | 45,8 | 0,34 | 0,056 |
| $\pi(N3 - C4)$ | $\pi^*(N1 - C2)$ | 130,0 | 0,31 | 0,089 |
| $\pi(N3 - C4)$ | $\pi^*(C5 - C6)$ | 60,2 | 0,31 | 0,060 |
| $\pi(C5 - C6)$ | $\pi^*(N1 - C2)$ | 69,8 | 0,28 | 0,062 |
| $\pi(C5 - C6)$ | $\pi^*(N3 - C4)$ | 114,6 | 0,28 | 0,080 |
| LP(1) N1 | $\sigma^*(C2 - N3)$ | 49,6 | 0,88 | 0,092 |
| LP(1) N3 | $\sigma^*(N1 - C2)$ | 49,8 | 0,87 | 0,092 |
| LP(3) F8 | $\pi^*(C5 - C6)$ | 78,8 | 0,43 | 0,085 |
| LP(1) O11 | Ry*(1) C10 | 65,8 | 1,85 | 0,152 |
| LP(2) O11 | $\sigma^*(C2 - C10)$ | 86,1 | 0,63 | 0,104 |
| LP(2) O11 | $\sigma^*(C10 - O12)$ | 137,1 | 0,62 | 0,129 |
| LP(2) O12 | $\pi^*(C10 - O11)$ | 190,8 | 0,34 | 0,113 |

^aŞekil 1'de atom numaralandırması verilmiştir. Ry Rydberg orbitali.

Tablo 3 ve 4' ten görüldüğü gibi, her iki konformasyon için en önemli NBO etkileşimleri aynı tiptedir ve bağıl enerjileri de birbirlerine yakındır. 5FP2CA molekülünün *cis* ve *trans* formları için, B3LYP/6-311++G(d,p) teori düzeyinde hesaplanan bağ uzunlukları kullanılarak halkaya ait *HOMA* (Harmonik osilatörde aromatikliğin ölçüsü) dizini hesaplanmıştır.

$$HOMA = 1 - \frac{\alpha}{n} \sum_{i=1}^n (R_{opt} - R_i)^2 \quad (2)$$

C-C ve C-N bağları için referans değerleri sırasıyla 1,3963 Å ve 1,3288 Å olarak alınmıştır [17, 18]. Bu denklemde, kullanılan bağların sayısı n ile gösterilmiştir. α sabiti ampirik bir sabit değer olup, C-C bağları için 257,7 alınırken C-N bağları için ise 93,52 olarak alınmıştır. Aromatik olmayan bir model için $HOMA = 0$ ' dır. Tam aromatik sistemler için $HOMA = 1$ olması durumunda C-C bağları için R_{opt} değeri sabit bir değerde olup 1,388 Å değerine eşittir. R_i sürekli dolanan bağ uzunluğunu ifade etmektedir. Bu eşitlik basit bir eşitlik olup, aromatikliğin ölçüsünü gösteren en iyi denklemlerden biridir ve aynı zamanda π -elektron delokalizasyonunun iyi bir ölçüsüdür [21-23]. 2FP5CA molekülü için $HOMA$ değeri Denklem (2) kullanılarak hesaplanmış olup, her iki form için aromatiklik değeri yaklaşık 0,0245 gibi çok düşük bir değerde olduğu bulunmuştur. Hesaplarda delokolize durumda olan 2 tane C-C bağı ve 4 tane C-N bağı dikkate alınmıştır. Alonso ve çalışma arkadaşları pirimidinin türev ve sübstitüentlerine bağlı olarak $HOMA$ değerlerini bulmuşlar ve benzen türevlerindeki durumun tersine, tüm sübstitüentlerin, halkanın aromatikliğini azalttığı sonucuna varmışlardır [24].

4. Sonuç ve Öneriler

2FP5CA molekülünün konformasyonları teorik olarak DFT/B3LYP/6-311++G(d,p) düzeyinde analiz edilmiştir. Bileşiğin optimize edilmiş yapıları (*cis* ve *trans* formları) elde edilerek, bağıl enerjileri ($\Delta E_{(elektronik)} = 5,95 \text{ kJ mol}^{-1}$) molekül içi etkileşim katkıları ile birlikte açıklanmıştır. Her iki konformasyona ait yapılan IR analizinde *trans* formuna ait C=O gerilme titreşiminin yoğunluğu daha fazla iken dalga sayısının *cis* formuna göre daha düşük olduğu görülmüştür. Bu durum yapılacak olan matris izolasyon deneylerinde gözlemlenebilir ve konformasyonlar arasındaki enerji aralığı düşük olduğu için molekülün her iki formunun spektrumları gözlenebilir. Aynı şekilde C-O gerilme bant yoğunluğunun da *trans* formunda daha fazla olması matris izolasyon deneylerinde konformasyon belirlenmesinde yardımcı olacaktır. Yapılan TD-DFT analizi sonucunda uyarılma enerjileri hesaplanmış ve en etkili uyarılmanın osilatör gücünün en fazla olduğu S5 düzeyinde olduğu görülmüştür. Bu durumun HOMO₂-LUMO geçişine karşılık geldiği hesaplanmıştır. Her iki konformasyon için stabilizasyon enerjileri LP(2) O12 $\rightarrow \pi^*(C10 - O11)$ geçişinde olduğu bulunmuştur. $HOMA$ dizini kullanılarak molekülün aromatikliği her iki formda da $\sim 0,0245$ gibi çok fazla düşük bir değere sahip olduğu hesaplanmıştır.

Yazarların Katkısı

Yazılan makalenin, çalışma fikrinin oluşmasında, tasarım ve veri toplama işlemlerinde, yapılan çalışmanın analiz ve yorumlanmasında, literatür taraması, makale yazılımı ve eleştirel incelemelerinde her iki yazar eşit oranda katkıda bulunmuştur.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Etik Kurul Beyanı

Yapılan çalışmada, araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar

[1] Bhagavan N.V., Ha C.-E. 2015. in Essentials of Medical Biochemistry (Second Edition).

- [2] Lamont E.B., Schilsky R.L. 1999. The oral fluoropyrimidines in cancer chemotherapy. *Clinical Cancer Research*, 5 (9): 2289-2296.
- [3] Rustum Y.M. 2003. *Fluoropyrimidines in Cancer Therapy*. Springer.
- [4] Scagliotti G.V., Fossati R., Torri V., Crinò L., Giaccone G., Silvano G., Martelli M, Clerici M, Cognetti F, Tonato M. 2003. Randomized study of adjuvant chemotherapy for completely resected stage I, II or IIIA nonsmall cell lung cancer. *Journal of the National Cancer Institute*, 95 (19): 1453-1461.
- [5] Titov E.V., Prikazchikova L.P., Rybchenko L.I., Cherkasov V.M., Rybachenko V.I. 1972. IR spectra of pyrimidine carboxylic acids and some problems involving their structure. *Chemistry of Heterocyclic Compounds*, 8 (6): 754-756.
- [6] Breda S., Reva I.D., Lapinski L., Nowak M.J., Fausto R. 2006. Infrared spectra of pyrazine, pyrimidine and pyridazine in solid argon. *Journal of Molecular Structure*, 786 (2-3): 193-206.
- [7] Frisch M.J., Trucks G.W., Schlegel H.B., Scuseria G.E., Robb M.A., Cheeseman J.R., Scalmani G., Barone V., Mennucci B., Petersson G.A., Nakatsuji H., Caricato M., Li X., Hratchian H.P., Izmaylov A.F., Bloino J., Zheng G., Sonnenberg J.L., Hada M., Ehara M., Toyota K., Fukuda R., Hasegawa J., Ishida M., Nakajima T., Honda Y., Kitao O., Nakai H., Vreven T., Montgomery J.A., Peralta Jr.J.E., Ogliaro F., Bearpark M., Heyd J.J., Brothers E., Kudin K.N., Staroverov V.N., Kobayashi R., Normand J., Raghavachari K., Rendell A., Burant J.C., Iyengar S.S., Tomasi J., Cossi M., Rega N., Millam J.M., Klene M., Knox J.E., Cross J.B., Bakken V., Adamo C., Jaramillo J., Gomperts R., Stratmann R.E., Yazyev O., Austin A.J., Cammi R., Pomelli C., Ochterski J.W., Martin R.L., Morokuma K., Zakrzewski V.G., Voth G.A., Salvador P., Dannenberg J.J., Dapprich S., Daniels A.D., Farkas O., Foresman J.B., Ortiz J.V., Cioslowski J., Fox D. J. 2009. Gaussian 09, Revision A.0.2, Gaussian, Inc., Wallingford CT.
- [8] Raghavachari K., Binkley J.S., Seeger R., Pople J.A. 1980. Self-consistent molecular orbital methods. XX. A basis set for correlated wave functions. *The Journal of Chemical Physics*, 72: 650-654.
- [9] McLean A.D., Chandler G.S. 1980. Contracted Gaussian basis sets for molecular calculations. I. Second row atoms, Z=11–18. *The Journal of Chemical Physics*, 72: 5639-5648.
- [10] Becke A.D. 1988. Density-functional exchange-energy approximation with correct asymptotic behavior. *Physical Review A*, 38: 3098-3100.
- [11] Lee C., Yang W., Parr R.G. 1988. Development of the Colle-Salvetti correlation-energy formula into a functional of the electron density. *Physical Review B*, 37: 785-789.
- [12] Vosko S.H., Wilk L., Nusair M. 1980. Accurate spin-dependent electron liquid correlation energies for local spin density calculations: a critical analysis. *Canadian Journal of Physics*, 58: 1200-1211.
- [13] Weinhold F., Landis C.R., Valency, Bonding. A. 2005. *Natural Bond Orbital Donor acceptor Perspective*. Cambridge University Press, New York.
- [14] Reed A.E., Curtiss L.A., Weinhold F. 1988. Intermolecular interactions from a natural bond orbital, donor-acceptor viewpoint. *Chemical Reviews*, 88: 899-926.
- [15] Lu T., Chen F. 2012. Multiwfn: A multifunctional wavefunction analyzer. *Journal of Computational Chemistry*, 33: 580-593.
- [16] Reva I.D., Stepanian S.G. 1995. An infrared study on matrix-isolated benzoic acid. *Journal of Molecular Structure*, 349: 337-340.
- [17] Kuş N., Fausto R. 2014. Near-infrared and ultraviolet induced isomerization of crotonic acid in N₂ and Xe cryomatrices: First observation of two high-energy trans C–O conformers and mechanistic insights. *The Journal of Chemical Physics*, 141: 234310.
- [18] Hilborn R.C. 1982. Einstein coefficients, cross sections, f values, dipole moments, and all that. *American Journal of Physics*, 50: 982-986.
- [19] Morrison C.A., Smart B.A., Rankin D.W.H., Robertson H.E., Pfeffer M., Bodenmuller W., Ruber R., Macht B., Ruoff A., Typke V. 1997. Molecular Structure of 1,3,5-Triazine in Gas, Solution, and Crystal Phases and by ab Initio Calculations. *Journal of Physical Chemistry A*, 101: 10029-10038.
- [20] Kuş N., Breda S., Reva I. D., Tasal E., Ogretir C., Fausto R. 2007. FTIR Spectroscopic and Theoretical Study of the Photochemistry of Matrix-isolated Coumarin. *Photochemistry and Photobiology*, 83: 1237-1253.

- [21] Krygowski T.M., Cyranski M. 1996. Separation of the energetic and geometric contributions to the aromaticity of π -electron carbocyclics. *Tetrahedron*, 52: 1713-1722.
- [22] Huertas O., Poater J., Fuentes-Cabrera M., Orozco M., Solà M., Luque F.J. 2006. Local Aromaticity in Natural Nucleobases and Their Size-Expanded Benzo-Fused Derivatives. *Journal of Physical Chemistry A*, 110: 12249-12258.
- [23] Krygowski T.M., Stępień B.T., Cyrański M.K.. 2005. How the Substituent Effect Influences π -Electron Delocalisation in the Ring of Reactants in the Reaction Defining the Hammett Substituent Constants σ_m and σ_p . *International Journal of Molecular Sciences*, 6: 45-51.
- [25] Alonso M., Miranda C., Martín N., Herradon B. 2011. Chemical applications of neural networks: aromaticity of pyrimidine derivatives. *Physical Chemistry Chemical Physics*, 13: 20564-20574.

Araştırma Makalesi / Research Article

Asya Ülkelerinin Beklenen Yaşam Süresi Bakımından Sınıflandırılmasında Etkili Olan Sosyoekonomik Değişkenlerin Kısmi En Küçük Kareler Diskriminant Analizi ile Belirlenmesi

Alime Kıvılcım KOZAN¹, Esra POLAT^{2*}

¹*Çukurova Kalkınma Ajansı, Seyhan, Adana*

²*Hacettepe Üniversitesi, İstatistik Bölümü, Beytepe, 06800, Ankara
(ORCID: 0000-0001-8631-2627) (ORCID: 0000-0001-9271-485X)*

Öz

Her ne kadar son yıllarda yapılan çalışmalar doğumda yaşam beklentisinin (DYB) hemen hemen tüm toplumlarda artmakta olduğunu göstermiş olsa da, ölümlerde ve dolayısıyla DYB'de toplum içinde olduğu gibi toplumlar arasında da önemli farklılıklar vardır. DYB'deki bu eşitsizliğin köklerinin, farklı sosyal grupların farklı sosyoekonomik arka planlarında olduğuna inanılmaktadır. Yaşam beklentisi, en önemli sağlık sonuçlardan biri ve insani gelişmişliğin önemli bir göstergesi olarak kabul edilmektedir. Bu çalışmanın amacı, bir kaç sosyoekonomik değişkenin beklenen yaşam süresi ile ilişkisini araştırmak ve Asya'daki 51 ülke için DYB'ye etkili olan en önemli değişkenleri belirlemektir. Bu amaçla, Dünya Nüfus Veri Sayfası, 2015'den elde edilen veri kümesi üzerinde Kısmi En Küçük Kareler Diskriminant Analizi uygulanmıştır. Analiz sonucunda Asya ülkelerinin beklenen yaşam sürelerine göre Asya ortalamasının üstünde ve altında olmak üzere iki sınıf olarak sınıflandırılmasında en önemli/etkili değişkenin Bebek Ölüm Oranı olduğu görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Beklenen Yaşam Süresi, Sosyoekonomik Değişkenler, Kısmi En Küçük Kareler Diskriminant Analizi.

Determination of Socioeconomic Variables Affecting the Classification of Asian Countries in Terms of Life Expectancy by Partial Least Squares Discriminant Analysis

Abstract

Although studies conducted in recent years have shown that life expectancy at birth (LEB) is increasing in almost all societies, there are significant differences between deaths and, therefore, in LEB, occur among societies as well as within society. It is believed that this inequality in the LEB have its roots in different socioeconomic backgrounds of different social groups. Life expectancy is recognized as one of the most important health outcomes and an important indicator of human development. The aim of this study is to investigate the relationship between several socioeconomic variables and life expectancy and to identify the most important variables that affect the LEB for 51 countries in Asia. For this purpose, Partial Least Squares Discriminant Analysis was applied on the data set obtained from the World Population Data Sheet, 2015. As a result of the analysis, it was found that the most important/effective variable in the classification of Asian countries into two classes as above and below the Asian average according to their life expectancy, is the Infant Mortality Rate.

Keywords: Life Expectancy, Socioeconomic Variables, Partial Least Squares Discriminant Analysis.

*Sorumlu yazar: espolat@hacettepe.edu.tr

Geliş Tarihi: 18.09.2019, Kabul Tarihi: 05.02.2020

1. Giriş

Doğumda beklenen yaşam süresi, insani gelişmişliğin önemli bir göstergesidir. Yaşam beklentisi oranı, evrensel olarak özellikle gelişmiş ülkelerde yaşayan savunmasız topluluklarda, sosyoekonomik risk değişkenlerinden büyük ölçüde etkilenmiştir [1]. Her hükümetin temel hedeflerinden biri, ölüm oranını mümkün olan en düşük düzeye indirerek, nüfusunun yaşam süresini uzatmaktır. Son yıllarda yapılan çalışmalar doğumda yaşam beklentisinin (DYB) neredeyse tüm toplumlarda artmakta olduğunu göstermiş olmasına karşın [2], hem toplum içinde hem de toplumlar arasında önemli ölüm oranı farklılıkları bulunmaktadır. Ölüm oranındaki bu eşitsizliğin köklerinin, farklı sosyal grupların farklı sosyoekonomik geçmişinde olduğuna inanılmaktadır. Çünkü sosyoekonomik değişkenler, sonunda hastalığa ve ölüme yol açan biyolojik süreçleri etkilemektedir. Bu amaçla, Dünya Bankası, Dünya Sağlık Örgütü, diğer uluslararası kuruluşlar ve kalkınma yardımı bağışçıları sosyoekonomik statüler ile sağlık eşitsizliğini azaltmaya çalışarak [3], dezavantajlılar arasındaki ölüm oranlarını azaltmaya çalışmaktadır. Ancak, daha geniş sosyal ve ekonomik eğilimler seviyelerindeki değişiklikler nedeniyle sağlık durumundaki zaman içinde meydana gelen değişiklikleri ve dolayısıyla ölüm oranlarındaki değişiklikleri de tespit etmek için çok fazla çaba gösterilmemiştir [4]. Bu olgu, özellikle sosyoekonomik gelişme ile yaşam beklentisi arasındaki bağlantının doğrudan olduğu algısının ardından ivme kazanmış ve araştırmacıların yaşam beklentisini etkileyen sosyoekonomik değişkenleri belirleme konusundaki ilgilerini uyandırmıştır. Bunun altında yatan mantık, sosyoekonomik ve çevresel değişkenlerin, ölüm oranı üzerinde etkileşimli bir etki yaratmasının yanı sıra, bağımsız bir şekilde ortaya çıkmasıdır [5].

Kısmi En Küçük Kareler (KEKK) yöntemi ilk olarak, istatistik, matematik ve bilgisayar kullanılarak kimyasal verilerin işlenmesini kapsayan kimya alanında bir bilim dalı olan “Kemometri” alanında popüler olmuştur. Kemometri biliminde, KEKK yöntemi yeni bir kestirim tekniği olarak ortaya çıkmış ve Kısmi En Küçük Kareler Regresyonu (KEKKR) çok değişkenli ölçümler arasındaki doğrusal ilişkileri modellemek için yerleşmiş bir araç haline gelmiştir [6]. Kısmi En Küçük Kareler Diskriminant Analizi (KEKKDA) yönteminin temeli KEKKR’ye dayanır. KEKKR’den farkı bağımlı değişkenin kategorik yapıda olmasıdır. KEKK ve KEKKDA yöntemlerinin özellikle son yıllarda Kemometri dışında ekonomi ya da sosyal alanlardaki veri kümelerinde uygulamalarına da rastlanmaktadır. Örneğin; Kemalbay ve Korkmazoglu [7] çeşitli KEKK algoritmalarının ekonometri uygulamalarını ve yorumlamalarını Türkiye için gerçek bir veri kümesi üzerinde R programını kullanarak göstermiştir. Kemalbay ve Korkmazoglu [8], 1981-2010 yılları arasındaki tarihsel veri kümesi üzerinde KEKKR yöntemini uygulayarak Türkiye için yıllık elektrik tüketimini tahmin etmeye çalışmıştır. Ümit ve Bulut [9], 2005-2010 yılları arasındaki veri kümesini kullanarak 2008 küresel krizinden sonra Türkiye’de işsizliği etkileyen değişkenleri KEKKR yöntemiyle incelemiştir. Serrano-Cinca ve Gutiérrez-Nieto [10], 2008 ABD bankacılık krizinin tahmini için KEKKDA’yı kullanmıştır. Sawatsky vd. [11], KEKKR yönteminin sosyal bilimlerde kısıtlı sayıda kullanımdan dolayı örnek olması amacıyla, özellikle adli psikoloji ile ilgili hipotetik bir veri kümesi üzerinde uygulama yapmıştır. Sghaier vd. [12], 2005-2011 dönemine ait finansal bilgilere dayanarak Orta Doğu ve Kuzey Afrika (MENA) bölgesindeki geleneksel ve İslami bankaları ayırmak için KEKKDA yöntemini uygulamıştır. Yoon ve Klasen [13], OECD tarafından üretilen bileşik bir endeks olan Sosyal Kurumlar ve Cinsiyet Endeksi’ni (SIGI), Temel Bileşenler Analizi (TBA) ve KEKK tarafından üretilen ağırlıkları kullanılarak yeniden oluşturmuştur. Polat [14] ise, KEKKDA yönteminin 28 Avrupa Birliği (AB) üyesi ülke ile potansiyel adayları da içeren AB’ye 7 aday ülkeyi önceden bilinen sınıflarına doğru bir şekilde sınıflandırma performansını analiz etmiş ve sınıflandırmada etkili olan ekonomik ve/veya demografik göstergeleri belirlemiştir.

Bu çalışmanın amacı ise, farklı sosyoekonomik değişkenlerin Asya ülkelerinde doğumda yaşam beklentisi üzerindeki etkilerini tespit etmektir. Bu analizdeki verilerin kaynağı, Dünya Nüfus Veri Sayfası, 2015’dir. Doğumda beklenen yaşam ve bu analizde kullanılan diğer tüm dokuz değişkene ilişkin veriler, Dünya Nüfus Veri Sayfasında, 2015’de 51 Asya ülkesi için mevcuttur. 2015 yılında Asya’daki tüm ülkeler için beklenen ortalama yaşam süresi yani Asya ortalaması 72 olduğu için, KEKKDA kullanılarak Asya ülkeleri beklenen yaşam sürelerine göre <72 ve ≥ 72 şeklinde iki gruba sınıflandırılmıştır. Analiz

sonucunda ülkelerin beklenen yaşam sürelerinin belirlenmesinde etkili olan en önemli sosyoekonomik değişken belirlenmiştir.

2. Kısmi En Küçük Kareler Regresyon

KEKKR yönteminde, bağımlı değişken/değişkenler (Y) ile bağımsız değişkenler (X) arasındaki kovaryansı en büyük yapacak şekilde p sayıda bağımsız değişkenden daha az sayıda h tane bileşen elde edilir. Yöntem birden fazla bağımlı değişken durumunda da kullanılabilir. Bir boyut indirgeme aracı da olan KEKKR yöntemi ile elde edilen bileşenler/gizli değişkenler yeni bağımsız değişkenler olarak kullanılır ve bağımlı değişken/değişkenler bu bileşenleri kullanarak modellenir. KEKKR yöntemi değişken sayısı çok fazla olduğunda hatta gözlem sayısından çok fazla sayıda bağımsız değişken olduğunda bile ve bağımsız değişkenler arasında ilişki olduğu yani çoklu bağlantı durumunda bile kullanılabilir ve iyi sonuçlar verir. Yöntemin avantajı, normallik ve bağımsız değişkenlerin ilişkisiz olması gibi herhangi varsayım gerektirmemesidir. Ayrıca bu yöntem, kayıp veri durumunda da kullanılır.

Temel Bileşenler Regresyonu (TBR) ve KEKKR gibi çok değişkenli regresyon yöntemleri, birçok alanda çok geniş bir üne sahiptir. Bu yöntemler özellikle kimya alanında sıklıkla karşılaşılan çok fazla ilişkili bağımsız değişkenin ve nispeten daha az gözlemin olduğu durumlarda kullanılmaktadır. p, bağımsız değişken sayısı ve n, bağımlı değişken sayısı olmak üzere; $p \ll n$. Uygulamada TBR ve KEKKR'nin kullanımında büyük farklılıklar yoktur ve birçok durumda yöntemler benzer kestirim doğrulukları sağlamaktadır. Modeldeki aynı sayıda bileşen için KEKKR Y'deki değişimin daha fazlasını açıklarken, TBR ise X'deki değişimin daha fazlasını açıklar [15]. KEKKR'de özellikle, X ve Y'nin eş zamanlı bir ayrışımını gerçekleştiren bir küme bileşen bulunmaya çalışılmaktadır. Ancak bu bileşenler, X ve Y arasındaki kovaryansı mümkün olduğunca çok açıklama ölçütü altında elde edilir.

KEKKR model parametrelerini hesaplamak için literatürde geliştirilmiş çeşitli algoritmalar mevcuttur. Ancak, en popüler olanı ve klasik algoritma olarak da bilineni "Doğrusal Olmayan Yinelemeli En Küçük Kareler (NIPALS/Non-linear Iterative Partial Least Squares)" algoritmasıdır. Günümüzde de yaygın olarak birçok bilgisayar programlarında KEKK yöntemi içeren analizlerde, NIPALS algoritması kullanılmaktadır.

2.1. KEKKR için İdeal Bileşen Sayısı

İdeal bileşen sayısını belirlemek KEKKR'de çok önemli bir problemdir. İdeal bileşen sayısından daha az bileşen seçmek bilgi kaybına yol açarken, ideal bileşen sayısından daha fazla bileşen seçmek ise zayıf kestirim yeteneğine sahip modellerin elde edilmesine yol açar [16]. Çok fazla ve ilişkili X değişkenleri olduğunda "aşırı uyum" için yani, çok az ya da hiç kestirim gücüne sahip olmayan ancak veriye iyi uyan bir model etme konusunda önemli bir risk doğar. Bu nedenle, her bir KEKK bileşenin kestirim önemini test etmek gerekir [15]. KEKKR'de modeldeki bileşenlerin sayısının belirlenmesi genellikle çapraz geçerlilik (ÇG) içeren ölçütlere dayanmaktadır. ÇG yöntemi, KEKK yöntemi için modelin kestirim yeteneğini en iyi yapan ideal bileşen sayısını seçmede kullanılır [14]. ÇG yönteminde, çalışma kümesinde (training set) yer alan gözlemlerden bazıları bir geçerlilik kümesi (validation set) olarak ayrılır ve geriye kalan gözlemler ile model oluşturulur. Farklı sayıdaki bileşenler kullanılarak, ayrılan gözlemler için kestirim hataları hesaplanır. Bütün gözlemler için kestirimler elde edilinceye kadar süreç tekrarlanır. En küçük kestirim hata kareler toplamını veren modelin bileşen sayısı modelde kalacak ideal bileşen sayısı olarak seçilir.

Temel olarak, ÇG, veriyi bir dizi gruba bölerek, örneğin k tane gruba, genellikle beş ile dokuz arasında değişen sayıda gruba bölerek ve daha sonra silinen gruplardan biri ile azaltılmış verilerden bir dizi paralel model geliştirilerek gerçekleştirilir. $k=n$ olduğunda yani grup sayısı gözlem sayısına eşit olduğunda yöntem birini dışarıda bırakma çapraz geçerlilik (BDBÇG) yöntemi adını almaktadır. Bir model oluşturulduktan sonra silinen veri için, gerçek ve kestirilen Y değerleri arasındaki farklar hesaplanır. Bu farklılıkların karelerinin toplamı tüm paralel modellerden hesaplanıp toplanarak, PRESS değeri (kestirim artık kareler toplamı) elde edilir [15].

Literatürde modelde kalacak ideal bileşen sayısının belirlenmesinde çeşitli ölçütler kullanılmaktadır. Bu ölçütlerden biri Eş. (1)'deki Q_{cum}^2 indeksidir. Bu çalışmada bu ölçüt kullanıldığı için, bu bölümde detaylı olarak incelenecektir. Bu indeks ilk h bileşenin modelin kestirim kalitesine katkısını ölçer. Q_{cum}^2 indeks hesabında yer alan ve Eş. (2)'de gösterilen PRESS ise modelin geçerlilik ve kestirimdeki başarısını ölçen bir ölçüttür [17].

$$Q_{cum(h)}^2 = 1 - \sum_{j=1}^h \frac{PRESS_j}{RESS_{j-1}} \quad (1)$$

$$PRESS_j = \sum_{i=1}^n (y_{j,i} - \hat{y}_{j,-i})^2 \quad (2)$$

PRESS istatistiği ise, h bileşen içeren model için kestirim kareler toplamıdır ve Eş. (2)'de gösterildiği üzere ÇG yöntemini kullanarak hesaplanır. Burada $\hat{y}_{j,-i}$; regresyon parametreleri tahmin edilirken i. gözlemin modelden çıkarıldığı j bileşenli modelden elde edilen i. gözlem için kestirilen y değerini gösterir [17]. PRESS değeri ne kadar küçük ise, modelin kestirim yeteneğinin de daha iyi olacağı kabul edilir. PRESS değerini, BDBÇG yöntemini kullanarak tahmin etmek çok yaygındır. BDBÇG, her seferde bir gözlemi model oluşumundan çıkararak ve bir kez kestirerek çapraz geçerliği yerine getirmektedir. RESS ise h-1 tane bileşen içeren modelin artık kareler toplamıdır. j=1 için

$$RESS_0 = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 = n - 1 \text{ olur [6, 17, 18, 19].}$$

Q^2 indeksi gözlemin hangi sınıfa ait olduğunu gösteren bilinen y ve kestirilen kategorik değişken \hat{y} arasındaki hatanın değerlendirilmesine dayanan bir ölçüttür. Q^2 'nin birikimli değeri Q_{cum}^2 , belirli sayıdaki bileşenli modelin global uyum iyiliğinin ve kestirimdeki yeteneğinin bir göstergesidir. Q_{cum}^2 indeksinin en büyüğünü bulmaya yönelik çaba, en kararlı modeli bulmaya eşdeğerdir. En büyük Q_{cum}^2 indeksini veren “minimum bileşen sayısı”, yani ilave bileşenin daha fazla katkı sağlamadığı durum, ideal bileşen sayısını verir. Modelde kalacak ideal bileşen sayısına karar verirken, Q_{cum}^2 indeksinin yanı sıra R^2X_{cum} ve R^2Y_{cum} indeksleri de dikkate alınır. R^2X_{cum} indeksi bağımsız değişkenler ve ilk h bileşen arasındaki belirtme katsayılarının toplamına eşittir. Bu nedenle, modelin bağımsız değişkenlerine ilişkin ilk h bileşenin açıklama gücünün bir ölçütüdür. R^2Y_{cum} indeksi bağımlı değişkenler ve ilk h bileşen arasındaki belirtme katsayılarının toplamına eşittir. Bu nedenle, modelin bağımlı değişkenlerine ilişkin ilk h bileşenin açıklama gücünün bir ölçütüdür. [6, 20-22]. Bu iki indekse ilişkin formüller Eş. (3) ve Eş. (4)'de verilmiştir. Eş. (3)'deki t_i $n \times i$ boyutlu bileşen vektörü, p_i ise ilgili bileşen vektörüne ilişkin yük vektörüdür. Eş. (4)'deki $\hat{y}_{h,i}$, h bileşenli model için y_i gözleminin kestirim değeridir [20].

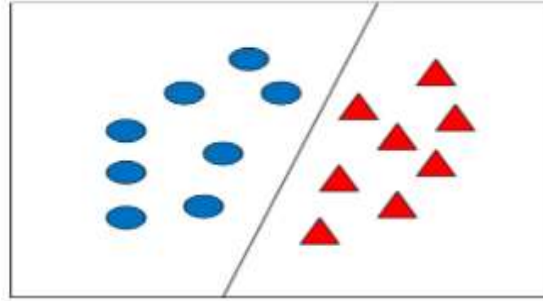
$$RX_h^2 = \frac{\sum_{i=1}^h \|t_i\|^2 \|p_i\|^2}{(n-1)p} \quad (3)$$

$$RY_h^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_{h,i})}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y}_i)^2} \quad (4)$$

3. Kısmi En Küçük Kareler Diskriminant Analizi

KEKKDA bağımlı değişkeninin kategorik olduğu, istatistiksel birimlerin sınıf üyeliklerini açıklayan klasik bir KEKKR'den oluşur. Son yirmi yıl boyunca, KEKKDA yüksek boyutlu veri kümelerini çeşitli amaçlar için modellemede büyük başarı göstermiştir; gıda analizinde ürün doğrulaması, tıbbi tanıda hastalıkların sınıflandırılması ve adli bilimlerde kanıt analizi gibi pek çok alanda uygulamaları mevcuttur. Bahsedilen bilim dallarının yanı sıra kemometrik alanında popüler bir istatistiksel yöntemdir ve omik veri analizinde kullanılması önerilen çok değişkenli bir boyut indirgeme aracıdır. Kemometrik ve omik veri kümeleri büyük hacimli, çok sayıda değişken barındıran, gürültülü ve kayıp veri içeren veri kümeleri olarak tanımlanır. KEKKDA'nın algılanan avantajlarından biri, yüksek derecede ilişkili ve gürültülü verileri analiz etme kabiliyetine sahip olmasıdır. Ayrıca, KEKKDA modelinin kestirim doğruluğunun yanı sıra skorlar ve yük grafikleri gibi çeşitli faydalı istatistikler sağladığı bilinmektedir. KEKKDA'da TBA'nın aksine gözlemlerin hangi sınıfa ait olduğu önceden bilinir. KEKKDA sınıf etiketlerini göz önünde bulundurarak boyut indirgemeyi gerçekleştirmesi bakımından TBA'nın denetimli/güdümlü bir biçimi olarak düşünülebilir [22, 23, 24]. Barker ve Rayens [25] KEKKDA'yı klasik diskriminant analizi ile karşılaştırmış ve KEKKDA'nın klasik yöntemle karşı değişken seçimi ve hata azaltma gibi avantajları olduğunu vurgulamıştır.

KEKKDA, doğrusal iki sınıflı bir sınıflandırıcı olarak kabul edilebilir. Bu açıdan bakıldığında KEKKDA'nın bir amacı da, Şekil 1'de gösterildiği gibi uzayı iki bölgeye bölen düz bir çizgi bulmaktır. Sınıflandırmada kullanılan birçok algoritmanın amacı da bu diskriminatörü/ayırıcıyı/karar fonksiyonunu bulmaktır. Beklendiği üzere ikiden fazla değişken olduğunda çok boyutlu bir uzayda bir hiperdüzlem ile temsil edilir [26].



Şekil 1. İki değişkenle oluşturulmuş iki sınıflı doğrusal diskriminatör

KEKKDA, niceliksel bağımsız değişkenleri kullanarak KEKK algoritması ile gözlemlerin hangi sınıfa ait olduğunu belirler. NIPALS algoritmasına yalnızca bir bağımlı değişkenin bulunduğu durumda ($m=1$) 'PLS1' ve birkaç bağımlı değişkenin bulunduğu durumda 'PLS2' denir. KEKKDA, klasik diskriminant analizinin uygulanmadığı birçok durumda uygulanabilir. Örneğin, gözlem sayısı düşük ve bağımsız değişken sayısı yüksek olduğunda kullanılması uygundur. Kayıp gözlemlerin olduğu durumda eldeki veriye uygulanabilir, bağımsız değişkenler arasında çoklu bağlantının yüksek olduğu durumlarda tercih edilebilir [14, 27, 28].

KEKKDA'da bağımlı değişken kategori sayısı kadar model elde edilebilir. İlgilenilen özellik neyse onu gösteren Y matrisi ya da vektörü eğer iki kategori/sınıf var ise 0 ya da 1 olarak kodlanır ($G=2$). İki den fazla sınıf olduğunda 0 ve 1 kodlamaları yaparak ya da her bir sütununun bir sınıfı temsil ettiği $n \times G$ boyutlu bir matris oluşturularak PLS2 algoritmasını kullanarak kategori sayısı kadar model oluşturulabilir [23].

KEKKDA yöntemi KEKKR yönteminden elde edilir. KEKKDA'da Y bağımlı değişken matrisinin kesikli değerlere sahip olduğu varsayılır. Klasik Çok Değişkenli Regresyon yönteminde model Eş. (5)'deki gibidir. p, bağımsız değişken sayısı; m, bağımlı değişken sayısı ve n, gözlem sayısını gösterebilir. Burada X, n×p boyutlu bağımsız değişkenler matrisi, B ise p×m boyutlu regresyon katsayılar matrisi, F n×m boyutlu hata matrisi ve Y n×m boyutlu bağımlı değişken matrisidir. Bu yöntemde, en küçük kareler ile B katsayılar matrisi Eş. (6)'daki gibi elde edilir [15].

$$Y = XB + F \quad (5)$$

$$B = (X'X)^{-1} X'Y \quad (6)$$

Birçok durumda problem X'X matrisinin tekil olmasıdır. Örneğin, veride çoklubağlantı sorunu olduğunda ya da bağımsız değişken sayısı gözlem sayısından fazla olduğunda, p>>n karşılaşılan bir durumdur. KEKKR ve KEKKDA'nın her ikisi de X veri matrisini h tane dik skor T'ye (n×h) ve yükler matrisi P'ye (p×h) ve bağımlı değişken matrisi Y'yi h tane dik skor T'ye (n×h) ve yükler matrisi Q'ya (m×h) ayırır. E ve F ise, sırasıyla X veri matrisi ve Y bağımlı değişken matrisine ilişkin n×p ve n×m boyutlu hata matrisleridir. Buna göre, KEKKDA'da Eş. (7) ve Eş. (8)'de gösterildiği üzere iki temel model vardır [15, 29-31]:

$$X = TP' + E \quad (7)$$

$$Y = TQ' + F \quad (8)$$

p×h boyutlu ağırlık matrisi W tanımlanırsa, skor/bileşen/gizli değişken matrisi Eş.(9)'daki gibi yazılır. Bu eşitlik KEKKDA modelinde yerine koyulduğunda Eş. (10) elde edilir. Bu denklemdeki p×m boyutlu KEKKDA katsayılar matrisi B ise Eş. (11)'deki gibi elde edilebilir [15, 29, 31]:

$$T = XW(P'W)^{-1} \quad (9)$$

$$Y = XW(P'W)^{-1} Q' + F \quad (10)$$

$$\hat{B} = W(P'W)^{-1} Q' \quad (11)$$

Buna göre Y'nin bilinmeyen örneklem değeri $\hat{Y} = X\hat{B}$ ile yani $\hat{Y} = XW(P'W)^{-1} Q'$ şeklinde kestirilebilir [15].

KEKK algoritmasının ayırt edici sınıflandırma problemleriyle başa çıkabilmesi için, gözlemin ait olduğu sınıfla ilgili bilginin Y bağımlı değişkeninde kodlanması gerekir. Daha sonra, kestirim modelini elde etmek için X matrisinden Y değişkeni kestirilir [32]. Bunun için Y, gözlem sayısı kadar satıra (n) ve sınıf sayısı kadar sütuna (G) sahip olan bir "kukla" ikili matris olarak tanımlanır. Y'deki her satır; karşılık gelen gözlemin ait olduğu sınıf bilgisini kodlayan bir vektördür, ancak her sütun belirli bir sınıfla ilişkilidir. Örneğin sınıf sayısı G olarak düşünüldüğünde ilk sütun 1. sınıfla, ikinci sütun 2. sınıfla ilişkilidir ve bu şekilde G. sınıfa kadar devam eder. Bu nedenle, belirli bir gözleme karşılık gelen satır vektörü, ait olduğu sınıfa ait sütun da 1 diğer tüm sütunlarda 0 değerini içerecektir. Örneğin, üç kategorili bir durumda, ikinci sınıfa ait bir gözlem $y_i = [0 \ 1 \ 0]$ vektörü ile temsil edilir. Daha sonra, X veri matrisi ve yapay Y arasında bir KEKKR modeli hesaplanır ve elde edilen regresyon katsayılar matrisi yeni gözlemler için bağımlı değişken değerini kestirmek için kullanılır. Bağımlı değişken kategorik bilgilerle ilişkilendirildiğinden,

gözlemlerin sınıflandırılması kestirilen bağımlı değişken değerlerine (\hat{Y}_{yeni}) dayanır. Ancak bu y değerleri ikili değil, gerçek değerlidir. Literatürde bu \hat{Y}_{yeni} değerlerine dayalı olarak KEKKDA'da nasıl sınıflandırılma yapılacağını belirlemek için farklı yaklaşımlar önerilmiştir.

KEKKDA'da gözlemleri ait oldukları sınıfa atamak için kullanılan yöntemlerden biri hesaplanan diskriminant fonksiyonlarını kullanarak atama yapmaktır. Bu çalışmada kullanılan XLSTAT programı Microsoft Excel kullanarak analizleri yapan ve sonuçları veren bir programdır. Bu program, bu yöntemi kullanarak gözlemleri ait oldukları sınıflara atamaktadır. Bu diskriminant fonksiyonlar doğrusaldır. Gözlem, en yüksek değerli sınıflandırma fonksiyonunu içeren kategoriye atanır. G, Y bağımlı değişkeninin kategori sayısı olsun. Her bir kategori için a_1, \dots, a_G modelin denklemi Eş. (12)'de olduğu gibi elde edilir [14, 28].

$$F(y_i, a_G) = b_0 + \sum_{j=1}^p b_j x_{ij} \quad (12)$$

a_G bağımlı nitel değişkenin kategorisidir. b_0, a_G ile ilişkili modelin kesim noktası, p bağımsız değişkenlerin sayısını ve b_i aynı modelin katsayılarıdır. Eğer, $G^* = \arg \max_G F(y_i, a_G)$ sağlanır ise, i. gözlem, G. sınıfına atanır [14, 28].

4. Bulgular ve Tartışma

Bu uygulamada, Asya ülkelerindeki beklenen yaşam süreleri verisi kullanılarak sosyoekonomik değişkenlerden hangisi ya da hangilerinin ülkelerin beklenen yaşam sürelerinin belirlenmesinde etkin olduğu bulunmaya çalışılmıştır. Ayrıca KEKKDA'nın sınıflandırma performansının analiz edilmesi amaçlanmıştır. Veri kümesi 2015 yılı için hazırlanan Dünya Nüfusu Veri Sayfası'ndan elde edilmiştir. İncelenen yıl için Asya genelinde beklenen yaşam süresi 72 yıldır. Bu nedenle, çalışmada “<72 yaş BY” ve “≥72 yaş BY” iki kategori olarak elde edilmiştir. Çalışmada kullanılan ve beklenen yaşam süresini belirlemede etkili olduğu düşünülen değişkenler [1] ile [5] çalışmalarından yola çıkılarak belirlenmiştir. Bu değişkenler aşağıda açıklanmıştır.

Değişkenler:

BY: Beklenen Yaşam Süresi (Yaş)

KY: Kentsel Yüzde (%)

MD: Modern Doğum Kontrolü Kullanan Evli Kadınlar (%)

KBG: Kişi Başına Gayri Safi Milli Gelir (\$)

NY: Nüfus Yoğunluğu (Tarıma Elverişli Arazinin km²'si Başına Düşen Kişi Sayısı)

BÖO: Bebek Ölüm Oranı (1000 Canlı Doğumdaki Ölü Bebek Sayısı)

TDO: Toplam Doğurganlık Oranı (Ömrü Boyunca Bir Kadının Doğurduğu Ortalama Çocuk Sayısı)

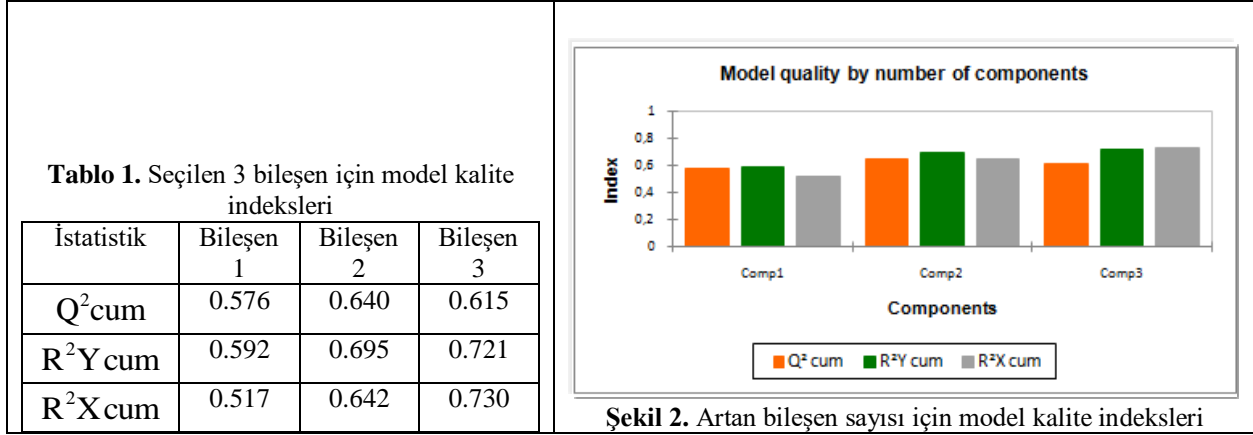
BN: Bağımlı Nüfus (15 yaşından küçük ve 65 yaşından büyük nüfus toplamı, %)

NBD: 1000 Nüfus Başına Doğumlar (Doğum Sayısı)

NBÖ: 1000 Nüfus Başına Ölümler (Ölüm Sayısı)

Veride kayıp gözlemler olduğu için KEKKDA yöntemi sınıflandırma için tercih edilir. Kayıp gözlemler, NIPALS algoritmasını kullanarak XLSTAT programında tahmin edilir. Daha sonra, yukarıda söz edilen üç indeks kullanılarak modelde kalacak ideal bileşen sayısı seçilir. Tablo 1'de kalite indeksleri verilmektedir. Burada kalite, bileşenlerin indekslere birikimli katkısına karşılık gelir. KEKK yöntemi otomatik olarak modelde kalacak bileşen sayısını üç olarak seçmiştir. Üç bileşenli model için Q²cum, R²Ycum ve R²Xcum değerleri sırasıyla 0.615, 0.721 ve 0.730 olarak elde edilir. Buna göre, KEKK kullanılarak elde edilen üç bileşenin hem X'leri hem de Y'yi iyi özetlediği söylenebilir.

Şekil 2’de gösterildiği üzere bir çubuk grafiği de elde edilmiştir. Bu grafikten, modeldeki bileşen sayısı arttıkça bu üç indeksin değişimi görülmektedir. Şekil 2 incelendiğinde, bileşen sayısı arttıkça R^2Y_{cum} ve R^2X_{cum} indekslerinin mutlaka arttığı ancak Q^2_{cum} indeksi için bu durumun geçerli olmadığı görülmektedir. Q^2_{cum} en iyi kestirim modelini elde etmek için kullanılır ve 1’e yakın olması istenir. Q^2_{cum} indeksi üç bileşenden sonra azalma eğiliminde olduğundan ve üç bileşenli model hem X’leri hem de Y’yi iyi özetlediğinden, model için en uygun bileşen sayısı 3 olarak seçilmiştir. Modeldeki ideal bileşen sayısı seçildikten sonra üç bileşenli model için sonuçlar yorumlanır.



Tablo 2'deki standartlaştırılmış katsayılar (beta katsayıları) tablosu, modeldeki değişkenlerin göreceli ağırlığının karşılaştırılmasını sağlar. KEKKR’de güven aralıklarını hesaplarken klasik en küçük kareler regresyonunda kullanılan normallik hipotezlerini temel alan klasik formüller geçerli değildir. Güven aralıklarını tahmin ederken bir bootsrap yöntemi kullanılır. Tablo 2’de verilen standartlaştırılmış katsayılar için güven aralığı 0 değerini içeriyorsa, modeldeki değişkeninin katsayısı anlamlı değildir. Bu sonuçlara göre, Bebek Ölüm Oranı’nın Asya ülkelerinin yaşam beklentilerini belirleyen en önemli değişken olduğu görülmektedir. Bu değişkenin modele olan katkısı istatistiksel olarak anlamlı olduğu için ve mutlak değerce en büyük katsayıya da sahip olduğundan, Bebek Ölüm Oranı modele katkısı en fazla olan ve tek değişkendir. Modeldeki diğer değişkenlerin, istatistiksel olarak modele anlamlı bir katkısı bulunamamıştır.

Tablo 2. Modelin standart katsayıları.

| Değişken | Katsayı | Standart Hata | Alt Sınır (%95) | Üst Sınır (%95) |
|------------|--------------|---------------|-----------------|-----------------|
| KY | -0.267 | 0.193 | -0.655 | 0.121 |
| MD | 0.087 | 0.139 | -0.192 | 0.367 |
| KBG | 0.050 | 0.110 | -0.171 | 0.272 |
| NY | -0.002 | 0.118 | -0.238 | 0.235 |
| BÖO | 0.521 | 0.169 | 0.181 | 0.861 |
| TDO | 0.057 | 0.158 | -0.261 | 0.375 |
| BN | -0.012 | 0.138 | -0.289 | 0.264 |
| NBD | 0.216 | 0.127 | -0.038 | 0.470 |
| NBÖ | -0.043 | 0.173 | -0.389 | 0.304 |

Kısmi En Küçük Kareler Diskriminant Analizi Özel Sonuçları Tablo 3 ve Tablo 5’de görülür:

- **Sınıflandırma Fonksiyonları:** Çeşitli bağımsız değişkenlere ilişkin değerleri kullanarak, bu fonksiyon bir gözlemin hangi sınıfa atanacağını belirlemek için kullanılır. Bu fonksiyonlar

doğrusaldır. $F(y_i, a_G) = b_0 + \sum_{j=1}^p b_j x_{ij}$ denkleminde gösterildiği üzere, gözlem en yüksek sınıflandırma fonksiyon (F) değerinin olduğu sınıfına atanır.

- **Önsel ve Sonsal Sınıflandırma ve Skorlar:** Bu tablo, bağımlı değişken tarafından tanımlanan her bir gözlemin ait olduğu sınıfı gösterir. Gözlemlerin hangi sınıfa ait olduğu bağımlı değişkenin her bir kategorisi için hesaplanan üyelik olasılıkları ve sınıflandırma fonksiyon skorları ile belirlenir.
- **Tahmin Örnekleme için Hata Matrisi:** Hata matrisi, önsel ve sonsal sınıflandırmaların tümünden elde edilip, tüm doğru sınıflandırılan gözlemlerin yüzdesini gösterir. Hata matrisi, gözlemlerin yeniden sınıflandırılma özetini verir ve toplam gözlem sayısı üzerinden iyi sınıflandırılmış gözlemlerin yüzdesini görülmelerini sağlar.

KEKKDA'nın Asya ülkelerini beklenen yaşam süreleri bakımından ayırt etme konusundaki performansı, Tablo 3'de gösterildiği gibi hata matrisi ile değerlendirilir. Hata matrisi, bir sınıflandırma işleminin tahmini sonuçlarının özetidir. Her sınıfa ait doğru ve yanlış tahminlerin özetini sunar. Tablo 3'deki, % 96.08'lik doğru sınıflandırma yüzdesinden de görüldüğü üzere 51 Asya ülkesinden 49'u doğru bir şekilde sınıflandırılmıştır. Bu sonuç, Tablo 5'te verilen Kestirilen (BY) sütunu incelenerek de kolayca doğrulanabilir. Suriye ve Moğolistan hariç tüm ülkelerin önceden tanımlanmış sınıflarına (<72 yaş BY veya ≥72 yaş BY) doğru bir şekilde sınıflandırıldığı görülmektedir. Bu iki ülke de “<72 yaş BY” sınıfındayken analiz sonucunda “≥72 yaş BY” sınıfına atanmıştır. Ancak bu iki ülke için elde edilen $P(<72 \text{ yaş BY})$ ve $P(\geq 72 \text{ yaş BY})$ olasılıklarına baktığımızda çok büyük bir fark olmadığını da söyleyebiliriz. Görüldüğü üzere, KEKKDA çok yüksek bir doğru sınıflandırma yüzdesi vermiştir.

Tablo 3. KEKKDA'nın hata matrisi

| den/ye karşı | <72 yaş BY | ≥72 yaş BY | Toplam | % Doğruluk |
|--------------|------------|------------|--------|------------|
| <72 yaş BY | 19 | 2 | 21 | % 90.48 |
| ≥72 yaş BY | 0 | 30 | 30 | % 100.00 |
| Toplam | 19 | 32 | 51 | %96.08 |

Bir sınıflandırma modelinin test edilmesi sonucu dört farklı çıktı elde edilir. Bu çıktılar [33, 34];

- True Positive (TP): Doğru pozitif tahminlerin sayısı.
- False Positive (FP): Yanlış pozitif tahminlerin sayısı.
- True Negative (TN): Doğru negatif tahminlerin sayısı.
- False Negative (FN): Yanlış negatif tahminlerin sayısı

Bu çıktılardan yola çıkılarak sınıflandırma sonuçları aşağıdaki gibi de sunulabilir. Bu sonuçlardan yararlanarak KEKKDA modelinin sınıflandırma performansını daha sağlıklı bir şekilde ölçmek için duyarlılık ve özgüllük gibi ölçütler hesaplanır.

| | Tahmin Edilen Değer | | |
|--------------|----------------------|----------------------|-------|
| | <72 yaş BY (Pozitif) | ≥72 yaş BY (Negatif) | |
| Gerçek Değer | <72 yaş BY (Pozitif) | TP=19 | FN=2 |
| | ≥72 yaş BY (Negatif) | FP=0 | TN=30 |

Toplam Doğruluk: Doğru tahminlerin sayısının, veri kümesindeki tüm gözlemlerin sayısına bölümünden elde edilir. $\text{Doğruluk} = \frac{TP + TN}{TP + FP + TN + FN} = \frac{49}{51} = 0.96$. Modelin doğruluğu, gözlemlerin ait olduğu sınıfa doğru atanma oranıdır. Bu ölçüte ilişkin sonuçlar Tablo 4'te tekrar sunulmuştur.

Duyarlılık: Doğru pozitif tahminlerin sayısının, veri kümesindeki tüm gerçek pozitif gözlemlerin sayısına bölümünden elde edilir. $Duyarlılık = \frac{TP}{TP + FN} = \frac{19}{21} = 0.90$ ile “<72 yaş BY” sınıfının duyarlılığı hesaplanmış olur. Bir sınıfın duyarlılığı, modelin gözlemi ait olduğu sınıfa doğru atama yeteneğini gösterir. Örneğin “<72 yaş BY” sınıfına ait gözlemlerden hiçbiri “≥72 yaş BY” sınıfına atanmamış olsaydı FN=0 olurdu ve “<72 yaş BY” sınıfı için duyarlılık 1’e eşit çıkardı. Ancak, çalışmamızda FN=2 olduğu için duyarlılık 1’den küçük çıkmıştır.

Özgüllük: Doğru negatif tahminlerin sayısının, veri kümesindeki tüm gerçek negatif gözlemlerin sayısına bölümünden elde edilir. $Özgüllük = \frac{TN}{TN + FP} = \frac{30}{30} = 1$ ile “<72 yaş BY” sınıfının özgüllüğü hesaplanmış olur. Özgüllük, geliştirilen modelin diğer tüm sınıfların gözlemlerini reddetme yeteneğini gösterir. Örneğin “≥72 yaş BY” sınıfına ait gözlemlerden hiçbiri “<72 yaş BY” sınıfına atanmadığı için FP=0 olur ve “<72 yaş BY” sınıfı için özgüllük 1’e eşit çıkar.

Sadece iki sınıflı model durumunda sınıfların duyarlılığı ve özgüllüğü simetriktir. Örneğin, bir sınıfın duyarlılığı diğer sınıfın özgüllüğüne eşittir ve bu ifadenin tam tersi de geçerlidir. Sınıf doğruluk, duyarlılık ve özgüllük değerleri 0 ile 1 arasında değer alır ve herhangi bir sınıfa atanamayan gözlemler hesaplamalara dahil edilmemektedir [33, 34].

Tablo 4’te KEKKDA modeline ilişkin sınıflandırma performansını değerlendirmek için ilgili ölçütler sunulmuştur.

Tablo 4. Sınıflandırma performansı değerlendirme ölçütleri

| | Duyarlılık | Özgüllük | Doğruluk |
|------------|-------------------|-----------------|-----------------|
| <72 yaş BY | 0.90 | 1 | 0.90 |
| ≥72 yaş BY | 1 | 0.90 | 1 |

Duyarlılık ve özgüllük doğru sınıflandırma değerlerini gösterdiklerinden, sınıflandırma analizi için önemli istatistikler olup bu değerlerin olabildiğince 1’e yakın olması istenmektedir. Tablo 4’e bakıldığında bu değerlerin yüksek olduğu görülmektedir. Bu durum, kurulan KEKKDA modelinin sınıflandırmadaki başarısını göstermektedir.

Tablo 5. Önsel ve sonsal sınıflandırma ve skorları (değişken BY)

| Ülkeler | BY | Kestirilen (BY) | F(<72yaşBY) | F(≥72yaşBY) | P(<72yaşBY) | P(≥72yaşBY) |
|---------------------------|----------------------|------------------------|-----------------------|--------------------|-----------------------|--------------------|
| Ermenistan | ≥72 yaş BY | ≥72 yaş BY | 0.019 | 0.981 | 0.277 | 0.723 |
| Azerbaycan | ≥72 yaş BY | ≥72 yaş BY | 0.184 | 0.816 | 0.347 | 0.653 |
| Bahreyn | ≥72 yaş BY | ≥72 yaş BY | -0.049 | 1.049 | 0.250 | 0.750 |
| Kıbrıs | ≥72 yaş BY | ≥72 yaş BY | 0.004 | 0.996 | 0.271 | 0.729 |
| Gürcistan | ≥72 yaş BY | ≥72 yaş BY | 0.077 | 0.923 | 0.300 | 0.700 |
| Irak | <72 yaş BY | <72 yaş BY | 0.735 | 0.265 | 0.615 | 0.385 |
| İsrail | ≥72 yaş BY | ≥72 yaş BY | 0.041 | 0.959 | 0.285 | 0.715 |
| Ürdün | ≥72 yaş BY | ≥72 yaş BY | 0.344 | 0.656 | 0.423 | 0.577 |
| Kuveyt | ≥72 yaş BY | ≥72 yaş BY | 0.055 | 0.945 | 0.291 | 0.709 |
| Lübnan | ≥72 yaş BY | ≥72 yaş BY | -0.038 | 1.038 | 0.254 | 0.746 |
| Umman | ≥72 yaş BY | ≥72 yaş BY | 0.170 | 0.830 | 0.341 | 0.659 |
| Filistin Toprakları | ≥72 yaş BY | ≥72 yaş BY | 0.448 | 0.552 | 0.474 | 0.526 |
| Katar | ≥72 yaş BY | ≥72 yaş BY | -0.007 | 1.007 | 0.266 | 0.734 |
| Suudi Arabistan | ≥72 yaş BY | ≥72 yaş BY | 0.269 | 0.731 | 0.386 | 0.614 |
| Suriye | <72 yaş BY | ≥72 yaş BY | 0.382 | 0.618 | 0.441 | 0.559 |
| Türkiye | ≥72 yaş BY | ≥72 yaş BY | 0.131 | 0.869 | 0.323 | 0.677 |
| Birleşik Arap Emirlikleri | ≥72 yaş BY | ≥72 yaş BY | 0.011 | 0.989 | 0.273 | 0.727 |

| | | | | | | |
|-------------------------------------|------------|------------|--------|--------|-------|-------|
| Yemen | <72 yaş BY | <72 yaş BY | 0.998 | 0.002 | 0.730 | 0.270 |
| Kazakistan | <72 yaş BY | <72 yaş BY | 0.566 | 0.434 | 0.533 | 0.467 |
| Kırgızistan | <72 yaş BY | <72 yaş BY | 0.676 | 0.324 | 0.587 | 0.413 |
| Tacikistan | <72 yaş BY | <72 yaş BY | 0.974 | 0.026 | 0.721 | 0.279 |
| Türkmenistan | <72 yaş BY | <72 yaş BY | 0.770 | 0.230 | 0.632 | 0.368 |
| Özbekistan | <72 yaş BY | <72 yaş BY | 0.821 | 0.179 | 0.655 | 0.345 |
| Afganistan | <72 yaş BY | <72 yaş BY | 1.454 | -0.454 | 0.871 | 0.129 |
| Bangladeş | <72 yaş BY | <72 yaş BY | 0.813 | 0.187 | 0.652 | 0.348 |
| Bhutan | <72 yaş BY | <72 yaş BY | 0.844 | 0.156 | 0.665 | 0.335 |
| Hindistan | <72 yaş BY | <72 yaş BY | 0.813 | 0.187 | 0.652 | 0.348 |
| İran | ≥72 yaş BY | ≥72 yaş BY | 0.266 | 0.734 | 0.385 | 0.615 |
| Maldivler | ≥72 yaş BY | ≥72 yaş BY | 0.314 | 0.686 | 0.408 | 0.592 |
| Nepal | <72 yaş BY | <72 yaş BY | 0.777 | 0.223 | 0.635 | 0.365 |
| Pakistan | <72 yaş BY | <72 yaş BY | 1.261 | -0.261 | 0.821 | 0.179 |
| Sri Lanka | ≥72 yaş BY | ≥72 yaş BY | 0.429 | 0.571 | 0.465 | 0.535 |
| Brunei | ≥72 yaş BY | ≥72 yaş BY | 0.082 | 0.918 | 0.302 | 0.698 |
| Kamboçya | <72 yaş BY | <72 yaş BY | 0.725 | 0.275 | 0.611 | 0.389 |
| Endonezya | <72 yaş BY | <72 yaş BY | 0.598 | 0.402 | 0.549 | 0.451 |
| Laos | <72 yaş BY | <72 yaş BY | 1.231 | -0.231 | 0.812 | 0.188 |
| Malezya | ≥72 yaş BY | ≥72 yaş BY | 0.056 | 0.944 | 0.292 | 0.708 |
| Myanmar | <72 yaş BY | <72 yaş BY | 1.009 | -0.009 | 0.735 | 0.265 |
| Filipinler | <72 yaş BY | <72 yaş BY | 0.528 | 0.472 | 0.514 | 0.486 |
| Singapur | ≥72 yaş BY | ≥72 yaş BY | -0.168 | 1.168 | 0.208 | 0.792 |
| Tayland | ≥72 yaş BY | ≥72 yaş BY | 0.229 | 0.771 | 0.368 | 0.632 |
| Timor Leste | <72 yaş BY | <72 yaş BY | 1.086 | -0.086 | 0.764 | 0.236 |
| Vietnam | ≥72 yaş BY | ≥72 yaş BY | 0.430 | 0.570 | 0.465 | 0.535 |
| Çin | ≥72 yaş BY | ≥72 yaş BY | 0.241 | 0.759 | 0.373 | 0.627 |
| Çin, Hong Kong Özel Yönetim Bölgesi | ≥72 yaş BY | ≥72 yaş BY | -0.169 | 1.169 | 0.208 | 0.792 |
| Çin, Makao. Özel Yönetim Bölgesi | ≥72 yaş BY | ≥72 yaş BY | 0.056 | 0.944 | 0.292 | 0.708 |
| Japonya | ≥72 yaş BY | ≥72 yaş BY | -0.273 | 1.273 | 0.176 | 0.824 |
| Kuzey Kore | ≥72 yaş BY | ≥72 yaş BY | 0.364 | 0.636 | 0.432 | 0.568 |
| Güney Kore | ≥72 yaş BY | ≥72 yaş BY | -0.076 | 1.076 | 0.240 | 0.760 |
| Moğolistan | <72 yaş BY | ≥72 yaş BY | 0.491 | 0.509 | 0.496 | 0.504 |
| Tayvan | ≥72 yaş BY | ≥72 yaş BY | 0.007 | 0.993 | 0.272 | 0.728 |

5. Sonuçlar

Bu çalışmada, klasik diskriminant analizinin uygulanması için gereken varsayımları gerektirmeyen ve kimya biliminde yapılan uygulamalarda yaygın bir şekilde kullanılan ancak son yıllarda ekonomi ve sosyal bilim alanlarında da tercih edilmeye başlayan KEKKDA yöntemi ile Asya ülkelerine ilişkin veriler kullanılarak bir sınıflandırma çalışması yapılmıştır. KEKKDA'nın sonucu olarak, 3 bileşenli model ile 51 Asya ülkesinin % 96.08'nin yani 49 tanesinin beklenen yaşam süreleri bakımından doğru sınıflandırıldığı görülmüştür. Sadece Suriye ve Moğolistan ülkeleri ait oldukları sınıfa düşmemiştir. Yöntem yüksek bir sınıflandırma başarısı göstermiştir.

Asya ülkelerinin beklenen yaşam sürelerine göre sınıflandırılmasında tek ve en önemli/etkili değişkenin ise Bebek Ölüm Oranı olduğu görülmüştür. Buna göre, Suriye'de son birkaç yıldır süren savaşın ve göçün etkisiyle ülkede bu değişken için sağlıklı verilerin toplanmasındaki engellerin varlığı ve Moğolistan'da ise son yıllarda bebek ölüm oranlarında yaşanan düşüşlerin, bu iki ülkenin beklenen yaşam süresi bakımından yüksek olan gruba düşmesine yol açtığını düşündürmektedir. Asya ülkelerindeki

ortalama beklenen yaşam süresini uzatmak için politikacıların özellikle bebek ölüm oranlarını düşürmeye yönelik politikalar geliştirmeleri, yatırımları sağlık alanına yönlendirmeleri önemlidir.

Yazarların Katkısı

Yazarların makaleye katkısı eşittir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada, araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar

- [1] Ali M., Ali M. 2015. Discriminant Analysis of Socioeconomic Factors of Life Expectancy at Birth in Asia. *Science International (Lahore)*, 27 (5): 3971-3975.
- [2] Dowd K., Blake D., Cairns A.J.G. 2010. Facing up to Uncertain Life Expectancy: The Longevity Fan Charts, *Demography*, 47(1): 67-78.
- [3] Wagstaff A. 2000. Socioeconomic Inequalities in Child Mortality: Comparisons Across Nine Developing Countries. *Bulletin of the World Health Organization*, 78: 19-29.
- [4] Sastry N. 2004. Trends in Socioeconomic Inequalities in Mortality in Developing Countries: The Case of Child Survival in Sao Paulo, Brazil, *Demography*, 41(3): 443-464.
- [5] Sufian A.J.M. 2013. Life Expectancy and Its Socioeconomic Determinants-A Discriminant Analysis of National Level Data. *International Journal of Humanities and Social Science, Special Issue 3 (12)*: 303-312.
- [6] Polat E. 2009. Kısmi En Küçük Kareler Regresyonu. Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 170s, Ankara.
- [7] Kemalbay G., Korkmazoglu Ö.B. 2012. Econometrics Application of Partial Least Squares Regression: An Endogeneous Growth Model for Turkey. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 62: 906-910.
- [8] Kemalbay G., Korkmazoglu Ö.B. 2012. Effects of Multicollinearity on Electricity Consumption Forecasting using Partial Least Squares Regression. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 62: 1150-1154.
- [9] Ümit A.Ö., Bulut E. 2013. Türkiye’de İşsizliği Etkileyen Faktörlerin Kısmi En Küçük Kareler Regresyon Yöntemi ile Analizi: 2005-2010 Dönemi. *Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 37: 131-142.
- [10] Serrano-Cinca C., Gutiérrez-Nieto B. 2013. Partial Least Square Discriminant Analysis for Bankruptcy Prediction. *Decision Support Systems*, 54: 1245-1255.
- [11] Sawatsky M.L., Clyde M., Mee F. 2015. Partial Least Squares Regression in the Social Sciences. *The Quantitative Methods for Psychology*, 11 (2): 52-62.
- [12] Sghaier A., Jabeur S.B., Bannour B. 2018. Using Partial Least Square Discriminant Analysis to Distinguish Between Islamic and Conventional Banks in the MENA Region. *Rev Financ Econ.*, 36: 133-148.
- [13] Yoon J., Klasen S. 2018. An Application of Partial Least Squares to the Construction of the Social Institutions and Gender Index (SIGI) and the Corruption Perception Index (CPI). *Soc Indic Res*, 138: 61-88.
- [14] Polat E. 2018. Determination of the Effective Economic and/or Demographic Indicators in Classification of European Union Member and Candidate Countries Using Partial Least Squares Discriminant Analysis. *Journal of Data Science*, 16 (1): 79-92.

- [15] Fordellone M., Bellincontro A., Mencarelli F. 2018. Partial Least Squares Discriminant Analysis: A Dimensionality Reduction Method to Classify Hyperspectral Data. <https://arxiv.org/pdf/1806.09347.pdf> (Erişim Tarihi: 07.10.2019)
- [16] Wiklund S., Nilsson D., Eriksson L., Sjöström M., Wold S., Faber K. 2007. A Randomization Test for PLS Component Selection. *Journal of Chemometrics*, 21: 427-439.
- [17] Pérez-Enciso M., Tenenhaus M. 2003. Prediction of Clinical Outcome with Microarray Data: A Partial Least Squares Discriminant Analysis (PLS-DA) Approach. *Human Genetics*, 112: 581-592.
- [18] Polat E., Gunay S. 2009. Kısmi En Küçük Kareler ve Bir Uygulama. VI. İstatistik Günleri Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 437-444.
- [19] Tenenhaus M. 1998. *La Régression PLS Théorie et Pratique*. Editions Technip. 27, Rue Ginoux 75737, Paris Cedex 1.
- [20] Goyal M.K., Ojha C.S.P. 2010. Application of PLS-Regression as Downscaling Tool for Pichola Lake Basin in India. *International Journal of Geosciences*, 1: 51-57.
- [21] Ibrahim M.A.M. 2009. Comparison Between Different Procedures to Determine the Relative Importance of the Lifetime Performance Traits in Predicting Breeding Values of Holstein Cows. *Egyptian Journal of Animal Production*, 46 (2): 93-102.
- [22] Rohman A., Lumakso F.A., Riyanto S. 2016. Use of Partial Least Square Discriminant Analysis Combined with Mid Infrared Spectroscopy for Avocado Oil Authentication. *Research Journal of Medicinal Plants*, 10 (2): 175-180.
- [23] Almeida M.R., Correa D.N., Rocha W.F.C., Scafi F.J.O. 2013. Discrimination Between Authentic and Counterfeit Banknotes Using Ramanspectroscopy and PLS-DA with Uncertainty Estimation. *Microchemical Journal*, 109: 170-177.
- [24] Ruiz-Perez D., Narasimha G. 2018. So you think you can PLS-DA? IEEE 8th International Conference on Computational Advances in Bio and Medical Sciences (ICCABS), 18-20 October, Las Vegas, NV, USA. <https://www.biorxiv.org/content/biorxiv/early/2018/01/15/207225.full.pdf> (Erişim Tarihi: 07.10.2019)
- [25] Barker M., Rayens W.S. 2003. Partial Least Squares for Discrimination. *Journal of Chemometrics*, 17: 166-173.
- [26] Brereton R.G., Lloyd G.R. 2014. Partial Least Squares Discriminant Analysis: Taking the Magic Away. *Journal of Chemometrics*, 28: 213-225.
- [27] Partial Least Squares Discriminant Analysis PLSDA Tutorial. 2018. https://help.xlstat.com/customer/en/portal/articles/2062368-partial-least-squares-discriminant-analysis-plsda-tutorial?b_id=9283 (Erişim Tarihi: 18.09.2019)
- [28] Xlstat, 2018. Paris, France. <https://help.xlstat.com/customer/en/portal/articles/2178395-download-the-xlstat-help-documentation> (Erişim Tarihi: 18.09.2019)
- [29] Polat E., Gunay S. 2015. The Comparison of Partial Least Squares Regression, Principal Component Regression and Ridge Regression with Multiple Linear Regression for Predicting PM10 Concentration Level Based on Meteorological Parameters. *Journal of Data Science*, 13 (2): 663-692.
- [30] Rosipal R., Krämer N. 2006. Overview and Recent Advances in Partial Least Squares, in *Subspace, Latent Structure and Feature Selection*. Edited by Saunders C., Grobelnik M., Gunn S. & Taylor J.S., Springer: Berlin, 34-51.
- [31] Wold S., Sjöström M., Eriksson L. 2001. PLS-Regression: A Basic Tool of Chemometrics. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 58: 109-130.
- [32] Sjöström M., Wold S., Söderström B. 1986. PLS Discriminant Plots, in *Pattern Recognition in Practice*. Ed: Gelsema E.S., Kanal L.N. (Amsterdam: Elsevier), 461-470.
- [33] Ballabio D., Consonni V. 2013. Classification Tools in Chemistry. Part 1: Linear Models. PLS-DA, *Analytical Methods*, 5: 3790-3798.
- [34] Aliakbarzadeh G., Parastar H., Sereshti H. 2016. Classification of Gas Chromatographic Fingerprints of Saffron Using Partial Least Squares Discriminant Analysis Together with Different Variable Selection Methods. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 158: 165-173.

Araştırma Makalesi / Research Article

A Morphological and Stereological Study on Cervical Spinal Cord of One and Five Months Age Male Rat

Mesude CANDAN¹, Gamze ÇAKMAK^{2*}

¹*District Education and Research Hospital, Van, Turkey*

²*Department of Anatomy, Faculty Veterinary Medicine, University of Van Yuzuncu Yil, Van, Turkey
(ORCID: 0000-0002-1250-2150) (ORCID: 0000-0002-3970-3040)*

Abstract

In this study volume density of gray and white matter of cervical segments of spinal cords of rats were investigated using stereological method. Twelve male Wistar albino rats were used in the study as two different age groups 1 month and 5 months. All animals were fixed by perfusing 10% buffered formalin. Rats were dissected and spinal cords of rats were removed. In the study cervical segments of 1 and 5 months age rats were obtained. One of the first 15 section were selected randomly when the sections were taken. And following every 50th section was determined by systematic random sampling. Thus, 8-10 sections of 5µm thickness were obtained from cervical segments of each animal's medulla spinalis. These sections were stained by hemotoxylin eosin and they were photographed at microscope. Densities of volumes of all tissue of cervical segments of whole spinal cord and white and gray matters were calculated using dotted area ruler by Cavalieri Principle. SHTEREOM 1.5 package programme was used for counting dotted area. In addition, the volume vales of total cervical segment, volume values of the white matter and the gray matter and the ratios of these volume values to each other were evaluated in the study.

Keywords: Volume, spinal cord, rat, cervical segment, stereology.

Bir Aylık ve Beş Aylık Erkek Ratlarda Medulla Spinalis'in Servikal Segmenti Üzerine Yapılan Morfolojik ve Stereolojik Bir Çalışma

Öz

Bu çalışmada ratlarda medulla spinalis'in servikal bölümünün ak ve gri madde ve tüm dokunun hacim yoğunlukları stereolojik yöntem kullanılarak araştırıldı. Materyal olarak 1 aylık ve 5 aylık olmak üzere iki farklı yaş grubundan altışar adet erkek Wistar Albino ırkı ratlar kullanıldı. Materyaller % 10'luk tamponlu formaldehitte perfüze edilerek tespit edildi. Daha sonra ratlar diseke edildi ve medulla spinalis'leri açığa çıkarıldı. Çalışmada 1 aylık ve 5 aylık ratların medulla spinalis'lerinin cervical bölümlerinden segmentler elde edildi. Kesitler alınırken ilk 15 kesit arasından rasgele bir tanesi seçildi. Onu takip eden her 50.kesit sistematik rasgele örnekleme yöntemiyle belirlendi. Böylelikle bir hayvanın medulla spinalis'inin cervical segment'inden 5µm kalınlığında 8-10 kesit alındı. Bu kesitler hematoksilen eosin boyama tekniği ile boyanarak mikroskop altında fotoğraflandı. Cavalieri Prensibi kullanılarak noktalı alan cetveli sayesinde medulla spinalis'in cervical bölümünün her bir segmentinde tüm dokunun, ak madde ve gri madde kısımlarının hacim yoğunlukları hesaplandı. Noktalı alan sayımı için SHTEREOM 1.5 paket programı kullanıldı. Ayrıca çalışmada cervical segmentin tüm hacminin, ak madde ve gri madde hacim değerleri ve bu hacim değerlerinin birbirlerine oranları hesaplanarak değerlendirildi.

Anahtar Kelimeler: Hacim, medulla spinalis, rat, servikal segment, stereoloji.

*Corresponding author: vetgamze@hotmail.com

Received: 10.12.2019, Accepted: 27.12.2019

1. Introduction

1.1. Rat

Rats, generally being active at nights, are the mostly preferred animal group in biomedical studies because they easily adapt to laboratory setting where they live in, are easy to raise, can be reproduced into a large number in a short time, and have small physical structures [1, 2].

1.2. Spine

Spine is a multifunctional organ that has support and motional function, also undertakes the duty to protect spinal cord found in it and spinal roots separating from spinal cord [3, 4]. The spine starts with atlas, which is the first cervical vertebrae, and continues until the last sacral vertebrae. It is studied under five different parts. These parts are cervical, thoracic, lumbar, sacral, and caudal parts [5-7].

1.3. Spinal cord (SC)

The part of central nervous system in vertebral canal is spinal cord [8]. The spinal cord originates from spinal cord bulb at the level of foramen magnum without showing a macroscopic borderline and terminates with conus medullaris [6]. Even though spinal cord is cylindrical, this cylindrical structure can not maintain this shape throughout its all length. It has two distinct extensions in two separate regions including lumbar and cervical parts [3, 7]. Cervical enlargement is an extension in cervical region, lumbar enlargement is an extension region in lumbar part [7]. Cervical enlargement forms by involvement of C6-7-8 and T1-2 segments in all domestic mammals (except for pig), C5-6-7-8 and T1 in human and pork [6]. The spinal cord is divided into five parts including cervical, thoracic, lumbar, sacral, and caudal parts [3].

1.4. White and Grey Matters

Two areas, grey and white matter, are distinguished from cross section surfaces of spinal cord. While grey matter (GM) is the central part of spinal cord and is the butterfly or H-like here, white matter (WM) is located outside grey matter and surrounds it and appears in lighter color [3, 9]. The grey matter is centrally located in spinal cord. Its all sides is surrounded by white matter central canal is located in the middle of grey matter. This canal proceeding along the length of spinal cord terminates by opening to back to end of fourth ventricle [10]. The white matter generates outer part of spinal cord. It appears white due to excessive myelinated fibers. It is composed of a great number of glial cells [3, 10].

1.5. Stereology

Stereology is a discipline which is open to interpretation about concrete three dimensional characteristics of three dimensional objects thanks to data obtained from their two dimensional cross section images or projections (volume, length, area, particle number, etc.) as well as including a chain of objective methods [11, 12]. One of essential conditions required to increase reliability of data in biological studies conducted is to correctly carry out the sampling stage. Sequential random sampling method is implemented separately in every stage of stereological study including sampling of the tissue which is planned to studied (tissue sampling), histological cross sectioning (section sampling), and examination of these cross sections under microscope (area sampling) [13-17]. Owing to stereological studies, quality and accuracy of numerical measurements can be observed by calculating coefficient of error (CE) [18]. Gundersen et al. [19] reported that a CE value around 5% and lower is sufficient for reliable results of a stereological study.

1.6. Cavalieri's Principle

Significant numeric values which are used frequently consist of volume of an organ, volumes of different components belonging to an organ, and also volume ratios of these components to one another or the

whole structure [15, 20]. For calculating total volume of objects the Cavalieri principle is usually used in stereology [14, 15, 21]. Mathematical equation used in the calculation is stated as follows [15, 21, 22].

V_{ref} : Total or reference volume of the structure studied

$\sum a_i$: Total surface area of projection or total projections of the cross section number

\bar{t} : Mean thickness of cross section or slice

Total volume can be achieved by the equation $V_{ref} = \sum a_i \bar{t}$. In the study applying these procedures, total volume of the studied structure is found to be effective and objective [13, 20, 23].

2. Materials and Methods

2.1. Animals

By Van Yuzuncu Yil University Animal Researches Local Ethic Committee the final report of the research project detailed above was approved in the session held on 12/26/2017 (decision number 2016/09). Healty young male Wistar Albino rats that had a weight of 50-60 gr and were 1 month old and healty adult male Wistar Albino rats that had a weight of 150-200 gr and were 5 month old were used in the study. 50 mg/kg ketalar was administered i.p to ensure deep anesthesia in animals [24]. 0.5 cc heparin was injected to ventriculus sinister while hearts of rats were beating under anesthesia. The right ventricle of heart was also cut to let the blood stream out. 0.9% physiological saline solution was administered as intracardiac through a cannula simultaneously until the blood running out from right ventricle became clear (for 5 minutes). Animals were ensured to be fixed by administering formalin with 10% buffer for 10 minutes using the same method. Rats were dissected after perfusion and fixation processes.

2.2. Dissection and removal of spinal cord

Soft tissues around spine of rats were removed by using clamp, scalpel, surgical scissors, and micro-scissors. Separate tissues were obtained from each spinal cord's cervical segment of all animals (Figure 1, Figure 2). Tissue processing procedure was then applied to these tissues [25].



Figure 1. Dissection of cervical segment of rat (5-month-old)



Figure 2. Dissection of cervical segment of rat (1-month-old)

2.3. Method of Sampling

A preliminary study was carried out to determine the number of animals and cross sections, and sampling before starting the study. It is reported in existing studies that each group needs to consist of minimum 5 animals to obtain coefficient of error which is approximately 0.05 in stereological studies to be conducted [11]. Pilot study revealed that the number of animals and cross sections numbers, and sampling method were convenient. Segments were removed from spinal cord's cervical parts of 5-month old and 1-month-old rats for the preliminary study. Tissue samples were taken from these segments. Cross sections having a thickness of $5\mu\text{m}$ were obtained from the cervical segment tissue samples. Averagely 8-10 cross sections were taken from spinal cord's cervical segment of every animal. Section sampling was organized to perform randomly and systematically at the ratio of 1/50 by starting from a random one among the first 15 cross tissue sections. Every 50th cross section were taken following. Sampled cross sections were then included in the study. Cross section processes by microtome were continued based on sampling rates and method in the pilot study after histological processing for spinal cord of rats. To obtain cross sections in the number determined in the preliminary study, cross sections were taken separately from each of cervical spinal segments blocked by being embedded into paraffin. Hematoxylin-eosin staining method were used to stain the cross sections obtained from tissues [25] (Figure 4, Figure 5). Since the spinal cord is a considerably little structure, there was no need for stereological stepping. Pointed area and after that area volume were calculated by numeric aperture (NA)=0.25, objective x 4 magnification. For this calculation Shtereom 1.5 software was used (Figure 3). The Cavalieri's principle was utilized for the calculation in the program [14, 26]. Total spinal cord volume, the total volume of grey matter, and volume of the white matter of the 8 segments generating the cervical part of spinal cord were calculated in the present study.

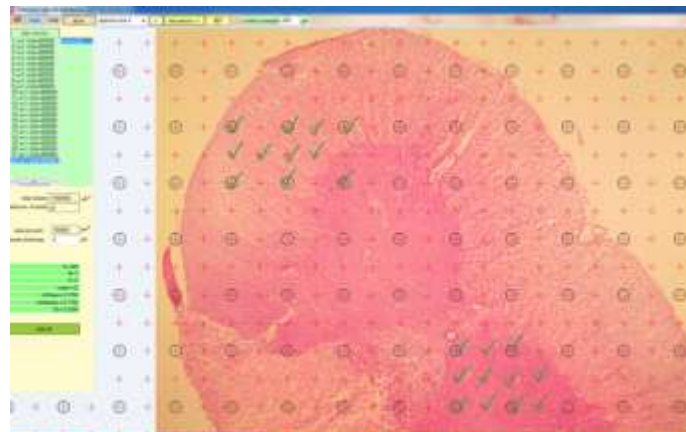


Figure 3. Shtereom 1.5 packaged software

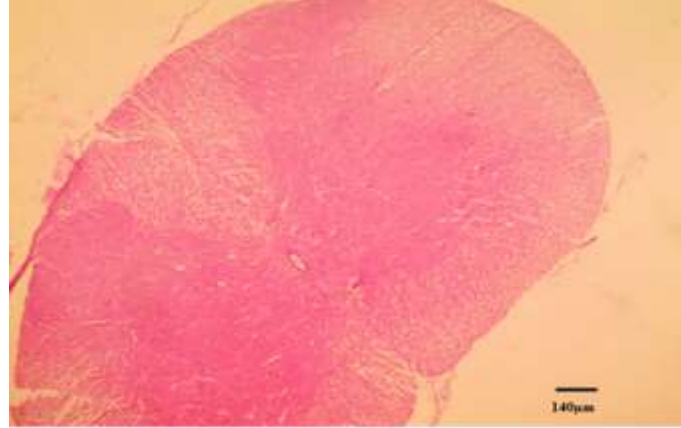


Figure 4. Tissue specimen of cervical segment of 1-month old rat X4 objective magnification (Hematoxylin eosine)

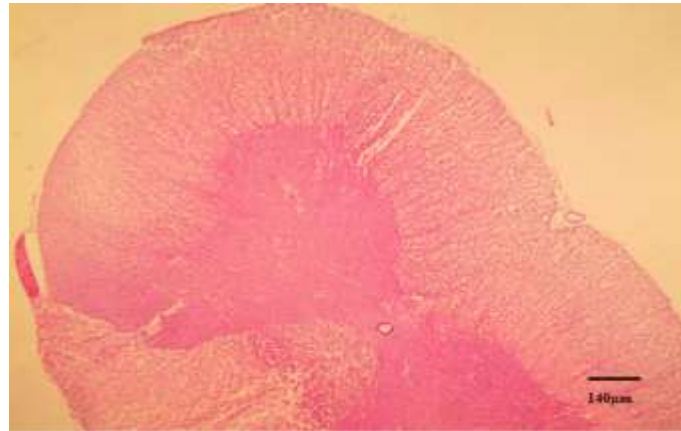


Figure 5. Tissue specimen of cervical segment of 5-month-old rat X4 objective magnification (Hematoxylin eosine)

2.4. Equation of volume density

Volume ratio of white matter in every segment: The number of points corresponding to white matter/the number of points corresponding to the whole cervical segment

Equation of total volume: Volume data of 8 segments were added together for total volume of segments.

Equation for volume of cervical segment: Volume ratio X reference volume of cervical segment

Equation for reference volume of cervical segment: Inter-section distance X actual area of the point X the number of points

The equation below was used for calculating volume of relevant structures in the study.

$$\text{Volume (V)} = \sum Pi \cdot a/p \cdot (K\ddot{O}O) \cdot (A\ddot{O}O) \cdot \bar{t}$$

$\sum Pi$: Total number of points

a/p : Area represented by single point

K $\ddot{O}O$: Cross section sampling ratio

A $\ddot{O}O$: Step sampling ratio

t : Mean thickness of cross section

3. Results

All volume, volume values of the grey and white matter of spinal cord's cervical segments of six 1-month-old male rats and six 5-month-old male rats, as well as ratios of GM volume to WM volume, ratios of WM volume to all volume measurements of cervical segment, and ratios of GM volume to all volume measurements of cervical segment were separately in this study. As 1-month old male rats were evaluated in terms of the overall volume as a result of the calculations, all volume values of cervical

segment of C1 were observed to be higher than all other segments. C4 value was determined to be 2.102 mm³. The lowest cervical segment volume value belonged to C8 which was found to be 1.067 mm³ (Table 1). The highest mean volume from white matter measurements of cervical segment of 1-month male rats shown in Table 2 was 1.018 mm³ which belonged to the segment C1. The highest volume of white matter was 1,009 mm³, which belonged to segment C4, as well. As grey matter values of one month-old male rats were examined, it was remarkable that volume measurements of segments C1 and C4 were higher than volume results of other segments. This value was calculated to be 0.851 mm³ for segment C1. C8 was the segment with the lowest volume in grey matter, which was found to be 0.393 mm³ (Table 2). When ratios of grey matter volume measurements of cervical segment to volume values of white matter for one-month old male rats were examined in Table 2, the highest mean ratio was determined in segment C4 as 0.85. The lowest grey matter/white matter ratio was established in segment C8 with 0.64. When examining ratio of white matter volume values to volume results of whole spine in cervical segment in one-month old male rats, it was revealed that the highest ratio was 0.60 and determined in segment C8. The lowest ratio of volume was identified in segment C1 with 0.42 (Table 1). When examining the ratio of volume value of grey matter to spinal cord volume value in Table 1, it was seen that the highest value was 0.43 and belonged to segment C7. The lowest GM /WM ratio was 0.33 and regarded to segment C2.

Table 1. Volume values of the cervical (C) spinal cord of 1-month-old male rats (Q) (VVSC) (mm³), Volume ratios of the white matter/the spinal cord in the cervical spinal segments of 1-month-old male rats (WM/SC) (%), Volume ratios of the gray matter/the spinal cord in the cervical spinal segments of 1-month-old male rats (GM/SC) (%)

| | | Number of Animal | | | | | | MEANS | |
|-------------------|----|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | R1 | R2 | R3 | R4 | R5 | R6 | | |
| Number of Segment | C1 | VVSC | 2.138 | 2.238 | 3.646 | 2.378 | 3.204 | 1.388 | 2.498 |
| | | WM/SC | 0.390 | 0.370 | 0.350 | 0.350 | 0.610 | 0.480 | 0.420 |
| | | GM/SC | 0.330 | 0.330 | 0.330 | 0.390 | 0.250 | 0.480 | 0.350 |
| | C2 | VVSC | 2.192 | 1.785 | 2.017 | 2.240 | 1.732 | 2.840 | 2.134 |
| | | WM/SC | 0.470 | 0.480 | 0.350 | 0.570 | 0.430 | 0.330 | 0.430 |
| | | GM/SC | 0.290 | 0.340 | 0.330 | 0.260 | 0.440 | 0.350 | 0.330 |
| | C3 | VVSC | 2.006 | 1.861 | 2.426 | 2.783 | 1.529 | 1.608 | 2.035 |
| | | WM/SC | 0.450 | 0.460 | 0.340 | 0.630 | 0.600 | 0.310 | 0.460 |
| | | GM/SC | 0.340 | 0.360 | 0.250 | 0.290 | 0.470 | 0.480 | 0.360 |
| | C4 | VVSC | 2.247 | 1.755 | 2.713 | 2.595 | 1.647 | 1.660 | 2.102 |
| | | WM/SC | 0.380 | 0.300 | 0.310 | 0.650 | 0.740 | 0.570 | 0.490 |
| | | GM/SC | 0.320 | 0.410 | 0.300 | 0.280 | 0.500 | 0.490 | 0.380 |
| | C5 | VVSC | 2.080 | 2.100 | 3.079 | 2.697 | 1.192 | 1.205 | 2.058 |
| | | WM/SC | 0.310 | 0.400 | 0.300 | 0.750 | 0.640 | 0.510 | 0.480 |
| | | GM/SC | 0.270 | 0.390 | 0.260 | 0.250 | 0.450 | 0.470 | 0.340 |
| | C6 | VVSC | 1.800 | 1.676 | 2.317 | 2.026 | 1.700 | 0.974 | 1.748 |
| | | WM/SC | 0.450 | 0.380 | 0.310 | 0.690 | 0.690 | 0.410 | 0.480 |
| | | GM/SC | 0.360 | 0.330 | 0.330 | 0.380 | 0.340 | 0.480 | 0.370 |
| | C7 | VVSC | 0.700 | 1.156 | 1.618 | 1.313 | 2.128 | 0.971 | 1.314 |
| | | WM/SC | 0.690 | 0.440 | 0.340 | 0.520 | 0.730 | 0.510 | 0.530 |
| | | GM/SC | 0.780 | 0.360 | 0.270 | 0.330 | 0.370 | 0.490 | 0.430 |
| | C8 | VVSC | 1.163 | 0.917 | 1.421 | 1.236 | 0.863 | 0.803 | 1.067 |
| | | WM/SC | 0.550 | 0.450 | 0.400 | 0.770 | 0.860 | 0.570 | 0.600 |
| | | GM/SC | 0.360 | 0.390 | 0.290 | 0.280 | 0.460 | 0.500 | 0.380 |

When whole spinal cord's mean volume values in cervical segments of 5-month old male rats were viewed, it was seen that the highest volume was 2.565 mm³ and regarded to segment C1. The lowest value belonged to segment C8 and was 1.566. (Table 3). In Table 4, examination of white matter values of 5-month-old male rats revealed that the highest mean volume value was 1.248 mm³ and belonged to segment C2. The lowest volume value was calculated as 0.866 mm³ and belonged to segment C8. When examining the volume values of the grey matter determined in cervical segment of 5-month old male rats (Table 4), it was observed that volume value of segment C1 was 0.714 mm³. The lowest value of the volume was 0.349 mm³ and belonged to segment C8. While the highest GM /WM volume ratio in 5-month old male rats was 0.62 for segment C3, the lowest mean GM /WM volume ratio was 0.33 for segment C8 (Table 4). When WM/SC volume ratios were examined in Table 3, it was revealed that the highest mean WM/SC value was 0.55 and this value was determined in both segment

C6 and segment C8. The lowest mean WM/SC value belonged to C5 segment and determined to be 0.45. When the ratio of volume of the grey matter to volume of whole spinal cord in 5 month-old male rats was evaluated, the highest volume ratio belonged to segment C3 and this value was determined to be 0,30. The lowest volume ratio was determined in segment C8 with 0.21 (Table 3).

Table 2. Volume values of the white matter of the cervical (C) spinal cord of 1-month-old male rats (Q) (VVWM) (mm³), Volume values of the gray matter of the cervical spinal segments of 1-month-old male rats (VVGGM) (mm³), Volume ratios of the gray matter/the white matter in the cervical spinal segments of 1-month-old male rats (GM/WM) (%)

| | | | Number of Animal | | | | | | MEANS |
|-------------------|----|-------|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | | R1 | R2 | R3 | R4 | R5 | R6 | |
| Number of Segment | C1 | VVWM | 0.848 | 0.832 | 1.296 | 1.145 | 1.133 | 0.858 | 1.018 |
| | | VVGGM | 0.720 | 0.741 | 1.213 | 0.940 | 0.823 | 0.669 | 0.851 |
| | | GM/WM | 0.840 | 0.890 | 0.930 | 0.820 | 0.720 | 0.770 | 0.820 |
| | C2 | VVWM | 1.050 | 0.859 | 0.709 | 0.743 | 1.004 | 1.232 | 0.932 |
| | | VVGGM | 0.653 | 0.619 | 0.676 | 0.600 | 0.766 | 1.015 | 0.721 |
| | | GM/WM | 0.620 | 0.720 | 0.950 | 0.800 | 0.760 | 0.820 | 0.770 |
| | C3 | VVWM | 0.914 | 0.864 | 0.840 | 0.865 | 0.976 | 0.972 | 0.905 |
| | | VVGGM | 0.697 | 0.672 | 0.622 | 0.816 | 0.728 | 0.775 | 0.718 |
| | | GM/WM | 0.760 | 0.770 | 0.740 | 0.940 | 0.740 | 0.790 | 0.790 |
| | C4 | VVWM | 0.856 | 0.537 | 0.856 | 1.501 | 1.076 | 1.232 | 1.009 |
| | | VVGGM | 0.735 | 0.737 | 0.836 | 0.738 | 0.835 | 0.828 | 0.784 |
| | | GM/WM | 0.850 | 1.370 | 0.970 | 0.490 | 0.770 | 0.670 | 0.850 |
| | C5 | VVWM | 0.654 | 0.846 | 0.943 | 1.389 | 0.900 | 0.782 | 0.919 |
| | | VVGGM | 0.568 | 0.837 | 0.829 | 0.695 | 0.545 | 0.572 | 0.674 |
| | | GM/WM | 0.860 | 0.980 | 0.870 | 0.500 | 0.600 | 0.730 | 0.750 |
| | C6 | VVWM | 0.813 | 0.646 | 0.738 | 0.835 | 1.180 | 0.683 | 0.815 |
| | | VVGGM | 0.654 | 0.568 | 0.765 | 0.776 | 0.580 | 0.476 | 0.636 |
| | | GM/WM | 0.800 | 0.870 | 1.030 | 0.930 | 0.490 | 0.690 | 0.800 |
| | C7 | VVWM | 0.488 | 0.511 | 0.560 | 0.674 | 1.118 | 0.716 | 0.677 |
| | | VVGGM | 0.548 | 0.421 | 0.445 | 0.434 | 0.802 | 0.481 | 0.521 |
| | | GM/WM | 1.120 | 0.820 | 0.790 | 0.640 | 0.710 | 0.670 | 0.690 |
| | C8 | VVWM | 0.644 | 0.414 | 0.580 | 0.712 | 0.668 | 0.694 | 0.618 |
| | | VVGGM | 0.428 | 0.362 | 0.415 | 0.347 | 0.400 | 0.409 | 0.393 |
| | | GM/WM | 0.660 | 0.870 | 0.710 | 0.480 | 0.590 | 0.580 | 0.640 |

Table 3. Volume values of the cervical (C) spinal cord of 5-month-old rats (Q) (VVSC) (mm³), Volume ratios of the white matter/the spinal cord in the cervical spinal segments of 5-month-old rats (WM/SC) (%), Volume ratios of the gray matter/the spinal cord in the cervical spinal segments of 5-month-old rats (GM/SC) (%)

| | | | Number of Animal | | | | | | MEANS |
|-------------------|----|-------|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | | R1 | R2 | R3 | R4 | R5 | R6 | |
| Number of Segment | C1 | VVSC | 2.584 | 2.853 | 2.240 | 2.665 | 2.527 | 2.522 | 2.565 |
| | | WM/SC | 0.560 | 0.440 | 0.450 | 0.430 | 0.480 | 0.480 | 0.470 |
| | | GM/SC | 0.300 | 0.230 | 0.390 | 0.310 | 0.220 | 0.220 | 0.270 |
| | C2 | VVSC | 2.360 | 2.812 | 2.048 | 2.652 | 2.812 | 2.221 | 2.484 |
| | | WM/SC | 0.590 | 0.440 | 0.570 | 0.460 | 0.420 | 0.560 | 0.500 |
| | | GM/SC | 0.270 | 0.220 | 0.350 | 0.250 | 0.220 | 0.180 | 0.240 |
| | C3 | VVSC | 3.085 | 3.560 | 2.086 | 2.566 | 2.175 | 1.644 | 2.519 |
| | | WM/SC | 0.420 | 0.460 | 0.570 | 0.440 | 0.360 | 0.700 | 0.490 |
| | | GM/SC | 0.230 | 0.250 | 0.330 | 0.240 | 0.330 | 0.440 | 0.300 |
| | C4 | VVSC | 2.944 | 2.932 | 2.100 | 2.536 | 2.347 | 1.932 | 2.465 |
| | | WM/SC | 0.500 | 0.420 | 0.510 | 0.410 | 0.480 | 0.610 | 0.480 |
| | | GM/SC | 0.260 | 0.250 | 0.330 | 0.280 | 0.220 | 0.280 | 0.270 |
| | C5 | VVSC | 2.928 | 2.829 | 2.628 | 2.444 | 1.978 | 1.575 | 2.397 |
| | | WM/SC | 0.400 | 0.390 | 0.390 | 0.430 | 0.450 | 0.650 | 0.450 |
| | | GM/SC | 0.220 | 0.230 | 0.260 | 0.330 | 0.180 | 0.260 | 0.240 |
| | C6 | VVSC | 3.032 | 2.606 | 2.648 | 2.639 | 1.400 | 1.041 | 2.233 |
| | | WM/SC | 0.450 | 0.410 | 0.440 | 0.450 | 0.560 | 1.020 | 0.550 |
| | | GM/SC | 0.230 | 0.230 | 0.240 | 0.260 | 0.240 | 0.330 | 0.250 |
| | C7 | VVSC | 2.048 | 1.486 | 2.220 | 2.197 | 1.784 | 1.364 | 1.849 |
| | | WM/SC | 0.490 | 0.600 | 0.520 | 0.370 | 0.530 | 0.670 | 0.530 |
| | | GM/SC | 0.160 | 0.270 | 0.340 | 0.330 | 0.180 | 0.250 | 0.250 |
| | C8 | VVSC | 1.578 | 1.546 | 1.587 | 1.580 | 1.752 | 1.357 | 1.566 |
| | | WM/SC | 0.500 | 0.660 | 0.520 | 0.520 | 0.480 | 0.630 | 0.550 |
| | | GM/SC | 0.220 | 0.230 | 0.200 | 0.200 | 0.200 | 0.250 | 0.210 |

Table 4. Volume values of the white matter of the cervical (C) spinal cord of 5-month-old rats (Q) (VVWM) (mm³), Volume values of the gray matter of the cervical spinal segments of 5-month-old rats (VVGGM) (mm³), Volume ratios of the gray matter/the white matter in the cervical spinal segments of 5-month-old rats (GM/WM) (%)

| | | Number of Animal | | | | | | MEANS | |
|-------------------|----|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | R1 | R2 | R3 | R4 | R5 | R6 | | |
| Number of Segment | C1 | VVWM | 1.471 | 1.265 | 1.023 | 1.156 | 1.215 | 1.146 | 1.212 |
| | | VVGGM | 0.777 | 0.670 | 0.880 | 0.839 | 0.575 | 0.555 | 0.714 |
| | | GM/WM | 0.520 | 0.520 | 0.710 | 0.720 | 0.500 | 0.450 | 0.570 |
| | C2 | VVWM | 1.401 | 1.247 | 1.179 | 1.240 | 1.205 | 1.219 | 1.248 |
| | | VVGGM | 0.510 | 0.643 | 0.724 | 0.669 | 0.621 | 0.409 | 0.619 |
| | | GM/WM | 0.460 | 0.510 | 0.610 | 0.530 | 0.500 | 0.320 | 0.480 |
| | C3 | VVWM | 1.305 | 1.673 | 1.201 | 1.152 | 0.803 | 0.790 | 1.154 |
| | | VVGGM | 0.710 | 0.901 | 0.704 | 0.627 | 0.723 | 0.725 | 0.731 |
| | | GM/WM | 0.540 | 0.530 | 0.580 | 0.540 | 0.910 | 0.620 | 0.620 |
| | C4 | VVWM | 1.475 | 1.235 | 1.075 | 1.065 | 1.133 | 1.135 | 1.186 |
| | | VVGGM | 0.766 | 0.738 | 0.708 | 0.712 | 0.530 | 0.551 | 0.677 |
| | | GM/WM | 0.510 | 0.590 | 0.650 | 0.660 | 0.460 | 0.460 | 0.550 |
| | C5 | VVWM | 1.187 | 1.108 | 1.049 | 1.062 | 0.896 | 0.890 | 1.032 |
| | | VVGGM | 0.665 | 0.656 | 0.702 | 0.813 | 0.364 | 0.420 | 0.603 |
| | | GM/WM | 0.560 | 0.500 | 0.660 | 0.810 | 0.400 | 0.400 | 0.570 |
| | C6 | VVWM | 1.369 | 1.078 | 1.188 | 1.205 | 0.788 | 0.760 | 1.064 |
| | | VVGGM | 0.711 | 0.608 | 0.664 | 0.696 | 0.339 | 0.349 | 0.561 |
| | | GM/WM | 0.510 | 0.590 | 0.540 | 0.570 | 0.440 | 0.320 | 0.490 |
| | C7 | VVWM | 1.004 | 0.895 | 0.836 | 0.833 | 0.961 | 0.964 | 0.915 |
| | | VVGGM | 0.341 | 0.408 | 0.765 | 0.745 | 0.336 | 0.354 | 0.491 |
| | | GM/WM | 0.330 | 0.570 | 0.910 | 0.890 | 0.340 | 0.380 | 0.560 |
| | C8 | VVWM | 0.789 | 1.024 | 0.837 | 0.824 | 0.849 | 0.877 | 0.866 |
| | | VVGGM | 0.362 | 0.371 | 0.327 | 0.328 | 0.357 | 0.352 | 0.349 |
| | | GM/WM | 0.450 | 0.360 | 0.390 | 0.390 | 0.400 | 0.400 | 0.330 |

Cervical part of columnna vertebralis in 1-month and 5-month-old male rats consisted of 7 vertebrae. In addition, 8 cervical segments were determined. Volume value increased for segments C2, C3, C4, and C5 when volume of whole cervical segment was evaluated in 1-month-old male rats. Volume value was also higher for segments C2, C3, C4, and C5 when evaluating the volume of cervical segment's grey matter in 1-month-old male rats. As volume value of white matter of cervical segment in 1-month-old male rats was evaluated, the highest values were determined in segments C2, C3, C4, and C5. Thus, segments C2, C3, C4, and C5 were considered to create the extension region called as cervical enlargement. When evaluating the volume of whole cervical segment in 5 month-old male rats, this value was observed mostly in segments C3, C4, C5, C6, and C7. Examination of white matter volume value of 5-month-old male rats revealed that values of C2, C3, C4, C5, C6 were higher compared to the other segments. Values of segments C3, C4, C5, and C6 were determined to be higher when examining grey matter in terms of the volume value. In the present study, this extension peaked at segment C3 in 5-month-old male rats, there was a considerable decrease in volume after segments C4, C5. Segments C3, C4, C5, and C6 were considered to create cervical enlargement in 5-month-old male rats. As mean volume was calculated for whole cervical segment in 5-month-old male rats in this study, the obtained value was about 2.259 mm³. A mean volume value of about 1.615mm³ was obtained from the calculation of the mean of all cervical segment volume values in 1-month-old male rats. When arithmetic mean of all volume values of cervical segments in 5-month and 1-month-old male rats was compared, volume values were determined to be lower for 1-month-old rats. Segment C4 was the one where volume value of grey matter was the highest in 1-month-old male rats. When it was compared with all volume values, it was determined that segments C2 and C4 had the highest total volume. When comparing white matter volume value with all volume values, it was determined that segments C2 and C4 had the highest volume. In terms of overall volume values, the white matter volume and the volume of grey matter, the highest value in C2, C3, C4, and C5 segments, where cervical extension took place, was in parallel to each other. The highest grey matter value belonged to segments C1, C3 and C4 in 5-month male rats. The highest white matter value belonged to segments C1, C2, and C4. Overall volume was determined to be the highest in segments C2, C3, and C4. Segments with increased the volume of white and grey matter, overall volume volumes were in parallel with each other.

3.1. Statistical Analysis

When all spinal cord volume values were investigated, it was seen that there was not any statistical differences between 1-month and 5-month-old rats in terms of all segments studied (except for C8); whereas, there was a numeric increase. When examining segments in 1-month-old rats, the highest value belonged to segment C1 and the value of segment decreased as the order of segment increased (except for C3, C5) ($P<0.01$). The lowest value was determined in segment C8. As segments of 5-month-old rats were investigated, it was determined that the highest value was for C1 segment and segment value decreased as the order of segment increased (except for C3) ($P<0.01$). There was not any statistical differences among segments C1-6, C4-7, and C7-8 (Table 5).

Table 5. Measured values at 1 st and 5 th months for all segmental volume at male rats

| Segments | 1. month | 5. month | Sig. |
|----------|---------------------------|---------------------------|------|
| C1 | 2.499±0.330 ^a | 2.565±0.082 ^a | - |
| C2 | 2.134±0.164 ^{ab} | 2.484±0.131 ^a | - |
| C3 | 2.036±0.198 ^{ab} | 2.519±0.287 ^a | - |
| C4 | 2.103±0.197 ^{ab} | 2.465±0.172 ^{ab} | - |
| C5 | 2.059±0.313 ^{ab} | 2.397±0.214 ^{ab} | - |
| C6 | 1.749±0.184 ^{bc} | 2.234±0.330 ^{ab} | - |
| C7 | 1.314±0.206 ^{cd} | 1.850±0.149 ^{bc} | - |
| C8 | 1.067±0.099 ^d | 1.567±0.051 ^c | * |
| Sig. | ** | ** | |

-: Insignificant, *: $P<0.05$, **: $P<0.01$

a, b, c, d: The difference between the averages expressed in different letters in the same column is significant

It was observed that there was no statistical difference in all segments (except for C8) between 1-month and 5-month-old rats studied in terms of the volume values of WM. On the other hand, there was a numeric increase. When segments of 1-month-old rats were determined, that was seen the highest value was belonged to segment C1 and the segment value decreased as the order of segment increased (except for C4) ($P<0.05$). The lowest value was determined to be in segment C8. As segments of 5-month-old rats were examined in terms of WM volume values, the highest value belonged to segment C2. Segment value decreased as the order of segments increased (C4 and C6) ($P<0.01$). (Table 6).

Table 6. Measured values at 1st and 5th months of white matter volume in male rats

| Segments | 1. month | 5. month | Sig. |
|----------|---------------------------|---------------------------|------|
| C1 | 1.019±0.081 ^a | 1.213±0.061 ^a | - |
| C2 | 0.933±0.082 ^{ab} | 1.249±0.032 ^a | ** |
| C3 | 0.905±0.024 ^{ab} | 1.154±0.135 ^a | - |
| C4 | 1.010±0.137 ^a | 1.186±0.063 ^a | - |
| C5 | 0.919±0.103 ^{ab} | 1.032±0.048 ^{ab} | - |
| C6 | 0.816±0.079 ^{ab} | 1.065±0.100 ^{ab} | - |
| C7 | 0.678±0.095 ^{bc} | 0.916±0.029 ^b | * |
| C8 | 0.619±0.045 ^c | 0.867±0.034 ^b | ** |
| Sig. | * | ** | |

-: Insignificant, *: $P<0.05$, **: $P<0.01$

a, b, c: The difference between the averages expressed in different letters in the same column is significant

There was no statistical difference between 1-month and 5-month-old rats in all segments (except for C8) studied in terms of GM volume values; besides, a numeric decrease (except for segment C3) was determined. In 1-month and 5-month-old rats, the difference between segments C4 and C8 and other segments was significant, respectively ($P<0.05$).

When segments of 1-month-old rats were investigated, the highest value was determined for segment C1 and segment value decreased as the order of segment increased (except for segment C4) ($P<0.001$). In addition, while there was not any statistical differences among the segments C1-C4, it was different from others; while there was not any statistical differences among the C2-C7 segments, it was different from others; and the lowest value was belonged to segment C8.

When segments of 5-month-old rats were examined within themselves, it was determined that the highest value belonged to segment C3 and segment value decreased as the number of segment increased (except for segment C3) ($P < 0.001$). Also, there was not any statistical changes between the C1-6, C2-7, and C7-8 segments (Table 7).

Table 7. The grey matter values were measured at 1 and 5 months in male rats

| Segments | 1. month | 5. month | Sig. |
|----------|---------------------------|---------------------------|------|
| C1 | 0.851±0.082 ^a | 0.716±0.056 ^a | - |
| C2 | 0.722±0.063 ^{ab} | 0.620±0.044 ^{ab} | - |
| C3 | 0.718±0.029 ^{ab} | 0.732±0.037 ^a | - |
| C4 | 0.785±0.022 ^{ab} | 0.668±0.041 ^{ab} | * |
| C5 | 0.674±0.055 ^{bc} | 0.603±0.071 ^{ab} | - |
| C6 | 0.637±0.048 ^{bc} | 0.561±0.070 ^{ab} | - |
| C7 | 0.522±0.059 ^{cd} | 0.492±0.084 ^{bc} | - |
| C8 | 0.394±0.013 ^d | 0.350±0.007 ^c | * |
| Sig. | *** | *** | |

-: Insignificant, *: $P < 0.05$, ***: $P < 0.001$

a, b, c, d: The difference between the averages expressed in different letters in the same column is significant

GM/SC volume ratios were determined to be statistically insignificant between 1-month and 5-month-old rats in terms of all segments studied, except for segments C1, C2, and C8 ($P < 0.01$). As GM/SC volume ratios were evaluated within themselves for segments of 1-month-old rats, the difference between segments was revealed to be insignificant.

When GM/SC volume ratios for segments of 5-month-old rats were examined statistically, the difference between segments was determined to be insignificant (Table 8).

Table 8. GM/SC ratio is the volume measurements at 1 and 5 months in male rats

| Segments | 1. month | 5. month | Sig. |
|----------|-------------|-------------|------|
| C1 | 0.352±0.031 | 0.473±0.019 | ** |
| C2 | 0.335±0.025 | 0.507±0.031 | ** |
| C3 | 0.365±0.038 | 0.492±0.050 | - |
| C4 | 0.383±0.040 | 0.488±0.030 | - |
| C5 | 0.348±0.041 | 0.452±0.041 | - |
| C6 | 0.370±0.023 | 0.555±0.095 | - |
| C7 | 0.433±0.075 | 0.530±0.042 | - |
| C8 | 0.380±0.036 | 0.552±0.030 | ** |
| Sig. | - | - | |

-: Insignificant, **: $P < 0.01$

The difference between segments was revealed to be statistically insignificant as WM/SC volume ratios were evaluated for 1-month and 5-month-old rats (Table 9).

Table 9. WM/SC ratio is the volume measurements at 1 and 5 months in male rats

| Segments | 1. month | 5. month | Sig. |
|----------|-------------|-------------|------|
| C1 | 0.425±0.042 | 0.473±0.019 | - |
| C2 | 0.438±0.036 | 0.507±0.031 | - |
| C3 | 0.465±0.053 | 0.492±0.050 | - |
| C4 | 0.492±0.076 | 0.488±0.030 | - |
| C5 | 0.485±0.075 | 0.452±0.041 | - |
| C6 | 0.488±0.066 | 0.555±0.095 | - |
| C7 | 0.538±0.061 | 0.530±0.042 | - |
| C8 | 0.600±0.074 | 0.552±0.030 | - |
| Sig. | - | - | |

-: Insignificant

GM/WM volume ratios were statistically significant between 1-month and 5-month-old rats in segments studied in terms of segments C1, C2, C6 and C8 ($P<0.01$). GM/WM volume ratios between segments of 5-month-old rats were statistically insignificant (Table 10).

Table 10. GM/WM ratio is the volume measurements at 1 and 5 months in male rats

| Segments | 1. month | 5. month | Sig. |
|----------|-------------|-------------|------|
| C1 | 0.828±0.031 | 0.570±0.047 | ** |
| C2 | 0.778±0.045 | 0.488±0.039 | ** |
| C3 | 0.790±0.031 | 0.620±0.060 | * |
| C4 | 0.853±0.123 | 0.555±0.037 | * |
| C5 | 0.757±0.074 | 0.555±0.065 | - |
| C6 | 0.802±0.078 | 0.495±0.041 | ** |
| C7 | 0.792±0.071 | 0.568±0.110 | - |
| C8 | 0.648±0.055 | 0.398±0.012 | ** |
| Sig. | - | - | |

-: Insignificant, *: $P<0.05$, **: $P<0.01$

Two-simple T Test was used for comparison of volume values in 1-month and 5-month-old male rats. For comparing the volume values among the cervical spinal segments One-Way Anova test was utilized. Statistical analysis was carried out by SPSS packaged software.

4. Discussion

In the present study, cervical segments of spinal cord were dissected, but spinal cord could not distinguished from spine completely. Because, it assisted to give name for cervical vertebrae of spine by cervical segments. Begum et al. [27] segmented spinal cord along with spine. Dissection stage of the present study is similar to the study by Begum et al. [27].

In various studies in the literature [5, 28-30] the cervical segments' number in rats was stated to be 8 cervical segments which was one more than the number of cervical vertebrae. The cervical segments' number was 8 in the present study, as well.

In the study conducted on Leghorn chicken, enlargement of cervical segment was found to be composed by C13, C14, C15, T1, T2 segments [31]. Baumel [32] and Hazirolu et al. [33] stated that cervical enlargement in poultry was created by the the first two thoracic segments and last three cervical segments. Nickel et al. [34] reported that it was composed of the last two cervical and T1, T2, and sometimes T3. Zeman and Maitland [5] indicated that the expansion of cervical segment in rats started from segment C4 and continued to segment C8. In the present study, segments C2, C3, C4, and C5 were observed to form the extension part, which is called as cervical enlargement, in 1-month-old male rats. This study revealed that the extension peaked at volume of segment C3 in 5-month-old male rats, there was an apparent decrease in volume value after segments C4 and C5. It was determined in the present study that cervical enlargement corresponded to segments C3, C4, and C5. There was no study in the literature identifying the segment where cervical enlargement is located in male rats based on the age. In the studies on intertransversal cross sections of spinal cord from Leghorn chickens, it was determined as a result of volume calculations that total volume of white matter was 1007 ± 127 mm³ in females and 1400.7 ± 94.1 mm³ in males. Measurements of grey matter indicated that volume of grey matter was 241.4 ± 26.8 mm³ in females and 311.4 ± 23.4 mm³ in males. When total volume of grey matter was compared to total volume of spinal cord in the study, the results were obtained as $19.36\%\pm 0.882$ in females and $18.19\%\pm 0.706$ in males [31].

In the current study, it was revealed that the white matter's total volume was 0.861 mm³ in 1-month-old male rats; whereas, the white matter's total volume was 1.081 mm³ in 5-month-old male rats. While total volume of grey matter was 0.662 mm³ in 1-month-old male rats, volume value of grey matter was 0.591 mm³ in 5-month-old male rats. Thus, total volume of grey matter was determined to decrease in 5-month-old rats. However, volume value of grey matter in 1-month-old male rats was higher than volume of grey matter in 5-month-old male rats.

In the study on Leghorn chicken [31], volume ratio of grey matter was found to be higher at pars caudalis and lumbosacral part in females; this was the highest at caudal part in males. Rahmanifar et al. [35] studied on ostrich and identified that grey matter was found most intensively in pars lumbalis.

In a study which was on Leghorn chicken [31], cervical part was revealed to be a part where grey matter to whole spinal cord ratio was the lowest in females and males, the highest ratio was at thoracic part. Rahmanifar et al. [35], in their study on mature ostrich, stated that cervical part had the lowest of the ratio of grey matter and the lowest amount of the grey matter was more intensive in thoracic part and lumbar part compared to cervical part. In the present study, on the other hand, mean ratio for the grey matter's volume to spinal cord's total volume was found to be 0.36 in 1-month-old male rats. This ratio was 0.25 for 5-month-old male rats. This volume ratio was higher in 1-month-old male rats than 5-month-old male rats, it decreased in adult rats, and also the grey matter's volume was smaller in 5-month-old male rats.

In morphometric studies on horse [36], ape [37], donkey [38], human [39] and rat [40]. areas and white matter's and grey matter's area ratios in lumbal segments of spinal cord were represented as parameter. In conclusion; volumes and volume ratios of all cervical segments, spinal cord's white and grey matters in 1-month and 5-month-old male rats were obtained using morphological and stereological methods in the present study. The results were given in tables. The results of the present study were considered to contribute to the global literature. We also concluded that the present study can shine light on further studies.

Acknowledgements

This study was studied at Van Yuzuncu Yil University. This is an article from master thesis. We are grateful for the support of Presidency Project Scientific Research of Van Yuzuncu Yil University. For this study Presidency of Project Scientific Research of Van Yuzuncu Yil University was source of funding. Code of Project: 2014-SBE-YL029/ID: 1291 This study was summarized from master thesis of first author. By Van Yuzuncu Yil University Animal Researches Local Ethic Committee the final report of the research project detailed above was approved in the session held on 12/26/2017 (decision number 2016/09).

Authors' Contributions

Çakmak G. as corresponding author contributed 60% to this study, Candan M. contributed 40%.

Statement of Conflicts of Interest

There is no conflict of interest between the authors.

Statement of Research and Publication Ethics

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

References

- [1] Ide T. 2003. Animal Models. Laboratory Animals, Basic Principles of Science. Turkish translation, Zutphen LFM, Baumans V, Beynen AC. In: Ide T, Translation ed. Medipres Publications, Ozkan Typography, Ankara.
- [2] Deniz G., Oral B. 2011. Experimental Animal Modeling Workshop. The Official Turkish Journal of Society of Immunology. 1: 10-18.
- [3] Dursun N. 2000. Veterinary Anatomy III. Medisan Publishing, 15-23pp. Ankara.
- [4] Arinci K., Elhan A. 2001. Anatomy. Vol 1. 3rd ed., Gunes Publishing, 59-65p. Ankara.
- [5] Zeman W., Maitland J.M. 1963. Cragie's Neuroanatomy of the Rat (Revised and expanded). In Academic Press Inc, 230p. New York.
- [6] Dursun N. 2008. Veterinary Anatomy I. 7th ed., Medisan Publishing, 15-67 pp. Ankara.
- [7] Bahadır A., Yildiz H. 2010. Veterinary anatomy movement system and internal organs. 3rd ed., Ezgi Publishing, 37-56p. Istanbul.
- [8] Unur E., Ulger H., Ekinci N. 2002. Anatomy. Ufuk Publishing, Kayseri.

- [9] Schoenen J., Faull R.L.M. 2004. Spinal cord cyto and chemoarchitecture. The human nervous system. In: George Paxinos JKM, 2nd ed., Elsevier Academic Press, 190-228 pp. London.
- [10] Tanyolac A. 1993. Special Histology. 23-24p.
- [11] Cruz-Orive L.M., Weibel E.R. 1990. Recent stereological methods for cell biology: a brief survey. Lung Cellular and Molecular Physiology. American Journal of Psychology, 258, 148-156.
- [12] Baddeley A.J. 1991. Stereology. Spatial statistics and digital image analysis. In: DC: Natural Research Company Ed., Washington.
- [13] Gundersen H.J. 1986. Stereology of arbitrary particles. A review of unbiased number and size estimators and the presentation of some new ones. In: memory of William R. Thompson, Journal of Microscopy, 143: 3-45.
- [14] Gundersen H.J, Jensen E.B. 1987. The efficiency of systematic sampling in stereology and its prediction. Journal of Microscopy, 147: 229-263.
- [15] Howard C.V., Reed M.G. 1998. Unbiased Stereology: Three-dimensional measurement in microscopy. 1st ed., BIOS Scientific Publishers, UK.
- [16] Garcia-Finana M., Cruz-Orive L.M., Mackay C.E. 2003. Comparison of MR imaging against physical sectioning to estimate the volume of human cerebral compartments. Neuroimage. 18: 505-516.
- [17] Turgut M., Turkkanitunc A., Aslan H. 2007. Effect of pinealectomy on the morphology of the chick cervical spinal cord: A stereological and histopathological study. Brain Research, 1129: 166-173.
- [18] Slomianka L., West M.J. 2005. Estimators of the precision of stereological estimates: An example based on the CA1 pyramidal cell layer of rats. Neuroscience, 136: 757-767.
- [19] Gundersen H.J.G., Jensen E.B.V., Kieu K. 1999. The efficiency of systematic sampling in stereology- reconsidered. Journal of Microscopy, 193: 199-211.
- [20] Canan S., Sahin B., Odaci E. 2002. A stereological method used to calculate total volume, volume density and volume ratios: Cavalieri principle. Clinical Turkey Journal of Medical Science, 22: 7-14.
- [21] Gundersen H.J.G., Bendtsen T.F., Korbo L. 1988. Some new, simple, and efficient stereological methods and their use in pathological research and diagnosis. Acta Pathologica Et Microbiologica Scandinavica Section A-Pathology, 96: 379-394.
- [22] Royet J.P. 1991. Stereology: a method for analysing images. Prog Neurobiology. 37: 433-474.
- [23] Sahin B., Aslan H., Unal B. 2001. Brain volumes of the lamb rat and bird do not show hemispheric asymmetry: a stereological study. Image Analysis and Stereology, 20: 9-13.
- [24] Mis L., Eski F., Yeltekin A.C. 2018. Plasma Macro and Trace Element Levels of Male Rats Vaccinated with GnRH Hormone. Fresenius Environmental Bulletin, 27: 5085-5090.
- [25] Bancroft J.D., Stevens A., Turner D.R. 1996. Theory and practice of histological technique. 4th ed., Churchill Livingstone, 15: 76-81.
- [26] Odaci E., Bahadır A., Yildirim S. 2005. Volume Calculation and Clinical Use of Computerized Tomography and Magnetic Resonance Images Using Cavalieri Principle. Turkish Journal of Veterinary and Animal Science, 25: 421-428.
- [27] Begum F., Zhu W., Namaka M.P. 2010. A novel decalcification method for adult rodent bone for histological analysis of peripheral-central nervous system connections. Journal of Neuroscience Methods, 187: 59-66.
- [28] Waibl H. 1973. Zur Topographie der Medulla spinalis der Albinoratte (*Rattus norvegicus*). Advances in Anatomy, Embryology and Cell Biology, 47: 5-42.
- [29] Fitzgerald M.J.T. 1987. Anatomy and embryology of the laboratory rat. Journal of Anatomy. 153: 256.
- [30] Paxinos G. 2004. The Rat Nervous System. 3rd ed. Prince of Wales Medical Research Institute The University of New South Wales Sydney, Australia.
- [31] Bolat D., Tipirdamaz S. 2011. Examination of spinal cord by stereological methods in leghorn chickens. Doctorate Thesis, University of Selcuk, Health Sciences Institute, Konya.
- [32] Baumel E. 1966. Comparable neurology of domestic animals. Turkish Journal of Veterinary and Animal Science, 203-289.

- [33] Hazirolu R.M., Orhan I.O., Yildiz D. 2001. Morphology of the spinal cord in the chicken, duck and pigeon. *Turkish Journal of Veterinary and Animal Science*, 25: 913-920.
- [34] Nickel R., Schummer A., Seiferle E. 1977. *Anatomy of the domestic birds*. Parey New york: Springer-Verlag, Berlin.
- [35] Rahmanifar F., Mansouri S., Ghazi S. 2008. Histomorphometric study of the spinal cord segments in the chick and adult male ostrich (*Struthio camelus*). *Iranian Journal of Veterinary Research*, 4: 336-340.
- [36] Braun A. 1950. Der segmentale feibau des rückenmarks des pferdes. *Acta Anatomica Basel*. 10: 1-76.
- [37] Thomas C., Combs C.M. 1965. Spinal cord segments. B. Gross structure in the adult monkey. *American Journal of Anatomy*, 116: 205-216.
- [38] Ocal M., Hazirolu R.M. 1988. Comparative morphological studies on the spinal cord of the donkey (*Equus asinus* L.). Examination of transversal sections of segments. *Veterinary Journal of Ankara University*. 35: 55-68.
- [39] Ko H., Park J.H., Shin Y.B. 2004. Gross quantitative measurements of spinal cord in human. *Spinal Cord*, 42: 35-40.
- [40] Portiansky L., Barbeito C.G., Goya R.G. 2004. Morphometry of cervical segments grey matter in the male rat spinal cord. *Journal of Neuroscience Methods*, 139: 217-229.

Araştırma Makalesi / Research Article

Sayısal İntegral Metodu ile Singüler Pertürbe Multi-Point Sınır Değer Problemlerinin Sayısal Çözümü

Derya ARSLAN*

*Bitlis Eren Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Matematik Bölümü, Bitlis, Türkiye
(ORCID: 0000-0001-6138-0607)*

Öz

Bu çalışmada, sağ ya da sol sınır katlarına sahip singüler pertürbe multi-point sınır değer probleminin çözümü için düzgün şebeke üzerinde sayısal integral metodu sunulur. Bu metodun yanında yamuk metodu, sonlu fark metodu ve Thomas algoritmasından yararlanılır. Önerilen yöntemin kararlılığı ve yakınsaklığı analiz edilir. Son olarak da, yöntemin doğruluğunu ve verimliliğini gösteren örnek uygulamalar yapılır.

Anahtar kelimeler: Singüler Pertürbe Multi-point Sınır Değer Problemi, Sayısal İntegral Metodu, Yamuk Metodu, Sonlu Fark Metodu, Sağ (Sol) Sınır Katı, Düzgün Şebeke.

A Numerical Solution for Singularly Perturbed Multi-Point Boundary Value Problems with the Numerical Integration Method

Abstract

In this study, the numerical integral method on a uniform mesh presented to solve the singularly perturbed multi-point boundary value problem with the right or left boundary layer. Besides this method, trapezoid method, finite difference method and Thomas algorithm are used. The stability and convergence of the proposed method is analyzed. Finally, sample applications are performed to demonstrate the accuracy and efficiency of the method.

Keywords: Singularity Perturbed Multi-Point Boundary Value Problem, Numerical Integration Method, Trapezoidal Method, Finite Difference Method, Right (Left) Boundary Layer, Uniform Mesh.

1. Giriş

Singüler pertürbe denklemin en yüksek mertebeli türevinin katsayısı, sıfırdan büyük, birden çok küçük olan bir ε parametresidir. Bu parametreden dolayı tanım bölgesinde sınır katları (yani ince geçiş katları) oluşmaktadır. Buralarda çözümün davranışı ani ve hızlı değişirken, diğer kısımlarda ise yavaş ve düzenli değişmektedir. Bu değişim davranışları singüler pertürbe problemlerin çözümünde sınırsız türevler oluşturur. Uygulanan bazı klasik nümerik metotlar bu sorunları gideremez. Bu nedenle bu çalışmadaki gibi ε 'a göre kararlılık ve yakınsaklık veren uygun nümerik metotlar tercih edilmelidir. Örneğin sonlu fark metodu, sonlu elemanlar metodu, pertürbasyon teknikleri vb. [1-18]. Singüler pertürbe problemlerin sayısal çözümü ve kararlılık analizi birçok araştırmacı tarafından 1900'lü yıllardan başlayarak şimdiye kadar yoğun olarak araştırılmıştır [1-18].

Bu problemler, kimyasal-reaktör teorisi, kontrol teorisi, oşinografi, akışkanlar mekaniği, kuantum mekaniği, hidro mekanik problemler, elektrik ağları ve diğer çeşitli pratik mühendislik sistemlerinde, fen bilimlerinde, tıp biliminde, aerodinamik, manyetik dinamik, yayma teori, reaksiyon difüzyon, ışık yayan dalgalar, plazmadaki elektron plazma dalgaları, iletişim hatları, plazma dinamik, arıtılmış gaz dinamik, kütlelerin hareketi, plastik, meteoroloji, elektrik akımı, iyon akustik dalgaları ve

*Sorumlu yazar: ayredlanu@gmail.com

Geliş Tarihi: 20.12.2019, Kabul Tarihi: 04.02.2020

bazı fiziksel modellendirmelerde yer almaktadır [12-14]. Ayrıca bazı araştırmacılar lokal olmayan sınır koşullu singüler pertürbe problemlere de odaklanmışlardır [1-12].

Nümerik integral metodu ise [15,17,18] çalışmalarında Taylor seri açılımı yapıldıktan sonra tüm denklemin integrali alınarak işlemlere devam edilir. Bunlardan farklı olarak [16] çalışmasında ilk olarak verilen denklemin integrali alınır daha sonra sırasıyla fark türevleri kullanılır ve yamuk metodu ile devam edilir. Nihayetinde Thomas algoritması ile yaklaşık çözüm bulunur. Nümerik integral metodu gecikmeli diferansiyel denklemlere [20] ve gecikmeli singüler pertürbe multi-point sınır koşullu problemlere de [21] kolaylıkla uygulanabilir.

Biz de bu çalışmada, [16] makalesinin verdiği motivasyon ile lokal (iki noktalı) sınır şartlı singüler pertürbe problem yerine singüler pertürbe multi-point sınır değer problemlerini nümerik integral metodu ile çözmeyi hedeflemekteyiz. Bu problemi aşağıdaki şekilde verebiliriz:

$$\varepsilon u''(x) + a(x)u'(x) + b(x)u(x) = 0, \quad 0 \leq x \leq 1, \quad (1.1)$$

$$u(0) = A, u(1) = \sum_{i=1}^{m-2} c_i u(s_i) + B \quad (1.2)$$

A, B ve c_i sonlu sabitler; $a(x), b(x)$ ve $f(x)$ sürekli fonksiyonlar; $0 < s_1 < s_2 < \dots < s_{m-2} < 1$.

Bu problemin katkısı şu şekilde özetlenebilir: Şimdiye kadar, çok noktalı sınır durumlu singüler pertürbe problemler farklı yöntemlerle çözülmüştür. Bu yöntemlerden farklı olarak singüler pertürbe problemlerin sayısal integral yöntemiyle başarılı bir şekilde çözüldüğü bu çalışmada gösterilmiştir.

Çalışma şu şekilde planlanmıştır: Giriş bölümünde, singüler pertürbe problem ve sayısal integral metodu ile ilgili literatür bilgileri verilir. Bölüm 2' de, sağ (sol) sınır katlı singüler pertürbe problem için sayısal integral metodu ifade edilir. Ayrıca önerilen yöntemin yakınsaklık ve kararlılık analizi de verilir. Bölüm 3' te önerilen yöntemin etkinliğini göstermek için iki test problem incelenir ve sonuçlar Bölüm 4' te anlatılır.

2. Nümerik İntegral Metodu

Bu bölümde, çözümünü araştırılan singüler pertürbe problem için nümerik integral metodunun işleyiş aşamaları sağ ve sol sınır katlı durumlarına göre ayrı ayrı ele alınır. Metodun kararlılık şartları verilir.

2.1. Sağ sınır katlı problem için nümerik integral metodunun çözüm adımları şöyle sıralanır:

1. (1.1) denkleminde $a(x) < \alpha < 0$, α sabit durumu vardır. Yani $x = 1$ sağ sınır katlıdır.
2. $[0,1]$ aralığı h uzunluklu olarak N parçaya bölünür. Yani şebeke düzgündür. Buradaki şebeke noktaları ise $0 = x_0 < x_1 < \dots < x_n = 1$, $x_i = x_0 + ih$, $i = 0, 1, \dots, N$ biçimindedir.
3. $i = 1, \dots, N-1$ için (1.1) denkleminde her bir terimin $[x_{i-1}, x_i]$ aralığında integrali alınır.

$$\int_{x_{i-1}}^{x_i} [\varepsilon u''(x) - a(x)u'(x) + b(x)u(x)] dx = \int_{x_{i-1}}^{x_i} f(x) dx, \quad i = 1, 2, \dots, N-1,$$

ve

$$\varepsilon u'(x_i) - \varepsilon u'(x_{i-1}) - a_i u(x_i) + a_{i-1} u(x_{i-1}) + \int_{x_{i-1}}^{x_i} b(x)u(x) dx = \int_{x_{i-1}}^{x_i} f(x) dx.$$

4. Adım 3' te yer alan birinci türevler $u'(x_i)$ ve $u'(x_{i-1})$ için $u'_i = \frac{u_{i+1} - u_i}{h}$, $u'_{i-1} = \frac{u_i - u_{i-1}}{h}$

fark yaklaşımları kullanılırsa aşağıdaki denklem elde edilir.

$$\varepsilon \left(\frac{u_{i+1} - u_i}{h} \right) - \varepsilon \left(\frac{u_i - u_{i-1}}{h} \right) - a_i u(x_i) + a_{i-1} u(x_{i-1}) + \int_{x_{i-1}}^{x_i} b(x)u(x) dx = \int_{x_{i-1}}^{x_i} f(x) dx.$$

5. Adım 4' te bulunan integraller için yamuk metodu kullanılır ve

$$\varepsilon \left(\frac{u_{i+1} - u_i}{h} \right) - \varepsilon \left(\frac{u_i - u_{i-1}}{h} \right) - a_i u_i + a_{i-1} u_{i-1} + \frac{h}{2} [b_i u_i + b_{i-1} u_{i-1}] = \frac{h}{2} [f_i + f_{i-1}],$$

denklemini bulunur.

6. Adım 5' te bazı düzenlemeler yapılırsa

7.

$$u_{i-1} \left(\frac{\varepsilon}{h} + a_{i-1} + h \frac{b_{i-1}}{2} \right) - u_i \left(\frac{2\varepsilon}{h} + a_i - h \frac{b_i}{2} \right) + u_{i+1} \left(\frac{\varepsilon}{h} \right) = \frac{h}{2} [f_i + f_{i-1}], \quad i = 1, 2, \dots, N-1,$$

fark denklemini oluşur.

8. Yukarıdaki fark denklemine sınır şartlarını da koyarsak aşağıdaki fark problemi oluşur:

9.

$$u_{i-1} \left(\frac{\varepsilon}{h} + a_{i-1} + h \frac{b_{i-1}}{2} \right) - u_i \left(\frac{2\varepsilon}{h} + a_i - h \frac{b_i}{2} \right) + u_{i+1} \left(\frac{\varepsilon}{h} \right) = \frac{h}{2} [f_i + f_{i-1}],$$

$$u_0 = A, \quad u_N = \sum_{i=0}^{m-2} c_i u_{N_i}. \quad (1.1)$$

Fark probleminin çözümü aşağıda verilen Thomas algoritması kullanılarak elde edilir.

$$A_i = \frac{\varepsilon}{h} + a_{i-1} + h \frac{b_{i-1}}{2}, \quad B_i = \frac{\varepsilon}{h}, \quad C_i = \frac{2\varepsilon}{h} + a_i - h \frac{b_i}{2}, \quad F_i = \frac{h}{2} [f_i + f_{i-1}],$$

$$\alpha_{i+1} = \frac{B_i}{C_i - \alpha_i A_i}, \quad \beta_{i+1} = \frac{F_i + \beta_i A_i}{C_i - \alpha_i A_i}, \quad i = 1, 2, \dots, N-1,$$

$$u_i = \alpha_{i+1} u_{i+1} + \beta_{i+1}, \quad i = N-1, \dots, 2, 1,$$

(1.1)-(1.2) problemine göre,

$$\alpha_0 = A, \quad \beta_0 = 0.$$

2.2. Sol sınır katlı problem için nümerik integral metodunun çözüm adımları şöyle sıralanır:

Sağ sınır katlı problemin çözüm adımlarına benzer olmasına rağmen aşağıdaki adımlar sol sınır katlı probleme ($a(x) > \alpha > 0$, α sabit) özgüdür. $i = 0, 1, \dots, N-1$ için (1.1) denkleminde her bir terimin

$[x_{i+1}, x_i]$ aralığında integrali alınır.

$$\varepsilon u'(x_{i+1}) - \varepsilon u'(x_i) + a_{i+1} u(x_{i+1}) - a_i u(x_i) + \int_{x_i}^{x_{i+1}} b(x) u(x) dx = \int_{x_i}^{x_{i+1}} f(x) dx,$$

Bu denklemde yer alan birinci türevler $u'(x_{i+1})$ ve $u'(x_i)$ için $u'_{i+1} = \frac{u_{i+1} - u_i}{h}$, $u'_i = \frac{u_i - u_{i-1}}{h}$

fark yaklaşımları yerlerine yazılır ve aşağıdaki denklem elde edilir.

$$\varepsilon \left(\frac{u_{i+1} - u_i}{h} \right) - \varepsilon \left(\frac{u_i - u_{i-1}}{h} \right) + a_{i+1}u(x_{i+1}) - a_i u(x_i) + \int_{x_{i-1}}^{x_i} b(x)u(x)dx = \int_{x_{i-1}}^{x_i} f(x)dx,$$

Yukarıdaki denklemde yer alan integrallere karşılık olarak yamuk metodu kullanılır ve

$$\varepsilon \left(\frac{u_{i+1} - u_i}{h} \right) - \varepsilon \left(\frac{u_i - u_{i-1}}{h} \right) + a_{i+1}u_{i+1} - a_i u_i + \frac{h}{2} [b_{i+1}u_{i+1} + b_i u_i] = \frac{h}{2} [f_{i+1} + f_i], \quad i = 1, 2, \dots, N-1,$$

denklemini oluştur.

$$u_{i-1} \left(\frac{\varepsilon}{h} \right) - u_i \left(\frac{2\varepsilon}{h} + a_i - \frac{hb_i}{2} \right) + u_{i+1} \left(\frac{\varepsilon}{h} + a_{i+1} + \frac{hb_{i+1}}{2} \right) = \frac{h}{2} [f_i + f_{i-1}], \quad i = 1, 2, \dots, N-1,$$

fark denklemi oluşur. Bu denkleme sınır şartlarını da eklersek aşağıdaki fark problemi elde edilir:

$$u_{i-1} \left(\frac{\varepsilon}{h} \right) - u_i \left(\frac{2\varepsilon}{h} + a_i - \frac{hb_i}{2} \right) + u_{i+1} \left(\frac{\varepsilon}{h} + a_{i+1} + \frac{hb_{i+1}}{2} \right) = \frac{h}{2} [f_i + f_{i-1}],$$

$$u_0 = A, \quad u_N = \sum_{i=0}^{m-2} c_i u_{N_i}. \quad (1.2)$$

(1.3) fark problemi Thomas algoritması kullanılarak çözülür. Thomas algoritmasına göre,

$$A_i = \frac{\varepsilon}{h}, \quad B_i = \frac{\varepsilon}{h} + a_{i+1} + \frac{hb_{i+1}}{2}, \quad C_i = \frac{2\varepsilon}{h} + a_i - \frac{hb_i}{2}, \quad F_i = \frac{h}{2} [f_i + f_{i-1}],$$

$$\alpha_{i+1} = \frac{B_i}{C_i - \alpha_i A_i}, \quad \beta_{i+1} = \frac{F_i + \beta_i A_i}{C_i - \alpha_i A_i}, \quad i = 1, 2, \dots, N-1,$$

$$u_i = \alpha_{i+1} u_{i+1} + \beta_{i+1}, \quad i = N-1, \dots, 2, 1,$$

tüm bu adımlar izlenilerek yaklaşık çözüm elde edilir.

2.3. Kararlılık

$$A_i > 0, \quad B_i > 0 \quad \text{ve} \quad C_i > A_i + B_i > 0,$$

$$|\alpha_i| < 1, \quad i = 0, 1, \dots, N-1, \quad (1.4)$$

şartları altında Thomas algoritması kararlıdır. Yine bu şartlar altında fark probleminin çözümü vardır ve tektir [19].

3. Nümerik İntegral Metodunun Sağ ve Sol Sınır Şarhlı Singüler Pertürbe Problemlere Uygulanması

Bu bölümde nümerik integral metodunun etkinliğini, kararlılığını ve yakınsaklığını göstermek için iki örnek verilmiştir. İlk örnek sağ sınır katlara, ikinci örnek ise sol sınır katlara sahiptir.

Örnek 1

$x = 1$ noktasında sağ sınır katı olan singüler pertürbe çok noktalı $\left(x = 0, x = \frac{1}{4}, x = \frac{1}{3}, x = \frac{1}{2}, x = 1\right)$ problemi nümerik integral metodu ile çözelim.

$$-\varepsilon u''(x) + u'(x) = 1, \quad 0 \leq x \leq 1,$$

$$u(0) = 0, \quad u(1) = d + u\left(\frac{1}{4}\right) + 2u\left(\frac{1}{3}\right) + 3u\left(\frac{1}{2}\right), \quad (1.5)$$

$$d \approx -2.41 - \frac{6e^{\frac{-1}{\varepsilon}}}{1 - e^{\frac{-1}{\varepsilon}}} + \frac{e^{\frac{-0.75}{\varepsilon}} + 2e^{\frac{-0.66}{\varepsilon}} + 3e^{\frac{-0.5}{\varepsilon}}}{1 - e^{\frac{-1}{\varepsilon}}},$$

$$u(x) = x - \frac{e^{\frac{x-1}{\varepsilon}} - e^{\frac{-1}{\varepsilon}}}{1 - e^{\frac{-1}{\varepsilon}}},$$

2.1' de sağ sınır katlı problem için verilen nümerik integral metodunun çözüm adımlarını izleyelim: İlk olarak (1.6) denkleminin her bir teriminin $[x_{i-1}, x_i]$ aralığında integrali alınır ve gerekli düzenlemeler yapılırsa

$$\int_{x_{i-1}}^{x_i} [-\varepsilon u''(x) + u'(x)] dx = \int_{x_{i-1}}^{x_i} 1 dx,$$

$$-\varepsilon \int_{x_{i-1}}^{x_i} u''(x) dx + \int_{x_{i-1}}^{x_i} u'(x) dx = \int_{x_{i-1}}^{x_i} 1 dx,$$

$$-\varepsilon u'(x_i) + \varepsilon u'(x_{i-1}) + u(x_i) - u(x_{i-1}) = \int_{x_{i-1}}^{x_i} 1 dx,$$

elde edilir. Burada,

$u'(x_i)$ ve $u'(x_{i-1})$ için $u'_i(x_i) = \frac{u_{i+1} - u_i}{h}$, $u'_{i-1}(x_{i-1}) = \frac{u_i - u_{i-1}}{h}$ sonlu fark yaklaşımları kullanılır ve aşağıdaki denklem bulunur:

$$-\varepsilon \left(\frac{u_{i+1} - u_i}{h} \right) + \varepsilon \left(\frac{u_i - u_{i-1}}{h} \right) + u(x_i) - u(x_{i-1}) = \frac{h}{2} (f_i + f_{i-1}),$$

bu denklem x_{i-1} , x_i ve x_{i+1} katsayılarına göre yeniden düzenlenir ve

$$u_{i-1} \left(-\frac{\varepsilon}{h} - 1 \right) - u_i \left(-\frac{2\varepsilon}{h} - 1 \right) + u_{i+1} \left(-\frac{\varepsilon}{h} \right) = h,$$

fark denklemi elde edilir. Bu fark denkleminin sınır şartları da eklenirse aşağıdaki fark problemi bulunur:

$$u_{i-1} \left(-\frac{\varepsilon}{h} - 1 \right) - u_i \left(-\frac{2\varepsilon}{h} - 1 \right) + u_{i+1} \left(-\frac{\varepsilon}{h} \right) = h,$$

$$u(x_0) = u(0) = 0, \quad u(x_N = 1) - u\left(\frac{x_N}{4}\right) - 2u\left(\frac{x_N}{3}\right) - 3u\left(\frac{x_N}{2}\right) = 2.$$

Artık Thomas algoritması ile x_i şebeke noktalarında u_i , $i=1,2,\dots,N-1$ yaklaşık çözümlerine ulaşılır.

$$A_i = -\frac{\varepsilon}{h} - 1, \quad B_i = -\frac{\varepsilon}{h}, \quad C_i = -\frac{2\varepsilon}{h} - 1, \quad F_i = -h,$$

$$\alpha_1 = 0, \quad \beta_1 = 0,$$

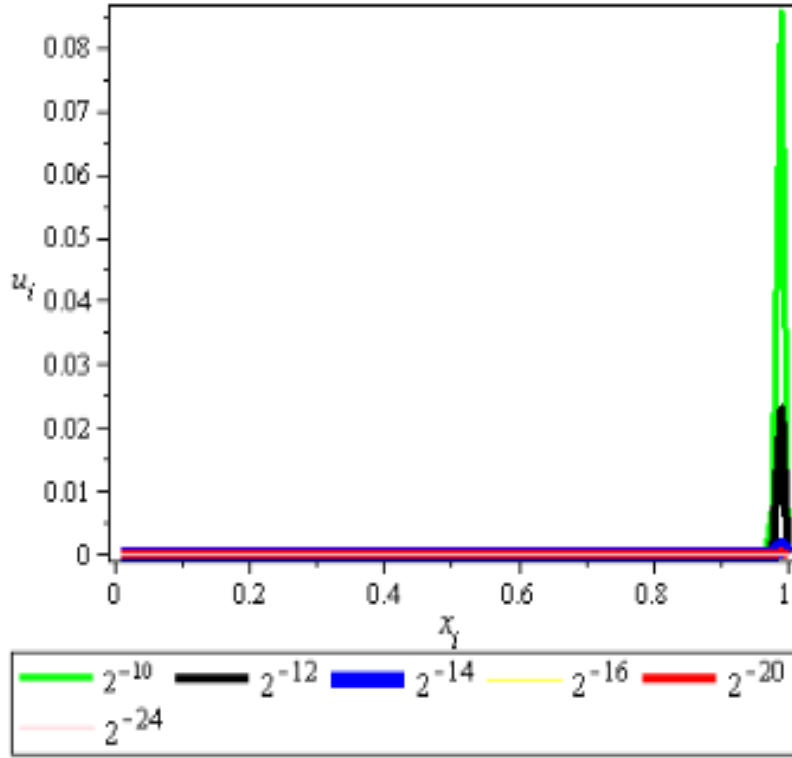
$$\alpha_{i+1} = \frac{\left(-\frac{\varepsilon}{h}\right)}{\left(-\frac{2\varepsilon}{h} - 1\right) - \left(-\frac{\varepsilon}{h} - 1\right)\alpha_i}, \quad \beta_{i+1} = \frac{h + \left(-\frac{\varepsilon}{h} - 1\right)\beta_i}{\left(-\frac{2\varepsilon}{h} - 1\right) - \left(-\frac{\varepsilon}{h} - 1\right)\alpha_i}, \quad i = 1, \dots, N-1,$$

$$u_i = \alpha_{i+1}u_{i+1} + \beta_{i+1}, \quad i = N-1, \dots, 2, 1.$$

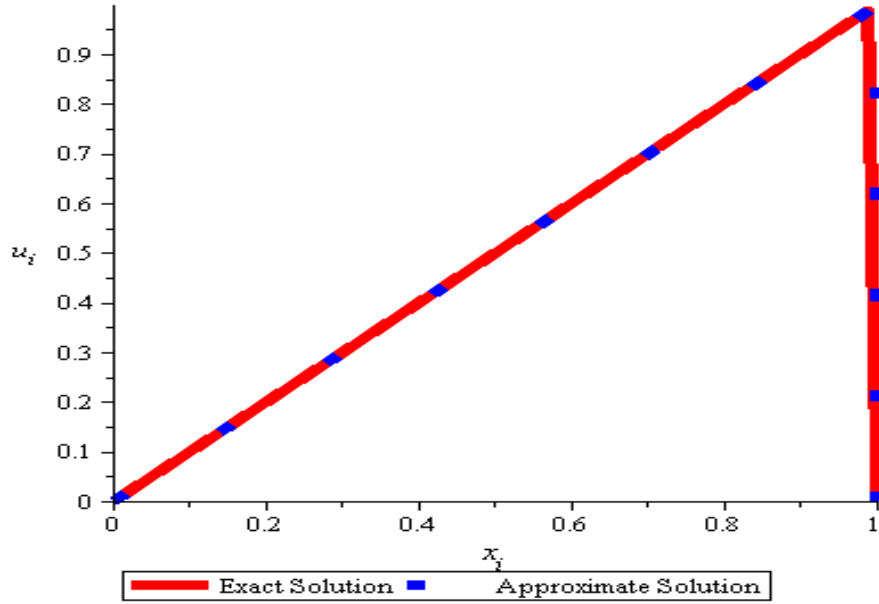
Thomas algoritmasına göre yukarıda verilen çözüm şeması uygun bir matematik programı kullanılarak uygulanır ve nümerik sonuçlar elde edilir. $N = 24, 48, 96, \dots, 384$ ve $\varepsilon = 2^{-2}, 2^{-4}, \dots, 2^{-38}$ değerleri için maksimum hatalar bulunur. Tam, yaklaşık çözüm ve hata eğrileri bu farklı N ve ε değerleri için çizilir. Böylece önerilen metodun singüler pertürbe çok noktalı problemler için uygun olduğu gösterilir. Farklı N değerleri ve ε pertürbasyon parametresi için maksimum mutlak hatalar Tablo 1' de verilir.

Tablo 1. Örnek 1 için Thomas algoritması ile hesaplanan maksimum hatalar

| ε/N | 24 | 48 | 96 | 192 | 384 |
|-----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 2^{-10} | 0.0229007627 | 0.0447761203 | 0.0856909703 | 0.1530668055 | 0.2032438190 |
| 2^{-12} | 0.0058252420 | 0.0115830129 | 0.0229007603 | 0.0447761249 | 0.0856909697 |
| 2^{-14} | 0.0014627007 | 0.0029211313 | 0.0058252399 | 0.0115830173 | 0.0229007511 |
| 2^{-16} | 0.0003660762 | 0.0007318875 | 0.0014626985 | 0.0029211358 | 0.0058252314 |
| 2^{-18} | 0.0000915324 | 0.0001830965 | 0.0003660741 | 0.0007318917 | 0.0014626899 |
| 2^{-20} | 0.0000228867 | 0.0000457989 | 0.0000914943 | 0.0001831732 | 0.0003660741 |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 2^{-35} | 0.0000000001 | 0.0000000003 | 0.0000000004 | 0.0000000008 | 0.0000000018 |



Şekil 1. $N = 96$ için hata değerlendirmesi



Şekil 2. $N = 96$, $\varepsilon = 2^{-20}$ için tam ve yaklaşık çözüm eğrilerinin karşılaştırılması

Örnek 2

Şimdi de $x=0$ noktasında sol sınır katına sahip aşağıda verilen çok noktalı $\left(x=0, x=\frac{1}{2}, x=1\right)$ singüler pertürbe problemi nümerik integral metodu ile çözelim.

$$\begin{aligned} \varepsilon u''(x) + u'(x) &= 1 + 2x, \quad 0 < x < 1, \\ u(0) &= 0, \quad u(1) - u\left(\frac{1}{2}\right) = d, \end{aligned} \quad (1.6)$$

$$\begin{aligned} d &= \frac{1}{4} + \varepsilon - (2\varepsilon - 1) \frac{1 - e^{-\frac{1}{2\varepsilon}}}{1 - e^{-\frac{1}{\varepsilon}}}, \\ y(x) &= x(x + 1 - 2\varepsilon) + (2\varepsilon - 1) \frac{1 - e^{-\frac{x}{2\varepsilon}}}{1 - e^{-\frac{1}{\varepsilon}}}, \end{aligned}$$

(1.7) sol sınır katlı problemde ilk denklemin $[x_{i+1}, x_i]$ aralığında integrali alınır. 2.2' de verilen sol sınır katı çözüm adımları aşağıdaki gibi uygulanırsa:

$$\begin{aligned} \int_{x_i}^{x_{i+1}} [\varepsilon u''(x) + u'(x)] dx &= \int_{x_i}^{x_{i+1}} (1 + 2x) dx, \\ \varepsilon \int_{x_i}^{x_{i+1}} u''(x) dx + \int_{x_i}^{x_{i+1}} u'(x) dx &= \int_{x_i}^{x_{i+1}} (1 + 2x) dx, \\ \varepsilon u'(x_{i+1}) - \varepsilon u'(x_i) + u(x_{i+1}) - u(x_i) &= \int_{x_i}^{x_{i+1}} (1 + 2x) dx, \\ \varepsilon \left(\frac{u_{i+1} - u_i}{h} \right) - \varepsilon \left(\frac{u_i - u_{i-1}}{h} \right) + u(x_{i+1}) - u(x_i) &= \frac{h}{2} (f_{i+1} + f_i), \quad f_i = 1 + 2x_i, \end{aligned}$$

elde edilir. Buradaki son denklem x_{i-1} , x_i ve x_{i+1} katsayılarına göre düzenlenir ve

$$u_{i-1} \left(\frac{\varepsilon}{h} \right) - u_i \left(\frac{2\varepsilon}{h} + 1 \right) + u_{i+1} \left(\frac{\varepsilon}{h} + 1 \right) = h(x_{i+1} + x_i + 1),$$

fark denklemi elde edilir. Bu fark denklemi sınır şartları ile birlikte yazılırsa

$$\begin{aligned} u_{i-1} \left(\frac{\varepsilon}{h} \right) - u_i \left(\frac{2\varepsilon}{h} + 1 \right) + u_{i+1} \left(\frac{\varepsilon}{h} + 1 \right) &= h(x_{i+1} + x_i + 1), \\ u(x_0) = u(0) &= 0, \quad u(x_N) - u\left(x_{\frac{N}{2}}\right) = d, \end{aligned}$$

fark problemi elde edilir. Bu fark problemini çözmek için kullanılan Thomas algoritması aşağıdaki gibi verilir:

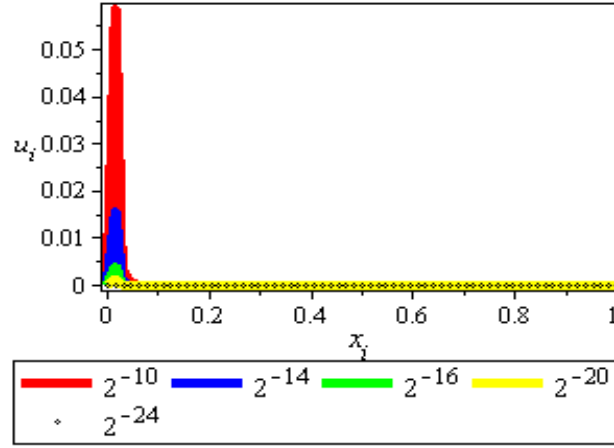
$$A_i = \frac{\varepsilon}{h}, \quad B_i = \frac{\varepsilon}{h} + 1, \quad C_i = \frac{2\varepsilon}{h} + 1, \quad F_i = -h(x_{i+1} + x_i + 1),$$

$$\alpha_1 = 0, \beta_1 = 0,$$

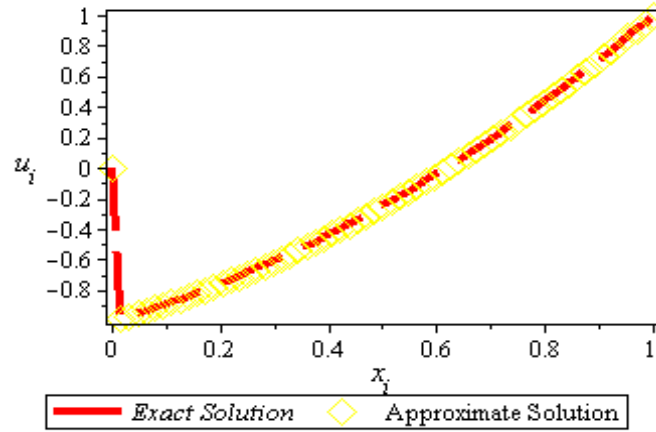
$$\alpha_{i+1} = \frac{\left(\frac{\varepsilon}{h} + 1\right)}{\left(\frac{2\varepsilon}{h} + 1\right) - \left(\frac{\varepsilon}{h}\right)\alpha_i}, \beta_{i+1} = \frac{h(x_i + x_{i+1}) + \left(\frac{\varepsilon}{h}\right)\beta_i}{\left(\frac{2\varepsilon}{h} + 1\right) - \left(\frac{\varepsilon}{h}\right)\alpha_i}, \quad i = 1, \dots, N-1,$$

$$u_i = \alpha_{i+1}u_{i+1} + \beta_{i+1}, \quad i = N-1, \dots, 2, 1.$$

Tablo 2' de artan N değerleri ve azalan ε değerleri için maksimum mutlak hatalar verilir.



Şekil 3. $N = 64$ için hata dağılımı



Şekil 4. $N = 64$, $\varepsilon = 2^{-20}$ için tam ve yaklaşık çözüm eğrilerinin karşılaştırılması

Tablo 2. Örnek 2 için Thomas algoritması ile hesaplanan maksimum hatalar

| ε/N | 16 | 32 | 64 | 128 | 256 |
|-----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 2^{-10} | 0.0153545667 | 0.0302438457 | 0.0587085267 | 0.1105592894 | 0.1813295077 |
| 2^{-12} | 0.0038891510 | 0.0077481537 | 0.0153771031 | 0.0302882346 | 0.0587946935 |
| 2^{-14} | 0.0009754902 | 0.0019490796 | 0.0038905760 | 0.0077509918 | 0.0153827368 |
| 2^{-16} | 0.0002440724 | 0.0004880281 | 0.0009755872 | 0.0019492576 | 0.0038909322 |
| 2^{-18} | 0.0000610308 | 0.0001220595 | 0.0002440706 | 0.0004880383 | 0.0009756416 |
| 2^{-20} | 0.0000152588 | 0.0000305131 | 0.0000610314 | 0.0001220755 | 0.0002440396 |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 2^{-38} | 0.0000000000 | 0.0000000001 | 0.0000000002 | 0.0000000002 | 0.0000000012 |

4. Sonuç ve Öneriler

Sağ ve sol sınır katları içeren singüler pertürbe multi-point (çok noktalı) sınır koşullu problemler nümerik integral metodu ile analiz edilmiştir. [2] çalışmasında ise iki noktalı sınır değer problemleri nümerik integral metodu ile ele alınmıştır. Bizim çalışmamızda çok noktalı sınır değerler ele alındığında nümerik çözüm ile tam çözüm sonuçlarının birbirlerine oldukça yakın olduğu hem Tablo 1 ve 2' de görülen hata değerlerinde hem de tam ve yaklaşık çözüm eğrilerinde görülmektedir. Çünkü tam ve yaklaşık çözüm eğrileri, Şekil 2 ve 4' te gösterildiği gibi hemen hemen aynıdır. Şekil 1 ve 3' te görüldüğü gibi sınır katı bölgelerinde (Örnek 2 için $x = 0$ ve Örnek 1 için $x = 1$) hatalar, çözümün ani ve hızlı değişiminden dolayı maksimumdur. Önerilen metot her iki sınır katları durumunda da düzgün şebeke üzerinde birinci mertebeden yakınsaktır. Bu sonuçlara göre sayısal veriler ve tüm şekiller, önerilen metodun çok iyi çalıştığını göstermektedir.

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] Amiraliyev G.M., Cakir M. 2002. Numerical Solution of the Singularly Perturbed Problem with Nonlocal Condition. *Applied Mathematics and Mechanics*, 23 (7): 755-764.
- [2] Cakir M., Arslan D. 2016. A Numerical Method for Nonlinear Singularly Perturbed Multi-Point Boundary Value Problem. *Journal of Applied Mathematics and Physics*, 4: 1143-1156.
- [3] Cakir M., Arslan D. 2016. Numerical Solution of the Nonlocal Singularly Perturbed Problem. *International Journal of Modern Research in Engineering and Technology*, 1 (5): 13-24.
- [4] Cakir M., Arslan D. 2016. Finite Difference Method for Nonlocal Singularly Perturbed Problem. *International Journal of Modern Research in Engineering and Technology*, 1 (5): 25-39.
- [5] Arslan D. 2017. Finite Difference Method for Solving Singularly Perturbed Multi-Point Boundary Value Problem. *Journal of the Institute of Natural and Applied Sciences*, 22 (2): 64-75.
- [6] Cakir M., Amiraliyev G.M. 2007. Numerical Solution of the Singularly Perturbed Three-Point Boundary Value Problem. *International Journal of Computer Mathematics*, 84 (10): 1465-1481.
- [7] Chegis R. 1988. The Numerical Solution of Problems with Small Parameter at Higher Derivatives and Nonlocal Conditions. *Lietuvos Matematika Rinkiny*, (in Russian), 28: 144-152.
- [8] Arslan D. 2019. Stability and Convergence Analysis on Shishkin Mesh for a Nonlinear Singularly Perturbed Problem with Three-Point Boundary Condition. *Quaestiones Mathematicae*, 1-14. Doi: 16073606.2019.1636894.
- [9] Arslan D. 2019. A Numerical Solution Study on Singularly Perturbed Convection-Diffusion Nonlocal Boundary Value Problem. *Communications Faculty of Sciences University of Ankara Series A1 Mathematics and Statistics*, 68 (2): 1482-1491.
- [10] Gupta C.P., Trofimchuk S.I. 1997. A Sharper Condition for the Solvability of a Three-Point Second Order Boundary Value Problem. *Journal of Mathematical Analysis and Applications*, 205: 586-597.
- [11] Herceg D., Surla K. 1991. Solving a Nonlocal Singularly Perturbed Nonlocal Problem by Splines in Tension. *Univ. u Novom Sadu Zb. Rad. Prirod.-Mat. Fak. Ser. Math.*, 21 (2): 119- 132.
- [12] Farrell P.A., Miller J.J.H., O'Riordan E., Shishkin G.I. 1996. A Uniformly Convergent Finite Difference Scheme for a Singularly Perturbed Semilinear Equation, *SIAM Journal on Numerical Analysis*, 33: 1135-1149.

- [13] Miller J.J.H., O.Riordan E., Shishkin G.I. 1996. Fitted Numerical Methods for Singular Perturbation Problems. World Scientific, Singapore.
- [14] Nayfeh A.H. 1993. Introduction to Perturbation Techniques. Wiley, New York.
- [15] Reddy Y.N. 1990. A Numerical Integration Method for Solving Singular Perturbation Problems. Applied Mathematics and Computation, 37: 83-95.
- [16] Andargie A., Reddy Y.N. 2008. Numerical Integration Method for Singular Perturbation Problems with Mixed Boundary Conditions. J. Appl. Math. & Informatics, 26 (5-6): 1273-1287.
- [17] Soujanya G., Phnaendra K. 2015. Numerical Intergration Method for Singular-Singularly Perturbed Two- Point Boundary Value Problems. Procedia Engineering, 127: 545-552.
- [18] Ranjan R., Prasad H.S. 2018. An Efficient Method of Numerical Integration for a Class of Singularly Perturbed Two Point Boundary Value Problems. Wseas Transactions on Mathematics, 17: 265-273.
- [19] Amiralı G., Amiralı I. 2018. Nümerik Analiz Teori ve Uygulamalarla. Seçkin Yayıncılık, Ankara, Türkiye.
- [20] Altun Y. Tunç C. 2019. New Results on the Exponential Stability of Solutions of Periodic Nonlinear Neutral Differential Systems. Dynamic Systems and Applications, 28: 303-316.
- [21] Cimen E. 2017. A Priori Estimates for Solution of Singularly Perturbed Boundary Value Problem with Delay in Convection Term. J. Math. Anal., 8 (1): 202-211.

Araştırma Makalesi / Research Article

Haciosman Ormanı Tabiatı Koruma Alanı (Samsun) Florası, Vejetasyon ve Habitat Yapısı ile Genel Bitki Ekolojisi Özellikleri Üzerine Bir Değerlendirme

Okan ÜRKER*

*Çankırı Karatekin Üniversitesi, Eldivan Sağlık Hizmetleri MYO, Tıbbi Hizmetler ve Teknikler Bölümü, Çevre Sağlığı Programı, Çankırı
(ORCID: 0000-0002-5103-7757)*

Öz

Samsun İli, Çarşamba İlçesi sınırlarında yer alan Haciosman Ormanı Tabiatı Koruma Alanı içerisinde ekosistem tiplerinin belirlenmesi ve Tabiatı Koruma Alanı'nın floristik özelliklerinin gözlemlenmesi amacıyla 2017 yılı Mart, Haziran, Eylül ve Aralık aylarında çeşitli lokalitelerde hat-transect metodu uygulanarak genel bitki ekolojisi, flora, vejetasyon ve habitat özelliklerine ait gözlemler gerçekleştirilmiş olup, 94 familya, 227 cins ve bu cinslere ait 271 damarlı bitki takson tespit edilmiştir. Alanda sazlık-bataklık, geçici subasar ormanı, orman ve dere ekosistemleri bir arada bulunmaktadır. Bu nedenle alan küçük olmasına rağmen farklı habitat ve ekosistem tiplerini içerdiğinden zengin bir biyolojik çeşitliliğe sahiptir. Tabiatı Koruma Alanı, Doğal Sit Alanı ve aynı zamanda Önemli Bitki Alanı koruma statülerini bünyesinde barındıran Haciosman Ormanı, hem Avrupa'da da nadir bulunan kalıntı alüvyal su basar ormanlardan biri olması nedeniyle hem de içerdiği ekosistem tipleri ve biyolojik çeşitlilik unsurları, nadirlik ve tipiklik bakımından oldukça önem arz etmektedir. Çalışma alanında tespit edilen damarlı bitki taksonları içerisinde her ne kadar endemik ve nadir türlere rastlanılmamış olmakla beraber izlemeye konu olabilecek 4 türün varlığından söz edilebilir; bunlardan ilki IUCN Kırmızı Liste kategorilerine göre VU statüsünde yer alan *Plantago lanceolata* (Su sinir otu), diğeri Bern Sözleşmesi'nin Ek-1 listesi içerisinde yer alan türlerden *Cyclamen coum* ssp. *coum* (Sıklamen-Yer Somunu) bitki taksonları ile *Quercus robur* (Saplı Meşe) ve *Fraxinus angustifolia* (Sivri Meyveli Dişbudak) türlerine ait bu orman dokusu içerisinde tespit edilen iki adet potansiyel anıt ağaç olarak özetlenebilir.

Anahtar kelimeler: Haciosman Ormanı Tabiatı Koruma Alanı, Flora, Vejetasyon, Habitat, Bitki Ekolojisi, Subasar orman.

An Evaluation on General Plant Ecology Features and Flora, Vegetation and Habitat Structures of Nature Reserve Area of Haciosman Forest (Samsun)

Abstract

In order to observe the floristic properties and to determine the ecosystem types within Nature Reserve Area of the Haciosman Forest located in the boundaries of Çarşamba District in Samsun Province (Turkey), general plant ecology, flora, vegetation and habitat observations have been carried out by applying the line-transect & point-intercept methods in various localities in March, June, September and December 2017. The Haciosman Forest is important because of it includes conservation status such as Nature Reserve Area, Natural Protected Area (Sit Area) and also Important Plant Area, is highly regarded in terms of rarity and typical ecosystem types and biodiversity elements, as it is one of the rare alluvial flooded forests (longos/gallery forest) in Europe. 94 families, 227 genera and 271 vascular plant taxa have been identified. Although endemic and rare species were not found among vascular plant taxa detected in the study area, there are 4 species that can be subject to monitoring; The first of these is *Plantago lanceolata* (Ribwort Plantain), which is included in the VU status according to the IUCN Red List categories, and the other *Cyclamen coum* ssp. *coum* (The eastern sowbread) of plant taxa and *Quercus robur* (Pedunculate Oak) and *Fraxinus angustifolia* (Narrow-leafed Ash) can be summarized as two potential monumental trees detected in this forest texture.

Keywords: Nature Reserve Area of Haciosman Forest, Flora, Vegetation, Plant Ecology, Longos: Flooded forest.

*Sorumlu yazar: okanurker@karatekin.edu.tr
Geliş Tarihi: 24.01.2020, Kabul Tarihi: 10.02.2020

Haciosman Ormanı Tabiatı Koruma Alanı, Avrupa çapında sınırlı yayılışa sahip ve hızla ortadan kalkma tehlikesiyle karşı karşıya bulunan alüvyon subasar orman ekosistemi tipini bünyesinde barındırması nedeniyle önem arz eden doğal alanlardandır. Tabiatı Koruma Alanı, toplam 127,77 hektar büyüklüğünde olup, bu alanın 95 hektarlık kısmı ormanlık, 23 hektarlık alanı sazlık ve geri kalanı meyve ağaçlarından oluşmaktadır. Alan, Yeşilirmak havzası sınırları içinde yer almaktadır. Tabiatı Koruma Alanı içerisindeki büyük toprak grupları incelendiğinde, Tabiatı Koruma Alanı'nın tamamının alüvyal topraklardan oluştuğu görülmekte olup, arazi kullanım kabiliyet sınıflamasına göre ise alanın tamamı IV. sınıf topraklardan oluşmaktadır.

2.2. Metot

Tabiatı Koruma Alanı ve yakın çevresinde 10 farklı lokalite belirlenmiş ve her bir gözlem lokalitesinin özellikleri arazi defterlerine kaydedilmiştir (Tablo 1). Bu veriler arasında alanın hakim bitki örtüsü, arazinin konumu, eğimi, genel görünümü, GPS koordinatları (enlem-boylam), deniz seviyesinden yükseklik bilgisi gibi veriler rapor edilmiştir. Bu 10 farklı lokalitede line transekt metodu uygulanarak genel flora ve vejetasyon gözlemleri gerçekleştirilmiştir. Tabiatı Koruma Alanı'nı tanıtıcı ve farklı açılardan fotoğraflar çekilmiştir. Tabiatı Koruma Alanı'nda gözlemlenen flora türleri doğal habitatlarında fotoğraflanmıştır.

Tablo 1. Ekolojik Yapıyı Belirlemek İçin Seçilen Örneklem Noktaları

| Örneklem Noktaları | Koordinatlar (UTM) | Yükseklik (m) |
|--------------------|------------------------------------|---------------|
| 1 | 37T, 293655.10 d D, 4569720.46 m K | 11 |
| 2 | 37T, 293326.00 d D, 4569738.00 m K | 19 |
| 3 | 37T, 293477.00 d D, 4570156.00 m K | 10 |
| 4 | 37T, 293065.00 d D, 4569837.00 m K | 18 |
| 5 | 37T, 292826.00 d D, 4570226.00 m K | 6 |
| 6 | 37T, 292385.00 d D, 4570110.00 m K | 4 |
| 7 | 37T, 292463.00 d D, 4569647.00 m K | 5 |
| 8 | 37T, 292811.00 d D, 4569550.00 m K | 15 |
| 9 | 37T, 293222.00 d D, 4569442.00 m K | 18 |
| 10 | 37T, 292898.00 d D, 4569198.00 m K | 13 |

Bitkilerin teşhisinde temel kaynak olarak “Flora of Turkey and the East Aegan Islands” adlı 11 ciltlik eserden faydalanılmıştır (Davis, 1965-1985; Davis et al., 1971; Davis et al., 1998; Güner ve ark., 2000). Teşhis sırasında zorlanılan örnekler hakkında uzmanlardan görüşler alınmış böylece yapılabilecek hatalardan kaçınılmıştır. Arazi süresince karşılaşılan yaş bitki örneklerinin arazi sırasındaki teşhislerinde “Flowers of Turkey, A Photo Guide (Pils, 2006)” isimli kaynaktan yararlanılmıştır. Bitki taksonlarının teşhisinin doğruluğunu teyit etmek için ayrıca Türkiye Bitkileri Veri Servisi (TÜBİVES, 2020) ve Türkiye Florası'na ait çeşitli eklemeler, güncellemeler de kullanılarak gerekli kontroller yapılmıştır (Özhatay ve ark., 2009). Öte yandan bitki taksonlarının Türkçe adlandırmasında güncel bir kaynak olan Türkiye Bitkileri Listesi (Damarlı Bitkiler) (Güner, 2012)'den yararlanılmıştır.

Teşhisi yapılan bitkilerin listesi bulgular kısmında verilmiştir. Liste verilirken familya, cins, tür ve varsa tür altı taksonlar otör isimleriyle beraber verilmiştir. Her taksonun yanında endemik olup olmadığı, eğer biliniyorsa fitocoğrafik dağılımı verilmiştir.

Taksonların tehlike kategorileri “Türkiye Bitkileri Kırmızı Kitabı (Ekim ve ark., 2000)” ve “International Union for Conservation of Nature-IUCN Kırmızı Liste Sınıfları ve Ölçütleri [IUCN, 2001]” adlı eserlerden faydalanılarak yazılmıştır. Öte yandan taksonların dahil olduğu mevcut uluslararası tehdit kategorileri için www.iucnredlist.org web sayfasından 2020 yılına ait güncel kontroller gerçekleştirilmiştir.

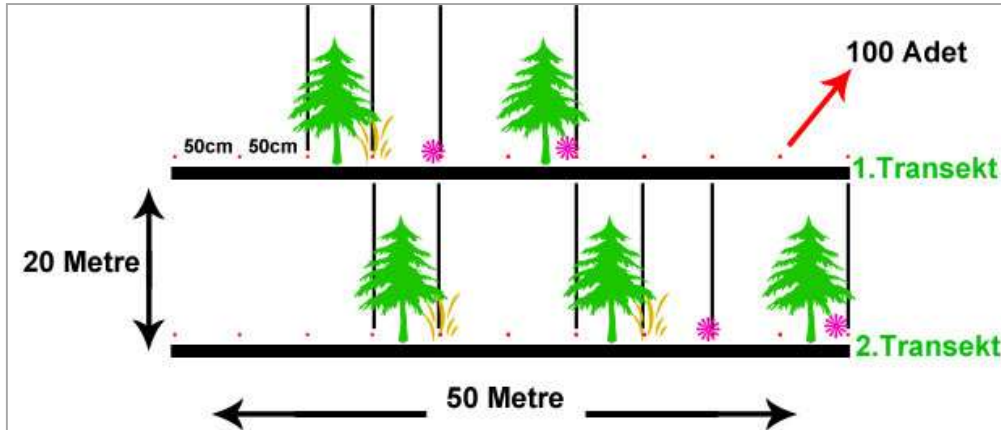
Bitki örnekleme çalışmalarında bugüne kadar birçok metot geliştirilip kullanılmıştır. Bunlardan bazıları; Braun-Blanquet, nokta transekt, nokta-çizgi transekt, kare, dikdörtgen ve daire kuadrat teknikleri olarak özetlenebilir (Braun-Blanquet, 1932; Canfield, 1941; Thanos ve Marcou, 1991; Diersing et al. 1992; Tazik et al. 1992; Carrington ve Keeley, 1999; Stylinski ve Allen, 1999).

Kısa zamanda çabuk ve doğru sonuçlar verebilmesi, aynı anda aynı veriyi kullanarak vejetasyon yapısı ve bitki komünite parametreleri hakkında çeşitli yorumlara ulaşma imkanı sunmasından dolayı bu çalışmada ‘nokta-çizgi transekt metodu’ (point intercept method) (Canfield, 1941; Bonham, 1989) kullanılmıştır.

Nokta-çizgi transekt metodunda; çizgi hattı boyunca belirlenmiş nokta üzerinde bulunan vertikal-horizantal düzlemde bütün türler kayda geçirildiği için alanı homojen bir şekilde temsil edebilmektedir. Diğer yöntemlerden farklı olarak ‘nokta-çizgi transekt metodu’nun bu çalışmada kullanılma nedenleri; alandaki tür çeşitliliğini homojen şekilde gösterebilmesi, büyük ve küçük boyutlu bitkilerin eşit şekilde temsil edilebilmeleri (Canfield, 1941), taç ve taban kısımlarındaki bitkileri birlikte değerlendirebilmesi olarak sayılabilir. Ayrıca kuadrat yöntemleri, daha çok uzun dönemli gözlem çalışmalarını içermesi, kuadrat içerisinde bir bitkiyi birkaç kez sayabilme ihtimali (Tavşanoğlu ve Gürkan, 2002) ve bu yöntemlerdeki kompakt yapının aksine nokta-çizgi transekt metodunun alan hakkında daha çeşitli bilgiler sunabilmesinden ötürü bu çalışmada tercih edilmemiştir.

Transektin uzunluğu ve transekt içerisinde sayımı yapılacak nokta sayısının belirlenmesi, örneklem hakkında doğru sonuçlara ulaşılabilmesi açısından önemli bir husustur. Alandaki heterojen yapıyı temsil edebilmesi ve istatistiki açıdan güvenilir sonuçlar verebilmesi için; nokta-çizgi transekt metodu deneysel alan çalışmaları ile test edilmiştir. Buna göre; minimum 30,5 m’lik bir transekt uzunluğunun alanı en iyi % 50-60 oranında temsil edebileceği saptanmıştır (Canfield, 1941; Dale vd., 2000). Ayrıca Fisher’s t-test’i yardımıyla yapılan çalışmalarda transekt üzerinde 16 ya da daha fazla örneklem noktasının olması hata oranını azaltmakta, 100 ve 100’ün altındaki örneklem noktası verilen güvenilirlik derecesinde en iyi sonuçları verdiği belirlenmiştir (Dale vd., 2000). Bununla birlikte alan ne kadar büyük olursa olsun transekt sayısının artırılmasının alanın yapısı ile ilgili sonuçlar üzerinde çok fazla değişikliğe neden olmadığı tespit edilmiştir (Canfield, 1941).

Korunan alanın vejetasyon örtüş özellikleri ve temel primer bitki komünitesi parametrelerini araştırmak üzere kısa sürede maksimum verimi elde etmek amacıyla hazırlanmış bir Hızlı Ekolojik Alan Değerlendirme metodu olan ve Conservation International tarafından da tavsiye edilen Modified Gentry Plot tekniğinden yararlanılmıştır (Larsen, 2016). Bu metoda göre alandaki temel iki vejetasyon olan subasar ormanlar ve sazlık alanların içerisinde iki farklı bölge çalışma alanı olarak seçilmiştir. Uygulanan bu metod doğrultusunda her iki vejetasyonda ayrı ayrı olmak üzere alanlar içerisinde rastgele bir nokta başlangıç noktası seçilmek kaydıyla 50’şer metre uzunluğunda 4 transekt aralarında 20’şer metre mesafe olacak biçimde ilk ikisi yan yana diğer ikisi ise öncekilerin devamı doğrultusunda olacak biçimde konumlandırılmıştır (Philips ve Miller, 2002). Bu transektler üzerinde her transekt üzerinde 50’şer cm aralıklarla point-intercept transekt yöntemi takip edilerek, bireylerin sayımı gerçekleştirilmiştir. Transektler üzerinde şerit metre yardımıyla o noktayı işgal eden türlerin (taç kısmı da aynı anda sayılmıştır) sayımı yapıp, kaydedilmiştir. Buna göre her iki ekosistemden toplamda 1’er hektarlık alanlar incelenmiş olup her bir transekte 100 örneklem noktası olmak üzere toplamda 4 transekte 400 (her iki alanda ise toplamda 8 transekte 800) örneklem noktası kaydedilmiştir. Alanda uygulanan point-intercept transekt metodunun uygulanış biçimini özetleyen grafik aşağıdaki şekilde sunulmuştur (Şekil 2).



Şekil 2. Çalışma alanında uygulanan nokta-çizgi transekt (point-intercept method) yönteminin grafiği

Vejetasyon ve bitki komünitesi çalışma dizaynının çalışma alanı içerisindeki görünümü aşağıda sunulmuştur (Şekil 3).



Şekil 3. Çalışma alanı içerisinde vejetasyon ve bitki komünitesi çalışma dizaynının yerleşimi

Korunan alanın genelinde bitki birliklerinin genel dinamiklerini anlayabilmek amacıyla elde edilen veriler temel primer komünite parametrelerinden olan sıklık, benzerlik, tür zenginliği, tür çeşitliliği ve dominansi parametreleri ele alınmış olup, bu parametrelere ilişkin faydalanılan indisler aşağıda özetlenmiştir.

Sıklık parametresi (Krebs, 1989);

$$\text{Sıklık} = [(N_x) / N] * 100 \quad (1)$$

Burada; N_x : x türünün alandaki toplam örneklem noktası içindeki toplam bulunma sayısını, N : sayılan toplam örneklem noktası (bu çalışmada her iki ekosistem tipinde toplamda 400'er örneklem noktası mevcuttur.)

Benzerlik oranları hesaplanırken, Sorensen'in benzerlik katsayısı (Krebs, 1989) kullanılmıştır:

$$S_s = 2a / (2a + b + c) \quad (2)$$

Burada; S_s : Sorensen'in benzerlik katsayısı, a : her iki alanda da bulunan tür sayısı, b : birinci alanda bulunup ikinci alanda bulunmayan tür sayısı, c : ikinci alanda bulunup birinci alanda bulunmayan tür sayısı olarak değerlendirilmiştir.

Ortalama 1 ila 1.000 ha arasındaki büyüklüklere sahip habitatların tür çeşitliliğini hesaplarken, iç desen ne olursa olsun tek bir habitatta yer alan türlerin sayısını ifade eden çeşitlilik tipi olan Alfa Çeşitlilik'ten faydalanılmaktadır. Bu çalışmada da Alfa Tür çeşitliliği hesaplamaları yapılırken; en basit kavram olan tür zenginliği (Krebs, 1989) ve daha detaylı bir çeşitlilik parametresi olan Shannon-Wiener indeksi (Krebs, 1989; Şişli, 1996) kullanılmıştır:

$$H' = - \sum_{i=1}^s (p_i) (\log_2 p_i) \quad (3)$$

Bu formülde, H' : tür çeşitliliği indeksini, s : tür sayısını, p_i : i türüne ait bireylerin toplam örnekteki oranını temsil etmektedir.

Dominansi konusunda ise, oldukça pratik bir dominansi parametresi olan dominansi indeksi (Krebs, 1989) kullanılmıştır:

$$\text{Dominansi} = 100 * [(y_1 + y_2) / Y] \quad (4)$$

Burada; y1: alanda en fazla bulunan türün sıklığı, y2: alanda en fazla bulunan ikinci türün sıklığı ve Y: toplam sıklık olarak kullanılmıştır.

Komünite parametrelerinin istatistiki hesaplamalarında PAST Programı'ndan yararlanılmıştır. Öte yandan vejetasyon; bir bölgenin belirli yaşam koşullarına göre gelişen ve yaşam koşulları özdeş olan bitki taksonlarının oluşturduğu toplumlar olarak tanımlanmasına rağmen, aynı alanı işgal eden türler arasında bile toprak, iklim, su ve ışık gibi faktörler tarafından yaşam karakterlerinde birçok farklılık göze çarpmaktadır. Bu da aynı alanı paylaşan türlerin farklı stratejilere adapte olmalarını sağlar. Örneğin otsu bitki, çalı türü ve odunsu bir tür aynı noktayı aynı anda çeşitli amaçlar için kullanabilmektedir. Doğal bir alana yapılan çeşitli insan merkezli müdahaleler, vejetasyon yapısında bir takım değişikliklere neden olmaktadır. Örneğin; yapılan müdahale sonucu, o alanda daha önce bulunmayan bir fırsatçı tür kendine yaşam alanı bulabilmekte ve rekabette üstün duruma geçebilmekte veya farklı bitki fonksiyonel gruplarının alanlar arasındaki bulunma oranı etkilenebilmektedir. Bu gibi değişimleri de örtüş derecesi oranlarına bakarak anlayabilmemiz mümkündür. Genel vejetasyon karakteristiklerini tespit edebilmek için, alandaki bitki türlerinin örtüş dereceleri farklarından yararlanılmıştır. Bu çalışmada da point-intercept (hat-nokta) transekt metodundan elde edilen verilerden yararlanılmış olup, komünite parametrelerinden sıklık denklemi kullanılmıştır.

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Floristik bulgular

Yapılan arazi çalışmaları ve literatür kaynaklarının taranması sonucunda Davis'in belirlediği grid sistem içerisinde A6 karesi içerisinde yer alan çalışma alanında 94 familya, 227 cins ve bu cinslere ait 271 takson tespit edilmiştir. Bu taksonlardan 15'i Karadeniz Elementi (Hirkanya ve Öksin Elementleri dahil), 56'sı Avrupa-Sibirya (Kafkasya Elementleri de dahil), 10'u İran-Turan, 19'u Akdeniz (Doğu Akdeniz elementleri dahil) fitocoğrafik bölgesine ait iken, 4 tanesi de kozmopolit olup dünya ölçeğinde yaygın dağılışa sahiptir. Geriye kalan 167 takson ise ya herhangi bir fitocoğrafik element içerisine dahil değildir veyahut da henüz dahil edilmediği için belirsiz statüdedir. Çalışma alanına ait güncel floristik liste Ek-1'de sunulmuştur (Ek-1).

Yapılan flora araştırmaları sonucunda alanda ve yakın çevresinde herhangi bir endemik taksona rastlanılmamıştır. Yapılan incelemeler neticesinde alandaki 1 adet bitki taksonunun (*Plantago lanceolata* L. (Sinir otu)) IUCN'nin ilgili kırmızı liste kategorileri içerisinde Koruma önlemi alınmazsa ileride yok olma tehlikesi olan tür kategorisi olan VU-Vulnerable statüde, 4 taksonun (*Platanus orientalis* L. (Çınar), *Ulmus glabra* Huds. (Dağ karaağacı), *Populus nigra* L. subsp. *nigra* (Kara kavak), *Daucus carota* L. (Havuç)) yeterli verinin mevcut olmamasından dolayı tehdit durumu netleştirilememiş olan DD-Data Deficient statüde olduğu, 80 adet bitki taksonunun IUCN'nin ilgili kırmızı liste kategorileri içerisinde en düşük tehlike statüsü olan LC (least concern) yani asgari endişe düzeyinde yer aldığı tespit edilmiştir. Geriye kalan 186 adet bitki taksonunun ise henüz değerlendirmeye alınmamış statü olan NE-Not Evaluated statüde yer aldığı görülmektedir.

Tabiatı Koruma Alanı ve çevresinde tespit edilen türlerden *Trapa natans* L. (Su kestanesi), *Cyclamen coum* Mill. subsp. *coum* (Domuzağırşığı), *Cyclamen coum* Mill. subsp. *coum* f. *pallidum*(Yersomunu)'nun BERN Sözleşmesi'nin EK-I listesinde, Euphorbiaceae ve Orchidaceae familyalarına bağlı olan türlerin ise CITES Sözleşmesi'nin EK-2 Listesi kapsamında yer almakta olduğu tespit edilmiştir.

3.2. Ekolojik yapı, ekosistem tipleri ve habitat tipleri

Ekolojik yapı ve ekosistem tipleri: Ekolojik yapı belirlenirken, bitki örtüsünün fiziksel ve floristik yapısı ile iklimsel ve topografik özelliklerine dayanan ve UNESCO tarafından geliştirilen hiyerarşik sınıflama sistemine bağlı kalınarak ve her sınıf için oluşturulan kod kullanılarak ekosistem tipleri sınıflandırılmıştır. Buna göre, Tabiatı Koruma Alanı'nda su basar orman ekosistemi (dişbudak ve kızılbaş baskın su basar ormanlar) ve Kamış-*Phragmites australis* ve Kofa-Saz/*Typha latifolia* baskın sazlık ekosistemi olmak üzere karışık karasal ve sucul ekosistem tipleri bulunmaktadır. Buna göre 127,77 ha genişliğindeki Tabiatı Koruma Alanı'nın % 82,91'ini su basar orman ekosistemi, % 17,09'unu sazlık ekosistemi kaplamaktadır.

Sazlık ekosistemi: Haciosman Ormanı Tabiatı Koruma Alanı'nın kuzeybatısında alanın doğu-kuzey sınırlarını çizen Abdal Deresi ile alanın batı sınırlarını çizen yapay kanal arasında yaklaşık 20 hektarlık bir alanı, *Phragmites australis*'in dominant tür olduğu sazlık ekosistemi kaplamaktadır. Hem bu saha içerisinde hem de korunan alanın yakın çevresinde yer yer sazlık ekosistemlerinin baskın türü *Typha latifolia* olarak değişebilmektedir. Bahsi geçen bu iki tür yer yer iç içe geçmeler göstermekte, bünyelerine *Arundo donax* da karışabilmektedir. Sazlık yapılarının alt örtüsünde hemen hemen başka hiçbir tür sokulamamakta, nadiren *Rubus discolor*, *Leucojum aestivum*, *Narcissus tazetta*, *Smilax excelsa*, *Dipsacus laciniatus* gibi türler gözlenebilmektedir. Öte yandan bu sistemin düzenli akış gösteren su kaynakları ile bulunduğu bölümlerde ise sıklıkla *Carex nigra*, *Carex elata*, *Euphorbia platyphyllos*, *Schoenoplectus lacustris*, *Amaranthus retroflexus*, *Plantago major*, *Plantago lanceolata*, *Rumex crispus*, *Trapa natans*, *Lemna minor* gibi türlerle karşılaşılır.

Subasar ekosistemi: Haciosman Ormanı Tabiatı Koruma Alanı'nda yer alan orman ekosistemi; baskın olarak dişbudak (*Fraxinus angustifolia*) ve kızılbaşın (*Alnus glutinosa*) teşkil ettiği doğal su basar orman yapısı ile temsil edilmektedir. Çok sayıda odunsu - otsu tırmanıcı bitkinin varlığıyla karakterize olan ve dişbudak (*Fraxinus angustifolia*), kızılbaş (*Alnus glutinosa*), adi gürgen (*Carpinus betulus*), ova akçaağacı (*Acer campestre*), ova karaağacı (*Ulmus minor*), ve saplı meşenin (*Quercus robur*) varlığıyla belirginleşen dere kenarı ormanları "longoz" olarak isimlendirilmiştir.

Su basar orman kavramı, su seviyesinin genellikle toprak yüzeyinde ya da yüzeye yakın bir şekilde bulunduğu ve alanın periyodik olarak veya nadiren de olsa sığ bir suyla örtülü olduğu ormanları ifade etmektedir. Haciosman Ormanı Tabiatı Koruma Alanı bünyesinde yer alan su basar orman tipi yakın çevresindeki diğer orman tiplerine nazaran ekolojik koşullar itibarıyla belirgin farklılıklara sahiptir. Bölgedeki longozun floristik yapılarının farklılaşmasındaki en önemli faktörler toprağın nem ve besin içeriğidir.

Haciosman Ormanı Tabiatı Koruma Alanı içerisinde yer alan su basar orman sistemi boyunca yayılış gösteren başlıca ağaç türleri; dişbudak, saplı meşe, ova karaağacı, kızılbaş, adi gürgen, ova akçaağacı, çınar yapraklı akçaağaç, patlak, kurtbağrı, barut ağacı, içcik ağacı, papaz külâhı ve incirdir. Bu ağaçların su basar ormandaki varlık ve miktarları yukarıda belirtilen ekolojik farklılıklara bağlı olarak değişim göstermekte, bu ise floristik olarak birbirinden farklı orman yapılarının oluşmasına neden olmaktadır.

Ormanın ot katında örtücü olarak yoğun bir şekilde *Urtica dioica*, *Smilax excelsa*, *Hedera helix*, *Rubus discolor*, *Veronica chamaedrys*, *Galium aparine*, *Narcissus tazetta*, *Leucojum aestivum* ve *Cyclamen coum* bulunmaktadır.

127,77 ha büyüklüğündeki Tabiatı Koruma Alanı'nın 103,75 hektarını orman ekosistemi oluşturmaktadır. Dolayısıyla Tabiatı Koruma Alanı'nın neredeyse tamamının orman ekosistemi ile temsil edildiği anlaşılmaktadır. Bu ekosistem tipi Tabiatı Koruma Alanı'ndaki arazi çalışmasında belirlenen tüm örneklem noktalarında –alanın kuzeybatı sınırlarında yer alan sazlık ekosistem hariç- yer almaktadır. Sazlık ekosistemler ise alanın yalnızca % 17,09'luk kısmını kaplamaktadır.

Orman altında gelişen diğer bazı ağaç, çalı ve otsu türleri arasında *Smilax excelsa*, *Rubus discolor*, *Hedera helix*, *Urtica dioica* ssp. *dioica*, *Ruscus aculeatus*, *Crataegus monogyna*, *Crataegus rhipidophylla* var. *rhipidophylla*, *Cornus sanguinea* ssp. *australis*, *Berberis vulgaris*, *Rosa canina*, *Sambucus nigra*, *Phytolacca americana*, *Viola alba* subsp. *dehnhardtii*, *Primula acaulis* ssp. *acaulis*, *Primula acaulis* ssp. *rubra*, *Prunus x domestica* vb. türler yer almaktadır.

Habitat tipleri: Haciosman Ormanı Tabiatı Koruma Alanı sınırları içinde habitat sınıflandırması, alanın bütününe yansıtacak şekilde belirli noktalardan alınan GPS kayıtları, fotoğraflar ve arazi gözlemlerine dayalı olarak yapılmıştır. Alanda EUNIS Habitat Sınıflandırması 2004 Revizyonu temel alınarak yapılan çalışmalar sonucunda baskın olarak 3 farklı ana habitat tipi belirlenmiştir (Avrupa Çevre Ajansı, 2020):

- 1) **G1.44 - Karadeniz ve Hazar denizinin ıslak zemin ağaç alanları:** Haciosman Ormanı Tabiatı Koruma Alanı'na ait orman ekosistemi; baskın olarak dişbudak (*Fraxinus angustifolia*) ve kızılbaşın (*Alnus glutinosa*) teşkil ettiği doğal su basar orman yapısı ile temsil edilmektedir. Ayrıca su basar orman yapısına karaağaç, saplı meşe, ova akçaağacı, defne, kurtbağrı, cehri, barut ağacı, iç ağacı, fındık, gürgen, kayın, kızılçık, yabani erik, yabani armut, alıç, kuşburnu, böğürtlen, incir, ısırgan otu, duvar sarmaşığı, eğrelti otları, kılcan-sılcan, ak söğüt ve

doğallaşmış ve/veya plantasyon kavaklar gibi ağaç, çalı ve sarmaşık türleri de iştirak ederek sistemi tamamlamaktadır.

- 2) **C3.21 – [Phragmites australis - Kamış] yatakları:** Hacıosman Ormanı Tabiatı Koruma Alanı'nın kuzeybatısında alanın doğu-kuzey sınırlarını çizen Abdal Deresi ile alanın batı sınırlarını çizen yapay kanal arasında yaklaşık 20 hektarlık bir alanda, Palearktik'e özgü *Phragmites australis* saz yatakları kaplamaktadır. Bu saz yatakları kalıcı ya da dalgalı biçimde hareketlilik arz eden tatlı su gölleri, dereler, kanallar ve su basar ormanlara ait gölcük ve bataklıkların uzantılarının birlikteliğinden oluşan habitat tipleri olarak sınıflandırılmaktadır. *Phragmites australis*'in dominant tür olduğu bu habitat tipi hem bahsi geçen ilgili habitatın olduğu saha içerisinde hem de korunan alanın yakın çevresinde yer yer sazlık ekosistemlerinin baskın türü *Typha latifolia* olarak da değişebilmektedir. Bahsi geçen bu iki tür yer yer iç içe geçmeler göstermekte, bünyelerine *Arundo donax* da karışabilmektedir. Sazlık yapılarının alt örtüsünde hemen hemen başka hiçbir tür sokulamamakta, nadiren *Rubus discolor*, *Narcissus tazetta*, *Leucojum aestivum*, *Smilax excelsa*, *Dipsacus laciniatus* gibi türler gözlenebilmektedir.
- 3) **F9.2 - [Salix] çekici ve bataklık fundalığı:** Tabiatı Koruma Alanı'nın kuzey-orta bölümünde su basar orman habitatı ile sazlık alan arasında ince bir bariyer olarak göze çarpan *Salix alba* (Ak kavak) baskın bataklık fundalığı korunan alandaki 3. habitat tipini teşkil etmektedir. Bu alanda ayrıca insan eliyle önceki yıllarda dikilmiş ve/veya doğallaşmış yabancı elma, erik, alıç, ahlat, kızılçık, dut, incir gibi çeşitli meyve ağaçları ve çalılıklarına da rastlanılmaktadır.

EUNIS Habitat Tipleri Sınıflandırma Sistemi içerisinde değerlendirilmemiş olan bir başka grup ise Tabiatı Koruma Alanı'nın yakın çevresindeki tarım alanları, fındık bahçeleri, kavaklıklar (*Populus nigra*), az sayıdaki tarlalar, çayır-meralar ve yol kenarlarında çeşitli yoğunluklarda ruderal-yol kenarı ve fırsatçı bitki birliklerinin hep beraber oluşturduğu yapı olarak değerlendirilebilir. Bu yapı temelde bir habitat sistemi olmaktan çok ana habitat tipleri ile birlikte karışımlar sergilediği için genelde daha geri planda değerlendirmelere katılmaktadır. Bu grubun çeşitli temsilcileri de *Capsella bursa-pastoris*, *Erophila verna*, *Cynodon dactylon*, *Dactylis glomerata*, *Setaria viridis*, *Silene latifolia ssp. alba*, *Hypericum perforatum*, *Malva neglecta*, *Erodium cicutarium*, *Cichorium intybus*, *Xanthium strumarium*, *Xanthium spinosum*, *Geranium robertianum*, *Rumex acetosella*, *Oxalis acetosella*, *Lotus corniculatus*, *Ononis arvensis*, *Bellis perennis*, *Carduus nutans*, *Briza media*, -nemli ise *Mentha longifolia*, *Carex sp.* vb.-gibi türler olarak göze çarpmaktadır.

3.3. Vegetasyon ve bitki ekolojisi çalışmalarına ait bulgular

Çalışma alanı içerisinde tespit edilen subasar orman vejetasyonu ile sazlık vejetasyonuna ait örtüş, görelilik, tür zenginliği, tür çeşitliliği, dominansi, benzerlik gibi parametrelere ait bulgular aşağıda özetlenmiş olup her iki vejetasyon tipine ait türler bazındaki frekans ve görelilik değerleri Ek-2'de sunulmuştur (Ek-2).

Örtüş ve görelilik: *Fraxinus angustifolia* (Dişbudak), su basar orman vejetasyonu içerisinde en yüksek sıklığa sahip bitki türü iken (%86,25), bu türü *Hedera helix*-Duvar sarmaşığı (%68), *Alnus glutinosa*-Kızılağaç (%65), *Urtica dioica ssp. dioica*-Isırgan (%57,5) ve *Rubus discolor*-Böğürtlen (%41,75) türleri izlemektedir. Kapalılığın % 100 olduğu su basar orman vejetasyonu içerisinde Dişbudak ve Kızılağaç ağaç katmanında baskın türleri oluştururken, orman toprağının üstünü de Böğürtlen ve Isırgan türlerinin baskın biçimde kapladığı anlaşılmaktadır.

Sazlık vejetasyonunda ise *Phragmites australis* (Kamış) en yüksek sıklığa sahip tür olarak göze çarpmaktadır (%72,25). Yine bu vejetasyon tipinde de kapalılık %100 olup, *Typha latifolia* (Kofa-Saz) ve *Rubus discolor* (Böğürtlen) bu vejetasyonun örtüş açısından önem arz eden diğer türleridir.

Tür Zenginliği ve Tür Çeşitliliği: Her iki vejetasyonunda yapılan transekt çalışmalarında toplamda 94 tür tanımlanmış olup, bu türlerden 13'üne her iki vejetasyonunda da rastlanılmıştır. Sazlık vejetasyonun tür zenginliği 14 iken, su basar orman vejetasyonunun ise 93'dür. Korunan alanda en yüksek tür çeşitliliği (3,73) su basar orman vejetasyonunda saptanmıştır. Bu durumun nedeni su basar sistem içerisinde bataklık, nemli orman, yer yer kuru alan, çalılık, yabancı meyveler, riparian ve ruderal sistemlerin mozaik şeklinde iç içe geçmeler gösterebilmesinden dolayıdır. Sazlık alanda ise alfa tür çeşitliliği göreceli olarak daha düşük düzeydedir (1,93). Bu durum da ilgili vejetasyonun tek bir sistem ile temsil edilmesinden dolayıdır.

Dominansi: *Fraxinus angustifolia* (Dişbudak) ve *Alnus glutinosa* (Kızılağaç)'ın dominant türler olduğu Su basar orman vejetasyonunda dominansi 19,09 iken, *Phragmites australis* (Kamış) ve *Typha latifolia* (Kofa-saz)'nın dominant türler olduğu sazlık vejetasyonda ise 56,27'dir. Dominansinin su basar orman vejetasyonunda çok daha düşük olmasının en temel nedeni taç, taban ve örtü kısımlarında baskın olan tür bileşimlerinin birbirlerinden oldukça farklı hayat formundaki otsular, çalimsular ve ağaç-ağaçcıklar olmasından kaynaklı iken, sazlık vejetasyonda neredeyse tek bir türün baskın olmasının nedeni ilgili türün taban ve taç kısmında örtüş yapıyor olmasından ötürüdür.

Benzerlik: Sorensen benzerlik katsayısına ait denklem dikkate alındığında; Su basar vejetasyon ile sazlık vejetasyon arasındaki benzerlik katsayısı 0,699 olarak hesaplanmış olup, bu değer gayet yüksek bir benzerlik oranına işaret etmektedir. Bu durum ise sazlık vejetasyonun baskın iki türünün haricinde geriye kalan türlerin esasen Su basar vejetasyondan bu sazlık alanlara disperse olmuş veya tohumlarının dağılması sonucu ilgili vejetasyona sokulmuş bireylerle açıklanabilir.

4. Sonuç ve Öneriler

Haciosman Ormanı Tabiatı Koruma Alanı, baskın olarak sivri dişbudak (*Fraxinus angustifolia*) ve kızılbaşın (*Alnus glutinosa*) teşkil ettiği doğal su basar orman yapısı ile temsil edilmektedir. Sahanın ana kaynak değerini de bu habitat tipi oluşturmaktadır. Bu yapıya alanın kuzeybatı sınırlarında daha küçük bir bölümü kaplayan *Phragmites australis* (Kamış)'in baskın olduğu *Typha latifolia* (Kofa-Saz), *Arundo donax* (Kargı) gibi higrofil makrofitik türlerin gözlemlendiği sazlıklar da alanın ekosistem çeşitliliğini arttıran önemli bir diğer unsurdur. Öte yandan her ne kadar alanın resmi sınırlarında olsa da alanın doğu ve kuzey sınırlarını çizen Abdal Deresi ile alanın batı sınırları boyunca yer alan yapay kanallar ile bu dere ve kanal yapılarına bağlı olarak makrofitik türlerin iştirakiyle gelişen sucul ekosistem çeşitliliği de ekolojik bağlantılarından dolayı bahsetmeye değerdir. Tabiatı Koruma Alanı içerisinde bu kadar farklı tip ve yapılarda bitki grupları ile karşılaşılması bitki taksonları açısından da zengin bir durumun oluşmasına yol açmıştır.

Çalışma alanı, Avrupa'da da nadir bulunan kalıntı alüvyal su basar ormanlardan biri olması nedeniyle önem arz etmektedir. Alanda sazlık-bataklık, geçici subasar ormanı, orman ve dere ekosistemleri bir arada bulunmaktadır. Bu nedenle alan küçük olmasına rağmen farklı habitat ve ekosistem tiplerini içerdiğinden zengin bir biyolojik çeşitliliğe sahiptir. Alanın korunma altında olması sebebiyle doğal yapısını bozmadan kendini muhafaza ettiği söylenebilir.

Sucul bitkiler açısından, suyun olduğu mevsimlerde iyi bir yetişme ortamı sunmaktadır. Alanda çok sayıda sucul bitki türü bulunmaktadır. Sulak alan vejetasyonu su içine batık, yarı batık, rizomlu, suyu seven ve bataklıklar, dere kenarı kenarları ve içlerinde yetişen bitkilerden oluşmaktadır.

Yapılan flora araştırmaları sonucunda alanda ve yakın çevresinde herhangi bir endemik taksona rastlanılmamıştır. Bunun en önemli nedeni Tabiatı Koruma Alanı'nın bulunduğu alanın coğrafik özelliklerinden dolayı alanda bulunan nemli-ılıman kuşak karışık Karadeniz orman yapısının tüm Karadeniz sahil kuşağı boyunca gözlenebilir olmasıdır. Öte yandan alanın içerisi ve yakın çevresinde bulunan su basar ormana ait sucul bitki grupları ile makrofitik bitki gruplarının da kozmopolit özellikler arz etmesi endemizm oranının düşük seyretmesinin bir başka nedeni olarak sıralanabilir.

Çalışma alanının yakın çevresindeki en ciddi çevresel problem olarak; sahanın güneyinde yer alan özel bir tarım işletmesine bağlı gelişen atık su kirliliğinden mutlak surette bahsedilmelidir. Bu problem yaz aylarında katlanarak artmakta ve Abdal Deresi içerisinde ciddi bir tehdit doğurmaktadır. Bu olumsuz etki korunan alanda dolaylı yollarla (koku, su çevrimiyle gözlenen su kirliliği vb.) etkide bulunmaktadır.

Çalışma alanı genel itibariyle değerlendirildiğinde; sınırlarının doğal su bariyerleri ile çevrili olmasının yanı sıra, sıkı biçimde korunduğundan alanın doğallığını halen koruduğu görülmektedir. Her ne kadar alanın mevcut sınırları bir korunan alan için istenilen büyüklükte olmasa da, alan tipik ve ender bir habitat tipi olan su basar ormanları bünyesinde barındırması bakımından bu noksanlığı hissettirmemektedir. Alanın yakın çevresinde her ne kadar büyük tarım işletmeleri, anayol ve havaalanı mevcutsa da ekolojik açıdan halen birçok bölümde bozulmamış olduğu gözlenmektedir. Ancak hem bahsi geçen bu büyük tesisler hem de yöre halkına ait kırsal yerleşimler ve diğer tarım alanları korunan alanın yakın çevresi ile habitat bütünlüğünün bozulmuş olduğuna bir işaret olup, saha günümüz itibariyle izole bir halde bulunmaktadır. Literatür ve CBS verilerini destekler nitelikte yöre halkı ile yapılan görüşmelerde de sahanın tipik özelliği olan su basar orman yapılarını yakın geçmişte bölgede daha

sıklıkla karşılaşıldığı da göz önünde bulundurulduğunda, korunan alanın gelecekte koruma biyolojisi açısından gen akışını sağlamak adına ekolojik koridorların şimdiden tasarlanarak yaban hayatı hareketliliğinin garanti altına alınması büyük önem taşımaktadır. Bahsi geçen bu yaban koridorları, gerçekleştirilen bu proje çalışmasında elde edilen verilerden yararlanılarak hayata geçirilebilir.

Doğal Sit Alanı ve aynı zamanda Önemli Bitki Alanı koruma statülerini bünyesinde barındıran Haciosman Ormanı, içerdiği ekosistem tipleri ve biyolojik çeşitlilik unsurları, nadirlik ve tipiklik bakımından oldukça önem arz etmektedir (Özhatay ve ark., 2003; Eken ve ark., 2006). Gerek içerdiği boylu ağaç türü çeşitliliği, gerekse alanda yer alan çalılar ve otsu bitkiler, iyi örtüş oranlarıyla alanda izole ve iyi gelişmiş bir ekosistem bütünlüğünü göz önüne sermektedir. Subasar ormanı özelliği göstermesi bakımından da ekosistem zenginliği ön plandadır. Alana yapılacak doğrudan veya dolaylı müdahaleler, bu doğal yapıyı ve ekolojik süreçleri bozacaktır.

Çalışma alanı kalıntı su basar ormanı olduğundan ve denizle bağlantısı tamamen koptuğundan ülkemizdeki diğer sulak alanlar gibi zengin bir sucül biyoçeşitliliğe sahip değildir. Ancak sahip olduğu flora yapısı ile tipik bir subasar ormanı biyoçeşitliliğine sahiptir. Dışbudak Yapraklı Kanatlı Ceviz (*Pterocarya fraxinifolia*), Dışbudak (*Fraxinus angustifolia*) ve Göl Soğanı (*Leucojum aestivum*) bu tipik türlere örnek verilebilir.

Çalışma alanı içerisinde tespit edilen potansiyel iki anıt ağaç bulunmaktadır. Bu ağaçlar oldukça yaşlı ve sığ kök sistemine sahiptirler fırtına ve aşırı kar yağışlarından etkilenmeleri muhtemeldir. Kuvvetli fırtına ve kar yağışlarından sonra alana gidilip mutlaka kontrol edilmelidirler. Kırık dalları, varsa mantar hastalıkları veya kovuk durumları kontrol edilerek gerekli müdahalenin yapılması gerekebilir. Ayrıca tespit edilen çatal dışbudak anıt ağacı Türkiye'deki Dışbudak anıt ağaçları içerisinde en büyüğü olabileceğinden, tescilli anıt dışbudak ağaçları ile kıyaslama yapılmasında fayda vardır.

Çalışma alanının tamamı koruma altında tutulmasını zorunlu kılan özelliğindedir. Çalışma alanının çevresine bakıldığında havaalanı, konutlar, tarım arazileri, otoyol ve hayvancılık tesisi gibi yoğun insan aktivitesinin görüldüğü yapılar bulunmaktadır. Haciosman Ormanı Tabiatı Koruma Alanı tüm bu antropojenik baskıların ortasında yaban hayvanları için tek sığınak noktasıdır. Bu açıdan Tabiatı Koruma Alanı sınırlarının muhafaza edilmesi, gününbirlik tesis ve piknik alanı gibi rekreasyonel faaliyetlere kesinlikle izin verilmemesi uygun olacaktır. Ayrıca koruma sahası içindeki yaban hayvanları ile insan karşılaşmasının önüne geçilmesi amacıyla saha içine girişler uyarı ve bilgilendirme levhaları ile engellenmelidir. Sahaya yalnızca bilimsel çalışmalar amacıyla insan girişi olmalıdır.

Çalışma alanında tespit edilen damarlı bitki taksonları içerisinde her ne kadar endemik ve nadir türlere rastlanılmamış olmakla beraber izlemeye konu olabilecek 4 türün varlığından söz edilebilir. Bunlardan ilki IUCN Kırmızı Liste kategorilerine göre VU statüde yer alan *Plantago lanceolata* (Su sinir otu) olarak belirlenmiştir. Esasen bu türün hem alan içerisinde hem de alanın yakın çevresindeki nemli-ıslak zeminlerde, çayırlarda ve yol kenarlarında iyi düzeyde popülasyona sahip olmakla beraber, küresel ölçekli statüsünden dolayı türe ilişkin yakın gelecekte çeşitli popülasyon yoğunluğu, yayılış, tehdit durumları gibi konuların araştırılarak izlenmesi önem taşımaktadır.

Öte yandan yine her ne kadar endemik ve nadir olmamakla beraber Bern Sözleşmesi'nin Ek-1 listesi içerisinde yer alan türlerden *Cyclamen coum* ssp. *coum* (Sıklamen-Yer Somunu) taksonunun da korunan alan içerisindeki popülasyon durumu düzenli olarak takip edilerek, alan ve/veya yakın çevresinde gerçekleşebilecek her türlü olumsuz durum karşısında taksonun göstereceği etkileşimler çerçevesinde koruma tedbirleri geliştirilmelidir. Bu iki taksonun haricinde tür veya popülasyon ölçeğinden ziyade birey olarak takibinin yapılması önerilen *Quercus robur* (Saplı Meşe) ve *Fraxinus angustifolia* (Sivri Meyveli Dışbudak) türlerine ait iki adet Anıt ağaç ise yine bu bölümde bahsedilmesi önerilen gösterge türlerdendir.

İlk olarak izlenmesi gereken tüm türlerin popülasyon büyüklükleri, popülasyonların kapladığı alanlar, her bir popülasyondaki birey sayısı, tohum veren birey sayıları, yıllar içinde popülasyonlarda görülen dalgalanmalar ve popülasyonları tehdit eden abiyotik ve biyotik faktörler belirlenmelidir. Popülasyonlardaki bireyler sayılmalı ve 2-3 yıllık dönemler halinde kayıt edilmelidir. Popülasyonların sayılamayacak yoğunlukta olduğu bitkilerde, örnekleme metoduna gidilmeli, alan genelinden 10 x 10 m büyüklüğünde mümkün olduğunca fazla örnek alan alınarak içerisindeki bireyler sayılmalı, ortalama ve standart sapma hesabı yapılmalıdır. Elde edilen sonuçlar, izlenmesi önerilen türler üzerinde popülasyon büyüklüğü ve popülasyonda yer alan yetişkin birey sayısında (tohum üretebilen) azalma ve türlere etki edebilecek çeşitli antropojik etkiler (kentleşme, baraj ve yol inşaatı, tarla açma, yangın vb.) ortaya koyarsa, bu türlerin doğal ortamlarında ya da en yakın uygun habitatlarda korunmalıdır. Bunun

yanı sıra türlerin popülasyon yoğunlukları ve komünite parametreleri açısından daha detaylı veriler elde edebilmek amacıyla ilgili türlerin kendilerine ait çiçeklenme dönemleri içerisinde senede bir kez yaşam alanları olarak tespit edilmiş lokalitelerde arazi çalışmaları önerilmektedir.

Teşekkür

Bu araştırma, Doğa Koruma ve Milli Parklar Genel Müdürlüğü uhdesinde, 2017 yılı içerisinde BELDA Belde Proje ve Danışmanlık Ticaret Ltd. Şti. tarafından yürütülen ‘Hacıosman Ormanı Tabiatı Koruma Alanı Kaynak Değerleri Envanter-Araştırma ve İzleme Programının Geliştirilmesi Projesi’ kapsamında tamamlanmıştır. Araştırmanın arazi çalışmaları sırasındaki desteklerinden dolayı Biyolog Prof. Dr. Tamer KEÇELİ, Orman Mühendisi Doç. Dr. Serhat URSAVAŞ’a, çalışma kapsamında çeşitli literatür verilerinin derlenmesi ve haritalama çalışmalarındaki katkılarından dolayı BELDA Belde Proje ve Danışmanlık Ticaret 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 11. Bölge Müdürlüğü Samsun İl Şube Müdürlüğü yetkililerine teşekkürlerimi sunarım.

Yazarların Katkısı

Bu makale tek isimli bir çalışma olup, sorumlu yazarın makalenin tamamında katkısı bulunmaktadır.

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] Avrupa Çevre Ajansı, 2020. The EU Habitats Directive Annex I habitat types – EUNIS Habitat Tipleri sorgulama sistemi. <https://eunis.eea.europa.eu/habitats.jsp> (Erişim Tarihi: 02.01.2020).
- [2] Bonham C.D. 1989. Measurements for terrestrial vegetation. Wiley Intersciences Series, 346 p., N.Y.
- [3] 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.
- [4] Canfield R.H., 1941. Application of the Line Interception Method in Sampling Range Vegetation. Journal of Forestry, 39 (4): 388-394.
- [5] 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.
- [6] Dale V.H., Brown S.L., Haeuber R., Hobbs N.T., Huntly N.J., Naiman R.J., Riebsame W.E., Turner M.G., Valone T.J. 2000. Ecological principles and guidelines for managing the use of land. Ecological Applications, 10: 639-670.
- [7] Davis P.H. 1965-1985. Flora of Turkey and the East Aegean Islands, Vol. 1-9, University Press, Edinburgh.
- [8] Davis, P.H., Harper, P.C., Hege, I.C. (eds.), 1971. Plant Life of South-West Asia. The Botanical Society of Edinburgh.
- [9] Davis P.H., Mill R.R., Tan K. 1988. Flora of Turkey and the East Aegean Islands. Vol. 10, University Press, Edinburgh.
- [10] Diersing V.E., Shaw R.B., Tazik D.J. 1992. US Army Land Condition-Trend Analysis (LCTA) Programme. Environmental Management 16: 405-414.
- [11] Eken G., Bozdoğan M., İsfendiyoğlu S., Kılıç D.T., Lise Y. (eds.). 2006. Türkiye'nin Önemli Doğa Alanları. 2 Cilt. Doğa Derneği, Ankara.

- [12] Ekim T., Koyuncu M., Vural M., Duman H., Aytaç 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, 246 Syf. Ankara.
- [13] Güner A., Özhatay N., Ekim T., Baser K.H.C. (edlr.) (2000). Flora of Turkey and East Aegean Islands 11, Edinburgh Univ. Press, Edinburgh.
- [14] 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. 1290 Syf. İstanbul.
- [15] International Union for Conservation of Nature-IUCN, 2001. Red List Categories and Criteria, Gland-Switzerland. IUCN, 2020. www.iucnredlist.org Websayfasına 2 Ocak 2020 tarihinde erişim sağlanmıştır. IUCN Red List 2019.3, Gland-Switzerland.
- [16] Kevseroğlu K., Özen F., Duru M. 1994. Ondokuz Mayıs Üniversitesi Kurupelit kampus alanındaki önemli tıbbi bitkilerin tespiti ve çiçeklenme dönemlerinin belirlenmesi üzerine bir araştırma. Ond. May. Üniv. Fen Dergi., 5 (1): 27-38.
- [17] Kılınç M., Özen F. 1988. Samsun Ondokuz Mayıs Üniversitesi Kurupelit kampus alanı ve çevresinin florası. Ond. May. Üniv. Fen Der., 1 (2): 97-121.
- [18] Kılınç M., Özkanca R. 1991. Orta Karadeniz Bölgesi kıyı kumullarının florası. Doğa. Tr. J. of Botany, 15: 314-327.
- [19] Korkmaz H., Mumcu Ü.G., Alkan S., Kutbay H.G. 2012. Gölardı (Terme/Samsun) Yaban Hayatı Koruma Alanı'nın Psammofil, Higrofil ve Orman Vejetasyonu Üzerine Sintaksonomik Bir Araştırma. Ekoloji, 21 (85): 64-79.
- [20] Krebs C.J. 1989. Ecological Methodology. Harper & Row Publishers, New York.
- [21] Larsen T.H. (ed.). 2016. Core Standardized Methods for Rapid Biological Field Assessment. Conservation International, Arlington, VA.
- [22] Özen F., Kılınç M. 2002. The Flora and Vegetation of Kunduz Forests (Vezirköprü / Samsun). Turk J Bot., 26: 371-393.
- [23] Özhatay N., Byfield A., Atay S. 2003: Türkiye'nin Önemli Bitki Alanları. WWF Türkiye (Doğal Hayatı Koruma Vakfı), İstanbul.
- [24] Özhatay N., Kültür Ş. 2006. Check-list of additional taxa to the Supplement Flora of Turkey III. Turkish Journal of Botany, 30: 281-316.
- [25] Özhatay N., Kültür Ş., Aslan S. 2009. Check-list of additional taxa to the supplement Flora of Turkey IV. Turkish Journal of Botany, 33: 191-226.
- [26] Phillips O.L., Miller J.S. 2002. Global Patterns of Forest Diversity: The Dataset of Alwyn Gentry. Monographs in Systematic Botany. Volume 89. Missouri Botanical Garden, St Louis, Missouri. 319 p.
- [27] Pils G. 2006. Flowers of Turkey. A Photo Guide. Friedrich VDV, 408 Syf. Austria.
- [28] 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.
- [29] Şişli M.N. 1996. Ekoloji. Yeni Fersa Matbaacılık, Ankara.
- [30] Tavşanoğlu Ç., Gürkan B. 2002. Postfire changes in soil properties of *Pinus brutia* Ten. forests in Marmaris National Park, Turkey. Hacettepe Journal of Biology and Chemistry, 31: 95-105.
- [31] 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.
- [32] 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.
- [33] TÜBİVES (Türkiye Bitkileri Veri Servisi), 2020. <http://turkherb.ibu.edu.tr/index.php> (Erişim Tarihi: 19.10.2019).
- [34] Yalçın E. 2004. Orta Karadeniz Bölgesinin Sahil Kesiminde Bulunan Doğal Meraların Vejetasyonu Üzerinde Floristik, Fitososyolojik ve Ekolojik Bir Araştırma. Doktora Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun.
- [35] Yeniyurt C., Çağırnkaya S., Lise Y., Ceran Y. (editörler) 2008. Kızılırmak Deltası Sulak Alan Yönetim Planı (2008-2012). Çevre ve Orman Bakanlığı, Ankara.

EK-1. Hacıosman Ormanı Tabiatı Koruma Alanı ve Yakın Çevresinde Bulunan ve Habitat Özelliği Nedeniyle Bulunması Muhtemel Flora Türleri, Türkçe İsimleri, Fitocoğrafik Bölgesi, Habitat, Endemizm ve Nadirlik Durumu, BERN, CITES ve IUCN Red List Kategorileri

| Familya ve Tür Adı | Türkçe Adı | Habitat | Endemizm | Fitocoğrafik Bölge | IUCN | Kayıt Şekli | Koruma Statüsü (BERN, CITES) |
|---|----------------------------|---|----------|--------------------|------|-------------|------------------------------|
| PTERIDOPHYTA | | | | | | | |
| EQUISETACEAE | | | | | | | |
| <i>Equisetum palustre</i> L. | Kırkbacak | Orman altları, nemli alanlar | - | - | LC | Literatür | -- |
| <i>Equisetum telmateia</i> Ehrh. | Deredoruk | Orman altları, nemli alanlar, su kenarları | - | - | LC | Gözlem | -- |
| ASPLENIACEAE | | | | | | | |
| <i>Asplenium scolopendrium</i> L. | Geyikdili | Orman altları, nemli alanlar | - | - | NE | Gözlem | -- |
| ASPIDIACEAE | | | | | | | |
| <i>Dryopteris filix-mas</i> (L.) Schott | Erkek eğrelti | Orman altları, nemli alanlar | - | - | NE | Gözlem | -- |
| POLYPODIACEAE | | | | | | | |
| <i>Polypodium cambricum</i> L. | Eğrelti | Orman altları, nemli alanlar | - | - | NE | Literatür | -- |
| OSMUNDACEAE | | | | | | | |
| <i>Osmunda regalis</i> L. | Kıral eğreltisi | Orman altları, nemli alanlar | - | - | LC | Gözlem | -- |
| ADIANTACEAE | | | | | | | |
| <i>Adiantum capillus-veneris</i> L. | Baldırıkara | Kireçtaşı çatlakları, çimenlik, bazik toprak | - | - | LC | Gözlem | -- |
| THELYPTERIDACEAE | | | | | | | |
| <i>Thelypteris palustris</i> (A.Gray) Schott | Karakizeğreltisi | Göl kenarı sığ su, Sparganium-Alnus-Salix bataklığı, Orman altları, nemli alanlar | - | - | LC | Gözlem | -- |
| SPERMATOPHYTA | | | | | | | |
| GYMNOSPERMAE | | | | | | | |
| PINACEAE | | | | | | | |
| <i>Pinus brutia</i> Ten. | Kızılçam | İbrelî ormanlar (Plantasyon) | - | Akd. Ele. | LC | Gözlem | -- |
| <i>Pinus pinaster</i> Aiton | Sahil Çamı (Maritime Pine) | İbrelî ormanlar (Plantasyon) | - | - | LC | Gözlem | -- |
| CUPRESSACEAE | | | | | | | |
| <i>Juniperus oxycedrus</i> ssp. <i>oxycedrus</i> L. | Katran ardıcı | İbrelî ormanlar, çalılıklar | - | - | LC | Gözlem | -- |
| <i>Cupressus sempervirens</i> L. | Akdeniz Servisi | İbrelî ormanlar, karışık ormanlar (plantasyon) | - | Akd. Ele. | LC | Gözlem | -- |
| ANGIOSPERMAE | | | | | | | |
| DICOTYLEDONES | | | | | | | |
| RANUNCULACEAE | | | | | | | |
| <i>Helleborus orientalis</i> Lam. | Çöpleme | Orman kenarları, çalılıklar | - | Karadeniz (Öksin) | NE | Gözlem | -- |
| <i>Consolida orientalis</i> (Gay) Schrod. | Mor çiçek | Ekili ve nadas tarlalar | - | - | NE | Gözlem | -- |
| <i>Ranunculus peltatus</i> Schrank subsp. <i>peltatus</i> | Su yağlıcanağı | Su içleri ve kenarları | - | - | LC | Gözlem | -- |
| <i>Ranunculus sceleratus</i> L. | Batak düğünçeği | Bataklıklar, nemli alanlar, subasar ormanlar | - | - | NE | Gözlem | -- |
| <i>Ranunculus repens</i> L. | Tiktakdana | Nemli alanlar | - | - | NE | Literatür | -- |
| <i>Ranunculus ficaria</i> L. ssp. <i>ficariiformis</i> Rouy & Fouc. | Arpacıksalebi | Su kenarları | - | - | NE | Gözlem | -- |
| <i>Ranunculus trichophyllus</i> Chaix ex Vill. | Suluçanak | Su içleri, kanallar | - | - | LC | Gözlem | -- |
| <i>Clematis vitalba</i> L. | Duman asması | Nemli ormanlar, çalılıklar | - | - | NE | Gözlem | -- |

| Familya ve Tür Adı | Türkçe Adı | Habitat | Endemizm | Fitocoğrafik Bölge | IUCN | Kayıt Şekli | Koruma Statüsü (BERN, CITES) |
|---|----------------|--|----------|--------------------|------|-------------|------------------------------|
| PAPAVERACEAE | | | | | | | |
| <i>Corydalis cava</i> (L.) Schweigg. & Körte subsp. <i>cava</i> | Çayır kazgası | Çayır-mera | - | - | NE | Gözlem | -- |
| <i>Papaver dubium</i> subsp. <i>dubium</i> L. | Köpekyacağı | volkanik kayalar, tortul şist veya kum üzerindeki açık vejetasyonlar | - | - | NE | Gözlem | -- |
| PLATANACEAE | | | | | | | |
| <i>Platanus orientalis</i> L. | Çınar | Dere kenarları | - | - | DD | Gözlem | -- |
| ULMACEAE | | | | | | | |
| <i>Ulmus glabra</i> Huds. | Dağ Karaağacı | Geniş yapraklı ve karışık ormanlar | - | Avrupa-Sibirya | DD | Gözlem | -- |
| LAURACEAE | | | | | | | |
| <i>Laurus nobilis</i> L. | Defne | Makilikler, orman altları | - | Akd. Ele. | NE | Gözlem | -- |
| MORACEAE | | | | | | | |
| <i>Morus alba</i> L. | Akdut | Parklar, bahçeler | - | - | NE | Gözlem | -- |
| <i>Ficus carica</i> L. | İncir | Plantasyon, makilikler | - | Akd. Ele. | LC | Gözlem | -- |
| URTICACEAE | | | | | | | |
| <i>Urtica dioica</i> ssp. <i>dioica</i> L. | Isırgan | Orman altları, nemli yerler | - | Avrupa-Sibirya | LC | Gözlem | -- |
| JUGLANDACEAE | | | | | | | |
| <i>Juglans regia</i> L. | Ceviz | Parklar, bahçeler, geniş yapraklı ormanlar | - | - | LC | Gözlem | -- |
| FAGACEAE | | | | | | | |
| <i>Fagus orientalis</i> Lipsky | Kayın | Geniş yapraklı ve karışık ormanlar | - | Avrupa-Sibirya | LC | Gözlem | -- |
| <i>Castanea sativa</i> Mill. | Kestane | Geniş yapraklı ve karışık ormanlar | - | Avrupa-Sibirya | NE | Literatür | -- |
| <i>Quercus petraea</i> (Matt.) Liebl. | Sapsız Meşe | | - | - | LC | Literatür | -- |
| <i>Quercus robur</i> subsp. <i>robur</i> L. | Saplı Meşe | Geniş yapraklı ve karışık ormanlar | - | Avrupa-Sibirya | LC | Gözlem | -- |
| CORYLACEAE | | | | | | | |
| <i>Ostrya carpinifolia</i> Scop. | Firek | Yaprak döken ormanlar veya çalılıklar, <i>Pinus brutia</i> ve <i>Pinus nigra</i> orman açıklıkları | - | Akdeniz | LC | Gözlem | -- |
| <i>Corylus avellana</i> L. | Fındık | Geniş yapraklı ve karışık ormanlar | - | Avrupa-Sibirya | LC | Gözlem | -- |
| <i>Carpinus betulus</i> L. | Gürgen | Geniş yapraklı ve karışık ormanlar | - | Avrupa-Sibirya | LC | Gözlem | -- |
| <i>Alnus glutinosa</i> (L.) Gaertner | Kızılağaç | Geniş yapraklı ve karışık ormanlar | - | Karadeniz (Öksin) | LC | Gözlem | -- |
| CHENOPODIACEAE | | | | | | | |
| <i>Chenopodium botrys</i> L. | Kızılback | Su kenarları, nemli-ıslak yerler | - | - | NE | Gözlem | -- |
| AMARANTHACEAE | | | | | | | |
| <i>Amaranthus retroflexus</i> L. | Tilkikuyruğu | Su kenarları, yol kenarları, ruderal | - | - | NE | Gözlem | -- |
| GENTIANACEAE | | | | | | | |
| <i>Schenkia spicata</i> (L.) G. Mans. | Kanton | Tuzlu ve kumul yerler | - | - | NE | Gözlem | -- |
| CRUCIFERAE | | | | | | | |
| <i>Cardamine pratensis</i> L. | Çayır köpükotu | Çayırlar, su kenarları | - | Avrupa-Sibirya | NE | Gözlem | -- |
| <i>Nasturtium officinale</i> R. BR. | Suteresi | Dere, göler, su kenarları | - | - | LC | Gözlem | -- |
| <i>Capsella bursa-pastoris</i> (L.) Medik. | Çobançantası | Çayır | - | Kozmopolit | NE | Gözlem | -- |
| <i>Draba muralis</i> L. | Ak Dolama | Orman altları | - | - | NE | Literatür | -- |

| Familya ve Tür Adı | Türkçe Adı | Habitat | Endemizm | Fitocoğrafik Bölge | IUCN | Kayıt Şekli | Koruma Statüsü (BERN, CITES) |
|--|-----------------|---------------------------------------|----------|--------------------|------|-------------|------------------------------|
| <i>Draba verna</i> L. | Çirçirotu | Orman altları, çayırlar | - | - | NE | Gözlem | -- |
| <i>Malcolmia chia</i> (L.) DC. | Ekinteresi | Çayırlar | - | Doğu Akdeniz | NE | Literatür | -- |
| <i>Raphanus raphanistrum</i> L. | Eşekturpu | Yol kenarları, boş tarlalar, ruderal | - | - | NE | Gözlem | -- |
| <i>Sinapis arvensis</i> L. | Hardal | Yol kenarları, boş tarlalar, ruderal | - | - | NE | Gözlem | -- |
| <i>Sisymbrium officinale</i> L. (Scop.) | Ergelen Hardalı | Yol kenarları, boş tarlalar, ruderal | - | - | NE | Literatür | -- |
| CRASSULACEAE | | | | | | | |
| <i>Sedum album</i> L. | Çobankavurgası | Kaya kovukları | - | - | NE | Gözlem | -- |
| <i>Sedum pallidum</i> M.Bieb. | Koyunörmece | Kaya kovukları | - | Karadeniz | NE | Gözlem | -- |
| SAXIFRAGACEAE | | | | | | | |
| <i>Saxifraga cymbalaria</i> L. | Sarı taşkıran | Taşlık, kayalıklar | - | - | NE | Literatür | -- |
| CARYOPHYLLACEAE | | | | | | | |
| <i>Moehringia trinervia</i> (L.) Clairv. | Keleşot | Ormanlar, gölgeli ve nemli yerler | - | - | NE | Gözlem | -- |
| <i>Cerastium glomeratum</i> Thuill. | Boynuzotu | Meralar, nemli yerler | - | Kozmopolit | NE | Literatür | -- |
| <i>Silene latifolia</i> ssp. <i>alba</i> (Miller) Greuter & Burdet | Gıgıgıcı | Açık yerler, orman kenarları, ruderal | - | - | NE | Gözlem | -- |
| <i>Stellaria media</i> (L.) Vill. | Kuşotu | Islak-nemli zeminler | - | - | NE | Gözlem | -- |
| POLYGONACEAE | | | | | | | |
| <i>Polygonum amphibium</i> L. | Yerdeğiştiren | Su kenarları, ıslak zeminler | - | - | LC | Gözlem | -- |
| <i>Polygonum hydropiper</i> L. | Subiberi | Sulak zeminler, bataklıklar | - | - | LC | Gözlem | -- |
| <i>Polygonum cognatum</i> Meissn. | Madımak | Meralar, yol kenarları | - | - | NE | Gözlem | -- |
| <i>Rumex crispus</i> L. | Labada | Su kenarları, ıslak zeminler | - | - | NE | Gözlem | -- |
| <i>Rumex hydrolapathum</i> Huds. | Adameveleği | Su kenarları, ıslak zeminler | - | - | LC | Gözlem | -- |
| GUTTIFERAE | | | | | | | |
| <i>Hypericum perforatum</i> L. | Kantaron | Orman kenarları | - | - | NE | Gözlem | -- |
| TILIACEAE | | | | | | | |
| <i>Tilia tomentosa</i> Moench | Gümüşü Ihlamur | Geniş yapraklı ve karışık ormanlar | - | Karadeniz (Öksin) | NE | Gözlem | -- |
| MALVACEAE | | | | | | | |
| <i>Malva neglecta</i> Wallr. | Çobançoşeği | Yol kenarı, ruderal | - | - | NE | Gözlem | -- |
| <i>Malva sylvestris</i> L. | Ebegümece | Yol kenarı, ruderal | - | - | NE | Gözlem | -- |
| CISTACEAE | | | | | | | |
| <i>Helianthemum nummularium</i> (L.) Miller | Güngülü | Kayalık, taşlık zeminler | - | - | NE | Gözlem | -- |
| VIOLACEAE | | | | | | | |
| <i>Viola alba</i> subsp. <i>dehnhardtii</i> (Ten.) W.Becker | Meşe Menekşesi | Gölgeli alan, su yakını, çayırlar | - | - | NE | Gözlem | -- |
| <i>Viola reichenbachiana</i> Jord. ex. Boreau | Kayınmenekşesi | Gölgeli alan, su yakını, çayırlar | - | - | NE | Gözlem | -- |
| SALICACEAE | | | | | | | |
| <i>Salix alba</i> subsp. <i>alba</i> L. | Aksöğüt | Dere kenarları, ıslak zeminler | - | Avrupa-Sibirya | LC | Gözlem | -- |
| <i>Populus nigra</i> subsp. <i>nigra</i> L. | Karakavak | Dere kenarları, ıslak zeminler | - | Avrupa-Sibirya | DD | Gözlem | -- |

| Familya ve Tür Adı | Türkçe Adı | Habitat | Endemizm | Fitocoğrafik Bölge | IUCN | Kayıt Şekli | Koruma Statüsü (BERN, CITES) |
|---|----------------|--|----------|--------------------|------|-------------|------------------------------|
| LINACEAE | | | | | | | |
| <i>Linum flavum</i> subsp. <i>flavum</i> L. | Çimit | Killi topraklı step, tepekenarları, nadas tarlalar ve yolkenarları | - | Avrupa-Sibirya | NE | Gözlem | -- |
| POLYGALACEAE | | | | | | | |
| <i>Polygala supina</i> Schreb | Gihaye sipirge | Çıplak alanlar, kayalık alan, orman | - | - | NE | Literatür | - |
| GERANIACEAE | | | | | | | |
| <i>Erodium cicutarium</i> subsp. <i>cicutarium</i> (L.) L'Herit. | İğnelik | Ruderal | - | - | NE | Gözlem | -- |
| <i>Geranium robertianum</i> L. | Dağtutru | Ruderal | - | Doğu Akdeniz | NE | Gözlem | -- |
| <i>Geranium purpureum</i> Vill. | Ebedön | Ruderal | - | - | NE | Literatür | -- |
| OXALIDACEAE | | | | | | | |
| <i>Oxalis acetosella</i> L. | Ekşiyonca | Ormanlar içindeki kıyıları | - | - | NE | Gözlem | -- |
| ACERACEAE | | | | | | | |
| <i>Acer platanoides</i> L. | Çınarakağacı | Geniş yapraklı ve karışık ormanlar | - | Avrupa-Sibirya | LC | Gözlem | -- |
| <i>Acer campestre</i> L. | Ovaakağacı | Geniş yapraklı ve karışık ormanlar | - | Avrupa-Sibirya | LC | Gözlem | -- |
| RHAMNACEAE | | | | | | | |
| <i>Paliurus spina-christi</i> P.Mill. | Karaçalı | Maki, orman, dere kıyıları | - | - | NE | Gözlem | -- |
| <i>Rhamnus cathartica</i> L. | Akdiken | Maki, orman, çalılık | - | Avrupa-Sibirya | LC | Gözlem | -- |
| <i>Frangula dodonei</i> subsp. <i>dodonei</i> Ard. | Barutağacı | Maki, orman, dere kıyıları | - | - | NE | Gözlem | -- |
| VITACEAE | | | | | | | |
| <i>Vitis sylvestris</i> C.C.Gmelin | Deliasma | Çalılıklar | - | - | NE | Gözlem | -- |
| LEGUMINOSAE | | | | | | | |
| <i>Glycyrrhiza glabra</i> var. <i>glabra</i> L. | Meyan | Ekilmiş tarlalar, alüvyonlu nehir vadileri, kumullar, ruderal | - | - | NE | Gözlem | -- |
| <i>Argyrobolium biebersteinii</i> P.W.Ball | Acı collik | Kayalık yarılar, yaprak döken korular | - | Karadeniz | NE | Literatür | -- |
| <i>Astragalus odoratus</i> Lam. | Misk Geveni | Bataklıklar, sulu çayırıklar, çorak yerler | - | - | NE | Literatür | -- |
| <i>Securigera varia</i> (L.) Lassen | Körigen | Açık alanlar, çayırlar | - | - | NE | Gözlem | -- |
| <i>Lathyrus digitatus</i> (M.Bieb.) Fiori | Tavşankanı | Orman, çalılık, gölgeli kıyıları | - | - | NE | Gözlem | -- |
| <i>Lotus corniculatus</i> var. <i>corniculatus</i> L. | Gazalboynuzu | Orman, çalılık, gölgeli kıyıları | - | - | NE | Gözlem | -- |
| <i>Medicago minima</i> var. <i>minima</i> (L.) Bart. | Gurnik | Orman, çalılık, gölgeli kıyıları | - | - | NE | Literatür | -- |
| <i>Ononis spinosa</i> subsp. <i>hircina</i> (Jacq.) Gams | Şırbık | Nemli ve kurak yamaçlar, nadas tarlaları, taşlı yerler | - | Avrupa-Sibirya | NE | Gözlem | -- |
| <i>Pisum sativum</i> subsp. <i>elatius</i> var. <i>brevipedunculatum</i> Davis & Meikle | Yabani Bezelye | Tarlalar, bağlar, çukurlar, yolkenarları | - | - | NE | Gözlem | -- |
| <i>Trifolium repens</i> var. <i>repens</i> L. | Ak Üçgül | Batak arazi, otlaklar | - | - | NE | Gözlem | -- |
| <i>Trifolium pratense</i> L. | Çayır Üçgülü | Ruderal | - | - | LC | Gözlem | -- |
| <i>Trifolium arvense</i> L. | Tavşanayağı | Ruderal | - | - | NE | Gözlem | -- |
| <i>Trifolium campestre</i> Schreb. | Üçgül | Ruderal | - | - | NE | Gözlem | -- |
| <i>Vicia anatolica</i> Turrill | Yılan Fiği | Meşe ormanları, bozkır, yol kenarları, çağılıklar | - | İran-Turan | NE | Gözlem | -- |
| LYTHRACEAE | | | | | | | |

| Familiya ve Tür Adı | Türkçe Adı | Habitat | Endemizm | Fitocoğrafik Bölge | IUCN | Kayıt Şekli | Koruma Statüsü (BERN, CITES) |
|---|--------------------|---|----------|--------------------|------|-------------|------------------------------|
| <i>Lythrum salicaria</i> L. | Hevhulma | Göl ve derelerin ıslak yerleri | - | Avrupa-Sibirya | LC | Gözlem | -- |
| <i>Trapa natans</i> L. | Sukestanesi | Göl ve derelerin ıslak yerleri | - | - | LC | Gözlem | BERN EK-I |
| ROSACEAE | | | | | | | |
| <i>Pyracantha coccinea</i> M. Roem. | Ateşdikeni | Ormanlar, meşelikler, çalılıklar | - | Avrupa-Sibirya | LC | Gözlem | -- |
| <i>Crataegus rhipidophylla</i> var. <i>rhipidophylla</i> Gand. | Kızılırcık | Yaprak döken ve karışık ormanlar, açlılık yamaçlar, nehir kenarları | - | - | NE | Gözlem | -- |
| <i>Crataegus monogyna</i> Jacq. | Yemişen | Ormanlar, meşelikler, çalılıklar | - | - | LC | Gözlem | -- |
| <i>Laurocerasus officinalis</i> M.Roem. | Karayemiş | Ormanlar, çalılıklar, park-bahçeler | - | - | NE | Gözlem | -- |
| <i>Mespilus germanica</i> L. | Muşmula | Ormanlar, meşelikler, çalılıklar | - | - | LC | Gözlem | -- |
| <i>Cotoneaster integerrimus</i> L. | Garagat | Ormanlar, meşelikler, çalılıklar | - | - | NE | Gözlem | -- |
| <i>Fragaria vesca</i> L. | Dağçileği | Ormanlar | - | Avrupa-Sibirya | NE | Gözlem | -- |
| <i>Potentilla recta</i> L. | Suparmakotu | Çayırlar, meralar, ıslak ve gölgeli yerler | - | - | NE | Gözlem | -- |
| <i>Prunus x domestica</i> L. | Erik | Tepeler, dağ yamaçları, tarla kenarları, yol kenarları | - | - | NE | Gözlem | -- |
| <i>Pyrus elaeagnifolia</i> subsp. <i>elaeagnifolia</i> Pallas | Ahlat | Tepeler, dağ yamaçları, tarla kenarları, yol kenarları | - | - | NE | Gözlem | -- |
| <i>Rubus sanctus</i> Schreb. | Böğürtlen | Yaprak döken ormanlar ve çalılar, gölgeli kıyılar, kıyı ovalar | - | - | NE | Gözlem | -- |
| <i>Rosa canina</i> L. | Kuşburnu | Çalılıklar | - | - | NE | Gözlem | -- |
| <i>Sanguisorba minor</i> subsp. <i>minor</i> L. | Çayır düğmesi | Çayırlar | - | Kozmopolit | NE | Gözlem | -- |
| <i>Sorbus torminalis</i> var. <i>torminalis</i> (L.) Crantz | Pitlicen | Orman kenarları, meşelikler | - | - | LC | Literatür | -- |
| ONAGRACEAE | | | | | | | |
| <i>Epilobium hirsutum</i> L. | Hasanhüseyniçiçeği | Bataklıklar, nehir kıyıları | - | - | LC | Literatür | -- |
| <i>Epilobium angustifolium</i> L. | Yakı otu | Bataklıklar, nehir kıyıları | - | - | LC | Gözlem | -- |
| RUSCACEAE | | | | | | | |
| <i>Ruscus aculeatus</i> L. | Tavşanmemesi | Makilikler, orman altları | - | Akd. Ele. | NE | Gözlem | -- |
| SMILACACEAE | | | | | | | |
| <i>Smilax excelsa</i> L. | Dikenucu | Makilikler, orman altı-sarmaşık | - | Karadeniz Ele. | NE | Gözlem | -- |
| CORNACEAE | | | | | | | |
| <i>Cornus sanguinea</i> subsp. <i>australis</i> (C.A.Mey.) Jáv. | Kansığdiren | Orman, meşelikler | - | Avrupa-Sibirya | NE | Gözlem | -- |
| SANTALACEAE | | | | | | | |
| <i>Osyris alba</i> L. | Morcak | Orman, kayalık yamaçlar | - | Akdeniz | NE | Gözlem | -- |
| LORANTHACEAE | | | | | | | |
| <i>Viscum album</i> L. | Ökse otu | İbrel ve geniş yapraklı ağaçlar üzerinde parazitik | - | - | NE | Gözlem | -- |
| UMBELLIFERAE | | | | | | | |
| <i>Conium maculatum</i> L. | Baldıran | Koruluklar ve dere kıyıları | - | - | NE | Gözlem | -- |
| <i>Apium nodiflorum</i> (L.) Lag. | Bendik | Batak arazi, dereler | - | - | LC | Gözlem | -- |
| <i>Daucus carota</i> L. | Yabani Havuç | Ruderal | - | - | DD | Gözlem | -- |
| <i>Eryngium creticum</i> Lam. | Gözdikeni | Ruderal | - | Akdeniz | NE | Gözlem | -- |
| <i>Scandix stellata</i> Banks & Sol. | Dağ Kişkişi | Kuru, kayalık tepe yanları, aşınmış yamaçlar, çağılıklar, yolkenarları, tahıl tarlaları | - | - | NE | Gözlem | -- |
| <i>Caucalis platycarpus</i> L. | Kavkal | Tarlalar, yamaçlar, yol kenarları, çorak yerler | - | - | NE | Gözlem | -- |

| Familya ve Tür Adı | Türkçe Adı | Habitat | Endemizm | Fitocoğrafik Bölge | IUCN | Kayıt Şekli | Koruma Statüsü (BERN, CITES) |
|--|--------------------|--|----------|--------------------|------|-------------|------------------------------|
| <i>Turgenia latifolia</i> (L.) Hoffm. | Karaheci | Çorak ve ekili yerler | - | - | NE | Gözlem | -- |
| CELASTRACEAE | | | | | | | |
| <i>Euonymus europaeus</i> L. | İğcik ağacı | Çalılıklar, ormanlar | - | Avrupa-Sibirya | NE | Gözlem | -- |
| <i>Euonymus latifolius</i> subsp. <i>latifolius</i> Mill. | İğ ağacı | Çalılıklar, ormanlar | - | Avrupa-Sibirya | NE | Gözlem | -- |
| ARALIACEAE | | | | | | | |
| <i>Hedera helix</i> L. | Duvar sarmaşığı | Orman altları, çalılıklar | - | - | NE | Gözlem | -- |
| CAPRIFOLIACEAE | | | | | | | |
| <i>Sambucus ebulus</i> L. | Mürverotu | Orman içi ve kenarındaki çalılıklar | - | Avrupa-Sibirya | NE | Gözlem | -- |
| <i>Viburnum lantana</i> L. | Germeşe | Orman içi ve kenarındaki çalılıklar | - | Avrupa-Sibirya | NE | Gözlem | -- |
| RUBIACEAE | | | | | | | |
| <i>Asperula involucrata</i> Wahlenb. | Akçabelumotu | Yaprak döken ve karışık ormanlar | - | Karadeniz (Öksin) | NE | Literatür | -- |
| <i>Galium odoratum</i> (L.) Scop | Orman iplikçığı | Yaprak döken ve karışık ormanlar | - | Avrupa-Sibirya | NE | Gözlem | -- |
| <i>Galium aparine</i> L. | Çoban süzgeci | Yaramaz ot, çalılık, ekili alanlar, nemli ormanlar | - | - | NE | Gözlem | -- |
| VALERIANACEAE | | | | | | | |
| <i>Valerianella locusta</i> (L.) Laterrade | Nazlı kuzu gevreği | Kayalık yerler, koruluklar | - | Avrupa-Sibirya | LC | Gözlem | -- |
| DIPSACACEAE | | | | | | | |
| <i>Dipsacus laciniatus</i> L. | Fesçi Tarağı | Yol kenarları, dere kenarları, ıslak zeminler | - | Avrupa-Sibirya | NE | Gözlem | -- |
| <i>Knautia involucrata</i> Sommier & Levier | Deli Eşekkulağı | Kayalık yamaçlar, çalı ve açık ormanlar | - | Karadeniz (Dağ) | NE | Literatür | -- |
| <i>Scabiosa rotata</i> M.Bieb. | Top uyuz otu | Step, açık koruluk, nadas tarlalar | - | İran-Turan | NE | Gözlem | -- |
| CANNABACEAE | | | | | | | |
| <i>Humulus lupulus</i> L. | Şerbetçiotu | Orman kenarları | - | Avrupa-Sibirya | NE | Gözlem | -- |
| STAPHYLEACEAE | | | | | | | |
| <i>Staphylea pinnata</i> L. | Ağızlık çalısı | Ormanlar ve gölgelik yerler | - | - | LC | Gözlem | -- |
| COMPOSITAE | | | | | | | |
| <i>Silybum marianum</i> (L.) Gaertner | Deve dikenini | Yol kenarı, nadas tarla, orman kenarı | - | Akdeniz | NE | Gözlem | -- |
| <i>Petasites hybridus</i> (L.) G.Gaertn., B.Mey. & Scherb. | Kabalak | Nemli alanlar, su kenarları | - | Avrupa-Sibirya | NE | Gözlem | -- |
| <i>Conyza canadensis</i> (L.) Cronquist | Selviotu | Nemli alan, sahil yakını, kültür İSTİLACI TÜR | - | - | NE | Gözlem | -- |
| <i>Hieracium nemorense</i> Jordan | Ağa şahinotu | Göl yakını orman tabanları | - | - | NE | Gözlem | -- |
| <i>Bidens tripartita</i> L. | Üç suketenini | Su kenarı, bataklık, kesekli alan | - | - | LC | Gözlem | -- |
| <i>Pulicaria dysenterica</i> subsp. <i>dysenterica</i> (L.) Bernh. | Yaraotu | Su ve nehir kıyısı, sahil yakını | - | - | NE | Gözlem | -- |
| <i>Achillea arabica</i> Kotschy | Hanzabel | Orman, step, kayalık volkanik yamaçlar, çayırılık, nadas tarla | - | İran-Turan | NE | Gözlem | -- |
| <i>Anthemis cretica</i> L. subsp. <i>albida</i> (Boiss.) Grierson | Akçabaş | Yol kenarları, ruderal | - | - | NE | Literatür | -- |
| <i>Bellis perennis</i> L. | Koyungözü | Yol kenarları, ruderal | - | Avrupa-Sibirya | NE | Gözlem | -- |

| Familya ve Tür Adı | Türkçe Adı | Habitat | Endemizm | Fitocoğrafik Bölge | IUCN | Kayıt Şekli | Koruma Statüsü (BERN, CITES) |
|---|-------------------|--|----------|--------------------|------|-------------|------------------------------|
| <i>Carlina vulgaris</i> L. | Delidomuzdikeni | Kayın ormanı | - | - | NE | Literatür | -- |
| <i>Centaurea patula</i> DC. | Salkımdüğme | Tarlalar, yol kenarları | - | İran-Turan | NE | Literatür | -- |
| <i>Carduus nutans</i> L. | Eşekdikeni | Kayalık kireçtaşı yamaç, tarla kenarı | - | - | NE | Gözlem | -- |
| <i>Chondrilla juncea</i> L. | Karakavuk | Kayalık kireçtaşı yamaç, tarla kenarı | - | - | NE | Literatür | -- |
| <i>Cichorium intybus</i> L. | Hindiba | Ruderal | - | - | NE | Gözlem | -- |
| <i>Cirsium vulgare</i> (Savi) Ten | Yaygın Kangal | Ruderal, orman altı | - | - | NE | Gözlem | -- |
| <i>Cirsium hypoleucum</i> DC. | Vişne kangalı | Ruderal, orman altı | - | - | NE | Gözlem | -- |
| <i>Crepis foetida</i> L. | Kohum | Yol kenarı, orman kenarı | - | - | NE | Gözlem | -- |
| <i>Senecio vernalis</i> Waldst. & Kit. | Kanarya otu | Kayalık yamaçlar | - | - | NE | Literatür | -- |
| <i>Tragopogon papposa</i> Sch.Bip. subsp. <i>longirostris</i> | Tekesakalı | Kayalık yamaçlar | - | - | NE | Gözlem | -- |
| <i>Tussilago farfara</i> L. | Öksürükotu | Nemli alanlar | - | Avrupa-Sibirya | NE | Gözlem | -- |
| <i>Xanthium spinosum</i> L. | Pıtrak | Yol kenarları, nadas tarlalar | - | - | NE | Gözlem | -- |
| <i>Xanthium strumarium</i> L. | Koca Pıtrak | Ruderal, yol kenarları | - | - | NE | Gözlem | -- |
| POTAMOGETONACEAE | | | | | | | |
| <i>Potamogeton lucens</i> L. | Telsusümbülü | Su kenarları | - | - | LC | Gözlem | -- |
| CAMPANULACEAE | | | | | | | |
| <i>Campanula rapunculoides</i> L. | Elmacık | Seyrek orman, kayalık yamaçlar, çağlıklar | - | Avrupa-Sibirya | NE | Literatür | -- |
| <i>Asyneuma lobelioides</i> (Willd.) Hand.-Mazz. | Bozkırdeğneği | Seyrek Juniperus excelsa ormanları, bozkır, kayalık yamaçlar | - | İran-Turan | NE | Literatür | -- |
| PRIMULACEAE | | | | | | | |
| <i>Primula acaulis</i> subsp. <i>acaulis</i> (L.) L. | Çuhaçiçeği | Orman altları | - | Avrupa-Sibirya | NE | Gözlem | -- |
| <i>Primula acaulis</i> subsp. <i>rubra</i> Sm. (Greuter)& Burdet | Evvelbahar çiçeği | Orman altları | - | Karadeniz | NE | Gözlem | -- |
| <i>Lysimachia vulgaris</i> L. | Kargaotu | Orman altları | - | - | LC | Gözlem | -- |
| <i>Cyclamen coum</i> subsp. <i>coum</i> Mill. | Yersomunu | Orman altları | - | - | NE | Gözlem | Bern Ek-I |
| <i>Cyclamen coum</i> Mill. subsp. <i>coum f. pallidum</i> (ALBUM) | Yersomunu | Orman altları | - | - | NE | Gözlem | Bern Ek-I |
| ELAEAGNACEAE | | | | | | | |
| <i>Elaeagnus rhamnoides</i> (L.) A. Nelson | Çıçırgan | Çalıklar | - | - | NE | Gözlem | -- |
| BERBERIDACEAE | | | | | | | |
| <i>Berberis vulgaris</i> DC. | Kızılkaramuk | Çalıklar | - | - | NE | Gözlem | -- |
| OLEACEAE | | | | | | | |
| <i>Fraxinus excelsior</i> subsp. <i>excelsior</i> L. | Dişbudak | Geniş yapraklı ve karışık orman, nemli ve ıslak yerler, su kenarları | - | Avrupa-Sibirya | NE | Gözlem | -- |
| <i>Fraxinus angustifolia</i> subsp. <i>angustifolia</i> Vahl. | Sivri Dişbudak | Geniş yapraklı ve karışık orman, nemli ve ıslak yerler, su kenarları | - | - | NE | Gözlem | -- |
| <i>Ligustrum vulgare</i> L. | Kurtbağrı | Geniş yapraklı ve karışık orman | - | Avrupa-Sibirya | NE | Gözlem | -- |
| SOLANACEAE | | | | | | | |

| Familya ve Tür Adı | Türkçe Adı | Habitat | Endemizm | Fitocoğrafik Bölge | IUCN | Kayıt Şekli | Koruma Statüsü (BERN, CITES) |
|--|-------------------|---|----------|-----------------------------------|------|-------------|------------------------------|
| <i>Solanum dulcamara</i> L. | Sofur | Göllerin kenarlarında, bataklar veya sazlıklar, kuru dere yatakları | - | Avrupa-Sibirya | NE | Gözlem | -- |
| <i>Solanum americanum</i> Mill. | İtüzümü | Orman kenarı | - | - | NE | Gözlem | -- |
| <i>Datura stramonium</i> L. | Boru çiçeği | Kumullar, çalılıklar, yol kenarları | - | - | NE | Gözlem | -- |
| CONVOLVULACEAE | | | | | | | |
| <i>Convolvulus betonicifolius</i> subsp. <i>betonicifolius</i> Mill. | Büyük yayılğan | Kumullar | - | Akdeniz, İran-Turan (İki Bölgesi) | NE | Gözlem | -- |
| <i>Convolvulus arvensis</i> L. | Tarla sarmaşığı | Kumlu bozkır, nadas tarlaları, hendeklerin kenarlarının üzerinde, nehirler ve göller | - | - | NE | Gözlem | -- |
| <i>Calystegia sepium</i> subsp. <i>sepium</i> (L.) R.Br. | Çit Sarmaşığı | Ormanlar, çalılıklar, nehir kenarları, çitler | - | - | LC | Gözlem | -- |
| ASCLEPIADACEAE | | | | | | | |
| <i>Vincetoxicum scandens</i> Somm. Et Lev. | Mor Gavur biberi | Açık, kayalık yamaçlar, nehir vadileri | - | - | NE | Gözlem | -- |
| BORAGINACEAE | | | | | | | |
| <i>Cerintho minor</i> L. subsp. <i>auriculata</i> (Ten.) Domac | Livarotu | Yamaçlar, hareketli kayalıklar, çakıllı kenar, tarlalar, tarla-kenarlar, yol kenarlar | - | - | NE | Gözlem | -- |
| <i>Echium vulgare</i> L. | Engerek otu | Yol kenarları, çalılıklar ve ormanlar | - | Avrupa-Sibirya | NE | Gözlem | -- |
| <i>Anchusa pusilla</i> Guşul | Kırkgövrek | Tarlalar, çalılıklar, taşlık alanlar, yol kenarları | - | - | NE | Gözlem | -- |
| <i>Heliotropium ellipticum</i> Ledeb. | Orakbambulotu | Tarlalar, yol kenarları, kuru taşlı yamaçlar | - | İran-Turan | NE | Gözlem | -- |
| <i>Lappula barbata</i> (M. Bieb.) Gürke | Gürke | Bozkır, taşlı ve volkanik yamaçlar, tarla kenarları, çorak yerler | - | İran-Turan | NE | Gözlem | -- |
| <i>Myosotis stricta</i> Roem. & Schult. | Yitikunutmabeni | Kuru yerler | - | Avrupa-Sibirya | NE | Gözlem | -- |
| <i>Trachystemon orientalis</i> (L.) G. Don | Kaldirik | Kayın ormanları, gölgeli nehir kıyıları, nemli alanlar | - | Karadeniz (Öksin) | NE | Gözlem | -- |
| ALISMATACEAE | | | | | | | |
| <i>Alisma lanceolatum</i> With. | Kurbağakaşığı | Göl kıyıları, hendekler, havuzlar, sazlıklar, yüzeysel durgun sularda | - | Kozmopolit | LC | Gözlem | -- |
| SCROPHULARIACEAE | | | | | | | |
| <i>Scrophularia scopolii</i> var. <i>scopolii</i> . (Hoppe ex) Pers. | Elköpürten | Ormanlar, nemli kayalık yamaçlar, dere kenarları, çalılıklar | - | - | NE | Gözlem | -- |
| <i>Verbascum varians</i> var. <i>varians</i> Freyn & Sint. | Dilimsiğirkuyruğu | Quercus çalılığı, bozkır, kayalık yamaçlar, lav molozları | - | - | NE | Gözlem | -- |
| <i>Verbascum pyramidatum</i> M.Bieb | Arsızsiğirkuyruğu | İbrel ve yaprak döken ormanlar, Corylus çalılığı, maki, bozkır, bağlar | - | Hirkan-Karadeniz | NE | Literatür | -- |
| <i>Veronica oxycarpa</i> Boiss. | Deremavişi | Nemli ormanlar, nemli çayırılıklar, nehir kenarları | - | - | LC | Gözlem | -- |
| <i>Veronica chamaedrys</i> L. | Cancan | Seyrek ormanlar, çalılıklar, kayalık yamaçlar, bozkırlar, otlaklar, nadas tarlaları | - | İran-Turan | NE | Gözlem | -- |
| OROBANCHACEAE | | | | | | | |
| <i>Orobancha hederæ</i> Duby | Tezcanavarotu | Genelde Hedera üzerinde Parazitik | - | - | NE | Gözlem | -- |
| VERBENACEAE | | | | | | | |
| <i>Verbena officinalis</i> var. <i>officinalis</i> L. | Mineçiçeği | Kayalık yerler, kuru dere yatakları, kumullar, orman, çalılıklar | - | - | NE | Gözlem | -- |

| Familya ve Tür Adı | Türkçe Adı | Habitat | Endemizm | Fitocoğrafik Bölge | IUCN | Kayıt Şekli | Koruma Statüsü (BERN, CITES) |
|---|-----------------|--|----------|--------------------|------|-------------|------------------------------|
| <i>Vitex agnus-castus</i> L. | Hayıt | En çok kumlu yerlerde, porched alüveyaonlu topraklar ve kayalık bölgeler, deniz kenarı | - | Akdeniz | NE | Gözlem | -- |
| LABIATAE | | | | | | | |
| <i>Ajuga genevensis</i> L. | Çayırmayası | Nemli çayırlar | - | Avrupa-Sibirya | NE | Gözlem | -- |
| <i>Lamium purpureum</i> var. <i>purpureum</i> L. | Ballıbaba | Meşe ve göknar ormanları, topraklı yamaçlar, çakıllı dere kenarları tarlalar ve çorak yer | - | Avrupa-Sibirya | NE | Gözlem | -- |
| <i>Lamium amplexicaule</i> L. | Baltutan | Tepe etekleri seyrek bozkır, ekilmiş arazi yol kenarları çorak yerler | - | Avrupa-Sibirya | NE | Gözlem | -- |
| <i>Nepeta italica</i> L. | Eşekçayı | Su kenarları, kuru dere yatakları, meşelikler | - | - | NE | Gözlem | -- |
| <i>Mentha pulegium</i> L. | Yarpuz | Su kenarları ve içleri | - | - | LC | Gözlem | -- |
| <i>Mentha longifolia</i> (L.) L. | Pünk | Su kenarları ve içleri | - | Karadeniz | LC | Gözlem | -- |
| <i>Ziziphora taurica</i> subsp. <i>taurica</i> M.Bieb. | Çöl reyhanı | Bozkır, kayalık yamaçlar, çorak yerler | - | İran-Turan | NE | Gözlem | -- |
| <i>Origanum vulgare</i> L. | Karakınık | Dere kenarları, nemli-ıslak yerler | - | İran-Turan | NE | Gözlem | -- |
| <i>Prunella vulgaris</i> L. | Gelinciklemeotu | Korular, yol kenarları ve nemli kenarlar, dere kenarları | - | Avrupa-Sibirya | LC | Literatür | -- |
| <i>Salvia viridis</i> L. | Zarifşalba | Kayalık yamaçlar, Cistus ile maki, firigana, kumullar, tarlalar ve çorak yerler | - | Akdeniz | NE | Gözlem | -- |
| PHYTOLACCACEAE | | | | | | | |
| <i>Phytolacca americana</i> L. | Şekerciboyası | Çalılıklar, yol kenarları, dere ve küçük akarsu kenarları | - | - | NE | Gözlem | -- |
| AMARYLLIDACEAE | | | | | | | |
| <i>Leucojum aestivum</i> L. | Gölsoğanı | Bataklıklar, göl ve dere kenarları, ıslak çayırlar | - | Avrupa-Sibirya | LC | Gözlem | -- |
| <i>Narcissus tazetta</i> subsp. <i>tazetta</i> L. | Nergis | Bataklıklar, göl ve dere kenarları, ıslak çayırlar, <i>Pinus pinea</i> ormanı, sahil yakını kayalık yerler, kireçtaşı çağlılık, Quercus makiliği vs. | - | - | NE | Gözlem | -- |
| NYMPHACEAE | | | | | | | |
| <i>Nymphaea alba</i> L. | Nilüfer | Sığ sular | - | - | LC | Gözlem | -- |
| <i>Nuphar lutea</i> (L.) Sm. | Sarınilüfer | Sığ sular | - | - | LC | Gözlem | -- |
| HYDROCHARITACEAE | | | | | | | |
| <i>Hydrocharis morsus-ranae</i> L. | Kurbağa zehiri | Kanallar, arklar, havuzlar, kapalı gol ve nehir kıyılarında | - | - | LC | Gözlem | -- |
| PLANTAGINACEAE | | | | | | | |
| <i>Plantago major</i> L. | Sinir otu | Dere ve nehir kenarları | - | - | LC | Gözlem | -- |
| <i>Plantago lanceolata</i> L. | Damarlıca | Dere ve nehir kenarları | - | - | VU | Gözlem | -- |
| EUPHORBIACEAE | | | | | | | |
| <i>Euphorbia amygdaloides</i> var. <i>amygdaloides</i> L. | Zerana | Fagus ve Abies ormanı, Carpinus koruluğu, Rhododendron, Laurus ve Rubus çalılığı, kıyılar | - | Avrupa-Sibirya | NE | Gözlem | CITES Ek-II |
| <i>Euphorbia helioscopia</i> subsp. <i>helioscopia</i> L. | Feribanotu | Kireçtaşı uçurumlar ve yamaçlar, firigana, akarsu kenarları, yıkıntılar, nadas tarlalar | - | - | NE | Gözlem | CITES Ek-II |
| <i>Euphorbia palustris</i> L. | Susütleğeni | Bataklıklar, nehir kenarları, sulak ve nesimli yerler | - | Avrupa-Sibirya | LC | Gözlem | CITES Ek-II |

| Familya ve Tür Adı | Türkçe Adı | Habitat | Endemizm | Fitocoğrafik Bölge | IUCN | Kayıt Şekli | Koruma Statüsü (BERN, CITES) |
|--|-----------------|--|----------|--------------------|------|-------------|------------------------------|
| <i>Euphorbia platyphyllos</i> subsp. <i>platyphyllos</i> L. | Koca Sütleğen | Kumlu kıyılar, bataklıklar, dere yatakları, hendekler, yol kenarları, ekili alanlar | - | - | NE | Gözlem | CITES Ek-II |
| <i>Euphorbia valerianifolia</i> Lam. | Mahsikuştü | Kayalık kireçtaşı yamaçlar ve düzlükler, terra rosa, <i>Quercus</i> çalılığı, maki nadas | - | D.Akdeniz | NE | Gözlem | CITES Ek-II |
| <i>Euphorbia stricta</i> L. | Katı Sütleğen | <i>Abies</i> , <i>Picea</i> , <i>Pinus</i> , <i>Fagus</i> ve <i>Quercus</i> ormanları, kireçtaşı ve kumtaşı üzerinde kayalar | - | Avrupa-Sibirya | NE | Gözlem | CITES Ek-II |
| ERICACEAE | | | | | | | |
| <i>Rhododendron ponticum</i> L. | Kumar | Nemli orman altları | - | Karadeniz Ele. | NE | Literatür | -- |
| <i>Vaccinium myrtillus</i> L. | Ayüzümü | Çalılıklar, orman altları | - | Karadeniz Ele. | NE | Gözlem | -- |
| THYMELAEACEAE | | | | | | | |
| <i>Daphne pontica</i> L. | Sırmağu | Nemli orman altları | - | Karadeniz Ele. | NE | Gözlem | -- |
| CERATOPHYLLACEAE | | | | | | | |
| <i>Ceratophyllum demersum</i> L. | Kınalısuboynuzu | Havuzlar, kanallar, çukurlar, lagunlar | - | Avrupa-Sibirya | LC | Gözlem | -- |
| HALORAGACEAE | | | | | | | |
| <i>Myriophyllum spicatum</i> L. | Sucivanperçemi | Taze sular, nehir, su kanalları, göl kenarları | - | - | LC | Literatür | Gözlem |
| ASPARAGACEAE | | | | | | | |
| <i>Polygonatum multiflorum</i> (L.) All. | Mührüsüleyman | Su içleri ve kenarları | - | - | NE | Gözlem | -- |
| LEMNACEAE | | | | | | | |
| <i>Lemna minor</i> L. | Su mercimeği | Su kenarları ve içleri | - | - | LC | Gözlem | -- |
| ARACEAE | | | | | | | |
| <i>Arum maculatum</i> L. | Yılanekmeği | Nemli ve gölgeli yerler | - | - | NE | Gözlem | -- |
| JUNCACEAE | | | | | | | |
| <i>Juncus acutus</i> L. | Kofa | Kumullar, su kenarları ve içleri, sazlık-bataklık | - | - | LC | Gözlem | -- |
| <i>Juncus effusus</i> subsp. <i>effusus</i> L. | Cilotu | Kumullar, su kenarları ve içleri, sazlık-bataklık | - | - | LC | Gözlem | -- |
| CYPERACEAE | | | | | | | |
| <i>Cyperus fuscus</i> L. | Maydanozbağı | Su kenarları, sazlık-bataklık | - | Avrupa-Sibirya | LC | Gözlem | -- |
| <i>Scirpus sylvaticus</i> L. | Topakbedri | Su kenarları, sazlık-bataklık | - | - | LC | Gözlem | -- |
| <i>Scirpoides holoschoenus</i> (L.) Sojak | Vurla | Su kenarları, sazlık-bataklık | - | - | LC | Gözlem | -- |
| <i>Eleocharis palustris</i> subsp. <i>palustris</i> (L.) Roem et Schult. | Delisaz | Su-göl kenarları, sazlık-bataklık | - | - | LC | Gözlem | -- |
| <i>Carex elata</i> subsp. <i>elata</i> All. | Elasaparna | Su kenarları, sazlık-bataklık | - | Avrupa-Sibirya | LC | Gözlem | -- |
| <i>Carex nigra</i> subsp. <i>nigra</i> (L.) Reichard | Karaayakotu | Su kenarları, sazlık-bataklık | - | Avrupa-Sibirya | LC | Gözlem | -- |
| <i>Carex remota</i> subsp. <i>remota</i> L. | Nazhsaparna | Su kenarları, sazlık-bataklık | - | Avrupa-Sibirya | LC | Gözlem | -- |
| <i>Carex spicata</i> Hudson | Ekinayakotu | Su kenarları, sazlık-bataklık | - | Avrupa-Sibirya | NE | Gözlem | -- |
| <i>Isolepis cernua</i> (Vahl) Roem. & Schult. | Kınotu | Açık çayırly yerler, kayalık uçurumlar, nehir vadileri, kuruyan bataklık, tarlalar, kumullar | - | - | LC | Gözlem | -- |
| <i>Schoenoplectus lacustris</i> subsp. <i>lacustris</i> (L.) Palla | Semerotu | Tatlısu bataklığı, ıslak otlaklar, göl kenarları, nehir kenarı ve bataklıklar, killi toprak | - | - | LC | Gözlem | -- |
| ORCHIDACEAE | | | | | | | |

| Familya ve Tür Adı | Türkçe Adı | Habitat | Endemizm | Fitocoğrafik Bölge | IUCN | Kayıt Şekli | Koruma Statüsü (BERN, CITES) |
|--|----------------|--|----------|--------------------|------|-------------|------------------------------|
| <i>Anacamptis pyramidalis</i> (L.) Rich. | Sivrisalep | Nemli yerler, makilerde kayalı yamaçlar ve frigana, çayırılık, çimenli orman açıklıkları, zeytinlikler | - | - | NE | Gözlem | CITES Ek-II |
| <i>Ophrys apifera</i> Huds. | Arı orkidesi | Çimenli kalker tepeler, maki, frigana, çayırılık, yolkenarı, orman tabanları | - | - | NE | Gözlem | CITES Ek-II |
| <i>Orchis palustris</i> Jacq. | Çayır salebi | Yaş çayırlar ve sazlıklar | - | - | LC | Gözlem | CITES Ek-II |
| IRIDACEAE | | | | | | | |
| <i>Crocus olivieri</i> J.Gay | Hırçın Çiğdem | Kayalı veya çimenlik yerler, ışıklı koruluklar | - | - | NE | Literatür | -- |
| <i>Iris orientalis</i> Mill. | Ankara Süseni | Su kenarları, bataklıklar | - | D.Akdeniz | NE | Literatür | -- |
| <i>Iris pseudacorus</i> L. | Batak süseni | Dere kenarları, su birikintileri, kesekler, tatlısu bataklıkları | - | - | LC | Gözlem | -- |
| LILIACEAE | | | | | | | |
| <i>Allium scorodoprasum</i> subsp. <i>rotundum</i> (L.) Stearn | Deli soğan | Orman altları | - | Akdeniz | NE | Literatür | -- |
| <i>Muscari tenuiflorum</i> Tausch | Püsküllübaş | Pinus nigra ve Pinus brutia ormanları, juniper çalılıkları, Artemisia step, otlaklar, kayalık | - | - | NE | Literatür | -- |
| <i>Ornithogalum comosum</i> L. | Gözesasal | Çam ve karışık ormanlar, meşelikler | - | - | NE | Gözlem | -- |
| GRAMINEAE | | | | | | | |
| <i>Phalaris arundinacea</i> L. | Kanyaş | Sazlıklar, dere kenarları | - | - | LC | Gözlem | -- |
| <i>Glyceria fluitans</i> (L.) R. Br. | Dere tathçimi | Sazlıklar, dere kenarları | - | - | LC | Gözlem | -- |
| <i>Arundo donax</i> L. | Kargı | Sazlıklar | - | - | LC | Gözlem | -- |
| <i>Brachypodium distachyon</i> (L.) P.Beauv. | Tekkılcan | Tarlalar, bozkır, çayırlar | - | Akdeniz | NE | Gözlem | -- |
| <i>Agrostis stolonifera</i> L. | Tavusotu | Tarlalar, bozkır, çayırlar | - | Avrupa-Sibirya | LC | Literatür | -- |
| <i>Briza media</i> L. | Zembilotu | Tarlalar, bozkır, çayırlar | - | - | NE | Gözlem | -- |
| <i>Bromus sterilis</i> L. | Sağırılcan | Tarlalar, bozkır, çayırlar | - | - | NE | Gözlem | -- |
| <i>Koeleria pyramidata</i> (Lam.) P. Beauv. | Kırnal | Bozkır, çalık taşlık yerler, çayırılıklar, dağ yamaçları | - | Avrupa-Sibirya | NE | Gözlem | -- |
| <i>Cynodon dactylon</i> var. <i>villosus</i> Regel | Köpekdişi | Tarlalar, bozkır, çayırlar | - | - | NE | Gözlem | -- |
| <i>Cynosurus echinatus</i> L. | Top Tarakotu | Tarlalar, bozkır, çayırlar | - | Akdeniz | NE | Literatür | -- |
| <i>Dactylis glomerata</i> subsp. <i>glomerata</i> L. | Domuz ayrığı | Tarlalar, step, çayırlar | - | Avrupa-Sibirya | NE | Gözlem | -- |
| <i>Festuca arundinacea</i> subsp. <i>arundinacea</i> Schreber | Kamışyumağı | Nemli sel yatakları, nehir kıyıları, sulu çayırılıklar | - | - | NE | Literatür | -- |
| <i>Hordeum bulbosum</i> L. | Boncuk Arpa | Tarlalar, çayırlar | - | - | LC | Gözlem | -- |
| <i>Phleum exaratum</i> subsp. <i>exaratum</i> Hochst. ex Griseb. | Meşe İtkuyruğu | Çayırlar | - | - | NE | Gözlem | -- |
| <i>Phragmites australis</i> (Cav.) Trin. ex Steudel | Kamış | Su kenarları, sazlık-bataklıklar | - | Avrupa-Sibirya | LC | Gözlem | -- |
| <i>Leersia oryzoides</i> (L.) Swartz | Dişli kanyaş | Su kenarları, sazlık-bataklıklar | - | - | LC | Gözlem | -- |

| Familya ve Tür Adı | Türkçe Adı | Habitat | Endemizm | Fitocoğrafik Bölge | IUCN | Kayıt Şekli | Koruma Statüsü (BERN, CITES) |
|--------------------------------------|-------------------|---|-----------------|---------------------------|-------------|--------------------|-------------------------------------|
| <i>Poa trivialis</i> L. | Kaba salkımotu | Su kenarları, sazlık-bataklıklar | - | - | NE | Gözlem | -- |
| <i>Poa angustifolia</i> L. | Dar salkımotu | Islak çayırliklar, çam ve meşe ormanı, kuru tepeler, step | - | - | LC | Gözlem | -- |
| <i>Setaria viridis</i> (L.) P. Beauv | Yeşil sıçansaçı | Açık alanlar, tarla, step | - | - | NE | Gözlem | -- |
| TYPHACEAE | | | | | | | |
| <i>Typha latifolia</i> L. | Cil | Su kenarları, dere kenarları, bataklıklar | - | - | LC | Gözlem | -- |

Ek-2. Tablo-1. Subasar orman vejetasyonu içerisinde yer alan sıklık değerleri (%).

| Tür | Frekans | Sıklık (%) |
|---|---------|------------|
| <i>Fraxinus angustifolia</i> | 345 | 86,25 |
| <i>Hedera helix</i> | 272 | 68 |
| <i>Alnus glutinosa</i> | 262 | 65,5 |
| <i>Urtica dioica ssp. dioica</i> | 230 | 57,5 |
| <i>Rubus discolor</i> | 167 | 41,75 |
| <i>Acer campestre</i> | 141 | 35,25 |
| <i>Ruscus aculeatus</i> | 92 | 23 |
| <i>Leucojum aestivum</i> | 91 | 22,75 |
| <i>Narcissus tazetta</i> | 87 | 21,75 |
| <i>Rhamnus cathartica</i> | 78 | 19,5 |
| <i>Ligustrum vulgare</i> | 74 | 18,5 |
| <i>Iris pseudocarus</i> | 64 | 16 |
| <i>Quercus robur</i> | 56 | 14 |
| <i>Carpinus betulus</i> | 56 | 14 |
| <i>Cornus sanguinea</i> | 53 | 13,25 |
| <i>Cyclamen coum ssp coum</i> | 51 | 12,75 |
| <i>Crataegus rhipidophylla var. rhipidophylla</i> | 37 | 9,25 |
| <i>Vitis sylvestris</i> | 36 | 9 |
| <i>Arum maculatum</i> | 34 | 8,5 |
| <i>Euphorbia amygdaloides var. amygdaloides</i> | 33 | 8,25 |
| <i>Helleborus orientalis</i> | 32 | 8 |
| <i>Frangula dodonei</i> | 32 | 8 |
| <i>Primula acaulis var. acaulis</i> | 28 | 7 |
| <i>Staphylea pinnata</i> | 28 | 7 |
| <i>Viola reichenbachiana</i> | 26 | 6,5 |
| <i>Salix alba</i> | 26 | 6,5 |
| <i>Moehringia trinervia</i> | 24 | 6 |
| <i>Crataegus monogyna</i> | 23 | 5,75 |
| <i>Lythrum salicaria</i> | 22 | 5,5 |
| <i>Primula acaulis var. rubra</i> | 22 | 5,5 |
| <i>Phyllitis scolopendrium</i> | 21 | 5,25 |
| <i>Clematis vitalba</i> | 21 | 5,25 |
| <i>Alisma lanceolatum</i> | 21 | 5,25 |
| <i>Cyclamen coum ssp coum f pallidum</i> | 21 | 5,25 |
| <i>Acer platanoides</i> | 21 | 5,25 |
| <i>Carex remota</i> | 19 | 4,75 |
| <i>Viola alba subsp. dehnhardtii</i> | 18 | 4,5 |
| <i>Euphorbia palustris</i> | 18 | 4,5 |
| <i>Euonymus latifolius ssp. latifolius</i> | 17 | 4,25 |
| <i>Ranunculus peltatus</i> | 17 | 4,25 |
| <i>Ostrya carpinifolia</i> | 17 | 4,25 |
| <i>Euphorbia stricta</i> | 16 | 4 |
| <i>Lamium purpureum</i> | 16 | 4 |
| <i>Berberis vulgaris</i> | 14 | 3,5 |
| <i>Amaranthus retroflexus</i> | 14 | 3,5 |
| <i>Phytolacca americana</i> | 14 | 3,5 |
| <i>Pyracantha coccinea</i> | 14 | 3,5 |
| <i>Hieracium nemorense</i> | 14 | 3,5 |
| <i>Cirsium vulgare</i> | 14 | 3,5 |
| <i>Dryopteris filix-mas</i> | 14 | 3,5 |
| <i>Vitex agnus-castus</i> | 14 | 3,5 |
| <i>Galium aparine</i> | 13 | 3,25 |
| <i>Rumex hydrolapathum</i> | 13 | 3,25 |
| <i>Prunus x domestica</i> | 12 | 3 |
| <i>Phragmites australis</i> | 12 | 3 |
| <i>Euphorbia valerianifolia</i> | 12 | 3 |

| | | |
|---------------------------------------|----|------|
| <i>Cardamine pratensis</i> | 11 | 2,75 |
| <i>Plantago major</i> | 11 | 2,75 |
| <i>Xanthium strumarium</i> | 11 | 2,75 |
| <i>Cichorium intybus</i> | 11 | 2,75 |
| <i>Ranunculus scleratus</i> | 10 | 2,5 |
| <i>Carex elata</i> | 9 | 2,25 |
| <i>Silene latifolia</i> | 9 | 2,25 |
| <i>Orobanche hederæ</i> | 9 | 2,25 |
| <i>Petasites hybridus</i> | 8 | 2 |
| <i>Sorbus torminalis</i> | 8 | 2 |
| <i>Scrophularia scopolii</i> | 8 | 2 |
| <i>Typha latifolia</i> | 8 | 2 |
| <i>Juncus acutus</i> | 8 | 2 |
| <i>Chenopodium botrys</i> | 8 | 2 |
| <i>Ajuga genevensis</i> | 8 | 2 |
| <i>Bellis perennis</i> | 8 | 2 |
| <i>Ficus carica</i> | 7 | 1,75 |
| <i>Euonymus europæus</i> | 7 | 1,75 |
| <i>Veronica chamaedrys</i> | 7 | 1,75 |
| <i>Vincetoxicum scandens</i> | 7 | 1,75 |
| <i>Lysimachia verticillaris</i> | 7 | 1,75 |
| <i>Nasturtium officinale</i> | 7 | 1,75 |
| <i>Conyza canadensis</i> | 7 | 1,75 |
| <i>Taraxacum officinale</i> | 6 | 1,5 |
| <i>Solanum nigrum</i> | 4 | 1 |
| <i>Corylus avellana</i> | 4 | 1 |
| <i>Laurus nobilis</i> | 4 | 1 |
| <i>Plantago lanceolata</i> | 4 | 1 |
| <i>Xanthium spinosum</i> | 4 | 1 |
| <i>Euphorbia platyphyllos</i> | 3 | 0,75 |
| <i>Hydrocharis morsus-ranae</i> | 3 | 0,75 |
| <i>Dipsacus laciniatus</i> | 3 | 0,75 |
| <i>Glycyrrhiza glabra ssp. glabra</i> | 3 | 0,75 |
| <i>Tussilago farfara</i> | 2 | 0,5 |
| <i>Euphorbia helioscopia</i> | 2 | 0,5 |
| <i>Datura stramonium</i> | 2 | 0,5 |
| <i>Anacamptis pyramidalis</i> | 2 | 0,5 |

Ek-2. Tablo-2. Sazlık vejetasyonu içerisinde yer alan sıklık değerleri (%).

| Tür | Frekans | Görel sıklık (%) |
|------------------------------------|----------------|-------------------------|
| <i>Phragmites australis</i> | 289 | 72,25 |
| <i>Typha latifolia</i> | 119 | 29,75 |
| <i>Rubus discolor</i> | 109 | 27,25 |
| <i>Arundo donax</i> | 45 | 11,25 |
| <i>Fraxinus angustifolius</i> | 33 | 8,25 |
| <i>Galium aparine</i> | 27 | 6,75 |
| <i>Narcissus tazetta</i> | 24 | 6 |
| <i>Leucjum aestivum</i> | 23 | 5,75 |
| <i>Iris pseudacorus</i> | 16 | 4 |
| <i>Euonymus europæus</i> | 11 | 2,75 |
| <i>Urtica dioica</i> | 8 | 2 |
| <i>Salix alba</i> | 8 | 2 |
| <i>Acer campestre</i> | 7 | 1,75 |
| <i>Conyza canadensis</i> | 6 | 1,5 |

Araştırma Makalesi / Research Article

Yozgat ili Memeli Faunası (Classis: Mammalia)

Tarkan YORULMAZ^{1*}, Nurhan ARSLAN²

¹Çankırı Karatekin Üniversitesi, Yapraklı Meslek Yüksek Okulu, Ormancılık Bölümü, Avcılık ve Yaban Hayatı Programı, Ballica Yerleşkesi, Çankırı

²Çankırı Karatekin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Rektörlük Ek Hizmet Binası, Yeni Mahalle, Çankırı
(ORCID:0000-0002-9033-7162)(ORCID: 0000-0002-4928-4767)

Öz

Bir alandaki memeli tür zenginliği o bölgenin ekosistem zenginliği yanında ekolojik dengesinin de bir yansımasıdır. Yozgat ili zengin bir ekosistem çeşitliliğine sahip olup, hem İç Anadolu hem de Karadeniz bölgesinin özelliklerini göstermektedir. Bu çalışma 2016-2018 yılları arasında Yozgat ili memeli türlerini tespit etmek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonucunda Yozgat ilinden Eulipotyphla, Chiroptera, Lagomorpha, Rodentia, Carnivora ve Cetartiodactyla takımlarına mensup 41 memeli türünün varlığı saptanmıştır. Bu çalışma ile Yozgat ilinden Mehelyi'nin nalburunlu yarasası *Rhinolophus mehelyii*, çentikli yarasa *Myotis emerginatus*, Savi'nin cüce yarasası (*Hypsugo savii*) ve vaşak (*Lynx lynx*)'in ilk kez kaydı verilmiştir. Kontrolsüz avcılık, tarım zararlılarıyla zirai mücadele, karayollarında meydana gelen araç çarpmaları ve su kaynaklarının tahribinin memeli türlerini olumsuz etkileyen önemli faktörler olduğu gözlenmiştir. Yozgat ilinde tespit edilen memeli türleri içinde su kaynakları için indikatör bir tür olan *Lutra lutra*, orman ekosistemlerinin hedef türü olarak kabul edilen kızıl geyik (*Cervus elaphus*), karaca (*Capreolus capreolus*), bozayı (*Ursus arctos*) ve vaşak (*Lynx lynx*)'in yayılış gösterdiği alanlar öncelikli korunması gereken alanlar olarak dikkate alınmalıdır.

Anahtar kelimeler: Memeliler, yayılış, Yozgat, Türkiye.

Mammals Fauna of Yozgat Province (Classis: Mammalia)

Abstract

The mammal species richness in a field is a reflection of the ecosystem richness of that region as well as its ecological balance. Yozgat province has a rich ecosystem diversity and shows both the characteristics of both Central Anatolia and the Black Sea region. This study was carried out between 2016-2018 to identify the mammal species of Yozgat province. As a result of the study, 41 mammal species belonging to Eulipotyphla, Chiroptera, Lagomorpha, Rodentia, Carnivora and Cetartiodactyla teams from Yozgat province were determined. With this study, Mehelyi's horseshoe bat *Rhinolophus mehelyii*, notch-eared bat *Myotis emerginatus*, Savi's pipistrelle bat *Hypsugo savii* and lynx *Lynx lynx* were recorded for the first time from Yozgat province. It has been observed that uncontrolled hunting, pest control against agricultural pests, vehicle crashes on roads and the destruction of water resources are important factors that negatively affect mammalian species. Among the mammal species identified in Yozgat province, otter *Lutra lutra*, which is an indicator for water resources, the areas where red deer *Cervus elaphus*, roe deer *Capreolus capreolus*, bear *Ursus arctos* and lynx *Lynx lynx*, which are accepted as the target species of forest ecosystems, should be considered as priority areas to be protected.

Keywords: Mammals, distribution Yozgat, Türkiye.

1. Giriş

Memeli sınıfının dünyada 29 takım, 153 familya, 1229 cinse ait 5416 türü bulunurken [1], Türkiye'de 8 takıma mensup 161 tür ile temsil edilmektedir. [1-4]. Yapılan literatür çalışması sonucunda Yozgat ilinden 4 takıma ait 19 türün kaydedildiği tespit edilmiştir [5-27]. Ancak Demirsoy [2] ve IUCN [28]'in

*Sorumlu yazar: tarkan.yorulmaz@gmail.com

Geliş Tarihi: 24.01.2020, Kabul Tarihi: 10.02.2020

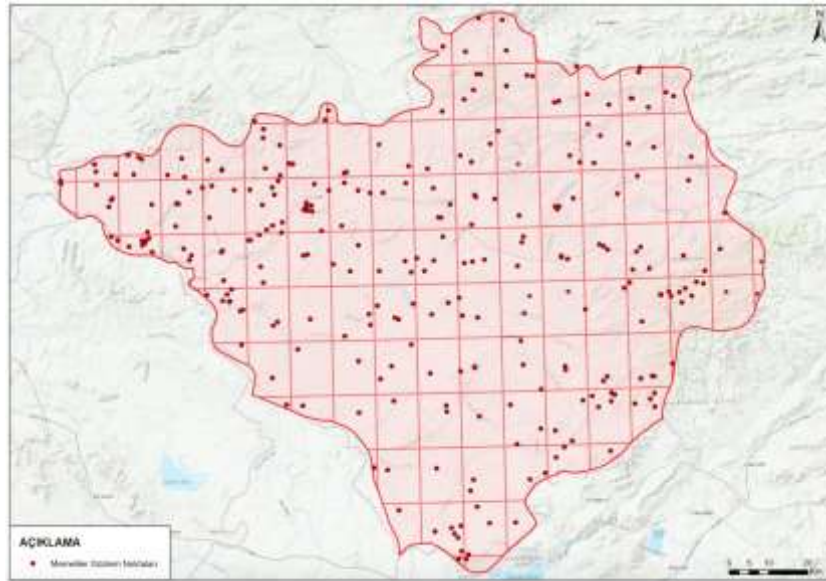
yayıllık haritaları göz önüne alındığında Yozgat ilinde Eulipotyphla, Chiroptera, Carnivora, Lagomorpha, Rodentia ve Cetartiodactyla takımlarına mensup 50 türün yayılışı verilmiştir. Yozgat ili memeli türleri ile ilgili az sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalar bazı türler üzerine odaklanmış olup, özellikle küçük memeli türleri üzerine çalışmalar yapılmıştır [10,13,21,27].

Yozgat ilinin yüz ölçümü 14.097 km² olup, denizden yüksekliği 1300 m'dir. Yozgat ili İç Anadolu bölgesinde yer almasına rağmen coğrafi özellikleri bakımından kuzey ilçeleri Karadeniz Bölgesi'nin özelliğini taşımaktadır. Su kaynakları bakımından Türkiye'nin iki büyük akarsuyu olan Kızılırmak ve Yeşilirmak havzaları Yozgat ilini de kapsamaktadır. Bu durum Yozgat ilinde önemli sulak alan habitatlarını oluşturmaktadır [29].

Yozgat ilinde bugüne kadar memeli türlerinin tespitine yönelik kapsamlı bir çalışma yapılmamıştır. Yozgat ili, ilçe ve doğal çevrelerinde yaşayan memeli türlerini tespit etmek ve memeli türleri açısından önemli alanları belirlemek bu çalışmanın amacını oluşturmaktadır.

2. Materyal ve Metot

Yozgat ili sınırları içerisinde yayılış gösteren memeli türlerinin tespiti için 2016-2018 tarihleri arasında 10 km X 10 km büyüklüğünde yaklaşık 110 paftada (285 lokalite) toplam 55 günlük arazi çalışması yapılmıştır (Şekil 1). Arazi çalışması yapılan noktaların yükseklikleri 660 m ve 1890 m arasında değişmiştir. Arazi çalışmaları 1/25.000'lik paftaların en az %10'luk kısmında ve paftada bulunan orman, yüksek dağ, bozkır, sulak alan, kumul, tarım ve yerleşim gibi başlıca habitat tiplerini temsil edecek biçimde yapılmıştır.



Şekil 1. Örnekleme yapılan lokaliteler

Arazi çalışmaları her mevsim en az bir kez olacak şekilde Yozgat ili ilçe ve doğal çevrelerinde gerçekleştirilmiştir. Büyük memeli türlerini temsil eden örnekler fotokapan, dürbün, kamera ve fotoğraf makinesi ile tespit edilmiştir. Arazi gözlemleri sırasında doğrudan memelilerin görülmesi esasına dayalı gözlemlerin yanı sıra memelilere ait ayak izi, dışkı, kıl, boynuz, yeme-ısıрма, taş çevirme, araç çarpması sonucu ölmüş bireyler, kırıp-dökme gibi iz, belirti ve işaretlerden gibi dolaylı gözlemlerden de yararlanılmıştır. Büyük memelilerin izlerine rastlandığı yerlere, uygun habitatlara, duyuların alındığı yerlere fotokapan yerleştirilerek büyük memeli türleri tespit edilmiştir. Küçük memeli türlerinden böcekçil ve kemirgenler için uygun habitatlara canlı yakalama kapanları kurularak örnekler yakalanıp tür tespitleri yapılmıştır. Hayvanlar için kapan kurulan alanlar ve yakalanan türler fotoğraflanmıştır. Ayrıca bu alanların habitat bilgileri ve koordinatları kaydedilmiştir. Yarasa türleri için ise eski ve terk edilmiş binalar, in ve mağaralar ve kaya yarıkları gibi alanlarda gözlemler yapılmıştır. Misnet, atrap, el feneri ve yarasa dedektörü kullanılarak bölgede bulunan yarasa türleri tespit edilmiştir.

3. Bulgular

Yozgat ilinde 2016-2018 yılları arasında yapılan bu çalışma ile toplam 41 memeli türü tespit edilmiştir. Bu türlerin 28'i küçük memeli ve 13'ü ise büyük memelidir (Tablo 1). Yozgat ilinin kuzey kesimlerinde bulunan meşelik alanlarda karaca (*Capreolus capreolus*), Akdağmadeni-Çayıralan arasında bulunan yoğun ormanlık alanda ise kızıl geyik (*Cervus elaphus*), boz ayı (*Ursus arctos*), kurt (*Canis lupus*) ve vaşak (*Lynx lynx*) gibi önemli türler kaydedilmiştir. Bununla birlikte Yozgat ili iç su ekosistemlerinde tespit edilen su samuru (*Lutra lutra*) bölgedeki akarsu ve dere gibi sulak alanların sağlıklı olduğunu göstermesi açısından önemli bir kayıt olmuştur. Bu çalışma ile Yozgat ilinden Mehelyi'nin nalburunlu yarasası *Rhinolophus mehelyii*, çentikli yarasası *Myotis emerginatus*, Savi'nin cüce yarasası (*Hypsugo savii*) ve vaşak (*Lynx lynx*)'ın ilk kez kaydı verilmiştir.

4. Tartışma ve Sonuç

Literatür verilerine göre Yozgat ilinde 50 memeli türünün kaydı bulunmaktadır. Bu kayıtların 32'i Demirsoy [2] ve IUCN [28] verilerine göre dağılım haritalarında örneksiz ve tahmini olarak Yozgat iline dâhil edilmiştir. Yozgat ilinden bugüne kadar örneğe dayalı 19 tür kaydı verilmiştir [5-27]. Bu çalışma ile 25 memeli türünün Yozgat ilinden tespiti yapılmıştır. Bununla birlikte Yozgat ilinde yayılış gösteren memeli tür sayısı 44'e yükselmiştir. Tespit edilen 25 türden *Rhinolophus mehelyii*, *Hypsugo savii*, *Myotis emerginatus* ve *Lynx lynx* Yozgat ili için yeni kayıt olma özelliği taşımaktadır.

Yozgat İli sınırları içerisinde herhangi bir endemik memeli türü bulunmamaktadır. Yozgat ilindeki nesli tehlike altındaki türlerin belirlenmesinde, türlerin Türkiye'deki ve dünya genelindeki yayılışları ile popülasyon durumları veya IUCN değerlendirmeleri dikkate alınmıştır.

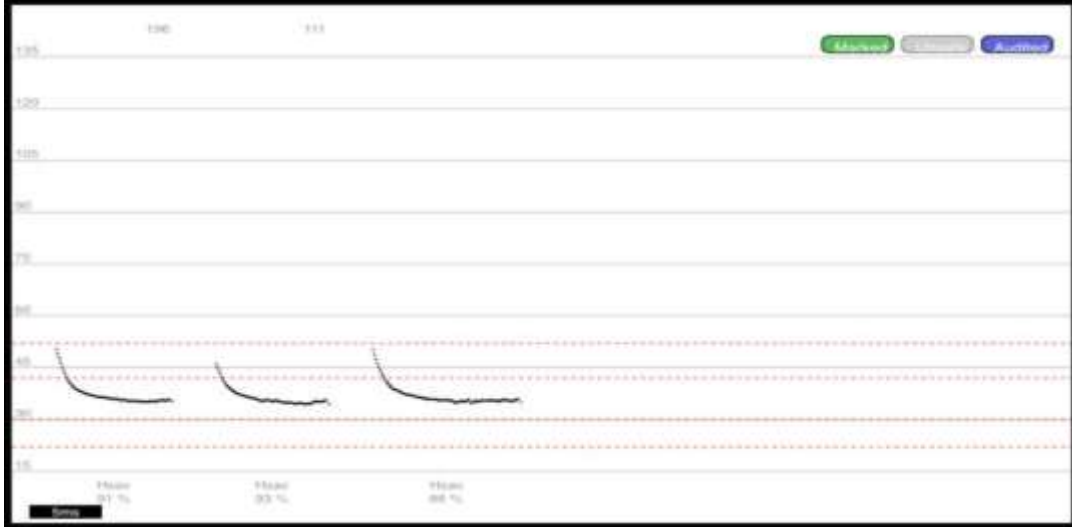
Yozgat ilinde gerçekleştirilen memeli türlerinin tespit çalışmasında Boğazlıyan, Saraykent, Şefaati, Çekerek ve Merkez ilçelerinde bulunan mağaralarda 8 farklı yarasası türü (*Rhinolophus ferrumequinum*, *R. hipposideros*, *R. mehelyii*, *Myotis blythi*, *M. myotis*, *M. emerginatus*, *Pipistrellus pipistrellus*, *Miniopterus schreibersii*) doğrudan gözlenmiştir. Merkezde yer alan Yozgat Çamlığı Milli Parkı'nda yarasası detektörü ile yapılan taramalarda ise *Hypsugo savii* türünün varlığı tespit edilmiştir. Böylece Yozgat ilinden toplam 9 yarasası türü bu çalışma ile kaydedilmiştir. Bu yarasası türlerinden *R. mehelyii*, *M. emerginatus* ve *H. savii* Yozgat'tan ilk kez kaydedilmişleridir (Şekil 2, Şekil 3). *R. mehelyii* IUCN kriterlerine göre "VU" (Vulnerable / Hassas) kategorisinde hassas bir türdür. Bu nedenle Yozgat ilinde tespit edildiği mağaralar korunmalı ve izlemeye alınmalıdır.

Yozgat ilinde ağırlıklı olarak yer alan step ve tarım alanlarına yakın yerlerde nadiren orman alanlarında ve riparian alanlarda yapılan gözlemlerde 16 kemirici türü tespit edilmiştir. Bu türlerden ağırlıklı dağılımı Anadolu'da İran-Turan fitocoğrafik bölgesinde yer alan *Spermophilus xanthoprimum* IUCN kriterlerine göre "NT" (Near Threatened / Tehlide yakın) olarak değerlendirilmekte olup, Yozgat ilinde önemli bir popülasyonu bulunmaktadır. Bu popülasyon Orta Anadolu'da kuzey ormanlarına doğru Çayıralan ilçe sınırlarında tespit edilmiştir. Ayrıca tarım alanlarının genişletilmesi bu türün habitatlarına zarar vermekte olup, türün yayılışını ve alandaki varlığını tehdit etmektedir. Yozgat ili Çayıralan ilçesindeki orman içi açıklıklarında tespit edilen popülasyon izlenmeli ve *Spermophilus xanthoprimum*'un İç Anadolu steplerindeki popülasyonları ile genetik açıdan ilişkisi ortaya konmalıdır.

Yozgat ilinde farklı habitatlarda ekosistemin en üst basamağında yer alan etçiller takımına ait 9 tür tespit edilmiştir. Bu türler içerisinde bulunduğu habitatı en iyi temsil eden türlerden biri su samuru (*Lutra lutra*)'dur (Şekil 4). Su samuru tatlı su ekosistemlerinde özellikle Yozgat ili Şefaati ilçesi ile Yerköy ilçesi arasında akan Delice ırmağı üzerindeki varlığı bu su kaynağının besin değeri taşıdığını ve ekolojik olarak hala bir değer taşıdığını göstermektedir. Su samuru IUCN kriterlerine göre "NT" (Near Threatened / Tehlide yakın) olarak değerlendirilmekte ve riparian bitki örtüsüne zarar veren projeler (dere, ırmak, nehir vb. akarsularla ilgili baraj, kanal, kanalet, drenaj, kum ocakları vb), anız yangınları ve su debisindeki değişiklikler ile besin değerlerinin değişmesi sonucu tür doğrudan tehdit edilmektedir.



Şekil 2. *Rhinolophus mehelyii* ve *Myotis emerginatus* türlerine ait koloniler



Şekil 3. Yozgat Çamlığı Milli Parkı'nda tespit edilen *Hypsugo savii*'ye ait ses kaydı sonogramı



Şekil 4. Yozgat Aşağıelmahacılı köyünde tespit edilen *Lutra lutra*'ya ait fotokapan görüntüsü

Yozgat ilinde tespit edilen önemli yırtıcı türlerinden biri de nadir görünen Alaca sansar (*Vormela peregusna*)'dır (Şekil 5). Bu tür IUCN kriterlerine göre "VU" (Vulnerable/Hassas) olarak değerlendirilmekte ve Yozgat ilinde tarım alanlarının yakınlığında yuvalanmaktadır. Bununla birlikte Akdağmadeni-Çayıralan arası sık orman ekosisteminde sağlıklı bir popülasyona sahip boz ayı (*Ursus arctos*) ve vaşak (*Lynx lynx*) bu bölgede gerçekleştirilen fotokapan çalışmalarında tespit edilmişlerdir (Şekil 6, Şekil 7).



Şekil 5. *Vormela peregusna* (Alacasansar)



Şekil 6. Bir boz ayı (*Ursus arctos*) ailesine ait fotokapan görüntüsü



Şekil 7. Çayıralan ilçesi ormanlık alanında tespit edilen vaşak (*Lynx lynx*)'a ait fotokapan görüntüsü

Kızıl geyik (*Cervus elaphus*)'in gösterge tür olarak seçilmesinin nedeni açık ve ormanlık alanların birleştiği kısımlarda besin ihtiyacını gidermektedir. Dinlenebileceği sık ağaçlardan oluşan ormanlara ihtiyaç duymaktadır. Bu alanların yangın, kesim vb. şekillerde ortadan kalkması halinde türün popülasyonunun zayıflaması alanda habitat kaybı yaşandığının bir göstergesi olabilir. IUCN kriterlerine göre "LC" (Least Concern / En Az Endişe Verici) olarak değerlendirilen kızıl geyik (*Cervus elaphus*) orman içerisindeki sık ağaçların oluşturduğu alanlarda beslenme ve üreme faaliyetlerini gerçekleştirmektedirler. Bu alanların yangın, kesim vb. şekillerde ortadan kalkması halinde türün popülasyonunun zayıflamasına neslinin devamlılığına tehdit oluşmasına sebep olmaktadır. Yaşam alanı olarak geniş yapraklı ve karışık ormanları tercih etmelerine rağmen iğne yapraklı çalılıklarda ve geniş açıklıklara sahip ormanlarda da yayılım gösterirler. Gecenin alacakaranlığında aktif olup gündüzleri ormanın sessiz sakin yerlerinde dinlenmeye çekilirler. Orman içindeki kesimlerde ya da insan tahribatının olduğu yerlerde yaşam alanlarının daralmasına söz konusu olabilir.



Şekil 8. Oluközü Tabiat Parkı'nda tespit edilen kızıl geyik (*Cervus elaphus*)'e ait fotokapan görüntüsü

Yozgat ilinde tespit edilen memeliler arasında av hayvanı olarak değerlendirilen ve bu bakımdan ekonomik öneme sahip tek tür Yaban domuzu (*Sus scrofa*)'dur.

Yozgat ilinde yayılış gösteren türlerden 21'i Bern Sözleşmesi Ek-II ve 12'si ise Bern Sözleşmesi Ek-III listesinde yer almaktadır. 23 tür ise Bern Sözleşmesine göre liste dışıdır. Memeli türleri arasında IUCN Red List Kategorileri Listesi'ne göre 2 tür "VU" (Vulnerable / Hassas), 4 tür de "NT" (Near Threatened/Neredeyse Tehdit Altında), 49 tür "LC" (Least Concern / En Az Endişe Verici) ve 1 tür de "DD" (Data Deficient / Yetersiz Veri) kategorisinde yer almaktadır. Ayrıca 3 tür CITES Ek-I ve 1 tür de CITES Ek-III listelerinde yer almaktadır.

Arazi çalışmaları sonucu Yozgat ilinde yaşayan memeli türlerinin habitatlarında oluşan yada oluşabilecek tehditler incelenmiştir. Arazi çalışmalarında incelenen bölgelerde kaçak avcılık, habitat tahribi, yarasaların bulunduğu mağara ve kovuklara insanların kontrolsüz girişleri, araç çarpma vakaları ve tarım alanlarında kullanılan zirai ilaçlamalar olumsuz etkiler olarak tespit edilmiştir. Arazi çalışmaları sırasında bölgede av yapıldığıyla ilgili tüfeklerden arda kalan fişekler, vurulmuş ve ormanlık alanlara bırakılmış memeli yaban hayvanları kaydedilmiştir. Bu durumdan dolayı koruma faaliyetlerinin artırılması ve yerel halkın bilinçlendirilerek hayvanların ekolojik dengedeki önemleri konusunda bilgilendirilmeleri için toplantılar düzenlenmesi gerekmektedir. Tarım alanlarında kullanılması muhtemel mücadele yöntemlerinden zehir kullanımının türe özgü olarak uygulanması ve zehirlenip ölen hayvanlardan diğer hayvanların etkilenmemesi için dikkat edilmelidir.

Tablo 1. Yozgat ilinde 2016-2018 yılları arasında yapılan bu çalışma ve Literatür bulgularına göre tespit edilen memeli türleri ve korunma durumları.

| Tür | Türkçe Adı | IUCN | MAKK | BERN | CITES | Bu çalışma | Literatür |
|----------------------------------|----------------------------|------|-------|--------|-------|------------|--------------------------|
| <i>Erinaceus concolor</i> | Kirpi | LC | | | | Bu çalışma | 1,2,28,31,32 |
| <i>Crocidura suaveolens</i> | Sivri burunlu fare | LC | | EK-III | | Bu çalışma | 1,2,11,12,25,27,28,31,32 |
| <i>Crocidura leucodon</i> | Sivri burunlu tarla faresi | LC | | EK-III | | | 1,2,11,12,28,31,32 |
| <i>Rhinolophus ferrumequinum</i> | Büyük nal burunlu yarasa | LC | | EK-II | | Bu çalışma | 1,2,16,28,31 |
| <i>Rhinolophus hipposideros</i> | Küçük nal burunlu yarasa | LC | | EK-II | | Bu çalışma | 1,2,28,31 |
| <i>Rhinolophus mehelyi</i> | Nal burunlu yarasa | VU | | EK-II | | Bu çalışma | |
| <i>Myotis myotis</i> | Büyük farekulaklı yarasa | LC | | EK-II | | Bu çalışma | 1,2,16,20,28,31 |
| <i>Myotis brandtii</i> | Sakallı yarasa | LC | | EK-II | | | 1,2,16,28,31 |
| <i>Myotis emarginatus</i> | Çentikli yarasa | LC | | EK-II | | Bu çalışma | |
| <i>Myotis mystacinus</i> | Küçük sakallı yarasa | LC | | EK-II | | | 1,2,28,31 |
| <i>Myotis aurasceus</i> | Bozkır bıyıklı yarasası | LC | | EK-II | | | 1,2,28,31 |
| <i>Myotis blythii</i> | Küçük farekulaklı yarasa | LC | | EK-II | | Bu çalışma | 1,2,8,16,20,28,31 |
| <i>Eptesicus serotinus</i> | Geniş kanatlı yarasa | LC | | EK-II | | | 1,2,5,6,7,9,14,28,31 |
| <i>Pipistrellus pipistrellus</i> | Cüce yarasa | LC | | EK-III | | Bu çalışma | 1,2,28,31 |
| <i>Hypsugo savii</i> | Savinin cüce yarasası | LC | | EK-II | | Bu çalışma | |
| <i>Plecotus kolombatovici</i> | | LC | | EK-II | | | 1,2,28,31 |
| <i>Plecotus macrotus</i> | Dağ uzun kulaklı yarasası | LC | | EK-II | | | 1,2,28,31 |
| <i>Miniopterus schreibersii</i> | Uzun kanatlı yarasa | NT | | EK-II | | Bu çalışma | 1,2,28,31 |
| <i>Tadarida teniotis</i> | Kuyruklu yarasa | LC | | EK-II | | | 1,2,28,31 |
| <i>Lepus europaeus</i> | Tavşan | LC | EK-II | EK-III | | Bu çalışma | 1,2,23,28,31 |

| Tür | Türkçe Adı | IUCN | MAKK | BERN | CITES | Bu çalışma | Literatür |
|----------------------------------|---------------------------------|------|-------|--------|--------|------------|-------------------------|
| <i>Spermophilus xanthoprimum</i> | Gelengi, tarla sincabı | NT | | | | Bu çalışma | 1,2,3,18,28,31,33,35 |
| <i>Allactaga williamsi</i> | Arap tavşanı | LC | | | | Bu çalışma | 1,2,3,28,31,33 |
| <i>Arvicola amphibius</i> | Su sıçanı | LC | | | | Bu çalışma | 1,2,3,28,31,34 |
| <i>Microtus hartingi</i> | Tarla faresi | LC | | | | Bu çalışma | 1,2,3,25,27,28,31,34 |
| <i>Microtus socialis</i> | Sosyal tarla faresi | LC | | | | | 1,2,3,28,31,34 |
| <i>Microtus levis</i> | Uzun kuyruklu çayır tarlafaresi | LC | | | | Bu çalışma | 1,2,3,25,27,28,31,34 |
| <i>Microtus dogramacii</i> | Doğramacı tarla faresi | LC | | | | | 1,2,3,28,31,34 |
| <i>Cricetulus migratorius</i> | Cüce avurtlak | LC | | | | Bu çalışma | 1,2,3,22,25,27,28,31,34 |
| <i>Mesocricetus brandii</i> | Avurtlak | NT | | | | Bu çalışma | 1,2,3,25,27,28,30,31,34 |
| <i>Meriones tristrami</i> | Türkiye Çöl sıçanı | LC | | | | Bu çalışma | 1,2,3,25,27,28,31 |
| <i>Apodemus mystacinus</i> | Büyük dişli orman faresi | LC | | | | Bu çalışma | 1,2,3,17,25,28,31,34 |
| <i>Apodemus witherbyi</i> | Çizgili orman faresi | LC | | | | Bu çalışma | 1,2,3,17,25,27,28,31,34 |
| <i>Mus macedonicus</i> | Ev faresi | LC | | | | Bu çalışma | 1,2,3,25,27,28,31,34 |
| <i>Mus musculus</i> | Ev faresi | LC | | | | Bu çalışma | 1,2,3,28,31,34 |
| <i>Rattus rattus</i> | Ev sıçanı | LC | | | | Bu çalışma | 1,2,3,28,31,34 |
| <i>Rattus norvegicus</i> | Göçmen fare | LC | | | | | 1,2,3,28,31,34 |
| <i>Nannospalax xanthodon</i> | Kör fare | DD | | | | Bu çalışma | 1,2,3,10,13,21,28,31,34 |
| <i>Dryomys nitedula</i> | Ağaç yedi uyuru | LC | | EK-III | | Bu çalışma | 1,2,3,28,31,33 |
| <i>Canis lupus</i> | Kurt | LC | | EK-II | EK-I | Bu çalışma | 1,2,26,28,31 |
| <i>Canis aureus</i> | Çakal | LC | EK-II | | EK-III | Bu çalışma | 1,2,28,31 |
| <i>Vulpes vulpes</i> | Tilki | LC | EK-II | | | Bu çalışma | 1,2,19,26,28,31 |
| <i>Mustela nivalis</i> | Gelincik | LC | EK-I | EK-III | | Bu çalışma | 1,2,28,31 |
| <i>Vormela peregusna</i> | Alacasansar | VU | | EK-II | | Bu çalışma | 1,2,24,28,31 |
| <i>Meles meles</i> | Porsuk | LC | EK-I | EK-III | | Bu çalışma | 1,2,28,31 |
| <i>Martes foina</i> | Kaya sansarı | LC | EK-II | EK-III | | Bu çalışma | 1,2,28,31 |
| <i>Martes martes</i> | Ağaç sansarı | LC | | EK-III | | | 1,2,28,31 |
| <i>Lutra lutra</i> | Su samuru | NT | | EK-II | EK-I | Bu çalışma | 1,2,28,31 |
| <i>Ursus arctos</i> | Boz ayı | LC | | EK-II | EK-I | Bu çalışma | 1,2,28,31 |
| <i>Felis silvestris</i> | Yabani kedi | LC | | EK-II | | | 1,2,28,31 |
| <i>Sus scrofa</i> | Yaban domuzu | LC | EK-II | | | Bu çalışma | 1,2,28,31 |
| <i>Capreolus capreolus</i> | Karaca | LC | | EK-III | | Bu çalışma | 1,2,28,31 |
| <i>Sciurus anomalus</i> | Anadolu sincabı | LC | | EK-II | | Bu çalışma | |
| <i>Lynx lynx</i> | Vaşak | LC | | EK-III | | Bu çalışma | |
| <i>Cervus elaphus</i> | Kızıl geyik | LC | | EK-III | | Bu çalışma | |

| Tür | Türkçe Adı | IUCN | MAKK | BERN | CITES | Bu çalışma | Literatür |
|----------------------------|---------------------|------|------|--------|-------|------------|-----------|
| <i>Suncus etruscus</i> | Etrüsk sivri faresi | LC | | EK-III | | | 25,27 |
| <i>Apodemus sylvaticus</i> | Bayağı orman faresi | LC | | | | | 25,27 |

Teşekkür

Bu çalışma Tarım ve Orman Bakanlığı, Doğa Koruma ve Milli Parklar Genel Müdürlüğü, 9. Bölge Müdürlüğü, Yozgat İl Müdürlüğünün destekleri ile gerçekleştirilmiştir. Doğa Koruma ve Milli Parklar Yozgat İl Müdürlüğü'nün bütün ekibine saha çalışmalarındaki desteklerinden dolayı teşekkür ediyoruz. Ayrıca Ekonorm Çevre İş Sağlığı ve Güvenliği Ölçüm Hiz. Müh. San. Tic. Ltd. Şti. şirketine çalışma boyunca göstermiş oldukları katkılarından dolayı teşekkür ediyoruz.

Yazarların Katkısı

Başlıca yazar saha çalışmalarında ve makalenin yazımında ağırlıklı katkıya sahiptir. İkinci yazar saha çalışmalarının %10'luk kısmında yer almış ve makale yazımının ise %20'lik kısmına katkı sunmuştur.

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] Wilson E.D., Reeder M.D., (Eds.) 2005. Mammal Species of the World: A Taxonomic and Geographic. 2nd ed., Smiths. Inst. Press. Washington, D.C., 1-1207.
- [2] Demirsoy A. 1996. Türkiye Omurgalıları-Memeliler. Çevre Bakanlığı, Meteksan, Ankara, 1-292.
- [3] Yiğit, N., Çolak, E., Sözen, M., Karataş, A., 2006. Rodents of Türkiye (Türkiye Kemiricileri). Meteksan, Ankara, 1-154.
- [4] Biyolojik Çeşitlilik İzleme Raporu, 2012.
- [5] Danford C.G., Alston E.R. 1877. On the mammals of Asia Minor Part I. Proc. Zool. Soc. Lond. 1877: 270-282.
- [6] Dobson G.E. 1878. Catalogue of the Chiroptera in the Collection of the British Museum. London: British Museum (Natural History), 567 pp.
- [7] Çağlar M. 1965. Chiropteran fauna der Türkci. İstanbul Üniv. Fen Fak. Mec., Seri B 30: 125-134.
- [8] Albayrak İ. 1993. The bats of Western Turkey and their distribution (Mammalia: Chiroptera) Doğa-Turk. J. Zool., 17:237-257.
- [9] Spitzenberger F. 1994. The Genus *Eptesicus* (Mammalia, Chiroptera) in southern anatolia. Folia Zool., 43: 437-454.
- [10] Yüksel E., Gülkaç M.D. 1995. Kızılırmak Havzası Kayseri Kırşehir Nevşehir Yozgat kesimi Spalax popülasyonları üzerine sitogenetik incelemeler. TBAG-904, 1-22.
- [11] Kefelioğlu H., Tez C. 1999. he Distribution Problem of *Crocidura russula* (Hermann, 1780) (Mammalia: Insectivora) in Turkey. Tr. J. of Zoology, 23: 247-251.
- [12] Tez C. 2000. Taxonomy and Distribution of the White-Toothed Shrews (*Crocidura*) (Soricidae: Insectivora: Mammalia) of Turkey. Turk J Zool 24: 365-374.
- [13] Yüksel E., Gülkaç M.D. 2001. The cytogenetical comparasions of *Spalax* (Rodentia: Spalacidae) populations from middle Kızılırmak Basin, Turkey. Turk. J. Biol., 25: 17-24.
- [14] Aşan N., 2001. Karyotype of *Eptesicus serotinus* (Schreber, 1774) in Turkey. (Mammalia: Chiroptera). Turk. J. Zool., 25: 357-360.
- [15] Benda P., Karataş A. 2005. On some Mediterranean populations of bats of the *Myotis mystacinus* morpho-group (Chiroptera: Vespertilionidae). Lynx (Praha), n. s., 36: 9-38.

- [16] Karataş A., Sözen M. 2006. Bats of the middle and upper Kızılırmak regions, Central Anatolia, Turkey (Chiroptera). *Lynx (Praha)*, n. s., 37: 151-159.
- [17] Çolak R., Çolak E., Yiğit N., Kandemir İ., Sözen M. 2007. Morphometric and Biochemical Variation and the Distribution of the Genus *Apodemus* (Mammalia: Rodentia) in Turkey. *Acta Zoologica Academiae Scientiarum Hungaricae* 53 (3): 239-256.
- [18] Gündüz İ., Jaarola M., Tez C., Yeniuyurt C., Polly P.D., Searle J.B. 2007. Multigenic and morphometric differentiation of ground squirrels (*Spermophilus*, Sciuridae, Rodentia) in Turkey, with description of a new species. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 43: 916-935.
- [19] İbiş O. 2009. Türkiye Kızıl Tilkilerinin (*Vulpes vulpes* (L.,1758)) (Mammalia: Carnivora) Mitokondrial Sitokrom –B Sekansı Yardımıyla Genetik Analizi. Doktora Tezi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.
- [20] Aşan N., Albayrak İ., Yorulmaz T. 2010. Noteworthy records of *Myotis myotis* and *Myotis blythii* in Turkey (Chiroptera: Vespertilionidae). *Lynx*, n. s. (Praha), 41: 145-150.
- [21] Yağcı T. 2010. İç Anadolu Bölgesi *Nannospalax leucodon* (Nordmann, 1840)'un G Bantlama Ve Allozim Varyasyonları (Mammalia: Rodentia). Doktora Tezi, Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırıkkale.
- [22] İbiş O., Tez Ç., Özcan S., Kılıç M., Telcioğlu M. 2011. A Preliminary Study of the Allozyme Variation in the Grey Hamster, *Cricetulus migratorius* (Mammalia: Rodentia), from the Asian Part of Turkey. *Arch. Biol. Sci., Belgrade*, 63 (2): 381-391.
- [23] Demirbaş Y., Albayrak İ. 2013. Türkiye Yaban Tavşanının Bugünkü Durumu. *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi*, 1: 192-194.
- [24] İbiş O., Tez C. 2014. Phylogenetic Status and Genetic Diversity of the Turkish Marbled Polecat, *Vormela peregusna*, (Mustelidae: Carnivora: Mammalia), inferred from the Mitochondrial Cytochrome b Gene. *Vertebrate Zoology*, 64 (2): 285 – 294.
- [25] Arslan N., Candan A., Yorulmaz T. 2015. Fatih Tabiat Parkı (Yozgat) Uzun Kulaklı Orman Baykuşu (*Asio otus*)'nun Diyetindeki Memeli Kompozisyonu. XII. Ulusal Ekoloji ve Çevre Kongresi 14-17 Eylül 2015 Muğla
- [26] Aksöyek E., İbiş O., Özcan S., Moradi M., Tez C. 2016. DNA barcoding of three species (*Canis aureus*, *Canis lupus* and *Vulpes vulpes*) of Canidae. *Mitochondrial DNA Part A*. 28 (5): 745-755
- [27] Yorulmaz T., Arslan N. 2019. Investigation on Diet of Long-Eared Owl (*Asio Otus*) Inhabiting Fatih Natural Park (Turkey). *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 8 (3): 865-859.
- [28] IUCN (International Union for Conservation of Nature) 2008. Species. The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2015-3.
- [29] Yozgat İl Çevre durum Raporu, 2011, Yozgat Valiliği, Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü.
- [30] Aşan N. 2012. Nucleolar organizer regions in *Mesocricetus brandti* (Nehring, 1898) (Mammalia: Rodentia) from the Yozgat and Tokat provinces of Turkey. *Turk J Zool.*, 36 (2): 255-257.
- [31] Demirsoy A. 1992. Yaşamın Temel Kuralları, Omurgalılar / Amniyota (Sürüngenler, Kuşlar ve Memeliler). Cilt-III / Kısım- II., Meteksan A.Ş. Ankara, 1-942.
- [32] Kryštufek B., Vohralík V. 2001. Mammals of Turkey and Cyprus. Introduction, Checklist, Insectivora. Koper: Science and Research Centre of the Republic of Slovenia, 140 pp.
- [33] Kryštufek B., Vohralík V. 2005. Mammals of Turkey and Cyprus, Rodentia I: Sciuridae, Dipodidae, Gliridae, Arvicolinae. *Zalozba Annales, Koper, Slovenia*, 1-292.
- [34] Kryštufek B., Vohralík V. 2009. Mammals of Turkey and Cyprus. Rodentia II: Cricetinae, Muridae, Spalacidae, Calomyscidae, Capromyidae, Hystricidae, Castoridae. Koper: University of Primorska, Science and Research Centre, 372 pp.
- [35] Kryštufek B., Vohralík V. 2013. Taxonomic revision of the Palearctic rodents (Rodentia). Part. 2. Sciuridae: Urocitellus, Marmota and Sciurotamias. *Lynx*, n. s., 44: 27-138.
- [36] Yiğit N., Çolak E., Sözen M. 2016. A new species of voles, *Microtus elbeyli* sp. nov., from Turkey with taxonomic overview of social voles distributed in southeastern Anatolia. *Turk J Zool.*, 40: 73-79.

Araştırma Makalesi / Research Article

Adilcevaz Bölgesinde Rüzgâr Enerji Potansiyelinin İncelenmesi

Soner ÇELİKDEMİR^{1*}, Mahmut Temel ÖZDEMİR²

¹Bitlis Eren Üniversitesi, Adilcevaz MYO, Bitlis

²Fırat Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Elazığ
(ORCID: 0000-0002-1419-3398) (ORCID: 0000-0002-5795-2550)

Öz

Günümüz dünyasında artan enerji ihtiyaçlarını karşılayabilmek ve enerjide dışa olan bağımlılığı azaltabilmek büyük bir önem arz etmektedir. Enerji kaynakları arasında ise yenilenebilir enerji kaynakları büyük bir öneme sahiptir. Rüzgâr enerji potansiyeli iki parametrelili Weibull Dağılım Fonksiyonunun Grafik Yöntemi kullanılarak 10 m ve 100 m yükseklik değerleri için hesaplanmıştır. Çalışmada ayrıca etkin rüzgâr yönü verilerek elde edilen değerlerin hata oranları, rüzgâr enerji güç yoğunlukları ve kapasite faktör değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanan enerji potansiyelleri dikkate alındığı zaman bölgenin rüzgâr enerji santralleri proje yatırımlarına uygun olduğu görülmüştür. Böylece, genel olarak Adilcevaz bölgesinin rüzgâr enerji potansiyelinin belirlenmesi amacıyla bir ön çalışma yapılmıştır.

Anahtar kelimeler: Rüzgâr Enerjisi, Weibull Dağılımı, Enerji Potansiyeli.

Investigation of Wind Energy Potential in Adilcevaz Region

Abstract

In today's world, it is of great importance to meet increasing energy needs and to reduce the dependence on foreign energy. Among the energy sources, renewable energy sources are of great importance. The wind energy potential was calculated for the 10 m and 100 m elevation values using the two-parameter Weibull Distribution Function Graphical Method. In the study, error rates, wind energy power densities and capacity factor values of the values obtained by giving effective wind direction were calculated. When the calculated energy potentials are taken into consideration, it is seen that the wind power plants in the region are suitable for the project investments. Thus, a preliminary study was conducted to determine the wind energy potential of the Adilcevaz region in general.

Keywords: Wind Energy, Weibull Distribution, Energy Potential.

1. Giriş

Dünya nüfusunun artış gösteren eğimi ile birlikte artan enerji ihtiyaçlarını karşılamak için enerjiye olan talep de artmaktadır. Buna karşın azalan enerji kaynakları, artan maliyetleri ve çevreye vermiş oldukları zararlar dikkate alındığında yeni enerji kaynak arayışları ve mevcut yenilenebilir enerji kaynaklarına olan talep de artış göstermektedir. Teknolojik gelişmeler ile birim üretim maliyetlerinin azalması ve enerji kalitesinin artması yenilenebilir enerji kaynaklarının önemini ön plana çıkarmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde rüzgâr enerjisinin çevre dostu bir kaynak olmasından dolayı daha verimli faydalanma söz konusudur.

Bu çalışmada, Adilcevaz bölgesinin rüzgâr enerji potansiyeli incelenmiştir. Çalışmada, bölgenin 2018 yılına ait 10 m yükseklikte ölçülen saatlik rüzgâr hız verileri kullanılmıştır. 100 m yükseklik için rüzgâr hız değerleri Hellmann Bağıntısı kullanılarak bulunmuştur. Çalışmada ayrıca Adilcevaz bölgesine ait rüzgâr enerji potansiyelinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bunun için Devlet Meteoroloji İl Müdürlüğü'nden alınan Adilcevaz bölgesi için 2018 yılına ait 10 m yükseklikte ölçülen saatlik rüzgâr

*Sorumlu yazar: celikdemirsoner@gmail.com

Geliş Tarihi: 13.02.2019, Kabul Tarihi: 31.07.2019

hız değerleri kullanılmıştır. Bölgenin rüzgâr enerji potansiyeli incelenirken, gerçek rüzgâr hız verileri kullanılarak farklı yükseklikler için hesaplanan rüzgâr hız değerleri ve Weibull Dağılımı kullanılmıştır. Kaplan [1] yaptığı çalışmada Osmaniye Bölgesi için 2013 yılına ait saatlik olarak ölçülen rüzgâr hız verileri kullanılarak rüzgâr enerjisi potansiyelini istatistiksel olarak analiz etmiştir. Ayrıca mevcut rüzgâr hız verilerinin Weibull ve Rayleigh Dağılım fonksiyonlarına uyumunu incelemiştir. Gülersoy ve Çetin [2] yaptıkları çalışmada Menemen Bölgesinde 2008-2009 yıllarında saatlik olarak ölçülen rüzgâr hız değerlerini kullanarak bölgenin rüzgâr enerji potansiyelini istatistiksel olarak incelemiştir. Ölçülen rüzgâr hız verileri kullanarak, rüzgâr hızlarının esme saatlerinin Weibull ve Rayleigh dağılım fonksiyonuna uyumunu araştırmışlardır. Yıldırım ve arkadaşları [3] yaptıkları çalışmada Niğde iline ait 10 m yükseklikte ölçülen saatlik ortalama rüzgâr hız değerleri kullanılarak bölgenin rüzgâr enerji potansiyeli istatistiksel olarak incelemiştir. Kurban ve arkadaşları [4] yaptıkları çalışmada Anadolu Üniversitesi İki Eylül Kampüsü'ndeki 2005 yılına ait 15 saniye aralıklarla ölçülen rüzgâr hız verilerine dayanarak rüzgâr gücünün değişimini Weibull Dağılımı ile incelemiştir. Diğer çalışmalarda [5-14] genel olarak yıllık ortalama rüzgâr hızı ve rüzgâr gücü yoğunlukları farklı bölgelerde uygun türbin modeli için, enerji üretimi, kapasite faktörü ve maliyet analizleri yapılarak karşılaştırılmıştır.

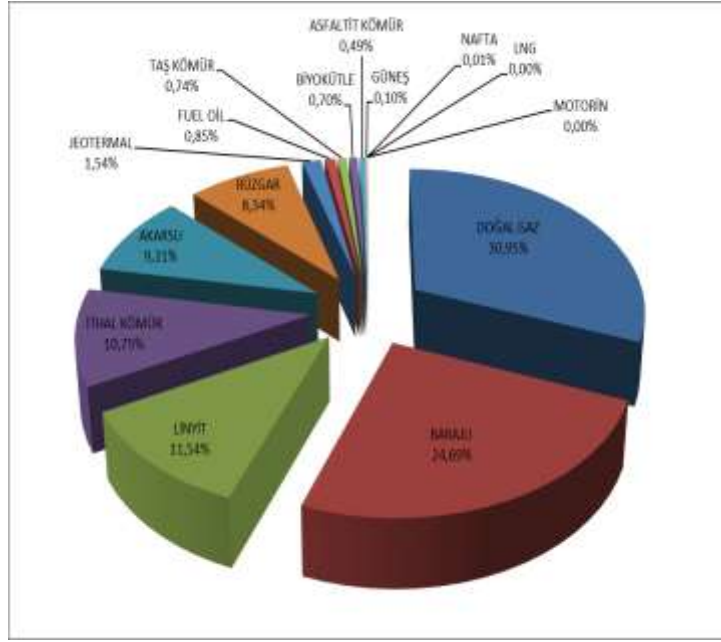
2. Dünya ve Türkiye'deki Rüzgâr Enerji Potansiyeli

Yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan rüzgâr enerji santralleri (RES) Dünya'daki elektrik enerji gereksiniminin yaklaşık olarak % 7,7'sini karşılamaktadır. Bu durum hali hazırda değerlendirilmemiş olan rüzgâr enerji potansiyellerinin önemini artırmaktadır. Rüzgâr türbinleri bir sistem yada bir bölgenin enerji ihtiyacını karşılayacağı gibi ürettiği enerjiyi enterkonnekte şebeke üzerinden sisteme verebilmektedir.

Ülkemizin kurulu güç değeri 2018 yılı Aralık ayı sonu itibari ile 83.184 MW'a ulaşmıştır. 2018 yılı Aralık ayı sonunda kurulu gücümüzün enerji kaynaklarına göre oranları Tablo 1 ve Şekil 1'de gösterilmiş olup; % 34,0'ı hidrolik enerji, % 30,95'i doğal gaz, % 23,03'ü kömür, % 8,34'ü rüzgâr, % 0,1'i güneş, % 1,54'ü jeotermal ve % 20,4'i ise diğer enerji kaynakları şeklindedir. Türkiye'nin rüzgâr enerji potansiyeli 48.000 MW olarak hesaplanmıştır. Bu potansiyel değere karşılık gelen toplam alan Türkiye yüz ölçümünün %1,30'una denk gelmektedir. Ayrıca 2017 yıl sonu itibariyle Türkiye'de rüzgâr enerjisinden 17,9 milyar kWh elektrik enerjisi üretilmiştir. 2018 Haziran ay sonu itibariyle işletmede olan rüzgâr enerji santrallerinin toplam kurulu gücü 6,671 MW'tır. Türkiye'nin karasal alanlarda brüt rüzgâr enerji potansiyeli 400 milyar kWh/yıl, teknik rüzgâr enerji potansiyeli 120 milyar kWh/yıl ve ekonomik olarak rüzgâr enerji potansiyeli ise 50 milyar kWh/yıl olarak hesaplanmaktadır.

Tablo 1. Elektrik üretim tesislerinin toplam kurulu güç ve oranları [15]

| Kaynak Türü | 2018 | |
|------------------|------------------|---------------|
| | Kurulu Güç (Mw) | Oran (%) |
| Doğal Gaz | 25.741,66 | 30,95 |
| Barajlı Hidrolik | 20.536,05 | 24,69 |
| Linyit | 9.597,12 | 11,54 |
| İthal Kömür | 8.938,85 | 10,75 |
| Akarsu | 7.747,65 | 9,31 |
| Rüzgâr | 6.939,77 | 8,34 |
| Jeotermal | 1.282,52 | 1,54 |
| Fuel Oil | 709,21 | 0,85 |
| Taş Kömürü | 616,15 | 0,74 |
| Biyokütle | 581,17 | 0,70 |
| Asfaltit | 405,00 | 0,49 |
| Güneş | 81,66 | 0,10 |
| Nafta | 4,74 | 0,01 |
| Lng | 1,95 | 0,00 |
| Motorin | 1,04 | 0,00 |
| Toplam | 83.184,53 | 100,00 |



Şekil 1. Elektrik üretim tesislerin yüzdelik oranları [15]

3. İstatiksel Analiz

3.1. Rüzgâr Hız Güç Denklemi

Rüzgâr hızları, yer küreden yükseldikçe değişmektedir. Yeryüzüne yaklaştıkça da sürtünme kuvvetinin etkisiyle rüzgâr hızı düşmektedir. Herhangi bir yükseklikte ölçülen rüzgâr hızı ile başka bir yükseklikteki rüzgâr hızı tahmin edilebilmektedir. Bunun için en yaygın kullanılan bağıntı Hellmann Denklemidir. Rüzgâr hız ölçümleri Dünya Meteoroloji Teşkilatı'nın belirlemiş olduğu 10 m yükseklikte yapılmaktadır. Rüzgâr türbinleri ise daha fazla yüksekliğe sahip olduğundan Hellmann Denklemi kullanılarak rüzgâr türbin yüksekliğindeki rüzgâr hızı hesaplanabilmektedir. Hellmann Denklemi;

$$\frac{V}{V_0} = \left(\frac{H}{H_0}\right)^\alpha \quad (1)$$

Burada; H_0 referans yükseklik, V_0 ise referans yükseklikteki rüzgâr hızı, H rüzgâr hızının hesaplanmak istendiği yükseklik, V ise H yüksekliğindeki rüzgâr hızı, α ise sürtünme katsayısıdır. Sürtünme katsayısı, rüzgâra maruz kalan bölgenin topolojisine bağlı bir katsayı değeridir. Sürtünme katsayı değerleri farklı bölgeler için Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Farklı bölgeler için ' α ' katsayı değeri

| Bölge Açıklaması | ' α ' Katsayı Değeri |
|---|-----------------------------|
| Pürüzsüz, sert zemin, göl, okyanus yüzeyi | 0,10 |
| İşlenmemiş toprak üzerinde kısa çim | 0,14 |
| Ayak seviyesinde çim | 0,16 |
| Maki, fundalık ağaçlarla kaplı zemin | 0,20 |
| Birçok ağaç ve aralıklı bina | 0,22 – 0,24 |
| Ağaçlık ve küçük kasaba | 0,28 – 0,30 |
| Yüksek binalar, şehir merkezleri | 0,40 |

3.2. Weibull Dağılımı

Rüzgâr hız değerlerinin hakim yön ve şiddetlerinin bulunması için farklı dağılım yöntemleri bulunmaktadır. Bu yöntemler arasında en çok tercih edilen yöntem Weibull dağılımıdır. Rüzgâr hızının

belli bir periyottaki değişimi ve rüzgâr dağılımı, hem rüzgâr enerji santral yatırım değerlendirmelerinde hem de rüzgâr endüstrisinde büyük bir önem arz etmektedir. Rüzgâr türbin üreticileri, türbin teknolojisindeki gelişmeleri ve maliyetleri en aza indirmede rüzgâr dağılımı ve değişimi ile ilgili bilgilere ihtiyaç duyarlar. Bir bölge için rüzgâr dağılımı ölçülerek ya da ölçümlere dayalı farklı nokta ve yüksekliklerde Weibull Dağılımı ile hesaplanır. Weibull Dağılımı eğrisi iki parametreye sahip olup simetrik değil çarpıktır. Bu dağılımı oluşturan her bir hız frekansı, ortalama hızın bulunmasını da sağlar. Weibull Dağılımı;

$$p(v) = \left(\frac{k}{c}\right) \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} \exp\left[-\left(\frac{v}{c}\right)^k\right] \quad (2)$$

$$p(v) = P'(v) \quad (3)$$

Burada; $P'(v)$ birikmiş olasılık dağılım fonksiyonu, $p(v)$ rüzgâr hızının olasılık yoğunluğunu, k şekil parametresini, c ise ölçek parametresini ifade eder. k şekil parametresini genellikle 1,5 ile 3 arasında olması beklenmektedir. Weibull Dağılımı farklı metotlarla çizilebilmektedir. En yaygın olarak kullanılan Grafik Metot yöntemidir. Bu yöntemde olasılık dağılım fonksiyonunun parametreleri grafik çizilerek bulunur. Bunun için rüzgâr hız verileri düşük rüzgâr hızından yüksek rüzgâr hızına doğru sıralanır. Daha sonra her değer için olasılık değerleri bulunur. Olasılık değerleri bulunduktan sonra kümülatif değer zaman ekseninde çizdirilir. Bu çizim için en yakın doğru parçası elde edilir. Doğru parçasının eğimi şekil parametresini ve bu çizgiden zaman eksenini kestiği nokta ölçek parametresini verir. Bu yöntemi lineer formda yazmak için her iki tarafın logaritması alınır.

$$-\left(\frac{v}{c}\right)^k = \ln[1 - P(v)] \quad (4)$$

$$k \ln(v) - k \ln(c) = \ln[-\ln[1 - P(v)]] \quad (5)$$

Burada; $X = \ln(v)$, $Y = \ln[-\ln[1 - P(v)]]$ değerlerini verir. $A = k$, $B = -k \ln(c)$ kabul edilirse; $Y = AX + B$ şeklinde lineer denklem bulunur.

Weibull Dağılımında ölçek parametresi ve bu parametre hesaplandıktan sonra rüzgâr enerji santrallerin kurulacağı bölgelerde rüzgâr enerji potansiyelleri hesaplanabilir. Rüzgâr enerji potansiyeli Denklem 6 kullanılarak hesaplanır.

$$P_w = \frac{1}{2} \rho c^3 \Gamma\left(1 + \frac{3}{k}\right) \quad (6)$$

Burada; P_w rüzgâr enerji güç yoğunluğu, ρ hava yoğunluğu, Γ gama fonksiyonudur. Gama fonksiyonu ise Denklem 7'de verilmiştir.

$$\Gamma(x) = \int_0^{\infty} e^{-u} u^{x-1} du \quad (7)$$

Kapasite faktörü ise Denklem 8'de verilmiştir.

$$CF = \frac{\exp\left[-\left(\frac{V_c}{c}\right)^k\right] - \exp\left[-\left(\frac{V_r}{c}\right)^k\right]}{\left(\frac{V_r}{c}\right)^k - \left(\frac{V_c}{c}\right)^k} - \exp\left[-\left(\frac{V_f}{c}\right)^k\right] \quad (8)$$

Burada; CF kapasite faktörü, V_c rüzgâr türbinin devreye girme rüzgâr hızını, V_r rüzgâr türbinin ortalama çalışma rüzgâr hızını, V_f rüzgâr türbinin devreden çıkma rüzgâr hızını ifade eder.

3.3. Örnek Çalışma

Adilcevaz Bölgesi, Türkiye'nin Doğu Anadolu Bölgesinde bulunan Bitlis iline bağlı bir ilçesidir. Adilcevaz ilçesinin konumu Şekil 2'de gösterilmiştir. Çalışmada Devlet Meteoroloji İl Müdürlüğü'nün 1671 metre rakım, 38.7982 enlem ve 42.7644 boylamda bulunan ölçüm istasyonundaki veriler kullanılmıştır.



Şekil 2. Adilcevaz bölgesinin konumu

Adilcevaz bölgesi için 2018 yılına ait 10 m yükseklikte ölçülen saatlik rüzgâr hız değerlerinin sınıflandırılması Tablo 3'nin ikinci sütununda rüzgâr hızının ortama değerleri, üçüncü sütunda her bir rüzgâr hızının esme sayısı, dördüncü sütunda olasılık yoğunluğu ve beşinci sütunda kümülatif olasılık yoğunluğu verilmiştir.

Tablo 3. Rüzgâr hız verileri (10 m)

| i | v_i | f_i | p_{vi} | P_{vi} |
|-----|-------|-------|----------|----------|
| 0 | 0,5 | 542 | 0,06384 | 0,06384 |
| 1 | 1,5 | 2507 | 0,295289 | 0,359128 |
| 2 | 2,5 | 2838 | 0,334276 | 0,693404 |
| 3 | 3,5 | 1323 | 0,15583 | 0,849234 |
| 4 | 4,5 | 717 | 0,084452 | 0,933687 |
| 5 | 5,5 | 348 | 0,040989 | 0,974676 |
| 6 | 6,5 | 131 | 0,01543 | 0,990106 |
| 7 | 7,5 | 57 | 0,006714 | 0,99682 |
| 8 | 8,5 | 12 | 0,001413 | 0,998233 |
| 9 | 9,5 | 12 | 0,001413 | 0,999647 |
| 10 | 10,5 | 2 | 0,000236 | 0,999882 |
| 11 | 11,5 | 2 | 0,000236 | 1,000118 |
| 12 | 12,5 | 1 | 0,000118 | 1,000236 |
| 13 | 13,5 | 0 | 0 | 1,000236 |

Tablo 3'deki saatlik rüzgâr hız oranının esme sayı değeri yıl içerisinde 8760 değer olması gerekirken burada 8492 değer mevcuttur. Bunun nedeni 268 farklı saat diliminde rüzgâr hız değerlerinin ölçüm yapan cihaz tarafından ölçülememesidir. Denklem 1'de verilen rüzgâr hız güç denklemi kullanılarak 100 m yükseklik için rüzgâr hız değerlerinin sınıflandırılması ise Tablo 4'de verilmiştir.

Denklem 4 ve Denklem 5 kullanılarak, Tablo 3 ve Tablo 4'den elde edilen X - Y koordinat eksen değerleri ise Tablo 5'de verilmiştir.

Tablo 4. Rüzgâr Hız Verileri (100 m)

| i | v_i | f_i | p_{vi} | P_{vi} |
|-----|-------|-------|----------|----------|
| 0 | 0,5 | 77 | 0,009069 | 0,009069 |
| 1 | 1,5 | 465 | 0,05477 | 0,06384 |
| 2 | 2,5 | 967 | 0,113899 | 0,177739 |
| 3 | 3,5 | 1540 | 0,18139 | 0,359128 |
| 4 | 4,5 | 1675 | 0,197291 | 0,556419 |
| 5 | 5,5 | 1163 | 0,136985 | 0,693404 |
| 6 | 6,5 | 758 | 0,089282 | 0,782686 |
| 7 | 7,5 | 565 | 0,066549 | 0,849234 |
| 8 | 8,5 | 441 | 0,051943 | 0,901178 |
| 9 | 9,5 | 276 | 0,032509 | 0,933687 |
| 10 | 10,5 | 207 | 0,024382 | 0,958068 |
| 11 | 11,5 | 141 | 0,016608 | 0,974676 |
| 12 | 12,5 | 76 | 0,008952 | 0,983628 |
| 13 | 13,5 | 55 | 0,006478 | 0,990106 |
| 14 | 14,5 | 34 | 0,004005 | 0,994111 |
| 15 | 15,5 | 23 | 0,002709 | 0,99682 |
| 16 | 16,5 | 6 | 0,000707 | 0,997527 |
| 17 | 17,5 | 6 | 0,000707 | 0,998233 |
| 18 | 18,5 | 9 | 0,00106 | 0,999293 |
| 19 | 19,5 | 3 | 0,000353 | 0,999647 |
| 20 | 20,5 | 0 | 0 | 0,999647 |
| 25 | 25,5 | 5 | 0,000589 | 1,000236 |
| 26 | 26,5 | 0 | 0 | 1,000236 |

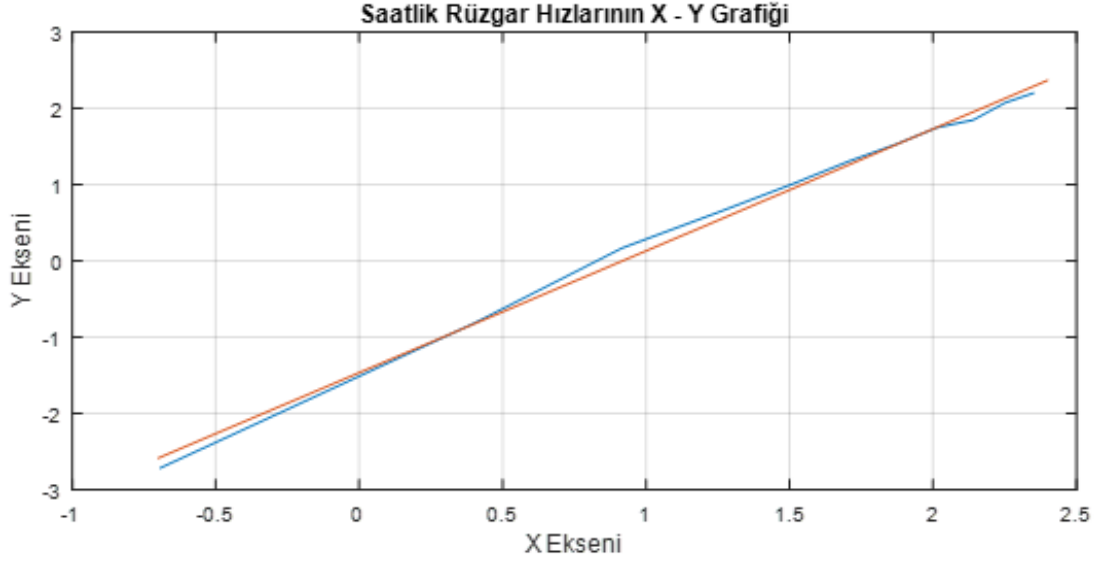
Tablo 5. Rüzgâr Hız Verilerinin X ve Y Eksen Değerleri a) 10 m b) 100 m

| X Eksen | Y Eksen | X Eksen | Y Eksen |
|----------|----------|----------|----------|
| -0,69315 | -2,71858 | -0,69315 | -4,69829 |
| 0,405465 | -0,80985 | 0,405465 | -2,71858 |
| 0,916291 | 0,167398 | 0,916291 | -1,63119 |
| 1,252763 | 0,63765 | 1,252763 | -0,80985 |
| 1,504077 | 0,998189 | 1,504077 | -0,20718 |
| 1,704748 | 1,301827 | 1,704748 | 0,167398 |
| 1,871802 | 1,529491 | 1,871802 | 0,422918 |
| 2,014903 | 1,74934 | 2,014903 | 0,63765 |
| 2,140066 | 1,846657 | 2,140066 | 0,839165 |
| 2,251292 | 2,072924 | 2,251292 | 0,998189 |
| 2,351375 | 2,202394 | 2,351375 | 1,154272 |
| | | 2,442347 | 1,301827 |
| | | 2,525729 | 1,413951 |
| | | 2,60269 | 1,529491 |
| | | 2,674149 | 1,636006 |
| | | 2,74084 | 1,74934 |
| | | 2,80336 | 1,792113 |
| | | 2,862201 | 1,846657 |
| | | 2,917771 | 1,981675 |
| | | 2,970414 | 2,072924 |
| | | 3,020425 | 2,072924 |

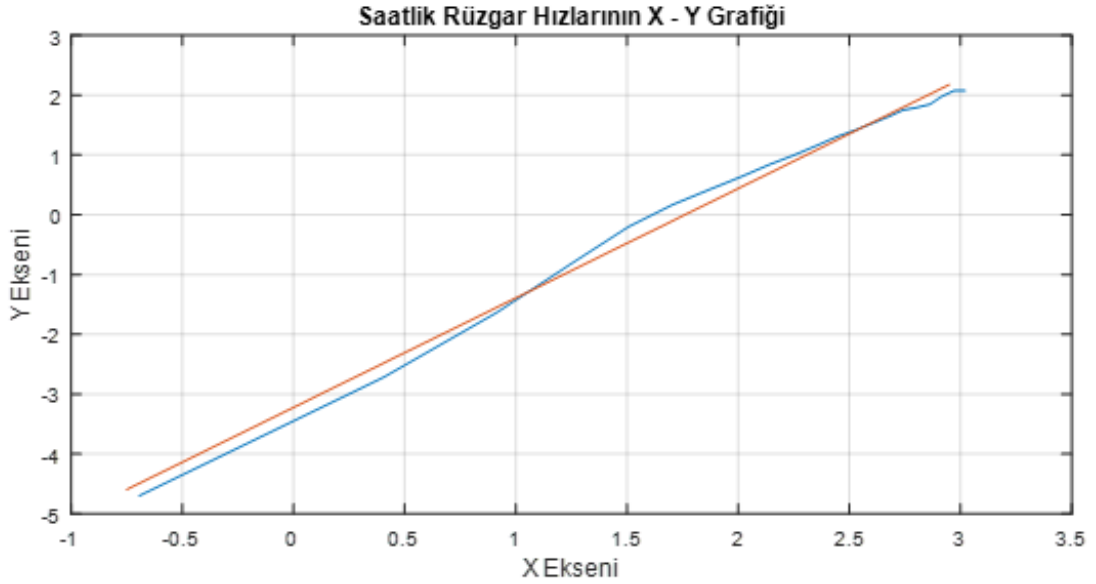
a)

b)

Rüzgâr hız verilerinin X – Y Eksen değerleri Matlab ortamında işaretlenip ve bu noktalara uygun bir eğri grafiği 10 m yükseklik için Şekil 3’de ve 100 m yükseklik için Şekil 4’de verilmiştir.



Şekil 3. Rüzgâr hız verilerinin X ve Y eksen değerleri (10 m)

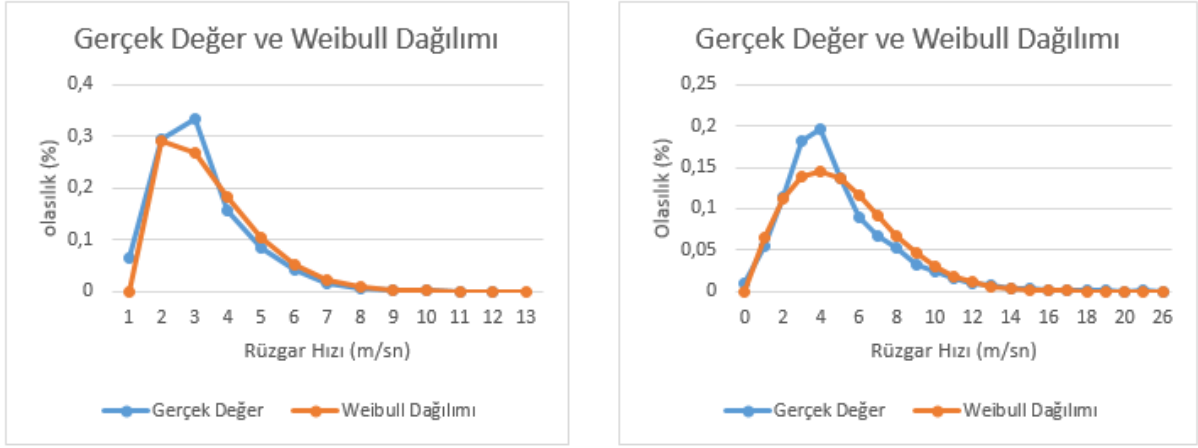


Şekil 4. Rüzgâr hız verilerinin X ve Y eksen değerleri (100 m)

Burada; 10 m için yapılan hesaplamalarda $y = 1,5567*x - 1,4443$ bulunur. Buradan da $k = 1,5567$ $c = 2,5289$ olarak, 100 m için yapılan hesaplamalarda ise $y = 1,8192*x - 3,2110$ bulunur. Buradan da $k = 1,8192$ $c = 5,8419$ olarak hesaplanmaktadır.

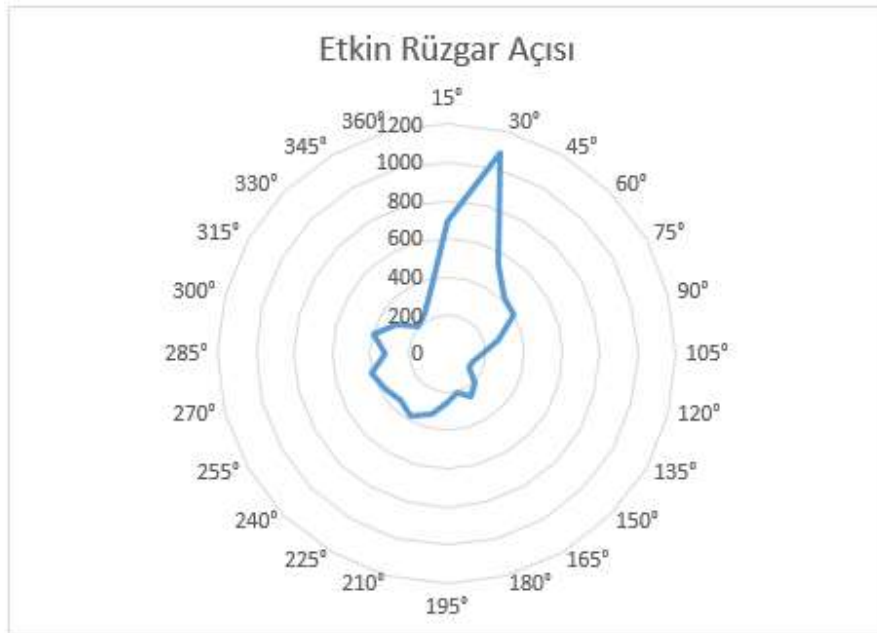
3. Bulgular

Bu bölümde Weibull Dağılım sonuçları gerçek rüzgâr hız değerleri ile karşılaştırılmış ve hata analizi yapılmıştır. Bunun yanı sıra etkin rüzgâr yönleri ile saatlik ölçülen rüzgâr hız değerleri verilmiştir. Ölçüm verilerinin alındığı 10 m yükseklik için gerçek rüzgâr hız değerleri ile hesaplanan ölçek parametresi ve şekil parametresinden elde edilen Weibull Dağılım grafiği Şekil 5-a)'da verilmiştir. Hellmann Bağıntısı kullanılarak 100 m yükseklik için hesaplanan rüzgâr hız değerleri ile hesaplanan ölçek parametresi ve şekil parametresinden elde edilen Weibull Dağılım grafiği Şekil 5-b)'de verilmiştir.



Şekil 5. Gerçek rüzgâr hızı ve Weibull Dağılımı a)10m b)100 m

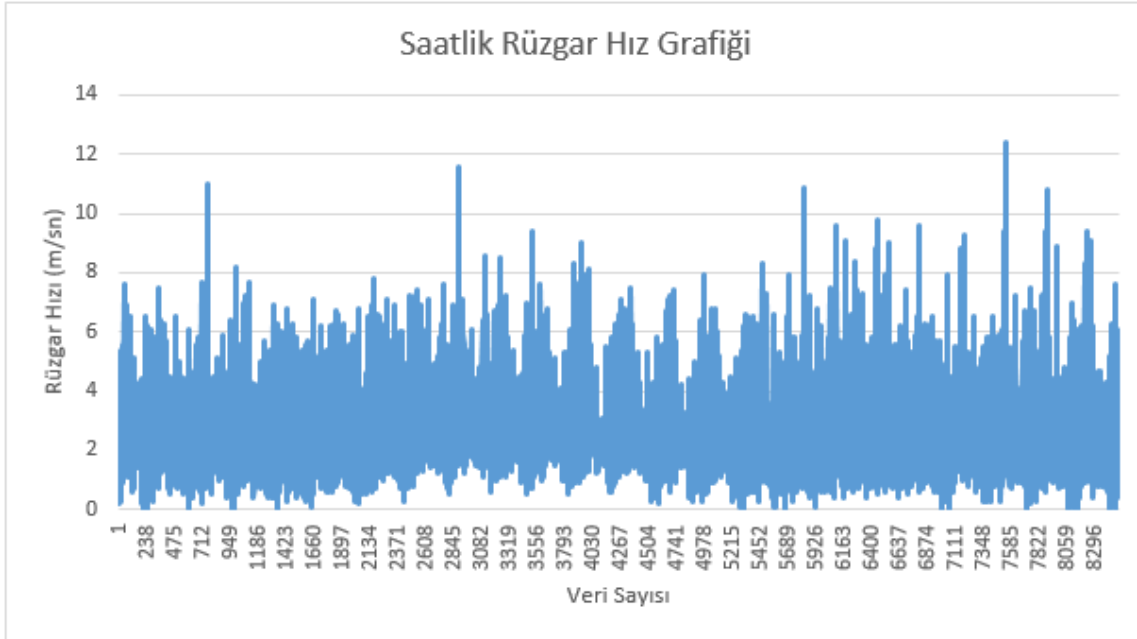
Yükseklik arttıkça rüzgâr hız değerlerinin olasılık oranları azalmakta fakat ortalama rüzgâr hız değerleri artmaktadır. Bu durumda rüzgâr enerjisinden dönüştürülecek enerji yoğunluğunu artırmaktadır. Çalışmada incelenen Adilcevaз bölgesi için 2018 yılına ait 10 m yükseklikte ölçülen saatlik rüzgâr hızlarının açısı değerleri ise Şekil 6’de verilmiştir.



Şekil 6. Rüzgâr hız açısı

Şekil 6 incelendiği zaman etkin rüzgâr açısının yaklaşık 30° olduğu görülmektedir. Adilcevaз Bölgesinde elde edilen saatlik rüzgâr hız değerleri Şekil 7’de verilmiştir.

Saatlik rüzgâr hız grafiği incelendiğinde ortalama rüzgâr hızının en yüksek olduğu aylar ilkbahar ayları, sonra sırasıyla kış ayları ve sonbahar ayları gelmektedir. Rüzgâr hızının en düşük olduğu aylar ise yaz ayları olduğu görülmektedir. Weibull Dağılımı ile elde edilen sonuçların hata analizleri yapıldığında elde edilen sonuçlar Tablo 6’da verilmiştir.



Şekil 7. Saatlik rüzgâr hızları

Tablo 6. Weibull Dağılım değerleri ve hata oranları a)10 m b)100 m

| Weibull Dağılımı | Hata (%) |
|------------------|----------|
| 0,290071 | 0,017438 |
| 0,269859 | 0,192514 |
| 0,183644 | -0,17876 |
| 0,103145 | -0,22162 |
| 0,050018 | -0,22055 |
| 0,021446 | -0,3902 |
| 0,008252 | -0,22939 |
| 0,002879 | -1,03751 |
| 0,000918 | 0,35038 |
| 0,000269 | -0,14241 |
| 7,28E-05 | 0,690693 |
| 1,83E-05 | 0,844655 |

a)

| Weibull Dağılımı | Hata (%) |
|------------------|----------|
| 0,070446 | -0,28651 |
| 0,112249 | 0,014255 |
| 0,133976 | 0,261218 |
| 0,138208 | 0,299307 |
| 0,129046 | 0,057731 |
| 0,111407 | -0,24812 |
| 0,089987 | -0,35251 |
| 0,068508 | -0,31922 |
| 0,049407 | -0,52015 |
| 0,033874 | -0,38965 |
| 0,022139 | -0,33336 |
| 0,013822 | -0,54446 |
| 0,008258 | -0,27503 |
| 0,004728 | -0,18078 |
| 0,002597 | 0,041321 |
| 0,00137 | -0,93832 |
| 0,000694 | 0,017349 |
| 0,000339 | 0,680541 |
| 0,000159 | 0,550149 |
| 7,18E-05 | hata |
| 7,86E-07 | 0,998665 |
| 2,87E-07 | hata |

b)

Weibull Dağılım ile gerçek rüzgâr hız değerleri arasındaki hata oranları incelendiğinde 10 m yükseklikte hesaplanan hata oranları % 1,03'ü geçmemektedir. 100 m yükseklikteki hata oranları ise % 1'den az olduğu Tablo 6'de görülmektedir.

Denklem 7 kullanılarak rüzgâr enerji güç yoğunluğu 10 m yükseklik için hesaplanırsa; $P_w = 25,4520 \text{ W/m}^2$ olarak bulunur. 100 m yükseklik için rüzgâr enerji güç yoğunluğu hesaplanırsa; $P_w = 299,0315 \text{ W/m}^2$ olarak bulunur. Aynı şekilde yapılan hesaplamalarda kapasite faktörü 10 m yükseklik için $CF = 0,027$ olarak 100 m yükseklik için $CF = 0,210$ olarak hesaplanır.

4. Sonuç

Rüzgâr ölçüm istasyonunda ölçülen rüzgâr hız ve yön verileri, rüzgâr enerji santralleri projelerinin uygulanabilmesi açısından önem arz etmektedir. Yapılan bu çalışmada Adilcevaz bölgesi için 2018 yılına ait veriler kullanılmıştır. Bunun sonucunda; 100 m için Weibull Dağılımı ile gerçek veriler arasındaki hata oranı 10 m yükseklikteki hata oranından daha düşük olduğu ve enerji potansiyel değeri 100 m yükseklik için $P_w = 299,0315 \text{ W/m}^2$ ve kapasite faktörü $CF = 0,210$ olarak hesaplanmıştır. Ayrıca 10 m yükseklik için ortalama hata değeri 0,3763 ve standart sapma değeri 0,5021 olarak, 100 m yükseklik için ortalama hata değeri 0,33210 ve standart sapma değeri 0,3942 olarak bulunmuştur. Bu ölçülen değerler referansında hesaplanan enerji potansiyel verileri değerlendirilebilir düzeyde olduğu görülmektedir.

Bu çalışmada Adilcevaz bölgesi için rüzgâr enerji potansiyelini belirlemek amacıyla yapılan bir ön çalışma niteliğindedir. Bölgede bir rüzgâr enerji santrali kurmak için daha detaylı çalışmalar ve daha uzun süreli rüzgâr verileri kullanılmalıdır. Ülkemizde yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını artıracak bu tür çalışmaların artırılması, artan enerji talebini karşılamak ve enerjide dışa olan bağımlılığı büyük oranda azaltacaktır.

Yazarların Katkısı

Çalışmada tüm yazarlar eşit oranda katkı sunmuştur.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada, araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar

- [1] Kaplan Y.A. 2016. Rayleigh ve Weibull Dağılımları Kullanılarak Osmaniye Bölgesinde Rüzgar Enerjisinin Değerlendirilmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 20 (1): 62-71.
- [2] Gülersoy T., Çetin, N.S. 2010. Menemen Bölgesinde Rüzgar Türbinleri İçin Rayleigh ve Weibull Dağılımlarının Kullanılması. Politeknik Dergisi, 13 (3): 209-213.
- [3] Yıldırım U., Gazibey Y., Güngör A. 2012. Niğde İli Rüzgar Enerjisi Potansiyeli. Niğde Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 1 (2): 37-47.
- [4] Kurban M., Kantar Y.M., Hocaoglu F.O. 2007. Weibull Dağılımı Kullanılarak Rüzgar Hız ve Güç Yoğunluklarının İstatiksel Analizi. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 7 (2): 205-218.
- [5] Lublertlop K., Jeeng Min L., 2015. Economic Analysis of Wind Turbine Installation in Taiwan, Hindawi Publishing Corporation, Mathematical Problems in Engineering, Macroscopic/Mesosopic Computational Materials Science Modeling and Engineering, 2015: Article ID 614541.
- [6] Wang L., Chanan S., 2006. Tradeoff Between Risk and Cost in Economic Dispatch Including Wind Power Penetration Using Particle Swarm Optimization. International Conference on Power Technology, Chongqing, 7-12.
- [7] Bilal B.O., Cheikh K., Vincent S., Papa A., Mamoudou N., 2014. Economic Analysis of Wind Electricity Generation in the Northern Coast of Senegal. International Journal of Metrology and Quality Engineering, 5 (3).
- [8] Celik A.N. 2007. A Techno-Economic Analysis of Wind Energy in Southern Turkey. International Journal of Green Energy, 1233-1247.
- [9] Blanco M.I. 2009. The Economics of Wind Energy. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 13. 1372-1382.

- [10] Kestane Ö., Ülgen K. 2017. Techno-Economic Analysis of Wind Power Plants: A Case Study of Milas-Turkey. *Energy Sources, Part B: Economics, Planning and Policy*, 1088-1100.
- [11] Arslan O. 2010. Technoeconomic Analysis of Electricity Generation From Wind Energy in Kutahya, Turkey. *Energy*, 120-131.
- [12] Gökçek M., Genç M.S. 2009. Evaluation of Electricity Generation and Energy Cost of Wind Energy Conversion Systems (WECSs) in Central Turkey. *Applied Energy*, 86: 2731-2739.
- [13] Taner T. 2018. Economic Analysis of a Wind Power Plant: A Case Study for the Cappadocia Region. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 32: 1379-1389.
- [14] Taner T. 2014. Energy and Economic Analysis of the Wind Turbine Plant's Draft for the Aksaray City. *Applied Ecology and Environmental Sciences*, 82-85.
- [15] <https://www.epdk.org.tr/> (Erişim Tarihi: 31.07.2019).

Araştırma Makalesi / Research Article

Yeni Tip Taşlama Yönteminde Taşlama Parametrelerinin Deneysel Tasarım Yöntemi İle Yüzey Pürüzlülüğü Üzerine Etkisinin İncelenmesi

Oktay ADIYAMAN^{1*}, Fikret SÖNMEZ²

¹Batman Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makine ve İmalat Mühendisliği, Batman

²Karşıyaka Tüpraş Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi, Kocaeli

(ORCID: 0000-0002-2674-3836)(ORCID: 0000-0003-1718-892X)

Öz

“İkincil eksenli düzlem yüzey taşlama yöntemi” (GMASRA) son yıllarda geliştirilmiş bir düzlem yüzey taşlama yöntemidir. Bu çalışmada, GMASRA metodu incelenmiş ve deneylerde işlemin etkilendiği parametreler olan taşlama taşı tane büyüklüğü, yanal kayma miktarı, talaş derinliği ve ikincil eksen fener mili hızı kullanılmıştır. Bu deney parametreleri 2 seviye olarak yapılandırılmış ve toplam 16 deneyden oluşan bir deney seti oluşturulmuştur. Bu deney setinin analizinde ve deney sonuçlarının tahmin edilmesinde faktöriyel tasarım modeli kullanılmıştır. Oluşturulan modelde 8 deney verisi kullanılmış ve parametrelerin etkinliği ile parametrelerin sonuç üzerindeki etkisi analiz edilmiştir. Aynı zamanda, modelin oluşturulmasında kullanılmayan 8 veri, modelin tahmin yeteneğinin araştırılması için kullanılmış ve deney sonuçları bu model tarafından tahmin edilmiştir. Yapılan tahminlerin yüksek tutarlılıkla ($R^2=0,902$) sonuçlar oluşturduğu ve bu mühendislik probleminin çözümü için uygun bir yöntem olduğu görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Düzlem Yüzey Taşlama, Yüzey Pürüzlülüğü, Deneysel Tasarım, Optimizasyon.

Investigation of the Effect of Grinding Parameters on Surface Roughness by Experimental Design Method in New Type Grinding Method

Abstract

“Grinding Mechanism having Advanced Secondary Rotational Axis” (GMASRA) is one of the newer plane surface grinding methods that have an uncommon abrasion mechanism. In this study, the GMASRA method was investigated and in the experiments the parameters of grinding wheel mesh size, stepover, depth of cut and secondary axis spindle speed were used. These test parameters were determined as 2 levels. A total of 16 experiments were generated. A factorial design model was used to analyze this experiment set and predict the results of the experiment. In the model, 8 experimental data were used and the efficiency of the parameters and the effect of the parameters on the result were analyzed. At the same time, 8 data that were not used to generate the model were used to investigate the predictive capability of the model and the results of the experiment were estimated by this model. The predictions generated results with high consistency ($R^2=0.902$) and it was found that this method was suitable for the solution of the engineering problem.

Keywords: Plane Surface Grinding, Surface Roughness, Experimental Design, Optimization.

1. Giriş

Taşlama işlemi, iş parçalarının istenilen şekil, ölçü ve toleranslarda elde edilmesini sağlayan önemli bir imalat yöntemidir. Bu yöntem iş parçalarının özellikle diğer işleme yöntemleriyle (tornalama, frezeleme vb.) yeterli tamlıkta ve yüzey kalitesinde üretilmediği durumlarda kullanılır [1-3]. Taşlama işleminin uzay, otomotiv, savunma sanayii, medikal parça imalatı gibi çok fazla alanda kullanımı yaygındır [4,5]. Ayrıca uygulama alanından ayrı olarak parçaların hassas ölçü tamlığı istenen son işlem operasyonlarında da taşlama işlemi oldukça yaygın kullanılan bir son işleme yöntemidir.

*Sorumlu yazar: oktay.adiyaman@batman.edu.tr

Geliş Tarihi: 25.03.2019, Kabul Tarihi: 05.08.2019

Taşlama işleminde kullanılan kesme parametrelerinin (kesme hızı, ilerleme, talaş derinliği gibi) taşlama işlemi ile elde edilen sonuçlar üzerine (kuvvet, yüzey pürüzlülüğü vb) olan etkilerinin tespit edilmesi de önemli bir çalışma alanı olarak karşımıza çıkmaktadır [6,7]. Son yıllarda geliştirilmiş GMASRA düzlem yüzey taşlama yöntemi, klasik düzlem yüzey taşlama yönteminde taşın kendi eksenini etrafında dönme hareketine ilave olarak, eklenen ikinci bir taş hareketi ile taşlama işlemi yapılmasını sağlayan taşlama yöntemidir. Bu yöntemde kullanılan kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerine olan etkilerini doğru olarak tespit etmek ve herbir parametrenin hem tek başına hem de farklı kombinasyonlarla çıktığı parametreleri üzerine olan etki değerlerini tespit etmek en büyük problemlerin başındadır. Bu amaçla elde edilen deney verilerini doğru bir deney tasarımı ile analiz ve deneylerden elde edilen bulgularla sonuçları yüksek güven aralığında tahmin etmek gerekliliği ortaya çıkmaktadır.

GMASRA ile ilgili farklı yönlerden bir çok araştırma yapılmış ve yapılmaktadır. GMASRA tekniğinin klasik düzlem yüzey taşlama metodu ile kıyaslanması [8], taşlama parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerine etkisinin incelenmesi [9], yöntemdeki kesme kuvveti ve motor gücünün modellenmesi [10,11], taşlama parametrelerinin etkilerinin incelenmesi [12] ve GMASRA metodunda taşlama kesme parametrelerinin Taguchi metodu ile analizi ile sistem üzerindeki en fazla etkinin tespit edilmesine yönelik çalışmalar [13] bu çalışmalardan bazılarıdır.

Optimizasyon teknikleri ve veri analiz çalışmaları deneysel yolla elde edilen verilerin yorumlanmasında, etkin parametre/lerin tespiti ve sistemin en iyilenmesinde kullanılan tekniklerdir. İmalat süreçlerinde kesme parametrelerinin optimizasyonu ile ilgili de çalışmalar oldukça yaygındır. Baday ve arkadaşları [14] küreselleştirme ısıl işlemi uygulanmış orta karbonlu bir çeliğin işlenmesi sonucunda meydana gelen kesme kuvvetlerini Taguchi Tasarım yöntemi ile modellemişlerdir. Ayrıca kesme kuvvetleri üzerinde kesme parametrelerin etkinliğini sinyal/gürültü oranları ile saptamışlardır. Kesme kuvvetleri üzerinde en fazla etkiye ilerleme olduğunu belirtmişlerdir.

Taşlama işlemlerinde de tüm parametrelerin farklı analiz yöntemleri ile analizi ve bu parametrelerin hem tek başına hemde birbirleri ile etkileşimli olarak taşlama işlemi üzerindeki etkisini tespit etmek oldukça önemlidir. Jae-Seab ve diğerleri [15] yüzey yanıt yöntemi kullanarak sertleştirilmiş SCM440 çeliğinin silindirik taşlanmasında yüzey pürüzlülüğü ve taşlama kuvvetlerini araştırmışlardır. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda yüzey yanıt yöntemi ile elde edilen matematiksel modelin imalat öncesinde uygun taşlama şartlarının belirlenmesine yardımcı olacağını belirtmişlerdir. Çetin ve arkadaşları [16] Taguchi deney tasarım yöntemi kullanılarak sementasyon çeliğinin teğetsel silindirik taşlama yöntemi ile işlenmesinde kesme parametrelerinin titreşim üzerindeki etkileri deneysel olarak incelemişlerdir. Yapılan çalışmada teğetsel silindirik taşlama yönteminin geleneksel silindirik taşlama yöntemine benzer sonuçlar verdiği ve daha pratik olduğu tespit edilmiştir. Günay ve arkadaşları [17] içten yanmalı motorlarda supap tahrik mekanizması sisteminde yer alan itici düzeneğinde kullanılan kam makaralarına bitirme işlemi olarak uygulanan taşlama prosesi sonucu elde edilen yüzey değerlerinin en iyilenmesi amacıyla 2k faktöriyel (2 seviyeli tam faktöriyel tasarım) deney tasarımı metodolojisinden faydalanmışlardır. Çalışmada; ilk olarak etkili olan değişkenler belirlenmiş, ardından yüzey pürüzlülük değerleri ve çevrim süresini eş zamanlı olarak istenen düzeyde sağlayabilecek değişken değerlerinin belirlenmesi için çok amaçlı en iyileme işlemi gerçekleştirilmiştir. Sonuçta en küçük yüzey pürüzlülük değerlerine ve daha düşük çevrim süresine ulaşılmıştır. Taşlama işlemi ile ilgili bir diğer optimizasyon yöntemi olarak genetik algoritma kullanılmıştır. Günay ve Mızrak genetik algoritma yöntemi kullanarak makaralar için yaptıkları çalışmada deney tasarım metodu kullanarak deneyler gerçekleştirmişler ve bu deneyler sonucunda buldukları optimum değerler ile hedeflenen yüzey pürüzlülük değerine ulaşmışlardır [18]. Çelik yaptığı çalışmada [19] 62 HRC sertlikte AISI 8620 sementasyon çeliğini silindirik taşlama işlemine tabi tutmuşlardır. Geliştirilen modelde faktörlerin etkinliği varyans analizi (ANOVA) ile tespit edilmiş ve üç farklı regresyon modeli elde edilerek, elde edilen tahmin değerleri karşılaştırılmıştır. Bu çalışma için verilen şartlarda en yüksek belirtme katsayısı (R^2), II. dereceden regresyon modeliyle R_a için % 84,6 ve R_z için % 89 olarak bulunmuştur. Agarval [20] düzlem yüzey taşlama işleminde talaş derinliği, tabla ilerleme hızı ve taş dokusu gibi parametrelerin yüzey pürüzlülüğünün iyileştirilmesi, yüzeyde oluşan deformasyon hatalarının azaltılması ve optimum talaş kaldırma oranının elde edilmesi için eş zamanlı olarak üç amacı olan optimizasyon işlemi kullanarak her amaç için uygun taşlama işlemi faktör seviyelerini belirlemiştir. Bu amaçla bir matematik model geliştirilmiş ve yüzey yanıt yöntemi kullanılarak oluşturulan çok amaçlı matematiksel modelin çözümünde genetik algoritma yönteminden faydalanılmıştır. Varma ve arkadaşları yaptıkları çalışmada [21] Inconal 800 alaşımılı çeliğin silindirik olarak taşlanmasında yüzey pürüzlülüğü ve kaldırılan talaş

miktarına etki eden taşlama parametrelerinin (iş parçası devri, talaş derinliği ve ilerleme miktarı) tahmin edilmesinde deneysel verilerle Adaptive-neuro fuzzy inference system (ANFIS), regresyon yöntemi ve yapay sinir ağları yöntemlerinin karşılaştırılması yapılmıştır.

GMASRA ile ilgili yapılan deneylerde elde edilen bulguların farklı analiz yöntemleri ile test edilmesi, sistemin kararlılığı bakımından önemlidir. Bu nedenle yapılan bu çalışmada, GMASRA üzerine yapılan deneysel çalışma [12] ile elde edilen bir kısım veri değerlendirilerek GMASRA taşlama yöntemindeki taşlama parametreleri olan taşlama taşı tane büyüklüğü, yanal kayma miktarı, talaş derinliği ve ikincil eksen fener mili hızı kullanılarak bir deney seti oluşturulmuştur. Oluşturulan bu deney setinin analizinde ve deney sonuçlarının tahmin edilmesinde faktöriyel tasarım modeli kullanılmıştır. Oluşturulan modelde 8 deney verisi kullanılmış ve parametrelerin etkinliği ile parametrelerin sonuç üzerindeki etkisi analiz edilmiştir. Aynı zamanda modelin oluşturulmasında kullanılmayan 8 veri, modelin tahmin yeteneğinin araştırılması için kullanılmış ve deney sonuçları bu model tarafından tahmin edilmiştir.

2. Materyal ve Metot

Yeni bir yöntem olan GMASRA taşlama yönteminin uygulanması için tasarlanan taşlama mekanizması C-TEK marka dik işleme merkezi bir CNC tezgâha monte edilmiştir (Şekil 1).



Şekil 1. GMASRA'nın CNC dik işleme merkezine montajı

2.1. Deney Düzenegi

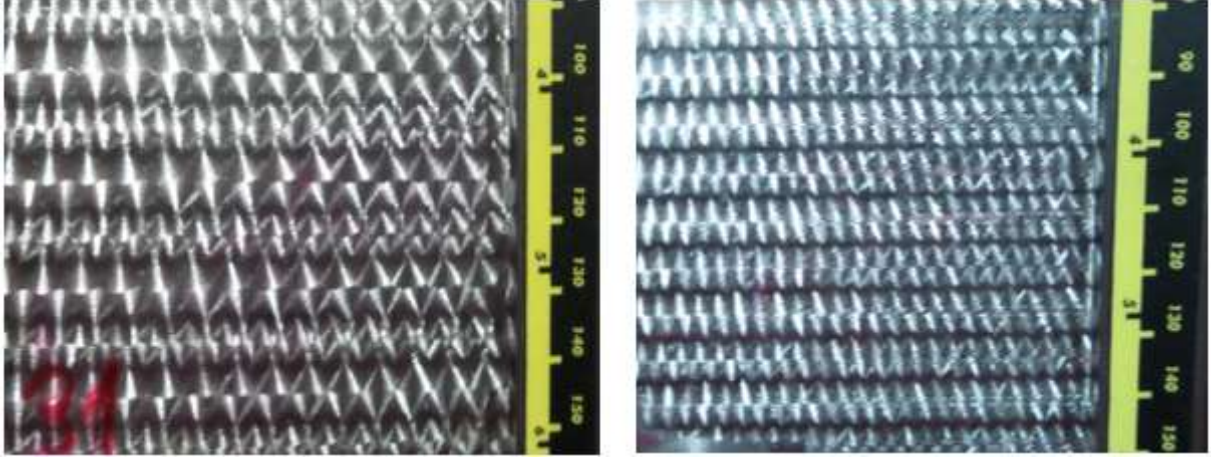
Taşlama işleminin uygulanması amacıyla 100x100x20 mm (uzunluk x genişlik x kalınlık) ebatlarında St37-2 çeliği numuneler hazırlanmış ve CNC tablasına bağlı manyetik bir tabla üzerine bağlanmıştır. St37 çeliğine ait kimyasal ve mekanik özellikler Tablo 1'de gösterilmektedir.

Tablo 1. Deney numuneleri kimyasal analizi

| DIN (Eski) | DIN Yeni | SAE/AISI | Kimyasal Özellikler | | | | | | |
|------------|----------|-----------|----------------------|-------------------|-------------------|--------------|-------|------|--|
| | | | %C | %Mn | %P | %S | %N | %CU | |
| RSt 37-2 | S235JRG2 | A570Gr.36 | 0,19 | 1,50 | 0,045 | 0,045 | 0,014 | 0,60 | |
| | | | Mekanik Özellikler | | | | | | |
| | | | Çekme Dayanımı (Mpa) | Akma Sınırı (Mpa) | Kopma Uzaması (%) | Sertlik (HB) | | | |
| | | | 340-470 | 215-235 | 24-26 | 250-280 | | | |

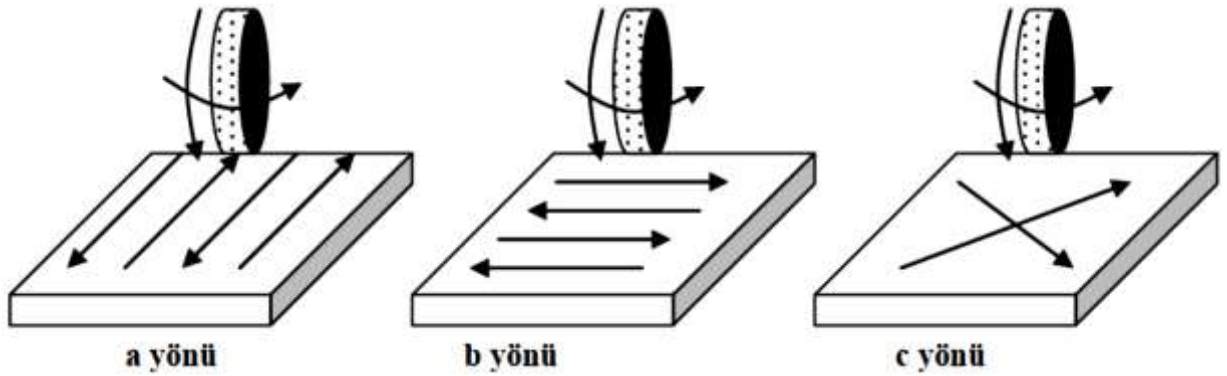
Numune yüzeylerinden taşlama işlemi sırasında eşit paso alınabilmesi ve yüzeylerde eşit yüzey yapısının elde edilebilmesi amacıyla ön yüzey frezeleme yapılmış, önce 63 mm çapında bir tarama başlığına bağlı RDMX 1604 kesici uçlar ile numunelerin üst yüzeyleri frezelenmiş ve daha sonra numuneler klasik düzlem yüzey taşlama tezgahında yüzey bütünlüğünün bozulmaması için 0,01 mm talaş derinliğinde ve tüm yüzeylerin temizlenebilmesi amacıyla 2 pasoda taşlanmıştır. Taşlanan

numuneler, GMASRA taşlama mekanizmasının bağlı olduğu CNC tezgahındaki manyetik tablaya alınmışlardır. İş parçalarının taşlanması için KARBOSAN firmasından temin edilen 75 mm çapında, iç delik çapı 20 mm ve 20 mm taş genişliği olan iki adet farklı tane büyüklüğünde taşlama taşı kullanılmıştır. Taşlanmış örnek parçalarda, parça yüzeyleri Şekil 2’de gösterilmektedir.



Şekil 2. Taşlanmış parçalara ait oluşan yüzey şekilleri

Yüzey pürüzlülüğünün ölçülmesinde taşın ilerleme doğrultusuna göre ölçüm yönleri belirlenmiştir. Bu ölçüm yönleri, sırasıyla taşın ilerleme yönünde, ilerleme yönüne dik yönde ve ilerleme yönüne 45°'lik açılı yönde olacak şekilde tespit edilmiştir. Seçilen her yön doğrultusunda 4 farklı ölçüm alınmış ve bu ölçümlerin aritmetik ortalaması alınarak yüzey pürüzlülük (Ra) değerleri elde edilmiştir (Şekil 3).



Şekil 3. Ra ölçüm alınma yönleri [8]

2.2. Faktöriyel Tasarım

Deney düzeneğinde belirtildiği gibi deneylerin yapılmasında dört farklı parametre kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan her parametre için iki adet seviye belirlenmiştir. Deney parametreleri ve parametrelere ait seviyeler Tablo 2’de görülmektedir.

Tablo 2. Faktöriyel tasarım parametreleri

| Taşlama Taşı Cinsi | | Yanal Kayma (mm) | | Talaş Derinliği (mm) | | İş Mili Devri (dev/dk.) | |
|--------------------|----------|------------------|----------|----------------------|----------|-------------------------|----------|
| Seviye 1 | Seviye 2 | Seviye 1 | Seviye 2 | Seviye 1 | Seviye 2 | Seviye 1 | Seviye 2 |
| EKR60K6V | EKR46K6V | 4 | 8 | 0,01 | 0,02 | 80 | 160 |

Bu parametreler ve parametrelere ait seviyeler kullanıldığında toplam 16 deney gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Toplam deney setini oluşturan 16 deneyden, bir kısmı (8 deney verisi) faktöriyel tasarım metodu için veri girişi olarak kullanılmıştır. Faktöriyel tasarım metodunda

kullanılmayan veriler (8 deney verisi) ise oluşturulan model ile tahmin edilmeye çalışılmıştır. Deney setinde kullanılan girdi verileri ile oluşturulan model ile tahmin edilen veriler Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Oluşturulan model için kullanılacak veriler ve tahmin verileri

| Zımpara Taşı Cinsi | Yanal Kayma (mm) | Talaş Derinliği (mm) | İş Mili Devri (dev/dk.) | Deney Sonuçları Yüzey Pürüzlülüğü (Ra) |
|----------------------------------|------------------|----------------------|-------------------------|--|
| EKR60K6V (Taş tane büyüklüğü) | 4 | 0,01 | 80 | Modeli oluşturmak için kullanılacak veri |
| | | | 160 | Oluşturulan model ile tahmin edilecek veri |
| | | 0,02 | 80 | Oluşturulan model ile tahmin edilecek veri |
| | | | 160 | Modeli oluşturmak için kullanılacak veri |
| | 8 | 0,01 | 80 | Oluşturulan model ile tahmin edilecek veri |
| | | | 160 | Modeli oluşturmak için kullanılacak veri |
| | | 0,02 | 80 | Modeli oluşturmak için kullanılacak veri |
| | | | 160 | Oluşturulan model ile tahmin edilecek veri |
| EKR46K6V (Taş tane büyüklüğü) | 4 | 0,01 | 80 | Oluşturulan model ile tahmin edilecek veri |
| | | | 160 | Modeli oluşturmak için kullanılacak veri |
| | | 0,02 | 80 | Modeli oluşturmak için kullanılacak veri |
| | | | 160 | Oluşturulan model ile tahmin edilecek veri |
| | 8 | 0,01 | 80 | Modeli oluşturmak için kullanılacak veri |
| | | | 160 | Oluşturulan model ile tahmin edilecek veri |
| | | 0,02 | 80 | Oluşturulan model ile tahmin edilecek veri |
| | | | 160 | Modeli oluşturmak için kullanılacak veri |

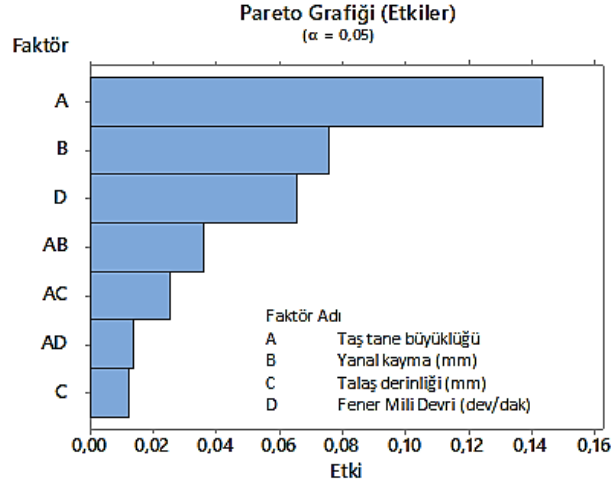
Tablo 2'de görüldüğü gibi toplam 16 deney içerisinde 8 deney verisi modeli oluşturmak için diğer 8 deney verisi ise oluşturulan model kullanılarak deney sonuçlarının tahmin edilmesi için kullanılmıştır. Bir deneysel tasarımda doğrulama deneylerinin yapılmasındaki temel amaç, analiz basamağındaki elde edilmiş olan verilerin geçerliliğini kontrol etmek ve doğrulamaktır. Doğrulama deneyleri deney faktörlerinin ve kullanılan parametrelerin birbiri ile olan kombinasyonunu test eder. Optimize edilen koşulların doğrulanması için doğrulama deneylerinin minimum sayıda yapılmış olması gerekir [25]. Faktöriyel tasarım yöntemi ile elde edilen model Minitab 17 programı kullanılarak oluşturulmuştur. Bu tasarım ile yapılan incelemelerde dört giriş parametresinin yanında, parametrelerinin birbiri ile etkileşimi de analiz edilmiştir.

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uygun olarak tüm verilerin toplanması, değerlendirilmesi ve diğer çalışmalar yapılmış olup, çalışma ile ilgili herhangi bir kurul onayını gerektirecek bir içerik yoktur.

3. Bulgular ve Tartışma

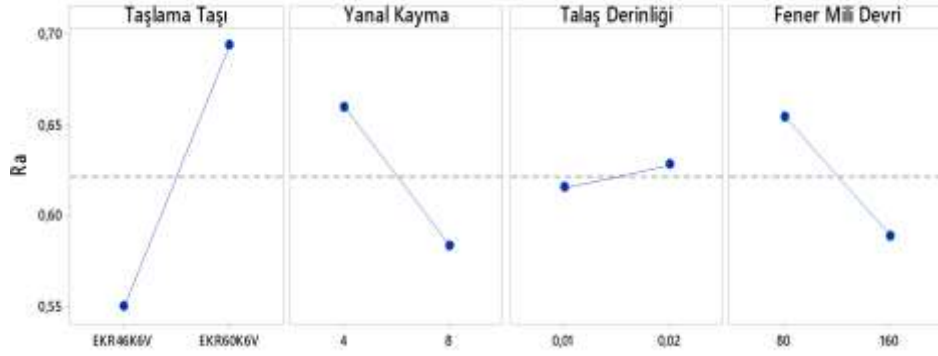
3.1. Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi ve Tahmin Yeterliliği

Deney verilerinden seçilen ve modeli oluşturan 8 veri ile yapılan analizlerde, parametrelerin deney sonuçları üzerinde etkisi tespit edilmiştir. Şekil 4'te görülen Pareto grafiğinde en etkin faktörün taşlama taşı olduğu görülmektedir. Yanal kayma miktarı ve fener mili devri parametreleri de ortalama yüzey pürüzlülüğü üzerinde belirgin etkinliğe sahiptir. Ana parametrelerden olan talaş derinliği parametresi ise deney sonuçları üzerinde sınırlı etkinlik göstermektedir. Parametrelerin birbiri ile etkileşimi sonucu ortaya çıkan AB, AC ve AD faktörleri ise talaş derinliği parametresinin üstünde belirli oranda etkinliğe sahiptir.



Şekil 4. Parametrelerin etkinliği için Pareto grafiği

Şekil 4’te verilen parametrelerin etkinliklerinin yanında parametrelerdeki değişimin ortalama Ra üzerindeki etkisinin de araştırılması amacı ile sonuçlar analiz edilmiş ve sonuçlar Şekil 5’te verilmiştir.



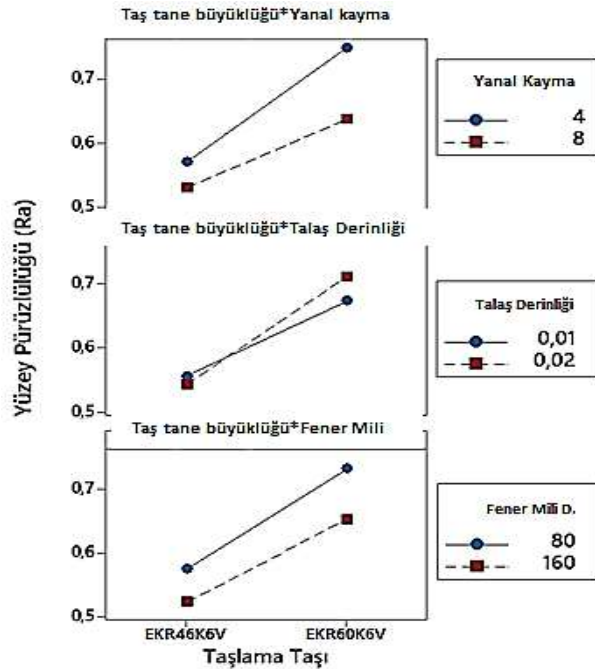
Şekil 5. Yüzey pürüzlülüğü için ana etkiler

Şekil 5 incelendiğinde ana etkiyi oluşturan taşlama taşı parametresinin Ra üzerindeki etkisi belirgin şekilde görülmektedir. Tane büyüklüğü 46 olan (EKR46K6V) taş ile yapılan deneylerde düşük Ra değerine (0,494 μm) ulaşılmaktadır. Taş tane büyüklüğü değiştiğinde (EKR60K6V), tane büyüklüğü 60 ise yüzey pürüzlülüğü değeri ortalama %25-30 oranında (0,690 μm) artmaktadır. Taşlama taşlarındaki tane büyüklüğü taş üzerindeki taneciklerin boyutları ile ilgilidir. Genel kural olarak yumuşak malzemelerde büyük tane boyutu ve daha sert sınıf taşlama taşı kullanılırken sert malzemelerin taşlanması küçük tane boyutu ve yumuşak sınıf taşlama taşı kullanılır [29]. Çalışmada St37-2 malzeme numuneler taşlandı ve bu malzemenin de yumuşak olması nedeniyle buna uygun olarak EKR46K6V taş daha uygun bir taş cinsidir. Burada düşük Ra değeri elde edilmesinde malzemeye uygun taş cinsinin etkili olduğu değerlendirilmektedir.

Yanal kayma miktarının değişiminde artan yanıl kayma miktarı Ra üzerinde olumlu yönde azalma meydana getirmektedir. Bunun nedeni ile ilgili ilk olarak, çalışmada 20 mm kalınlığında taş kullanıldığı daha önce belirtilmişti. Burada yanıl kayma miktarının artması ile kaldırılan talaş hacminin arttığı ve buna bağlı olarak Ra’da artmanın meydana gelmesi gerektiği düşünülebilir. Ancak taşlama mekaniği incelendiğinde taşa bulunan aşındırıcı taneciğin parça üzerinde kazıma yaptığı ve dışarı doğru bir yığılma meydana getirdiği çeşitli çalışmalarda belirtilmiştir [26,27]. Oluşan yığılmaların ve yüzeyde aşındırıcı taneciklerin oluşturduğu oyukların hem Ra değerlerinde hem de taşlama kuvvetinde artışa neden olduğu [27] bilinmektedir. Bazı çalışmalarda körelmiş bir taşın bir dereceye kadar daha düşük yüzey pürüzlülükleri de oluşturduğu da ayrıca gözlenmiştir [24]. Körelmiş taşın parça yüzeyinde oyukları ve yığılmaları önlediği ve bir bakıma silici uç gibi davrandığını ve böylece buna neden olduğunu düşünmekteyiz. Tüm bunlardan hareketle yaptığımız bu çalışmada, yanıl kayma miktarının düşük olduğu durumlarda parça yüzeyinde taşın daha az miktarda yan tarafa kayması ve bunun

sonucunda da daha fazla taneciğin aynı yüzey üzerinde daha fazla oyuk ve yığılma meydana getirmesi nedeniyle Ra değerlerinde artış olduğu düşünülmektedir. İkinci olarak, GMASRA ile ilgili yapılan önceki çalışmalarda [8,28] eklenen fener mili hareketi ile klasik düzlem yüzey taşlama metoduna göre daha düşük Ra değerleri elde edildiği tespit edilmiştir. Bunun nedeni olarak, GMASRA yöntemindeki fener mili hareketi ile klasik taşlama yönteminde oluşan taş üzerindeki hasarların ve profil değişimlerinin GMASRA yönteminde yüzeye yansımamasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu nedenle yanal kayma miktarının artması ile her ne kadar kaldırılan talaş miktarı ve buna bağlı olarak ta Ra değerlerinin artması gerektiği düşünülse de fener mili dönme hareketi ile bu olumsuzluk giderilmektedir. Yüksek yanal kayma miktarında düşük yanal kayma miktarından daha düşük Ra değeri oluşması da yüksek yanal kayma miktarında daha az aşındırıcı taneciğin yüzeyde hasar ve taş profili oluşturması nedeniyle oluşturduğu değerlendirilmektedir.

Talaşlı imalat işlemlerinde ve taşlama işlemlerinde genel olarak talaş miktarındaki artış Ra üzerinde olumsuz yönde artışa neden olmaktadır [3, 21, 22, 23]. Gopan [3] talaş derinliğinin yüzey pürüzlülüğü üzerine etkisini %37.55 olarak, taş hızının etkisini %37,67 olarak ve ilerlemenin etkisini ise %24.78 olarak tespit etmiştir. Puerto ve arkadaşları [24] talaş derinliğinin artışına bağlı olarak kaldırılan talaş miktarının artışına bağlı olarak taşın belli bir aşınmaya kadar Ra'da artma meydana geldiğini ancak taşın aşınması sonrası Ra'da yatay bir seyir görüldüğünü tespit etmiştir. Bu çalışmadaki deney setinde de sonuç genel talaşlı imalat prensiplerine uygun şekillenmektedir. Bununla birlikte talaş derinliği parametresindeki değişim, sonuç üzerinde oldukça sınırlı etkiye sahiptir. Artan talaş derinliği Ra üzerinde yalnızca %2 oranında bir artışa sebep olmaktadır. Talaş derinliğinin daha da yükseltilmesi ile Ra üzerinde daha düşük Ra değerleri elde edilmesine yönelik bir eğilim olacağı ve %2 olan bu etkinin daha da yüksek olacağı değerlendirilmektedir. Fener mili devrinin değişimi değerlendirildiğinde ise artan fener mili devri Ra değerlerini azaltmaktadır. Bu durum GMASRA yönteminin daha önceki çalışmalarında da benzer şekildedir [12,13]. GMASRA yönteminde iki farklı taş dönme hareketi vardır ve her iki yöndeki dönme hareketleri taşlama işlemindeki ideal kesme hızı şartlarında olmalıdır. Taşlamada ideal kesme hızı 25-30 m/sn şeklindedir [13]. GMASRA yönteminde eklenen ikinci dönme hareketi, prototip çalışması olması dolayısıyla düşük devirlerde tutulmuştur. En düşük Ra değerleri de uygun diğer taşlama parametreleri ile birlikte ideal kesme hızlarındaki taş devirlerinde elde edilmektedir. Çalışmadaki 80 ve 160 dev/dak fener mili devirleri ideal kesme değerlerine oldukça uzak değerlerdir. Nitekim çalışmalarda bu devir sayısı arttıkça daha düşük Ra değerleri elde edildiği görülmektedir. Bu çalışmada da 160 dev/dak devirde daha yüksek Ra değerleri elde edilmesinin nedeninin ideal kesme hızı değerlerine daha yakın değer olmasından kaynaklandığı değerlendirilmektedir.



Şekil 6. Parametrelerin ilişkileri

Taşlama parametreleri olan yanal kayma miktarı, fener mili devri ve talaş derinliği miktarının taş tane büyüklüğü ile ilişkileri incelendiğinde (şekil 6), değişen taşlama parametrelerinin her iki taş tane büyüklüğü için de benzer değişikliklere neden olduğu görülmektedir. Burada fener mili devrinin artması ile Ra'nın azaldığı görülmektedir. Bu durum literatüre [3, 21, 22] paralel durum arz etmektedir. Ayrıca bu durum taşlama parametrelerinin, kullanılan taşlama taşı tane büyüklüğünden bağımsız şekilde sonuç ürettiğini de göstermektedir. Her üç grafikte de sonuçların paralel yapıda olduğu görülmektedir. Bununla birlikte taş tane büyüklüğü ve talaş derinliği birlikte değerlendirildiğinde oluşan eğriler birbirini kesmektedir. Bu durum parametrelerin birbirini etkilediği göstermektedir ancak grafikteki benzer açılar bu durumun sınırlı olduğunu göstermektedir.

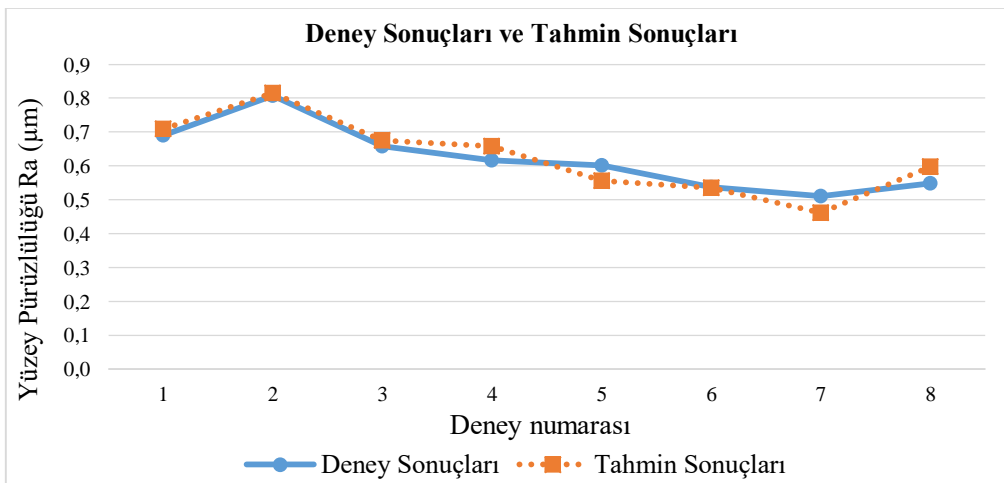
3. 2. Modelin Tahmin Yeterliliğinin Değerlendirilmesi

Oluşturulan model ile elde edilen çıkarımlar sonrası, modelin tahmin yeteneği araştırılmıştır. Bu amaçla toplam deney seti olan 16 deneyden, modeli oluşturmak için kullanılmayan 8 veri seçilmiştir. Bu veriler, oluşturulan model ile elde edilen tahmin sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Tablo 4'te deneysel çalışma sonucunda elde edilen deney sonuçları ile oluşturulan model tarafından hesaplanan tahmin sonuçları görülmektedir.

Tablo 4. Deney sonuçları ve tahmin sonuçları

| Zımpara Taşı Cinsi | Yanal Kayma (mm) | Talaş Derinliği (mm) | İş Mili Devri (dev/dk.) | Yüzey Pürüzlülüğü (Ra) μm | |
|--------------------|------------------|----------------------|-------------------------|--------------------------------------|------------------|
| | | | | Deney Sonuçları | Tahmin Sonuçları |
| EKR60K6V | 4 | 0,01 | 160 | 0,6902 | 0,7092 |
| | | 0,02 | 80 | 0,8077 | 0,8149 |
| | 8 | 0,01 | 80 | 0,6580 | 0,6754 |
| | | 0,02 | 160 | 0,6165 | 0,6580 |
| EKR46K6V | 4 | 0,01 | 80 | 0,6017 | 0,5556 |
| | | 0,02 | 160 | 0,5370 | 0,5346 |
| | 8 | 0,01 | 160 | 0,5100 | 0,4619 |
| | | 0,02 | 80 | 0,5488 | 0,5977 |

Deneyel veriler ile tahmin edilen verilerin değerlendirilmesi için elde edilen bu değerler Şekil 7'de grafik olarak verilmiştir.



Şekil 7. Deney sonuçları ve tahmin sonuçları

Şekil 7 incelendiğinde deney sonuçlarının oluşturulan, faktöriyel tasarım modeli tarafından tahmin edilen sonuçlarla büyük oranda örtüştüğü görülmektedir. Bu deneysel çalışma kullanılarak oluşturulan modelin tahmin yeteneğinin regresyon analizi ile değerlendirilmesi sonucu elde edilen R^2

değeri 0,902 olarak şekillenmektedir. Yüksek R^2 oranı ve yüksek tutarlılıkta tahmin yeteneği bu problemin çözümü için faktöriyel tasarımın uygun bir yöntem olduğunu ortaya koymaktadır.

4. Sonuç ve Öneriler

“İkincil eksenli düzlem yüzey taşlama yöntemi” (GMASRA) ile farklı taşlama parametreleri ile taşlanmış parçalar üzerinden ölçülen Ra değerlerini etkileyen taşlama parametrelerinin belirlenmesine yönelik deneysel tasarım metodu ile modellenmesi ve elde edilen modelin tahmin yeteneğinin test edilmesi amacıyla yapılan bu çalışmada aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- Toplam 16 deneyden oluşan bu deney setinin 8 deney kullanarak modellenmesi mümkündür.
- Deney çıktısı olarak değerlendirilen Ra değerlerinin oluşmasında en etkin parametre taş tane büyüklüğünün niteliğidir. EKR60K6V model (taş tane büyüklüğü 60) taş daha yüksek Ra değerleri üretirken, EKR46K6V model (taş tane büyüklüğü 46) taşlama taşı, Ra açısından yaklaşık %25 daha düşük Ra değeri üretmektedir.
- Yanal kayma ve fener mili devri değerlerinin artması Ra değerlerini azaltırken talaş derinliğinin azalması Ra değerlerini azaltmaktadır. Bununla birlikte talaş derinliği parametresinin değişimi yalnızca %2 oranında bir değişim oluşturmaktadır.
- Oluşturulan faktöriyel tasarım modelinin ürettiği tahmin sonuçları ile yapılan deneysel sonuçlar karşılaştırıldığında yüksek tutarlılık ($R^2=0,902$) gözlenmiştir. Bu durumda kullanılan bu yöntemin gerek parametrelerin analizinde gerekse doğru tahminler oluşturması açısından kullanılabilir olduğunu göstermektedir.

Yazarların Katkısı

Bu makalede yazar olarak isimleri geçen Oktay Adıyaman, makalenin taşlama işlemleri ile ilgili olarak prototip çalışmasının tasarımı, imalatı, montajı ve bu prototip ile deney numunelerinin farklı parametrelere göre düzlem yüzey taşlama işlemlerinin yapılması, deneysel verilerin elde edilmesi işlemlerini yapmıştır. İkinci yazar Fikret Sönmez ise deneysel olarak elde edilen tüm veriler ile ilgili olarak verilerin analizi, deneysel tasarım işlemleri ve modellemelerin yapılması işlemlerini icra etmiştir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada, araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar

- [1] Tonshoff H. K., Karpuschewski B., Mandrysch T. 1998. Grinding Process Achievements and Their Consequences on Machine Tools Challenges and Opportunities. *Annals of CIRP*, 47: 651-668.
- [2] Malkin S., Gao C. 2008. *Grinding Technology-Theory and Applications of Machining with abrasives*. Industrial Press, New York.
- [3] Gopan V., Wins K.L.D., Surendran A. 2018. Integrated ANN-GA Approach for Predictive Modeling and Optimization of Grinding Parameters with Surface Roughness as the Response. *Materials Today: Proceedings*, 5 (5): 12133-12141.
- [4] Demir H., Güllü A. 1999. Silindirik Taşlamada Yüzey Pürüzlülüğü ve Taşlama Oranı İlişkisinin Araştırılması. *Z.K.Ü. Karabük Teknik Eğitim Fakültesi Teknoloji*, 1 (2): 151-167.
- [5] Tonshoff H.K., Friemuth T., Becker J.C. 2002. Process Monitoring in Grinding. *Annals of CIRP*, 51: 551-571.

- [6] Watanabe N., Yoshioka H., Shinno H. 2007. Development of a Novel Vertical CNC Multiple-Function Integrated Grinding Machine. *Journal of Advanced Mechanical Design, System and Manufacturing*, 1 (3).
- [7] Andrew W., Al-Mokhtar O., Mohamed R.B. 2013. Application of shallow circumferential grooved wheels to creep-feed grinding. *Journal of Materials Processing Technology*, 213 (5): 700-706.
- [8] Adıyaman O., Savaş V. 2014. İkincil Dönel Eksenli ile Klasik Düzlem Yüzey Taşlama Mekanizmalarının Deneysel Araştırılması. *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 11 (4): 21-36.
- [9] Adıyaman O. 2016. İkincil Dönel Eksenli ile Klasik Düzlem Yüzey Taşlama Mekanizmasında Kesme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisinin Deneysel İncelenmesi. *Technological Applied Sciences*, 11 (1): 10-23.
- [10] Demir Z., Adıyaman O., Savaş V. 2016. İkincil Dönel Eksenli Taşlamada Taşlama Kuvvetinin Matematiksel Modelleme ve Matlab Programı Kullanılarak Araştırılması. 7th International Symposium on Machining, November 3-5, Marmara University, Istanbul.
- [11] Adıyaman O., Demir Z., Savaş V. 2016. Matematiksel Modelleme Yöntemiyle İkincil Dönel Eksenli Taşlamada Motor Gücünün Hesaplanmasının Araştırılması. 7th International Symposium on Machining, November 3-5, Marmara University, Istanbul.
- [12] Adıyaman O., Savaş V. 2017. Yeni bir tip düzlem yüzey taşlama mekanizması ile kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne (Ra) etkisinin araştırılması. *Politeknik Dergisi*, 20 (4): 815-825.
- [13] Adıyaman O., Savaş V., Baday Ş. 2018. Improvement of grinding performance and investigation of cutting parameters using a grinding mechanism with secondary rotational axis. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 99 (9-12): 2231-2244.
- [14] Baday Ş., Başak H., Sönmez F. 2017. The Assessment of Cutting Force with Taguchi Design in Medium Carbon Steel–Applied Spheroidization Heat Treatment. *Measurement and Control*, 50 (4): 89-96.
- [15] Jae-Seob K., Sung-Bo S., Yeong-Deug J. 2006. An Analysis of Grinding Power and Surface Roughness in External Cylindrical Grinding of Hardened Scm440 Steel Using The Response Surface Method. *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 46: 304-312.
- [16] Çetin Ö., Ballıkaya H., Altuğ M., Savaş V., Sağlam M. 2018. Teğetsel Silindirik Taşlama Yönteminde İşleme Parametrelerinin Titreşim Üzerindeki Etkilerinin Araştırılması. *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 30 (1): 311-317.
- [17] Gunay E., Yurdakul M., Ic Y.T., Mizrak H.V., Gunes S. 2018. Optimization of the Factors That are Critical in External Surface Grinding of Roller Followers Using Design of Experiments. *Journal of Polytechnic-Politeknik Dergisi*, 21(1): 27-37.
- [18] Mızrak H.V. 2016. Makara Dış Çap Taşlamada Gerekli Yüzey Pürüzlülük Değerinin Elde Edilmesi İçin Deney Tasarım Yöntemi ile Optimum Taşlama Parametrelerinin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [19] Çelik L. 2010. Taşlama İşleminde Titreşimin İzlenmesi ve Yüzey Pürüzlülüğünün Regresyonla Modellenmesi. Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- [20] Agarwal S., 2016. Optimizing Machining Parameters to Combine High Productivity with High Surface Integrity in Grinding Silicon Carbide Ceramics. *Ceramics International*, 42 (5): 6244-6262.
- [21] Varma N.S.K., Varma I.R.P.K., Rajesh S., Raju K.S.R., Raju V.M.K. 2018. Prediction of Surface Roughness and Mrr in Grinding Process on Inconel 800 Alloy Using Neural Networks and ANFIS. *Materials Today: Proceedings*, 5 (2): 5445-5451.
- [22] Varma N.S.K., Rajesh S., Raju K.S.R., Raju V.M.K. 2017. Neural Network and Fuzzy Logic based prediction of Surface Roughness and MRR in Cylindrical Grinding Process. *Materials Today: Proceedings*, 4 (8): 8134-8141.
- [23] Onwuka G., Abou-El-Hossein K. 2016. Surface roughness in ultra-high precision grinding of BK7. *Procedia CIRP*, 45: 143-146.
- [24] Puerto P., Fernández, R., Madariaga J., Arana J., Gallego I. 2013. Evolution of surface roughness in grinding and its relationship with the dressing parameters and the radial wear. *Procedia Engineering*, 63: 174-182.

- [25] Roy R.K. 1990. A Primer On The Taguchi Method, Competitive Manufacturing Series. Van Nostrand Reinhold, New York.
- [26] Chen X., Rowe W.B. 1996. Analysis and Simulation of the Grinding Process. Part II: Mechanics of Grinding, International Journal of Machine Tools & Manufacture, 36: 883-896.
- [27] Zhang Y., Li C., Ji H., Yang X., Yang M., Jia D., Zhang X., Li R., Wang J. 2017. Analysis of grinding mechanics and improved predictive force model based on material-removal and plastic-stacking mechanisms. Int J Mach Tools Manuf., 122:81-97.
- [28] Adıyaman O., Savaş V. 2014. İkincil Dönel Eksenli ile Klasik Düzlem Yüzey Taşlama Mekanizmalarının Deneysel Araştırılması. Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi, 11 (4): 21-36.
- [29] Groover M.P. 2016. Modern İmalatın Prensipleri. Nobel Yayıncılık, Ankara.

Araştırma Makalesi / Research Article

Tarihi Rombaki Yığma Yapısının Performans Değerlendirmesi

Memduh KARALAR*, Murat ÇAVUŞLI

*Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Zonguldak
(ORCID: 0000-0002-4595-8971) (ORCID: 0000-0002-2285-8513)*

Özet

Tarihi yığma yapıların, günümüz yaşam standartları göz önünde bulundurulduğunda yeniden kullanılacak hale getirilmesi, ülkemizin tarihi ve turizmi açısından hayati önem taşımaktadır. Bu çalışmada, Zonguldak ilinde 1941 yılında inşa edilmiş tarihi bir yığma yapının performansı değerlendirilmiştir. 1941 yılında sosyal tesis olarak faaliyete geçen bu yığma yapı, bir süre Aile ve Sosyal Politikalar Bakanlığı'nca huzurevi olarak kullanılmıştır. Bina, Türkiye Taş Kömürü (TTK) Üzülmüş Müessese Müdürlüğüne pansiyon olarak işletilmeye devam edilmektedir. Ancak bu binanın tarihi eser olması sebebiyle uzun yıllar boyunca ülke turizmine hizmet etmesi gerekmektedir ve bu yığma binanın güçlendirilmesi turizm açısından hayati önem arz etmektedir. Güçlendirme işlemleri için ilk olarak tarihi binanın rölevesi çıkarılmıştır. Her bir taşıyıcı eleman ayrıntılı olarak belirlenmiştir. Daha sonra, yığma yapı STATICAD yığma programı yardımıyla 3 boyutlu olarak modellenmiştir. Modelleme yapılırken, ana projeye sadık kalınmıştır. Analiz sonucunda binanın çok uzun süre ayakta kalamayacağı anlaşılmıştır ve binanın belirli bölgelerine 2018 Türk Deprem Yönetmeliği göz önünde bulundurularak deprem güçlendirmeleri yapılmıştır. Güçlendirme sonrasında devrilmeye karşı koyan devrilme momenti değerleri ve depremden dolayı katlara gelen kesme kuvveti değerleri yönetmeliğe uygun sınırlar içerisinde getirilmiştir. Bu çalışma ile yığma binanın performansının hemen kullanım olması sağlanmıştır ve ülkemizin turizmine katkı sağlamak için önemli bir adım atılmıştır.

Anahtar kelimeler: Tarihi eser binalar, Yığma yapılar, Performans değerlendirilmesi.

Performance Evaluation of Historical Rombaki Masonry Building

Abstract

The fact that the historical masonry structures are to be re-used in view of today's living standards is of vital importance for the history and tourism of our country. In this study, the performance of a historical masonry building built in 1941 in Zonguldak province was evaluated in detail. This masonry building, which became operational as a social facility in 1941, was used as a nursing home for a while by the Ministry of Family and Social Policies. The building continues to be operated as a hostel by the Directorate of Turkish Hardcoal Authority (TTK). However, due to the fact that this building is a historical work, it has to serve for the tourism of the country for many years, and the strengthening of this masonry building is of vital importance for tourism. Firstly, relieve of the historic building was obtained for strengthening. Each structural element is identified in detail. 3D model of masonry building was performed using STATICAD masonry program. During the modeling process, the main project was taken into account. As a result of the analysis, it was understood that the building could not survive for a very long time and earthquake strengths were made to main sections of the building considering the 2018 Turkish Earthquake Code (TEC). After the strengthening of this masonry building, the values of the tilting moments against the tipping and the earthquake shear force values for floors were brought within the limits appropriate to TEC. With this study, the performance of masonry building was ensured as immediate occupancy and an important step was taken to contribute to the tourism of our country.

Keywords: Historical buildings, Masonry buildings, Performance evaluation.

*Sorumlu yazar: memduhkaralar@beun.edu.tr

Geliş Tarihi: 03.04.2019, Kabul Tarihi: 11.07.2019

1. Giriş

Ülkemiz, çok eski bir tarihi geçmişe sahiptir ve bu tarihi geçmiş farklı yüzyıllara ait birçok yapıyı miras olarak bizlere bırakmıştır. Bu tarihi miras içerisinde yığma sistemle yapılmış yapılardan, farklı medeniyetlerin yaptığı betonarme yapılara kadar çok sayıda farklı koruma problemleri içeren yapı tipleri olduğu görülmektedir. Güçlendirme ve koruma prensipleri, tarihi yapıların hepsi için aynı duyarlılık ve hassasiyet içinde uygulanması gerekmektedir ve bu güçlendirme çalışmaları standartlara uygun olarak yapılmalıdır. Tarihi eser niteliğindeki yapıların güçlendirilmesi ve korunmasındaki asıl amaç, bu yapıların deprem ve yapısal güvenliğini koruyarak uzun süre ayakta kalabilmelerinin sağlanmasıdır. Ancak, bu hayati işlemler uygulanırken tarihi yapının tarihi dokusunun bozulmaması esas olmalıdır. Son zamanlarda ülkemizdeki tarihi yapılar, deprem gibi kuvvetli yer hareketleri, sel ve son zamanlarda meydana gelen hızlı kentleşmenin olumsuz tehdidi ile karşı karşıyadır. Tarihi eserlerin korunmasında ülkemiz, kendi himayesi altındaki büyük ölçekli kamusal yapıları özenle korumaya çalışırken, özellikle çoğu özel mülkiyette olan küçük ölçekli yapıları yasal altyapıdaki eksiklikler nedeniyle yeterince koruyamamaktadır. Bu nedenle, son zamanlarda birçok tarihi yığma yapı “yıkılmaya eğilimli” anlamına gelen “mail-i inhidam” durumunda olması nedeniyle yıkılmıştır. Hâlbuki bu yığma binalar, deprem güçlendirmesi yapıp uzun süre hem yöre halkına hem de ülke turizmine hizmet verebilirlerdi. Tarihi bir yığma yapının dayanımı, yapısal sisteme, yapının geometrisine ve bina yapılırken kullanılan malzemenin mekanik özelliğine bağlıdır. Bu sebeple, birbirine benzeyen tarihi yığma yapılarda sabit yükler altında farklı yapısal deformasyon ve yenilmeler meydana gelebilmektedir. Tarihi yığma yapılarda meydana gelen yenilmelerin sebepleri yapının kendi ağırlığıyla oluşan yükler, yer titreşimlerinden oluşan yükler ve diğer doğal afetlerin neden olduğu yüklerdir. Fakat tarihi yığma bir yapının kendi ağırlığından dolayı yıkılması veya zarar görmesi çok nadir görülen bir durumdur. Tarihi yapıların zarar görmesi veya yıkılmasının asıl sebebi, doğal dış yükler, insan kaynaklı yapay yüklerdir veya diğer çevresel etkilere bağlı yapısal sorunlardır [1]. Literatürde, tarihi yapıların güçlendirilmesi ve yeniden kullanıma kazandırılması ile ilgili çalışmalar şu şekilde özetlenmiştir; Tarihi eserlerde, yığma duvarların, kubbelerin, tonozların ve temellerin enjeksiyon reçineleri ve ankraj sistemleriyle güçlendirilmesi ile ilgili bir çalışma yapılmıştır. Çalışmada, reçinelerin basınç ve kesme-eğilme-bükülme dayanımlarının çok yüksek olduğu belirtilmiştir. Söz konusu reçinelerin reaksiyona girme süresi 30-180 saniye arasında değiştiği görülmüştür. Carbopur WF reçinesinin susuz ortamda hacimsel olarak şişmediği ve basınç dayanımları birkaç dakika içinde 800 kg/cm^2 civarına ulaştığı belirtilmiştir. Carbopur S reçinesinin ise susuz ortamda da % 100-200 oranında şiştiği ve basınç dayanımı yine birkaç dakika içinde $100-300 \text{ kg/cm}^2$ civarında gerçekleştiği belirtilmiştir. Çift komponentli reçinelerin serbest ortamlarda (havayla direk temas gibi) şişme ve köpüklenme oranı 2-6 civarında olduğu gösterilmiştir. Ancak bunların beton ve zemin gibi ortamlardaki şişme oranları 1.0-2.5 arasında olduğu belirtilmiştir. Bu reçinelerin çekme, burulma ve basınç mukavemetleri çok yüksek olduğu ispatlanmıştır [2]. Ayrıca Adana Ulucami minaresinde güçlendirme çalışması 2007 yılında yapılmıştır. Adana Ulucami Kulesindeki birbirinden ayrılmış ve kopmuş taşlar, çatlaklar çok iyi yapışan reçinelerle doldurulmuştur. Bu doldurma işlemi ile taşların genleşme nedeniyle daha fazla çatlaması, çatlaklara su sızarak içindeki malzemeyi yıkaması ve çatlakları genişletmesi önlenmiştir. Ayrıca çatlaklardaki suyun donması halinde çatlakları daha çok açması, taşın orijinal basınç mukavemetine yakın bir mukavemette takviye edilerek mukavemeti azaltacak kesit daralması ve ana çatlak yakınındaki kılcal çatlakları baştan kapatarak bu çatlakların büyümesi önlenmiştir [3]. Daha sonra Ahi Çelebi Camisinin onarımı ve güçlendirilmesi hakkında bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada düşey yükler, mesnet çökmeleri, deprem gibi etkiler nedeniyle hasar görmüş yığma kargir kubbelerin onarım ve güçlendirme yöntemleri, mesnet bölgesinde oluşturulan çekme çemberinin güçlendirmedeki etkinliği Ahi Çelebi Camisi uygulama örneği ile verilmiştir. Yapı, düşey ve deprem yükleri etkisi altında SAP2000 yazılımı kullanılarak modellenmiştir. Dıştan çekme çemberi uygulaması, kubbede oluşan çekme gerilmelerinin önemli miktarda azalmasına ve kubbe yüzeyinde daha uygun bir gerilme dağılımına götürmüştür [4]. Ek olarak teknik ekiplerce yıkılıp yeniden inşa edilmesi önerilmiş olan bir yapının güçlendirmesi yapılmıştır. Yapı, 1999 Doğu Marmara Depremi’nde yırtılan Arifiye fay zonuna sadece yaklaşık 7,5 km uzaklıkta bulunmaktadır. Bu çalışma sonucunda yapının güçlendirme ve onarım projesi yapılmış ve bina depremden sekiz ay sonra hizmete açılmıştır. Yapının (taban kesme kuvveti – tepe yerdeğiştirme) davranış eğrisi “hemen kullanım” düzeyinde kalmıştır [5]. Ayrıca Urla Eski Tekel Binasının (Arditi Köşkü) yangın öncesi durumu ve yapının güçlendirilmesi ile ilgili bir çalışma yapılmıştır. Yangın öncesinde yapının dış

duvarları ayakta olmakla beraber yer yer yapıda göçme ve çürümeler olduğu tespit edilmiştir. Yapılan incelemeler, yapının özellikle sismik etkiler altında yetersizlikler içerdiğini ve yapısal sistemin karmaşıklığı sebebiyle basit müdahalelerin işe yaramayacağını göstermiştir. Bu sebeple belirli seviyede sismik güvenlik sağlayacak ve yapının mimari miras değerlerine mümkün olan en az etkiyi yapacak, taşıyıcı sistem müdahalelerinin gerçekleştirilmesi gerektiğine karar verilmiştir. Sismik iyileştirmeyi etkin bir seviyeye çıkarabilmek için hem eleman bazında hem de sistem bazında müdahaleler öngörülmüş ve detaylandırılmıştır [6]. Sert ve Partal yaptıkları çalışmada tarihi köprülerin restorasyonları kapsamında yürütülen yapısal analiz çalışmaları ve sonuçlarını detaylı olarak sunmuşlardır. Çalışmada, söz konusu araştırmaların yapılmadığı/yetersiz olduğu durumlarda restorasyon sonrası yapıda tekrar hasarlar meydana gelebileceği ispatlanmıştır. Yapı ve zemin ile ilgili tespitler tarihi köprülerin taşıyıcı sistemlerinin yanı sıra temellerinde ve üzerinde buldukları dere yataklarında yapılacak iyileştirme çalışmalarına ilişkin belirlenen tekniklerin de desteklenmesi açısından önem arz etmekte olduğu belirtilmiştir [7]. Daha sonra, ölçekli yığma taş kemer köprü modelinin dinamik davranışını deneysel ve analitik olarak incelenmiştir. Çalışmada, uygulamalarda sıklıkla karşılaşılan bir taş kemer köprünün laboratuvar ortamında oluşturulmuş 1/10 ölçekli modelinin dinamik davranışı deneysel olarak incelenmiştir. Çevresel titreşim testi kullanılarak gerçekleştirilen modelin ilk altı frekansı, mod şekli ve modal sönüm oranı belirlenmiştir. Ölçüm sırasında modele zarar vermemek amacıyla ilave titreştirici kullanılmadan çevreden gelen titreşimler altında köprü davranışı tek eksenli sismik ivme ölçerler ile belirlenmiştir. SAP2000 programında üç boyutlu katı elemanlar kullanılarak oluşturulan model üzerinde modal analiz gerçekleştirilerek dinamik karakteristikler analitik olarak belirlenmiştir. Çalışmanın sonunda, deneysel olarak elde edilen dinamik karakteristikler ile analitik sonuçlar karşılaştırılmış ve farklılıklar ortaya konulmuştur [8]. Ayrıca tarihi Malabadi Köprüsü'nde yürütülen restorasyon-konservasyon çalışmaları hakkında bir çalışma yapılmıştır. Diyarbakır ili, Batman Suyu üzerinde, Artuklular Döneminde inşa edilmiş, 40.86m açıklığındaki sivri ana kemeri ile dünyanın günümüze ulaşan en büyük kemer açıklığına sahip taş kemer köprüsü olan Tarihi Malabadi Köprüsü'nde, 2009-2013 yılları arasında Karayolları Genel Müdürlüğü tarafından gerçekleştirilen restorasyon-konservasyon çalışmaları detaylı olarak anlatılmıştır. Güçlendirmenin önemi bu çalışma ile belirtilmiştir [9]. Tunceli ilinin Çemişgezek ilçesindeki Tağar çayı üzerinde bulunan tarihi Tağar köprüsünün doğrusal ve doğrusal olmayan sismik analizleri yapılmıştır. Bu amaçla köprü üç boyutlu sonlu elemanlarla modellenmiştir. Sismik etki olarak Erzincan depreminin ivme kayıtları dikkate alınmıştır. Analizlerde ANSYS sonlu eleman programı kullanılmıştır. Analizden elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak köprünün sismik davranışı incelenmiştir [10]. Tarihi yapılarda taşıyıcı sistem özellikleri, hasarlar, onarım ve güçlendirme teknikleri hakkında bir çalışma yapılmıştır. Çalışmada, geçmişten günümüze koruma kavramının nasıl algılandığı ve ne gibi adımların atıldığı ve tarihi yapı türleri, tarihi yapılarda kullanılan malzeme ve özellikleri hakkında bilgiler verilmiştir. Ayrıca tarihi yapıyı oluşturan taşıyıcı sistem özellikleri, bu yapılarda meydana gelen hasarlar ve günümüzde uygulanan hasar tespit yöntemleri, yığma kargir binaların deprem yönetmeliğinde belirtilen koşullar çerçevesinde deprem güvenliğinin incelenmesi ve tarihi yapılarda uygulanan onarım ve güçlendirme teknikleri hakkında detaylı bilgiler sunulmuştur [11]. Literatürdeki çalışmalardan da görüldüğü gibi, geçmişte tarihi yapılarla ilgili birçok çalışma bulunmaktadır. Fakat turizm açısından önem arz eden ve halkın sıkça kullandığı bir mekân olan tarihi yığma konakların 2018 Türk deprem yönetmeliği göz önünde bulundurularak güçlendirilmesi ve deprem performansı ile ilgili bir çalışma bulunmamaktadır. Bu çalışmanın amacı, ülke turizmi için önemli olan tarihi konakların uzun süre ayakta kalabilmesi için deprem güçlendirmelerinin yapılması ve deprem performanslarının değerlendirilmesidir. Bu amaçla, analizler ve değerlendirmeler için 1941 yılında inşa edilen tarihi bir yığma konak seçilmiştir. Bu konak, Zonguldak ve ülkemiz turizmi için çok önemlidir ve bu yapının ömrünün uzatılması hayati önem arz etmektedir. Bu sebeple, bu çalışma literatüre ve ülke turizmine önemli katkılar vermektedir. Domaneschi ve diğ. 2019 yılında yığma yapılar hakkında numerik bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada yığma yapıların yıkıldıktan sonraki enkaz hacminin tahmini ve yığma yapıların performansı hakkında bir metot önerilmiştir [12]. Zhang ve Beyer duvarlar arası etkileşimin yığma yapıların kesme dayanımına olan katkılarını araştırmışlardır. Duvarlar arası kenetlenmenin yığma yapıların performansı üzerinde çok büyük etkileri olduğu sonucuna varılmıştır [13]. Boschi ve diğ. Yığma yapıların sismik kırılma davranışını incelemişlerdir. Yapı elemanları arasındaki etkileşim ve yapının alt kısmındaki tonozların etkisi de analizler içerisinde dikkate alınmıştır. Analizler, zayıf duvarların bağlantılarının ve duvar tipinin kalitesizliğinin yığma yapıların performansını ciddi derecede etkilediğini göstermiştir [14].

Masoomi ve Lindt kasırğa rüzgâr yüklerine maruz kalan yığma bir okul binasının performansı incelemişlerdir. Kasırğa kırılma değeri değerlendirme metodunu kullanmışlardır ve bu metodun yığma yapılarda zarar tahmininde dikkate alınması önerilmiştir [15]. Araújo ve diğ. duvar ile ahşap arasındaki bağlantının yığma yapıların performansına olan etkilerini ve yığma yapıların güçlendirilmesini incelemişlerdir. Yapının belirli bölgelerine etki ettirilen ankrajların yığma yapıların performansını ciddi anlamda etkilediği belirtilmiştir [16]. Işık ve diğ. sismik açıdan oldukça hareketli olan Van Gölü Havzasında yer alan Bitlis ili, Merkez ilçesinde bulunan tarihi bir yığma yapı için deprem güvenlik hesaplamaları gerçekleştirmiştir. Çalışmada yığma yapılar için dikkate alınabilecek üç inceleme seviyesinden birinci çözümleme seviyesi kullanılmıştır. Yapıda oluşan maksimum kayma gerilmesi ve malzeme için verilen sınır değerler karşılaştırdığında yapı her iki doğrultuda kayma gerilmeleri açısından deprem güvenliğini sağlamaktadır [17]. Karaşin ve diğ. Diyarbakır Sur içinde yer alan tarihi bir yığma yapı iki farklı hızlı değerlendirilme yöntemi ile değerlendirmiştir. Çalışmada, Çevre ve Şehircilik Bakanlığının 2013 yılında yayınladığı yönetmelikte yer alan yığma yapılar için birinci aşama değerlendirme ve Kanada Sismik tarama yöntemi kullanılarak seçilen yığma bina değerlendirilmiştir. Kullanılan yöntemlerden biri olan Kanada Sismik Tarama yöntemine göre incelenen bina için $SI/NSI = 74.62/75.92 = 0.98$ değeri elde edilmiştir. Bu değer sismik güvenlik değerinin altındadır. Yapı için hesaplanan SPI değeri 75.92 çıkmış ve bu değerde binanın oldukça tehlikeli olduğu sonucunu ortaya çıkarmıştır [18]. Işık ve Antep, 1584 yılında inşa edilen Kadı Mahmut Cami'sine ait yığma tarzda inşa edilen cami minaresini dikkate almışlardır. Minare kesme Ahlat taşından yapılmıştır. 2.75mx2.75m boyutlarında kare plan üzerine kurulan minarenin gövdesi 2m çapında silindirik bir yapıya sahiptir. Minarenin toplam yüksekliği 25.10m'dir. Yerinde yapılan ölçümler sonucu elde edilen değerler yardımı ile minarenin üç boyutlu modeli yazılım programında oluşturulmuştur. Oluşturulan model sonlu elemanlar yöntemi ile analiz edilmiştir. Farklı yüklemeler durumlarına göre yapının deprem davranışı belirlenmeye çalışılmıştır. Kadı Mahmut Cami'sine ait minare için kullanılan farklı yük kombinasyonları dikkate alındığında en büyük basınç gerilme değerinin 2.723MPa; en büyük kayma gerilmesi 1.339MPa ve en büyük çekme gerilmesinin 1.232MPa olduğu belirlenmiştir. Minarede oluşan en büyük gerilmeler minaredeki geçiş bölgeleri olarak belirlenmiştir. Elde edilen bu değerlerin yapı tarafından karşılanabileceği sonucu ortaya çıkmaktadır. Minare için birinci mod hareketinde kaideye göre gövde ve petek elemanlarının etkisi daha büyüktür [19]. Işık ve diğ. Hüseyin Timur Türbesini numerik olarak incelediler. Hüseyin Timur Türbesi, Türk mimarisinin önemli anıtlarından biridir. Ayrıca Unesco kültürel mirasının içinde yer almaktadır. Yapı içerisinde maksimum gerilmeler zemin seviyesinde taban duvarlarında elde edilmiştir ve maksimum 6.1 MPa'lık bir gerilme değeri gözlemlenmiştir. Ayrıca, kubbenin tepesinde yaklaşık 13 mm'lik maksimum yer değiştirmenin olacağını kanısına varılmıştır [20].

2. Yöntem

Bu çalışmada, ilk olarak yığma konağın rölevesi çıkarılmıştır. Çünkü bu yapı, tarihi eser niteliğinde olan bir bina olduğundan dolayı o döneme ait hiçbir proje veya teknik bilgiye ulaşamamıştır. Her bir taşıyıcı eleman uzunlukları detaylı olarak belirlenmiştir ve AUTOCAD programına girilmiştir. Döşemelerin ahşaptan yapılmış olması döşeme kalınlığının belirlenmesine engel olsa bile her bir döşemeden kalınlık ve uzunluk bilgileri ayrıntılı olarak elde edilmiştir. Daha sonra rölevesi çıkarılan binanın 3 boyutlu modeli STACAD yığma programı yardımıyla oluşturulmuştur. Tüm taşıyıcı elemanlar programa özenle girilmiştir ve döşemeler projeye uygun olarak oluşturulmuştur. Bu yığma bina, ülke turizmi açısından çok önemli olması sebebiyle binadan numune alınarak malzeme parametrelerinin belirlenmesi tarihi dokuya zarar vereceği sebebiyle literatür araştırması yapılarak malzeme parametreleri belirlenmiştir. Tüm taşıyıcıların malzeme parametreleri programa özenle tanımlanmıştır. Analizler ilk olarak yapının şu anki durumu göz önünde bulundurularak yapılmıştır. Analiz sonuçlarına göre, yapının daha fazla ayakta kalmakta zorlandığı ve deprem güçlendirmesinin yapılmasının şart olduğu görülmüştür. Sonuçlar detaylı incelenerek güçlendirme yapılması gereken taşıyıcılar belirlenmiştir ve bu taşıyıcı duvarlara güçlendirme mantolaması yapılmıştır. Bu taşıyıcılar, mantolama işlemi için ilk olarak dış duvarlardan seçilmiştir. Mantolama yapılırken tarihi eserin çok fazla zarar görmemesine özen gösterilmiştir. Güçlendirme yapılan yapı tekrar analiz yapıldığında çoğu duvarın mantolama sonucunda ayakta uzun yıllar kalabileceği ancak bazı iç duvarların zamanla yıkılabileceği görülmüştür. Tekrar

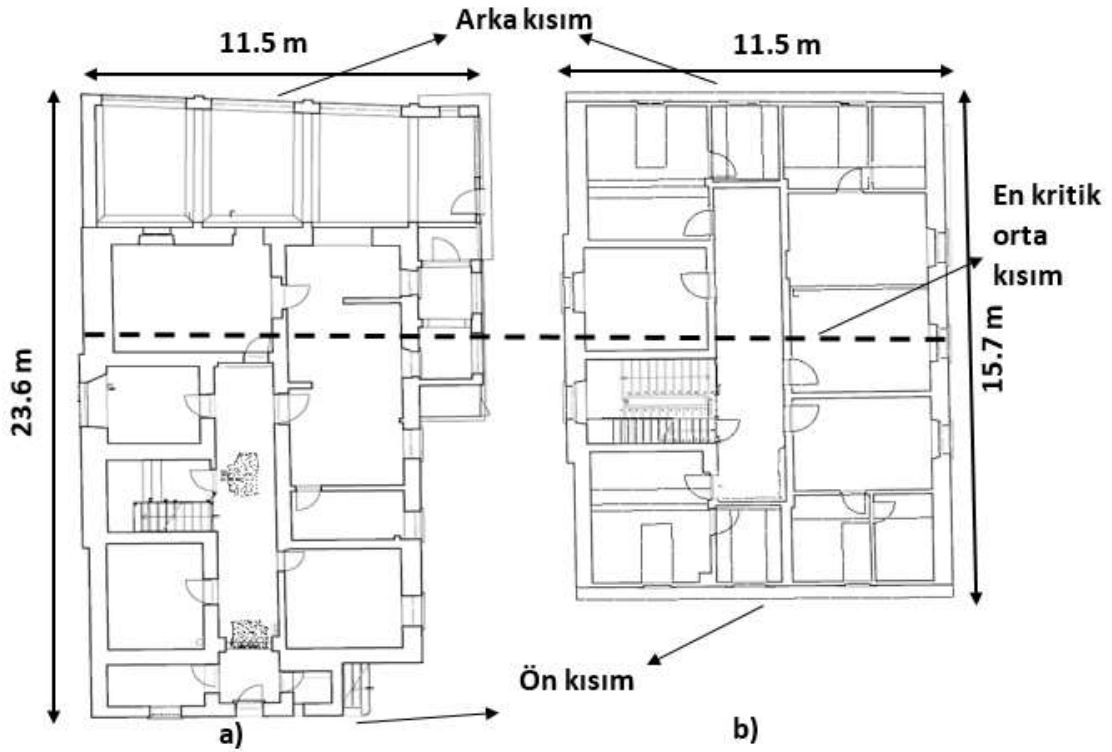
mantolama işlemleri yapılarak zorlanan taşıyıcılar desteklenerek yapının uzun yıllar ülke turizmine ve ülke ekonomisine katkı vermesi sağlanmış oldu.

3. Rombaki Tarihi Yığma Bina Hakkında Genel Bilgiler

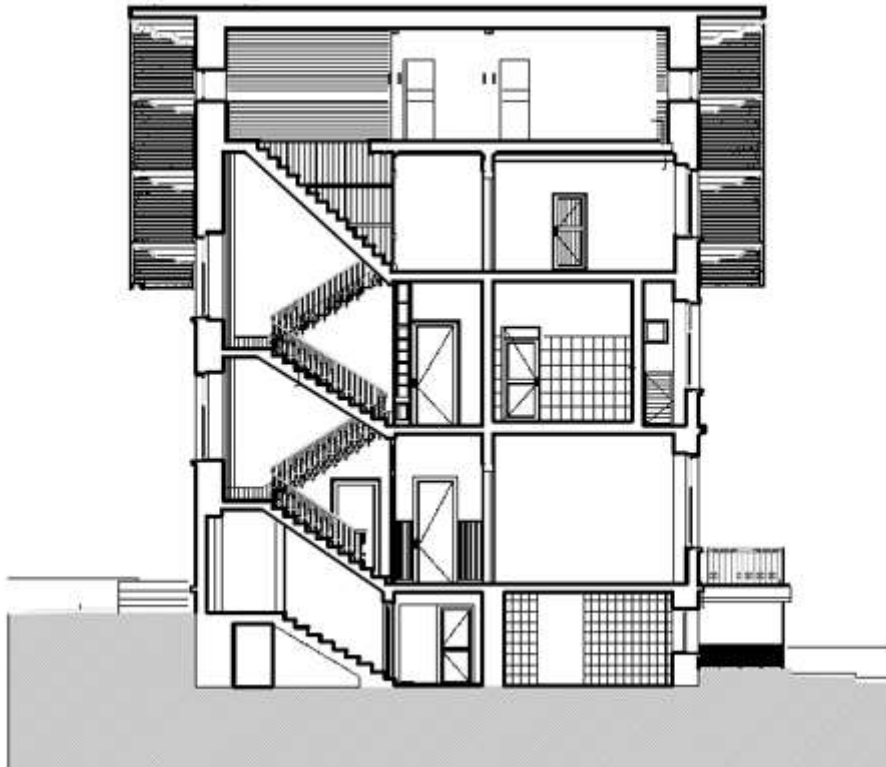
Cumhuriyetin ilanından sonra Zonguldak ili ekonomik olarak büyük yatırımların yapıldığı bir il olmuştur. İş adamlarının ve ülkemizin yaptığı yatırımlar sonucunda Zonguldak Türkiye'nin en fazla nüfusu olan illerden biri haline gelmiştir. Rombaki yığma konağı, 1941 yılında Cumhuriyetin ilanından sonra Zonguldak Üzümler 'de inşa edilmiş tarihi bir yapı olup çok uzun süre ülkemizin turizmine hizmet etmiştir. Bu çalışmaya konu olan Rombaki yığma konağı Cumhuriyetin ilanından sonra Zonguldak'a bırakılmış en büyük tarihi miraslardan biridir (Şekil 1). 1950'li yıllarda bu konakta o dönemin zengin iş adamları yaşamaktaydı. Konağın etrafında olabildiğince yeşil yaşam alanları mevcuttur. Bu yeşil alanlar, o dönemlerde yeşile ve doğaya ne kadar önem verildiğinin göstergesidir. Bina, Zonguldak merkeze 2 km uzaklıkta olup şehrin turizmi açısından hayati öneme sahiptir. 1970'li yıllarda binanın dış kısmı tadilatla onarılıp şu anki haline dönüştürülmüştür. Ancak, 1941 yılından beri yapının taşıyıcılarına herhangi müdahale yapılmamıştır. Bu sebeple yapının yeterince yorulduğu ve daha uzun süre ayakta kalabilmesi için tadilat gereksinimine ihtiyaç olduğu düşünülmüştür. Bu konak, yığma bir yapı olup dış kısmı kalın taş duvarlardan inşa edilmiştir. Yapıda, yaklaşık 1 metreye yakın kalınlıkta dış duvarlar mevcut olup döşemelerinin tamamı ahşaptan yapılmıştır. Yapıda kullanılan taş duvarların elastisite modülleri 800 MPa ve Poisson oranı 0.22'dir. Ayrıca duvarların birim hacim ağırlıkları 1500 kg/m³tür ve duvar çatlama emniyet gerilmesi 0.25 MPa'dır. En alt katı bodrum kattır ve o dönemde bu kat çamaşırhane olarak kullanılmıştır. Zemin kat ile bodrum kat planları birbirinin aynısıdır (Şekil 2a). Bodrum katın üzerinde toplam 3 kat bulunmaktadır. Her katın geometrik yapıları birbirinden farklıdır. Ayrıca, 1. ve 2. katın planları da birbiri ile aynıdır (Şekil 2b). En üst kata küçük bir çatı katı yapılmıştır. Fakat çatı katı her kattan küçüktür ve çatı tamamen ahşaptan yapılmıştır. Şekil 3, 4 ve 5'de sırasıyla yapının düşey kesitleri detaylı olarak sunulmuştur.



Şekil 1. Tarihi yığma yapının genel görüntüleri



Şekil 2. a) Bodrum ve zemin katının planı, b) 1. ve 2. katın planı



Şekil 3. Konağın ortadan en kritik kesitinin rölevesi



Şekil 4. Konağın arka cepheden rölevesi

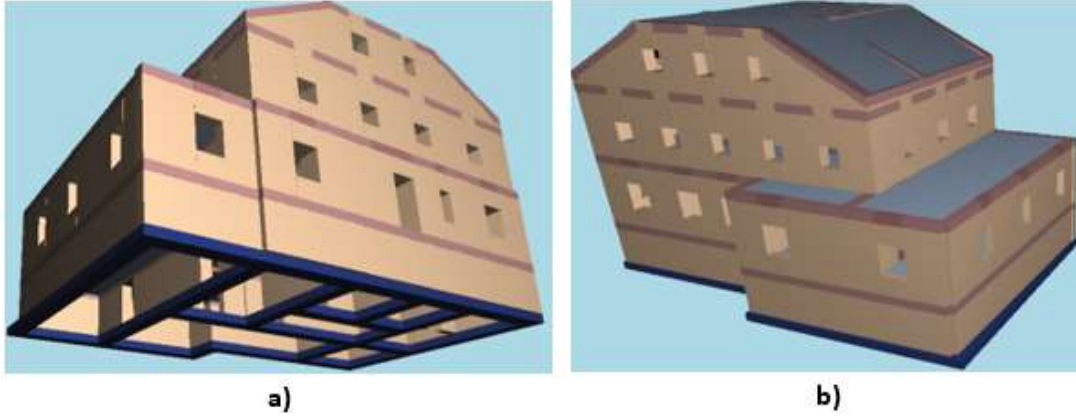


Şekil 5. Konağın ön cepheden rölevesi

4. Tarihi Rombaki Konağının Üç Boyutlu Modellenmesi

Tarihi binalar, ülke turizmi için büyük öneme sahip değerlerimizdir. Bu sebeple bu yapıların modellenip mevcut durumunun tahlil edilmesi, yapının geleceği hakkında fikir elde etmek için büyük önem arz etmektedir. Bu bölümde, tarihi rombaki yığma yapısının üç boyutlu modellenmesi detaylı olarak sunulmuştur. Modelleme yapılırken ilk olarak daha binanın önce çıkarılan rölevesi detaylı olarak incelenmiştir. İnceleme sonucunda binanın dayanımı için büyük önem arz eden duvar ve döşemelerin yerleri belirlenmiştir ve hatıl, pencere, kapı gibi yığma yapılar için önemli detayların model içerisindeki konumları detaylı olarak tespit edilmiştir. Bodrum kat duvarlarının diğer katlardaki duvarlara göre daha büyük kalınlıkta imal edildiği gözlemlenmiştir. Bu gözlem sonucu, bina oluşturulurken ne kadar özen ve dikkat gösterildiğinin göstergesidir. Rombaki yığma yapısının genel özellikleri Tablo 1’de sunulmuştur. Tablo 1’e göre bodrum katın kat yüksekliği 240 cm’dir. Zemin kat, 1. ve 2. katın kat yükseklikleri sırasıyla 372 cm, 362 cm ve 308 cm’dir. Bodrum ve zemin katların duvar sayıları sırasıyla 28 ve 45’dir. Ayrıca 1. ve 2. katların duvar sayıları sırasıyla 30 ve 23’dür. Bodrum ve zemin katın döşeme sayısı 8’dir. 1. ve 2. katların döşeme sayıları ise sırasıyla 6 ve 9’dur. Binada düşey hatıl bulunmamaktadır. Ancak normal hatıl sayısı bodrum katta 9 zemin katta ise 11’dir. Buna ek olarak 1. ve 2. katlarda sırasıyla 7 ve 5 adet normal hatıl bulunmaktadır. Ayrıca bodrum kat, zemin kat, 1. ve 2.

katlarda sırasıyla 9, 11, 7 ve 5 adet kapı bulunmaktadır. Bodrum katta hiç pencere bulunmamaktadır. Çünkü bu kat normal yer seviyesinden aşağıdadır. Zemin kat, 1. ve 2. katlarda sırasıyla 16, 16 ve 5 adet pencere bulunmaktadır. Modelleme yapılırken ilk olarak temel kısmı oluşturulmuştur. Bina incelemesi sırasında yapı temelini sürekli temel olduğu gözlemlenmiştir. Temel modellenirken sürekli temel olarak modelleme yapılmıştır ve her bir taşıyıcı duvarın altına binaya uygun ve projeye uygun temeller tanımlanmıştır. Daha sonra bodrum kat modellenmiştir. Bodrum kattaki dış duvarlar 1 metre kalınlıktadırlar ve bu kalın duvarlar binanın mukavemetini artırmaktadır. Ayrıca iç duvarlar ortalama 40 cm kalınlıktadır. Her bir duvar bina projesine uygun olarak modellenmiştir. Pencere ve kapılar da ayrıca üç boyutlu model içerisinde ayrıntılı olarak modellenmiştir. Pencere ve kapıların yerden yüksekliklerinin gerçek yapıdaki ile aynı olmasına özen gösterilmiştir. Bodrum katın yerden yüksekliği 2.4 metredir. Zemin kat ve diğer katlar ise projeye bire bir modellenmiştir. Çatı duvarlarına, projeye uygun olarak kenarlardan eğimler verilmiştir. Bu eğim, çatı katında bulunan tüm duvar, pencere ve kapılara da verilmiştir. Tarihi Rombaki konağının üç boyutlu modellenmiş hali Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 6. Konağın 3 boyutlu modellenmiş hali; a) önden görünüş b) arkadan görünüş

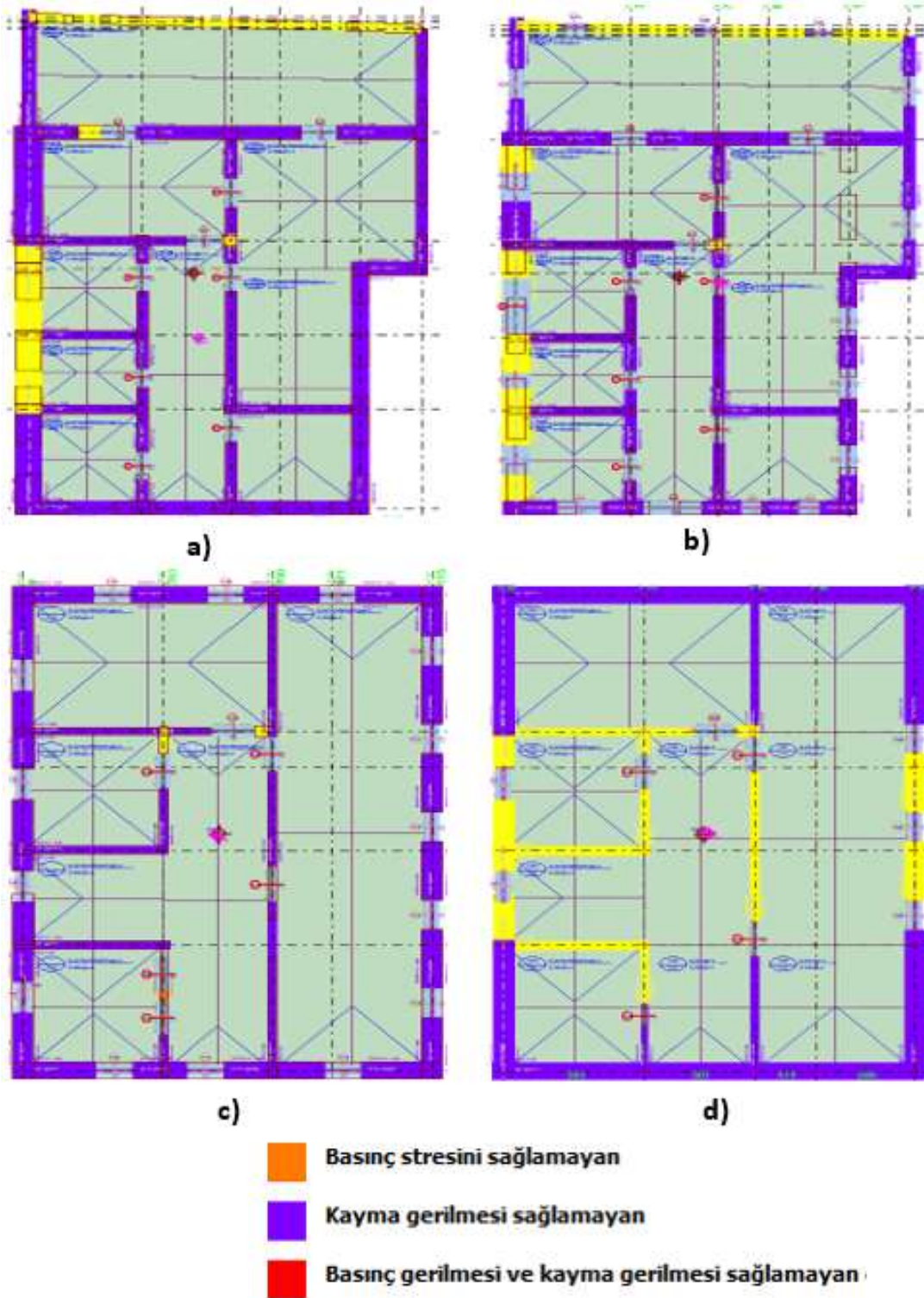
Tablo 1. Bina genel özellikleri

| Kat İsmi | Bodrum | Zemin | 1.Kat | 2.Kat |
|-----------------------------|--------|-------|-------|-------|
| Kat İndisi | B | Z | 1 | 2 |
| Kat Yüksekliği (m) | 240 | 372 | 362 | 308 |
| Kattaki Duvar Sayısı (Adet) | 28 | 45 | 30 | 23 |
| Döşeme Sayısı (Adet) | 8 | 8 | 6 | 9 |
| Düşey Hatıl Sayısı (Adet) | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Hatıl Sayısı (Adet) | 9 | 11 | 7 | 5 |
| Kapı Sayısı (Adet) | 9 | 11 | 7 | 5 |
| Pencere Sayısı (Adet) | 0 | 16 | 16 | 5 |
| Manto Sayısı (Adet) | 0 | 0 | 0 | 0 |

5. Performans Analizi Sonuçları

Rombaki tarihi yığma konağının üç boyutlu analiz sonuçları bu bölümde detaylı olarak sunulmuştur. Analizler ilk olarak binanın mevcut hali ile başlanmıştır. Analizlerde sınırlı bilgi düzeyi seçilmiştir. Binanın mevcut hali üç boyutlu olarak modellendikten sonra performans analizi gerçekleştirilmiştir. Performans analizi gerçekleştirilirken 2018 Türk Deprem Yönetmeliği dikkate alınmıştır. Bu yeni yönetmelikte yığma yapıların performans analizleri ile ilgili birçok bilgi sunulmuştur. Bu sebeple bu yeni deprem yönetmeliği ile performans analizinin yapılması bu çalışmanın diğer çalışmalardan farkını ortaya koymaktadır. Analiz sonuçlarına göre binanın mevcut durumu değerlendirilmiştir. Binanın

mevcut durumuna göre yapının uzun süre ayakta kalamayacağı belirlenmiştir. Binanın mevcut durumu için tüm katların performans sonuçları Şekil 7’de sunulmuştur.



Şekil 7. a) Bodrum kat için b) Zemin kat için c) 1. kat için d) 2. kat için performans sonuçları

Performans sonuçlarına göre tüm katlardaki duvarlarda kayma gerilmesi problemleri saptanmıştır. Bodrum katta 1 metre kalınlıkta duvarlar olmasına rağmen duvarların çoğunda kayma gerilmesi yönünden olumsuz değerler gözlemlenmiştir. Bu kayma gerilmesi problemleri binanın geleceğini olumsuz yönde etkilemektedir. Zemin katta ise çoğu duvarların kayma gerilmesi yönünden yenildiği tespit edilmiştir. Ayrıca 1. kattaki tüm duvarlarda zemin katta olduğu gibi kayma gerilmesi

yönünden olumsuz değerler belirlenmiştir. 2. katta ise diğer katlara kıyasla daha az duvarda kayma gerilmesi yönünden yenilmeler gözlemlenmiştir. Bu sonuçlara göre yapının daha fazla ayakta kalamayacağı anlaşılmıştır. Yani deprem güçlendirmesi yapılmasının binanın geleceği açısından daha sağlıklı olabileceği düşünülmüştür. Tablo 2’de ise binanın devrilme performansı detaylı olarak değerlendirilmiştir. Devrilme performansı değerlendirmesi yapının duvarlarının zamanla devrilip devrilmeyeceğinin saptanması için yapılmıştır. Tablo 2’ye göre bodrum kata toplam 37×10^3 kg deprem kuvveti etki etmektedir. En fazla deprem yükü zemin kata etki etmektedir ve değeri 118.98×10^3 kg’dır. 1. ve 2. kata ise toplamda sırasıyla 110.18×10^3 kg ve 103.72×10^3 kg’lık deprem kuvvetleri etki etmektedir. Toplamda binaya 381.32×10^3 kg’lık deprem kuvveti etki etmektedir. Katlara etkileyen deprem kuvvetlerinin yere olan yüksekliğiyle elde edilen toplam deprem momenti 3219.81×10^3 kgm’dır. Bodrum katta toplam ölü yük 411.98×10^3 kg’dır. En fazla ölü yük zemin katta mevcuttur ve değeri ise 523.81×10^3 kg’dır. Devrilme emniyet hesabı aşağıdaki Formül 1’e göre hesaplanmıştır. Kontroller ise Formül 2, 3, 4, 5’e (2018 Türk Deprem Yönetmeliği 15. Bölüme) göre gerçekleştirilmiştir.

$$M_o = \sum (V_i * H_i) \quad (1)$$

$$M_o < M_{ao} + X \quad (2)$$

$$M_o < M_{ao} - X \quad (3)$$

$$M_o < M_{ao} + Y \quad (4)$$

$$M_o < M_{ao} - Y \quad (5)$$

V_i deprem kuvvetleri Tablo 2’de detaylı olarak sunulmuştur. V_{Hi} değerleri yani M_o değerleri de Tablo 2’de gösterilmiştir. M_o devirmeye çalışan moment değerleri hesaplandıktan sonra devrilmeye karşı koyan momentler performans analizinden elde edilmiştir. Bu sonuçlara göre +X, -X, +Y, -Y yönlerindeki duvarlarda zamanla devrilme meydana gelmeyeceği saptanmıştır. Duvarlarda kayma yenilmeleri olmasına rağmen zamanla binada devrilmelerin oluşmayacağı belirlenmiştir. Tablo 3’de ise performans değerlendirmeleri sunulmuştur. Performans değerlerine göre bodrum katına artı ve eksi x yönünde toplam 11.02×10^3 kgm burulma momenti etki etmektedir ve y yönünde ise toplam 60.77×10^3 kgm burulma momenti meydana gelmektedir. Ayrıca zemin katında x ve y yönünde sırasıyla 99.85×10^3 kgm ve 482.9×10^3 kgm burulma momentleri meydana gelmiştir. 1. kata x ve y yönünde sırasıyla toplam 11.57×10^3 kgm ve -19.9×10^3 kgm burulma momenti oluşmuştur. Son olarak 2. katta ise sırasıyla toplam -8.2×10^3 kgm ve 13.8×10^3 kgm burulma momenti meydana gelmiştir. Duvar kesme kuvveti taşıma kapasitesi bodrum kat için x ve y yönünde sırasıyla 144.65×10^3 kg ve 229.56×10^3 kg’dır (Tablo 3). Zemin katta ise bu değer x ve y yönünde sırasıyla 50.72×10^3 kg ve 130.1×10^3 kg’dır. 1. katta duvar kesme kuvveti taşıma kapasitesi x yönünde 11.57×10^3 kg’dır ve y yönünde ise -19.9×10^3 kg’dır. Son olarak 2. Katta bu değer x ve y yönünde sırasıyla -8.2×10^3 kg ve 13.8×10^3 kg’dır. Kesme kapasitesi yetersiz duvar sayısı Tablo 3’de detaylı olarak sunulmuştur. Bu sayı bodrum katta x ve y yönünde sırasıyla 9 ve 13’tür. Ayrıca zemin katta kesme kapasitesi yetersiz duvar sayısı x ve y yönünde sırasıyla 14 ve 18’dir. 1. Katta ise bu değer aynı yönlerde 11 ve 16’dır. Son olarak 2. Katta ise bu değer x ve y yönlerinde sırasıyla 2 ve 7’dir. Bu değerlerden de görüldüğü gibi en fazla kesme kapasitesi yetersiz duvar zemin katta mevcuttur. Kapasitesi yetersiz duvarlara gelen toplam kesme kuvveti bodrum katta x ve y yönlerinde 381.32×10^3 kg’dır. Bu değer zemin katta ise x ve y yönlerinde 344.32×10^3 kg’dır. Ayrıca kapasitesi yetersiz duvarlara gelen toplam kesme kuvveti 1. kattaki x ve y yönleri için sırasıyla 225.34×10^3 kg ve 224.66×10^3 kg’dır. Son olarak bu değer 2. katta x ve y yönlerinde sırasıyla 113.56×10^3 kg ve 97.63×10^3 kg’dır. Dayanımı yetersiz duvarların kat kesme kuvvetine katkısı bodrum ve zemin katta x ve y yönünde sırasıyla 100×10^3 kg’dır. 1. katta x ve y yönünde bu değer sırasıyla 100×10^3 kg ve 99.7×10^3 kg’dır. Son olarak bu değer 2. katta x ve y yönünde sırasıyla 98.6×10^3 kg ve 84.8×10^3 kg’dır. Tablo 4’de ise depremden dolayı katlara gelen kesme kuvveti değerleri sunulmuştur. Bodrum ve zemin katlarda bu değer sırasıyla 381.32×10^3 kg ve 344.32×10^3 kg’dır. Ayrıca 1. ve 2. katta bu değer sırasıyla 225.34×10^3 kg ve 115.16×10^3 kg’dır. Bu değerlere göre katlara gelen kesme kuvveti değerleri en fazla bodrum katta meydana gelmiştir.

Tablo 2. Devrilme Momenti Kontrolü

| Devrilme Momenti Kontrolü | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------|---------------------------|--------|--------------------------|--------------------------|------|--------------------------|------|-------|----------|---------|----------|----------|
| Kat Adı | V_i ($\times 10^3$ kg) | YY (m) | VHi ($\times 10^3$ kgm) | KatG ($\times 10^3$ kg) | HYKK | KatQ ($\times 10^3$ kg) | KMX | KMY | Mao+X | Mao-X | Mao+Y | Mao-Y |
| Bodrum | 37 | 240 | 88.79 | 411.98 | 0.3 | 53.89 | 5.74 | 11.3 | 3194.26 | 2366.1 | 4142.18 | 4354.43 |
| Zemin | 118.98 | 612 | 728.16 | 523.81 | 0.3 | 53.89 | 5.66 | 11.29 | 4065.38 | 2947.24 | 5227.59 | 5488.17 |
| 1.Kat | 110.18 | 974 | 1073.16 | 302.76 | 0.3 | 5.54 | 5.54 | 13.44 | 2401.78 | 1678.63 | 2435.79 | 3799.35 |
| 2.Kat | 103.72 | 1282 | 1329.69 | 213.28 | 0.3 | 5.61 | 5.61 | 13.44 | 1701.94 | 1216.37 | 1741.59 | 2717.78 |
| Toplam | 381.32 | | 3219.81 | | | | | | 11363.37 | 8208.34 | 13547.15 | 16359.72 |

Devrilme Momenti Kontrolü: $Mo = \sum (Vi * Hi)$; Mo: Devirmeye Çalşan Moment (Tüm Yönlerde Aynı), $\sum Mao$: Devrilme Karşı Koyan Moment

$Mo < Mao + X$, +X Yönünde Devrilme Momenti Kontrolü Sağlanmıştır.

$Mo < Mao - X$, -X Yönünde Devrilme Momenti Kontrolü Sağlanmıştır.

$Mo < Mao + Y$, +Y Yönünde Devrilme Momenti Kontrolü Sağlanmıştır.

$Mo < Mao - Y$, -Y Yönünde Devrilme Momenti Kontrolü Sağlanmıştır.

Kullanılan Simgeler

Vi: Katlara Depremden Dolayı Etkiyen Kuvvet. YY: Yerden Yükseklik. VHi: Vi*katın yerden yüksekliği. KatG: Kattaki ölü yük. HYKK: Hareketli Yük Katılım Katsayısı. KatQ: Kattaki hareketli yük. KMX: Kütle Merkezi X ordinatı. KMY: Kütle Merkezi Y Ordinatı.

Tablo 3. Performans Değerlendirilmesi

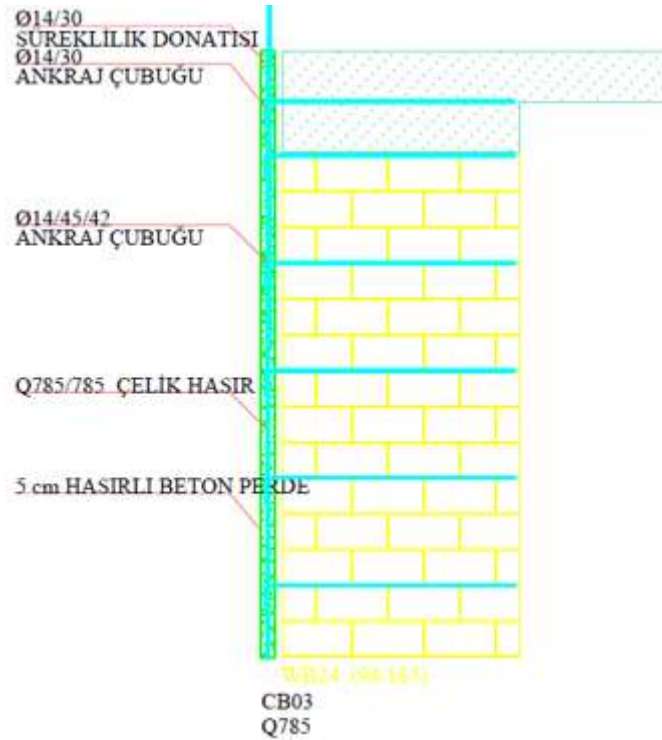
| Performans Değerlendirmesi | | | | | | | | | | |
|----------------------------|-------------|---------------------------|---|-----------|-----------|--------------------|-----------|---|---|---|
| Kat Adı | Deprem Yönü | Mbi (10 ³ kgm) | $\sum V_r$ (duvar) (10 ³ kg) | $\sum Wa$ | $\sum Wn$ | $\sum Yetersiz Wn$ | $\sum WL$ | $\sum Yetersiz Vr$ (10 ³ kg) | $\sum Yetersiz Ve$ (10 ³ kg) | Yetersiz $\sum Ve/Q_i$ (10 ³ kg) |
| Bodrum Kat | +X | 11.02 | 144.65 | 29.79 | 11 | 9 | 61.09 | 62.89 | 381.32 | 100 |
| | -X | 11.02 | | | | | | | 381.32 | 100 |
| Zemin Kat | +Y | 60.77 | 229.56 | 40.24 | 16 | 13 | 69.05 | 136.78 | 381.32 | 100 |
| | -Y | 60.77 | | | | | | | 381.32 | 100 |
| 1.Kat | +X | 99.85 | 50.72 | 25.8 | 15 | 14 | 53.44 | 0 | 344.32 | 100 |
| | -X | 99.85 | | | | | | | 344.32 | 100 |
| 2.Kat | +Y | 482.9 | 130.1 | 31.9 | 26 | 18 | 56.64 | 0 | 344.32 | 100 |
| | -Y | 482.9 | | | | | | | 344.32 | 100 |
| 1.Kat | +X | 11.57 | 13.2 | 15.22 | 12 | 11 | 33.23 | 9.54 | 225.34 | 100 |
| | -X | 11.57 | | | | | | | 225.34 | 100 |
| 2.Kat | +Y | -19.9 | 59.74 | 19.97 | 18 | 16 | 44.84 | 55.02 | 224.66 | 99.7 |
| | -Y | -19.9 | | | | | | | 224.66 | 99.7 |
| 2.Kat | +X | -8.2 | 189.48 | 18.55 | 7 | 2 | 38.33 | 144.56 | 113.56 | 98.6 |
| | -X | -8.2 | | | | | | | 113.56 | 98.6 |
| 2.Kat | +Y | 13.8 | 250.15 | 23.3 | 14 | 7 | 52.53 | 156.46 | 97.63 | 84.8 |
| | -Y | 13.8 | | | | | | | 97.63 | 84.8 |

Kullanılan Simgeler
Mbi: Kat Burulma Momenti (10³ kgm). Vr (duvar): Duvar Kesme Kuvveti Taşıma Kapasitesi (10³ kg). $\sum Wa$: Kattaki İlgili Yönde Duvar Alanı Bileşeni (m²). $\sum Wn$: Kattaki İlgili Yönde Duvar Sayısı (adet). $\sum Yetersiz Wn$: Kesme Kapasitesi Yetersiz Duvar Sayısı (adet). $\sum WL$: Kattaki İlgili Yönde Duvar Uzunluğu Toplamı (m). $\sum Yetersiz Vr$: Kapasitesi Yetersiz Duvarların Kesme Kuvveti Toplamı (10³ kg). $\sum Yetersiz Ve$: Kapasitesi Yetersiz Duvarlara Gelen Toplam Kesme Kuvveti (10³ kg). Yetersiz $\sum Ve/Q_i$: Dayanımı Yetersiz Duvarların Kat Kesme Kuvvetine Katkısı.

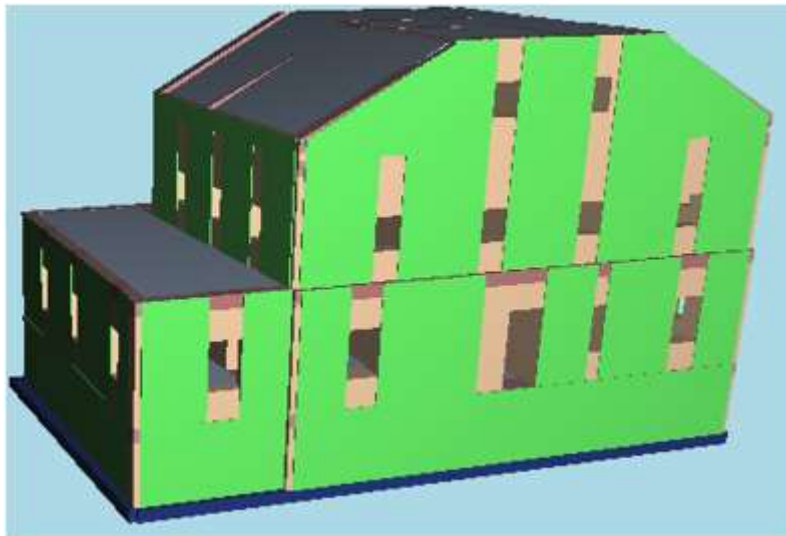
Tablo 4. Depremden dolayı katlara gelen kesme kuvveti

| Depremden Dolayı Katlara Gelen Kesme Kuvveti | | | | | | | | | | | |
|--|-------------------------|------|-------------------------|----------------|----------------|--------------------------------|----------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| Kat Adı | WG (10 ³ kg) | HYKK | WQ (10 ³ kg) | W _i | H _i | W _i *H _i | $\sum W_i*H_i$ | V _i X (10 ³ kg) | V _i Y (10 ³ kg) | Q _i X (10 ³ kg) | Q _i Y (10 ³ kg) |
| Bodrum | 411.98 | 0.3 | 53.89 | 428.15 | 240 | 1027.56 | 0.1 | 37 | 37 | 381.32 | 381.32 |
| Zemin | 523.81 | 0.3 | 53.89 | 539.97 | 612 | 3304.63 | 0.32 | 118.98 | 118.98 | 344.32 | 344.32 |
| 1.Kat | 302.76 | 0.3 | 38.1 | 314.19 | 974 | 3060.23 | 0.3 | 110.18 | 110.18 | 225.34 | 225.34 |
| 2.Kat | 213.28 | 0.3 | 38.1 | 224.71 | 1282 | 2880.79 | 0.28 | 103.72 | 103.72 | 115.16 | 115.16 |
| Toplam | 1451.83 | | | 1507.02 | | 10273.2 | 1 | 381.32 | 381.32 | | |
| Kullanılan Simgeler | | | | | | | | | | | |
| WG: Katın Ölü Yük Toplamı (10 ³ kg) | | | | | | | | | | | |
| HYKK: Hareketli Yük Katılım Katsayısı | | | | | | | | | | | |
| WQ: Katın Hareketli Yük Toplamı (10 ³ kg) | | | | | | | | | | | |
| W _i : Katın Deprem Etkisi Hesabında Kullanılan Yük Toplamı (10 ³ kg) | | | | | | | | | | | |
| H _i : Kat Üst Döşeme Üstünün Temel Üstünden Mesafesi | | | | | | | | | | | |
| V _i : Katlara Depremden dolayı Kat Hizalarında Etkiyen Kuvvet | | | | | | | | | | | |
| Q _i : Katlara Depremden Dolayı Etkiyen Kesme Kuvveti | | | | | | | | | | | |

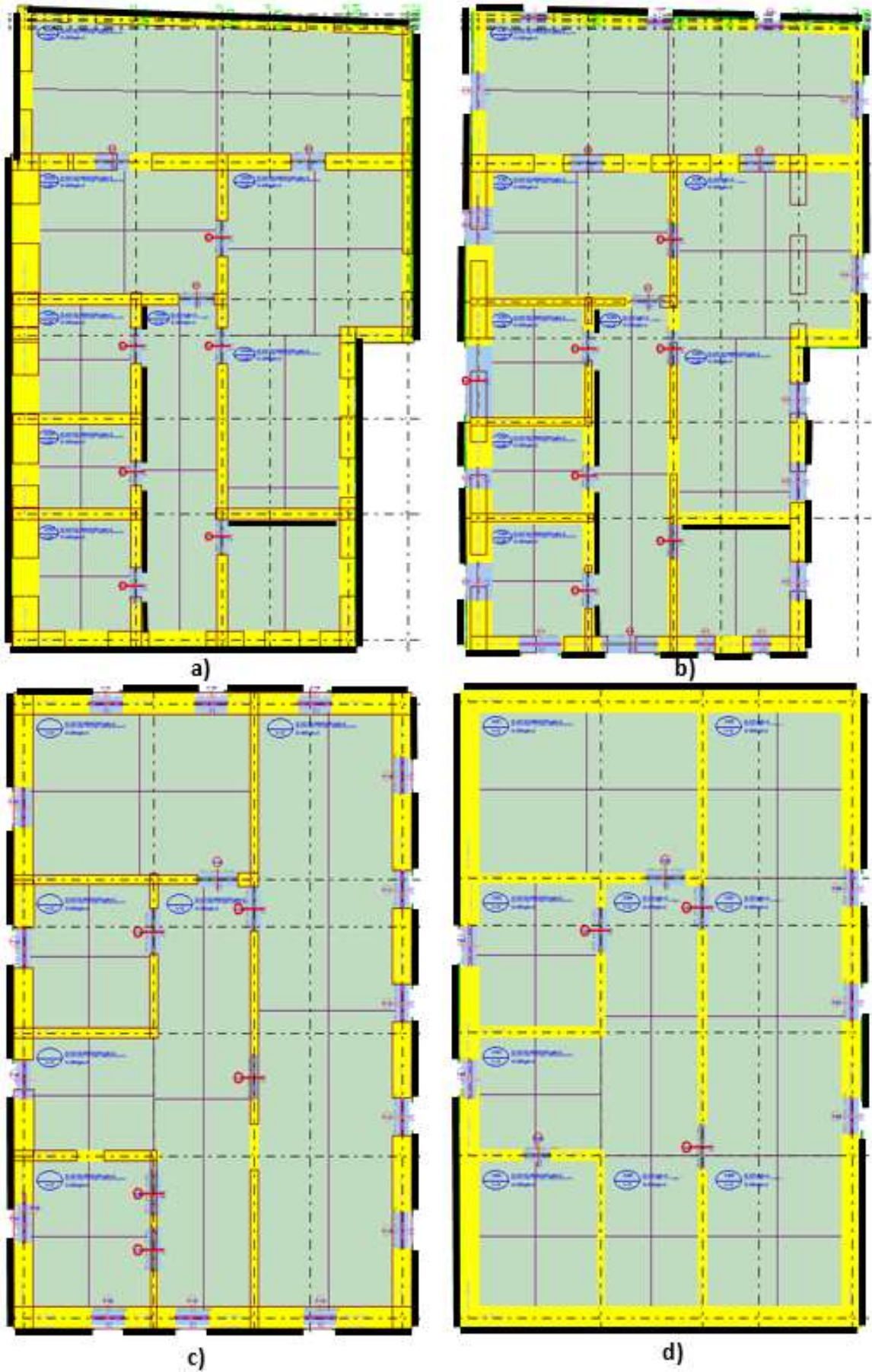
Binanın mevcut durumu için performans analizi gerçekleştirildikten sonra güçlendirme yapılması gereken yerler tespit edilmiştir. Bu tespit sonucunda binanın dış duvarlarının çoğunun mantolama yapılması gerektiğine karar verilmiştir. Bu mantolama işlemi sürekli donatı, ankraj çubuğu, çelik hasır ve beton malzemeleri ile gerçekleştirilmiştir. Mantolama işlemi sırasında tarihi yapının dokusuna zarar verilmemesine dikkat edilmiştir. Kalın mantolama yerine yapıya en az hasar verecek manto kalınlığı seçilmiştir. Rombaki yığma yapısına yapılan manto örneği Şekil 8’de detaylı olarak gösterilmiştir. Yapıya yerleştirilen ankraj çubuklarının olabildiğince küçük ve az sayıda olmasına dikkat edilmiştir. Mantolama işlemi ilk olarak binanın dış duvarlarından başlanmıştır. Kalın duvarlara mantolama yapılırken pencere ve hatılara dikkat edilmiştir. Her bir pencerenin mantolama sırasında hasar görmemesi ve pencerenin kapanmaması bu çalışma için öncelik olmuştur. Şekil 9’da ise binanın mantolanmış 3 boyutlu görünümü sunulmuştur. Binanın 2. katı, çatı eğimine uygun olarak mantolanmıştır. Her bir mantolama işlemi bu eğim kuralına uyularak gerçekleştirilmiştir.



Şekil 8. Mantolanmış duvar örneği



Şekil 9. Mantolanmış konağın 3 boyutlu hali



Şekil 10. Konağın performans analizine göre mantolama durumu

Binanın duvarlarının mantolanmış hali ise Şekil 10'da detaylı olarak sunulmuştur. Siyah gösterilen çizgiler mantolamanın yapıldığı yerleri temsil etmektedir. Her bir manto için ayrı bir siyah çizgi çizilmiştir ve her bir kat için ayrı ayrı gösterilmiştir. Pencerelerin mantolama sırasında nasıl korunduğu Şekil 10'da görülmektedir. İlk olarak analizler binanın dış duvarlarının mantolanmış haliyle yapılmıştır. Sadece dış taşıyıcı duvarların mantolanmasından dolayı analiz sonucunda iç duvarların bir kısmının yakın gelecekte yenilmeye uğrayacağı gözlemlenmiştir. Daha sonra yenilme yaşanan iç duvarların bir kısmına da mantolama yapılarak binanın tamamının gelecekte emniyetle ayakta kalması sağlanmıştır. Bu çalışmada mantolamanın tarihi yapıların emniyetine katkısına ek olarak tarihi dokusunu bozmak gibi bir dezavantajının olması da göz önünde bulundurulmuştur. Bu sebeple bu çalışmada tarihi dokunun korunması ilk öncelik olmuştur. Mantolama sonrası binanın performansı Tablo 5'de sunulmuştur. Tablo 5'e göre bodrum katında toplam 16 duvara manto yapılmıştır. Bu sayı zemin katında 36'ya çıkmıştır. 1. ve 2. katlarda ise mantolanmış duvar sayısı sırasıyla 23 ve 12'dir. Binaya mantolama yapılırken beton cinsi olarak C25 betonu kullanılmıştır. Tablo 5 incelendiğinde mevcut duvarların birim hacim ağırlıklarının 1500 kg/m^3 olduğu görülmektedir. Ayrıca duvar çatlama emniyet gerilmesi 0.25 MPa olduğu tespit edilmiştir. Duvarların elastisite modüllerinin ise 800 MPa olduğu saptanmıştır. Tablo 6'da ise devrilme momenti kontrolü yapılmıştır. Tabloya göre katlara depremden dolayı etkiyen kuvvet bodrum katı için $39.27 \times 10^3 \text{ kg}$ 'dır. Zemin kat için ise bu değer $126.13 \times 10^3 \text{ kg}$ 'dır. Ayrıca katlara depremden dolayı etkiyen kuvvet 1. ve 2. kat için sırasıyla $117.57 \times 10^3 \text{ kg}$ ve $108.65 \times 10^3 \text{ kg}$ 'dır. Bu değerlerden de görüldüğü gibi en fazla deprem kuvveti zemin kata gelmiştir. Devrilme emniyet hesabı aşağıdaki Formül 6'ya göre hesaplanmıştır. Kontroller ise Formül 7, 8, 9 ve 10'a (2018 Türk Deprem Yönetmeliği 15. Bölüm) göre yapılmıştır.

$$M_o = \sum (V_i * H_i) \quad (6)$$

$$M_o < M_{ao} + X \quad (7)$$

$$M_o < M_{ao} - X \quad (8)$$

$$M_o < M_{ao} + Y \quad (9)$$

$$M_o < M_{ao} - Y \quad (10)$$

Bu denklemlere göre binada mantolandıktan sonra devrilmeye karşı oluşan moment her kat için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Bu değer bodrum katı için $+X$ yönünde $3614.82 \times 10^3 \text{ kgm}$ 'dir. Ayrıca devrilmeye karşı oluşan moment zemin kat için $4557.33 \times 10^3 \text{ kgm}$ 'dir. 1. ve 2. kat için $+X$ yönünde sırasıyla $2722.44 \times 10^3 \text{ kgm}$ ve $1906.17 \times 10^3 \text{ kgm}$ 'dir. Tam tersi yönde yani $-X$ yönünde bodrum katta devrilmeye karşı oluşan moment $2769.84 \times 10^3 \text{ kgm}$ 'dir. Aynı yönde bu değer zemin kat için $3485.33 \times 10^3 \text{ kgm}$ 'dir. 1. ve 2. kat için ise sırasıyla $1988.06 \times 10^3 \text{ kgm}$ ve $1401.14 \times 10^3 \text{ kgm}$ 'dir. Bu değerlere göre $+X$ ve $-X$ yönlerinde devrilmeye karşı koyan en büyük moment zemin katta meydana gelmiştir. Ayrıca $+Y$ yönünde bu moment değeri bodrum kat için $4448 \times 10^3 \text{ kgm}$ 'dir. Zemin kat için ise $5613.38 \times 10^3 \text{ kgm}$ 'dir (Tablo 6). Bu moment değeri 1. ve 2. katlar için ise sırasıyla $2636.77 \times 10^3 \text{ kgm}$ ve $1818.85 \times 10^3 \text{ kgm}$ 'dir. Tam tersi yönde yani $-Y$ yönünde ise bodrum katta $4600 \times 10^3 \text{ kgm}$ devrilmeye karşı moment meydana gelmiştir. Ayrıca zemin katta ise $5784.25 \times 10^3 \text{ kgm}^3$ moment oluşmuştur. Son olarak 1. ve 2. katta $4038.7 \times 10^3 \text{ kgm}$ ve $2868.1 \times 10^3 \text{ kgm}$ momentler meydana gelmiştir. 4 yön birbiri ile karşılaştırıldığında en fazla devrilmeye karşı koyan momentin $-Y$ yönünde meydana geldiği gözlemlenmiştir (Tablo 6). Tablo 7'de ise depremden dolayı katlara gelen kesme kuvvetleri tablo halinde sunulmuştur. Bu tabloya göre bodrum katta $403.73 \times 10^3 \text{ kg}$ 'lık bir kuvvet etki etmektedir. Ayrıca bu kuvvet değeri zemin katta $364.46 \times 10^3 \text{ kg}$ 'dir. 1. ve 2. katlarda ise depremden dolayı katlara gelen kesme kuvveti değerleri $238.33 \times 10^3 \text{ kg}$ ve $120.76 \times 10^3 \text{ kg}$ 'dir. Bu değerler hem X hem de Y yönü için de geçerlidir. Tablo 8'de binanın mantolama işlemi yapıldıktan sonraki performans sonuçları sunulmuştur. Bu performans sonuçları binanın mevcut durumu ile karşılaştırıldığında, mevcut durumdaki kapasitesi yetersiz duvarların ve kesme emniyetini sağlamayan duvarların mantolama işleminden sonra yeterli hale geldikleri görülmektedir. Bu sonuç ile mantolama işleminin binanın servis ömrünü uzattığı kanıtlanmıştır. Şekil 11'de binanın mevcut durumu ile güçlendirilmiş durumu arasında grafiksel olarak karşılaştırma yapılmıştır. $+X$, $-X$, $+Y$ ve $-Y$ yönleri için oluşturulan grafiklere göre mantolama işleminden sonra devrilmeye karşı koyan momentin açık bir şekilde arttığı görülmektedir. Yükseklik

boyunca her katta moment değerleri farklıdır ve en çok devrilme momentine karşı koyan moment zemin kat seviyesinde meydana gelmiştir. Ayrıca depremden dolayı katlara gelen kesme kuvveti-kat yüksekliği grafiği binanın mevcut durumu ve güçlendirme sonrası durumu için karşılaştırmalı olarak Şekil 12’de sunulmuştur. Bu grafiğe göre mantolama işleminden sonra katlara gelen kesme kuvveti değerleri bariz bir şekilde artmıştır.

Tablo 5. Binanın genel durumu

| Kat İsmi | Kat İndisi | Kat Yüksekliği | Hareketli Yük Katılım Katsayısı | Kattaki Duvar Sayısı (Adet) | Döşeme Sayısı (Adet) | Düşey Hatıl Sayısı (Adet) | Hatıl Sayısı (Adet) | Kapı Sayısı (Adet) | Pencere Sayısı (Adet) | Manto Sayısı (Adet) |
|----------|------------|----------------|---------------------------------|-----------------------------|----------------------|---------------------------|---------------------|--------------------|-----------------------|---------------------|
| Bodrum | B | 240 | 0.3 | 28 | 8 | 0 | 9 | 9 | 0 | 16 |
| Zemin | Z | 372 | 0.3 | 45 | 8 | 0 | 25 | 11 | 16 | 36 |
| 1.Kat | 1 | 362 | 0.3 | 30 | 6 | 0 | 21 | 7 | 16 | 23 |
| 2.Kat | 2 | 308 | 0.3 | 23 | 9 | 0 | 10 | 5 | 5 | 12 |

Duvarların Birim hacim Ağırlıkları (kg/m^3): 1500

Duvar Çatlama Emniyet Gerilmesi (MPa): 0.25

Elastisite Modülü (MPa): 800

Tablo 6. Devrilme momenti kontrolü tablosu

| Kat Adı | V_i (10^3 kg) | YY (cm) | VHi | KatG | Devrilme Momenti Kontrolü | | | | Mao+X | Mao-X | Mao+Y | Mao-Y |
|---------------|--------------------------------|------------|---------|--------|---------------------------|-------|------|-------|----------|---------|---------|----------|
| | | | | | HYKK | KatQ | KMX | KMY | | | | |
| Bodrum | 39.27 | 240 | 94.24 | 437.71 | 0.3 | 53.89 | 5.78 | 11.26 | 3614.82 | 2769.84 | 4448 | 4600 |
| Zemin | 126.13 | 612 | 771.92 | 555.57 | 0.3 | 53.89 | 5.77 | 11.24 | 4557.33 | 3485.33 | 5613.38 | 5784.25 |
| 1.Kat | 117.57 | 974 | 1145.12 | 323.43 | 0.3 | 38.1 | 5.6 | 13.4 | 2722.44 | 1988.06 | 2636.77 | 4038.7 |
| 2.Kat | 108.65 | 1282 | 1392.9 | 223.68 | 0.3 | 38.1 | 5.62 | 13.55 | 1906.17 | 1401.14 | 1818.85 | 2868.1 |
| Toplam | 403.73 | | 3404.17 | | | | | | 12800.77 | 9644.38 | 14517 | 17291.06 |

Devrilme Momenti Kontrolü: $M_o = \sum (V_i * H_i)$; M_o : Devirmeye Çalışan Moment (Tüm Yönlerde Aynı),

$\sum M_{ac}$: Devrilmeye Karşı Koyan Moment

$M_o < M_{ao+X}$, +X Yönünde Devrilme Momenti Kontrolü Sağlanmıştır.

$M_o < M_{ao-X}$, -X Yönünde Devrilme Momenti Kontrolü Sağlanmıştır.

$M_o < M_{ao+Y}$, +Y Yönünde Devrilme Momenti Kontrolü Sağlanmıştır.

$M_o < M_{ao-Y}$, -Y Yönünde Devrilme Momenti Kontrolü Sağlanmıştır.

Kullanılan Simgeler

V_i : Katlara Depremden Dolayı Etkiyen Kuvvet.

YYi: Yerden Yükseklik.

HYKK: Hareketli Yük Katılım Katsayısı.

KMX: Kütle Merkezi X ordinatı.

KMY: Kütle Merkezi Y Ordinatı.

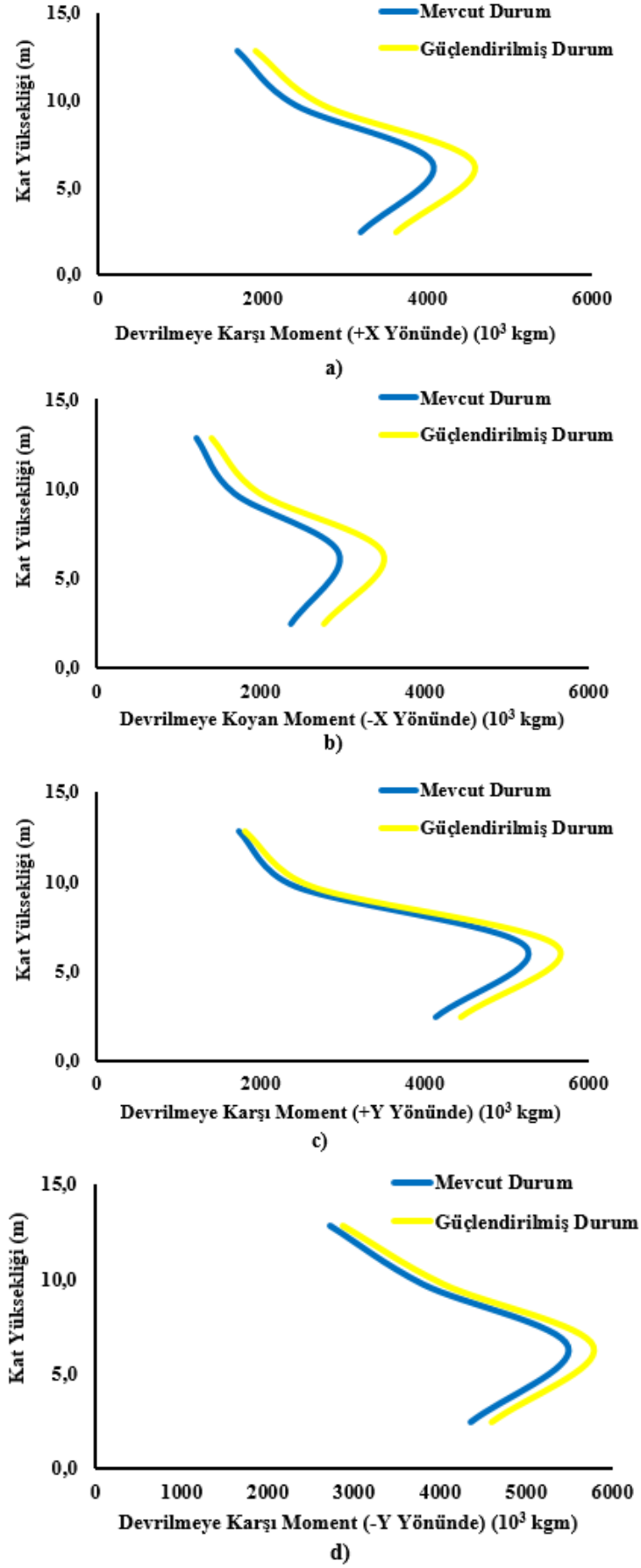
Tablo 7. Depremden dolayı katlara gelen kesme kuvveti

| Depremden Dolayı Katlara Gelen Kesme Kuvveti | | | | | | | | | | | | |
|--|----------------------------|------|----------------------------|---------|------|---------|----------------------------|--------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| Kat Adı | WG (10 ³ kg) | HYKK | WQ (10 ³ kg) | Wi | Hi | Wi*Hi | $\frac{Wi*Hi}{\sum Wi*Hi}$ | $\sum Wi*Hi$ | ViX (10 ³ kg) | Viy (10 ³ kg) | QiX (10 ³ kg) | Qiy (10 ³ kg) |
| Bodrum | 437.71 | 0.3 | 53.89 | 453.88 | 240 | 1089.3 | 0.1 | 39.27 | 39.27 | 39.27 | 403.73 | 403.73 |
| Zemin | 555.57 | 0.3 | 53.89 | 571.74 | 612 | 3499.05 | 0.32 | 126.13 | 126.13 | 126.13 | 364.46 | 364.46 |
| 1.Kat | 323.43 | 0.3 | 38.1 | 334.86 | 974 | 3261.56 | 0.3 | 117.57 | 117.57 | 117.57 | 238.33 | 238.33 |
| 2.Kat | 223.68 | 0.3 | 38.1 | 235.11 | 1282 | 3014.13 | 0.28 | 108.65 | 108.65 | 108.65 | 120.76 | 120.76 |
| Toplam | 1540.4 | | | 1595.39 | | 10864.0 | 1 | 403.73 | | 403.73 | | |

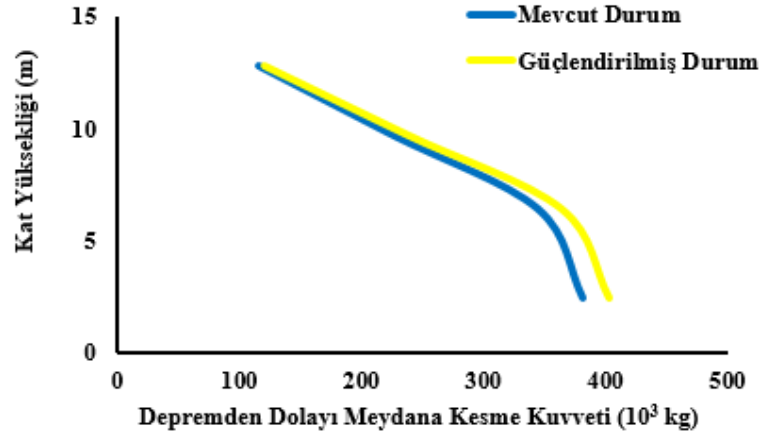
Kullanılan Simgeler
WG: Katın Ölü Yük Toplamı (10³ kg).
HTKK: Hareketli Yük Katılım Katsayısı.
WQ: Katın Hareketli Yük Toplamı.
Wi: Katın Deprem Etkisi Hesabında Kullanılan Yük Toplamı.
Hi: Kat Üst Döşeme Üstünün Temel Üstünden Mesafesi.
Vi: Katlara Depremden dolayı Kat Hizalarında Etkiyen Kuvvet.
Qi: Katlara Depremden Dolayı Etkiyen Kesme Kuvveti.

Tablo 8. Performans değerlendirmesi

| Performans Değerlendirmesi | | | | | | | | | | | | |
|---|-------------|-------------------------|-------|----------------------------|--|-----------|-----------|--------------------|-----------|---|---|--|
| Kat Adı | Deprem Yönü | Qi (10 ³ kg) | e (m) | Mbi (x10 ³ kgm) | $\sum Vr$ (duvar) (10 ³ kg) | $\sum Wa$ | $\sum Wn$ | $\sum Yetersiz Wn$ | $\sum WL$ | $\sum Yetersiz Vr$ (10 ³ kg) | $\sum Yetersiz Ve$ (10 ³ kg) | $\sum Yetersiz Ve/Qi$ (10 ³ kg) |
| Bodrum Kat | +X | 403.73 | 0.22 | -60.61 | 610.78 | 29.79 | 11 | 0 | 61.09 | 0 | 0 | 0 |
| | -X | | | -60.61 | | | | | | | | |
| Zemin Kat | +Y | 403.73 | -0.15 | 90.82 | 895.96 | 40.24 | 16 | 0 | 69.05 | 0 | 0 | 0 |
| | -Y | | | 90.82 | | | | | | | | |
| 1.Kat | +X | 364.46 | 0.72 | -627.0 | 601.31 | 25.8 | 15 | 0 | 53.44 | 0 | 0 | 0 |
| | -X | | | -627.0 | | | | | | | | |
| 2.Kat | +Y | 364.46 | -1.72 | 262.9 | 701.09 | 31.03 | 22 | 0 | 56.24 | 0 | 0 | 0 |
| | -Y | | | 262.9 | | | | | | | | |
| 1.Kat | +X | 238.33 | -0.17 | -12.28 | 353.63 | 15.22 | 12 | 0 | 33.23 | 0 | 0 | 0 |
| | -X | | | -12.28 | | | | | | | | |
| 2.Kat | +Y | 238.33 | -0.05 | -39.82 | 292.19 | 19.97 | 18 | 0 | 44.84 | 0 | 0 | 0 |
| | -Y | | | -39.82 | | | | | | | | |
| 2.Kat | +X | 120.76 | 0 | -22.14 | 285.38 | 18.55 | 7 | 0 | 38.33 | 0 | 0 | 0 |
| | -X | | | -22.14 | | | | | | | | |
| 2.Kat | +Y | 120.76 | -0.18 | 0.44 | 378.19 | 23.3 | 14 | 0 | 52.53 | 0 | 0 | 0 |
| | -Y | | | 0.44 | | | | | | | | |
| Kullanılan Simgeler | | | | | | | | | | | | |
| Qi: Kata Etkiyen Deprem Kuvveti (10 ³ kg). e: Kat Kütle Merkezi ile Rijitlik Merkezi Arasındaki Mesafe İzdüşüm Uzunluğu (m). Mbi: Kat Burulma Momenti (10 ³ kgm). Vr (duvar): Duvar Kesme Kuvveti Taşıma Kapasitesi (10 ³ kg). $\sum Wa$: Kattaki İlgili Yönde Duvar Alanı Bileşeni (m ²). $\sum Wn$: Kattaki İlgili Yönde Duvar Sayısı (adet). $\sum Yetersiz Wn$: Kesme Kapasitesi Yetersiz Duvar Sayısı (adet). $\sum WL$: Kattaki İlgili Yönde Duvar Uzunluğu Toplamı (m). $\sum Yetersiz Vr$: Kapasitesi Yetersiz Duvarların Kesme Kuvveti Toplamı (10 ³ kg). $\sum Yetersiz Ve$: Kapasitesi Yetersiz Duvarlara Gelen Toplam Kesme Kuvveti (10 ³ kg). Yetersiz $\sum Ve/Qi$: Dayanımı Yetersiz Duvarların Kat Kesme Kuvvetine Katkısı. | | | | | | | | | | | | |



Şekil 11. Devrilmeye karşı koyan moment-kat yüksekliği grafikleri a) +X yönünde b) -X yönünde c) +Y yönünde d) -Y yönünde



Şekil 12. Depremden dolayı katlara gelen kesme kuvveti-kat yüksekliği grafiği

6. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada, tarihi yapıların güvenliği ve servis ömürleri için mantolama-güçlendirme işleminin ne kadar önemli olduğunun anlaşılması ve gösterilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla Rombaki tarihi yapıya bu çalışmada 3 boyutlu modelleme için seçilmiştir. Bina modellendikten sonra binanın mevcut durumu analiz edilmiştir. Daha sonra binanın belirli kısımlarına mantolama yaparak binanın performansının hemen kullanım olması sağlanmıştır (2018 Deprem Yönetmeliği). Yapılan analiz sonuçları göz önüne alınarak aşağıda belirtilen önerilerin dikkate alınması faydalı olacaktır.

- Tarihi yapıların güçlendirme mantoları ile sağlamlaştırılması bu yapıların uzun ömürlü olmaları için çok büyük önem arz etmektedir. Ancak bu mantolama işlemi sırasında manto kalınlıklarının ve kullanılan mantonun yerinin binanın tarihi dokusuna zarar vermemesine çok dikkat edilmelidir. Aksi takdirde ülke turizmi için büyük öneme sahip olan bu yapılar çok büyük hasarlar alabilmektedir.
- Tarihi yapıların güçlendirilmesi sırasında mantoların rastgele değil 3 boyutlu modelleme sonucunda hasarlı bölgeler göz önünde bulundurularak yapılmasına özen gösterilmelidir.
- Binanın mevcut durumu ile mantolama sonrası durumu karşılaştırıldığında devrilmeye karşı koyan momentlerin tüm katlar için güçlendirme sonrasında daha fazla olduğu açıkça gözlemlenmiştir. Bu sonuç, mantolama işleminin tarihi yapıların tarihi dokularına zarar vermeden yapıldığında ne kadar önemli olduğunu göstermektedir. Ayrıca devrilmeye karşı koyan moment diğer katlara oranla en fazla zemin kattaki duvarlarda meydana gelmiştir.
- Depremden dolayı katlara gelen kesme kuvveti mantolama işleminden sonra her kat için -X, +X, -Y, +Y yönlerinde artış gösterdiği gözlemlenmiştir. Bu sonuç, mantolama işleminden sonra depremden sonra yapıya daha fazla kesme kuvveti geldiğinin bir kanıtıdır.
- Mantolama ve güçlendirme işlemleri yeni 2018 Türk deprem yönetmeliğine göre yapılması gerekmektedir. Bu çalışmada, bu yönetmeliğe uyularak mantolama işlemleri yapılmıştır ve bundan sonra tarihi yapıya güçlendirme yapılırken eski deprem yönetmeliğine uyulmaması gerektiği ve bu yeni yönetmeliğe uyulması gerektiği önerilmektedir.

Yazarların Katkısı

Çalışmada tüm yazarlar eşit oranda katkı sunmuştur.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada, araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar

- [1] Örmecioglu H.T. 2010. Tarihi Yapıların Yapısal Güçlendirilmesinde Ana İlkeler ve Yaklaşımlar. Politeknik Dergisi, 13 (3): 233-237.
- [2] Kasapgil M.E. 2007. Eski Eserlerde Yığma Duvarların, Kubbelerin, Tonozların ve Temellerin Enjeksiyon Reçineleri ve Ankraj Sistemleriyle Güçlendirilmesi. Tarihi Eserlerin Güçlendirilmesi ve Geleceğe Güvenle Devredilmesi Sempozyumu, 27-29 Eylül 2007, 215-218.
- [3] Kasapgil M.E. 2007. Adana Ulucami Minaresi Güçlendirme Çalışması. Tarihi Eserlerin Güçlendirilmesi ve Geleceğe Güvenle Devredilmesi Sempozyumu, 27-29 Eylül 2007, 219-224.
- [4] Sesigür H., Çelik O.C. 2007. Ahi Çelebi Camisinin Onarımı ve Güçlendirilmesi. Tarihi Eserlerin Güçlendirilmesi ve Geleceğe Güvenle Devredilmesi Sempozyumu, 27-29 Eylül 2007, 231-238.
- [5] Arıoğlu E., Anadolu K., Arıoğlu A.Ü. 2007. Uluslararası Deprem Mühendisliği Açısından Önemli Bir Olgu ve Kayıp: Güçlendirilmiş Adapazarı Vilayet Binası. Tarihi Eserlerin Güçlendirilmesi ve Geleceğe Güvenle Devredilmesi Sempozyumu, 27-29 Eylül 2007, 241-254.
- [6] Aydın A.P., Kul F.N., Dönmez C., Erberik A. 2015. Urla Eski Tekel Binası (Arditi Köşkü): Yangın Öncesi Durum ve Yapısal İyileştirme-Güçlendirme Kararları. 5. Tarihi Eserlerin Güçlendirilmesi ve Geleceğe Güvenle Devredilmesi Sempozyumu, 1-3 Ekim 2015, 13-28.
- [7] Sert H., Partal E.M. 2015. Tarihi Köprülerin Restorasyonları Kapsamında Yürütülen Yapısal Analiz Çalışmaları ve Sonuçları. 5. Tarihi Eserlerin Güçlendirilmesi ve Geleceğe Güvenle Devredilmesi Sempozyumu, 1-3 Ekim 2015, 83-97.
- [8] Türker T., Bayraktar A., Kocaman İ., Çoruhlu B. 2015. Ölçekli Yığma Taş Kemer Köprü Modelinin Dinamik Davranışının Deneysel ve Analitik Olarak İncelenmesi. 5. Tarihi Eserlerin Güçlendirilmesi ve Geleceğe Güvenle Devredilmesi Sempozyumu, 1-3 Ekim 2015, 113-126.
- [9] Sert H., Yılmaz S. 2015. Tarihi Malabadi (Batman Su) Köprüsü'nde Yürütülen Restorasyon-Konservasyon Çalışmaları. 5. Tarihi Eserlerin Güçlendirilmesi ve Geleceğe Güvenle Devredilmesi Sempozyumu, 1-3 Ekim 2015, 143-153.
- [10] Onat O., Sayın E. 2015. Tarihi Taşar Köprüsünün Doğrusal Olmayan Sismik Analizi. 5. Tarihi Eserlerin Güçlendirilmesi ve Geleceğe Güvenle Devredilmesi Sempozyumu, 1-3 Ekim 2015, 301-311.
- [11] Mahrebel H.A. 2006. Tarihi Yapılarda Taşıyıcı Sistem Özellikleri, Hasarlar, Onarım Ve Güçlendirme Teknikleri. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [12] Domaneschi M., Cimellaro G.P., Scutiero G. 2019. A simplified method to assess generation of seismic debris for masonry structures. Engineering Structures, 186: 306-320.
- [13] Zhang S., Beyer K. 2019. Numerical investigation of the role of masonry typology on shear strength. Engineering Structures, 192: 86-102.
- [14] Zhang S., Beyer K. 2018. Seismic vulnerability of historic masonry buildings: a case study in the center of Lucca. Procedia Structural Integrity, 11: 169-176.
- [15] Masoomi H., van de Lindt J.W. 2016. Tornado fragility and risk assessment of an archetype masonry school building, Engineering Structures, 128: 26-43.
- [16] Araújo A.S., Oliveira D.V., Lourenço P.B. 2014. Numerical study on the performance of improved masonry-to-timber connections in traditional masonry Buildings. Engineering Structures, 80: 501-513.
- [17] Işık E., Öztürk G., Velioğlu E. 2016. Bitlis İlinde Bulunan Tarihi Bir Yığma Yapının Deprem Güvenliğinin Belirlenmesi. BEÜ Fen Bilimleri Dergisi, 5 (1): 59-64.
- [18] Karaşin İ.B., Eren B., Işık E. 2016. Mevcut bir yığma yapının farklı hızlı değerlendirme yöntemleri ile değerlendirilmesi. Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 5 (2): 70-76.
- [19] Işık E., Antep B. 2018. Ahlat İlçesinde Yer Alan Tarihi Yığma Minarenin Yapısal Analizi. BEÜ Fen Bilimleri Dergisi, 7 (1): 46-56.
- [20] Işık E., Aydın M.C., Ülker M. 2016. Performance Evaluation of a Historical Tomb and Seismicity of the Region. Bitlis Eren Univ J Sci & Technol, 6 (2): 59-65.

Araştırma Makalesi / Research Article

Cu(II) İyonlarının Sulu Çözeltilerden Poli(Vinil Pirlidon)-Poli(Vinil Alkol)/Selüloz Membranlarla Ayrılması

Cemal ÇİFCİ*, Funda MAVİLİ

*Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar, Türkiye
(ORCID: 0000-0001-9410-211X) (ORCID: 0000-0003-2288-4460)*

Öz

Bu çalışmada Cu(II) iyonlarının sulu ortamdan uzaklaştırılması kesikli karıştırıcı ultrafiltrasyon hücresi ile yapılmıştır. Poli(vinil pirlidon)-poli(vinil alkol)/Selüloz membranları kullanılmıştır. Aljinik asit polimerleri tutulmayı artırma amacıyla kompleks ajan olarak kullanılmıştır. Cu(II)'nin sulu çözeltileri değişik pH, basınç ve çözelti konsantrasyonu ile filtre edilmiştir. Cu(II) için en uygun tutulma değeri %2 (m/v) poli(vinil pirlidon)- %2 (m/v) poli(vinil alkol)/Selüloz membranları kullanılarak AA varlığında pH 6' da, 30 psi basınçta, 0.5×10^{-4} M Cu(II) konsantrasyonda ve 400 devir/dakika karıştırma hızında %82.9 olarak bulunmuştur. Bu membran ağır metallerin sulu çözeltilerden ayrılmasında kullanılabilir.

Anahtar kelimeler: Filtrasyon, membran, kompleks ajan, Cu(II) iyonu

Removal of Cu(II) Ions from Aqueous Solutions by Poly(Vinyl Pyrrolidone)-Poly(Vinyl Alcohol)/Cellulose Membranes

Abstract

In this study separation of Cu(II) ions from aqueous medium was investigated by batch stirred ultrafiltration cell. In this study, Poly(vinyl pyrrolidone)-poly(vinyl alcohol)/cellulose membranes were used. Alginate was used as complexing agents to enhance the retention. Aqueous solutions of Cu(II) were filtrated at different pH, pressure and concentration of solutions. The optimum retention for Cu(II) was found as 82.9% using 2 (w/v)% poly(vinyl pyrrolidone) - 2 (w/v)% poly(vinyl alcohol)/cellulose membranes when filtration was carried out in the presence of AA at pH 6, pressure of 30 psi, concentration of 0.5×10^{-4} M Cu(II) solutions and mixing speed of 400 rpm. This membrane can be used to separate heavy metals from aqueous solutions.

Keywords: Filtration, membrane, complexing agent, Cu(II) ion

1. Giriş

Membranlar seçici geçirgenliklerinden, ekonomik verimliliklerinden ve düşük enerji gereksinimlerinden dolayı ayırma işlemlerinde kullanılır [1-3]. Membran işlemlerinde; sistemin performansı akı, seçicilik ve tutma gibi parametrelerle ifade edilir. Membranlarla yüksek seçicilik yeterli akıda elde edildiğinde ideal hedefe ulaşılmış olunur [4].

Bir membranın ideal performansı ve uzun ömrü, doğru membran için uygun materyal seçimiyle ilgilidir. Yüksek veya düşük pH değerleri ve yüksek sıcaklık değerleri membranın performansını ve ömrünü etkiler [5]. Membranların bazı özellikleri ayırma işlemlerinde önemlidir. Bu özelliklerin temel özellikleri morfoloji, gözenek büyüklüğü ve membranların gözenek dağılımıdır [6].

Membranlar atık su arıtımında yaygın olarak kullanılabilir [7]. Atık sularda gözlemlenen en tehlikeli durum ağır metallerin varlığıdır. Ağır metal derişimi yüksek değerlere ulaştığında, canlılar için tehlikeli hale gelir. Endüstriyel atıklarda bulunan ve çevreye zarar veren ağır metal türleri en çok kömür, metal madenciliği ve metal kaplama atık sularında bulunur. Ek olarak, asit yağmurları toprağa ulaşır ve

*Sorumlu yazar: cifcicemal@aku.edu.tr

Geliş Tarihi: 07.04.2019, Kabul Tarihi: 23.07.2019

topraktaki ağır metalleri çözer. Bu nedenle çözünmüş ağır metaller; nehirlere, göllere ve yeraltı sularına karıştırarak su kirliliğine neden olabilir [8-9].

Membranlar, özellikle akı değerlerine göre mikrofiltrasyon, ultrafiltrasyon ve nanofiltrasyon gibi çeşitli tiplere ayrılabilir [10]. Membranlardaki tutma oranını arttırmak için ağır metal çözeltilere kompleksleştirici ajan polimerleri eklenebilir ve bu durumda yeni oluşturulan büyük makromoleküler yapılar, membrandan geçmeden tutulabilir. Bu işlemlerde suda çözünür polimerler tercih edilir [11]. Farklı polimerlerin farklı yöntemlerle birleştirilmesiyle kompozit membranlar elde edilebilir. Kompozit membranlar; kendilerini oluşturan polimerlerin üstün yönlerini içerdikleri için tercih edilebilirler [12].

Bu çalışmada; poli(vinil pirolidon) (PVP) –poli(vinil alkol) (PVA) / selüloz membranları ile Cu(II) iyonlarının sulu çözeltilerden ayrılması, tek başına bir iyon veya kompleks yapıcı madde olarak bir aljinik asit (AA) varlığında gerçekleştirildi. Basıncın, çözelti pH'ının ve çözelti derişimlerinin tutulma ve akı üzerindeki etkileri incelendi.

2. Materyal ve Metod

2.1. Deneyleerde Kullanılan Aletler ve Düzenekler

Deneyleerde kullanılan aletler; filtrasyon sistemi (Millipore Amicon 8400), etüv (İsolab), H metre (Hanna), ICP–MS (Thermoscientific-ICAP RQ), ısıtıcılı manyetik karıştırıcı (İka), kronometre (Oregon)

Filtrasyon sistemi basınç ayarlayıcı azot gaz tüpü, manyetik karıştırıcı ve filtrasyon hücresinden oluşmaktadır. pH' ı ve derişimi ayarlanmış 300 ml metal çözeltisi filtrasyon hücresinin çözelti konan bölümüne konur ve azot gazı yardımıyla istenen basınç ayarlanarak, filtrasyon sistemine yerleştirilmiş 7,6 cm çapındaki membrana gönderilir. 300 ml çözelti membrandan tamamen geçene kadar geçen süre, akı hesaplamak için not edilir. Filtrat çözeltilisinden numune alınarak metal analizi yapılır.

2.2. Deneyleerde Kullanılan Maddeler

Poli(vinil alkol) (PVA, MA: 72000); Fluka firmasına aittir. Membran yapımında kullanılmıştır. Poli(vinil pirilidon) (PVP, MA: 20000); Sigma-Aldrich firmasına aittir. Membran yapımında kullanılmıştır. Aljinik Asit (AA); Sigma firmasına aittir. AA orta viskoziteli sodyum tuzudur, filtrasyon işlemlerinde kompleksleştirici polimer olarak kullanılmıştır. Selüloz Filtre (Macherey-Nagel, MN 616 md); Macherey–Nagel firmasına aittir. Selüloz filtre membran yapımında destek olarak kullanılmıştır. (CuCl₂).2H₂O; Sigma-Aldrich firmasına aittir. Yapay olarak ağır metal içeren sulu çözeltilerin hazırlanmasında kullanılmıştır. HCl; Riedel firmasına aittir. pH'ı ayarlamak için kullanılmıştır. NH₃; Sigma-Aldrich firmasına aittir. pH'ı ayarlamak için kullanılmıştır.

2.3. Membranların Hazırlanması

Membranlar önceki çalışmamızda açıklandığı gibi hazırlandı [13]. Membranların hazırlanması kısaca şöyledir; %2 (m/v) PVP ve PVA içerikli sulu çözeltiler hazırlandı. Daha sonra bu çözeltilerin 10 mL'si Petri kabına (9 cm, çap) yerleştirilmiş filtre kağıtlarının (7.6 cm, çap) üzerine döküldü. Döküm çözücüsü (su) bir fırında 60 °C'de tamamen buharlaştırıldı. Membranlar daha sonra çapraz bağlama çözeltisi ile oda sıcaklığında çapraz bağlandı. Bundan sonra, membranlar önce oda sıcaklığında bir saf su banyosuna daldırıldı ve daha sonra kalıntı çözeltiyi uzaklaştırmak için saf su ile yıkandı. Çapraz bağlama çözeltisi sulu ortamda %60 (m/v) aseton içerisinde; çapraz bağlama maddesi olarak %10 (m/v) GA ve katalizör olarak %0.02 (m/v) HCl içermektedir.

2.4. Yüzde Tutulma ve Akının Bulunması

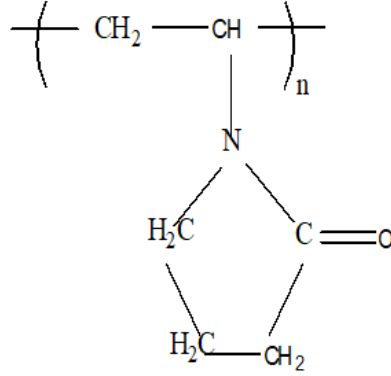
Filtrattaki Cu(II) iyonlarının derişimleri ICP – MS (Thermoscientific-ICAP RQ) cihazı ile bulunmuştur. İyonların tutulması ise;

$$\% R = \left(1 - \frac{C_s}{C_b}\right) \times 100 \quad (1)$$

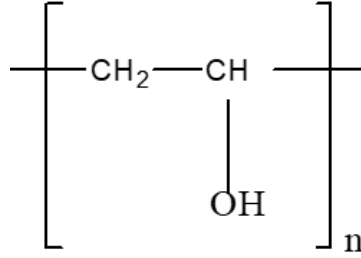
eşitliği kullanılarak elde edilmiştir. Burada C_s ve C_b sırasıyla filtratın ve besleme çözeltisinin konsantrasyonudur. Filtrat akısı ise birim zamanda membran alanından geçen filtrat hacminin membran alanına ve birim zamana bölünmesiyle ($L/m^2.sa$) biriminde bulunmuştur.

2.5. Deneylerde Kullanılan Polimerlerin Yapıları

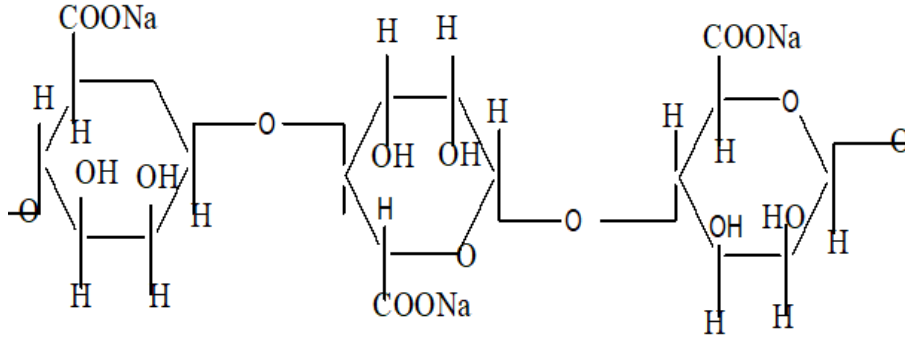
Poli(vinil pirlidon);



Poli(vinil alkol);



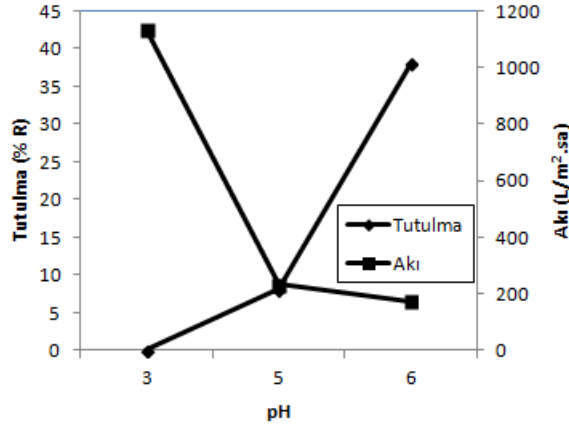
Aljinik Asit;



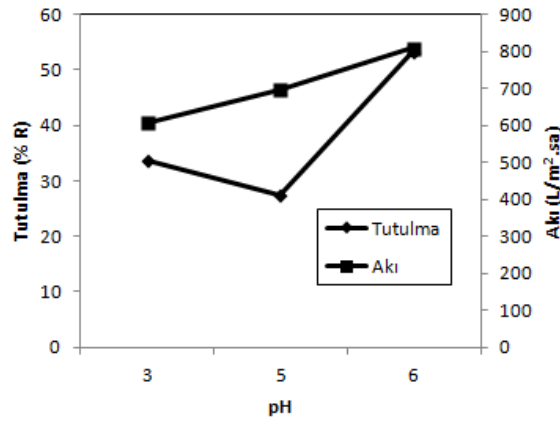
3. Bulgular ve Tartışma

3.1. pH'nın Cu(II) İyonları için Yüzde Tutulma ve Akı Üzerine Etkisi

Şekil 1 ve Şekil 2'de sırasıyla kompleksiz ve AA kompleksi varlığında pH'nın tutulma ve akıya etkileri verilmiştir. Filtrasyon işlemleri kompleksiz durumda $0.3 \times 10^{-4} M$ Cu(II) içeren çözeltiler ile kompleksli durumda ise $0.3 \times 10^{-4} M$ Cu(II) ve $0.3 \times 10^{-4} \text{ bg/L}$ AA içeren çözeltiler ile %2 (m/v) poli(vinil pirlidon)-%2 (m/v) poli(vinil alkol)/Selüloz membranlar kullanılarak 50 psi basınçta değişik pH içerikli çözeltiler hazırlanarak yapılmıştır. Her iki şekilden görüldüğü gibi düşük pH değerlerinde tutulma en düşük seviyededir. Düşük pH'larda ortamdaki H^+ 'lar Cu(II) iyonlarını iter ve gerek membrana tutulma gerekse kompleks oluşturma düşer ve tutulma azalır. pH 6'ya ulaşıldığında tutulma artmıştır.



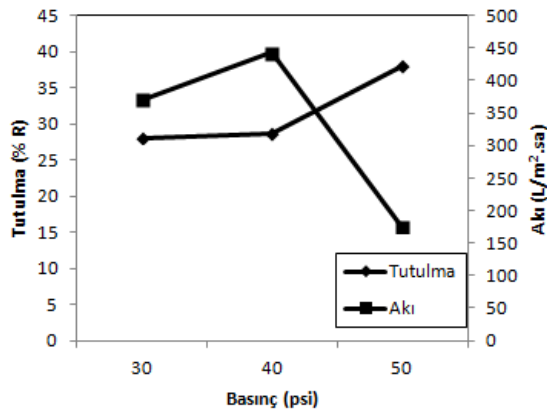
Şekil 1. pH'in kompleksiz ortamda Cu(II) iyonları için yüzde tutulma ve akı üzerine etkisi. ($C_{Cu(II)} = 0.3 \times 10^{-4}$ M, P = 50 psi, Membran = %2 (m/v) PVP- %2 (m/v) PVA/Selüloz)



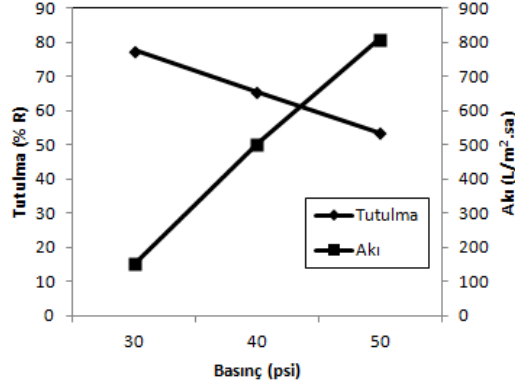
Şekil 2. pH'in AA varlığında Cu(II) iyonları için yüzde tutulma ve akı üzerine etkisi. ($C_{Cu(II)} = 0.3 \times 10^{-4}$ M, P = 50 psi, Membran = %2 (m/v) PVP- %2 (m/v) PVA/Selüloz)

3.2. Basıncın Cu(II) İyonları için Yüzde Tutulma ve Akı Üzerine Etkisi

Şekil 2 ve Şekil 3'te sırasıyla kompleksiz ve AA kompleksi varlığında basıncın tutulma ve akıya etkileri gösterilmiştir. Filtrasyon işlemleri kompleksiz durumda 0.3×10^{-4} M Cu(II) içeren çözeltiler ile kompleksli durumda ise $0,3 \times 10^{-4}$ M Cu(II) ve $0,3 \times 10^{-4}$ bg/L AA içeren çözeltiler ile %2 (m/v) poli(vinil pirilidon)- %2 (m/v) poli(vinil alkol)/Selüloz membranlar kullanılarak pH 6'da ve değişik basınçlarda yapılmıştır. Şekil 3'te görüldüğü gibi yüksek basıçta muhtemelen oluşan kekleşmeden dolayı akı azalmış ve tutulma artmıştır. Şekil 4'te ise yüksek tutulma akının azaldığı 30 psi basınçta gözlenmiştir.



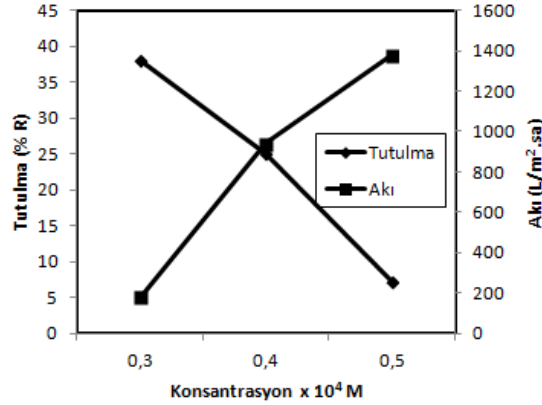
Şekil 3. Basıncın kompleksiz ortamda Cu(II) iyonları için yüzde tutulma ve akı üzerine etkisi. ($C_{Cu(II)} = 0.3 \times 10^{-4}$ M, pH = 6, Membran = %2 (m/v) PVP- %2 (m/v) PVA/Selüloz)



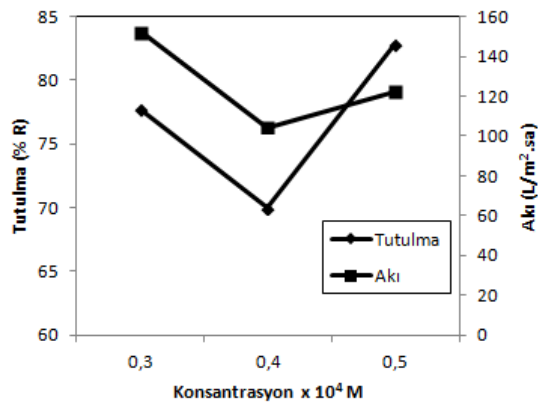
Şekil 4. Basıncın AA varlığında Cu(II) iyonları için yüzde tutulma ve akı üzerine etkisi. ($C_{Cu(II)} = 0.3 \times 10^{-4}$ M, pH = 6, Membran = %2 (m/v) PVP- %2 (m/v) PVA/Selüloz)

3.3. Çözelti Konsantrasyonunun Cu(II) İyonları için Yüzde Tutulma ve Akı Üzerine Etkisi

Değişik kompleksiz Cu(II) çözelti konsantrasyonları ile yapılan deneylerde önce %2 (m/v) poli(vinil pirilidon)- %2 (m/v) poli(vinil alkol)/Selüloz kompozit membranlar kullanılarak 50 psi basınç ve pH 6 şartlarında deneyler yapılarak Şekil 5'te gösterilmiştir. Bu şekilden görüldüğü gibi akının düşük olduğu 0.3×10^{-4} M Cu(II) çözeltileri için en yüksek tutulma gözlenmiştir. Değişik konsantrasyonda Cu(II) ve AA kompleks varlığında yapılan deneylerde Şekil 6'da gösterilmiştir. Bu şekilden de görüldüğü gibi en iyi tutulma 0.5×10^{-4} M Cu(II) ve 0.5×10^{-4} bg/L AA içeren çözeltiler ile %2 (m/v) poli(vinil pirilidon)- %2 (m/v) poli(vinil alkol)/Selüloz membranları kullanılarak pH 6'da ve 30 psi basınçta gözlenmiştir. Tutulmalardaki yüksek değerlerin membran üzerinde oluşan kekleşmelerden olduğu düşünülmektedir.



Şekil 5. Konsantrasyonun kompleksiz ortamda Cu(II) iyonları için yüzde tutulma ve akı üzerine etkisi. (pH = 6, P = 50 psi, Membran = %2 (m/v) PVP- %2 (m/v) PVA/Selüloz)



Şekil 6. Konsantrasyonun AA varlığında Cu(II) iyonları için yüzde tutulma ve akı üzerine etkisi. (pH = 6, P = 30 psi, Membran = %2 (m/v) PVP- %2 (m/v) PVA/Selüloz)

4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada Cu(II) iyonlarının kompleksiz ve AA kompleksi varlığında sulu çözeltilerden filtrasyon tekniği ile ayrılması araştırılmıştır. pH'ın, filtrasyon basıncının ve çözelti Konsantrasyonunun tutulma ve akı üzerine etkileri incelenmiştir. Kompleksleştirici olarak 0.5×10^{-4} bg/L AA varlığında 0.5×10^{-4} M Cu(II) için en iyi tutulmanın %2 (m/v) poli(vinil pirilidon)- %2 (m/v) poli(vinil alkol)/Selüloz membran ile 30 psi basınçta ve pH 6' da %82.9 olduğu bulunmuştur. Bu membranlar, ağır metallerin sulu çözeltilerden uzaklaştırılmasında kullanıldığı gibi, diğer büyük moleküllü maddelerin sulu ortamlardan uzaklaştırılmasının gerektiği endüstriyel çalışmalarda 50 psi basınca kadar kullanılabilir.

Teşekkür

Bu çalışma 17.FEN.BİL.51 numaralı proje ile Afyon Kocatepe Üniversitesi BAP koordinasyon birimi tarafından desteklenmiştir.

Yazarların Katkısı

Çalışmada tüm yazarlar eşit oranda katkı sunmuştur.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Etik Kurallar

Yapılan çalışmada, araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar

- [1] Lastra A., Gomez D., Romerob J., Francisco J.L., Luque S., Alvarez J.R. 2004. Removal of metal complexes by nanofiltration in a TCF pulp mill: technical and economic feasibility. *Journal of Membrane Science*, 242: 97-105.
- [2] Gzara L., Dhahbi M. 2001. Removal of chromate anions by micellar-enhanced ultrafiltration using cationic surfactants. *Desalination*, 137: 241-250.
- [3] Judd S.J. 2017. Membrane technology costs and me. *Water Research*, 122: 1-9.
- [4] Çifci C., Kaya A. 2010. Preparation of poly(vinyl alcohol)/cellulose composite membranes for metal removal from aqueous solutions. *Desalination*, 253: 175-179.
- [5] Dhodapkar R.S., Pophali G.R., Nandy T.N., Devotta S. 2007, Exploitation results of seven RO plants for recovery and reuse of treated effluents in textile industries. *Desalination*, 217: 291-300.
- [6] Neelakandan C., Pugazhenti G., Kumar A. 2003. Preparation of NO_x modified PMMA-EGDM composite membrane for the recovery of chromium (VI). *European Polymer Journal*, 39: 2383-2391.
- [7] Chen S.H., Wu B.H., Fu J.C., Wang G.J., Wan L.S., Xu Z.K. 2018. Vertically oriented microporous membranes prepared by bidirectional freezing. *Chinese Journal of Polymer Science*, 36: 880-887.
- [8] Vazquez-Palma D.E., Netzahuatl-Munoz A.R., Pineda-Camacho G., Cristiani-Urbina E. 2017. Biosorptive removal of nickel(II) ions from aqueous solutions by hass avocado (*persea americana* mill. Var. Hass) shell as an effective and low-cost biosorbent. *Fresenius Environmental Bulletin*, 26: 3501-3513.
- [9] Al-Asheh S., Banat F., Mohai F. 1999. Sorption of copper and nickel by spent animal bones. *Chemosphere*, 39 (12): 2087-2096.
- [10] Chang D.J., Hwang S.J. 1996. Removal of metal ions from liquid solutions by cross flow microfiltration. *Separation Science and Technology*, 31: 1831-1842.
- [11] Kozłowski C.A., Walkowiak W. 2002. Removal of chromium(VI) from aqueous solutions by polymer inclusion membranes. *Water Research*, 36: 4870-4876.

- [12] Yang L., Hsiao W.W., Chen P. 2002. Chitosan–cellulose composite membrane for affinity purification of biopolymers and immunoabsorption. *Journal of Membrane Science*, 197: 185-197.
- [13] Çiftçi C., Mavili F. 2019. Preparation of poly(vinyl pyrrolidone)-poly(vinyl alcohol)/cellulose composite membranes and its application for removing of Fe(III) ions. *Fresenius Environmental Bulletin*, 6: 4537-4541.

Araştırma Makalesi / Research Article

Merkez Kamu Kurumlarındaki Su ve Elektrik Tüketiminde Kurum Yöneticilerinin Rolü: Bursa İli Örneği

Melike YALILI KILIÇ*, Seval Kutlu AKAL SOLMAZ, Ayşe ELMACI

*Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Bursa
(ORCID: 0000-0001-7050-6742) (ORCID: 0000-0002-9413-8005) (ORCID: 0000-0002-1762-1140)*

Öz

Güney Marmara Bölgesi'ndeki Bursa ili, yoğun göç alan ve sanayi yönüyle sürekli gelişmekte olan bir il özelliğine sahiptir. Toplam il nüfusu Türkiye İstatistik Kurumu son açıklanan verilerine göre 2.901.396 olan ve 17 ilçesi ile birlikte Türkiye'nin 4.büyük şehridir. Bu çalışmada, Bursa ilinin kamu kurumlarında su ve elektrik enerji kaynaklarının kullanımı ve yönetimine karşı gösterdiği davranışları belirlemeye yönelik Bursa ili merkez ilçelerindeki 30 kamu kurumunda görev yapan 94 kurum yöneticilerine bir anket çalışması uygulanmıştır. Mevcut kaynak kullanımı hakkında ilgili kurum tarafından yapılan çalışmaların kapsamlı şekilde araştırılmasının amaçlandığı bu çalışmada, uygulanan anketlerden elde edilen veriler SPSS programı kullanılarak değerlendirilmiştir. Değerlendirme sonucunda, özellikle öne çıkan hususlar; kamu kurumlarının yöneticilerinin su ve elektrik tasarrufu konusunda duyarlı oldukları, tasarruf konusunda çalışanlarına yönelik düzenli olarak bilgilendirme amaçlı etkinlikler düzenledikleri, kurum binalarının içinde ve dışında ihtiyaç duyulan periyodik bakım, onarım, yenileme çalışmalarını yürüttükleri, kullanılan cihazlarda yüksek enerji sınıfında olanların tercih edildiği, olarak belirlenmiştir. Bursa halkını ve kamu kurumlarını bilinçlendirme amacıyla yapılan bu çalışmanın "Doğru su ve elektrik kullanımı" konusunda farkındalık oluşturarak, mevcut kaynakların sürdürülebilirliğinin sağlanabileceği ve gelecekte benzer konularda yapılacak çalışmalara temel teşkil edeceği düşünülmektedir.

Anahtar kelimeler: Bursa Kamu Kurumları, Su ve Elektrik İhtiyacı, Su ve Elektrik Tasarrufu, Sürdürülebilir Su Yönetimi.

The Role of Institute Managers in Water and Electrical Consumption in Central Public Institutions: Case Study of Bursa

Abstract

Bursa, located in the Southern Marmara Region is constantly developing across the industry and receiving intensive migration. With the total provincial population of 2,901,396 according to Turkey Statistical Institute data, Bursa is Turkey's 4th largest city with 17 district. In this study, a survey study was conducted on 94 institution managers working in 30 public institutions in the central districts of Bursa in order to determine the behavior of Bursa province against the use and management of water and electricity energy resources in public institutions. The data obtained from the survey used in this study, which is aimed to be investigated extensively by the relevant institution, is evaluated by using SPSS program. As a result of the evaluation, it was determined that the managers of public institutions were sensitive about saving water and electricity, organized regular information activities for their employees about the savings, carried out periodic maintenance, repair and renovation works in and outside the institutions, and preferred the high energy class devices. It is thought that this study, which was conducted to raise awareness of Bursa people and public institutions, will raise awareness on the right water and electricity use and that the sustainability of the available resources will be ensured and will be the basis for future studies.

Keywords: Bursa Public Institutions, Water and Electricity Requirements, Water and Electricity Saving, Sustainable Water Management.

*Sorumlu yazar: myalili@uludag.edu.tr

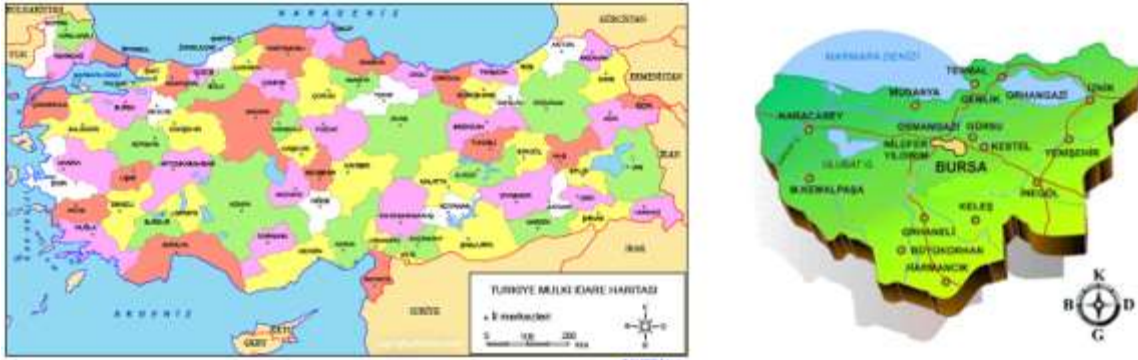
Geliş Tarihi: 11.04.2019, Kabul Tarihi: 21.10.2019

1. Giriş

Canlıların yaşamı ve hayatın sürdürülebilirliği için çok önemli bir madde olan su, en küçük canlı organizmadan en büyük canlı varlığa kadar, biyolojik yaşamı ve insan faaliyetlerini ayakta tutmaktadır [1,2]. Dünyadaki su kaynaklarının miktarı kısıtlı olup, aynı zamanda dengeli dağılmadığı görülmektedir. Öyle ki, kullanılabilir ve içilebilir nitelikteki su miktarı ancak %0,3 mertebesinde. Dünya nüfusunun yarısına yakını günümüzde su sıkıntısı çekmektedir [3]. Dünya Kaynakları Enstitüsü'nün araştırmalarına göre, yaklaşık 20 yıl sonra Türkiye'nin de içinde bulunduğu birçok ülkenin su kıtlığı problemi ile karşı karşıya kalacağı belirtilmektedir [4].

Tüm canlılar suya olduğu kadar enerjiye de ihtiyaç duymaktadırlar. Gelir seviyelerinin artması, yaşam kalitesinin yükselmesi ile enerji ihtiyacı da artmaktadır. Bu ihtiyaç, çeşitli enerji kaynaklarından faydalanılarak karşılanmaktadır. Elektrik bulunup kullanılabilir duruma getirilmesinden sonra ise, elektrik enerjisi rahatlıkla ve sıklıkla kullanılan bir enerji olmuştur. Kişi başına yıllık elektrik enerji tüketimi o ülkenin uygarlık derecesinin bir ölçüsü olarak değerlendirilmektedir. Elektrik enerjisi başlıca termik, hidro, nükleer ve diğer kaynaklardan üretilir [5]. Elektrik üretiminin 2017 yılı itibarıyla %'lik dağılımı sırası ile 37 doğal gaz, 33 kömür, 20 hidrolik enerji, 6 rüzgâr, 2 jeotermal enerji ve 2 diğer kaynaklar şeklindedir. Türkiye elektrik enerjisi tüketimi 2017 yılında bir önceki yıla göre %5,6 artarak 294,9 milyar kWh, elektrik üretimi ise, bir önceki yıla göre %7,7 oranında artarak 295,5 milyar kWh olarak gerçekleşmiştir [6].

Güney Marmara Bölgesi'nde yer alan ve Osmanlı Devleti'nin ilk başkentliğini yapmış olan Bursa, tarihi, turizmi ve sanayisi ile Türkiye'nin 4. büyük kentidir [7] (Şekil 1).



Şekil 1. Bursa'nın Türkiye'deki yer buldurumu [6]

Evliya Çelebi, "Seyahatname" isimli eserinde Bursa'ya övgüler yağdırmış ve su kaynakları açısından Bursa'nın zengin ve şanslı bir il olduğunu belirtmiştir. Bursa ilinin ihtiyaç duyduğu su miktarı günümüzde, Doğançlı Barajı, Nilüfer Barajı, Çınarcık Barajı başta olmak üzere pek çok barajdan ve yeraltı su yataklarından karşılanmaktadır [8-14]. Gelişen sanayisi ve aldığı göç sebebiyle Bursa'da elektrik enerjisi ihtiyacı gün geçtikçe artmaktadır. Artan bu ihtiyaç günümüzde doğalgaz, kömür, hidrolik, rüzgâr, biyogaz, güneş gibi kaynaklardan temin edilmektedir. Mevcut su ve elektrik miktarı ilde kapasiteyi karşılar düzeyde görünse de, gelecekte sıkıntı yaşanmaması için suyun ve elektriğin temin edildiği kaynakların tasarruflu kullanılmasına yönelik çalışmaların sürdürülmesini zorunlu kılar.

Bu çalışmada Bursa il merkez kamu kurumlarında görev yapan kamu idarecilerinin su-elektrik tüketim alışkanlıkları, su sorunu konusundaki bilgi düzeyi, su kaynaklarının korunması hakkındaki duyarlılığı, su-elektrik tasarruf önlemleri ve önerilerini belirlemeye yönelik, karşılıklı yüz yüze görüşmelerle bir anket çalışması gerçekleştirilmiştir. Araştırmada Bursa ilinin ele alınmasının temel nedenleri, Bursa'nın yurt içinden ve yurt dışından gelenlerle birlikte göç hareketliliğinin ve dolayısıyla nüfus artış hızının yüksek olması ve bunun sonucunda mevcut su kaynaklarının ve enerjinin artan talepleri karşılama yetersiz kalabilme ihtimalidir. Diğer bir neden ise, çalışmada ele alınan konu kapsamında bugüne kadar Bursa'da bilimsel anlamda herhangi bir araştırma çalışmasına rastlanmamış olmasıdır. Veri seti hem kalitatif, hem de kantitatif tekniklerden yararlanılarak elde edilen araştırma sonuçlarının, Bursa'da su-elektrik tüketim bilincini arttırmak amacıyla ilgili kişi ve kurumlar tarafından gerçekleştirilecek faaliyetlerde yol gösterici olacağı düşünülmektedir.

2. Materyal ve Metot

Bursa ilinde mevcut merkez kamu kurumlarına yönelik gerçekleştirilen anket çalışması 30 kamu kurumunda görev yapan il müdürleri, şube müdürleri, bölge müdürleri, daire başkanları, genel müdürler ve yönetici yardımcıları olmak üzere toplam 94 kamu yöneticisine uygulanmıştır. Anketin yöneticilere uygulanmasındaki temel neden, su ve elektrik tüketimi açısından daha bilinçli ve daha duyarlı bir şekilde anket sorularına yanıt verileceği ve daha gerçekçi bir değerlendirmenin ortaya konabileceğidir.

Anketin uygulandığı kurumların tamamı Bursa Büyükşehir Belediyesi sınırları içerisinde yer alan kamu kurumları olup, kurumların listesi Tablo 1’de verilmiştir:

Tablo 1. Anketin uygulandığı kamu kurumları ve yönetici sayıları

| Kamu Kurumu | Yönetici Sayısı |
|---|------------------------|
| Bursa Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü | 3 |
| Bursa Devlet Malzeme Ofisi | 3 |
| Bursa Vergi Dairesi Başkanlığı | 1 |
| Bursa İl Halk Kütüphanesi | 1 |
| Bursa Aile ve Sosyal Politikalar İl Müdürlüğü | 2 |
| Bursa İl Milli Eğitim Müdürlüğü | 5 |
| Bursa Su ve Kanalizasyon İdaresi (BUSKİ) | 8 |
| Bursa İl Sağlık Müdürlüğü | 3 |
| Bursa Karayolları 14.Bölge Müdürlüğü | 4 |
| Bursa İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğü | 3 |
| Bursa İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü | 1 |
| Bursa İl Tarım ve Orman Müdürlüğü | 4 |
| Bursa Devlet Tiyatrosu | 4 |
| Bursa Tapu ve Kadastro Bölge Müdürlüğü | 2 |
| Bursa İl Nüfus ve Vatandaşlık Müdürlüğü | 1 |
| Bursa Gençlik Hizmetleri ve Spor İl Müdürlüğü | 1 |
| Bursa Vakıflar Bölge Müdürlüğü | 2 |
| Bursa Büyükşehir Belediyesi | 5 |
| Bursa İl Müftülüğü | 3 |
| Bursa Devlet Su İşleri 1. Bölge Müdürlüğü | 7 |
| Bursa Orman Bölge Müdürlüğü | 6 |
| Bursa Defterdarlığı | 4 |
| Bursa Adliyesi | 3 |
| Sosyal Güvenlik Kurumu Bursa İl Müdürlüğü | 6 |
| Türkiye İş Kurumu Bursa İl Müdürlüğü | 2 |
| Bursa Posta ve Telgraf Teşkilatı İl Müdürlüğü | 1 |
| Bursa Türk Standartları Enstitüsü | 1 |
| Bursa Ticaret İl Müdürlüğü | 1 |
| Bursa Uludağ Gümrük ve Ticaret Bölge Müdürlüğü | 3 |
| Türkiye Elektrik İletim A.Ş. 2. Bölge Müdürlüğü | 4 |

Toplam 15 sorudan oluşan anket çalışmasında; kurum yöneticilerinin su ve elektrik tüketim alışkanlıkları, su sorunu konusundaki bilgi düzeyleri, su kaynaklarının korunması hakkındaki duyarlılıkları, kurumlarında uyguladıkları su-elektrik tasarruf önlemleri ve önerileri belirlenmeye çalışılmıştır. Anket soruları Tablo 2’de yer almaktadır.

Tablo 2. Anket çalışmasında yöneltilen sorular

Kişisel Bilgiler

1. Cinsiyetiniz

Kadın Erkek

2. Yaşınız

18-25 26-35 36-45 45-60 >60

3. Eğitim Seviyeniz

İlköğretim Lise Üniversite Yüksek Lisans Doktora

Kurum Yöneticisine Yönelik Sorular

1. Kurumunuzda su veya elektrik tasarrufu ile ilgili bilgilendirme yazısı paylaşıldı mı?

Evet Hayır Bilmiyorum

2. Personele elektrik ve su tasarrufu hakkında seminer düzenleniyor mu?

Evet (Açıklayınız.....) Hayır

3. Kurumda elektrik ve su tasarrufu yönünden denetimler yapılıyor mu?

Evet Hayır

4. Kurumunuzda ısınmayı nasıl sağlıyorsunuz?

Elektrikli ısıtıcı Merkezi sistem doğal gaz Kombi Diğer

5. Binada dış cephe izolasyonu var mı?

Evet Hayır Bilmiyorum

6. Kurum binasında kullanılan camlar çift cam mıdır?

Evet Hayır (Açıklayınız.....) Bilmiyorum

7. İş yerinizde kullanılan cihazlar tasarruf özelliğine sahip midir?

Evet Hayır Bilmiyorum

8. Bina dışı aydınlatmada herhangi bir tasarruf önlemi kullanılıyor mu?

Evet Hayır Bilmiyorum

9. Büyük ekranlı bilgisayarlar daha çok enerji tükettiği için, kurumunuzda bu konuda belirli bir standart uygulanıyor mu?

Evet Hayır Bilmiyorum

10. Su dağıtım ve iletim tesisatında TSE damgası olmayan malzeme kullanılıyor mu?

Evet Hayır Bilmiyorum

Uygulanan anket verileri, istatistiksel verileri analiz etmek amacı ile birçok disiplin tarafından kullanılan SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) [15] bilgisayar yazılımı kullanılarak, frekans tabloları ve bar grafikleri çerçevesinde her kurum ve her soru için istatistiksel olarak değerlendirilmiştir.

3. Bulgular ve Tartışma

Çalışma kapsamında, Bursa’da belirlenen 30 kamu kurumunda yönetici pozisyonunda görev yapan 94 yöneticiye uygulanan anket sonucunda elde edilen bulgular aşağıda verilmiştir. Anket çalışmasında kişisel bilgilere yönelik sorular değerlendirildiğinde, yapılan örneklemin 16’sı kadın (%18), 78’i (%82) erkek olup, örnekleme kurumlardaki yöneticilerin yaklaşık %25’inin kadın

yöneticilerden oluştuğu görülmüştür. Ankete katılanların %67’i 45-60, %30’u 36-45, %2’i 60 yaş üstü ve kalan %1 ise 26-35 yaş grubunda olduğu tespit edilmiştir. Örneklemede kurumlarda görev yapan yöneticilerden %98’inin üniversite mezunu olduğu belirlenmiştir. Kurumlardaki yöneticilere görev yaptıkları kurumdaki su ve elektrik tasarrufuna yönelik yöneltilen sorular değerlendirildiğinde aşağıdaki bulgular elde edilmiştir.

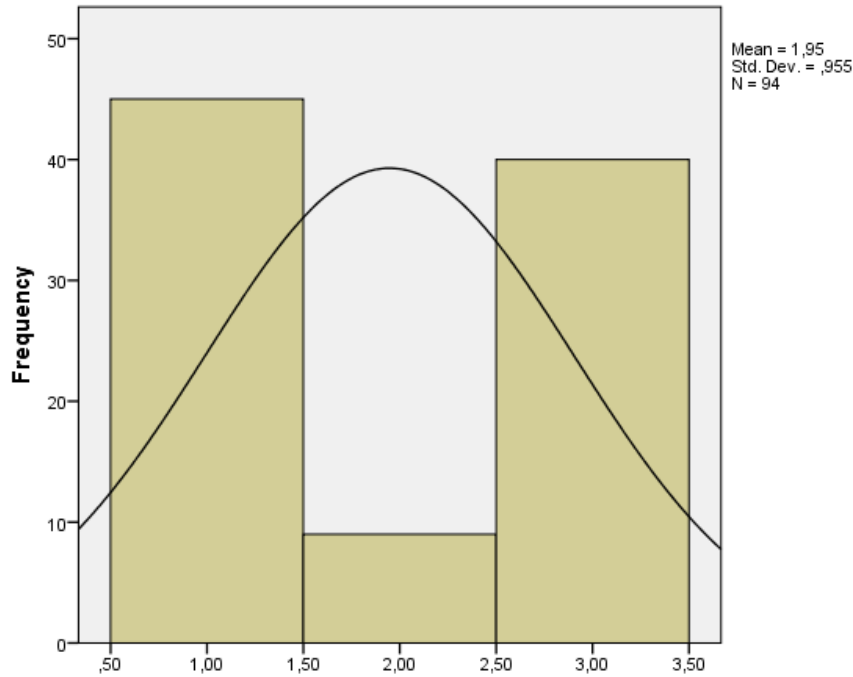
Kurumlarda yapılan anket çalışmasında “*Kurumunuzda su veya elektrik tasarrufu ile ilgili bilgilendirme yazısı paylaşıldı mı?*” sorusuna 94 yöneticinin tamamı evet yanıtını vermiştir.

Ankette “*Personele elektrik ve su tasarrufu hakkında seminer düzenleniyor mu?*” sorusuna ankete katılan yöneticilerin tamamı kurumlarında ilgili seminerlerin düzenlendiğini belirtmişlerdir. Seminerler, farklı kamu/özel kurum ve kuruluşlarından destek alınarak düzenlenmiştir.

Kurumlarda yapılan anket çalışmasında “*Kurumlarda elektrik ve su tasarrufu yönünden denetimler yapılıyor mu?*” sorusuna tüm yöneticilerden “evet” yanıtı alınmıştır. Bu bağlamda, kurumlarda, tasarrufa yönelik uyarı yazılarının personele duyurulduğu, periyodik olarak tasarrufun önemini belirten bilgilendirmelerin yapıldığı ve özellikle yeni inşa edilecek kamu kurum binalarında su ve elektrik tasarrufuna yönelik çalışmaların (klasik armatürlerin fotoselli armatürlerle değiştirilmesi, ofislerde lamba sayılarının azaltılması ve tasarruflu lamba kullanılması, bireysel elektrikli ısıtıcı veya klima kullanımı yerine ısı kontrollü merkezi ısıtma ve havalandırma sistemlerinin tercih edilmesi, vb.) planlanmakta olduğu vurgulanmıştır. Su konusunda alınacak her kararın, atılacak her adımın hayati ve son derece önemli olduğunu vurgulayan Fridin 2015 yılında yaptığı çalışmasında [16], insan ve doğanın ayrışması gibi bir durumdan söz edilemeyeceğini, insanın etik ve ahlaki değerlere sahip olduğu takdirde, diğer canlılara da değer vereceğini, onların yaşam hakkına saygı gösterecek şekilde hareket edeceğini ve bu sayede, yaşanılabilir bir çevreye sahip olunabileceğini belirtmiştir.

Anket çalışmasında, 94 yöneticinin tamamı “*Kurumunuzda ısınmayı nasıl sağlıyorsunuz?*” sorusuna, merkezi sistem doğal gaz yanıtını vermiştir. Bu durum, Bursa ili için kamu kurumlarında yakıt ve elektrik tasarrufu açısından doğru bir tercihin göstergesidir.

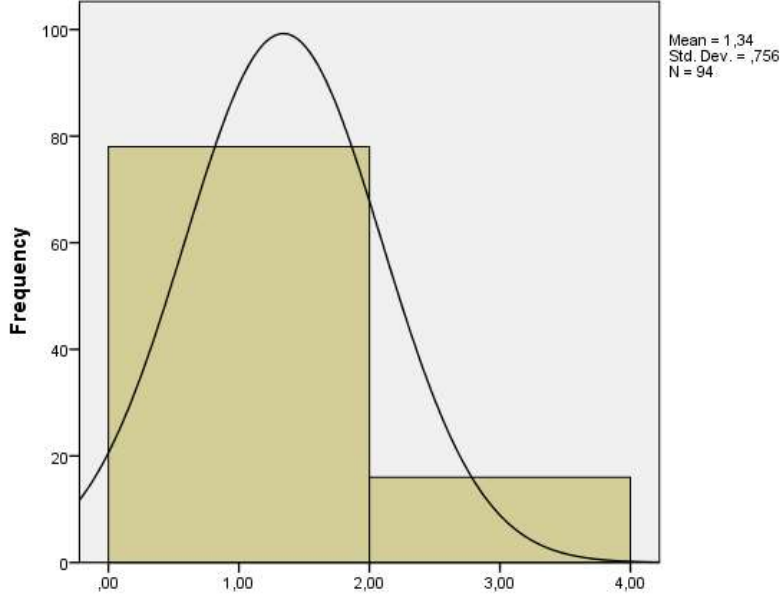
“*Binada dış cephe izolasyonu var mı?*” sorusuna ankete iştirak eden yöneticilerin hemen hemen yarısı “evet”, 9’u “hayır”, geri kalanı ise “bilmiyorum” yanıtını vermiştir (Şekil 2). Kurumlardaki yöneticilerden alınan “evet” yanıtının çoğunlukta olması ısı yalıtımına duyarlılık gösterildiğini kanıtlamaktadır.



Şekil 2. Binada dış cephe izolasyonu var mı? sorusunun bar grafiği

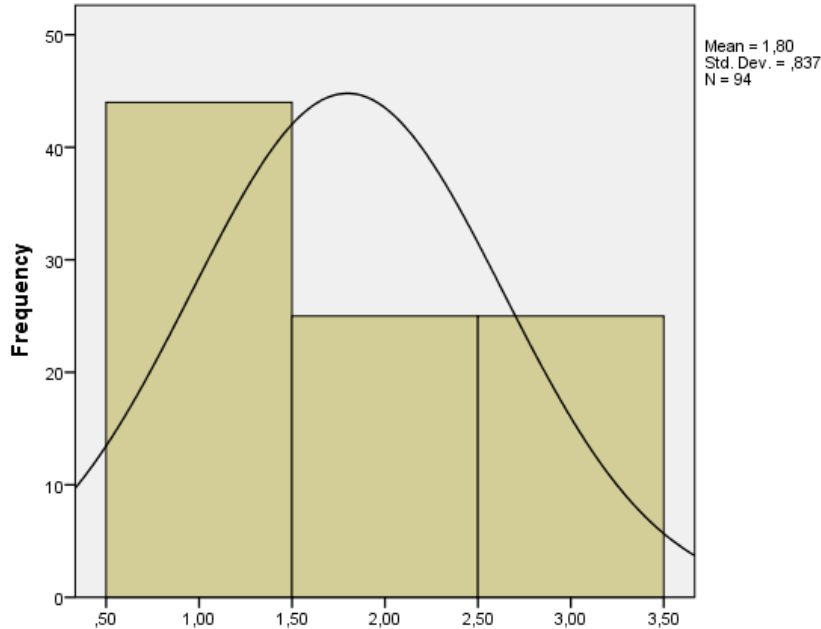
“*Kurum binasında kullanılan camlar çift cam mıdır?*” sorusuna yöneticilerin tamamına yakını (%95) “evet” yanıtını vermiştir. Bu durum, enerji tasarrufu açısından çevreci bir yaklaşımı göstermektedir.

Yöneticiler, “İş yerinizde kullanılan cihazlar tasarruf özelliğine sahip midir?” sorusuna Şekil 3’de görüldüğü üzere %83 “evet” yanıtı ile iş yerinde kullanılan cihazların tasarruf özelliğine sahip olduğunu belirtmişlerdir. Hayır yanıtının alınmadığı bu soruyu yöneticilerin %17’si “bilmiyorum” şeklinde yanıtlamışlardır.



Şekil 3. İş yerinizde kullanılan cihazlar tasarruf özelliğine sahip midir? sorusunun bar grafiği

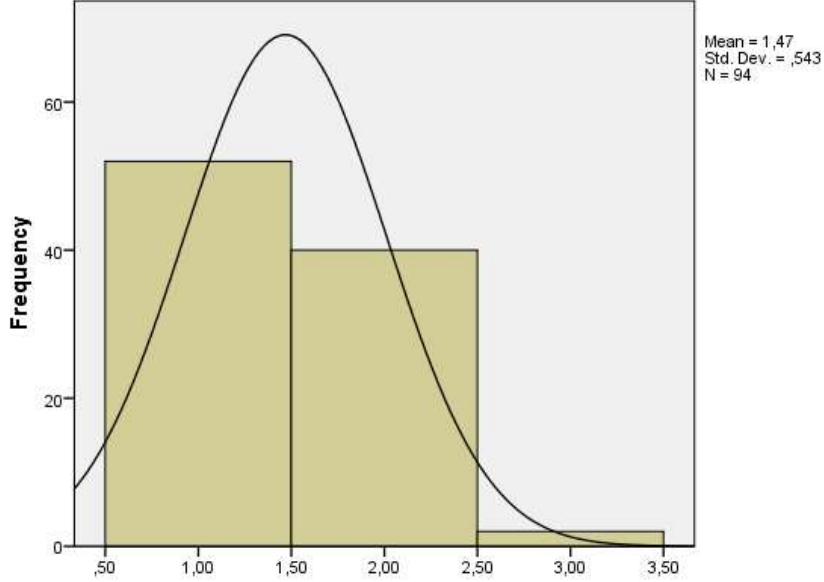
Kurumlarda yapılan anket çalışmasında “Bina dışı aydınlatmada herhangi bir tasarruf önemi kullanılıyor mu?” sorusuna 94 yöneticinin 44’ü bu soruya “evet”, 25’i “hayır”, diğer 25 yönetici ise “bilmiyorum” yanıtını vermiştir. Yaklaşık %47 evet cevabı ile iş yerinde bina dışı aydınlatmada tasarruf önemi alındığı Şekil 4’de görülmektedir.



Şekil 4. Bina dışı aydınlatmada herhangi bir tasarruf önemi kullanılıyor mu? sorusunun bar grafiği

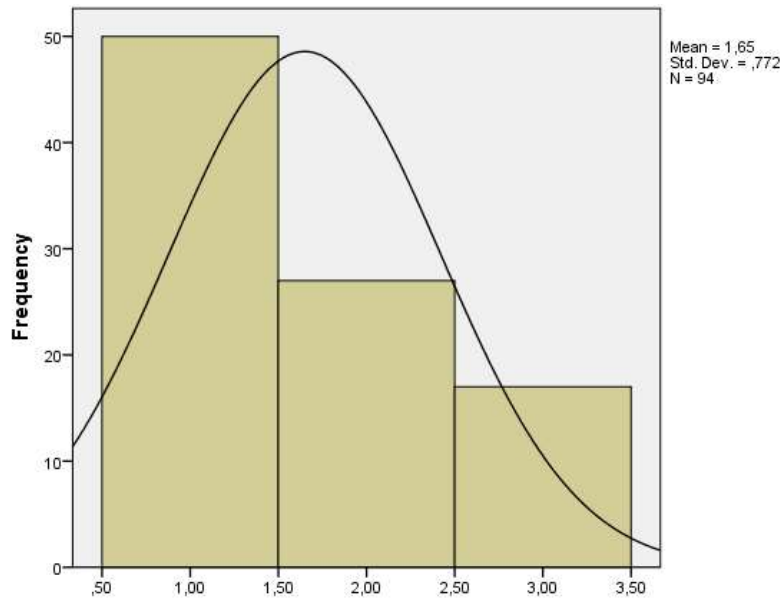
Şekil 5’te görüldüğü üzere, kurumlarda yapılan anket çalışmasında 94 yöneticinin 53’ü “Büyük ekranlı bilgisayarlar daha çok enerji tükettiği için, kurumunuzda bu konuda belirli bir standart uygulanıyor mu?” sorusuna? 52 yönetici “evet”, 40 yönetici “hayır” ve 2 yönetici “bilmiyorum” yanıtını vermişlerdir. Bilgisayarlarda tasarruf öneminin alındığı, %55 evet yanıtı ile anlaşılmaktadır. Roberts ve

Bacon'ın 1997 yılında yaptıkları çalışma [17] ile Pinto ve arkadaşlarının 2014 yılında yaptıkları çalışmalarda [18] enerji tasarrufu, doğal kaynakların sınırlı olduğu, fosil yakıt tüketiminin doğaya zarar verdiği dikkate alınarak temel ihtiyacı karşılayacak kaynak tüketiminden fazlasının yapılmaması gerektiği şeklinde tanımlanmıştır. Özellikle 2050 yılında dünya ekonomisinin bugünden 4 kat daha büyük olacağı ve günümüzden %80 daha fazla enerji ve doğal kaynağa ihtiyaç duyulacağı düşünüldüğünde, enerji tasarrufunun ne denli önemli bir sorumlu tüketim davranışı olduğu ortaya çıkmaktadır [19]. Bu bağlamda, yöneticilerin tasarrufla ilgili sorulara verdikleri olumlu yanıtlar su ve enerjinin sürdürülebilir kullanımı konusundaki duyarlılıklarını göstermektedir.



Şekil 5. Büyük ekranlı bilgisayarlar daha çok enerji tükettiği için, kurumunuzda bu konuda belirli bir standart uygulanıyor mu? sorusunun bar grafiği

“Su dağıtım ve iletim tesisatında TSE damgası olmayan malzeme kullanılıyor mu?” sorusuna 94 yöneticinin 50’si “evet”, 27’si “hayır” ve kalan 17 yönetici ise “bilmiyorum” yanıtını vermişlerdir. “Evet” yanıtının %53 olduğu bu soruda kurum binalarındaki su tesisatında TSE damgası olmayan malzeme kullanıldığı anlaşılmaktadır (Şekil 6). Bu durum yurtdışı menşeli düşük maliyetli malzemelerin tercih edildiğini göstermektedir.



Şekil 6. Su dağıtım ve iletim tesisatında TSE damgası olmayan malzeme kullanılıyor mu? sorusunun bar grafiği

4. Sonuçlar

Önemli bir tarihi geçmişe sahip olan Bursa, Türkiye'nin 4. büyük kentidir. Gelişen sanayisi ve günümüzde yaklaşık 3 milyonluk nüfusuyla en fazla göç alan illerden birisidir. Bu nüfusun ihtiyacı olan içme ve kullanma suyunu Bursa'daki mevcut su kaynaklarının karşılayacak kapasitede olduğu görülmektedir. Bu amaçla, ilgili merci tarafından su temini konusunda yapılan çalışmalar (yeni su kaynaklarının belirlenmesi, baraj vb. su yapılarının projelendirilmesi, atıksuların geri kazanımı ve tekrar kullanımı amaçlı çalışmaların planlanması, suyun sürdürülebilir kullanımına yönelik tasarruf tedbirlerinin alınması gibi) devam ettirilmektedir. Diğer taraftan, ilde elektriğin tasarruflu kullanımı konusunda da çalışmalar sürdürülmektedir. Bu bağlamda, Bursa halkını elektrik tasarrufu konusunda bilgilendirme ve bilinçlendirme şeklinde yürütülen çalışmalarda, tasarruflu ve uzun ömürlü ampullerin tercih edilmesi, yüksek enerji sınıfında olan elektrikli aletlerin satın alınması, cihazların kullanılmadığı sürelerde bekleme konumunda bırakılmaması, ısı kayıp ve kaçaklarının önlenmesine yönelik tedbirlerin alınması gibi yönlendirmelere yer verilmektedir.

Bu çalışma kapsamında, Bursa ili merkez ilçelerindeki kamu kurumlarının su ve elektrik tasarrufu konularındaki yaklaşımlarını belirlemek için, kurumlarda görev yapan 94 yöneticiye bir anket çalışması uygulanmıştır. Anket çalışmasında elde edilen veriler, SPSS programı kullanılarak istatistiksel olarak değerlendirilmiştir.

Değerlendirilmeler sonucunda;

- Yöneticilerin tasarruf konusunda çalışanlarına yönelik düzenli olarak bilgilendirme amaçlı etkinlikler düzenledikleri,
- Tasarrufu temin edecek şekilde görev yaptıkları kurum binalarının içinde ve dışında gerekli olan tüm bakım, onarım, yenileme çalışmalarını yürüttükleri,
- Kurum içinde kullanılan çeşitli cihazların yüksek enerji sınıfında olanların tercih edildiği ve periyodik bakımlarının düzenli olarak yaptırıldığı belirlenmiştir.

Sonuç olarak Bursa ili merkez ilçeleri kamu kurumlarının yöneticilerinin su ve elektrik tasarrufu konusunda duyarlı oldukları, kurum çalışanlarını teşvik ettikleri anlaşılmaktadır. Bu olumlu sonuç, ülkemizdeki mevcut kaynakların sürdürülebilir kullanımı konusunda önemli bir gelişme olup, bu çalışmanın gelecekte yapılacak daha kapsamlı bilimsel araştırmalara önderlik edeceği düşünülmektedir.

Teşekkür

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesindeki katkılarından dolayı, Bursa Uludağ Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü öğrencilerine ve Bursa ili kamu kurum yöneticilerine çok teşekkür ederiz.

Yazarların Katkısı

Makalede yazarların katkısı eşit orandadır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Etik Kurallar

Yapılan çalışmada, araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar

- [1] Mengü G.P., Akkuzu E. 2008. Küresel Su Krizi ve Su Hasadı Teknikleri. Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 5 (2): 75-85.
- [2] Burak M., Pehlivan E., Baran A., Çelik D., Nacar E., Çakmak E. 2017. Factors Influencing the Water Consumption Behaviors of the Medical Students at Inonu University. Medicine Science, 6 (2): 314-318.

- [3] Dünyada ve Türkiye’de Su Tüketimi, 2019. <http://docplayer.biz.tr/259417-Dunya-da-ve-turkiye-de-sutuketimi.html> (Erişim tarihi: 27.03.2019).
- [4] Türkiye su kıtlığı çekecek ülkeler arasında, 2015. <http://www.hurriyet.com.tr/turkiye-su-kitligi-cekecek-ulkeler-arasinde-29933101> (Erişim tarihi: 27.03.2019)
- [5] Kaya K., Şenel M.C., Koç E. 2018. Dünyada ve Türkiye’de Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Değerlendirilmesi. *Technological Applied Sciences (NWSATAS)*, 2A0152, 13 (3): 219-234.
- [6] Elektrik, 2019. <http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Elektrik> (Erişim tarihi: 27.03.2019).
- [7] Teksoy A., Erol Nalbur B., Akal Solmaz S.K. 2017. Assessment of Water and Wastewater Potential of Bursa City. *Bursa Uludag University Journal of the Faculty of Engineering*, 22 (1): 115-123.
- [8] Bursa tanıtımı ve şehir rehberi, 2019. <http://www.neyiilemeshur.com/bursa/bursa-tanitimi-ve-sehir-rehberi-3284.html> (Erişim tarihi: 27.03.2019).
- [9] Yalılı M., Akal Solmaz S.K., Kestioğlu K. 2006. Bursa Su Kaynakları Potansiyeli ve Kullanıcı Faktörü. *Bursa Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 11 (2): 1-13.
- [10] Doğru E. 2000. Bursa Şehri’nin Kuruluşundan İtibaren Yapılmış Olan Su Tesisleri. Lisans Bitirme Tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 120s, Bursa.
- [11] Akal Solmaz S.K., Yalılı M. 2002. Bursa’nın İçme Suyu Meselesi ve Bazı Çözüm Önerileri. *Ekoloji Çevre Dergisi*, 11 (42): 36-39.
- [12] Yalılı Kılıç M., Akal Solmaz S.K., Üstün G.E., Kestioğlu K. 2008. Su Temini Yönünden Bursa İli Su Kaynaklarının Bugünü ve Geleceği. *Blacksea International Environmental Symposium BIES’08*, 25-29 Ağustos, Giresun, 1-9.
- [13] Yalılı Kılıç M., Akal Solmaz S.K., Çiner F. 2013. Kentsel Su Yönetiminde Su Kullanıcısının Önemi. 3. Uluslararası Bursa Su Kongresi, 22-24 Mart, Bursa, 598-605.
- [14] Yalılı Kılıç M., Üstün G.E., Akal Solmaz S.K. 2016. Bursa İli Su Kaynaklarının Mevcut Durumunun Değerlendirilmesi. *Çevre Mühendisleri Odası Çevre Bilim ve Teknolojisi Teknik Dergi*, 1 (2): 12-26.
- [15] Anonim, 2003. SPSS InstituteInc. SPSS Base 12.0User’s Guide, 703p.
- [16] Firidin E. 2015. Su Sorununun, Su Hakkı ve Su Etiği Çerçevesinde Değerlendirilmesi. *Aksaray Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 7 (2): 43-55.
- [17] Roberts J.A., Bacon R. 1997. Exploring the Subtle Relationships Between Environmental Concernand the Ecologically Conscious Consumer Behavior. *Journal of Business Research*, 40 (1): 79-89.
- [18] Pinto D.C., Herter M.M., Rossi P., Borges A. 2014. Going Green for Self or for Others? Genderand Identity Salience Effects on Sustainable Consumption. *International Journal of Consumer Studies*, 38 (5): 540-549.
- [19] Dursun İ., Belit M. 2017. Bir Sosyal Pazarlama Hedefi Olarak Enerji Tasarrufu ve Ölçümü. *Ömer Halisdemir Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 10 (3): 130-153.

Araştırma Makalesi / Research Article

FeCo ve FeCoV Alaşımlarının Metalotermik Yöntem ile Üretilmesi ve Termodinamik Modellenmesi

Mehmet BUĞDAYCI*, Ahmet TURAN

*Kimya ve Süreç Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Yalova Üniversitesi, Yalova
(ORCID: 0000-0001-6276-9251) (ORCID: 0000-0002-7578-1089)*

Öz

FeCo alaşımları, yüksek enerji gerektiren ergitme sistemleriyle üretilmekte ve yüksek güç gerektiren uygulamalar ile havacılık sektöründeki motor ve jeneratörlerde kullanılmaktadır. Bu çalışmada ilgili FeCo alaşımlarının, oksitli hammaddelerinden alüminyum redüktan kullanarak metalotermik redüksiyon yöntemi ile üretim parametreleri araştırılmıştır. Metalotermik redüksiyon, ilave enerji gereksinimi olmayan ve kendi iç enerjisi ile gerçekleşen reaksiyonlara dayanan bir tekniktir. Deneysel çalışmalarda demir hammaddesi olarak Fe₂O₃ (hematit), kobalt kaynağı olarak Co₃O₄ ve redüktan olarak Al (alüminyum) kullanılmıştır. Ayrıca, ürün alaşımında kırılgenliğini gidermek için şarj karışımına ağırlıkça %2'lik V (vanadyum) ilavesinin etkisi de incelenmiş ve vanadyum kaynağı olarak V₂O₅ kullanılmıştır. Elde edilen alaşımların karakterizasyonlarında X-ışınları floresans spektrometrisi (XRF) ve taramalı elektron mikroskopisi (SEM-EDS) teknikleri kullanılmıştır. Ayrıca redüksiyon çalışmalarının modellemeleri FactSage termokimyasal modelleme programı ile gerçekleştirilmiştir. FeCo-ağ.%2V üretimi için yapılan deneysel çalışmalarda en yüksek Fe kazanım verimi, Al stokiyometrisinin %105 olduğu deneysel çalışmada %95,56 olarak elde edilirken, aynı deneysel çalışmada Co ve V verimleri sırası ile %95,00 ve %87,05 olarak elde edilmiştir. İlgili Co ve V kazanım verimleri de deneysel çalışmalar esnasında elde edilen en yüksek kazanım verimleri olmuştur.

Anahtar kelimeler: FeCo, FeCoV, Metalotermik Redüksiyon.

Metallothermic Production of FeCo and FeCoV Alloys and the Thermodynamical Modelling Studies of the Process

Abstract

FeCo alloys are produced by means of smelting systems with high energy requirements and, they are used in high power-requiring applications and in engines and in generators for aerospace industry. In the present study, production properties of FeCo alloys were investigated through metallothermic process by using aluminium reductant from its oxide raw materials. Metallothermic reduction is a production technique which is based on the reactions they take place with their internal energy and they do not need any additional energy. In experiments, Fe₂O₃ (hematite) and Co₃O₄ were used as the Fe and the Co sources whereas the Al (aluminium) was used as reductant. Moreover, the effect of 2wt.% V addition to final alloys was investigated to enhance the ductility of alloys and, V₂O₅ was the raw material to obtain the vanadium. X-ray floresans spectrometry (XRD) and scanning electron microscopy (SEM-EDS) methods were used to characterize produced alloys. Besides, thermodynamical modelling studies were carried out by means of FactSage thermochemical modelling software. In the experiments for the production of FeCo-2wt.% V, the highest Fe recovery efficiency was obtained as 95.56% in the experiment with 105% Al stoichiometry. In the same experiment, the Co and the V recovery efficiency ratios were 95.00% and 87.05% respectively and, those ratios were the highest values for the Co and the V recovery in experimental studies.

Keywords: FeCo, FeCoV, Metallothermic Reduction.

*Sorumlu yazar: mehmet.bugdayci@yalova.edu.tr
Geliş Tarihi: 15.04.2019, Kabul Tarihi: 19.09.2019

1. Giriş

Demir, %5,4'lük bir oranla oksijen, silisyum ve alüminyumdan sonra yer kabuğunda dördüncü en çok bulunan elementtir [1]. Dünya'da 62 farklı ülkede toplam 1,5 milyar ton civarında ham çelik üretilmektedir. En yüksek üretim Asya'da olup, onu Avrupa Birliği, Kuzey Amerika ve Bağımsız Devletler Topluluğu izlemektedir [2]. Demir ve alaşımlarının üretim ve tüketimi her geçen yıl artmaktadır. Kobalt (Co) önemli bir alaşım elemanı olarak çeliklere ilave edilmektedir. Kobaltın yüksek hız çeliklerinin kesme özellikleri üzerindeki olumlu etkisi ilk olarak 1912'de gözlemlenilmiştir. Güncel olarak, kobaltın çeşitli yüksek hız çeliklerinin kesme, fiziko-mekanik ve teknolojik özellikleri üzerindeki etkisi hakkında birçok veri bulunmaktadır. Kobalt içeren çeliklerin dayanıklılığı basit şekilli kesme takımlarında daha yüksektir (frezeler sert tornalama takım-ış parçası sistemi) [3]. Kobalt ayrıca AC1, AC3 sıcaklığını ve çeliklerin termal iletkenliğini artırmaktadır. Kobalt, yüksek sıcaklıklarda ve manyetik geçirgenlikte gücü artırmak için yüksek hız çeliklerine ilave edilen bir elementtir. Taşıyıcı eleman olarak kullanılan yüksek hız çelikleri, dekarbürizasyona karşı biraz daha fazla eğilime sahiptir ve ani sıcaklık değişimlerine maruz kaldıklarında çatlamaya karşı daha hassastırlar. Ayrıca kobalt içeren çeliklerin kullanımı, mükemmel sertlik özelliklerinden dolayı artış göstermektedir. Soğuk iş kalıp çeliğine Co ilavesi (% 3 Co'lu çeliklerde olduğu gibi) sertliği artırır ve kullanılmadığı sınıflarda daha yüksek aşınma direnci sağlar. Aynı şekilde, sıcak iş kalıp çelikleri, daha iyi aşınma direnci ve daha yüksek sıcak sertlik değerleri göstermektedirler [3].

FeCo alaşımları, yüksek mıknatıslanma, düşük manyetik zorlanma ve yüksek sıcaklıklarda kararlı yapıları nedeniyle iyi bilinmektedir, bunlar manyetik sensörler, manyetik kayıt ve yüksek güçlü motorlar veya jeneratörlerde yaygın olarak kullanılan en önemli yumuşak manyetik malzemelerden biridir [4-11]. Geleneksel FeCo yumuşak manyetik alaşımlar genellikle elektrik ark ve indüksiyonlu ergitme sistemleri ile metalik haldeki Fe, Co ve V gibi alaşım elemanlarından elde edilmektedir. Döküm sonrasında ideal morfoloji ve yapıyı elde etmek için ısı işleme tabi tutulmaktadır [8,9].

Yüksek güç gerektiren uygulamalar ve havacılık sektöründe kullanılan motor ve jeneratörlerde, yüksek mekanik mukavemete sahip yumuşak manyetik malzemelerin kullanılması bir gerekliliktir. Bu yüksek mukavemetli yumuşak manyetik malzemeler ile ilgili araştırmalar son yıllarda yoğunlaşmış ve sonuç olarak önemli gelişmeler elde edilmiştir. Bu çalışmalarda, bahsi geçen uygulamalar için Fe-Co alaşımları, yüksek Curie sıcaklığı, düşük manyeto-kristal anizotropik özelliği, yüksek mukavemeti, mükemmel manyetik özellikleri sebebiyle aday malzeme olarak gösterilmektedir Bu malzemeler yüksek akım yoğunluğu gerektiren uygulamalar için son derece uygundur [9]. FeCo'nun bu benzersiz manyetik özellikleri nedeniyle, malzeme yüksek devirli pompalarda da kullanılabilir [10]. Ağırlıkça %50 Fe, %50 Co içeren FeCo alaşımı çok kırılğan özellik göstermesinden dolayı şekillendirilmesi oldukça güçtür. Alaşımın kırılğanlığını gidermek için kompozisyona vanadyum ya da krom ilavesi yapılmasının olumlu etkileri literatürde belirtilmektedir [3].

Yumuşak manyetik malzemeler küçük bir dış mıknatıslanma alanı altında kolayca mıknatıslanabilir ve manyetikleştirilebilir, böylece önemli bir mühendislik malzemeleri sınıfı oluştururlar [8]. Çok önemli ve oldukça sofistike bir mühendislik malzemesi sınıfını oluşturan kalıcı mıknatıslar, buzdolabı parçaları, bilgisayar ve elektronikte kullanılan en gelişmiş mıknatıslara kadar geniş bir yelpazede endüstriyel ve ticari uygulamalara sahiptirler [8]. Genel olarak, yumuşak manyetik malzemeler, 1.1 ile 100000 aralığında yüksek bir başlangıç geçirgenliği ve 0.4-1000 Am⁻¹ aralığında düşük bir mıknatıslanma aralığı ile karakterize edilmektedirler. Bu malzemelerin manyetik özellikleri, güç üretimi ve dağıtımı, aktüatör, manyetik ekranlama, veri depolama ve mikrodalga iletişimi içeren uygulamalar için çok önemlidir [9]. Yumuşak manyetik alaşımlar üç kategoriye ayrılabilir bunlar, metalik alaşımlar, metalik metaller ve seramikler olarak sıralanmaktadır. Endüstride kullanılan bazı yumuşak manyetik malzemeler demir, düşük karbonlu çelikler, ferro-silisyum, ferritik çelikler, ferro-nikel, ferro-kobalt, yumuşak ferritler ve yumuşak manyetik amorf alaşımlardır. Havacılık ve yüksek güç uygulamalarında kullanılan motor ve jeneratörlerin geliştirilmesi için, yüksek mekanik mukavemete sahip yumuşak manyetik malzemeleri kullanmak bir gerekliliktir. Bu yüksek mukavemetli yumuşak manyetik alaşımların araştırılmasında çok sayıda araştırma yapılmıştır ve sonuç olarak önemli gelişmeler sağlanmıştır [7].

Fe-Co alaşımları, modern teknolojide yumuşak ve sert manyetik malzemeler elde etmek için yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu alaşımlarda, hem çözünmüş hem de metal olmayan yapıların içinde

muhteviyatını koruyan oksijenen zararlı empürite olarak karşıya çıkmaktadır. Minimum oksijen konsantrasyonu bitmiş metal üretimi, alaşım yapımında ana zorluklardan biridir [12,13].

Mevcut alaşımların manyetik, mekanik ve elektriksel özelliklerinde elde edilen gelişmeler ve yeni malzemelerin keşfedilmesi, yumuşak manyetik malzemeler arasında ciddi bir rekabete sebep olmuştur. FeCo, ticari manyetik malzemeler arasında en yüksek doyumluk manyetizasyonunu sergileyen malzemedir. Ancak kobaltın yüksek maliyetinden dolayı malzemenin kullanım miktarı yaygın değildir. Yüksek doyumluk değerinin sağlamış olduğu avantajlardan ötürü bileşenlerin hacim veya kütlelerinin düşürülmesiyle kendine kullanım alanı bulmuştur. Özellikle uçakların jeneratör ve tahrik motorlarının kaplanması yumuşak manyetik malzemeler kullanılmaktadır. FeCo burada yüksek servis sıcaklığı sebebiyle tercih edilebilmektedir. Ancak mekanik özelliklerinin geliştirilmesi gerekmektedir. Bu da ısıl işleme ve alaşımlama ile mümkündür [14,15].

Sundar ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada, yüksek indüksiyon ve geçirgenlik özellikleri gösteren stokiyometrik FeCo alaşımlarının keşfine rağmen, alaşımın yüksek maliyeti, şerit formunda üretiminin zor olması ve düşük elektriksel öz direncinin neticesinde ticari uygulamalarda çok kullanım alanı bulamadığı belirtilmiştir [9]. Alaşımın ince şeritler halinde işlenmesi, AC motor uygulamalarında üretilen girdap akım kayıplarını en aza indirmek için gereklidir. Benzer şekilde, alaşımın direncini arttırmak, girdap akım kayıplarını daha da düşürmektedir. İlk kez White ve Wahl, vanadyum ilavesinin stokiyometrik FeCo'nun zayıf süneklik ve düşük elektriksel direnç özelliklerini geliştirdiğini belirtmiştir. Alaşıma ilave edilen vanadyum miktarının, iyi yumuşak manyetik özellikler sergileyebilmesi için ağırlıkça %3'ün üzerine çıkmaması gerekmektedir. FeCo-V alaşımları kontaminasyonlardan kaçınmak için vakum altında dökülmektedir. S, P, N ve O gibi elementlerin varlığı, işlenebilirliğe ve FeCo alaşımlarının istenilen mekanik ve manyetik özelliklerine zararlıdır. Bu nedenle kontaminasyonların kontrolü gerekmektedir. Bu çalışmada kullanılacak yöntemde kükürt ve fosfor gibi kirliliklerin yapıya girmesi mümkün değildir, çünkü reaktan ve redüktan malzemeler herhangi bir kirlilik içermemektedir. Deneylerin Ar atmosferi altında yapılması durumundaysa O₂ kontaminasyonunun da giderimi mümkün olacaktır [14].

Kahawara çalışmasında FeCo-2%V alaşımını üretebilmek için malzemelerin metalik formunu 1565 °C'de eritmiş, Fe sıvı metal banyosuna, kobalt ve vanadyum ilaveleri yaparak arzulanan alaşım kompozisyonunu sağlamıştır. Sonrasında ısıl işlem uygulayarak uçakların jeneratör ve tahrik motorlarında kullanılmaya uygun mekanik değerlerde alaşım üretimini gerçekleştirmiştir. Deneyler sonucunda FeCo-2V alaşımının sünekliğinin, sadece alaşımın ferritik bir bölgesinden, östenitik bölgeye geçilip soğutulması sonucunda, büyük heterojen tanelerden oluşan yapılar için bile artabileceği belirlenmiştir. Dolayısıyla alaşımın sünekliğine müdahale edebilmek için karbon miktarının çok az olması gerekmektedir. Bu çalışmada kullanılan yöntem vesilesiyle karbon ilave edildiği kadar yapıya girmektedir ve ferritik bölgenin dışına çıkılıp çıkılmaması kontrol altındadır [15].

Lawrence ve arkadaşları ilk olarak FeCo'yu, bakır cevherlerinden elektrolitik yöntemle üretmişlerdir [16]. Toz metalürjisi, bilyeli öğütme, doğrudan birlikte çökeltme yöntemi, yanma dalgası, elektrik ark eritme, indüksiyonla eritme, polyol ve kontrollü kimyasal sentez yöntemi FeCo ve nano FeCo alaşımlarını üretmek için kullanılmakta olan yöntemlerdir [17-22].

Bu çalışmada ilk kez, yukarıdaki üretim yöntemlerine alternatif olarak CO₂ salınımı içermeyen ve çevre dostu bir proses olan metalotermik redüksiyon yöntemi ile FeCo ve FeCo-V üretiminin şartları incelenmiştir. Metalotermik redüksiyon, yüksek teknoloji ürünü alaşımların üretiminde kullanılan basit ve düşük maliyetli bir yöntemdir. Yöntemin çalışması, aşırı ekzotermik reaksiyonun tetiklenmesi ile kendiliğinden başlaması ve hammadde karışımında bir dalga şeklinde kendiliğinden ilerlemesi prensibine dayanmaktadır. Bu olayların gerçekleşmesi için reaksiyonun aşırı ısı üretmesi gerekmektedir [23].

Metalotermik redüksiyon ve metalotermik redüksiyon esaslı prosesler (örn. kendiliğinden ilerleyen yüksek sıcaklık sentezi, SHS), geleneksel üretim yöntemlerinden ayırt edilebilecek birçok özelliğe sahiptir. Bunlardan bazıları; kimyasal reaksiyon sonucu salınan yüksek ısı, yüksek reaksiyon gerçekleşme oranı ve hızıdır (0,15 m/sn.) [24]. Bu proseste, karışımın tutuşma sıcaklığına getirilmesi için karışıma ilk ısı verildikten sonra, reaksiyon harici enerjiye ihtiyaç duymadan kendiliğinden ilerler. Her katmanda açığa çıkan ısı, bir sonraki reaksiyona girmemiş karışım katmanına geçer ve bölgeyi tutuşturmak için ilk ısıyı oluşturur ve sıcaklığı yükseltir. Uygulama sırasında üretilen yüksek ısı enerjisi

miktarı, reaksiyon hızını doğrudan etkiler; artan hız ile oldukça ekonomik ve yüksek verimli bir üretim sağlanır [25, 26].

2. Materyal ve Metot

2.1. Materyal

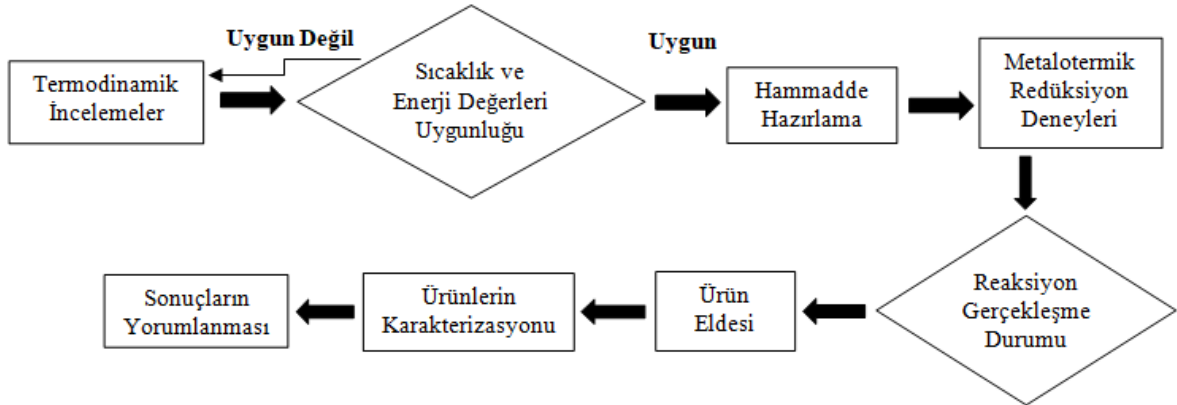
Metalotermik redüksiyon yöntemi ile demir, kobalt ve vanadyum esaslı alaşımlar üretimi için çalışmalar yapılmıştır. Deneysel çalışmaların ilk aşaması hematit (Fe_2O_3) ve kobalt oksidin (Co_3O_4) alüminyum ile reaksiyona sokulup alaşım elde edilmesi, ikinci aşaması ise hematit-kobalt oksit karışımına Al'nin yanısıra V_2O_5 ilavesinin eklenmesi ile alaşım elde edilmesini kapsamaktadır. Deneysel çalışmalardaki amaç, karbotermik yöntemle üretilen alaşımların safiyetine uygun kalite standartlarında Co ve V esaslı ferro-alaşımlar elde etmektir. Deneysel çalışmalarda kullanılan ve yüksek safiyete sahip hammaddeler Nanokar firmasından temin edilmiş olup hammaddelerin safiyet ve tane boyutu değerleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Deneysel çalışmalarda kullanılan hammaddelerin safiyet ve tane boyutu değerleri.

| Bileşen | Safiyet,% | Tane Boyutu |
|-----------|-----------|--------------|
| Fe_2O_3 | 99,50 | < 45 μm |
| Co_3O_4 | 99,70 | < 38 μm |
| V_2O_5 | 99,20 | < 45 μm |
| Al | 99,50 | < 45 μm |

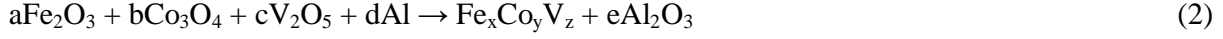
2.2. Metot

Bu çalışmada, her bir işlemde olası bazı farklı reaksiyon gelişimleri dolayısıyla üründe olabilecek az da olsa farklılıkların yanı sıra, redüktan olarak kullanılan malzemenin kaybı gibi dezavantajlar olsa da; çok düşük enerji tüketimi (sadece reaksiyonun başlatılması için gerekli başlangıç ısısı), prosesin birkaç saniye sürede tamamlanması, basit teknoloji gerektiren proses teçhizat gereksinimleri (reaksiyon potası vb.) ve reaksiyonun soğuma aşamasının kontrol altına alınabilmesi olanağı gibi üstünlükleri nedeniyle metalotermik redüksiyon tekniği seçilmiştir. Çalışmalar üç ana başlık altında yürütülmüştür; termodinamik incelemeler, metalotermik deneyler ve karakterizasyon çalışmaları (Şekil 1).

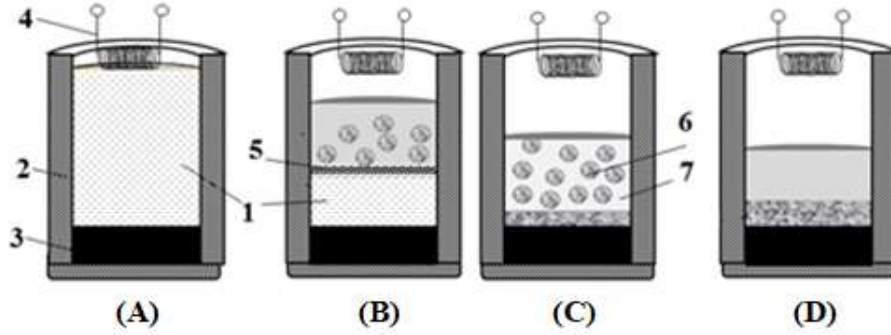


Şekil 1. Deneysel çalışmaların iş akış şeması

Yalova Üniversitesi – Ekstraktif Metalurji ve Geri Dönüşüm Laboratuvarı'nda (EMR-Lab) gerçekleştirilen çalışmalarda, atmosferik koşullar altında metalotermik redüksiyon deneyleri yapılmıştır. Metalotermik redüksiyon yöntemiyle hedeflenen alaşımların üretimi için temel kimyasal reaksiyonların (1) ve (2) numaralı eşitliklerde verilen şekilde olması öngörülmüştür. Farklı hedef bileşimlerine sahip alaşımların üretilmesi sırasında, değişen oranlarda metal oksit ve Al toz karışımları kullanılmıştır.



Farklı bileşimlerde alaşımların üretilmesine yönelik hazırlanan hammadde toz karışımları toplam 100 g ağırlığında hassas terazide tartılmış ve karışım 3-eksenli karıştırıcıda 10 dk. süre boyunca karıştırılmıştır. Karıştırma işleminden sonra tozlar 105 °C'de 1 saat süreyle kurutulmuş ve nemden arındırılmış, sonrasında şamot pota içerisine yerleştirilmiştir. Reaksiyonlar, şamot pota içerisine beslenen toz karışımının yüzeyine yerleştirilen W direnç teli üzerinde elektrik akımı geçirilip direnç telinin sıcaklığının artmasıyla reaksiyon tetiklenerek başlatılmıştır. Tetiklemeyle oluşan ısı dalgasının hammadde karışımı yüzeyinden pota boyunca kendiliğinden ilerlemesi sonucunda reaksiyon tamamlanmakta ve hızlı soğuma ile katılaşmanın ardından üretilen alaşım ve curuf yoğunluk farkından dolayı kolaylıkla birbirinden ayrılmaktadır. Reaksiyonun şematik görünümü Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. Ferro alaşım üretimi için metalotermik proses akış şeması: (A) hammadde karışımının potaya yerleştirilmesi, (B) reaksiyon ilerlemesi, (C) faz ayrılması ve (D) katılaşma [(1) hammadde karışımı, (2) refrakter kalıp, (3) pota tabanı, (4) ateşleme bobini, (5) yanma dalgası, (6) ergimiş halde alaşım granülleri ve (7) ergimiş halde Al_2O_3 esaslı curuf].

Metalotermik redüksiyon deneylerinin verimleri (3) numaralı eşitliğe göre hesaplanmıştır. İlgili eşitlikte, “% Metal” alaşımın metal içeriğini simgelerken “Hammadde % Metal İçeriği” başlangıç karışımındaki metal miktarını göstermektedir.

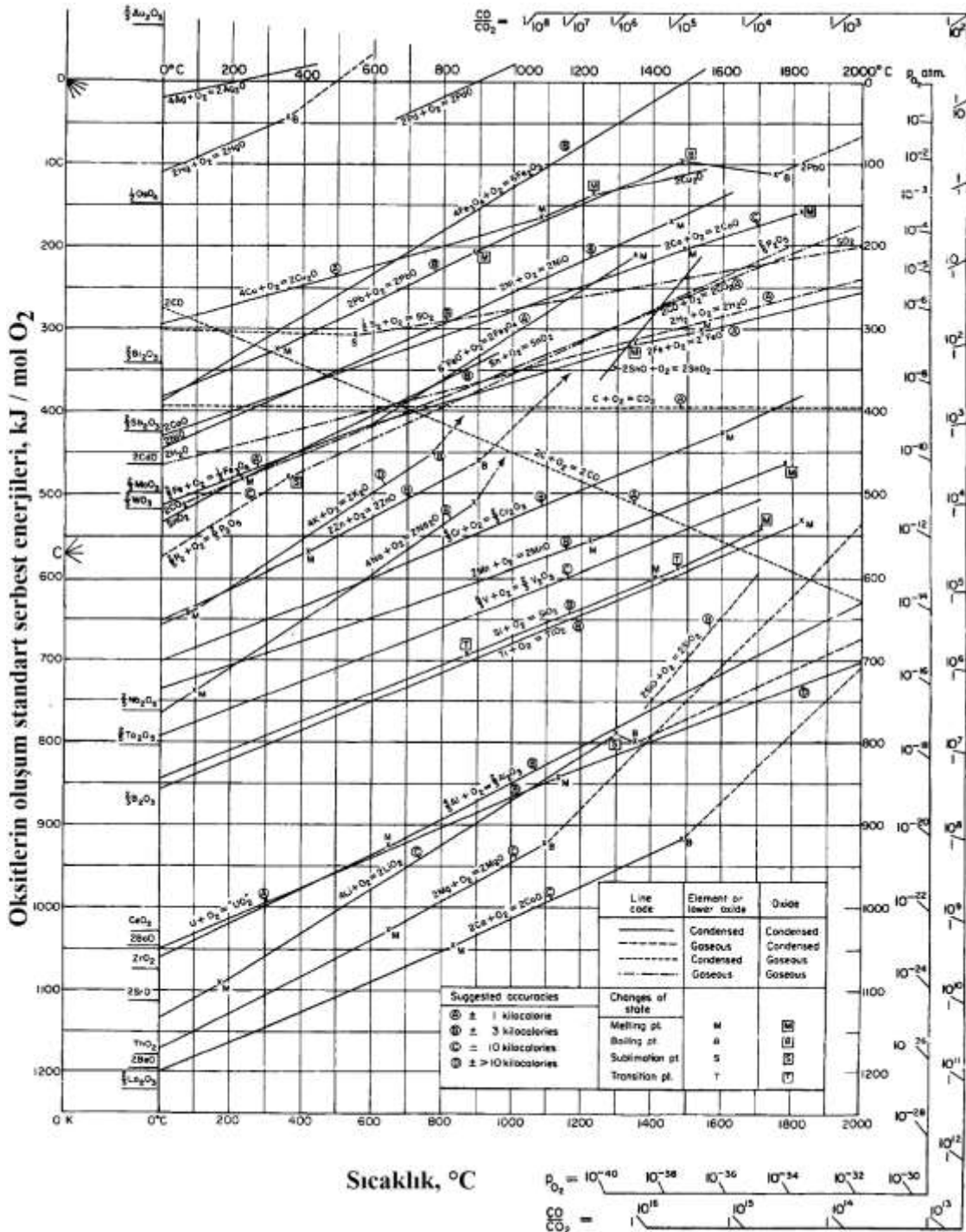
$$\text{Verim} = [(\% \text{ Metal} \times \text{Alaşım Ağırlığı}) / (\text{Hammadde \% Metal içeriği})] \times 100 \quad (3)$$

2.3. Karakterizasyon Yöntemleri

Alaşım ve curufların kimyasal kompozisyonunu belirlemek için Thermoscientific Nitel XL2 plus model XRF cihazı kullanılmıştır. Ürün alaşımların mikroyapı görüntüleri LEICA marka optik mikroskop ve Carl Zeiss / Gemini 300 marka-model SEM-EDS cihazı ile alınmıştır.

3. Bulgular ve Tartışma

Bir metalin metalotermik yöntem ile indirgenmesi, indirgeyici olarak kullanılan metalin indirgenecek olan metalden oksijen afinitesinin daha yüksek olması durumunda gerçekleşmektedir. Bu durum oksitlerin Ellingham Diyagramına bakarak değerlendirilebilir. Ellingham diyagramı incelendiğinde diyagramın en alt bölgesinde sırasıyla kalsiyum, alüminyum ve magnezyumun olduğu görülmektedir. Bu veriler ışığında bütün metal oksitler bu üç malzemeyle indirgenebilir konumdadır. İndirgenecek metal oksidin, oksijen afinitesiyle, indirgeyici metalin oksijen afinitesi arasındaki fark arttıkça oluşacak olan yüksek enerjiden dolayı reaksiyonun gerçekleşmesi daha kolaydır (Şekil 3).



Şekil 3. Ellingham Diyagramı [27].

Metallerin oksijene olan afiniteleri bileşiklerinin oluşum enerjisi olan ΔH değeri ile ilişkilidir, bu çalışmada kullanılan metal oksitlerin mol oksijen başına, oluşum entalpi değerleri FactSage 7.1 programıyla belirlenmiş, sonuçlar Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Metal oksitlerin oluşum enerjileri

| Oksit oluşum reaksiyonu | Entalpi Değeri, ΔH°_{298} |
|------------------------------|--|
| $4/3 Fe + O_2 = 2/3 Fe_2O_3$ | - 547 kJ/mol O ₂ |
| $3/2 Co + O_2 = 1/2 Co_3O_4$ | - 455 kJ/mol O ₂ |
| $4/5 V + O_2 = 2/5 V_2O_5$ | - 617 kJ/mol O ₂ |
| $4/3 Al + O_2 = 2/3 Al_2O_3$ | - 1.118 kJ/mol O ₂ |
| $2 Mg + O_2 = 2 MgO$ | - 1.202 kJ/mol O ₂ |

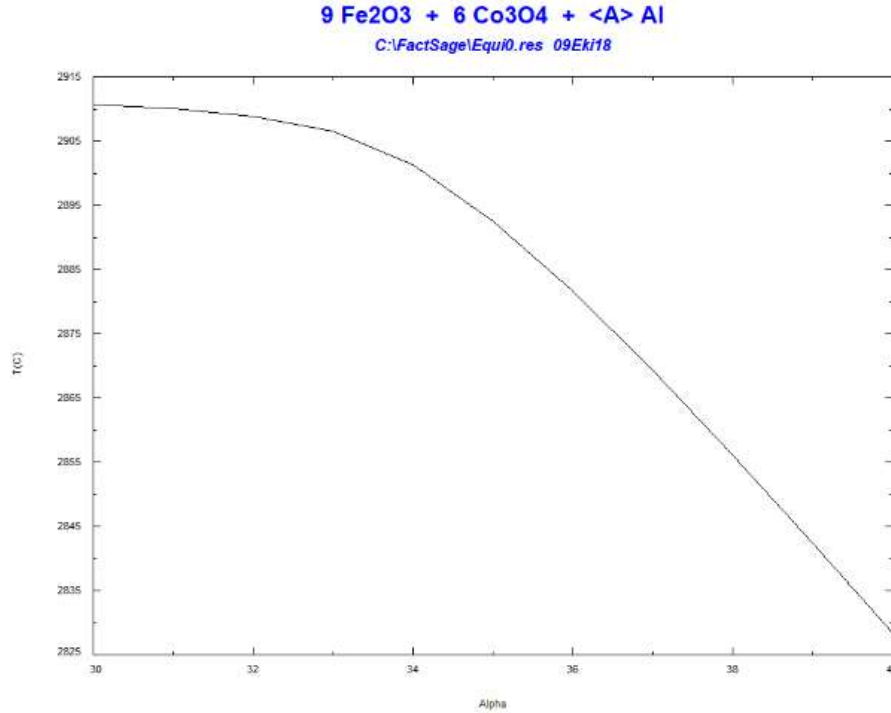
Tablo 2 incelendiğinde, magnezyum ve alüminyumun oluşum entalpi değerlerinin diğer malzemelere kıyasla yaklaşık olarak iki kat fazla bir değerde olduğu görülmektedir. Buna göre demir, kobalt ve vanadyum oksitleri indirgeyebilmek için alüminyum ve magnezyumun kullanımının uygun olduğu belirlenmiştir.

Metalotermik reaksiyonlarda adyabatik sıcaklığın yanı sıra diğer bir önemli parametre spesifik ısı değeridir. Spesifik ısı gram ürün başına açığa çıkan enerji değeridir. Bu değer 2250 J/g ile 4500 J/g aralığında olması kontrollü bir reaksiyonun ilerlemesi ve patlamaya bağlı saçılmaya kayıplarının olmaması için bir gerekliliktir. Spesifik ısı limit değerlerin altında olursa yoğunluk farkından oluşacak olan metal curuf ayrımı gerçekleştirilememekte, yüksek olması durumunda ise saçılmaya bağlı yüksek oranda metal kayıpları görülmektedir. Bu çalışma kapsamında kullanılan metal oksitlerin metal içeriklerinin alüminyum ile indirgenmesi sonucu açığa çıkan spesifik ısı ve adyabatik sıcaklık değerleri Tablo 3'te gösterilmiştir. Tablo 3 incelendiğinde, spesifik ısı değerlerinin V hariç belirlenen limitler içinde olduğu görülmüştür. Hazırlanan başlangıç karışımı göz önüne alındığında V'nin kompozisyona %2 oranında eklendiği durumda toplam reaksiyonun spesifik ısı değerini arzulanan limitlerin dışına çıkarmayacağı görülmüş ve kendiliğinden ilerleyen kontrollü reaksiyonların elde edileceği ön görülmüştür.

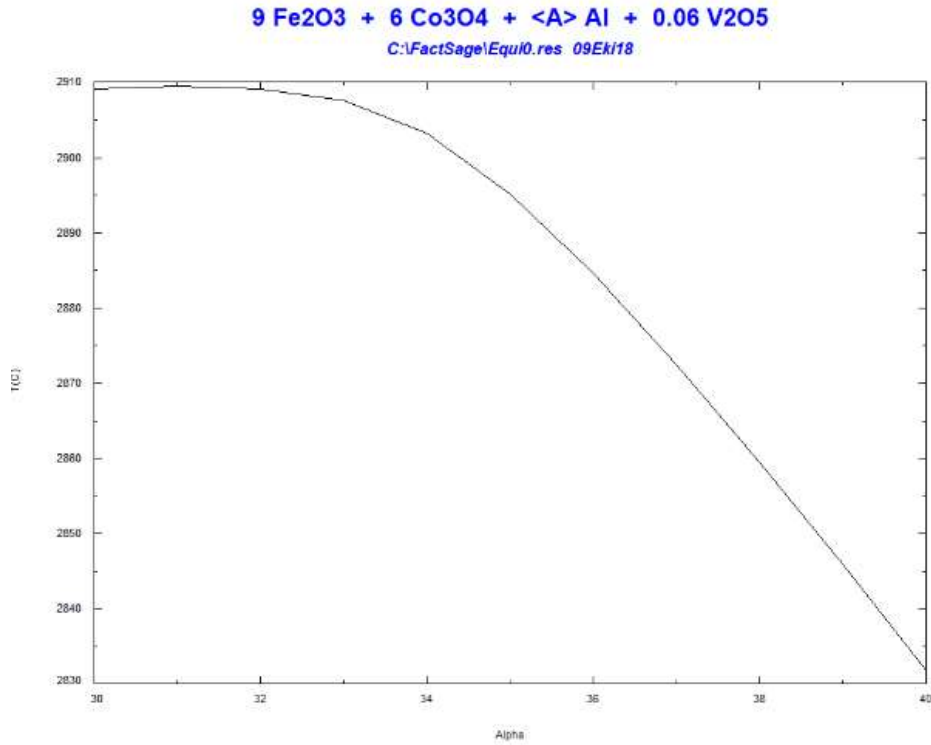
Tablo 3. Metal oksitlerin Al ile reaksiyonları sonucu oluşan entalpi, spesifik ısı ve adyabatik sıcaklık değerleri.

| Reaksiyon | Entalpi Değeri ΔH^{298} | Spesifik Isı J/g | $T_{ad.}(^{\circ}C)$ |
|---|---------------------------------|------------------|----------------------|
| $0,5 Fe_2O_3 + Al = Fe + 0,5 Al_2O_3$ | - 424.957 J/mol Al | 3977,9 | 2851,3 |
| $0,38 Co_3O_4 + Al = 1,13 Co + 0,5 Al_2O_3$ | - 487.175 J/mol Al | 4153,9 | 2923,5 |
| $0,3 V_2O_5 + Al = 0,6 V + 0,5 Al_2O_3$ | - 372.673 J/mol Al | 4570,4 | 2910,0 |

FeCo ve FeCo-V üretimi için yapılan deneylerle eş zamanlı olarak sistemin termodinamik incelemesi de FactSage 7.1 programı yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Reaksiyonun başlayıp kendi kendine ilerleyebilmesi için adyabatik sıcaklık önemli bir parametredir ve minimum 1527 °C olması gerekmektedir. Şekil 4'te FeCo üretimi için çizilen adyabatik sıcaklık grafiği verilirken, Şekil 5'te FeCo-V için çizilen grafik gösterilmiştir. Her iki grafik incelendiğinde sistemin adyabatik sıcaklığının artan Al ilavesiyle belirli bir noktaya kadar yükseldiği (2910 °C), sonrasında düştüğü görülmektedir. Bu sıcaklık 1527 °C'den yüksek olup reaksiyonun başlayabilmesi için yeterli bir değerdir.

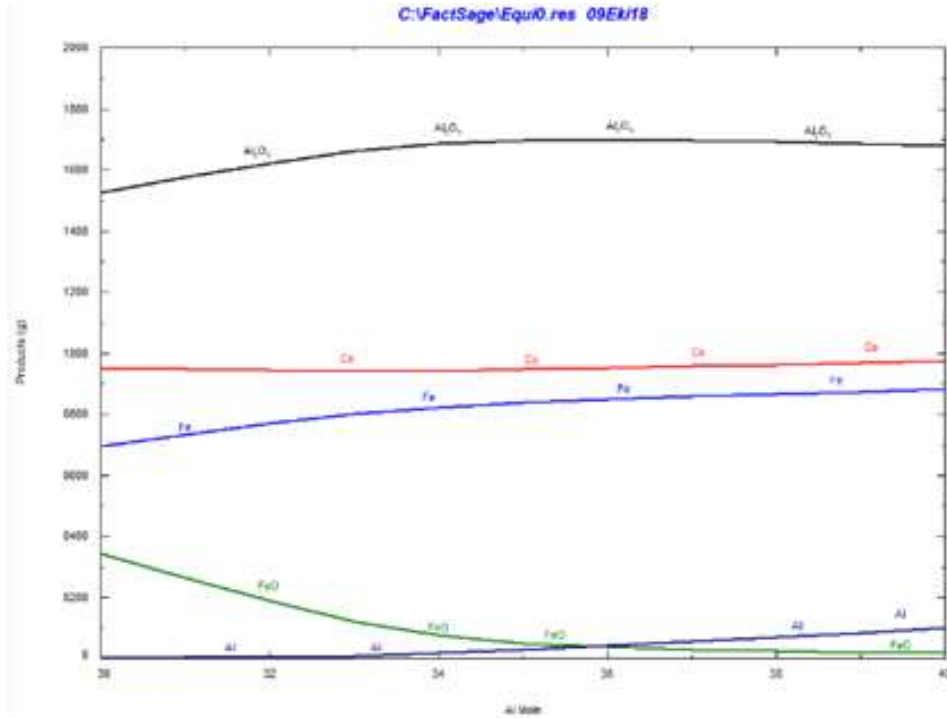


Şekil 4. FeCo Üretiminde değişen Al stokiyometrisiyle elde edilen adyabatik sıcaklık değerleri.

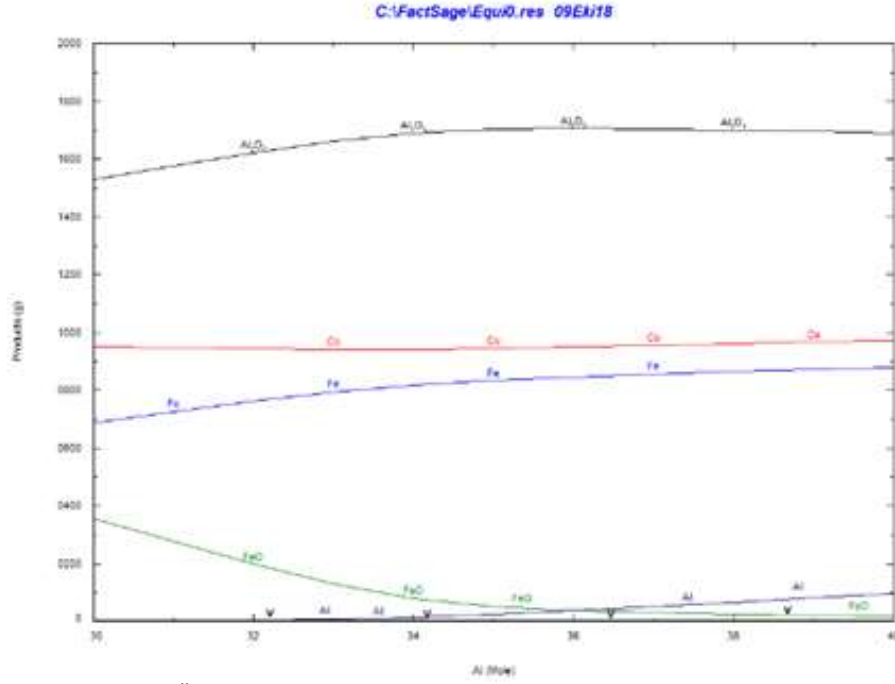


Şekil 5. FeCoV Üretiminde değişen Al stokiyometrisiyle elde edilen adyabatik sıcaklık değerleri.

Sistemin adyabatik sıcaklığının belirlenmesinden sonra değişen alüminyum stokiyometrisiyle her iki alışımda oluşacak muhtemel fazlar modellenmiştir. Bu aşamada FactSage programının, Gibbs serbest enerjisi minimizatörü mantığıyla çalışan Equilibrium modülünden yararlanılmıştır. Program simüle edilen basınç ve sıcaklık değerlerinde oluşabilecek kararlı fazları göstermektedir. FeCo sisteminden elde edilen sonuçlar Şekil 6'da verilirken, FeCoV sisteminde oluşan muhtemel fazlar Şekil 7'de gösterilmiştir.



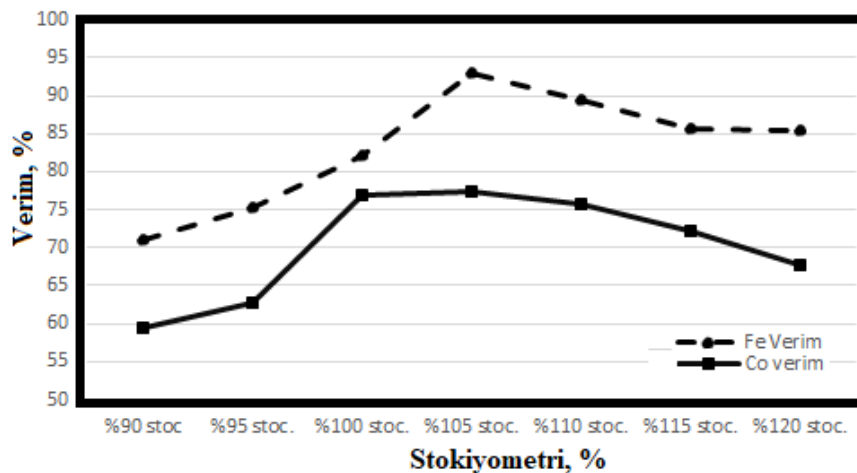
Şekil 6. FeCo Üretiminde değişen Al stokiyometrisiyle elde edilen muhtemel fazlar.



Şekil 7. FeCoV Üretiminde değişen Al stokiyometrisiyle elde edilen muhtemel fazlar.

Şekil 6 ve Şekil 7'ye göre yeterli stokiyometrik oranda Al ilavesiyle hem demir, hem kobalt, hem de vanadyum üretiminin metalotermik redüksiyon yöntemiyle gerçekleştirilebilir olduğu görülmektedir. Alüminyumun her iki grafikte de Al₂O₃ formunda gözlemlenmiş, Fe, Co ve V'un oksijenini alarak redükleme işlemini gerçekleştirebilmiştir. 35 mol ve üzerindeki Al ilavesiyle Al₂O₃'ün yanı sıra metalik Alüminyumunda kararlı faz olarak oluştuğu belirlenmiştir. Bu sebepten aşırı Al ilavesinin redüksiyonu olumsuz yönde etkilediği belirlenmiştir.

FeCo sentezlemek için gerçekleştirilen deneylerde, demir kaynağı olarak hematit, kobalt kaynağı olarak Co₃O₄, redüktan olarak alüminyumun kullanıldığı şarjlar hazırlanmış ve alüminyum stokiyometrisindeki değişimin, FeCo kazanım verimleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Bu çalışmada hedef alaşım olarak Permendur 24 kompozisyonu seçilmiştir, bu alaşım %24 Co içerirken %76 Fe içermektedir. Permendur 24 üretimi hedeflenen deney setinde % 90-95-100-110-120 oranlarında değişen stokiyometrik Al içeren numuneler, 100 g ağırlığında tartılıp, karıştırıldıktan sonra, etüvde 40 dk. süreyle 105 °C'de bekletilerek nemden arındırılmıştır. Kurutulmuş karışım metalotermik redüksiyonun gerçekleştirildiği bakır potaya şarj edilip, varyak vasıtasıyla reaksiyon gerçekleştirilmiştir. Deney sonucunda elde edilen metalik numune ve curuf, XRF tekniğiyle analiz edilmiş, birbirine tutarlı sonuçlar gözlemlenmiştir. Metal ve cürufaların kimyasal analiz sonuçları Tablo 4'te verilmiştir. Bu sonuçlardan elde edilen metal kazanım verimleri Şekil 8'de paylaşılmıştır.



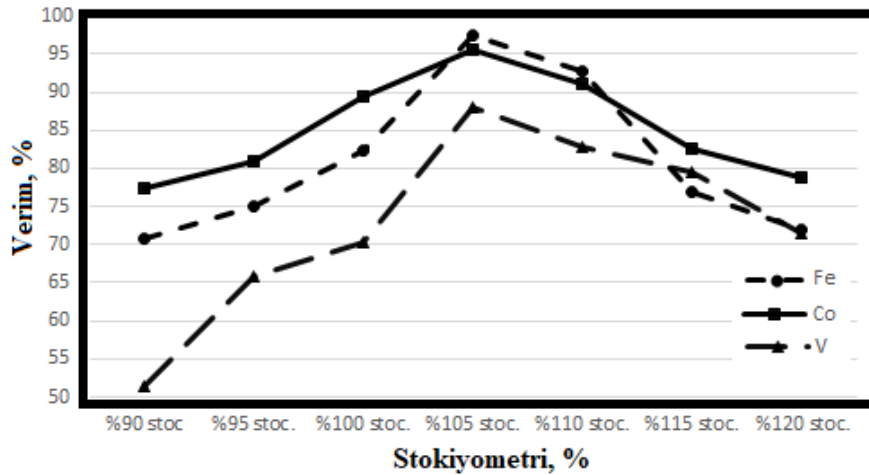
Şekil 8. FeCo Üretimi İçin yapılan deneylerde değişen Al stokiyometrisiyle elde edilen metal kazanım verimleri.

Tablo 4. FeCo üretimi için gerçekleştirilen deneyler sonucu elde edilen metalin XRF analizi sonuçları.

| Al Stokiyometrisi | Fe | Co | Al |
|-------------------|-------|-------|-------|
| %90 | 53,92 | 14,27 | 30,81 |
| %95 | 57,28 | 15,09 | 27,37 |
| %100 | 62,33 | 18,48 | 19,19 |
| %105 | 70,60 | 18,60 | 10,40 |
| %110 | 68,04 | 18,20 | 13,10 |
| %115 | 65,08 | 17,34 | 16,58 |
| %120 | 64,95 | 16,25 | 18,20 |

Tablo 4 ve Şekil 8 incelendiğinde %90 stokiyometrik bileşimde Fe ve Co verimi sırasıyla %70,94 ve %59,45 olarak belirlenirken, bu değerler Al stokiyometrisi %105'e yükseldiğinde %92,89 ve %77,50'e ulaşmıştır. Bu değerden sonra ilave edilen alüminyumun reaksiyon ısıını düşürerek kendi kendini redükleme eğiliminde olduğu ve metal kazanım verimlerini düşürdüğü belirlenmiştir.

Permendur 24 FeCo alaşımı üretimi için yapılan deneyler gerçekleştirildikten sonra, Permendur 49 FeCoV alaşımı üretimi için çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Permendur 49, %49 Fe, %49 Co ve %2 V içermektedir. Bu çalışmalarda ilk deney setinde kullanılan malzemelerin yanı sıra vanadyum kaynağı olarak şarja V_2O_5 ilave edilmiş ve ilk deney grubunda yapılan benzer prosedürlerle şarjlar hazırlanmıştır. Bütün reaktanları redükleyebilecek Al miktarı hesaplanmış ve bu miktar %100 stokiyometrik oran olarak belirlenmiştir. Sonrasında Al stokiyometrisi değiştirilerek deneyler gerçekleştirilmiştir. Elde edilen deneysel sonuçlar Tablo 5 ve Şekil 9'da gösterilmiştir.

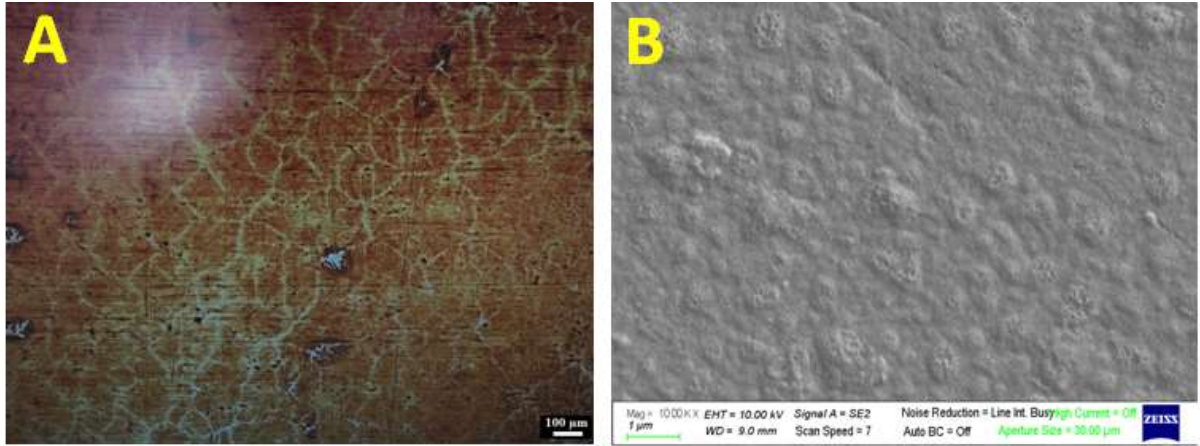
**Şekil 9.** FeCoV Üretimi İçin yapılan deneylerde değişen Al stokiyometrisiyle elde edilen verimler.**Tablo 5.** FeCoV üretimi için gerçekleştirilen deneyler sonucu elde edilen metalin XRF analizi sonuçları.

| Stokiyometri | Fe | Co | V | Al |
|--------------|-------|-------|------|-------|
| %90 | 38,37 | 34,46 | 0,90 | 25,26 |
| %95 | 40,10 | 36,50 | 1,15 | 21,34 |
| %100 | 44,37 | 40,02 | 1,23 | 13,89 |
| %105 | 47,40 | 43,43 | 1,54 | 7,61 |
| %110 | 45,12 | 41,34 | 1,45 | 12,05 |
| %115 | 41,01 | 37,45 | 1,39 | 20,09 |
| %120 | 39,05 | 34,96 | 1,25 | 23,99 |

FeCoV üretimi için gerçekleştirilen deneylerin sonuçları incelendiğinde, metal kazanım verimlerinde ilk deney setiyle benzer değişimlerin elde edildiği görülmüştür. Metal kazanım verimleri, Al stokiyometrisinin %90 olduğu durumdan %105'e kadar olduğu duruma kadar yükselmiş sonrasında düşüş göstermiştir. Buna ek olarak şarja V ilavesinin, hem Fe, hem de Co oluşumunu teşvik ettiği, bu

ilavenin reaksiyon ısını yükselterek daha yüksek verimlere ulaşılmasını sağladığı görülmüştür. Şekil 8 ve Şekil 9 karşılaştırıldığında, ilk deney setinde en yüksek olarak elde edilen %92,89'luk Fe kazanım veriminin ikinci grup deneylerde %95,56'ya kadar yükseldiği görülmüş, Co verimi de benzer biçimde %77,50'den, % 95,00'a kadar yükselmiştir. Deneyler sonucu elde edilen alaşımdaki vanadyum verimi incelendiğinde, en yüksek verimin %105 stokiometrik alüminyum ilavesiyle gerçekleştirilen deneyde %87,05'lik değerle elde edildiği belirlenmiştir.

FeCo eldesi için %105 stokiometrik alüminyum ilavesiyle gerçekleştirilen deneyde elde edilen alaşımın optik mikroskop ve SEM-EDS ile mikroyapı görüntüleri alınmış ve mikrograflar Şekil 10'da verilmiştir. Numune kesilip zımparalandıktan sonra hacimce %50 HCl-%50 saf su içeren çözeltiyle 30 dakika süreyle dağlanmış, sonrasında incelemeler yapılmıştır. Şekil 10 (A)'ya göre FeCo fazı tane içlerinde homojen bir biçimde dağılmıştır. Şekil 10 (B)'de verilen SEM mikrografının EDS analizinde yapının ağırlıkça %72,7 Fe, %20,6 Co ve %6,7 Al'den oluştuğu tespit edilmiştir.



Şekil 10. FeCo üretimi için gerçekleştirilen deneysel çalışmalarda %105 Al stokiometrisinde elde edilen alaşımın optik mikroskop (A) ve SEM mikrografları (B).

Deneyel çalışmaların sonucunda elde edilen alaşımların XRF sonuçları incelendiğinde, bütün yapılarda yüksek miktarda Al kaldığı saptanmıştır. Tablo 4 ve Tablo 5'teki Al miktarlarına göre, en yüksek verimin elde edildiği %105 stokiometrik Al ilavesi ile gerçekleştirilen deneyde V ilaveli deneyde Al miktarı %7,61 olarak gözlemlenmiştir. Bu değer bütün kompozisyonlar içerisindeki en düşük Al değeri olmasına rağmen arzu edilen kompozisyonun oluşmasını engellemektedir. Yapılan termodinamik incelemelerde Mg'nin entalpi değerinin alüminyumdan yüksek olduğu görülmektedir. Deneylerin Mg redükten ile tekrarlanması durumunda arzu edilen kompozisyona daha yakın kimyasal kompozisyonlarda alaşım elde edilebileceği düşünülmektedir.

4. Sonuç

Bu çalışmada Permendur 24 ve Permendur 49 standartlarında FeCo ve FeCoV alaşımlarının metalotermik redüksiyon yöntemi ile üretimi amaçlanmış, reaksiyon koşulları FactSage 7.1 termodinamik simülasyon programıyla modellenmiştir. Çalışmada metal oksitlerin metal içerikleri alüminyum ile redüklenerek metal kazanım verimleri incelenmiştir. Hem FeCo hem de FeCoV üretimi için yapılan deneyel çalışmalarda en yüksek metal kazanım verimleri %105 Al redükten ilavesi ile gerçekleştirilen çalışmalarda elde edilmiştir. İlgili stokiometride FeCo kazanımı için yapılan çalışmada Fe ve Co kazanım verimleri sırasıyla %92,89 ve %77,50 olmuştur. FeCoV üretimi için %105 Al stokiometrisi ile yapılan deneyel çalışmada Fe verimi %95,56, Co verimi %95,00 ve V verimi %87,05 olarak hesaplanmıştır. Deney sonuçları incelendiğinde termodinamik incelemelerdeki bulgularla paralel olarak vanadyumun reaksiyon ısını ve bunun sonucunda metal kazanım verimlerini arttırdığı tespit edilmiştir. Metalotermik redüksiyon üretim tekniği her ne kadar hızlı, basit, kolay uygulanabilir ve CO₂ salınımı düşük bir üretim yöntemi olsa da indirgeyicinin metale geçmesi, arzu edilen ürünün istenilen standartta üretilememesine yol açabilmektedir. %105 Al stokiometrisi ile yapılan deneylerde FeCo üretiminde alaşımda %10,40 Al, aynı stokiometride FeCoV alaşımında ise %7,61 Al ölçülmüştür. Mg

gibi farklı indirgeyiciler ve koruyucu atmosfer altında gerçekleştirilen deneyler ile istenilen standartta alaşımların elde edilebileceği öngörülmektedir.

Teşekkür

Bu proje Yalova Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından 2018/AP/0002 proje numarası ile desteklenmiştir. Yazarlar, BAP birimine mali desteğinden dolayı teşekkürlerini sunarlar.

Yazarların Katkısı

Makalede yazarların katkısı eşit orandadır. Mehmet BUĞDAYCI (%50) termodinamik modellemeler, deneylerin yapılması, numune hazırlanması, makalenin yazılması, sonuçların yorumlanması ve revizyonların yapılmasını gerçekleştirmiştir. Ahmet TURAN (%50) termodinamik modellemeler, karakterizasyon çalışmaları, hammadde temini, makalenin yazılması ve revizyonların yapılmasını gerçekleştirmiştir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Etik Kurallar

Yapılan çalışmada, araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar

- [1] Önkibar G. 2006. Entegre Demir-Çelik Tesisi Tufalinden Doğrudan Redükleme Yöntemi ile Ham Demir Üretimi. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- [2] Buğdaycı M. 2014. Krom Nikel İçeren Demirli Alaşımların Metalotermik Yöntemle Üretiminde Tufal Kullanımının Etkisi. İTÜ Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [3] Gulyaev A.P., Kupalova I.K. 1970. Effect of Cobalt on the Structure and Properties of High-Speed Steels, Consultants Bureau, a division of Plenum Publishing Corporation, 1: 666-671.
- [4] Yu R.H., Basu S., Ren L., Zhang Y., Parvizi-Majidi A., Unruh K.M., Xiao J.Q. 2000. High temperature soft magnetic materials: FeCo alloys and composites. IEEE Transactions on Magnetics, 36 (5): 3388-3393.
- [6] Sundar R.S., Deevi S.C. 2005. Soft magnetic FeCo alloys: alloy development, processing, and properties. Int. Mater. Rev., 50 (3): 157-192.
- [7] Sourmail T. 2005. Near equiatomic FeCo alloys: constitution, mechanical and magnetic properties. Prog Mater Sci., 50: 816-880.
- [8] Díaz-Ortiz A., Drautz R., Fähnle M., Dosch H., Sanchez J. M.2006. Structure and magnetism in bcc-based iron-cobalt alloys. Phys. Rev. B, 73: 208-224.
- [9] Duckham A., Zhang D.Z., Liang D., Luzin V., Cammarata R.C., Leheny R.L., Chien C.L. 2003. Temperature dependent mechanical properties of ultra-fine grained FeCo-2V. Acta Mater., 51: 4083-4093.
- [10] Sundar R.S., Deevi S.C. 2004. Influence of alloying elements on the mechanical properties of FeCo-V alloys. Intermetallics, 12: 921-927.
- [11] Yang B., Cao Y., Zhang L., Li R.F., Yang X.Y., Yu R.H. 2014. Controlled chemical synthesis and enhanced performance of micron-sized FeCo particles. Journal of Alloys and Compounds, 615: 322-326.
- [12] Mostaan H., Shamanian M., Hasan S., Szpunar J.A. 2015. Response of structural and magnetic properties of ultra-thin FeCo-V foils to high-energy beam welding processes. International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials, 22 (11): 1190-1198.
- [13] Sergeev V.V., Bulygina, T.I. 1980. Hard Magnetic Materials. Energiya, 24: 123-127.
- [14] Hilzinger R., Rodewald W. 2013. Magnetic Materials. Erlangen, Publicis Publ.

- [15] White J.H., Wahl C.V. 1932. Workable magnetic compositions containing principally iron and cobalt. US patent No: 1,862,559.
- [16] Kawahara K. 1983. Structures and mechanical properties of an FeCo-2V Alloy. *Journal of Materials Science*, 18: 3427-3436.
- [17] Lawrence F. 1936. Production of Ferrocobalt. Us patent: US2051433.
- [18] Koutsopoulos S., Barfod R., Tsamouras D., Eriksen K.M., Fehrmann R. 2017. Synthesis and characterization of iron-cobalt (FeCo) alloy nanoparticles supported on carbon. *JALCOM*, 725: 1210-1216.
- [19] Loginov P., Sidorenko D., Bychkova M., Petrzhik M., Levashov E. 2017. Mechanical Alloying as an Effective Way to Achieve Superior Properties of Fe–Co–Ni Binder Alloy. *Metals*, 7 (570): 1-14.
- [20] Biasia R.S., Figueiredoa A.B.S., Fernandes A.A.R., Larica C.C. 2007. Synthesis of cobalt ferrite nanoparticles using combustion waves. *Solid State Communications*, 144: 15-17.
- [21] Yang B., Cao Y., Zhang L., Li R.F., Yang X.Y., Yu R.H., 2014. Controlled chemical synthesis and enhanced performance of micron-sized FeCo particles. *JALCOM*, 615: 322-326.
- [22] Molinari A., Marchetti F., Gialanella S., Scardi E., Tiziani A. 1990. Study of the Diamond-Matrix Interface in Hot-pressed Cobalt-based Tools. *Materials Science and Engineering*, 130: 257-262.
- [23] Zehani K., Bez R., Boutahar A., Hlil E.K., Lassri H., Moscovici J., Mliki N., Bessais L. 2014. Structural, magnetic, and electronic properties of high moment FeCo nanoparticles. *JALCOM*, 591: 58-64.
- [24] Weimer A.W. 1997. Thermochemistry and Kinetics. In *Carbide, Nitride and Boride Materials Synthesis and Processing*. Chapman & Hall, London, UK, 79-114.
- [25] Merzhanov, A.G. 2002. Self-Propagating High-Temperature Synthesis (SHS). ISMAN, Russia.
- [26] Munir Z.A., Tamburini U.A. 1989. Self-propagating exothermic reactions: The synthesis of high-temperature materials by combustion. *Materials Science Reports*, 3 (6): 277-358.
- [27] Pacheco M.M. 2007. Self-sustained high-temperature reactions-initiation, propagation and synthesis. PhD thesis, <http://repository.tudelft.nl> (Erişim Tarihi: 22.08.2019).
- [28] http://web.mit.edu/2.813/www/readings/Ellingham_diagrams.pdf (Erişim Tarihi: 22.08.2019).

Araştırma Makalesi / Research Article

Sıcak Presleme Yöntemi ile AZ91 Magnezyum Alaşımının Üretimi

Tarık AYDOĞMUŞ^{1*}, Fevzi KELEN², Erhan AYDEMİR¹

¹Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Van

²Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Motorlu Araçlar ve Ulaştırma Teknolojileri Bölümü, Van

(ORCID: 0000-0002-0928-5095) (ORCID: 0000-0003-3900-4503) (ORCID: 0000-0002-9586-819X)

Öz

En çok kullanılan ticari magnezyum (Mg) alaşımı olan AZ91'in %90'ı basınçlı döküm yöntemiyle üretilmektedir. Basınçlı dökümün birçok avantajı olmasına rağmen, işlem sırasında oluşan gaz boşlukları nedeniyle bu yöntemle üretilen AZ91 alaşımlarına ısıtma işlemi uygulanamamakta ve kaynak sırasında çeşitli problemlerle karşılaşmaktadır. Bu çalışmada, mikroyapısında üretim sonrasında herhangi bir şekilde hapsolmuş gaz ve boşluk içermeyen AZ91 alaşımlarının üretilmesi hedeflenmiştir. Ön alaşımlı AZ91D tozları 420, 450 ve 500 °C sıcaklıklarında 1 saat süreyle sıcak preslenerek numuneler üretilmiştir. Presleme basıncı 50 MPa olarak sabit tutulmuştur. Üretilen numuneler tel erezyon ile 5x5x10 (mm) boyutlarında kesildikten sonra Arşimet metodu ile yoğunlukları ölçülmüş, X-Işını Difraktometresi (XRD) ve Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ile mikroyapıları incelenmiştir. 450 ve 500 °C'de yapılan sıcak presleme işlemi sırasında AZ91 alaşımında kısmi erime meydana geldiği gözlemlenmiş ve bunun nedeninin Mg-Al ikili faz diyagramındaki 437 °C'de yer alan ötektik faz dönüşümünün gerçekleşmesi olduğu ortaya konulmuştur. 420 °C'de 1 saat süre ile yapılan sıcak presleme sonrasında AZ91 alaşımının tam yoğunluğa ulaştığı tespit edilmiştir. XRD ve SEM analizleri sonucunda mikroyapının α (Mg'ca zengin) ve β ($Mg_{17}Al_{12}$) fazlarından oluştuğu belirlenmiştir. Üretilen alaşımların mekanik özellikleri oda sıcaklığı, 100, 150 ve 200 °C'de yapılan basma testleri ile belirlenmiştir. Sıcak presleme yöntemiyle üretilen AZ91 alaşımının mekanik özelliklerinin döküm yöntemleriyle üretilenlerden daha iyi olduğu görülmüş, akma dayanımı, basma dayanımı ve süneklik için sırasıyla 183 MPa, 241 MPa ve %10.1 değerleri elde edilmiştir. Beklendiği üzere, test sıcaklığı arttıkça akma ve basma mukavemetlerinde azalma, süneklikte ise artış görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Magnezyum, AZ91 Alaşımı, Mekanik Özellikler, Mikroyapı, Toz Metalurjisi, Sıcak Presleme

Processing of AZ91 Magnesium Alloy via Hot Pressing Technique

Abstract

90% of AZ91, the most commonly used commercial magnesium alloy, is produced by pressure die casting. Despite the many advantages of pressure die casting, AZ91 alloys produced by this method cannot be heat treated due to the gas pores formed during the process, and various problems are encountered during welding. In this study, it is aimed to produce AZ91 alloys that do not contain any entrapped gas and pores in the microstructure after production. The pre-alloyed AZ91D powders were hot pressed at 420, 450 and 500 °C for 1 hour to produce samples. Pressing pressure was kept constant to be as 50 MPa. Having produced the samples were cut in the dimensions of 5x5x10 (mm) via wire electrical discharge machining. Density of the samples were measured by Archimedes' method and X-ray diffractometer (XRD) and scanning electron microscope (SEM) were used to examine microstructures. During the hot pressing process carried out at 450 and 500 °C, partial melting of the AZ91 alloy was observed due to the eutectic phase transformation in the Mg-Al binary phase diagram occurring at 437 °C. The AZ91 alloy was found to reach full density after hot pressing at 420 °C for 1 hour. XRD and SEM analyzes revealed that the microstructure was composed of α (Mg-rich) and β ($Mg_{17}Al_{12}$) phases. The mechanical properties of the alloys produced were determined by compression tests at carried out at room temperature, 100, 150 and 200 °C. The mechanical properties of the AZ91 alloy produced by hot pressing were found to be better than those produced by casting methods and values of 183 MPa, 241 MPa and 10.1% were obtained for yield strength, compressive strength and ductility, respectively. As expected, as the test temperature increased, the yield and compressive strengths decreased and the ductility increased.

Keywords: Magnesium, AZ91 alloy, Mechanical Properties, Microstructure, Powder Metallurgy, Hot Pressing

*Sorumlu yazar: aydogmus@yyu.edu.tr; aydogmustarik@gmail.com

Geliş Tarihi: 19.04.2019, Kabul Tarihi: 19.09.2019

1. Giriş

Mg endüstride demir ve alüminyumdan sonra en çok kullanılan yapısal metalik malzemedir. Mg'un demir ve alüminyuma göre çok daha az kullanılmasının nedeni korozyon direncinin düşük olması, düşük elastisite modülü ve mukavemeti, yüksek sıcaklık mekanik özelliklerinin, özellikle mekanik dayanım ve sürünme direncinin yetersiz olması, düşük süneklik ve yanıcı olmasıdır. Mg'un performansını önemli ölçüde etkileyen bu dezavantajlarına karşın sahip olduğu bir takım avantajlar da vardır. Örneğin, 1.738 g/cm³ olan yoğunluğu, demir (7.87 g/cm³) ve alüminyumunkine göre (2.7 g/cm³) sırasıyla yaklaşık %78 ve %35 daha azdır. Bu nedenle, özellikle düşük ağırlığın kritik bir parametre olduğu otomotiv ve havacılık gibi uygulamalarda Mg kullanımını oldukça cazip hale getirmektedir. Bir otomobilin yakıt tüketimi %60 oranında araç ağırlığına bağlıdır ve araç ağırlığındaki %10'luk bir azalma kabaca %5'lik bir yakıt tasarrufu sağlamaktadır. Yakıt tüketiminin azaltılması beraberinde CO₂ salınımlarının düşürülmesini ve mevcut petrol rezervlerinin daha verimli kullanılmasını getirecektir. Mg ve Mg alaşımları yüksek özgül dayanıma ve yüksek sönümlenme kapasitesine sahiptirler. Korozyon dirençleri basit önlemlerle (yüksek saflık ya da alaşım elementleri ilavesi) istenilen seviyelere getirilebilir. Kolay ulaşılabilir ve geri dönüştürülebilir olması da Mg ve alaşımlarının başka bir avantajıdır. Bütün bu pozitif özellikleri nedeniyle Mg ve alaşımları otomobil ve havacılık dışında da pek çok uygulama alanı bulmuştur. Nükleer uygulamalar, savunma sanayi, uzay, metalurjik prosesler (çeliğin korozyondan korunması, çelik üretiminde desülfürasyon, alaşım elementi, indirgeyici vb.), kamera, cep telefonu ve taşınabilir bilgisayar kasalarının imalatı, çeşitli ev eşyalarının imalatı ve biyomalzeme uygulamaları aklı ilk gelen örneklerdir [1-5].

AZ91 (ağırlıkça %9 Al (alüminyum) ve %1 Zn (çinko) içeren Mg alaşımı), diğer Mg alaşımları ile karşılaştırıldığında daha yüksek dayanım özellikleri gösteren ve bu nedenle endüstride en çok kullanılan ticari Mg alaşımıdır. Aynı zamanda çok iyi bir dökülebilirlik sergileyen AZ91 alaşımlarının üretilmesinde en çok basınçlı döküm yöntemi kullanılmaktadır [2, 6, 7]. Bu yöntemin yüksek miktarlarda üretilebilirlik, iyi yüzey kalitesi, yüksek soğuma hızlarından dolayı küçük tane boyutu, karmaşık şekil üretim kolaylığı, düşük maliyet gibi avantajları olmasına rağmen, malzeme içinde kalan gaz boşlukları, kalın kesitte döküm sınırlılığı, kaynak ve ısıl işlem sınırlılığı gibi dezavantajları da bulunmaktadır. Basınçlı dökümde sıvı metalin kalıba doldurulması esnasında meydana gelen türbülans nedeniyle sıvı metal içerisinde hapsolan gazlar hızlı soğumanın bir sonucu olarak katılmış döküm mikroyapısında da bulunmaktadır. Bu gazlar döküm sonrası uygulanan çözeltiye alma (T4) ve yaşlandırma (T6) ısıl işlemleri sırasında genişleyerek yüzey kabarmalarına ve malzemenin çarpılmasına neden olmaktadır. Bu yüzden basınçlı döküm yöntemi ile üretilen AZ91 alaşımları ısıl işlem yapılmadan kullanılmaktadırlar [2, 8, 9].

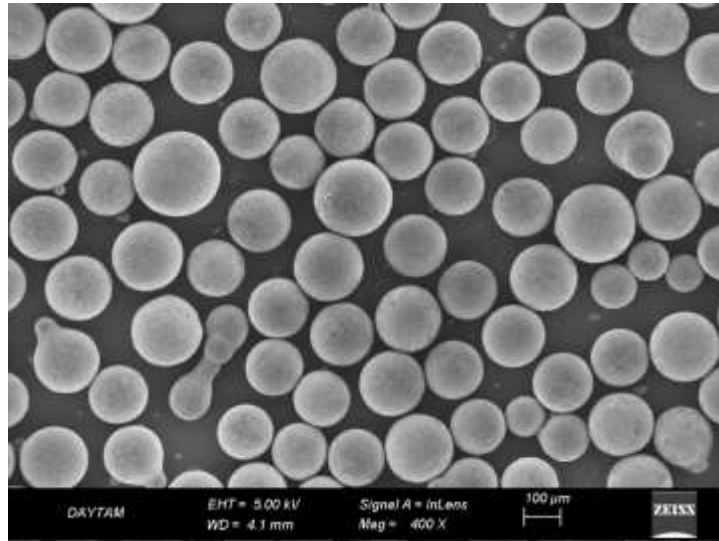
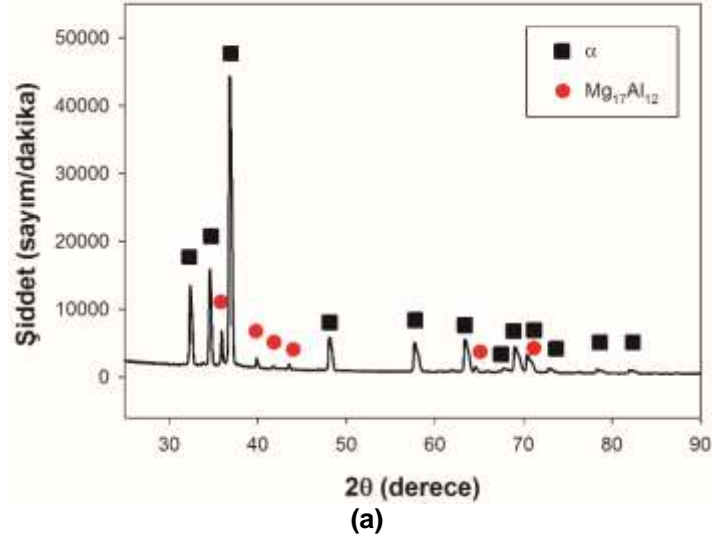
Döküm yöntemlerine alternatif olarak AZ91 alaşımları toz metalurjisi yöntemleriyle de üretilebilir. Toz metalurjisi yöntemleri ile üretilebilen küçük taneli yapı daha iyi dayanım değerleri sağlarken, ikincil işlemlere olan gereksinimin çok az ya da hiç olmaması ve üretim için daha düşük sıcaklıklara ihtiyaç duyulması daha düşük maliyet avantajını beraberinde getirmektedir. Literatürde AZ91 alaşımlarının toz metalurjisi ile üretilmelerini konu edinen son derece sınırlı sayıda yayın bulunmaktadır [10-13]. AZ91 matrisli kompozitlerin üretilmesinde ise dökümde karşılaşılan sorunlar yüzünden toz metalurjisi yöntemlerinin sıklıkla kullanıldığı görülmektedir [14-18]. Mg ve alaşımlarının üretiminde toz metalurjisinin tercih edilmemesinin iki temel nedeni bulunmaktadır. Bu alaşımların oksijenle reaksiyona girmesi çok kolay olduğundan tozların yüzeyinde oluşması muhtemel ince magnezyum oksit (MgO) tabakası, sinterlenme sırasında difüzyonu önlemekte, tozlar arasında zayıf ve kırılğan tane sınırlarının oluşmasına dolayısıyla düşük mekanik özelliklere neden olmaktadır. Klasik presleme ve ardından uygulanan sinterleme işleminde ise önemli oranda gözeneklerin kalması bir diğer problemdir [19].

Bu çalışmada, mikroyapısında üretim sonrasında herhangi bir şekilde hapsolmuş gaz ve boşluk içermeyen dolayısıyla ısıl işlemlere uygun AZ91 alaşımlarının üretilmesi hedeflenmiştir. AZ91 alaşımı toz metalurjisi yöntemlerinden biri olan tek eksenli sıcak presleme yöntemi ile üretilmiştir. Sıcak preslemeyi geleneksel toz metalurjisinden ayıran yönü presleme ve sinterleme işleminin eş zamanlı olarak yapılmasıdır. Basıncın uygulanması ile başlangıçta kalıba konulan AZ91D alaşım tozları arasında bulunan gözeneklerin tamamen elimine edilmesi, temiz yüzeyli tozların kullanılması ile de tozlar arasında iyi bir sinterlenmenin sağlanması ile yüksek dayanım ve sünekliğin elde edilmesi amaçlanmıştır. Mg-Al ikili denge diyagramından [20] görüleceği üzere %9 alüminyum içeriği temel

alındığında 330 °C'nin altındaki sıcaklıklarda yapılan yaşlandırma ısıl işleminin sonucunda $Mg_{17}Al_{12}$ (β) fazı çökeltileri elde edilebilmektedir. Sıcak presleme işleminin soğuma aşamasında eş zamanlı olarak uygulanan yaşlandırma ısıl işleminin esnasında bu metaller arası bileşiğin oluşması üzerinde uygulanan basıncın etkisini ortaya çıkarmak çalışmanın diğeri bir hedefini oluşturmaktadır.

2. Materyal ve Metot

Numunelerin üretiminde, TangShan WeiHao Magnesium Powder Co. Ltd. (Çin) firmasından temin edilen 150-300 μm boyutlarında, inört gaz atomizasyonu ile üretilmiş küresel şekilli AZ91D alaşım tozu kullanılmıştır. AZ91D tozu standart alaşım AZ91 ile aynı olup, "D" harfi alaşımın mekanik ve korozyon özellikleri ile mikroyapısını iyileştirmek için alaşım elementlerinin miktarında küçük değişiklikler yapıldığını göstermektedir. Tozun kimyasal bileşimi ağırlıkça %90.4 Mg, %8.93 Al ve %0.43 Zn'den oluşmaktadır. AZ91D tozlarına ait XRD kırınım deseni ve SEM görüntüsü Şekil 1'de verilmiştir. Görüleceği üzere alaşım tozu matris fazı olan α fazına ek olarak $Mg_{12}Al_{17}$ (β) çökelti fazını da içermektedir. Ayrıca tozlarda kirliliğe, kötü sinterlenmeye ve düşük mekanik özelliklere neden olan oksit, karbür veya nitrür gibi istenmeyen ikincil fazların bulunmadığı hem XRD hem de SEM analiz sonuçları ile teyit edilmiştir. AZ91D alaşım tozu argon gaz atomizasyonu yöntemi ile üretildiği için küresel parçacıklardan oluşmaktadır.



Şekil 1. AZ91D alaşım tozuna ait a) XRD kırınım deseni, b) SEM görüntüsü

AZ91D alaşım numuneleri sıcak presleme yöntemi ile üretilmiştir. Sıcak presleme yöntemini geleneksel toz metalurjisi yönteminden ayıran özelliği basınç ve sıcaklığın aynı anda uygulanmasıdır. Numuneleri üretmek için MSE_M_HP_1300 model sıcak pres cihazı kullanılmıştır. Cihaz maksimum 1200 °C çalışma sıcaklığı ve 10 tonluk yükleme kapasitesine sahiptir. Numune üretimi sırasında basınç manuel olarak uygulanırken, sıcaklık ise PID üniteden otomatik olarak kontrol edilmektedir. Tozlar 15 ve 40 mm iç çapında içi boş silindirik grafit kalıplara doldurulduktan sonra sıcak prese yerleştirilmiş ve 10 °C/dak hızla presleme sıcaklığına ısıtılmıştır. Üretim parametrelerini optimize etmek için yapılan ön deneylerde 15 mm iç çapındaki kalıplar kullanılmış, optimizasyon sonrası 40 mm iç çaplı kalıplarda üretime devam edilmiştir. Gerek 15 mm gerekse 40 mm iç çaplı silindirik kalıplarda, üretim sonrası numune kalınlığı 10 mm olarak sabit tutulmuş ve gerekli toz miktarları bu yükseklik esas alınarak hesaplanmıştır. Sıcak presleme işlemleri 420, 450 ve 500 °C sıcaklıklarında 1 saat süreyle gerçekleştirilmiştir. Sonrasında numuneler sıcak pres içerisinde soğutulmuş ve sıcaklık 150 °C'ye düştüğünde cihazdan alınmıştır. Isıtma, presleme ve soğutma aşamalarının tümünde 50 MPa'lık sabit bir gerilme uygulanmıştır. Gerilimin β fazının çökmesindeki etkisini ortaya çıkarmak için bir numune grubuna soğuma aşamasında herhangi bir basınç uygulanmamıştır. Yine bütün aşamalar sırasında numuneler argon gazı akışı ile oksitlenmeden korunmuştur. Üretilen numuneler tel erezyon ile 5x5x10 (mm) boyutlarında kesildikten sonra Arşimet metodu ile yoğunlukları ölçülmüştür. Bunun için Precisa LS 220A model, 220 g kapasiteli ve 0.0001 hassasiyetli analitik terazi ve yoğunluk kitinden yararlanılmıştır. Başlangıç tozlarında ve üretilen numunelerde fazların belirlenmesi için XRD deneyleri yapılmıştır. Bu amaçla, Panalytical marka Empyrean model cihazda 20-90° 2 θ açılarında, 2°/dak tarama hızı kullanılarak numunelerdeki fazlar belirlenmiştir. SEM analizleri öncesinde numuneler metalografik zımparalama ve parlatma işlemlerine tabi tutulmuş sonrasında, %5 nital çözeltisi (95 ml etanol + 5 ml nitrik asit) ile 2 dakika süre ile dağlanmışlardır. SEM analizleri için Zeiss marka Sigma 300 model cihaz kullanılmıştır. Numune mikro yapılarında bulunan fazların kimyasal bileşeni SEM cihazında bulunan EDS detektörü ile belirlenmiştir. Sıcak presleme yöntemi ile üretilen AZ91D alaşım numunelerinin basma deneyleri Raagen marka üniversal çekme-basma test cihazında yapılmıştır. Basma deneyleri dört farklı sıcaklıkta (oda sıcaklığında (~25 °C), 100 °C, 150 °C ve 200 °C) ve 0.5 mm/dak hızda yapılmıştır. AZ91 alaşımları belirgin akma göstermediklerinden, akma dayanımları %0.2 offset metodu ile belirlenmiştir.

3. Bulgular ve Tartışma

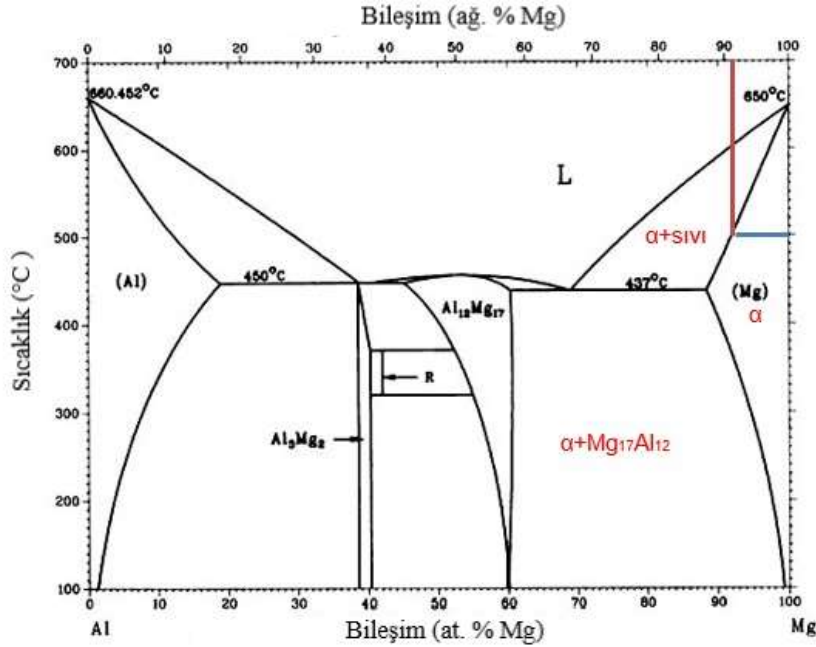
Sıcak presleme işleminde, sıcaklık, basınç ve süre olmak üzere kontrol edilebilecek üç tane temel üretim parametresi mevcuttur. Basınç en kısa sürede tam yoğunluğa ulaşmak için, grafit kalıplar kullanıldığında uygulanabilecek maksimum basınç olan 50 MPa olarak seçilmiş ve tüm numune üretimlerinde kullanılmıştır. Aynı şekilde sıcak presleme süresi de ön deneyler sonucunda 1 saat olarak belirlenmiş ve tam yoğunluğu sağladığı görülmüştür. AZ91D numune üretiminde presleme sıcaklığı 500 °C olarak uygulandığında, ısıtma esnasında 438 °C'ye ulaşıldığında uygulanan basıncın aniden düştüğü gözlenmiştir. Basınç tekrar 50 MP'a çıkarılmak istenmiş fakat bu mümkün olmamıştır. Grafit takım kalıbı soğuma sonrası presten çıkarılınca kalıp boşluğunda sıvı faz oluştuğu ve bu fazın kalıp-zımba ara yüzeyinden sızarak kalıp üzerinde ve zımba yüzeylerinde katılaştığı görülmüştür. Bunun üzerine presleme sıcaklığı 450 °C'ye düşürülmüş fakat yine aynı durum (Şekil 2) gözlenmiştir.

Atomizasyon yöntemiyle üretilmiş AZ91D alaşım tozlarının, atomizasyon sonrasında çok hızlı soğutulacakları varsayılarak tozların iç yapısında Mg₁₇Al₁₂ metaller arası bileşiminin oluşmayacağı tahmin edilmiştir. Fakat yapılan XRD analizi sonucunda (Şekil 1a) Mg₁₇Al₁₂ fazının bulunduğu tespit edilmiştir. Şekil 3'de verilen Al-Mg ikili denge diyagramı dikkatle incelenirse sıvı faz oluşumunun nedeni anlaşılabilir. Ağırlıkça %9 Al içeren alaşımda ilk sıvının oluştuğu sıcaklık şekil üzerinde gösterildiği gibi hemen 500 °C'nin üzerindedir. Mg₁₇Al₁₂ fazının tozun iç yapısında bulunmaması durumunda 500 °C'de tamamen katı halde presleme işlemi yapılabilirdi. Ancak başlangıç tozu Mg₁₇Al₁₂ çökeltilerini içerdikten hem 500 hem de 450 °C'de yapılan ön deneylerde sıvı faz oluşumu kaçınılmaz olmuştur. Mg₁₇Al₁₂ bileşiminin oluşabilmesi için 17 Mg atomuna karşılık 12 Al atomu gerekmektedir. Yani daha fazla Mg'a ihtiyaç duyulmaktadır. Bu da alaşımın α fazının, denge bileşimi olan ağırlıkça %9 Al'dan daha fazla Al içermesine neden olmaktadır. Alüminyum Mg içerisindeki maksimum çözünürlüğüne (ağırlıkça %12.9) ötektik sıcaklık olan 437 °C'de ulaşmaktadır. Isıtma sırasında bu sıcaklığa çıkıldığında Mg₁₇Al₁₂ bileşikleri ile komşu olan α fazının Al içeriği %12.9'dan fazla

olduğundan bileşim tek fazlı α Mg yerine $\alpha + \text{Mg}_{17}\text{Al}_{12}$ bölgesine kaymaktadır. Bu da ötektik faz dönüşümüne yakalanmak anlamına gelir. Sonuç olarak gerek 500 gerekse 450 °C’de kompozisyon kayması nedeni ile $\text{Mg}_{17}\text{Al}_{12}$ bileşikleri ile komşu olan α fazının bulunduğu yerel bölgeler katı α fazı yerine $\alpha +$ sıvı faz bölgesinde yer almaktadırlar. İyi bir sinterlemenin yapılabilmesi için sıcaklık en önemli faktörlerden birisidir ve sinterlenme davranışı sıcaklığa üstel olarak bağlıdır. Sinterleme sıcaklığındaki küçük miktarlardaki artışlar dahi sinterlemeyi ciddi ölçüde iyileştirmekte ve süresini kısaltmaktadır. Bu nedenle sıcak presleme sıcaklığı ötektik sıcaklık olan 437 °C’ye yakın bir sıcaklık seçilmiş ve 420 °C olarak optimize edilmiştir.



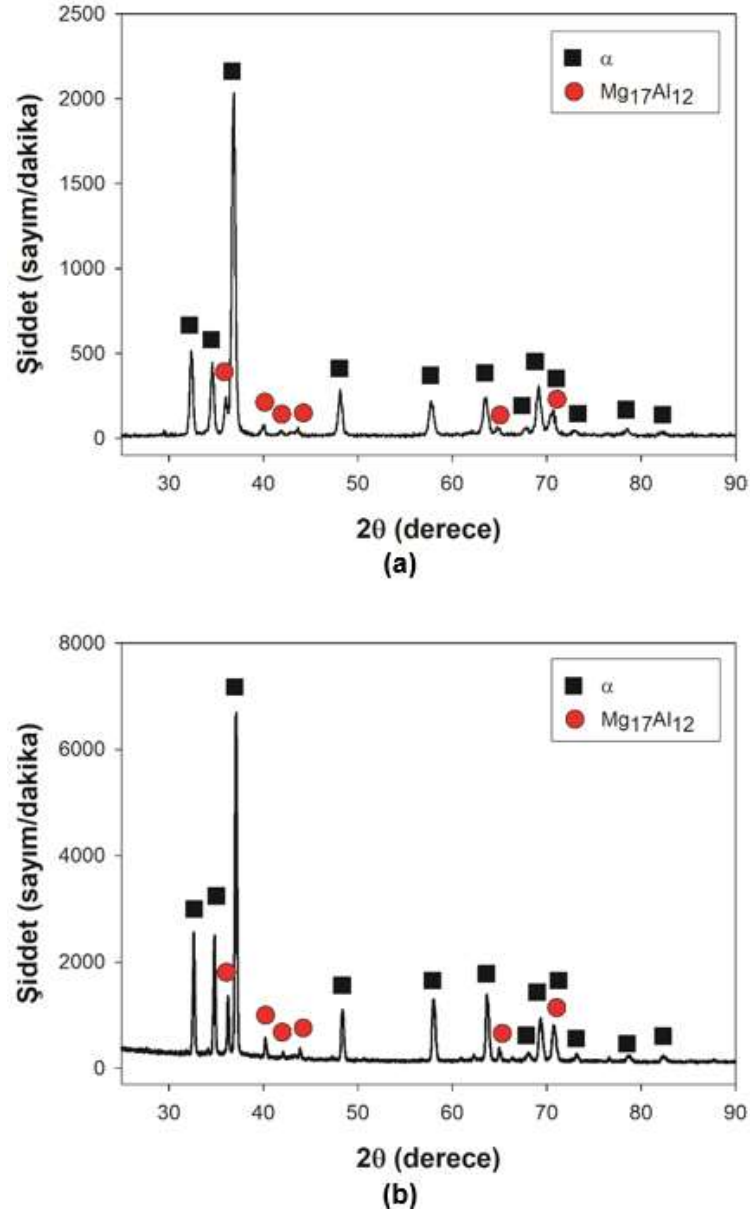
Şekil 2. AZ91D alaşımının 450 °C sıcaklıkta 1 saat süre ile sıcak preslenmesinden sonra cihazdan alınan grafit kalıp takımı ve sıvı faz oluşumu



Şekil 3. Al-Mg ikili faz diyagramı [20]

Arşimet yöntemiyle ölçülen AZ91D alaşımının ortalama yoğunluğu soğutma sırasında yük uygulanması durumunda 1.811, uygulanmaması durumunda ise 1.812 g/cm³ olarak bulunmuştur. Bu değerler alaşımın teorik yoğunluğu olan 1.81 g/cm³ değeri ile çok benzer olup, 420 °C’de 1 saatlik sıcak presleme süresinin tam yoğunluğa ulaşmak için yeterli olduğunu göstermektedir. AZ91D alaşım numunelerinin içyapılarında bulunan fazlar Şekil 4’de verilen XRD desenleri yardımıyla belirlenmiştir.

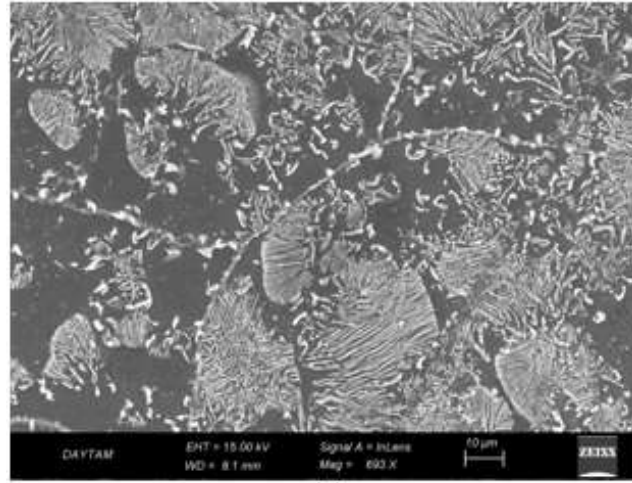
XRD desenleri başlangıç tozlarınınki ile birebir örtüşmektedir. Üretilen AZ91D alaşımlarının α fazı ve $Mg_{17}Al_{12}$ metaller arası bileşiğinden oluştuğu tespit edilmiştir. Üretilen bütün numunelerde oksit, karbür ve istenmeyen kırılğan fazlara rastlanılmamıştır. Grafit kalıplardan karbon difüzyonu sadece numune üzerinde görülmüş numune iç kısımlarında herhangi bir karbon ve karbür oluşumuna rastlanılmamıştır. Yüzeyde oluşan karbon tabakası zımparalama ve parlatma işlemlerinden sonra arındırılmış ve temiz yüzeyler elde edilmiştir. AZ91D alaşım tozlarının atmosfere açık ortamlarda bulunması sakıncalı bir durum teşkil eder. Atmosferde bulunan oksijen, karbon ve azot gibi elementler ile reaksiyona girerek oksit, karbür ve karbonitrür gibi ince yapılı tabakalar oluşturabilir. Bu yüzden tozlar yüksek saflıktaki Ar gazı ile doldurulmuş eldivenli kabin içerisinde muhafaza edilmiştir. Böylelikle, sıcak presleme yönteminin uygun şartlar sağlandığında AZ91D alaşımının yanı sıra saf Mg ve diğer Mg alaşımlarının imalatında rahatlıkla kullanılabileceği sonucuna ulaşılmıştır.



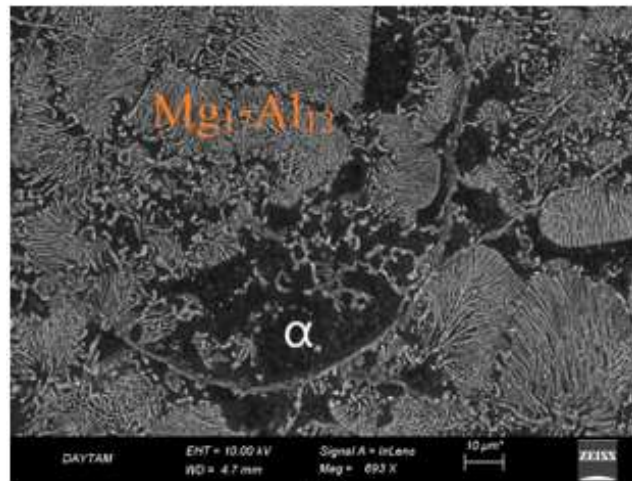
Şekil 4. 420 °C’de 1 saat süre ile sıcak preslenen AZ91D alaşımlarının XRD kırınım deseni, a) soğuma sırasında 50 MPa basınç uygulanmış, b) soğuma sırasında basınç uygulanmamış

Şekil 5’de AZ91D numunelerine ait SEM görüntüleri görülmektedir. Soğuma sırasında yük uygulanmış ve uygulanmamış olan alaşımların mikro yapılarının benzer olduğu görülmüştür. Mikro yapı içerisinde α matris fazına ek olarak süreksiz $Mg_{17}Al_{12}$ çökelti fazlarının hem tane sınırları üzerinde

hem de tane iç kısımlarında oluştuğu görülmüştür. Matris ve çökelti fazlarının kimyasal bileşimleri EDS analizleri ile belirlenmiştir. α fazının ağırlıkça ortalama %7 Al %93 Mg içerdiği bulgusuna ulaşılmıştır. Bu sonuç, alaşımın ortalama Al içeriği olan %8.93 ile uyumludur. Zira çökelti fazlarının oluşması ile α fazı içerisindeki Al miktarı azalacaktır. $Mg_{17}Al_{12}$ intermetaliki stokiometrik olarak 17 Mg atomuna karşı 12 Al atomundan oluşmaktadır. Bu durumda, atomik olarak %41.4 Al ve %58.6 Mg içermesi gerekir. EDS analizi sonucu bu oranlar sırasıyla %38 ve %62 olarak bulunmuştur. Bunun nedeni EDS analizinde kullanılan X ışınlarının yüzeyden birkaç μm derinliğe kadar nüfus etmesidir. β çökeltilerinin kalınlığının da 1-2 μm olması nedeniyle hemen altında bulunan α fazına da X ışınları ulaşmış bu da β fazının Mg içeriğinin olması gereken değerden daha fazla, Al içeriğinin ise olması gerekenden daha az olmasına yol açmıştır. Ayrıca β çökeltilerinin hemen yanında bulunan α fazından da detektöre sinyaller ulaşabileceği dikkate alınmalıdır. Her iki fazda da eser miktarda (ağırlıkça %0.3'den daha az) Zn'ye de rastlanılmıştır. Soğutma sırasında yük uygulanmayan numunede daha fazla çökeltinin oluştuğu gözlenmiştir. Bu durum XRD desenlerinde soğutma sırasında yük uygulanmayan numunelerdeki β fazı piklerinin şiddetindeki artma ile de teyit edilebilir. Bundan basıncın çökeltilerin büyümesini yavaşlattığı sonucu çıkarılabilir. SEM görüntüleri XRD ve yoğunluk sonuçlarını desteklemektedir. AZ91D alaşım numunelerinde herhangi bir gözenek ve XRD'den belirlenen fazlardan başka fazların olmadığı görülmüştür.



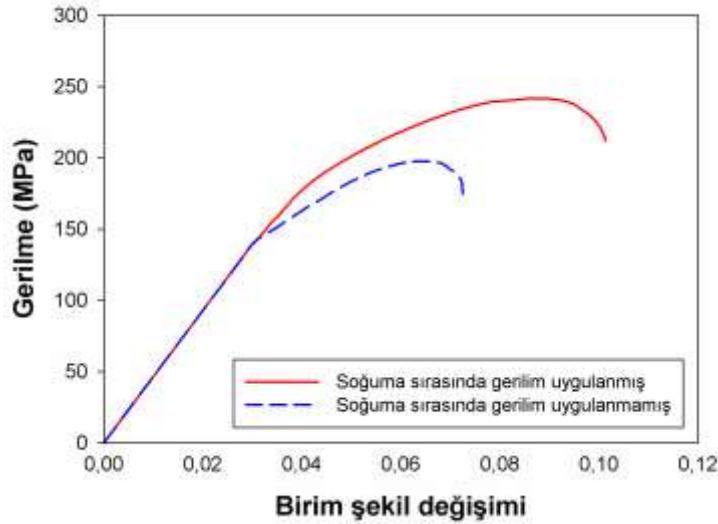
(a)



(b)

şekil 5. 420 °C'de 1 saat süre ile sıcak preslenen AZ91D alaşımlarının SEM görüntüsü, a) soğuma sırasında 50 MPa basınç uygulanmış, b) soğuma sırasında basınç uygulanmamış. Her iki görüntü de presleme yönüne paralel olan yüzeylerden alınmıştır.

Oda sıcaklığında basma testlerine tabi tutulmuş AZ91D alaşımı numunelerinin gerilme-birim şekil değışimi eğrileri Şekil 6'da verilmiştir. Grafikte de görüldüğü gibi soğuma sırasında gerilim uygulanan numune daha iyi mekanik özellikler (yüksek akma ve basma dayanımı ve yüksek süneklik) sergilemiştir. Bu grafiklerden elde edilen mekanik özellikler Tablo 1'de toplu olarak verilmiştir. Soğutma sırasında gerilim uygulanan numunenin akma mukavemeti 183 MPa olarak ölçülürken, gerilim uygulanmaması durumunda bu değeri 147 MPa olarak belirlenmiştir. Aynı şekilde basma mukavemeti de 241 MPa'dan 197 MPa'ya, sünekliğin bir ölçüsü olan kırılmadaki birim şekil değışimi ise %10'lardan %7'lere düşmüştür. Soğuma sırasında gerilim uygulanmayan AZ91D alaşımının mekanik özelliklerinin düşük olmasının sebebi şu şekilde açıklanabilir. Gerek XRD desenleri gerekse SEM görüntülerinden görüldüğü üzere soğutma sırasında gerilim uygulanmayan numune daha fazla β fazı içermektedir. Soğutma aşamasında gerilimin uygulanmaması β fazının büyümesini olumlu yönde etkilemiştir. Oldukça sert ve kırılğan olan bu metaller arası bileşimin [8, 9] mikroyapıda çok fazla miktarda bulunması alaşımı gevrek hale getirmiştir. Bu da düşük dayanım ve süneklik göstermesine neden olmuştur. Diğer yandan numuneler 1 saatlik sıcak presleme işlemi sonrasında buldukları sıcaklıktan 150 °C'ye kadar sıcak presin haznesi içinde soğutulduktan sonra alınmaktadırlar. Bu soğuma işlemi 420 °C için 3 saat civarındadır. Bu esnada numuneler hala sıcaklığa maruz kaldıkları için sinterlenmeye devam etmektedirler. Bu esnada uygulanan basınç tozlar arasında oluşan tane sınırlarının daha güçlü olmasına neden olmaktadır. Çünkü basınç, hem plastik akmaya hem de difüzyon mesafelerinin azalmasına yardım ettiği için daha iyi bir sinterlenme ve buna bağlı olarak toz partikülleri arasında daha güçlü tane sınırlarının oluşmasına olanak sağlamaktadır.



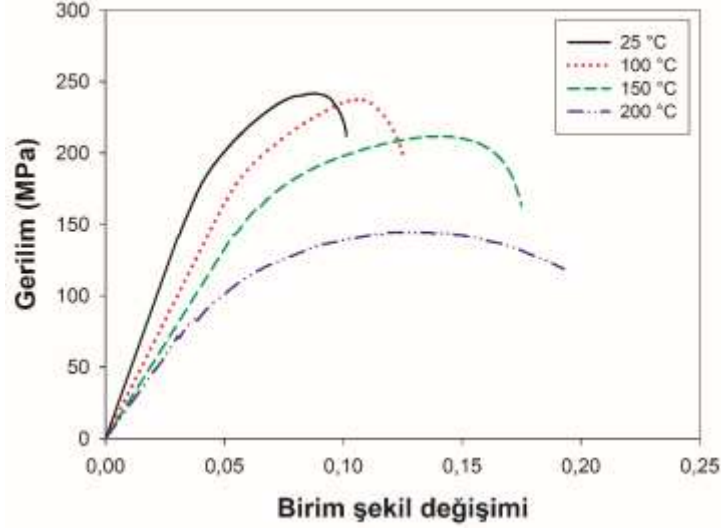
Şekil 6. AZ91D alaşımının oda sıcaklığında yapılan basma testlerinden elde edilen gerilim-birim şekil değışimi eğrileri

Tablo 1. Üretilen numunelerin oda sıcaklığında yapılan basma testlerinin sonuçları

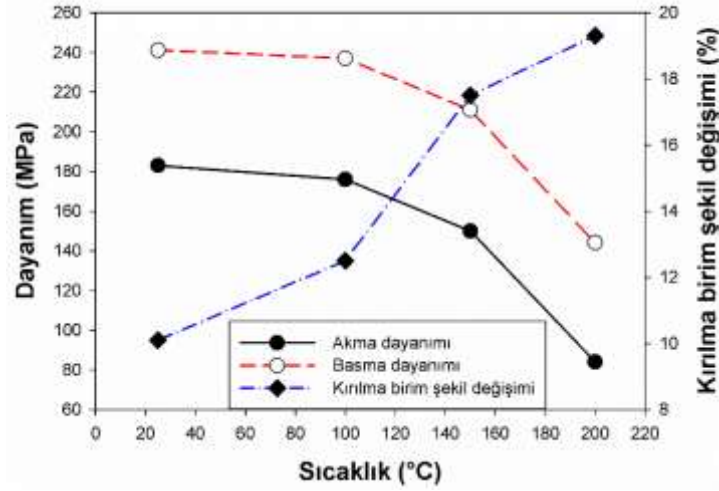
| Numune | Akma mukavemeti (MPa) | Basma mukavemeti (MPa) | Kırılma birim şekil değışimi (%) |
|--|-----------------------|------------------------|----------------------------------|
| AZ91D, soğuma sırasında gerilim uygulanmış | 183 | 241 | 10.1 |
| AZ91D, soğuma sırasında gerilim uygulanmamış | 147 | 197 | 7.2 |

Oda sıcaklığı testleri sonucunda en iyi mekanik özellikleri soğutma sırasında gerilim uygulanmayan AZ91D numuneleri sergilediği için yüksek sıcaklık deneyleri sadece bu grup için yapılmıştır. Şekil 7a'da verilen 25 °C, 100 °C, 150 °C ve 200 °C sıcaklıklarında yapılan basma testlerinden elde edilen gerilme-birim şekil değışimi eğrilerinden görülebileceği üzere artan sıcaklıklar ile gerilme değerlerinde azalma olurken, birim şekil değışiminde ise yükselmeler gözlenmiştir. Numunelere yükün uygulanması ile önce elastik deformasyon gözlenmiş ve akma gerilimine ulaşıldığında ise plastik deformasyon başlamıştır. Artan gerilme ile orantılı olarak dislokasyon

yoğunluğu artmış ve oda sıcaklığında yapılan testlerde numunelerde belirli oranda sertleşmeler (pekleşme) gözlenmiştir. Sonrasında yükün uygulanmaya devam edilmesiyle maksimum gerilme değeri yani basma mukavemetine ulaşılmıştır. Basma gerilimine ulaşan numunelerde mikro çatlak oluşumu başlamasıyla gerilim değerlerinde azalma gözlenmiş sonrasında bu çatlakların büyümesi ile numuneler daha fazla yükü taşıyamadıkları için kırılmışlardır. Yüksek sıcaklıkta yapılan testlerde ise pekleşme azalmış, bu nedenle de mukavemet düşerken, süneklikte artış gözlenmiştir.



(a)



(b)

Şekil 7. Soğuma sırasında gerilim uygulanmayan AZ91D alaşımının a) farklı sıcaklıklardaki gerilme-birim şekil değışimi eğrileri, b) akma dayanımı, basma dayanımı ve kırılma birim şekil değışiminin sıcaklıkla olan ilişkisi

AZ91D numunesinin akma dayanımında test sıcaklığının artışı ile 100 °C'ye kadar önemli bir düşüş yaşanmazken (183'den 176 MPa'a düşmüş) sıcaklığın daha da artırılmasıyla akma dayanımındaki düşüşler daha da fazla olmuştur, Şekil 7b. 150 ve 200 °C'de akma mukavemeti sırasıyla 150 ve 84 MPa olarak ölçülmüştür. 25 ve 100 °C sıcaklığındaki basma mukavemetleri (sırasıyla 241 ve 237 MPa) birbirine çok yakinken 150 ve 200 °C'deki basma mukavemetleri (sırasıyla 211 ve 144 MPa) arasındaki fark önemli ölçüde artmıştır. Oda sıcaklığı ile en yüksek test sıcaklığında ölçülen akma mukavemeti değerleri arasında 2 kattan fazla bir değışim vardır. Basma mukavemetlerinde de benzer bir eğilim görülmüştür. 241 MPa olan oda sıcaklığındaki basma dayanımı 200 °C'de 144 MPa'a kadar azalmıştır. Kırılma birim şekil değışimleri ise test sıcaklığının 25 °C'den 100, 150 ve 200 °C'ye artırılmasıyla %10.1'den sırasıyla %12.5, %17.5 ve %19.3 değerlerine yükselmiştir. Şekil 7b dikkatle incelendiğinde dayanım değerlerinin 100 °C'den daha yüksek sıcaklıklarda hızla azaldığı, kırılma birim şekil

değişiminin ise 100 °C'den sonra büyük artışlar gösterdiği gözlemlenmektedir. Oda sıcaklığında sert ve kırılğan olan β çökeltilerinin 110-120 °C'de yumuşamaya başlaması [8, 9] bu durumu açıklamaktadır.

Basıncılı döküm yöntemi ile üretilen AZ91D alaşımının oda sıcaklığı akma mukavemeti çekme testinde 160, basma testinde 148 MPa olarak belirlenmişken [9] mevcut çalışmada sıcak presleme yöntemi ile üretilen AZ91D alaşımının akma mukavemeti (basma testi) 183 MPa olarak ölçülmüştür. Basıncılı döküm yöntemi ile üretilen AZ91D alaşımları bir miktar gözenek içerdiklerinden ısıl işlem yapılmadan kullanılırlar. Mevcut çalışmada ise gözenek içermeyen AZ91D alaşımlarında sıcak presleme sonrasında soğuma sırasında β çökeltileri oluşmuştur. Bu yüzden dayanım değerleri daha yüksek çıkmıştır. Basıncılı döküm yöntemi ile üretilen AZ91 alaşımlarının sünekliği %7 [9] iken sıcak presleme ile üretilen alaşımın sünekliği (%10.1) neredeyse %50 daha fazladır. Döküm yönteminde β fazı yalnızca tane sınırları üzerinde oluşurken, sıcak presleme ile üretilen alaşımlarda hem tane sınırları hem de tane içlerinde oluşmuştur. Yani döküm yöntemine göre çok daha homojen bir dağılım sağlanmıştır. Yalnızca tane sınırları ve civarında oluşan β fazı tane sınırlarını gevreklettiği için dökümde daha düşük süneklik değeri elde edilmiştir. Genelde 24 saat süre ile 400 °C civarında yapılan çözeltiye alma (T4) ve akabinde uygulanan yaşlandırma ısıl işlemi (T6: 200 °C civarında 16 saat) [9] sonucunda benzer miktarda β çökeltilerinin oluşacağı düşünülürse, sıcak presleme işlemi sonrasında ayrıca bu ısıl işlemlerin yapılmasına gerek olmadığı kanaatine varılabilir.

4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada sıcak presleme yöntemi kullanılarak AZ91D alaşımı başarıyla üretilmiştir. 50 MPa basınç altında 1 saat süre ile yapılan sıcak presleme işleminde proses sıcaklığı 420 °C olarak optimize edilmiştir. Çalışma sonucunda aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

1. Tamamen katı halde sinterleme yapabilmek için uygulanabilecek maksimum sıcaklığın ötektik sıcaklıktan (437 °C) daha düşük olması gerektiği sonucuna varılmıştır.
2. Optimum sıcaklıkta üretilen AZ91D alaşımlarının tam yoğunluğa ulaştığı ve gözeneksiz bir mikroyapı elde edildiği görülmüştür. Üretilen numunelerde α ve $Mg_{17}Al_{12}$ fazlarının oluştuğu tespit edilmiştir. Başlangıç tozlarında bulunan fazlar dışında herhangi bir fazın (oksit, karbür vb.) oluşmadığı gözlenmiştir.
3. AZ91D alaşımında döküm yöntemlerinin aksine $Mg_{17}Al_{12}$ çökelti fazlarının hem tane sınırında hem de tane içinde oluştuğu belirlenmiştir.
4. Soğuma sırasında AZ91D alaşımına yük uygulanmasının β fazının büyümesini yavaşlattığı ortaya konulmuştur.
5. Literatür taramalarına göre bu çalışma ilk olma özelliği taşımaktadır. Sıcak presleme ile üretilen AZ91D alaşımları bütün döküm yöntemlerinden daha iyi mekanik özellikler (akma dayanımı, basma dayanımı ve süneklik) sergilemiştir.
6. Yapılan basma testlerinde, test sıcaklığı arttıkça akma mukavemeti, basma mukavemeti değerlerinde azalma görülürken, süneklik değerinde ise artış görülmüştür.
7. Sıcak presleme işlemi ile üretilen AZ91D alaşımlarında, soğuma esnasında eşzamanlı olarak yaşlandırma ısıl işlemi uygulandığı için, çok uzun süren ve fazla miktarda enerji gerektiren T4 ve T6 ısıl işlemlerinin uygulanmasına gerek olmadığı sonucuna varılmıştır.

Teşekkür

Bu çalışmaya sağladığı maddi desteklerden dolayı Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK, Proje No: 215M808) ile Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi'ne (Proje No: 2015-FBE/YL275) teşekkürlerimizi sunarız.

Yazarların Katkısı

Makalede yazarların katkısı eşit orandadır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Etik Kurallar

Yapılan çalışmada, araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar

- [1] Friedrich H., Schumann S. 2001. Research for a “New Age of Magnesium” in the Automotive Industry. *Journal of Materials Processing Technology*, 117 (3): 276-281.
- [2] Mordike B.L., Ebert T. 2001. Magnesium: Properties-Applications-Potential. *Materials Science and Engineering A*, 302 (1): 37-45.
- [3] Froes F.H., Eliezer D., Aghion E. 2006. Magnesium Aerospace. in: *Magnesium Technology*, Edited by Friedrich H.E., Mordike B.L., Springer-Verlag Berlin, Germany, 603-620.
- [4] Eliezer D., Aghion E., Froes F.S. 1998. Magnesium Science, Technology and Applications. *Advanced Performance Materials*, 5 (3): 201-212.
- [5] Joost W.J., Krajewski P.E. 2017. Towards Magnesium Alloys for High-Volume Automotive Applications. *Scripta Materialia*, 128 (1): 107- 112.
- [6] Bamberger M., Dehm G. 2008. Trends in the Development of New Mg Alloys. *Annual Review of Materials Research*, 38 (1): 505-533.
- [7] Luo A., Pekguleryuz M.O. 1994. Cast Magnesium Alloys for Elevated Temperature Applications. *Journal of Materials Science*, 29 (20): 5259-5271.
- [8] Mordike B.L., Lukac P. 2006. Physical Metallurgy. in: *Magnesium Technology*, Edited by Friedrich H.E., Mordike B.L., Springer-Verlag Berlin, Germany, 63-107.
- [9] Westengen H., Aune T.K. 2006. Magnesium Casting Alloys. in: *Magnesium Technology*, Edited by Friedrich H.E., Mordike B.L., Springer-Verlag Berlin, Germany, 145-204.
- [10] Zhang Z., Yu H., Chen G., Yu H., Xu C. 2011. Correlation between Microstructure and Tensile Properties in Powder Metallurgy AZ91 Alloys. *Materials Letters*, 65 (17-18): 2686-2689.
- [11] Li Y., Chen Y., Cui H., Xiong B., Zhang J. 2009. Microstructure and Mechanical Properties of Spray-Formed AZ91 Magnesium Alloy. *Materials Characterization*, 60 (3): 240-245.
- [12] Mondet M., Barraud E., Lemonnier S., Guyon J., Allain N., Grosdidier T. 2016. Microstructure and Mechanical Properties of AZ91 Magnesium Alloy Developed by Spark Plasma Sintering. *Acta Materialia*, 119 (1): 55-67.
- [13] Straffelini G., Nogueira A.P., Mutterle P., Menapace C. 2011. Spark Plasma Sintering and Hot Compression Behaviour of AZ91 Mg Alloy. *Materials Science and Technology*, 27 (10): 1582-1587.
- [14] Yuan Q., Zeng X., Liu Y., Luo L., Wu J., Wang Y., Zhou G. 2016. Microstructure and Mechanical Properties of AZ91 Alloy Reinforced by Carbon Nanotubes Coated with MgO. *Carbon*, 96 (1): 843-855.
- [15] Yuan Q., Zhou G., Liao L., Liu Y., Luo L. 2018. Interfacial Structure in AZ91 Alloy Composites Reinforced by Graphene Nanosheets. *Carbon*, 127 (1): 177-186.
- [16] Watanabe H., Sugioka M., Fukusumi M., Ishikawa K., Suzuki M., Shimizu T. 2006. Mechanical and Damping Properties of Fullerene-Dispersed AZ91 Magnesium Alloy Composites Processed by a Powder Metallurgy Route. *Materials Transactions*, 47 (4): 999-1007.
- [17] Olszowka-Myalska A., Myalski J., Botor-Probiez A. 2010. Microstructural Characteristics of an AZ91 Matrix-Glassy Carbon Particle Composite. *Advanced Engineering Materials*, 12 (7): 609-616.
- [18] Kelen F., Gavali M., Aydogmus T. 2018. Microstructure and Mechanical Properties of a Novel TiNi Particulate Reinforced AZ91 Metal Matrix Composite. *Materials Letters*, 233 (1): 12-15.
- [19] Taleghani M.A.J. 2014. Processing and Properties of High Performance 7075 Al and AZ91 Mg Powder Metallurgy Alloys. Doctoral Thesis, Universidad Carlos III de Madrid, The IMDEA Materials Institute, 11-12s, Madrid.
- [20] Murray J.L. 1988. Phase Diagrams of Binary Magnesium Alloys. ASM International, 17s. Ohio.

Araştırma Makalesi / Research Article

Manyetik Fırtına Kaynaklı İyonosferik Değişimlerin GNSS Ölçümleri Kullanılarak İrdelenmesi

Samed İNYURT^{1*}, Erman ŞENTÜRK²

¹Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü, Zonguldak

²Kocaeli Üniversitesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Kocaeli

(ORCID: 0000-0001-9339-7569)(ORCID: 0000-0002-0833-7113)

Öz

08.09.2017 tarihinde gerçekleşen manyetik fırtınanın iyonosfer tabakasında sebep olduğu değişim, GNSS ölçümleri kullanılarak elde edilen TEC değerleri üzerinden analiz edilmiştir. Kuzey ve güney yarımkürede, iyonosferin farklı bölgelerinde bulunan GNSS istasyonlarına ait RINEX gözlemlerinden TEC değerleri elde edilmiştir. Manyetik fırtına kaynaklı TEC değişiminin ortaya çıkarılabilmesi için manyetik fırtına öncesi 10 gün, manyetik fırtına günü ve sonrası 1 gün olmak üzere her istasyona ilişkin toplam 12 günlük veri değerlendirilmiştir. Yapılan analiz sonucunda manyetik fırtınanın olduğu gün, öncesi ve sonrasında pozitif ve negatif anomaliler elde edilmiştir. Bu çalışma sonucunda Türkiye’de bulunan GNSS istasyonları kullanılarak manyetik fırtına kaynaklı iyonosfer değişimlerinin tespit edilebileceği gösterilmiştir.

Anahtar kelimeler: İyonosfer, GNSS, TEC.

Investigation of Ionospheric Changes Caused by Magnetic Storm Using GNSS Measurements

Abstract

Magnetic storm which occurred on 08.09.2017 was analyzed on the basis of the TEC values obtained by GNSS measurements. TEC values were obtained from the RINEX observations of GNSS stations in different regions of the ionosphere in the north and south poles. In order to reveal the magnetic storm-induced TEC change, a total of 12-day data for each station, 10 days before the magnetic storm, the magnetic storm day and after the day of magnetic storm were evaluated. As a result of the analysis, positive and negative anomalies were obtained before and after the magnetic storm. As a result of this study, it is shown that ionospheric variations caused by magnetic storm can be determined using GNSS observations.

Keywords: Ionosphere, GNSS, TEC.

1. Giriş

İyonosfer, yüksekliği 60 km-1000 km arasında değişim gösteren ve içerisinde çok sayıda serbest halde elektron bulunduran tabakaya verilen isim olarak ifade edilebilir. Bu tabaka kendi içerisinde farklı katmanlara ayrılmaktadır. Genel olarak D, E ve F (F_1 , F_2) olarak isimlendirilen bu katmanların her biri gün içerisinde farklı davranış sergilemektedir. Bu katmanların içerisinde GNSS ölçümlerini en fazla etkileyen katman F_2 katmanıdır, dolayısıyla GNSS ölçümlerine ilişkin iyonosfer modellemesi yapılırken bu tabaka dikkate alınır [1].

İyonosfer tabakası coğrafi konum, gece-gündüz, mevsim, solar aktivite, manyetik fırtına, deprem gibi etmenlere bağlı olarak değişim göstermekte, bu sebeple iyonosfer modellemesi yapılırken bu etkilerin göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Bu etkilerden biri olan manyetik fırtınalar haberleşme ve navigasyon sistemlerini etkilemektedir. Manyetik fırtınanın oluş biçimi ve iyonosfer

*Sorumlu yazar: samed_inyurt@hotmail.com

Geliş Tarihi: 23.04.2019, Kabul Tarihi: 11.07.2019

tabakası üzerinde yarattığı düzensizliklerin net olarak belirlenmesi oldukça önemlidir. Bu zamana kadar yapılan teorik ve deneysel çalışmalar sayesinde manyetik fırtına kaynaklı iyonosferik bozulmaların anlaşılabilirliği adına önemli çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalar neticesinde manyetik fırtına kaynaklı elektron değişiminin pozitif ve negatif anomali olarak kendini gösterdiği anlaşılmıştır [2]. Gün boyunca iyon kaybını azaltan ve iyon üretimini artıran termosferik rüzgarlar, elektriksel alan veya termosferik rüzgar kaynaklı plazma yükselmesi, nötr gazların aşağı doğru hareket etmesi (bu olay yeniden birleşmeyi zorlaştırır) vb. etmenlerden dolayı pozitif anomalilerin meydana geldiği düşünülmektedir. Negatif anomali ise N_2/O oranının artması ile meydana gelen plazma yoğunluğunun düşmesi ve bunun sonucunda artan iyon kaybı olarak adlandırılabilir. Manyetik fırtına boyunca, iyonosfer parametrelerinde önemli değişimler gözlenmektedir. Bu parametrelerden biri olan Toplam Elektron Miktarı (TEC), iyonosferdeki değişimin sürekli olarak izlenebilmesine olanak sağlamaktadır [3-5].

Manyetik fırtınalar genel olarak manyetik alanın değişmesi sonucu oluşmaktadır. Diğer bir ifadeyle dünyanın manyetik alanında meydana gelen geçici bozulma olarak adlandırılabilir. Güneş rüzgârlarının neden olduğu basıncın manyetosferi sıkıştırması sonucu içerisinde barındırdığı enerji artar ve bu sebeple manyetofere doğru artan plazmanın hareketi iyonosferdeki elektrik akımının artmasına neden olur. Manyetik fırtınalar esnasında iyonosferde var olan elektron miktarında birtakım değişimler meydana gelir ve bu değişimler GNSS sinyallerini olumsuz yönde etkiler. Manyetik fırtınanın şiddeti ve iyonosfer tabakasında yarattığı değişimler Disturbance Storm Time (Dst) ve The Estimated Planetary Index (K_p) indisleri ile izlenmektedir. K_p gezegenin manyetik etkilerini belirleyen ve güneş ışınından kaynaklanan jeomanyetik alandaki düzensiz bozulmaların incelenmesinde kullanılan bir parametredir. K_p indisi $0 \leq K_p \leq 9$ arasında değer almaktadır. Çalışmada K_p indisinin gösteriminin daha iyi yapılabilmesi için her bir değer on ile çarpılmış ve ($K_p * 10$) şeklinde gösterilmiştir. Dst indisi ise jeomanyetik fırtınanın derecesi hakkında bilgi veren parametredir [6]. Dst indisi düşük enlem ölçüm istasyonlarında jeomanyetik alanın H bileşeni kullanılarak türetilmektedir. Birimi nanotesla (nT) olan bu indis manyetik alanın yatay düzlemdeki bileşeninin ekvatordaki azalmasını ifade etmektedir. Bu indis bir saat aralıklarla elde edilmektedir [7, 8].

Tablo 1. G Ölçeğine Göre İndislerin Gösterimi [16].

| Ölçek | ($K_p * 10$) | Dst |
|-------------|--------------------|------------------------|
| G5 En Büyük | $90 \geq K_p$ | $Dst < -300$ |
| G4 Şiddetli | $80 > K_p \geq 89$ | $-100 \geq Dst > -250$ |
| G3 Güçlü | $70 > K_p \geq 79$ | $-50 \geq Dst > -100$ |
| G2 Orta | $60 > K_p \geq 69$ | $-20 \geq Dst > -50$ |
| G1 Küçük | ≤ 50 | $Dst > -20$ |

Uydu bazlı iletişim çağının başlamasından bu yana iyonosfer tabakası günlük hayatımızda önemli bir yere sahiptir. İyonosfer tabakasının sahip olduğu sinyal yansıtma özelliği radyo iletişiminin temelini oluşturmaktadır. Bu sebeple iyonosferin günlük ve mevsimsel değişimi çok sayıda bilim insanı tarafından incelenmektedir. Diğer yandan uydu bazlı konumlama sistemlerinin günlük hayatta yaygın olarak kullanılması ve artan yüksek doğruluk gereksinimi iyonosfer tabakasının hassas şekilde modellenmesi gerekliliğini ortaya koymaktadır. [9], yapmış olduğu çalışmada manyetik fırtınanın gerçekleştiği anda tam sayı faz belirsizliği çözümünün gerçekleşmediği sonucuna ulaşmıştır. [18] yapmış olduğu çalışmada 07-08.09.2017 tarihinde meydana gelen manyetik fırtına ROTI indeksi ile irdelenmiş, çalışma sonucunda güney yarımkürede meydana gelen TEC değişimlerinin kuzey yarımkürede meydana gelen TEC değişimlerinden daha fazla olduğu tespit edilmiştir. [19] yapmış olduğu çalışmada farklı modellerden elde edilen TEC değerlerinin manyetik fırtına kaynaklı değişimi irdelenmiş ve GPS kullanılarak elde edilen TEC değerlerinin manyetik fırtına süresince önemli değişimler gösterdiği kaydedilmiştir.

Bu çalışmada 08.09.2017 yılında meydana gelen manyetik fırtınanın, iyonosferin farklı bölgelerinde göstermiş olduğu etki GNSS ölçüleri kullanılarak elde edilen TEC değerleri üzerinden yapılan istatistiksel test ile ele alınmıştır.

2. Materyal ve Metot

GNSS iyonosfer çalışmaları için önemli bir araç olarak kullanılmaktadır. Buna ek olarak GNSS sistemlerinin konum doğruluğunun artırılması için iyonosferik düzeltmelerin yapılması gerekmektedir [22-26]. GPS sinyaline ilişkin iyonosferik gecikme frekans (f) ve uydu-alıcı arasındaki Eğik Toplam Elektron Miktarı'na (STEC) bağlıdır. Bu ifadeye ilişkin denklem aşağıda gösterilmiştir.

$$I = \alpha \frac{STEC}{f^2} \quad (1)$$

Burada I iyonosferik gecikme, $\alpha = 40.3 \text{ m}^3/\text{sn}^2$, STEC eğik toplam elektron miktarı olarak ifade edilmektedir. Çift frekanslı alıcı kullanılarak iyonosferik gecikme ortaya çıkarılabilir [10-14]. Aynı zamana ait gözlemlerin birbirinden çıkarılmasıyla frekanstan bağımsız saat hatası, troposferik hata gibi hatalar elimine edilir, fakat iyonosferik ve diğer frekans bağımlı hatalar kalır.

$$L_{1,yay} = L_1 - L_2 = I_1 - I_2 + c(\tau_{R1} - \tau_{R2}) + c(\tau_{S1} - \tau_{S2}) + \frac{c}{f_1} N_{1,yay} - \frac{c}{f_2} N_{2,yay} + \varepsilon \quad (2)$$

$L_{1,yay}$ sürekli olan taşıyıcı faz gözlemlerini, L_1, L_2 mesafe biriminde taşıyıcı faz gözlemlerini, c boşluktaki ışık hızını, I_1 and I_2 mesafe biriminde iyonosferik gecikmeyi, τ_R, τ_S sırasıyla alıcı ve uyduya ilişkin donanımsal gecikmeyi, N_1, N_2 tamsayı faz belirsizliğini; ε artık hatayı temsil etmektedir. (1) ve (2) denklemleri kullanılarak (3) denklemi aşağıdaki şekilde elde edilir.

$$L_{1,yay} = STEC + B_R + B_S + C_{arc} + \varepsilon_L \quad (3)$$

Burada $B_R = \frac{c}{\beta} (\tau_{R1} - \tau_{R2})$ and $B_S = \frac{c}{\beta} (\tau_{S1} - \tau_{S2})$ taşıyıcı faz gözlemleri için sırasıyla alıcı ve uydulara ilişkin donanımsal gecikmeyi, $\beta = \alpha \left(\frac{1}{f_1^2} - \frac{1}{f_2^2} \right) \sim 0.1 \text{ m/TECU}$ metre biriminden, TECU birimine dönüştürmede kullanılan sabiti, $C_{yay} = \frac{c}{\beta f_1} N_{1,yay} - \frac{c}{\beta f_2} N_{2,yay}$ iyonosferik gözlemlerdeki tamsayı faz belirsizliğini, $\varepsilon_L = \frac{\varepsilon}{\beta}$ gürültü ve multipath hatasını ifade etmektedir. Bu denklem kod ölçüleri için yazılacak olursa;

$$P_1 = STEC + b_R + b_S + \varepsilon_P \quad (4)$$

Burada P_1 kod gözlemlerini, b_R, b_S ise sırasıyla uydu ve alıcıya ait donanımsal kod gecikmesini, ε_P ise gürültü ve çoklu-yol (multipath) hatalarını temsil etmektedir. Kod gözlemlerinde b_R, b_S gecikmeleri faz gözlemlerinden farklıdır. Diğer yandan ε_P değeri faz gözlemlerindeki ε_L değerine göre kıyaslandığında 100 kat daha fazladır.

Faz ve kod gözlemlerinden elde edilen iyonosferik her bir gözlemlerin farkı faz gözlemlerindeki donanımsal gecikmenin sabit olarak düşünülerek alındığında aşağıdaki denklem elde edilir.

$$(L_1 - P_1)_{yay} = C_{yay} + B_R - b_R + B_S - b_S - \varepsilon_{P,yay} \quad (5)$$

(5) denklemi yukarıda bahsedildiği üzere faz gözlemlerine ait gürültü ve çoklu yol hataları ihmal edilerek elde edilmiştir. Bu ihmalin sonuçlar üzerinde önemli bir etkisi yoktur. Çünkü kod gözlemlerindeki gürültü ve çoklu yol etkisi faz gözlemlerine göre 100 kat daha fazladır. (5) denkleminde (3) denklemi çıkarıldığında tamsayı faz belirsizliği faz gözlemlerinden giderilir ve aşağıdaki denklem ortaya çıkar.

$$\overline{L_{1,yay}} = L_{1,yay} - (L_{1,yay} - P_1)_{yay} = STEC + b_R + b_S + \varepsilon_{P_{yay}} + \varepsilon_L \quad (6)$$

$\overline{L_{1,yay}}$ burada yumuşatılmış kod gözlemini ifade etmektedir. Yumuşatılmış kod gözlemi elde edildikten sonra [15] yönteminde belirtildiği üzere her bir epok için STEC değeri elde edilir. STEC değeri elde edildikten sonra;

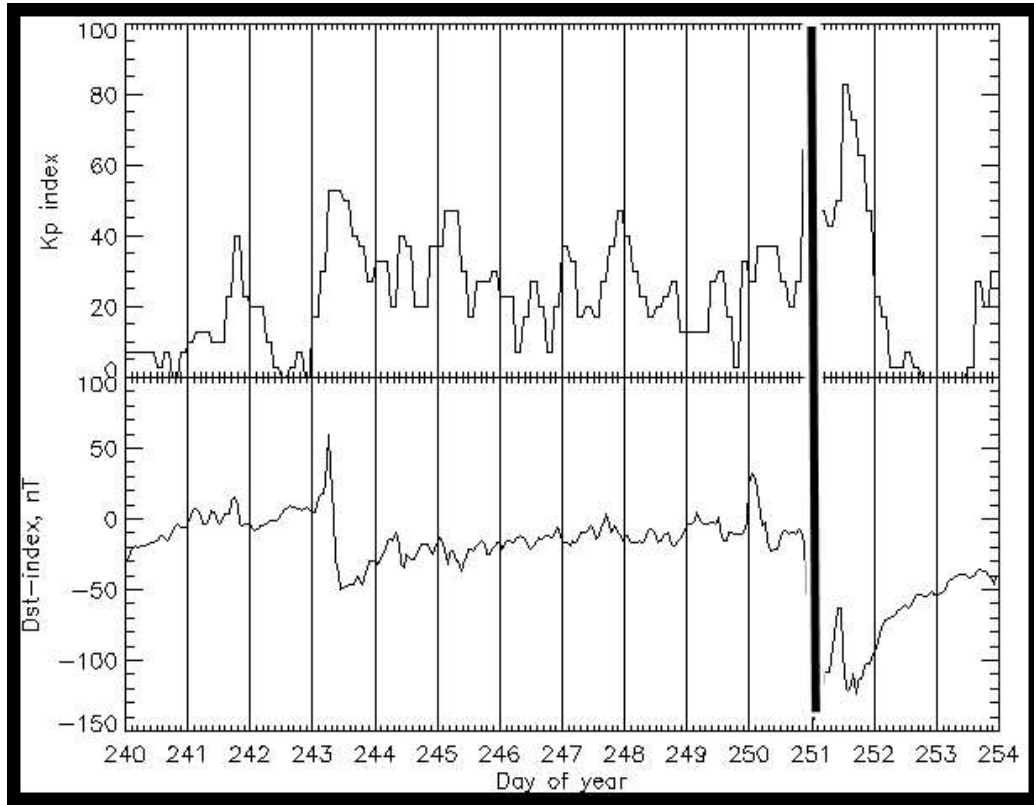
$$MF(z) = \cos\left(\arcsin\left(\frac{R}{R+H}\sin(\alpha z)\right)\right) \quad (7)$$

$$VTEC = MF(z) * STEC \quad (8)$$

(8) denklemleri kullanılarak Düşey Toplam Elektron Miktarı (VTEC) elde edilir. Bu çalışmada VTEC gözlemleri, alıcılara ait RINEX gözlemlerinden 30 saniye zamansal çözünürlükle elde edilmiştir.

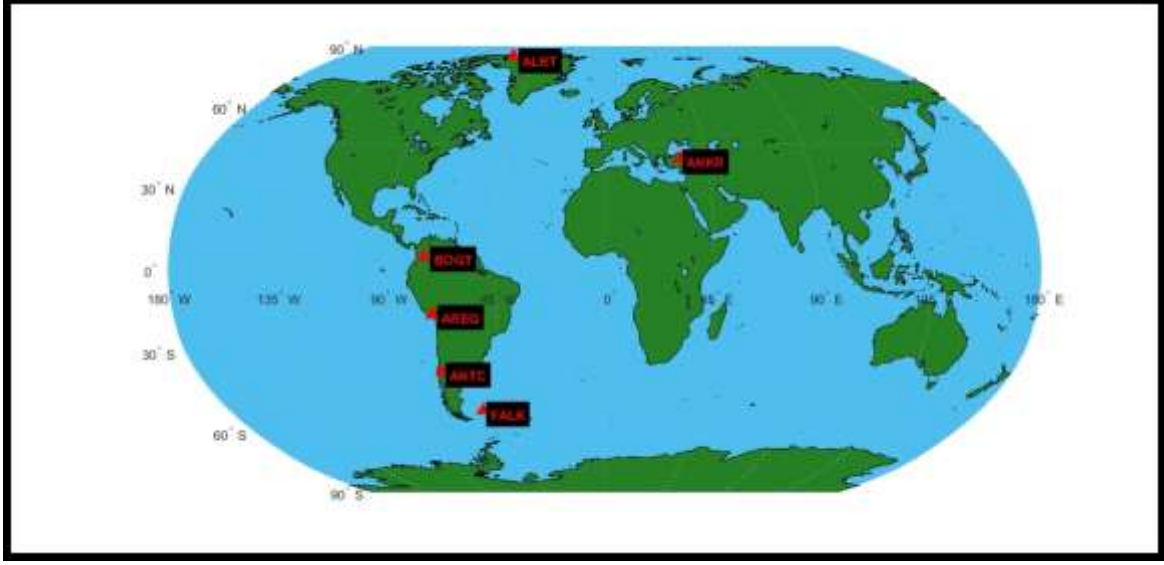
3. Bulgular ve Tartışma

Bu çalışmada 08.09.2017 tarihinde meydana gelen manyetik fırtınaya (Kp: 8, Dst:-142 nT) ilişkin bilgiler Şekil 1’de verilmiştir.



Şekil 1. Analizi yapılan günlere ilişkin Kp, Dst indislerinin gösterimi [16]

İyonosferik değişimler güney kutbunda bulunan ANTC, AREQ, FALK ve kuzey yarımkürede bulunan ALRT, ANKR ve BOGT istasyonları üzerinden irdelenmiştir. İstasyonlara ilişkin genel bilgiler Tablo 2’de verilmiş ve Şekil 2’de gösterilmiştir.



Şekil 2. Analizi yapılan istasyonların genel gösterimi

Söz konusu istasyonlar iyonosferin düşük, orta ve yüksek enlem bölgelerinde yer alacak şekilde belirlenmiş olup, bu sayede iyonosferin farklı bölgelerinde söz konusu manyetik fırtınanın meydana getirdiği değişimlerin izlenebilmesi amaçlanmıştır.

Tablo 2. Analiz edilen istasyonlara ilişkin genel bilgiler

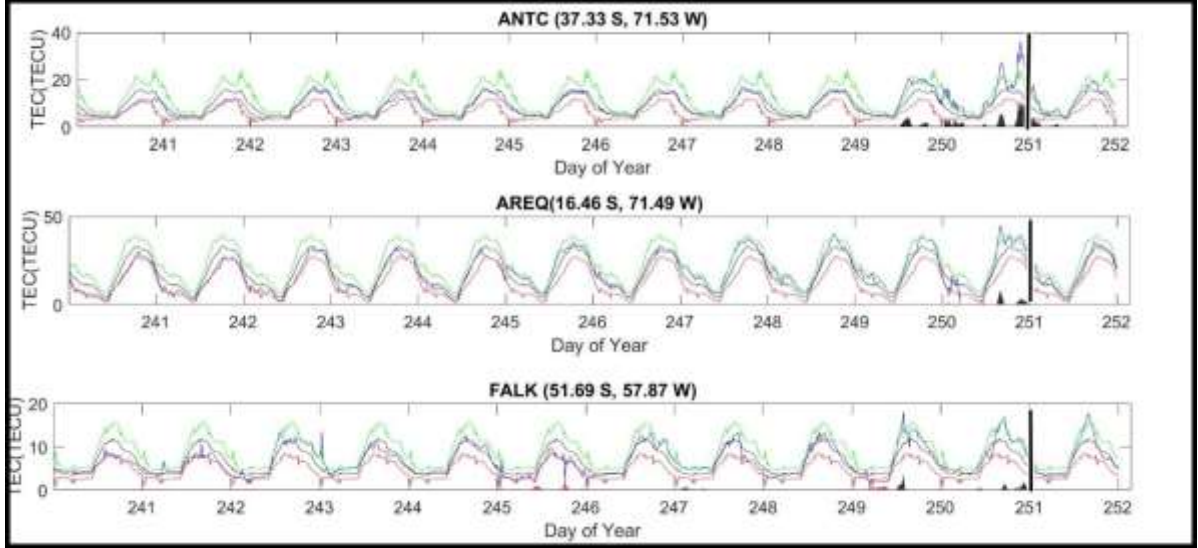
| İstasyonlar | Enlem | Boylam |
|-------------|---------|---------|
| ANTC | 37.33 S | 71.53 W |
| AREQ | 16.46 S | 71.49 W |
| FALK | 51.69 S | 57.87 W |
| ALRT | 82.49 N | 62.34 W |
| ANKR | 39.88 N | 32.75 E |
| BOGT | 4.64 N | 74.08 W |

Analizi yapılan istasyonlara ait RINEX gözlemleri ve navigasyon dosyaları [17] adresinden indirilmiştir. İlgili istasyonların analizi [10] yönteminde belirtildiği şekilde yapılmıştır. VTEC değerleri manyetik fırtına öncesi on gün, manyetik fırtına günü ve sonrası 1 gün olmak üzere her istasyona ait toplam 12 günlük veri değerlendirilmiştir. TEC değerleri elde edildikten sonra, her epok için alt sınır (LB) ve üst sınır (UB) TEC değerleri aşağıdaki denklemler aracılığıyla elde edilmiştir.

$$UB = M + 1.34\sigma \quad (9)$$

$$LB = M - 1.34\sigma \quad (10)$$

(9) ve (10) denklemlerinde yer alan UB, LB, M, σ sembolleri sırasıyla TEC değerlerinin üst sınır, alt sınır, ortalama ve standart sapmasını temsil etmektedir. GPS-TEC değerlerinin ortalama değeri (m) ve standart sapması (σ) olan normal dağılımda oldukları varsayımı ile M, LB ve UB değerleri m ve 1.34σ güvenle elde edilmiştir [20]. Her epok için bu değerler elde edildikten sonra, ilgili günde eğer gözlemlenen TEC değerleri 1/3 ve daha fazla sayıda üst sınırın üstüne veya alt sınırın altına iniyorsa o gün anomalili gün olarak ifade edilmektedir [21].



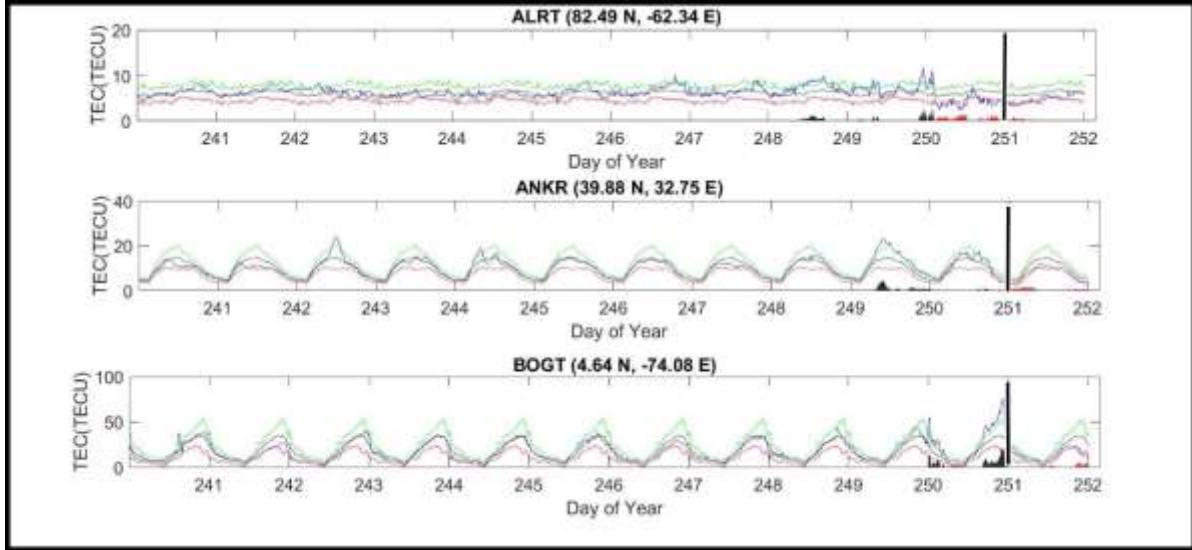
Şekil 3. ANTC, AREQ, FALK istasyonlarına ait TEC değişimlerinin gösterimi

Şekil 3’de ANTC, AREQ ve FALK istasyonlarına ait manyetik fırtına öncesi 10 gün ve sonrası 1 gün olmak üzere toplam 12 güne ait TEC değişimleri verilmiştir. Yeşil renk üst sınırı (UB), kırmızı renk alt sınırı (LB), mavi renk ortalama değeri, siyah renk ise gözlemlenen TEC değerini ifade etmektedir. Buna ek olarak siyah renk ile çizilen barlar pozitif anomaliyi ifade ederken, kırmızı bar negatif anomaliyi temsil etmektedir. Yapılan analiz sonucunda elde edilen anomalilerin miktarı ve türüne ilişkin sonuçlar Tablo 3’de gösterilmiştir.

Tablo 3. Analizi yapılan istasyonlara ilişkin elde edilen anomalilerin miktarı ve türü

| Gün/İstasyon | ANTC | AREQ | FALK |
|--------------|----------------------|---------------------|---------------------|
| 246 | - | - | 3.42 TECU (negatif) |
| 249 | - | - | - |
| 250 | 3.98 TECU (pozitif) | - | 3.67 TECU (pozitif) |
| 251 | 12.00 TECU (pozitif) | 8.20 TECU (pozitif) | 1.84 TECU (pozitif) |
| 252 | 10.76 TECU (pozitif) | - | - |

Tablo 3 incelendiğinde manyetik fırtınanın gerçekleştiği gün olan 251. günde FALK istasyonunda 1.84 TECU pozitif anomali, AREQ istasyonunda 8.20 TECU pozitif anomali, benzer şekilde ANTC istasyonunda 12.00 TECU pozitif anomali tespit edilmiştir. Manyetik fırtına öncesi (250. gün) ve sonrasında ortaya çıkan anomalilerin (252. gün) manyetik fırtınanın etkisinden kaynaklanabileceği düşünülmektedir. 246. güne ilişkin uzay iklim koşulları incelendiğinde, ilgili günde uzay iklim koşullarının oldukça sakin olduğu, dolayısıyla FALK istasyonunda ortaya çıkan anomalinin söz konusu manyetik fırtına kaynaklı olmadığı düşünülmektedir.



Şekil 4. ALRT, ANKR, BOG istasyonlarına ait TEC değişimlerinin gösterimi

Şekil 4’de ALRT, ANKR ve BOGT istasyonlarına ait manyetik fırtına öncesi ve sonrası olmak üzere toplam 12 güne ait TEC değişimleri verilmiştir. Yeşil renk üst sınırı (UB), kırmızı renk alt sınırı (LB), mavi renk ortalama değeri, siyah renk ise gözlemlenen TEC değerini ifade etmektedir. Buna ek olarak siyah renk ile çizilen barlar pozitif anomaliyi ifade ederken, kırmızı bar negatif anomaliyi temsil etmektedir. Yapılan analiz sonucunda elde edilen anomalilerin miktarı ve türüne ilişkin sonuçlar Tablo 4’te gösterilmiştir.

Tablo 4. Analizi yapılan istasyonlara ilişkin elde edilen anomalilerin miktarı ve türü

| Gün/İstasyon | ALRT | ANKR | BOGT |
|--------------|---------------------|---------------------|----------------------|
| 249 | 1.19 TECU (pozitif) | - | 5.44 TECU (negatif) |
| 250 | 2.82 TECU (pozitif) | 4.38 TECU (pozitif) | 8.00 TECU (pozitif) |
| 251 | 1.37 TECU (negatif) | 1.15 TECU (pozitif) | 21.84 TECU (pozitif) |
| 252 | 1.03 TECU (negatif) | 1.56 TECU (negatif) | - |

Tablo 4’te analizi yapılan istasyonlarda anomali görülen günlere ilişkin anomali miktarı ve türü bilgisi yer almaktadır. Manyetik fırtınanın gerçekleştiği gün olan 251. günde BOGT istasyonunda 21.84 TECU pozitif anomali, ANKR istasyonunda 1.15 TECU pozitif anomali, ALRT istasyonunda 1.37 TECU negatif anomali tespit edilmiştir. Manyetik fırtına öncesi (250. gün) ve sonrasında ortaya çıkan anomalilerin (252. gün) manyetik fırtınanın etkisinden kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Diğer yandan 249. günde ALRT ve BOGT istasyonlarında tespit edilen pozitif ve negatif anomalilerin manyetik fırtına kaynaklı olmadığı düşünülmektedir. Manyetik fırtınanın gerçekleştiği gün ve sonraki gün dikkate alındığında (251 ve 252) güney yarımkürede meydana gelen toplam TEC anomalilerinin (32.74 TECU), kuzey yarımküreden daha fazla olduğu görülmektedir (26.95 TECU). Bu sonuç [18] çalışmasında elde edilen sonuçla uyum göstermektedir.

4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada 08.09.2017 tarihinde gerçekleşen şiddetli manyetik fırtınanın iyonosferin farklı bölgelerinde meydana getirdiği değişim GNSS ölçülerinden elde edilen TEC değerleri üzerinden irdelenmiştir. Güney ve kuzey yarımküre bölgelerinde iyonosferin düşük, orta ve yüksek enlem bölgelerinde meydana gelen değişimlerin irdelenebilmesi için ANTC, AREQ, FALK, ALRT, ANKR ve BOGT istasyonlarına ait RINEX gözlemleri değerlendirilmiştir. Manyetik fırtına kaynaklı değişimin ortaya çıkarılabilmesi için manyetik fırtına öncesi on gün, manyetik fırtına günü ve sonrası 1 gün olmak

üzere her istasyona ait toplam 12 günlük veri değerlendirilmiştir. 30 saniye zamansal çözünürlüklü TEC değerlerinin elde edildiği çalışmada her epoğa ilişkin üst sınır, alt sınır elde edilmiş ve istatistiksel teste tabi tutulmuştur. Çalışma sonucunda 251. günde FALK istasyonunda 1.84 TECU pozitif anomali, AREQ istasyonunda 8.20 TECU pozitif anomali, benzer şekilde ANTC istasyonunda 12.00 TECU pozitif anomali tespit edilmiştir. Buna ek olarak manyetik fırtınanın gerçekleştiği gün olan 251. günde BOGT istasyonunda 21.84 TECU pozitif anomali, ANKR istasyonunda 1.15 TECU pozitif anomali, ALRT istasyonunda 1.37 TECU negatif anomali tespit edilmiştir.

Yazarların Katkısı

Yazarlardan Samed İNYURT veri analizi, yöntem ve sonuçların yorumlanmasında; Erman ŞENTÜRK figürlerin çizilmesi ve makalenin genel kontrolünde katkı sağlamıştır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Etik Kurallar

Yapılan çalışmada, araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar

- [1] Nwankwo V.U., Chakrabarti S.K. 2013. Effects of Plasma Drag on Low Earth Orbiting Satellites due to Heating of Earth's Atmosphere by Coronal Mass Ejections. arXiv preprint arXiv:1305.0233.
- [2] Stankov S.M., Jakowski N., Tsybulya K., Wilken V. 2006. Monitoring the generation and propagation of ionospheric disturbances and effects on Global Navigation Satellite System positioning. *Radio science*, 41 (06): 1-14.
- [3] Rios V.H., Kim V.P., Hegai V.V. 2004. Abnormal perturbations in the F2 region ionosphere observed prior to the great San Juan earthquake of 23 November 1977. *Advances in Space Research*, 33 (3): 323-327.
- [4] Saroso S., Liu J.Y., Hattori K., Chen C.H. 2008. Ionospheric GPS TEC Anomalies and Mw 5.9 Earthquakes in Indonesia during 1993-2002. *Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Sciences*, 19 (5): 481-488.
- [5] Spogli L., Alfonsi L., Cilliers P.J., Correia E., De Franceschi G., Mitchell C.N., Cabrera M.A. 2013. GPS scintillations and total electron content climatology in the southern low, middle and high latitude regions. *Annals of Geophysics*, 56 (2): 02-20.
- [6] Jakowski N., Stankov S.M., Klaehn D. 2005. Operational space weather service for GNSS precise positioning. In *Annales Geophysicae*, 23 (9): 3071-3079.
- [7] Rao P.R., Niranjana K., Prasad D.S.V.V.D., Krishna S.G., Uma G. 2006. On the validity of the ionospheric pierce point (IPP) altitude of 350 km in the Indian equatorial and low-latitude sector. In *Annales Geophysicae*, 8: 2159-2168.
- [8] Sharma K., Dabas R.S., Sarkar S.K., Das R.M., Ravindran S., Gwal A.K. 2010. Anomalous enhancement of ionospheric F2 layer critical frequency and total electron content over low latitudes before three recent major earthquakes in China. *Journal of Geophysical Research*, 115 (A11): 4-9.
- [9] Masci F. 2013. Brief communication" Further comments on the ionospheric precursor of the 1999 Hector Mine earthquake". *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 13 (1): 193-196.
- [10] Oikonomou C., Haralambous H., Muslim B. 2016. Investigation of ionospheric TEC precursors related to the M7. 8 Nepal and M8. 3 Chile earthquakes in 2015 based on spectral and statistical analysis. *Natural Hazards*, 83 (1): 97-116.
- [11] Occhipinti G., Rolland L., Lognonné P., Watada S. 2013. From Sumatra 2004 to Tohoku-Oki 2011: the systematic GPS detection of the ionospheric signature induced by tsunamigenic earthquakes. *Journal of Geophysical Research*, 118 (6): 3626-3636.

- [12] Perrone L., Korsunova L.P., Mikhailov A. 2010. Ionospheric precursors for crustal earthquakes in Italy. In *Annales Geophysicae*, 4: 941-950.
- [13] Plotkin V.V. 2003. GPS detection of ionospheric perturbation before the 13 February 2001, El Salvador earthquake. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 3 (3/4): 249-253.
- [14] Pulnests S.A., Leyva Contreras A., Bisiacchi-Giraldi G., Ciraolo L. 2003. Total electron content variations in the ionosphere before the Colima, Mexico, earthquake of 21 January 2003. *Geofísica Internacional*, 4: 369-377.
- [15] Ciraolo L., Azpilicueta F., Brunini C., Meza A., Radicella S.M. 2007. Calibration errors on experimental slant total electron content (TEC) determined with GPS. *Journal of Geodesy*, 81 (2): 111-120.
- [16] OmniWeb. <https://omniweb.gsfc.nasa.gov/form/dx1.htmlx> (Erişim Tarihi: 04.03.2016).
- [17] NASA. <ftp://ftp.cddis.eosdis.nasa.gov/pub/gnss/data> (Erişim Tarihi: 06.04.2018).
- [18] Sağır S., Atıcı R., Dölek İ. 2018 Şiddetli Jeomanyetik Fırtınanın Gece Yarısı İyonosfer Üzerindeki Etkisinin ROTI Aracılığıyla İncelenmesi. *Muş Alparslan Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 6 (2): 603-609.
- [19] Atıcı R. 2017. IRI ve IONOLAB Toplam Elektron İçeriğinin Şiddetli Jeomanyetik Fırtınalara Tepkisinin Karşılaştırılması. *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 29 (2): 231-240.
- [20] Klotz S., Johnson N.L. 1983. *Encyclopedia of Statistical Sciences*. John Wiley and Sons.
- [21] Liu J.Y., Chen Y.I., Chen C.H., Liu C.Y., Chen C.Y., Nishihashi M., Li J.Z., Xia Y.Q., Oyama K.I., Hattori K., Lin C.H. 2009. Seismoionospheric GPS total electron content anomalies observed before the 12 May 2008 M(w)7.9 Wenchuan earthquake. *Journal of Geophysical Research-Space Physics*, 114 (A4): 1-10.
- [22] Nohutcu M., Karslioglu M.O., Schmidt M. 2010. B-Spline Modeling of VTEC over Turkey Using GPS Observations. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 72 (7-8): 617-624.
- [23] Tariq M.A., Shah M., Hernández-Pajares, M., Iqbala T. 2019. Pre-earthquake ionospheric anomalies before three major earthquakes by GPS-TEC and GIM-TEC data during 2015–2017. *Advances in Space Research*, 63 (7): 2088-2099.
- [24] Alcay S., Yigit C. O., Seemala G., Ceylan A. 2014. GPS-Based Ionosphere Modeling: A Brief Review. *Fresenius Environmental Bulletin*, 23 (3a): 815-824.
- [25] Rao S.S., Sharma S., Pandey R. 2019. Study of solar flux dependency of the winter anomaly in GPS TEC. *GPS Solutions*, 23 (1): 4.
- [26] Oluwadare T.S., Thai C.N., Akala A.O.O., Heise S., Alizadeh M., Schuh H. 2019. Characterization of GPS-TEC over African equatorial ionization anomaly (EIA) region during 2009–2016. *Advances in Space Research*, 63 (1): 282-301.

Araştırma Makalesi / Research Article

Mamografi görüntülerindeki anormalliklerin yerel ikili örüntü ve varyantları kullanılarak sınıflandırılması

Volkan Müjdat TİRYAKİ*

*Siirt Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Siirt
(ORCID: 0000-0003-1824-5260)*

Öz

Meme kanseri teşhisinde kullanılan mamografilerdeki anormalliklerin sınıflandırılması için makine öğrenme araştırmaları büyük önem arz etmektedir. Bu çalışmada Curated Breast Imaging Subset of Digital Database for Screening Mammography (CBIS-DDSM) görüntü tabanındaki kitlesel ve kalsifikasyonlu mamografi görüntüleri sınıflandırılmıştır. Veri setindeki görüntülerden Yerel İkili Örüntü(YİÖ), Yerel Türev Örüntü, Yerel Dörtlü Örüntü(YDÖ), ve Gürültüye Dirençli Yerel İkili Örüntü yöntemleri ile doku öznelikleri çıkarılmıştır. Öznelik çıkarım yöntemlerinden yerel çarpıklık örüntü tabanlı ayrıntılı histogram yöntemiyle de öznelik çıkarımı yapılmıştır. Daha sonra öznelik vektörleri doğrusal ve radyal tabanlı fonksiyon kernel destek vektör makineleri(DVM) ve yapay sinir ağları (YSA) kullanılarak sınıflandırılmıştır. Eğitim ve doğrulama verisi için 5-kez çapraz doğrulama yöntemi uygulanmıştır. En yüksek sınıflandırma performansı veren eşik seviyeleri ve pencere boyutları her bir öznelik çıkarım yöntemi için belirlenmiştir. Öznelik çıkarımı için gerekli olan süreler tablo halinde verilmiştir. Öznelik çıkarım yöntemi olarak farklı çap ve nokta sayısı ile hesaplanmış YİÖ vektörleri füzyonu ve sınıflandırıcı olarak 2 gizli katmanlı YSA kullanılması durumunda test verisi için %85.74 başarı oranı elde edilmiştir. Elde edilen başarı oranları literatürdeki makine öğrenmesi sonuçlarına göre yüksek ve derin öğrenme sonuçları ile kıyaslanabilir sonuçlardır.

Anahtar kelimeler: Dokusal analiz, görüntü sınıflandırma, meme kanseri, yapay sinir ağları.

Classification of abnormality in breast cancer mammography using local binary patterns and its variants

Abstract

Machine learning research for the classification of breast cancer abnormalities is very crucial. In this study, mass and calcification abnormalities of mammograms in the Curated Breast Imaging Subset of Digital Database for Screening Mammography (CBIS-DDSM) were classified. Local binary pattern (LBP), local derivative pattern, local tetra pattern (LTrP), and noise resistant local binary pattern features were extracted from the images in the data set. Histogram refinement methods of LBP and its variants based on local skewness pattern were also extracted. Feature vectors were then classified by using linear and radial basis function kernel support vector machines (SVM) and an artificial neural network (ANN). 5-fold cross-validation was conducted. The highest performance classification conditions including threshold level and the window size were reported for LBP, its variants, and the histogram refinement methods. Feature extraction time requirements for LBP and its variants were reported. Test accuracy of 85.74 was achieved when feature vectors were extracted at different radius and number of points and fused and classified by using 2 hidden-layer neural network. The test accuracies obtained in this study are better than the machine learning approaches in the literature and comparable with the deep learning results.

Keywords: Textural analysis, image classification, breast cancer, artificial neural networks.

*Sorumlu yazar: tiryakiv@siirt.edu.tr

Geliş Tarihi: 24.04.2019, Kabul Tarihi: 11.07.2019

1. Giriş

Meme kanseri dünyada ve Türkiye’de kadınlarda en sık görülen kanser türüdür ve hastalığın görülme sıklığı gittikçe artmaktadır [1]. Meme kanserinin tedavisinde erken teşhis önemlidir. Meme kanserinin görülme oranı yaşlandıkça artmaktadır ve 40 yaş sonrası kadınların düzenli meme muayenesi ve mamografi yaptırmaları tavsiye edilmektedir. Mamografi en yaygın meme tarama teknolojilerinden birisidir. Meme taraması için ultrason, manyetik rezonans görüntüleme (MRI), X-ışın görüntüleme, moleküler meme görüntüleme ve dijital meme tomosentezi (DBT) yöntemleri mevcuttur. Mamografi görüntüleri memenin düşük dozlu X-ışınlarına maruz kalması ile elde edilir [2] ve meme anormalliklerinin taranması için en güvenli yöntemdir [3]. Mamografi, meme kanseri teşhisinde “altın standart” olarak kabul edilmektedir [4].

Meme kanseri teşhisi ile ilgili olarak bilgisayar destekli teşhis (Computer Aided Diagnosis (CADx)) ve bilgisayar destekli anormallik bulunması (Computer Aided Detection (CADE)) farklı kavramlardır. Bilgisayar destekli meme kanseri teşhisi dünyada henüz klinik olarak onaylanmamıştır fakat bilgisayar destekli anormallik bulunması ile ilgili araştırmalar yapılmaktadır. Bu çalışmada güncel bir veri seti olan Curated Breast Imaging Subset of Digital Database for Screening Mammography (CBIS-DDSM) içindeki mamografi görüntüleri kullanılarak kitle ve kalsifikasyon türü anormallikleri sınıflandırabilen bir makine öğrenme sistemi geliştirilmiştir [5-7].

Bilgisayar destekli anormallik bulunması bir mamografi sınıflandırma problemi olarak ele alınmamalıdır, çünkü mamografi veri setlerinde mamografi piksel sayıları 1 milyon ile 13.8 milyon arasında değişmekte olup anormalliğin bulunduğu bölge genellikle 200x200 piksel gibi küçük bir bölge içindedir. Bu oran mamografi içindeki toplam alanın %4 ile %0.29’unu oluşturmaktadır ve günümüzde makine öğrenme yöntemlerinin bu kadar küçük bir alan içindeki anormalliği sınıflandırmada başarılı olması mümkün gözükmemektedir [2]. Bunun yerine anormalliğin olduğu bölgeler makine öğrenme aşamasında kullanılmaktadır. Mammographic Image Analysis Society (MIAS) [8] ve CBIS-DDSM gibi veri setlerinde hem mamografiler hem de anormalliğin bulunduğu görüntü parçaları veya koordinatları verilmektedir.

Mamografi görüntülerinden kanserli olanların tespiti radyolog ve doktorlar tarafından yapılır. Bu işlem için bilgisayar destekli bir sistemin kullanılması fikri ilk olarak 1972 yılında Ackerman ve Gose tarafından ortaya atılmıştır [9]. Bu araştırmacılar çalışmalarında bir radyoloğun tanıma oranına yakın bir performansa sahip uzman sistem tasarlamışlardır. Kanserli dokunun otomatik tespiti dokusal analiz ile ilgilidir. 1970’li yıllardan günümüze kadar yeni dokusal öznitelik tanımları ve sınıflandırma teknikleri kullanılarak farklı yöntemler uygulanmıştır. Kutluk ve Günsel meme kanseri tanısı için SIFT (scale invariant feature transform) öznitelik çıkarımı ve LVQ (learning vector quantization) sınıflandırıcı kullanarak meme dokusu yoğunluk sınıflandırıcısı geliştirmişlerdir [10]. Başka bir çalışmada mamografi sınıflandırılması için MIAS veri setinde ayrık kosinüs dönüşümü ve ayrık dalgacık dönüşümü füzyonu kullanılmıştır [11]. Spanhol ve diğerleri DeCaf derin öznitelik çıkarımı kullanarak meme kanseri histopatolojik görüntü sınıflandırması gerçekleştirmişlerdir [12]. Başka bir çalışmada ise gri seviyeli eş oluşum matrisleri ve destek vektör makinesi (DVM) yöntemi ile mamografilerden otomatik doku sınıflandırması yapılmıştır [13].

Yerel ikili örüntü (YİÖ) yöntemi ilk olarak 2002 yılında Ojala ve diğerleri tarafından ileri sürülmüştür [14]. İlerleyen yıllarda bu özneliğin farklı türevleri tasarlanmıştır ve biyomedikal işaret ve görüntü işleme alanlarında yaygın olarak kullanılmıştır [15-17]. Mamografi görüntülerinin sınıflandırılması için YİÖ yöntemi bazı makalelerde ele alınmıştır [18-19]. Meme kanseri teşhisinde IRMA veri setinde YİÖ yöntemlerinden yerel konfigürasyon örüntüsü kullanılmıştır [20]. Bir başka çalışmada BreakHis veri setindeki görüntüler düşük seviyeli YİÖ kullanılarak sınıflandırılmıştır [21]. Bu çalışmada mamografilerdeki anormallik sınıflandırması için veri setleri içinde en büyüğü ve en yenisi olan CBIS-DDSM veri seti kullanılmıştır. Bu veri setindeki mamografilerden YİÖ, yerel türev örüntü (YTÖ), yerel dördü örüntü (YDÖ) ve Gürültüye Dirençli Yerel İkili Örüntü (GDYİÖ) yöntemleri kullanılarak öznitelik çıkarımı yapılmıştır. Mamografi başına öznitelik çıkarım süreleri tablo halinde verilmiştir. Kitle ve kalsifikasyon ikili sınıflandırma problemi için en yüksek tanıma oranı veren öznitelik parametreleri ve sınıflandırıcı özellikleri belirlenmiştir. Sınıflandırıcı olarak doğrusal ve radyal tabanlı fonksiyon kernel DVM ile yapay sinir ağı (YSA) performansları karşılaştırılmıştır. Öznitelik çıkarım yöntemi olarak YİÖ farklı çap ve nokta sayısı ile elde edilmiş öznitelik vektörleri birleştirilmesi (füzyon) ve sınıflandırıcı olarak YSA kullanılması durumunda değerlendirilmesinde %85.54 ve test

verisinde %85.74'lük doğruluk oranına ulaşılmıştır. Bu değerler CBIS-DDSM veri seti kullanılarak bugüne kadar makine öğrenmesi yöntemi ile elde edilmiş en yüksek doğruluk oranlarıdır. Ayrıca önerilen makine öğrenmesi yaklaşımı ile derin öğrenme sonuçları ile kıyaslanabilir sonuçlar elde edilmiştir.

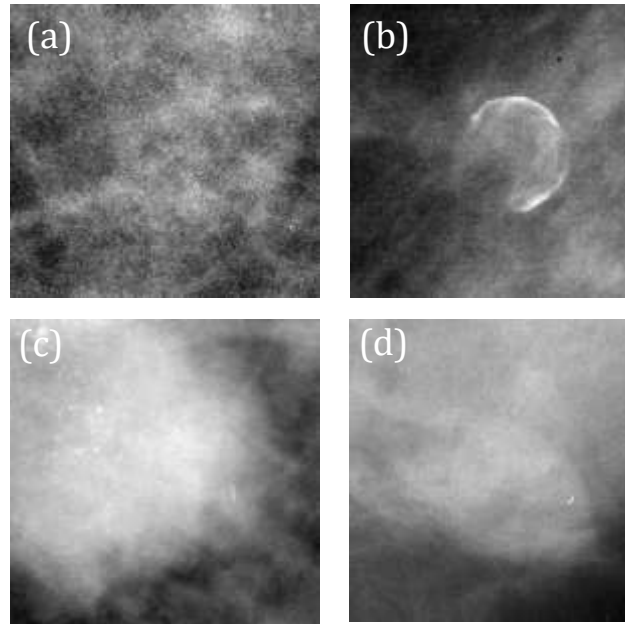
2. Materyal ve Metot

2.1. Veri Toplama

Mamografi taramasında iki ana anormallik türü kalsifikasyon ve kitledir. Kalsifikasyonlu mamografilerde parlak benek olarak gözükken küçük kalsiyum birikintileri bulunmaktadır. Kitleli mamografilerde ise birden fazla izdüşümü üzerinde yer kaplayan lezyonlar bulunmaktadır [22]. Bu çalışmada mamografilerde karşılaşılan kalsifikasyon ve kitleli mamografi sınıflandırılması problemi ele alınmıştır.

Makine öğrenme sistemlerinin tasarlanabilmesi için veri seti gereklidir. Mamografi görüntüleri için standart değerlendirme verisi bulunmamaktadır. Bundan dolayı birçok bilgisayar destekli teşhis algoritmaları özel veri setlerinde uygulanmaktadır. Bu durum geliştirilen yöntemlerin karşılaştırılmasını zorlaştırmaktadır. Bu çalışmada makine öğrenme sisteminin eğitim, doğrulama ve test aşamaları için mamografi veri setleri içindeki en büyük ve herkesin erişimine açık olan CBIS-DDSM veri seti kullanılmıştır [5-7]. Bu veri seti 2017 yılında yayınlanmış olup içinde sadece kitle ve kalsifikasyon türünde anormallik içeren mamografiler bulunmaktadır. Veri setindeki mamografilerin bit derinliği 16-bittir, toplam mamografi sayısı toplam 3568'dir ve mamografiler Digital Imaging and Communications in Medicine (DICOM) formatındadır. Veri setinin toplam büyüklüğü 160 GB'tır. Veri setinde 4000x3600 pikselden yaklaşık olarak 200x200 piksele kadar değişen mamografi ve mamografi parçaları bulunmaktadır. Veri setindeki mamografiler bilgisayara indirildikten sonra veri seti ile birlikte gelen csv uzantılı dosya yardımı ile okunmuştur.

CBIS-DDSM veri setinde sadece anormallik içeren mamografiler bulunmaktadır. Bu çalışmada veri setinde 450,000 pikselden küçük olan görüntüler makine öğrenme aşamasına katılmıştır. 1502 kalsifikasyonlu ve 1644 kitleli olmak üzere toplam 3146 görüntü kullanılmıştır. Görüntülerin %15'i test ve %85'i eğitim ve doğrulama verisi olarak kullanılmıştır. Ele alınan makine öğrenme yöntemi öğreticili öğrenmedir. Şekil 1'de kitle ve kalsifikasyon anormallikleri içeren örnek mamografiler verilmiştir.



Şekil 1. CBIS-DDSM veri setinden bazı mamografi görüntüleri a) Nokta şeklinde pleomorfik kalsifikasyon b) Yumurta kabuğu şeklinde kalsifikasyon c) Spiküle düzensiz kitle d) Lobüle çevrelenmiş kitle

2.2. Öznitelik Seçimi ve Öznitelik Çıkarımı

Mamografilerdeki piksel sayısı 40000 ile 450000 arasında değişmektedir. Bu görüntülerden uygun olan özniteliklerin seçilmesi önemlidir aksi halde çok boyutluluk problemi ile karşılaşılır. YİÖ özniteliği gri seviyeli resimler için tanımlanmıştır [14],[23] ve yerel komşuluğa bağlı bir özniteliktir. (x_c, y_c) merkezli R yarıçaplı bir çember üzerinde P üyesi olan ve $YİÖ_{P,R}(x_c, y_c)$ şeklinde gösterilen bir YİÖ operatörü denklem 1 ve 2’de verilmiştir.

$$YİÖ_{P,R}(x_c, y_c) = \sum_{p=0}^{P-1} S(I(x_p, y_p) - I(x_c, y_c)) \times 2^p \quad (1)$$

$$S(I(x_p, y_p) - I(x_c, y_c)) = \begin{cases} 1 & I(x_p, y_p) - I(x_c, y_c) \geq 0 \\ 0 & \text{aksi halde} \end{cases} \quad (2)$$

1 ve 2 nolu denklemlerde $I(x,y)$ (x,y) koordinatındaki pikselin parlaklığını gösterir. YİÖ özniteliği çıkarımında merkezi piksel ve bunun komşu pikselleri arasındaki türevlerin karşılaştırması kodlanır. Daha sonra $0^\circ, 45^\circ, 90^\circ$ ve 135° olmak üzere dört farklı yönde hesaplanmış türevler birleştirilir [24]. YDÖ yönteminde 0° ve 90° yönlerinde yüksek dereceden türev yönleri elde edilir ve türevlerin büyüklükleri karşılaştırma amacı ile dört farklı seviyeye kodlanır [25]. GDYİÖ yönteminde ise pikseller arası küçük seviye farklılıklarına karşı duyarlılığı azaltan bir gürültü azaltma yöntemi kullanılmıştır [26]. Ayrıntılı histogram yönteminde YİÖ öznitelik vektörü ile yerel çarpıklık örüntüsü vektörü birleştirilir ve ikili özdeğer eşleme yöntemi uygulanır [27]. Çarpıklık bir istatistiksel dağılımın ortalaması etrafındaki asimetrisinin bir ölçütüdür ve bu değer dağılıma göre pozitif veya negatif olabilir. Ayrıntılı histogram yönteminin içerik tabanlı görüntü erişimi (CBIR) problemlerinde performans artırdığı ortaya konmuştur [27] ve bu çalışmada da kullanılmıştır. YİÖ ve varyantları ile elde edilmiş öznitelik vektör uzunlukları Tablo 1’de gösterilmiştir. Kullanılan öznitelik çıkarım yöntemlerinin hesaplama maliyetini ortaya koyabilmek için mamografilerden mevcut donanım sisteminde ortalama olarak YİÖ ve varyantlarından mamografi başına öznitelik çıkarım süreleri de Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. YİÖ, varyantları ve ayrıntılı histogram öznitelik vektör uzunlukları ve çıkarım süreleri (sn.)

| Örüntü adı | Orijinal | | Ayrıntılı histogram | |
|------------|----------|-------|---------------------|-------|
| | Uzunluk | Süre | Uzunluk | Süre |
| YİÖ | 59 | 0.16 | 236 | 0.33 |
| YTÖ | 236 | 0.26 | 590 | 0.43 |
| YDÖ | 708 | 0.53 | 1534 | 0.71 |
| GDYİÖ | 59 | 10.81 | 236 | 11.04 |

CBIS-DDSM veri seti içindeki mamografiler YİÖ, YTÖ, YDÖ ve GDYİÖ ve ayrıntılı histogram yöntemleri ile öznitelik vektörleri çıkarılmıştır. Sınıflandırma işlemi öncesinde veri noktalarının ortalaması sıfır ve standart sapması bir olacak şekilde ölçeklenmiştir. Sınıflandırıcı olarak doğrusal ve radyal tabanlı fonksiyon (RBF) kernel DVM ve YSA kullanılmıştır [28]-[30]. Eğitim-doğrulama ve test verileri için sırası ile %85 ve %15 oranında görüntüler kullanılmıştır. Doğruluk tahmini için 5-kez çapraz doğrulama yöntemi uygulanmıştır. Her bir alt bölmede verinin %80’i eğitim ve kalanı test için kullanılmıştır. Doğrulama verisi doğruluk oranı beş sınıflandırma döngüsünün ortalaması alınarak hesaplanmıştır. Eğitim ve doğrulama esnasında test verisi kullanılmamıştır. Başarı ölçütü olarak doğruluk oranı kullanılmıştır. Doğruluk oranı formülü 3 nolu denklemde verilmiştir.

$$\text{Doğruluk} = \frac{\text{Doğru sınıflandırılan görüntü sayısı}}{\text{Toplam görüntü sayısı}} \quad (3)$$

CBIS-DDSM veri seti için YİÖ ve varyantları kullanılarak elde edilen doğrulama verisi DVM doğrusal ve radyal tabanlı fonksiyon kernel sınıflandırmada elde edilen en yüksek doğruluk oranları hesaplanmıştır. Ayrıntılı histogram yöntemi için pencere boyutu 9, 13, 17, 21 ve 25 piksel olması ile eşik seviyesinin 1.0025, 1.0045, 1.05 ve 1.25 olması durumlarında gerçekleştirilmiştir.

3. Bulgular ve Tartışma

YİÖ ve varyantları ile öznitelik çıkarımı neticesinde en yüksek doğruluk oranı YDÖ öznitelik çıkarımı yönteminde pencere boyutu 21 ve eşik seviyesi 1.0045 olduğunda elde edilmiştir. Doğrulama verisi için doğruluk oranları Tablo 2’de gösterilmiştir.

Tablo 2. Doğrulama verisi için YİÖ ve varyantları öznitelik çıkarımı ve doğrusal ile radyal tabanlı fonksiyon kernel DVM sınıflandırma sonuçları (% doğruluk oranları)

| Örüntü | Orijinal | | Ayrıntılı histogram | |
|--------|----------|----------------|---------------------|----------------|
| | Doğrusal | Radyal tabanlı | Doğrusal | Radyal tabanlı |
| YİÖ | 49.96 | 65.54 | 56.42 | 69.58 |
| YTÖ | 48.76 | 65.96 | 57.36 | 67.98 |
| YDÖ | 55.30 | 66.07 | 72.16 | 63.27 |
| GDYİÖ | 51.86 | 65.62 | 57.28 | 69.77 |

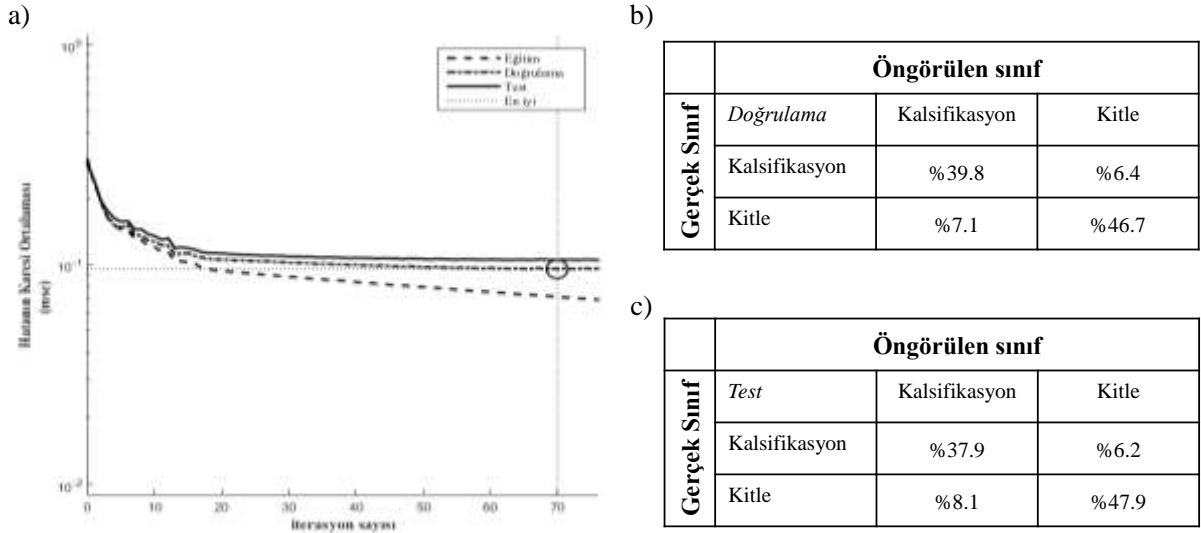
DVM ile elde edilen sonuçlara bakıldığında en yüksek doğruluk oranının ayrıntılı histogram YDÖ öznitelik çıkarımı ve sınıflandırıcı olarak doğrusal kernel DVM kullanıldığında elde edildiği görülmüştür. YDÖ öznitelik matrisi alınarak YSA kullanılarak da sınıflandırılmıştır. Bu işlemin amacı doğruluk oranını daha da artırmadığını görmektedir. YSA ile doğrulama veri setinde %73.55 doğruluk oranı elde edilmiştir. Bu aşamadan sonra sınıflandırma işlemi için YSA kullanılmıştır.

Doğruluk oranının artırılabilmesi için öznitelik füzyonu işleme alınmıştır. Kalsifikasyon görüntülerinde farklı büyüklükte parlak benekler bulunduğu için bu beneklerin büyüklüğü ile orantılı öznitelik çıkarımı gerekmektedir. Bu amaçla, sınıflandırma doğruluğunun artırılabilmesi için YİÖ’nün farklı çap (1-27 piksel) ve nokta sayısından (8-28 nokta) elde edilmiş öznitelik vektörleri birleştirilmiştir. YİÖ’nün döndürmeye karşı değişmeyen türü kullanılmıştır (uniform rotation invariant) [14]. YİÖ farklı çap ve nokta sayısı kombinasyonları ile elde edilmiş doğruluk oranları Tablo 3’te gösterilmiştir.

Tablo 3. Doğrulama verisi için YİÖ’nün farklı çap ve nokta sayısı kullanılarak öznitelik çıkarımı için gerekli süreler ve YSA sınıflandırıcı ile elde edilen doğruluk oranları.

| Çap ve Nokta sayısı | Öznitelik çıkarım süresi (s) | Kitle doğruluk oranı (%) | Kalsifikasyon doğruluk oranı (%) | Doğruluk oranı (%) |
|--|------------------------------|--------------------------|----------------------------------|--------------------|
| (3,16) | 0.12 | 84.42 | 67.27 | 76.23 |
| (1,8), (2,8), (2,16), (4,16) | 0.28 | 84.8 | 69.55 | 77.62 |
| (1,8)...(4,8), (2,16)...(6,16) | 0.6 | 83.95 | 71.37 | 77.95 |
| (1,8), (2,16)...(8,16) | 0.65 | 84.62 | 71.91 | 78.63 |
| (1,8), (2,16)...(15,16) | 1.18 | 86.99 | 75.22 | 81.32 |
| (1,8), (2,16)...(15;16), (16,20)...(19,20), (20,24)...(23,24), (24,28)...(27,28) | 2.55 | 88.58 | 82.41 | 85.54 |

Öznitelik çıkarımından sonra YSA oluşturulmuştur. YSA’da iki gizli katman ve her bir gizli katmanda sırası ile 40 ve 10 nöron kullanılmıştır. Levenberg-Marquardt (LM) eğitim algoritması ve performans fonksiyonu olarak hatanın karesi ortalaması (MSE) kullanılmıştır [31-32]. Eğitim algoritması olarak LM kullanılması durumunda RPROP ve ölçekli eşlenik gradyan geri yayılımı algoritmasına göre daha yüksek sınıflandırma doğruluğu elde edilmiştir. Gizli katmanlarda aktivasyon fonksiyonu olarak tanjant sigmoid ve çıktı katmanında softmax fonksiyonu kullanılmıştır. Verilerin %15’i test amaçlı kullanılmıştır, test verileri bir defa rastgele belirlenmiştir ve sonrasında hep aynı test verileri kullanılmıştır böylelikle test verisine rassal olarak erişim engellenmiştir. Farklı çap ve nokta sayısı ile çıkarılan öznitelik vektörleri eklendikçe doğrulama verisi doğruluk oranının arttığı görülmüştür. Sonuç olarak YİÖ çapının 1’den 27’ye kadar birer piksel artırılması ve nokta sayısının ise 8, 16, 20, 24, 28 olarak belirlenmesi ile elde edilen öznitelik vektörlerinin birleştirilmesi sonucunda doğrulama verisi için %85.54 ve test verisi için %85.74 doğruluk oranı elde edilmiştir. Nihai öznitelik vektörünün uzunluğu 574 olarak elde edilmiştir. Öznitelik çıkarım süresi mamografi başına 2.55 saniyedir. Test verisi için kitle sınıflandırma oranı %88.58 ve kalsifikasyon sınıflandırma oranı %82.41’dir. Şekil 2’de YSA performans eğrisi ile eğitim ve test verisi karışıklık matrisleri verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi 70 iterasyon sonucunda eğitim durdurulmuştur.



Şekil 2. YSA sınıflandırıcı sonuçları. a) performans eğrisi, b) doğrulama verisi için karışıklık matrisi, c) test verisi için karışıklık matrisi

4. Sonuç ve Öneriler

Mamografi görüntülerinde düşük kontrast ve gürültü bulunmasından dolayı mamografilerin sınıflandırılmaları zor bir problemdir. Mamografilerin bit derinliğinin nispeten yüksek (16 bit) olması sınıflandırmayı daha da zorlaştırmaktadır. Bu çalışmada, CBIS-DDSM veri tabanındaki mamografiler YİÖ ve varyantları ile öznelik çıkarımından sonra kitle ve kalsifikasyon olarak sınıflandırılmıştır. Bu sınıflandırma problemi için en yüksek test verisi doğruluk oranı YİÖ ile farklı çaplarda öznelik vektörleri füzyonu takiben verilerin YSA ile sınıflandırılmasıyla elde edilmiştir. Kitle ve kalsifikasyon sınıflandırılmasında rastgele belirlenmiş test verisi için elde edilen en yüksek doğruluk oranı %85.74'tür. Literatürde bugüne kadar CBIS-DDSM veri setinde bu çalışma ile benzer sınıflandırma çalışmalardan birisi [2] nolu çalışmadır ve elde edilen en yüksek doğruluk oranı %92.53'tür. Ancak makalede CBIS-DDSM veri setinin hepsi kullanılmamıştır ve veri setinin nasıl oluşturulduğu hakkında detaylı bilgi verilmemiştir. Bu çalışmada bahsi geçen çalışmadan daha fazla görüntü kullanılmıştır. Ayrıca makalede veri setindeki görüntülerin boyut indirgeme yöntemi açıklanmamıştır. Bu yüzden elde edilen doğruluk oranının bu çalışmanın doğruluk oranı ile doğrudan kıyaslanması mümkün değildir. Başka bir çalışmada ise CBIS-DDSM veri seti ve derin öğrenme kullanılmış ve en fazla %75.5 doğruluk oranı elde edilmiştir [33]. Veri seti olarak CBIS-DDSM ve öznelik olarak YİÖ ile HOG (histogram of oriented gradients) kullanılan 2019 yılında yapılan bir çalışmada ise en yüksek %64.35 doğruluk oranı rapor edilmiştir [34]. Bu değerler göz önüne alındığında bu çalışmada literatürde bugüne kadar elde edilen doğruluk oranlarının ikisinden daha yüksek ve biri ile kıyaslanabilir sonuçlar elde edilmiştir.

Bu çalışmada CBIS-DDSM meme kanseri veri setinde YİÖ ve varyantları ile öznelik çıkarımının sınıflandırma performansı ortaya konmuştur. Ayrıntılı histogram YİÖ ve varyantlarının "GHIM 10000" ve "COREL 1000" görüntü veri tabanlarında yönteminin daha üstün olduğu görülmüştür [23]. Ayrıntılı histogram ile elde edilen sonuçlar YİÖ ve varyantları ile elde edilen doğruluk oranlarından daha yüksektir. Ancak en yüksek doğruluk oranı farklı çap ve nokta sayısı için hesaplanmış YİÖ özneliği vektörlerinin füzyonu ve sınıflandırıcı olarak YSA kullanıldığında elde edilmiştir. YİÖ ve varyantlarının öznelik olarak seçilmesinin nedeni mamografilerdeki anormalliklerin yerel komşuluk bazında olmasından ve YİÖ özneliklerinin ise yerel komşuluğa bağlı örüntüleri genel olarak iyi sınıflandırmasından dolayıdır. Farklı çap ve nokta sayısının kullanılmasının nedeni ise anormalliklerin kapladığı alanın değişkenlik göstermesinden dolayıdır. DVM ve YSA sınıflandırıcıların kullanılma sebebi bu yöntemlerin görüntü sınıflandırma alanında en iyi yöntemlerden birkaçı olmasıdır. YSA eğitim algoritması olarak LM algoritması kullanılması durumunda RPROP ve ölçekli eşlenik gradyan geri yayılımına göre daha yüksek doğruluk oranı elde edilmiştir. Bununla birlikte, LM eğitim algoritması bu iki yöntemle göre daha fazla bilgisayar hafızası gerektirmektedir.

Makine öğrenmesi araştırmalarında dikkat edilmesi gereken hususlardan bir tanesi genelleştirmedir. Eğitim aşamasında test verisinden elde edilen sonuçlara göre sistem hiperparametreleri

değiştirilmemelidir. Bu amaç için doğrulama verisi kullanılmalıdır. Bu çalışmada genelleştirme için test verisi yalnızca test aşamasında kullanılmış ve doğrulama verisi doğruluk oranı ile test verisi doğruluk oranının birbirine yakın olduğu görülmüştür. Bu oranların yakın olması genelleştirme konusunda başarılı olduğunu göstermektedir.

Günümüzde makine öğrenme çalışmaları biyomedikal görüntü işleme alanında başarı ile kullanılmaktadır. Makine öğrenme araştırmaları içinde bulunan görüntü sınıflandırma problemleri çok boyutluluk içermektedir. Çok boyutlu görüntülerden sınıflandırma performansını artıracak öznelik seçimi ve öznelik çıkarımı araştırmaları büyük önem arz etmektedir. Mamografi sınıflandırma önemli biyomedikal görüntü sınıflandırma problemlerinden bir tanesidir. Bu çalışmada önerilen mamografi sınıflandırma yaklaşımı meme kanseri anormalliklerinin sınıflandırılmasında sağlık personelinin karar vermesine destek olabilecek, karar aşamasındaki özneliği azaltabilecek ve anormallik bulunması ile ilgili hataların azaltılmasına yardımcı olabilecektir.

Teşekkür

CBIS-DDSM veri setini hazırladıkları ve araştırma amaçlı olarak herkesin erişimine açtıkları için Lee ve diğerlerine [6] teşekkür ederim.

Yazarların Katkısı

Bu makalenin hazırlanması için gerekli çalışmaların tümü yazar tarafından yapılmıştır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Etik Kurallar

Yapılan çalışmada, araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar

- [1] Özmen V. 2014. Breast Cancer in Turkey: Clinical and Histopathological Characteristics (Analysis of 13.240 Patients). *Journal of Breast Health*, 10 (2): 98-105.
- [2] Xi P., Shu C., Goubran R. 2018. Abnormality Detection in Mammography using Deep Convolutional Neural Networks. 2018 IEEE International Symposium on Medical Measurements and Applications, 11-13 Haziran, Roma, İtalya, 1-6.
- [3] Tang J., Rangayyan R.M., Xu J., Naqa I.E., Yang Y. 2009. Computer aided detection and diagnosis of breast cancer with mammography: Recent advances. *IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine*, 13 (2): 236-251.
- [4] Miller R.G. 2001. Breast cancer screening. *Journal of General Internal Medicine*, 16 (3): 206-207.
- [5] Lee R.S., Gimenez F., Hoogi A., Rubin D. 2016. The Cancer Imaging Archive. "Curated Breast Imaging Subset of DDSM". <http://dx.doi.org/10.7937/K9/TCIA.2016.7O02S9CY> (Erişim Tarihi: 01.02.2019).
- [5] Lee R.S., Gimenez F., Hoogi A., Miyake K.K., Gorovoy M., Rubin D.L. 2017. A curated mammography data set for use in computer-aided detection and diagnosis research. *Scientific Data*, 4 (170177): 1-9.
- [6] Clark K., Vendt B., Smith K., Freymann J., Kirby J., Koppel P., Moore S., Phillips S., Maffitt D., Pringle M., Tarbox L., Prior F. 2013. The Cancer Imaging Archive (TCIA): Maintaining and Operating a Public Information Repository. *Journal of Digital Imaging*, 26 (6): 1045-1057.
- [7] Suckling J., Parker J., Dance D., Astley S., Hutt I., Boggis C., Savage J. 1994. The Mammographic Image Analysis Society digital mammogram database. 2nd International Workshop on Digital Mammography, Amsterdam, 375-378.
- [8] Ackerman L.V., Gose E.E. 1972. Breast lesion classification by computer and xeroradiograph. *Cancer*, 30 (4): 1025-1035.

- [9] Kutluk S., Günsel B. 2013. Tissue density classification in mammographic images using local features. 21st Signal Processing and Communications Applications Conference, 24-26 Nisan, Haspolat, Türkiye, 1-4.
- [10] Talha M. 2016. Classification of mammograms for breast cancer detection using fusion of discrete cosine transform and discrete wavelet transform features. *Biomedical Research*, 27 (2): 322-327.
- [11] Spanhol F.A., Oliveira L.S., Cavalin P.R., Petitjean C., Heutte L. 2017. Deep features for breast cancer histopathological image classification. *International Conference on Systems, Man, and Cybernetics*, 5-8 Ekim, Alberta, Kanada, 1868-1873.
- [12] Qayyum A., Basit A. 2016. Automatic breast segmentation and cancer detection via SVM in mammograms. *International Conference on Emerging Technologies*. 18-19 Ekim, Islamabad, Pakistan, 1-6.
- [13] Ojala T., Pietikäinen M., Mäenpää T. 2002. Multiresolution gray-scale and rotation invariant texture classification with local binary patterns. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 24 (7): 971-987.
- [14] Burçin K., Vasif N.V. 2011. Down syndrome recognition using local binary patterns and statistical evaluation of the system. *Expert Systems with Applications*, 38 (7): 8690-8695.
- [15] Kaya Y., Uyar M., Tekin R., Yıldırım S. 2014. 1D-local binary pattern based feature extraction for classification of epileptic EEG signals. *Applied Mathematics and Computation*, 243 (2014): 209-219.
- [16] Oppedal K., Eftestøl T., Engan K., Beyer M.K., Aarsland D. 2015. Classifying dementia using local binary patterns from different regions in magnetic resonance images. *International Journal of Biomedical Imaging*, 572567: 1-14.
- [17] Lenc L., Kral P. 2016. LBP Features for Breast Cancer Detection. *IEEE International Conference on Image Processing*, 25-28 Eylül, Phoenix, Arizona, ABD, 2643-2647.
- [18] Nahid A.A., Kong Y. 2018. Histopathological Breast-Image Classification Using Local and Frequency Domains by Convolutional Neural Network. *Information*, 9 (1): 19-45.
- [19] Esener İ.I., Ergin S., Yüksel T. 2015. Göğüs Kanseri Teşhisinde Bir Öznitelik Seçim Analizi. *Tıp Teknolojileri Ulusal Kongresi*, 15-18 Ekim, Muğla, 416-419.
- [20] Kadiroğlu Z., Şengür A., Deniz E. 2018. Classification of Histopathological Breast Cancer Images With Low Level Texture Features. *International Engineering and Natural Sciences Conference*, Kasım 2018, Diyarbakır, 1-8.
- [21] Reston V.A. 2003. *ACR BI-RADS-mammography, ultrasound and magnetic resonance imaging*. 4th ed., American College of Radiology.
- [22] Ojala T., Pietikäinen M., Mäenpää T. 2000. Gray Scale and Rotation Invariant Texture Classification with Local Binary Patterns. *European Conference on Computer Vision*, Berlin, 404-420.
- [23] Zhang B., Gao Y., Zhao S., Liu J. 2010. Local derivative pattern versus local binary pattern: face recognition with high-order local pattern descriptor. *IEEE Transactions on Image Processing*, 19 (2): 533-544.
- [24] Murala S., Maheshwari R.P., Balasubramanian R. 2012. Local tetra patterns: a new feature descriptor for content-based image retrieval. *IEEE Transactions on Image Processing*, 21 (5): 2874-2886.
- [25] Ren J., Jiang X., Yuan J. 2013. Noise-resistant local binary pattern with an embedded error-correction mechanism. *IEEE Transactions on Image Processing*, 22 (10): 4049-4060.
- [26] Tiwari A.T., Kanhangad V., Pachori R.B. 2017. Histogram refinement for texture descriptor based image retrieval. *Signal Processing: Image Communication*, 53: 73-85.
- [27] Cristianini N., Shawe-Taylor J. 2000. *An Introduction to Support Vector Machines and other kernel based learning methods*. AI Magazine, Cambridge University Press, Cambridge.
- [28] Schölkopf B., Smola, A.J. 2001. *Learning with kernels: Support Vector Machines, Regularization, Optimization and Beyond*. The MIT Press, 644s.
- [29] Suykens J.A.K., Van Gestel T., De Brabanter J., De Moor B., Vandewalle J. 2002. *Least Squares Support Vector Machines*. World Scientific, Singapur, 291s.
- [30] Marquardt D. 1963. An Algorithm for Least-Squares Estimation of Nonlinear Parameters. *SIAM Journal on Applied Mathematics*, 11 (2): 431-441.

- [31] Hagan M.T., Menhaj M. 1994. Training feed-forward networks with the Marquardt algorithm. *IEEE Transactions on Neural Networks*, 5 (6): 989–993.
- [32] Tsochatzidis L., Costaridou L., Pratikakis I. 2019. Deep Learning for Breast Cancer Diagnosis from Mammograms-A Comparative Study. *Journal of Imaging*, 5 (37): 1-11.
- [33] Alhakeem Z., Jang S.A. 2019. Convolution-Free Lbp-Hog Descriptor for Mammogram Classification. *arXiv preprint arXiv: 1904.00187*: 1-5.

Araştırma Makalesi / Research Article

K-Means Kümeleme Algoritması Kullanılarak Oluşturulan Yapay Zekâ Modelleri ile Sediment Taşınımının Tespiti

Kemal SAPLIOĞLU¹, Ramazan ACAR^{2*}

¹Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Isparta

²Munzur Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Tunceli

(ORCID: 0000-0003-0016-8690) (ORCID: 0000-0001-5864-0076)

Öz

Akarsulardaki kirlilik seviyelerinin tespiti, kullanma ve içme sularının tedarik edilmesinde, hem baraj hem de bağlama gibi su yapılarının proje aşamasında sediment yükünün doğru bir şekilde tespit edilmesi çok önemlidir. Bu çalışmada, Fırat Havzası üzerinde bulunan üç akım gözlem istasyonu (AGİ) için yapay zekâ yöntemlerinden uyarlamalı ağ tabanlı bulanık çıkarım sistemi (ANFIS), yapay sinir ağları (YSA) ve çoklu doğrusal regresyon (MLR) gibi yöntemler denenmiştir. Oluşturulan ANFIS modellerinin küme sayılarının seçiminde ise K-means kümeleme algoritmasından yararlanılmıştır. Yapılan çalışmalarda her bir istasyona ait sediment (Q_s), yağış (P), debi(Q) ve sıcaklık (P) verileri kullanılmıştır. Bu veriler kullanılarak her bir istasyon için sediment tahmin modeli geliştirilmiştir. Oluşturulan modelde girdi değişkeni olarak yağışın gerçekleştiği günkü değeri (P), yağışın gerçekleştiği günün bir gün öncesindeki değeri (P_{-1}), debi ve sıcaklık değerleri, çıktı değişkeni olarak ise sediment konsantrasyonu kullanılmıştır. Oluşturulan bu model tüm istasyonlar için hem eğitim hem de test aşamalarında sırasıyla regresyon katsayısı (R^2) ve ortalama yüzde hatası (OYH) bakımından karşılaştırılmıştır. Yapılan analizler sonucunda, K-means kümeleme algoritması ile alt küme sayısı belirlenerek oluşturulan ANFIS modelinin hem alt küme sayısı rastgele oluşturulan ANFIS modellerine göre hem de YSA ve MLR modellerine göre daha başarılı sonuçlar elde ettiği görülmüştür. Ayrıca, YSA ve ANFIS yöntemleri modellerinin MLR yöntemi modeline göre gözlenen değerlere daha yakın sonuçlar elde ettiği görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Sediment, K-means, ANFIS, Yapay Sinir Ağları, Regresyon.

Detection of Sediment Transport with Artificial Intelligence Models Formed by Using K-Means Clustering Algorithm

Abstract

It is important to detect sediment load truly in the project process of water structures such as both dam and regulator to determine pollution level, to use and to supply potable water. In this work, methods such as Adaptive Neuro Fuzzy Interference Systems (ANFIS), Artificial Neural Networks (ANN) and Multiple Linear Regression (MLR) are experienced for three Flow Observation Stations on Fırat Basin. K-Means Clustering Algorithm is used to select Clustering numbers of ANFIS Models being formed. Sediment (Q_s), Precipitation (P), Flow rate (Q) and temperature (P) data from each station are used in this study. Sediment estimation model is developed for each station by using the data. The value of the day when precipitation occurs (P), the value of the day before precipitation occurs (P_{-1}), flow and temperature rates are used as input factors; sediment concentration is used as output factors. The model being formed is compared for all of the stations with regard to regression coefficient (R^2) and mean percentage error (MPE) in both education and test stages. As a consequence of the analysis, subset numbers of ANFIS model being formed by determining subset of K-Means Clustering Algorithm has more successful results instead of ANFIS Models being randomly formed. It is also observed that the Models of ANFIS and ANN methods have closer results to the values being observed when they are compared to MLR methods.

Keywords: Sediment, K-means, ANFIS, Artificial Neural Networks, Regression.

*Sorumlu yazar: ramazanacar@munzur.edu.tr

Geliş Tarihi: 26.04.2019, Kabul Tarihi: 02.08.2019

1. Giriş

Baraj ve bağlama gibi su yapıları çok çeşitli amaçlar ile (içme suyu, kullanma suyu, enerji üretimi ve taşkın kontrolü) akarsular üzerinde inşa edilmektedir. Su yapılarının havzalarını akarsular beslemektedir. Akarsular beraberinde getirdiği silt, kum, çakıl, kaya parçaları gibi katı maddeler ile baraj göllerini doldururlar. Bundan dolayı barajların depolama kapasitesi ile ekonomik ömürleri azalmaktadır. Bunun sonucunda da baraj ve bağlamaların yıkılması, iş göremez hale gelmesi gibi sorunlar ortaya çıkmaktadır.

Yukarıda belirtilen sorunlardan dolayı sediment taşınımı, akış ve yağış gibi hidrolojik olaylar arasındaki var olan ilişkiyi doğru ve güvenilir bir şekilde belirlemek gerekir. Sediment, yağış ve akış gibi birbirini etkileyen değişkenler arasındaki ilişkinin matematiksel boyutunu belirlemek için YSA [1-2], ANFIS [3-4] ve MLR [5-6] gibi yöntemler kullanılmaktadır.

Çeribaşı ve Doğan [7] Aşağı Sakarya Nehri için askı maddesi tahmininde yapay sinir ağları (YSA), Mamdani ve Sugeno bulanık mantık (Mamdani-BM, Sugeno-BM) ve adaptif sinirsel bulanık sistemi (ASBS) gibi yöntemleri kullanmışlardır. Oluşturdukları modeller içerisinde ölçüm sonucu elde edilen değerlere en yakın sonucu ASBS yönteminden elde ettiklerini söylemişlerdir.

Kitsikoudis ve diğerleri [8] kum yatağı nehirleri için sediment taşınımı formülleri türetmişlerdir. Bu formülleri türetmek için yapay sinir ağları (YSA), uyarlamalı ağ tabanlı bulanık çıkarım sistemi (ANFIS) ve genetik programlama temelli sembolik regresyon yöntemlerini kullanmışlardır. Sonuç olarak, kullandıkları bu yöntemlerin yaygın olarak kullanılan sediment taşınım formüllerine nazaran daha iyi sonuçlar elde ettiğini söylemişlerdir.

Partovian ve diğerleri [9] Minnesota Nehri'nin günlük sediment ve akış modeli üzerinde bir çalışma yapmışlardır. Daha önce ölçülmüş olan verileri kullanarak yapay sinir ağları (YSA) ve uyarlamalı ağ tabanlı bulanık çıkarım sistemi (ANFIS) modellerine uygulamışlardır. Oluşturdukları modellerin performansını değerlendirmek için otomatik regresif entegre hareketli ortalama (ARIMA) ve çoklu doğrusal regresyon (MLR) modelleri ile karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak, YSA ve ANFIS modellerinin MLR modeline nazaran daha iyi performans sergilediğini söylemişlerdir.

Fırat ve diğerleri [10] Türkiye genelindeki toplam yağış miktarını kümelemek ve homojen bölgeleri belirlemek için K-means algoritmasını kullanmışlardır. Kümeleme analizleri için Türkiye Ulusal Meteoroloji İşleri (DMİ) tarafından işletilen 188 adet istasyondan elde edilen yıllık yağış kayıtları, boylam, enlem ve yükseklik değerlerini kullanmışlardır. Sonuç olarak, yıllık toplam yağışların kümelemesinde K-means algoritması kullanılarak elde edilen sonuçların kabul edilebilir düzeyde olduğunu söylemişlerdir. Kisi ve Zounemat-Kermani [11] askıda sediment konsantrasyonunu tahmin etmek için ANFIS bazlı bulanık C-means kümeleme yaklaşımını (ANFIS-FCM) kullanmışlardır. ANFIS-FCM modellerinin doğruluğu için klasik ANFIS, yapay sinir ağları (YSA) ve sediment anahtar eğrisi yöntemlerini kullanarak karşılaştırma yapmışlardır. Sonuç olarak, ANFIS-FCM modelinin diğer modellere göre daha üstün bir performans sergilediğini söylemişlerdir.

Bu çalışmada, Fırat Havzası üzerinde bulunan üç akım gözlem istasyonuna ait sediment miktarının tahmin edilmesi, amaçlanmıştır. Bu amaçla istasyonlara ait yağış, sıcaklık ve debi verileri kullanılarak YSA, ANFIS ve MLR modelleri kurulmuştur. Oluşturulan ANFIS modellerinin küme sayılarının seçiminde ise K-means kümeleme algoritmasından yararlanılmıştır. Oluşturulan tüm modeller hem regresyon katsayısı (R^2) hem de ortalama yüzde hatası (OYH) ile kıyaslanmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Materyal

Çalışma alanı olarak Fırat Havzası seçilmiştir. Fırat Havzası üzerinde birçok akım gözlem istasyonu (AGİ) inşa edilmiştir. Bu çalışmada, bu AGİ'ler arasından 2102 No'lu Murat Nehri-Palu, 2164 No'lu Göynük Çayı-Çayağzı ve 2166 No'lu Peri Suyu-Loğmar istasyonları kullanılmıştır. Bu AGİ'ler ile ilgili daha detaylı bilgiler aşağıda sıralanmıştır (Şekil 1).



Şekil 1. İstasyonların yerbulundu haritası

2102 No'lu istasyon $38^{\circ} 41' 49''$ kuzey, $39^{\circ} 56' 22''$ doğu koordinatlarında ve deniz seviyesinden 859 m yüksekliktedir. Ayrıca $25515,6 \text{ km}^2$ alana sahiptir. Tablo 1'de 2102 No'lu istasyon ile ilgili istatistikler verilmiştir.

Tablo 1. 2102 No'lu Murat Nehri-Palu istasyonu

| | Yağış (mm) | Yağış(-1) (mm) | Debi (m^3/sn) | Sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$) | Sediment Konsantrasyonu (ppm) |
|-----------------------------------|---------------|-------------------|------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|
| Ortalama | 1.27 | 1.30 | 243.42 | 13.12 | 532.25 |
| Standart Hata | 0.28 | 0.38 | 28.42 | 0.63 | 72.16 |
| Ortanca | 0.00 | 0.00 | 92.21 | 13.00 | 145.80 |
| Standart Sapma | 3.49 | 4.70 | 352.67 | 7.85 | 883.83 |
| Örnek Varyans | 12.18 | 22.05 | 124372.97 | 61.56 | 781163.22 |
| Basıklık | 23.69 | 59.62 | 9.56 | -1.18 | 13.46 |
| Çarpıklık | 4.35 | 6.88 | 2.78 | 0.04 | 3.27 |
| Aralık | 27.20 | 46.80 | 2274.96 | 29.00 | 5649.69 |
| En Küçük | 0.00 | 0.00 | 14.33 | 0.00 | 20.93 |
| En Büyük | 27.20 | 46.80 | 2289.29 | 29.00 | 5670.62 |
| Toplam | 195.30 | 199.90 | 37486.92 | 2021.00 | 79837.85 |
| Veri Sayısı | 154 | 154 | 154 | 154 | 154 |
| Güvenirlilik Düzeyi(95.0%) | 0.56 | 0.75 | 56.14 | 1.25 | 142.60 |

2164 No'lu istasyon $38^{\circ} 48' 06''$ kuzey, $40^{\circ} 33' 32''$ doğu koordinatlarında ve deniz seviyesinden 998 m yüksekliktedir. Ayrıca $2232,0 \text{ km}^2$ alana sahiptir. Tablo 2'de 2164 No'lu istasyon ile ilgili istatistikler verilmiştir.

Tablo 2. 2164 No'lu Göynük Çayı-Çayağzı istasyonu

| | Yağış (mm) | Yağış(-1) (mm) | Debi (m ³ /sn) | Sıcaklık (°C) | Sediment Konsantrasyonu (ppm) |
|-----------------------------------|---------------|-------------------|------------------------------|------------------|-------------------------------------|
| Ortalama | 3.12 | 2.35 | 31.01 | 13.04 | 31.02 |
| Standart Hata | 0.71 | 0.52 | 3.79 | 0.60 | 3.59 |
| Ortanca | 0.00 | 0.00 | 10.80 | 12.00 | 6.24 |
| Standart Sapma | 8.59 | 6.30 | 45.81 | 7.25 | 43.36 |
| Örnek Varyans | 73.72 | 39.64 | 2098.62 | 52.58 | 1880.26 |
| Basıklık | 19.21 | 17.46 | 4.54 | -1.15 | 3.36 |
| Çarpıklık | 4.06 | 3.79 | 2.21 | 0.21 | 1.83 |
| Aralık | 60.20 | 45.20 | 219.54 | 26.00 | 225.41 |
| En Küçük | 0.00 | 0.00 | 1.23 | 1.00 | 0.47 |
| En Büyük | 60.20 | 45.20 | 220.77 | 27.00 | 225.88 |
| Toplam | 455.20 | 343.50 | 4527.96 | 1904.00 | 4529.41 |
| Veri Sayısı | 146 | 146 | 146 | 146 | 146 |
| Güvenirlilik Düzeyi(95.0%) | 1.40 | 1.03 | 7.49 | 1.19 | 7.09 |

2166 No'lu istasyon 38° 51' 31" kuzey, 39° 48' 50" doğu koordinatlarında ve deniz seviyesinden 847 m yüksekliktedir. Ayrıca 5385,8 km² alana sahiptir. Tablo 3'de 2166 No'lu istasyon ile ilgili istatistikler verilmiştir.

Tablo 3. 2166 No'lu Peri Suyu-Loğmar istasyonu

| | Yağış (mm) | Yağış(-1) (mm) | Debi (m ³ /sn) | Sıcaklık (°C) | Sediment Konsantrasyonu (ppm) |
|-----------------------------------|---------------|-------------------|------------------------------|------------------|-------------------------------------|
| Ortalama | 1.57 | 1.85 | 66.71 | 12.49 | 466.88 |
| Standart Hata | 0.51 | 0.58 | 9.18 | 0.83 | 91.07 |
| Ortanca | 0.00 | 0.00 | 33.76 | 11.50 | 114.41 |
| Standart Sapma | 4.40 | 5.04 | 80.05 | 7.20 | 783.45 |
| Örnek Varyans | 19.39 | 25.38 | 6408.46 | 51.77 | 613793.95 |
| Basıklık | 11.94 | 13.81 | 4.58 | -1.09 | 5.93 |
| Çarpıklık | 3.41 | 3.54 | 2.10 | 0.09 | 2.53 |
| Aralık | 23.90 | 29.40 | 391.72 | 24.00 | 3484.90 |
| En Küçük | 0.00 | 0.00 | 1.93 | 0.00 | 14.30 |
| En Büyük | 23.90 | 29.40 | 393.64 | 24.00 | 3499.20 |
| Toplam | 119.40 | 140.60 | 5070.23 | 949.00 | 34549.45 |
| Veri Sayısı | 76 | 76 | 76 | 76 | 76 |
| Güvenirlilik Düzeyi(95.0%) | 1.01 | 1.15 | 18.29 | 1.64 | 181.51 |

Bu çalışmada, 2102 No'lu Murat Nehri-Palu istasyonu ile 2164 No'lu Göynük Çayı-Çayağzı istasyonuna ait 1993-2005 yılları arasında sırasıyla 154'er ve 146'şar adet ölçümler sonucu elde edilmiş

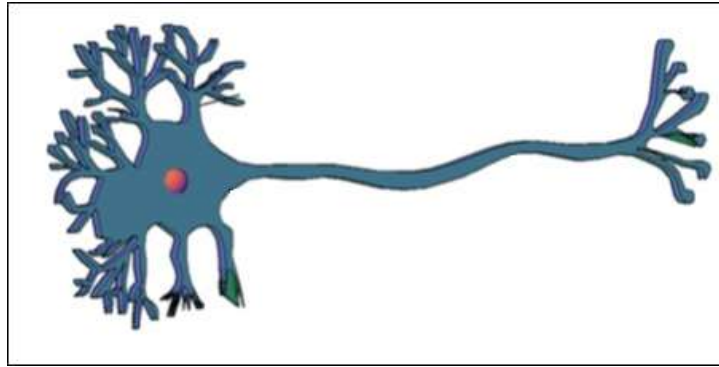
sıcaklık, sediment ve debi verileri değerlendirilmiştir. 2166 No'lu Peri Suyu-Loğmar istasyonunda ise 1994-2000 yılları arasında 76'şar adet ölçülmüş sıcaklık, sediment ve debi verileri değerlendirilmiştir. Ayrıca her bir istasyonda yağışın gerçekleştiği günkü değerleri ile yağışın gerçekleştiği günün bir gün öncesindeki değerleri girdi verisi olarak değerlendirilmiştir. İstasyonlar için yapılan analizlerde, verilerin eğitim aşaması için ilk %80 'lik dilimi, test aşaması için ise son %20'lik dilimi kullanılmıştır.

2.2. Metot

Bu bölüm içerisinde yapay sinir ağları (YSA), uyarlamalı ağ tabanlı bulanık çıkarım sistemi (ANFIS), K-means kümeleme yöntemi ve çoklu doğrusal regresyon (MLR) yöntemleri hakkında temel ve teorik bilgiler anlatılmıştır.

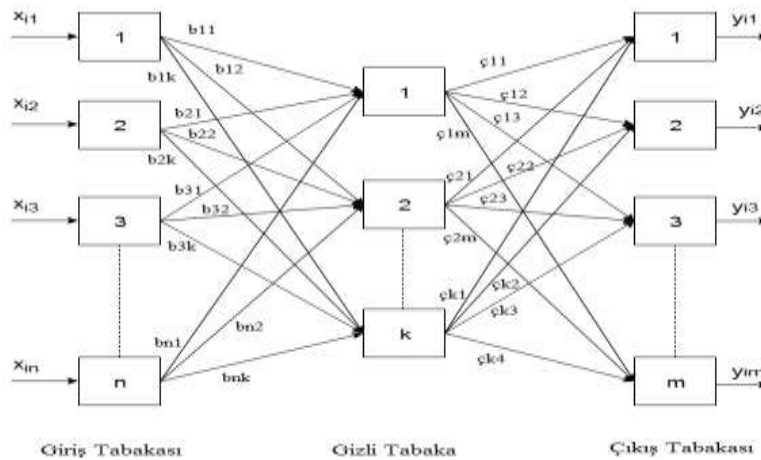
2.2.1. Yapay Sinir Ağları

YSA, akıllı bir program oluşturmayı amaçlayan bir tekniktir ve bunu da insan beyninde bulunan nöronların çalışma ağlarını simüle eden modelleri kullanarak yapar (Şekil 2). YSA'lar hem keskin bir veriye sahip değillerdir hem de tanımlanmış veri kümesine göre çıktılar sağlarlar. Bu yönüyle geleneksel hesaplama programlarından farklıdır. Programa tanımlanan veriler ve koşullar, çeşitli eğitim ve öğrenim metotları yardımıyla işleme alınmaktadır. Bu işlemlerin çıktılarının yardımı sayesinde program veriler ile sinirsel yapılar arasındaki ağırlıkları ayırır. Daha sonra farklı durum ve verilere gelindiği zaman hem durumlar yorumlanır hem de daha önceki öğrenmelere göre sonuçlar sunulur [12].



Şekil 2. Biyolojik bir sinir hücresi yapısı [13]

YSA ağı iki bölümde incelenebilir. Bu bölümlerden biri YSA'nın yapısı diğeri ise bu yapının işleminde etkin rol oynayan matematiksel fonksiyonlardır. YSA yapısı girdi, gizli ve çıktı olmak üzere üç katmandan oluşur (Şekil 3)[12].



Şekil 3. Genel yapay sinir ağ mimarisi

Girdi katmanı: YSA bu katmanda normal sistemler gibi davranır ve giriş verileri doğrultusunda sonuçlar üretir. Bu giriş verileri hem dış dünyadan ve hem de diğer YSA hücrelerinden gelebilir. Burada bulunan nöron sayısı ile dışardan gelen giriş sayısı eşittir. Girdi katmanında genelde verilerin işlemlere tabi tutulmadığı belirtilmiştir [14].

Gizli tabaka: Bu tabakadaki nöron sayısı hem girdi hem de çıktı sayısından bağımsızdır. Hem ara katmanlarda ve hem de gizli tabakadaki nöron sayısının artması durumunda hesap karmaşıklığı ve hesap süresi artar. Buna rağmen yapay sinir ağlarının çok daha karmaşık sorunların çözümü için kullanılabilmesinde etkin rol oynadığı belirtilmiştir [14].

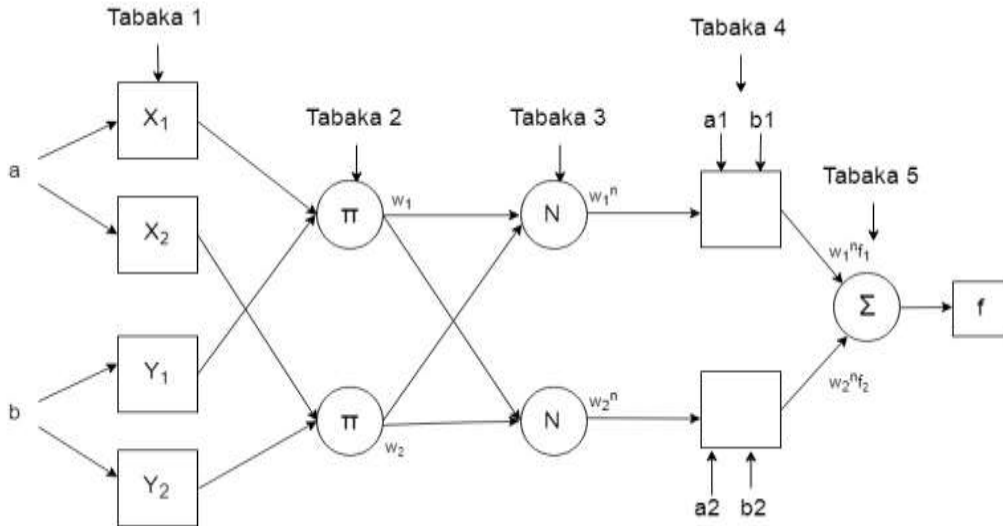
Çıktı katmanı: Ara katmandan iletilen bilgiler son olarak burada işlenir. Daha sonra girdi katmanında bulunan girdilere karşılık olarak ağ tarafından üretilen çıkışlar belirlenir ve kullanıma hazır bilgi haline getirildiği belirtilmiştir [14].

2.2.2. Uyarlamalı Ağ Tabanlı Bulanık Çıkarım Sistemi

Uyarlamalı ağlar çerçevesinde uygulanan bir bulanık çıkarım sistemi olan ANFIS ilk olarak Jang (1993) tarafından geliştirilmiş olan bir modeldir. ANFIS'in amacı kuralları otomatik olarak elde etmektir ve bu yönüyle de bulanık mantıktan farklıdır. ANFIS yapısı bulanık mantık çıkarımı ile birlikte yapay sinir ağlarının öğrenme yeteneğini de kullanır. Bu yönüyle ANFIS hem bulanık mantığın ve hem de YSA modelinin tek başına çalıştırılmasından daha başarılıdır. Girdi değerleri ile çıktı değerleri bilindiği zaman, ANFIS olası tüm kuralları belirler (Denklem 1). ANFIS modeli beş tabakadan oluşur. Bu tabakalar sırasıyla buzlanma, kural, normalleşme, bulanıklaştırma ve toplama tabakalarıdır (Şekil 3) [15].

$$f_1 = p_1a + q_1b + r_1 \quad \Rightarrow \quad f = \frac{w_1f_1 + w_2f_2}{w_1 + w_2} \quad (1)$$

$$f_2 = p_2a + q_2b + r_2 \quad \Rightarrow \quad f = \bar{w}_1f_1 + \bar{w}_2f_2$$



Şekil 3. Uyarlamalı ağ tabanlı bulanık çıkarım sistemi (ANFIS) ağ mimarisi

1. Tabaka: X ve Y iki özgün girdi değerleridir. X ve Y iki giriş düğümünde beslenirler ve bu da değerleri üyelik işlevlerine dönüştürür.

$$O_i^1 = \mu_{A_i}(a) \quad i=1,2 \quad (2)$$

$$O_i^1 = \mu_{B_{i-2}}(b) \quad i=3,4 \quad (3)$$

Burada, O_i^j katmanında i çıkış düğümünü, a veya b girdi değerini, μ_{Ai} veya μ_{Bi-2} ise bu tabaka ile ilişkili bulanık kümesinin ifade edildiği belirtilmiştir [16].

2. Tabaka: Bu katmanda yer alan her düğüm aldığı sinyalleri çoğaltır. Düğümün O_i^2 çıktısı Denklem (4)'deki gibi hesaplanabildiği belirtilmiştir [16]:

$$O_i^2 = W_i = \mu_{Ai}(a) \cdot \mu_{Bi}(b) \quad i=1,2 \quad (4)$$

3. Tabaka: Bu tabakadaki düğümlerin çıkışı Denklem (5)'dekine benzer ilişki kullanılarak elde edildiği belirtilmiştir [16]:

$$O_i^3 = \bar{w}_i = \frac{w_1}{w_1 + w_2} \quad i=1,2 \quad (5)$$

4. Tabaka: Bu tabakada 'i' düğümü birinci kural yöntemine bağlı olarak tanımlanan çıktı modelinin işlevinde 'i' sıralı kuralının sağladığı katkının hesaplandığı belirtilmiştir [16]:

$$O_i^4 = \bar{w}_i f_i = \bar{w}_i (p_i A + q_i B + r_i) \quad i=1,2 \quad (6)$$

Burada, \bar{w}_i üçüncü tabakanın çıktısını, p_i , q_i ve r_i ise parametre kümelerini ifade eder.

5. Tabaka: Bu tabakanın tek düğümü, sistemin ağırlıklı küresel (global) çıktısını Denklem (7)'deki gibi hesaplandığı belirtilmiştir [16]:

$$O_i^5 = \bar{w}_i f_i = \frac{\sum_i w_i f_i}{\sum_i w_i} \quad (7)$$

f 'in sabit olduğu durumlarda, sıfır sıralı bir Sugeno [8] bulanık modeli elde edilir. Bu da hem Mamdani bulanık çıkarım sisteminin [17] ve hem de Tsukamoto bulanık modelinin [18] özel bir durumu olarak görülebilir. Buna ek olarak, sıfır sıralı bir Sugeno bulanık modeli, bazı küçük kısıtlamalar altında radyal temel fonksiyon ağına işlevsel olarak eşdeğerdir [19].

2.2.3. K-means Algoritması ile Kümeleme

Bulanık K-means yöntemi ilk olarak 1967 yılında J. MacQueen tarafından kullanılan denetimsiz bir modelleme algoritmasıdır. Bu yöntem orta noktaya ya da en yakın merkeze göre var olan kategorileri veya koşulları baz alarak birkaç nesneyi bölümlere ayırarak çalışır. Bu yöntem aynı küme içerisinde bulunan veriler arasındaki değişimi en aza indirir. Aynı zamanda farklı kümeler içerisindeki veriler arasındaki değişimi de en üst seviyeye çıkarır [20-21]. Bu yöntem jeohidroloji, toprak bilimi ve bitki örtüsü haritalandırma alanlarında kullanılan bir tekniktir [22-24]. K-Means kümeleme algoritması aşağıdaki adımlardan oluşmaktadır [25-26]:

- Veri noktaları X_i ve küme sayıları K olarak belirlenir. ($i=1,2,\dots,n$)
- Daha sonra veri noktaları rastgele kümelere ayrılır. Sonra tüm C_j küme merkezleri $j=1,2,\dots,k$ şeklinde hesaplanır.
- Her küme içerisinde her bir veri noktasının merkezlere olan uzaklığı hesaplanır. Bu yapılırken seçilen mesafe algoritması kullanılır. Sadece girdi parametresine göre yapıldığında X mesafesi kullanılırken hem girdi hem de çıktı verilerinin birlikte kullanıldığı uzayda mesafe bulma işleminde Öklit mesafesi kullanılabilir.

- Mesafelere bakılarak hangi verinin hangi kümeye ait olduğu tespit edilir.
- Oluşturulan her bir kümenin ağırlık merkezleri tekrardan hesaplanır. Yeni oluşacak ağırlık merkezlerine göre mesafe bulma işlemleri tekrarlanır.
- Kümeler arası geçiş olmadığı ya da başka bir deyişle ağırlık merkezlerinin değişmediği anda işlemler sonlandırılır.

2.2.4. Çoklu Doğrusal Regresyon

Çoklu regresyon analizi, birbirini etkileyen değişkenler arasındaki ilişkinin matematiksel boyutunu belirlemek için kullanılan istatistiksel bir metottur. Çoklu regresyon analizine bağlı olarak formüle edilen denklem kullanılarak tahmin edilecek değer onu etkileyen tüm değerlerin bir fonksiyonu şeklinde yazılır (Denklem 8) [27-28].

$$Y = a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_mx_m + u \quad (8)$$

Burada;

Y: Bağımlı değişkeni,

x: Bağımsız değişkeni,

a: Regresyon katsayısını,

m: Giriş parametrelerinin sayısını,

u: Hata terimini ifade eder.

Veriler normal olarak dağıtıldığı zaman çoklu doğrusal regresyon analizi kullanılabilir. Bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki ilişki doğrusaldır. Ayrıca her bağımsız değişken için hata varyansı sabittir [27-29].

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Analizler için Oluşturulan Modeller

2102 No'lu Murat Nehri-Palu, 2164 No'lu Göynük Çayı-Çayağzı ve 2166 No'lu Peri Suyu-Loğmar istasyonları için yağışın gerçekleştiği günkü değeri (P), yağışın gerçekleştiği günün bir gün öncesindeki değeri (P₋₁), debi (Q) ve sıcaklık (T) verileri girdi olarak, sediment konsantrasyonu (C) verisinin de çıktı olarak kullanıldığı yapay sinir ağları (YSA), çoklu doğrusal regresyon (MLR) ve uyarlamalı ağ tabanlı bulanık çıkarım sistemi (ANFIS) modelleri oluşturulmuştur. ANFIS yönteminde oluşturulan küme sayıları K-means algoritması ile belirlenmiştir. Yapay sinir ağları kullanılarak üç istasyon için de 10'ar adet model oluşturulmuştur. ANFIS kullanılarak üç istasyon için de 6'şar adet model oluşturulmuştur.

3.2. 2102 No'lu İstasyon için Tahmin Sonuçları

Çalışmada öncelikle gözlem istasyonlarında yapılan ölçümler sonucu elde edilen veriler K-means algoritması kullanılarak kümelendirilmiştir. Farklı iki kümeleme işlemi yapılmıştır:

1. Veriler birbirleriyle kendi içerisinde kümelendirilmiştir.
2. Girdi verilerine karşılık gelen çıktı verilerinin konumları kümelendirilmiştir.

K-means algoritması ile kümelemeye ait sonuçlar Tablo 4'te sunulmuştur.

Tablo 4. K-means algoritması ile yapılan kümelemeye ait bilgiler

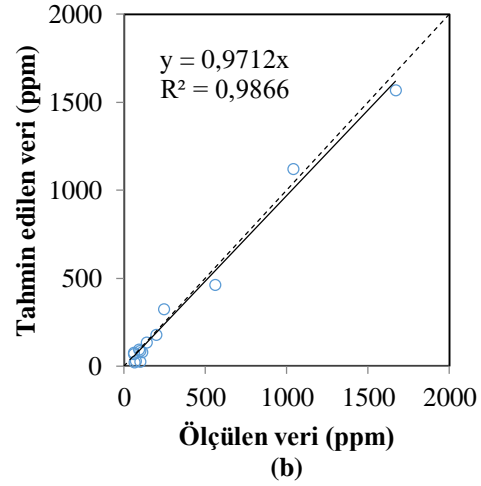
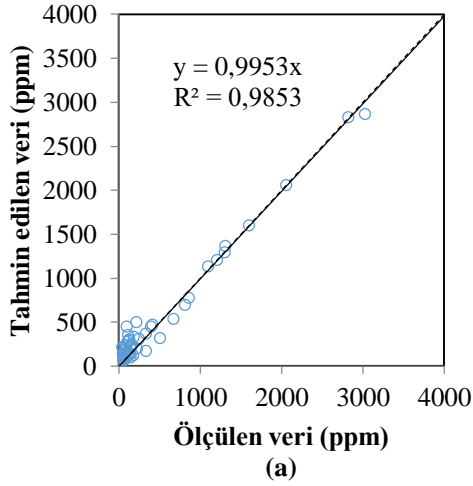
| Küme | Küme 1 | | Küme 2 | | Küme 3 | | Küme 4 | | Küme 5 | | Küme 6 | | |
|----------|-----------|------|--------|------|--------|------|--------|------|--------|------|--------|------|------|
| | E. Sayısı | Ort. | E. S. | Ort. | E. S. | Ort. | E. S. | Ort. | E. S. | Ort. | E. S. | Ort. | |
| Yağış | 2 | 137 | 0.57 | 6 | 13.9 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 3 | 127 | 0.21 | 15 | 7.23 | 1 | 27.2 | - | - | - | - | - | - |
| | 4 | 123 | 0.12 | 14 | 4.54 | 5 | 11.34 | 1 | 27.2 | - | - | - | - |
| | 5 | 115 | 0.02 | 12 | 2.01 | 12 | 5.80 | 3 | 12.9 | 1 | 27.2 | - | - |
| | 6 | 115 | 0.02 | 12 | 2.01 | 10 | 5.18 | 2 | 8.90 | 3 | 12.9 | 1 | 27.2 |
| Debi | 2 | 125 | 125.9 | 18 | 1050 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 3 | 119 | 105.2 | 21 | 790 | 3 | 1837 | - | - | - | - | - | - |
| | 4 | 110 | 87.07 | 16 | 426 | 14 | 909 | 3 | 1837 | - | - | - | - |
| | 5 | 110 | 87.02 | 15 | 411 | 14 | 867 | 3 | 1488 | 1 | 2289 | - | - |
| | 6 | 75 | 54.35 | 32 | 149 | 12 | 304 | 12 | 634 | 9 | 1000 | 3 | 1837 |
| Sıcaklık | 2 | 73 | 7.18 | 70 | 20.4 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 3 | 44 | 4.41 | 39 | 12.1 | 60 | 21.4 | - | - | - | - | - | - |
| | 4 | 44 | 4.41 | 38 | 12.0 | 30 | 18.5 | 31 | 24.1 | - | - | - | - |
| | 5 | 28 | 2.89 | 22 | 7.68 | 32 | 12.56 | 30 | 18.56 | 31 | 24.10 | - | - |
| | 6 | 15 | 1.73 | 29 | 5.79 | 38 | 12.0 | 28 | 18.3 | 22 | 22.8 | 11 | 26 |

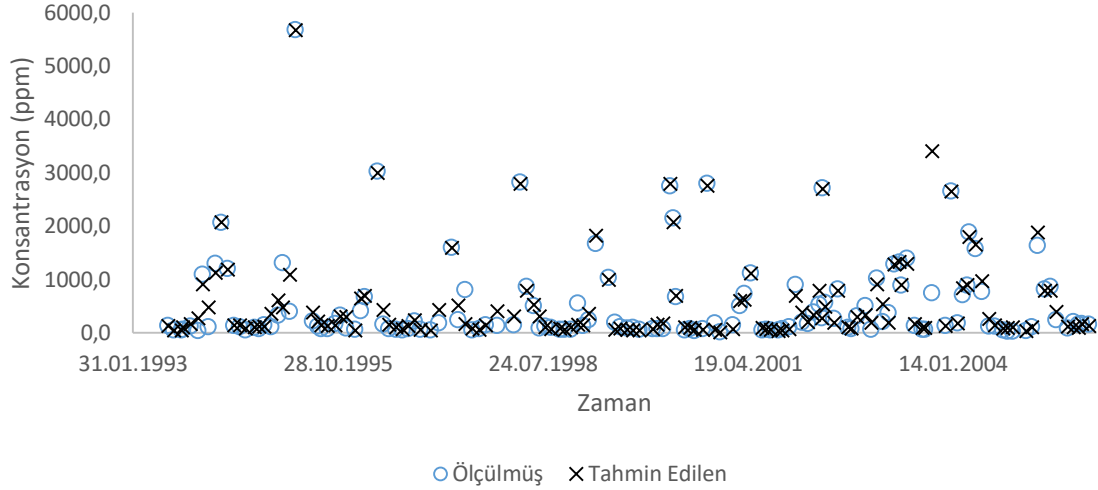
Bu tabloda; E. S. kısaltması eleman sayısını, Ort. kısaltması ise ortalama anlamlarını ifade etmektedir. Elde edilen sonuçlara bakıldığında; homojen dağılım gösteren elemanların yağış için iki küme, debi için altı küme ve sıcaklık için dört küme olduğu görülmektedir. Tablo 5'in yöntem bölümünde bu kümeler işaretlenmiştir. Çalışmada K-means yöntemi ile oluşturulan ANFIS yöntemi modellerinin yanı sıra rastgele oluşturulan farklı alt kümelerle yapılan ANFIS modelleri de oluşturulmuştur. YSA ve ANFIS sediment modellerinin güvenilirliğinin kontrolünde daha hassas bir karşılaştırma yapabilmek için MLR modeli oluşturularak karşılaştırma yapılmıştır. Tablo 5'te küme sayısı belirlenen girdi değerleri ile oluşturulan ANFIS modelleri, YSA ve MLR modellerine ait sonuçlar verilmiştir. Tablo 5 incelendiğinde, K-means algoritması ile belirlenen en uygun alt küme sayıları ile oluşturulan ANFIS modelinden, hem rastgele oluşturulan ANFIS modellerine göre hem de YSA ve MLR modellerine göre daha iyi sonuçlar elde edildiği görülmüştür. Şekil 5'te en iyi sonuçların elde edildiği modele ait eğitim ve test aşamalarının R^2 grafikleri verilmiştir. Ayrıca Denklem 9'da geliştirilen MLR modelinden elde edilen en iyi R^2 değerinin denklemi verilmiştir. En başarılı model; test aşamasına ait en büyük R^2 'ye göre belirlenmiştir. Bu istasyonda en başarılı sonuç $R^2=0.9866$ değeri ile alt küme sayısı K-means algoritması ile belirlenen ANFIS modelinden elde edilmiştir (Şekil 6).

$$X_{2102} = X_p * 80.862 + X_{p(-1)} * 11.376 + X_Q * 1.846 + X_T * (-0.725) + 52.413 \quad (9)$$

Tablo 5. Oluşturulan YSA, ANFIS ve MLR modellerine ait R² ve hata değerleri

| Yöntem | Eğitim | | | Test | | |
|---------------------------------|----------------|--------------|--------------|----------------|--------------|--------------|
| | R ² | MSE | MAPE | R ² | MSE | MAPE |
| YSA - 1 Nöron | 0.7192 | 5.754 | 5.236 | 0.7012 | 5.422 | 5.263 |
| YSA - 2 Nöron | 0.8017 | 5.448 | 5.302 | 0.7861 | 4.656 | 4.534 |
| YSA - 3 Nöron | 0.8200 | 4.437 | 4.125 | 0.7465 | 4.060 | 3.716 |
| YSA - 4 Nöron | 0.8552 | 4.191 | 3.983 | 0.8300 | 4.125 | 3.856 |
| YSA - 5 Nöron | 0.8860 | 4.275 | 4.107 | 0.8414 | 3.929 | 3.516 |
| YSA - 6 Nöron | 0.8226 | 3.959 | 3.741 | 0.7114 | 3.427 | 3.157 |
| YSA - 7 Nöron | 0.8929 | 3.574 | 3.356 | 0.7739 | 4.603 | 4.208 |
| YSA - 8 Nöron | 0.9092 | 4.661 | 4.215 | 0.8401 | 4.548 | 4.196 |
| YSA - 9 Nöron | 0.8840 | 5.025 | 4.842 | 0.8780 | 4.764 | 4.532 |
| YSA - 10 Nöron | 0.9436 | 4.513 | 4.208 | 0.8840 | 4.202 | 4.152 |
| ANFIS - 2-2-6-4 Alt Küme | 0.9853 | 1.763 | 1.691 | 0.9866 | 1.947 | 1.857 |
| ANFIS - 3-3-3-3 Alt Küme | 0.8962 | 3.389 | 3.109 | 0.8021 | 4.819 | 4.759 |
| ANFIS - 4-4-4-4 Alt Küme | 0.9236 | 3.857 | 3.641 | 0.8207 | 4.958 | 4.841 |
| ANFIS - 5-5-5-5 Alt Küme | 0.9536 | 3.017 | 2.856 | 0.9514 | 4.999 | 4.602 |
| ANFIS - 6-6-6-6 Alt Küme | 0.9661 | 2.466 | 2.178 | 0.9381 | 5.901 | 5.841 |
| ANFIS - 7-7-7-7 Alt Küme | 0.9773 | 1.960 | 1.759 | 0.9736 | 5.123 | 4.786 |
| MLR | 0.8586 | 4.154 | 3.891 | 0.8368 | 4.542 | 4.149 |

**Şekil 5.** Dört girdili ve 2-2-6-4 alt kümeli ANFIS modeline ait saçılım diyagramları (a) eğitim; (b) test



Şekil 6. Dört girdili ve 2-2-6-4 alt kümeli ANFIS modeline ait zaman serisi grafiği

3.3. 2164 No'lu İstasyon için Tahmin Sonuçları

Çalışmada öncelikle gözlem istasyonlarında yapılan ölçümler sonucu elde edilen veriler K-means algoritması kullanılarak kümelendirilmiştir. Farklı iki kümeleme işlemi yapılmıştır:

1. Veriler birbirleriyle kendi içerisinde kümelendirilmiştir.
2. Girdi verilerine karşılık gelen çıktı verilerinin konumları kümelendirilmiştir.

K-means algoritması ile kümelemeye ait sonuçlar Tablo 6'da sunulmuştur.

Tablo 6. K-means algoritması ile yapılan kümelemeye ait bilgiler

| | Küme Sayısı | Küme 1 | | Küme 2 | | Küme 3 | | Küme 4 | | Küme 5 | | Küme 6 | |
|----------|-------------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|
| | | E. S. | Ort. | E. S. | Ort. | E. S. | Ort. | E. S. | Ort. | E. S. | Ort. | E. S. | Ort. |
| Yağış | 2 | 125 | 1.08 | 8 | 33.21 | | | | | | | | |
| | 3 | 118 | 0.45 | 11 | 15.35 | 4 | 44.70 | | | | | | |
| | 4 | 113 | 0.22 | 12 | 9.23 | 5 | 24.20 | 3 | 48.23 | | | | |
| | 5 | 111 | 0.14 | 12 | 7.49 | 6 | 19.43 | 3 | 39.53 | 1 | 60.2 | | |
| | 6 | 111 | 0.14 | 8 | 5.74 | 6 | 12.28 | 4 | 21.72 | 3 | 39.53 | 1 | 60.2 |
| | 2 | 113 | 11.79 | 20 | 116.8 | | | | | | | | |
| Debi | 3 | 109 | 10.17 | 12 | 69.71 | 12 | 143.5 | | | | | | |
| | 4 | 87 | 6.42 | 23 | 25.83 | 11 | 72.10 | 12 | 143.5 | | | | |
| | 5 | 87 | 6.42 | 23 | 25.82 | 11 | 72.10 | 10 | 131.5 | 2 | 203.6 | | |
| | 6 | 87 | 6.42 | 23 | 25.82 | 10 | 69.56 | 6 | 116.4 | 5 | 142.9 | 2 | 203.6 |
| | 2 | 74 | 7.54 | 59 | 20.28 | | | | | | | | |
| | 3 | 35 | 4.34 | 45 | 10.91 | 53 | 20.98 | | | | | | |
| Sıcaklık | 4 | 35 | 4.34 | 39 | 10.41 | 32 | 17.47 | 27 | 23.63 | | | | |
| | 5 | 31 | 4 | 25 | 8.64 | 24 | 12.63 | 26 | 18.23 | 27 | 23.63 | | |
| | 6 | 18 | 3.06 | 17 | 5.71 | 23 | 9.35 | 25 | 13.76 | 30 | 19.87 | 17 | 24.71 |
| | 2 | 74 | 7.54 | 59 | 20.28 | | | | | | | | |

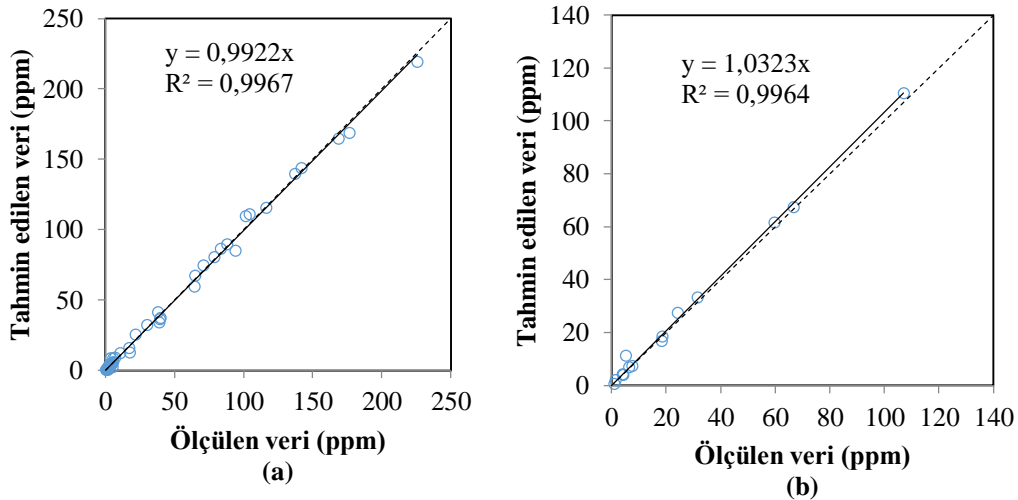
Bu tabloda; E. S. kısaltması eleman sayısını, Ort. kısaltması ise ortalama anlamlarını ifade etmektedir. Elde edilen sonuçlara bakıldığında; homojen dağılım gösteren elemanların yağış için üç küme, debi için beş küme ve sıcaklık için dört küme olduğu görülmektedir. Tablo 7'nin yöntem bölümünde bu kümeler işaretlenmiştir. Çalışmada K-means yöntemi ile oluşturulan ANFIS yöntemi modellerinin yanı sıra rastgele oluşturulan farklı alt kümelerle yapılan ANFIS modelleri de oluşturulmuştur. YSA ve ANFIS sediment modellerinin güvenilirliğinin kontrolünde daha hassas bir karşılaştırma yapabilmek için MLR modeli oluşturularak karşılaştırma yapılmıştır. Tablo 7'de küme

sayısı belirlenen girdi değerleri ile oluşturulan ANFIS modelleri, YSA ve MLR modellerine ait sonuçlar verilmiştir. Tablo 7 incelendiğinde, K-means algoritması ile belirlenen en uygun alt küme sayıları ile oluşturulan ANFIS modelinden, hem rastgele oluşturulan ANFIS modellerine göre hem de YSA ve MLR modellerine göre daha iyi sonuçlar elde edildiği görülmüştür. Şekil 7’de en iyi sonuçların elde edildiği modele ait eğitim ve test aşamalarının R^2 grafikleri verilmiştir. Ayrıca Denklem 10’da geliştirilen MLR modelinden elde edilen en iyi R^2 değerinin denklemi verilmiştir. En başarılı model; test aşamasına ait en büyük R^2 ’ye göre belirlemiştir. Bu istasyonda en başarılı sonuç $R^2=0.9964$ değeri ile alt küme sayısı K-means algoritması ile belirlenen ANFIS modelinden elde edilmiştir (Şekil 8).

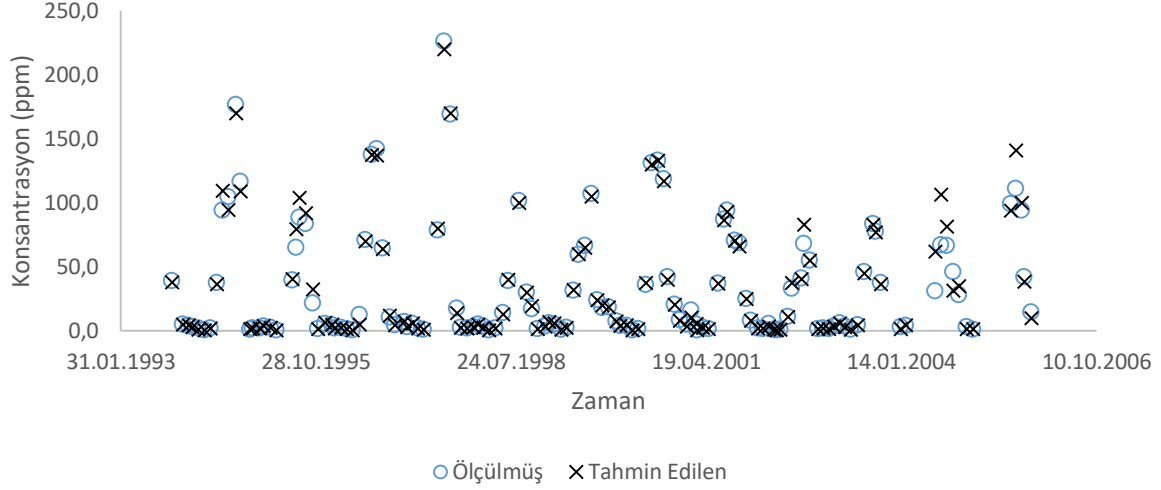
$$X_{2164} = X_p * (-0.02) + X_{p(-1)} * (-0.59) + X_Q * (-0.23) + X_T * 3.97 + (-12.186) \quad (10)$$

Tablo 7. Oluşturulan YSA, ANFIS ve MLR modellerine ait R^2 ve hata değerleri

| Yöntem | Eğitim | | | Test | | |
|--------------------------------|---------------|--------------|--------------|---------------|--------------|--------------|
| | R^2 | MSE | MAPE | R^2 | MSE | MAPE |
| YSA - 1 Nöron | 0.9419 | 4.120 | 3.956 | 0.9302 | 3.660 | 3.508 |
| YSA - 2 Nöron | 0.9944 | 3.040 | 2.949 | 0.9930 | 2.725 | 2.685 |
| YSA - 3 Nöron | 0.8716 | 6.088 | 5.769 | 0.8676 | 5.332 | 5.186 |
| YSA - 4 Nöron | 0.9724 | 3.387 | 3.152 | 0.9646 | 3.336 | 3.242 |
| YSA - 5 Nöron | 0.9961 | 1.169 | 1.126 | 0.9949 | 1.224 | 1.154 |
| YSA - 6 Nöron | 0.9513 | 2.644 | 2.463 | 0.9236 | 2.516 | 2.365 |
| YSA - 7 Nöron | 0.9968 | 1.532 | 1.478 | 0.9922 | 1.491 | 1.395 |
| YSA - 8 Nöron | 0.9979 | 1.022 | 1.015 | 0.9911 | 1.192 | 1.099 |
| YSA - 9 Nöron | 0.9976 | 1.158 | 1.134 | 0.9928 | 1.048 | 1.021 |
| YSA - 10 Nöron | 0.9719 | 2.970 | 2.763 | 0.9641 | 2.518 | 2.356 |
| ANFIS - 3-3-3-3 Alt Küme | 0.8995 | 3.174 | 3.085 | 0.8785 | 4.323 | 4.128 |
| ANFIS -3-3-5-4 Alt Küme | 0.9967 | 1.003 | 0.986 | 0.9964 | 1.019 | 0.993 |
| ANFIS - 4-4-4-4 Alt Küme | 0.8928 | 2.472 | 2.152 | 0.8908 | 4.434 | 4.215 |
| ANFIS - 5-5-5-5 Alt Küme | 0.9279 | 1.510 | 1.486 | 0.9122 | 3.760 | 3.609 |
| ANFIS - 6-6-6-6 Alt Küme | 0.9176 | 1.221 | 1.111 | 0.8871 | 3.082 | 2.863 |
| ANFIS - 7-7-7-7 Alt Küme | 0.9129 | 1.023 | 1.018 | 0.8706 | 2.462 | 2.309 |
| MLR | 0.7284 | 5.151 | 4.963 | 0.6357 | 5.110 | 4.825 |



Şekil 7. Dört girdili ve 3-3-5-4 alt kümeli ANFIS modeline ait saçılım diyagramları (a) eğitim; (b) test



Şekil 8. Dört girdili ve 3-3-5-4 alt kümeli ANFIS modeline ait zaman serisi grafiği

3.4. 2166 No'lu İstasyon için Tahmin Sonuçları

Çalışmada öncelikle gözlem istasyonlarında yapılan ölçümler sonucu elde edilen veriler K-means algoritması kullanılarak kümelendirilmiştir. Farklı iki kümeleme işlemi yapılmıştır:

1. Veriler birbirleriyle kendi içerisinde kümelendirilmiştir.
2. Girdi verilerine karşılık gelen çıktı verilerinin konumları kümelendirilmiştir.

K-means algoritması ile kümelemeye ait sonuçlar Tablo 8'de sunulmuştur.

Tablo 8. K-means algoritması ile yapılan kümelemeye ait bilgiler

| | Küme Sayısı | Küme 1 | | Küme 2 | | Küme 3 | | Küme 4 | | Küme 5 | | Küme 6 | |
|----------|-------------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|
| | | E. S. | Ort. | E. S. | Ort. | E. S. | Ort. | E. S. | Ort. | E. S. | Ort. | E. S. | Ort. |
| Yağış | 2 | 66 | 0.56 | 5 | 16.42 | | | | | | | | |
| | 3 | 61 | 0.13 | 6 | 6.53 | 4 | 18.05 | | | | | | |
| | 4 | 61 | 0.13 | 6 | 6.53 | 3 | 16.1 | 1 | 23.9 | | | | |
| | 5 | 61 | 0.13 | 3 | 4.67 | 3 | 8.4 | 3 | 16.1 | 1 | 23.9 | | |
| | 6 | 54 | 0 | 7 | 1.14 | 3 | 4.67 | 3 | 8.4 | 3 | 16.1 | 1 | 23.9 |
| Debi | 2 | 59 | 37.71 | 12 | 225.1 | | | | | | | | |
| | 3 | 54 | 31.22 | 14 | 159.4 | 3 | 336.2 | | | | | | |
| | 4 | 48 | 25.11 | 12 | 96.49 | 8 | 194.4 | 3 | 336.2 | | | | |
| | 5 | 48 | 25.11 | 11 | 92.70 | 7 | 175.2 | 3 | 247.4 | 2 | 366.7 | | |
| | 6 | 48 | 25.11 | 11 | 92.70 | 7 | 175.2 | 3 | 247.4 | 1 | 339.8 | 1 | 393.6 |
| Sıcaklık | 2 | 38 | 7.26 | 33 | 19.33 | | | | | | | | |
| | 3 | 23 | 5 | 26 | 12.53 | 22 | 21.5 | | | | | | |
| | 4 | 14 | 3.43 | 22 | 9.18 | 19 | 15.84 | 16 | 22.69 | | | | |
| | 5 | 12 | 3 | 18 | 8.11 | 10 | 12.20 | 15 | 16.47 | 16 | 22.69 | | |
| | 6 | 12 | 3 | 14 | 7.57 | 10 | 10.8 | 13 | 14.69 | 10 | 19.20 | 12 | 23.42 |

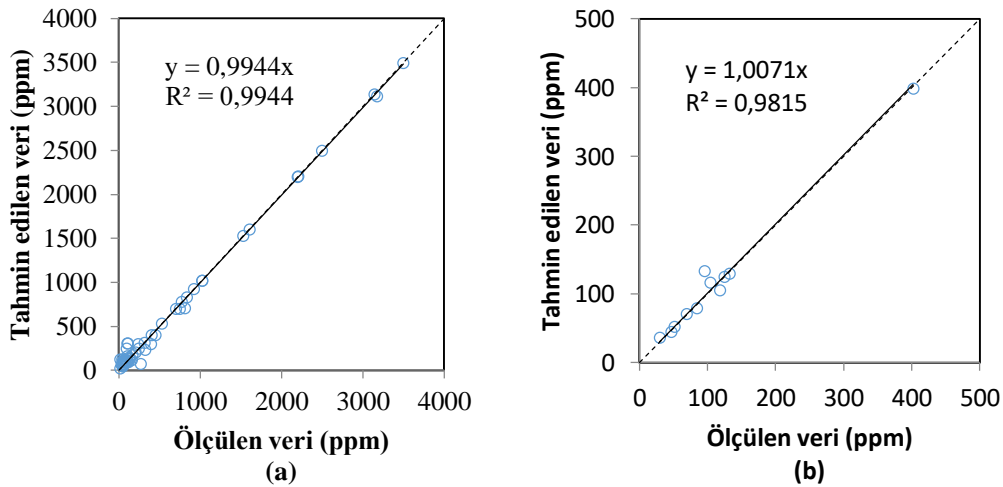
Bu tabloda; E. S. kısaltması eleman sayısını, Ort. kısaltması ise ortalama anlamlarını ifade etmektedir. Elde edilen sonuçlara bakıldığında; homojen dağılım gösteren elemanların yağış için beş küme, debi için dört küme ve sıcaklık için dört küme olduğu görülmektedir. Tablo 9'un yöntem bölümünde bu kümeler işaretlenmiştir. Çalışmada K-means yöntemi ile oluşturulan ANFIS yöntemi modellerinin yanı sıra rastgele oluşturulan farklı alt kümelerle yapılan ANFIS modelleri de oluşturulmuştur. YSA ve ANFIS sediment modellerinin güvenilirliğinin kontrolünde daha hassas bir

karşılaştırma yapabilmek için MLR modeli oluşturularak karşılaştırma yapılmıştır. Tablo 9’da küme sayısı belirlenen girdi değerleri ile oluşturulan ANFIS modelleri, YSA ve MLR modellerine ait sonuçlar verilmiştir. Tablo 9 incelendiğinde, K-means algoritması ile belirlenen en uygun alt küme sayıları ile oluşturulan ANFIS modelinden, hem rastgele oluşturulan ANFIS modellerine göre hem de YSA ve MLR modellerine göre daha iyi sonuçlar elde edildiği görülmüştür. Şekil 9’de en iyi sonuçların elde edildiği modele ait eğitim ve test aşamalarının R^2 grafikleri verilmiştir. Ayrıca Denklem 11’de geliştirilen MLR modelinden elde edilen en iyi R^2 değerinin denklemi verilmiştir. En başarılı model; test aşamasına ait en büyük R^2 ’ye göre belirlemiştir. Bu istasyonda en başarılı sonuç $R^2=0.9815$ değeri ile alt küme sayısı K-means algoritması ile belirlenen ANFIS modelinden elde edilmiştir (Şekil 10).

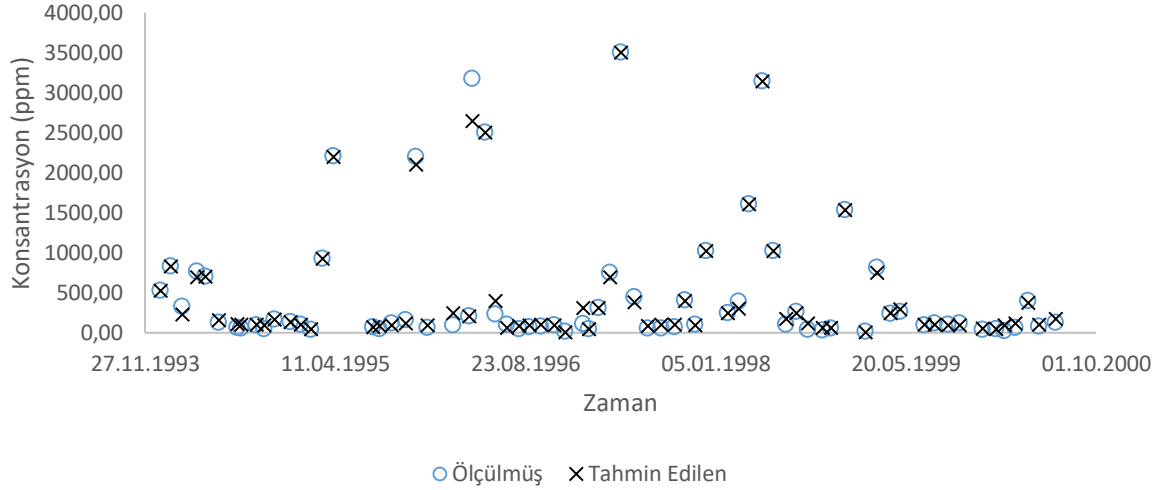
$$X_{2166} = X_p * 15.465 + X_{p(-1)} * 28.889 + X_Q * 7.09 + X_T * 3.039 + (-128.159) \quad (11)$$

Tablo 9. Oluşturulan YSA, ANFIS ve MLR modellerine ait R^2 ve hata değerleri

| Yöntem | Eğitim | | | Test | | |
|---------------------------------|---------------|--------------|--------------|---------------|--------------|--------------|
| | R^2 | MSE | MAPE | R^2 | MSE | MAPE |
| YSA - 1 Nöron | 0.8478 | 4.062 | 3.963 | 0.8041 | 3.123 | 2.963 |
| YSA - 2 Nöron | 0.8482 | 5.829 | 5.652 | 0.7810 | 4.594 | 4.365 |
| YSA - 3 Nöron | 0.8664 | 3.534 | 3.416 | 0.8116 | 4.683 | 4.426 |
| YSA - 4 Nöron | 0.9411 | 3.832 | 3.628 | 0.8665 | 2.676 | 2.596 |
| YSA - 5 Nöron | 0.8917 | 4.451 | 4.109 | 0.7524 | 4.528 | 4.169 |
| YSA - 6 Nöron | 0.8371 | 5.585 | 5.369 | 0.7157 | 3.177 | 3.063 |
| YSA - 7 Nöron | 0.8549 | 4.803 | 4.463 | 0.8203 | 3.538 | 3.267 |
| YSA - 8 Nöron | 0.8345 | 5.077 | 4.960 | 0.7459 | 3.532 | 3.158 |
| YSA - 9 Nöron | 0.9518 | 3.605 | 3.517 | 0.8062 | 2.671 | 2.415 |
| YSA - 10 Nöron | 0.9333 | 2.701 | 2.623 | 0.8718 | 2.629 | 2.335 |
| ANFIS - 3-3-3-3 Alt Küme | 0.9219 | 2.779 | 2.639 | 0.8226 | 3.495 | 3.109 |
| ANFIS - 4-4-4-4 Alt Küme | 0.9527 | 2.661 | 2.461 | 0.7805 | 2.572 | 2.418 |
| ANFIS - 5-5-4-4 Alt Küme | 0.9944 | 2.015 | 1.876 | 0.9815 | 1.875 | 1.863 |
| ANFIS - 5-5-5-5 Alt Küme | 0.9452 | 2.081 | 1.963 | 0.8176 | 3.166 | 2.785 |
| ANFIS - 6-6-6-6 Alt Küme | 0.9902 | 2.178 | 2.065 | 0.8455 | 1.963 | 1.815 |
| ANFIS - 7-7-7-7 Alt Küme | 0.9935 | 2.169 | 1.996 | 0.8333 | 3.616 | 3.418 |
| MLR | 0.8085 | 4.083 | 3.756 | 0.7061 | 4.749 | 4.364 |



Şekil 9. Dört girdili ve 5-5-4-4 alt kümeli ANFIS modeline ait saçılım diyagramları (a) eğitim; (b) test



Şekil 10. Dört girdili ve 5-5-4-4 alt kümeli ANFIS modeline ait zaman serisi grafiği

4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada; YSA, ANFIS ve MLR yöntemlerinin sediment konsantrasyonunun tahmini için performansları araştırılmıştır. Bu amaçla 2102 No'lu Murat Nehri-Palu, 2164 No'lu Göynük Çayı-Çayağzı ve 2166 No'lu Peri Suyu-Logmar AGİ'leri için sediment tahmin modelleri geliştirilmiştir. Bu üç istasyonda Elektrik İşleri Etüt İdaresi (E.İ.E.) tarafından ölçülmüş olan sediment miktarı ile YSA, ANFIS ve MLR modellerinin tahminleri karşılaştırılmıştır. Yağışın gerçekleştiği günlük değeri (P), yağışın gerçekleştiği günün bir gün öncesindeki değeri (P_{-1}), debi ve sıcaklık değerleri girdi değişkeni, çıktı değişkeni olarak ise sediment konsantrasyonu kullanılmıştır.

ANFIS yöntemi modelleri oluşturulurken üyelik fonksiyonu sayısı hem rastgele hem de K-means algoritması ile kümeleme yapıldıktan sonra oluşturulmuştur. Kümeleme yapılırken veriler girdi değerlerine karşılık gelen çıktı değerlerinin konumlarının kümeleneceği şeklinde gerçekleştirilmiştir. Oluşturulan modeller ile elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

1. Sediment tahmini için oluşturulan YSA ve ANFIS modellerinin MLR modeline göre ölçülen değerlere daha makul ölçüde yakınsadığı görülmüştür.
2. Üç istasyonda da regresyon katsayıları (R^2) açısından en başarılı sonuçlar K-means algoritması ile alt küme sayısı belirlenen ANFIS modelinden elde edilmiştir.
3. Ortalama yüzde hatası (OYH) bakımından tüm istasyonlar için YSA ve ANFIS modellerinden birbirlerine yakın performanslar elde edilmiştir.
4. Üç istasyon arasından R^2 ve OYH sonuçları incelendiğinde en başarılı sonuçlar 2164 No'lu istasyondan elde edilmiştir.

İlerleyen çalışmalarda; farklı girdi kombinasyonları kullanılarak sediment tahminine yönelik çalışmalar yapılabilir. Aynı zamanda K-means algoritması kullanılarak kümeleme yapıldığı takdirde modelleme sayısı minimuma düşürülebilir ve daha başarılı sonuçlar elde edilebilir.

Yazarların Katkısı

Çalışmada tüm yazarlar eşit oranda katkı sunmuştur.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Etik Kurallar

Yapılan çalışmada, araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar

- [1] Buyukyildiz M., Kumcu S. 2017. An estimation of the suspended sediment load using adaptive network based fuzzy inference system, support vector machine and artificial neural network models. *Water resources management*, 31 (4): 1343-1359.
- [2] Khan M., Tian F., Hasan F., Chakrapani G. 2019. Artificial neural network simulation for prediction of suspended sediment concentration in the River Ramganga, Ganges Basin, India. *International journal of sediment research*, 34 (2): 95-107.
- [3] Qasem S., Ebtehaj I., Riahi Madavar H. 2017. Optimizing ANFIS for sediment transport in open channels using different evolutionary algorithms. *Journal of Applied Research in Water and Wastewater*, 4 (1): 290-298.
- [4] Riahi-Madvar H., Seifi A. 2018. Uncertainty analysis in bed load transport prediction of gravel bed rivers by ANN and ANFIS. *Arabian Journal of Geosciences*, 11 (21): 688.
- [5] Malik A., Kumar A. 2015. Co-Active Neuro-Fuzzy Inference System (Canfis) And Multiple Linear Regression (Mlr) Based Suspended Sediment Modelling. *Journal Of Indian Water Resources Society*, 35 (2): 43-48.
- [6] Nivesh S., Kumar P. 2017. Modelling river suspended sediment load using artificial neural network and multiple linear regression: Vamsadhara River Basin, India. *IJCS*, 5 (5): 337-344.
- [7] Çeribaşı G., Doğan E. 2016. Aşağı Sakarya Nehrindeki Askı Maddesi Miktarının Esnek Yöntemler ile Tahmini. *Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi*, 6 (2): 351-358.
- [8] Kitsikoudis V., Sidiropoulos E., Hrisanthou V. 2015. Assessment of sediment transport approaches for sand-bed rivers by means of machine learning. *Hydrological sciences journal*, 60 (9): 1566-1586.
- [9] Partovian A., Nourani V., Alami M. 2016. Hybrid denoising-jittering data processing approach to enhance sediment load prediction of muddy rivers. *Journal of Mountain Science*, 13 (12): 2135-2146.
- [10] Firat M., Dikbaş F., Koc A., Güngör M. 2012. Classification of Annual Precipitations and Identification of Homogeneous Regions using K-Means Method. *Teknik Dergi*, 23 (115): 1609-1622.
- [11] Kisi O., Zounemat-Kermani M. 2016. Suspended sediment modeling using neuro-fuzzy embedded fuzzy c-means clustering technique. *Water resources management*, 30 (11): 3979-3994.
- [12] Şen, Z. 2004. Principles of Artificial Neural Networks. Turkish Water Foundation Publication, in Turkish.
- [13] Avcar M., Saplioglu K. 2015. An artificial neural network application for estimation of natural frequencies of beams. *International Journal of Advanced Computer Sciences and Applications*, 6: 94-102.
- [14] Başkan Ö. 2004. İzole Sinyalize Kavşaklardaki Ortalama Taşıtlı Gecikmelerinin Yapay Sinir Ağları İle Modellenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli, 120.
- [15] Jang J. 1993. ANFIS: Adaptive-Network-Based Fuzzy Inference System. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*.
- [16] Seyedian S., Rouhani H. 2016. Assessing ANFIS accuracy in estimation of suspended sediments. *Grđevinar*, 67 (12): 1165-1176.
- [17] Mamdani E., Assilian S. 1975. An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller. *International Journal of Man-Machine Studies*, 7 (1): 1-13.
- [18] Tsukamoto Y. 1979. An approach to fuzzy reasoning method. In: M.M. Gupta, R.K. Ragade, and R. Yager, eds. *Advances in fuzzy set theory and applications*. Amsterdam: Elsevier Science Ltd., 137-149.
- [19] Jang J.-S., Sun C.-T. 1993. Functional equivalence between radial basis function networks and fuzzy inference systems. *IEEE Transactions on Neural Networks*, 4 (1): 156-159.
- [20] MacQueen J. 1967. Some methods for classification and analysis of multivariate observations. In *Proceedings of the fifth Berkeley symposium on mathematical statistics and probability*, 1 (14): 281-297.

- [21] Al Kindhi B., Sardjono T., Purnomo M., Verkerke G. 2019. Hybrid K-means, fuzzy C-means, and hierarchical clustering for DNA hepatitis C virus trend mutation analysis. *Expert Systems with Applications*, 121: 373-381.
- [22] Vriend S., van Gaans P., Middelburg J., De Nijs A. 1988. The application of fuzzy c-means cluster analysis and non-linear mapping to geochemical datasets: examples from Portugal. *Applied Geochemistry*, 3 (2): 213-224.
- [23] Burrough P., van Gaans P., MacMillan R. 2000. High-resolution landform classification using fuzzy k-means. *Fuzzy sets and systems*, 113 (1): 37-52.
- [24] Lucieer V., Lucieer A. 2009. Fuzzy clustering for seafloor classification. *Marine Geology*, 264 (3-4): 230-241.
- [25] Hartigan J., Wong M. 1979. Algorithm AS 136: A k-means clustering algorithm. *Journal of the Royal Statistical Society. Series C (Applied Statistics)*, 28 (1): 100-108.
- [26] Zeraatpisheh M., Ayoubi S., Brungard C., Finke P. 2019. Disaggregating and updating a legacy soil map using DSMART, fuzzy c-means and k-means clustering algorithms in Central Iran. *Geoderma*, 340: 249-258.
- [27] Saplıoğlu K., Kucukerdem T. 2018. Estimation of Missing Streamflow Data Using Anfis Models and Determination of the Number of Datasets for Anfis: The Case of Yeşilırmak River. *Applied Ecology And Environmental Research*, 16 (3): 3583-3594.
- [28] Sun W., Trover B. 2018. Multiple model combination methods for annual maximum water level prediction during river ice breakup. *Hydrological Processes*, 32 (3): 421-435.
- [29] Hair J., Black W., Babin B., Anderson R. 2009. *Multivariate Data Analysis*. – Pearson.

Araştırma Makalesi / Research Article

Çameli Depremi (5.1) Artçı Şoklarının Çift Fark Algoritması İle İncelenmesi

Fahriye AKAR*

*Erzincan Üniversitesi, İnşaat Teknolojileri Bölümü, Erzincan
(ORCID: 0000-0002-8445-0353)*

Öz

Çameli bölgesi Burdur-Fethiye Fay Zonu'nun orta kesiminde bulunan aktif tektonik bölgelerden biridir. 2007-2008 yıllarında mikrodeprem aktivitesinde artış gözlenmiştir. Bu depremlerin en büyüğü 29 Ekim 2007 (ML=5.1) Çameli Depremidir. TÜBİTAK Yer ve Deniz Bilimleri Enstitüsü ile Afet İşleri Genel Müdürlüğü Deprem Araştırma Dairesinin (AFAD) ortaklaşa yürüttükleri 'Deprem Sonrası Acil Gözlem Araştırmaları' projesi kapsamında Çameli Bölgesinde kurulmuş olan 10 adet sismometre ağı ile Çameli Depremi sonrası 700 den fazla deprem kaydedilmiştir. Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi, Deprem Araştırma Enstitüsü Ulusal Deprem İzleme Merkezi (BDTİM) tarafından hazırlanan katalogdan Çameli Bölgesi'nde 2007-2008 yılında meydana gelen 1206 adet deprem verisi derlenmiştir. Hem BDTİM' den hem de TÜBİTAK' tan alınan bu veriler incelenmiştir. Depremlerin doğru bir şekilde yeniden konumlandırılması yapıp çalışma alanı için sismojenik kuşağın derinlikle değişimi tespit edilmiştir. Çameli Depreminin meydana geldiği fayın geometrisi ve odak derinliğinin dağılımı ortaya konulmuştur. Bunun için deprem çifti farkı yöntemi (hypoDD) kullanılmıştır. HypoDD yönteminin uygulanmasıyla her iki veri gurubu içindeki dağınık deprem konumları daha küçük kümelere daralmıştır. Dikey kesitlerden deprem odak derinliklerinin iyileştirilmesiyle sismojenik kabuğun sınırı net bir şekilde görülmüştür. Çameli depreminin artçı şokların 5 ile 15 km derinlikte meydana geldiği yüzeyde ise depremlerin KB-GD ve KD-GB yönünde çizgisellik oluşturduğu gözlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Çameli Depremi, Fay düzlemi çözümü, Artçı şoklar, HypoDD.

Çameli Earthquake (5.1) Investigation of Aftershocks with Double Difference Algorithm

Abstract

Çameli region is one of the active tectonic regions in the central part of the Burdur-Fethiye fault zone. In 2007-2008, micro-earthquake activity increased. The largest of these earthquakes is October 29, 2007 (ML = 5.1) Çameli Earthquake. In cooperation with TUBITAK Institute of Earth and Marine Sciences and Earthquake Research Department (AFAD) of the General Directorate of Disaster Affairs, 10 seismometers were established in Çameli region within the scope of the 'Earthquake Research After Earthquake Survey Project'. More than 700 earthquakes were recorded after Çameli Earthquake. 1206 earthquakes were collected from the catalog prepared by Boğaziçi University Kandilli Observatory, Earthquake Research Institute National Earthquake Monitoring Center (BDTİM) in 2007-2008. These data were taken from both BDTİM and TÜBİTAK. Accurate relocating of the earthquakes and the change of depth of the seismogenic belt to the study area were determined. The geometry of the fault and the distribution of the earthquake focal depth are determined. Double difference method (HypoDD) was used for this. By applying the HypoDD method, the scattered seismic locations were narrowed to smaller clusters for both data groups. The limit of the seismogenic crust was clearly seen by improving the focal depths of the earthquake from the vertical sections. The aftershocks of Çameli earthquake are between 5 and 15 km. This corresponds to the thin brittle portion of the crust. On the surface, it was found that the earthquakes formed a line formation in NW-SE and NE-SW directions.

Keywords: Çameli Earthquake, Fault plane solution, aftershocks, HypoDD.

*Sorumlu yazar: fhrykcmzb@gmail.com

Geliş Tarihi: 30.04.2019, Kabul Tarihi: 23.09.2019

1. Giriş

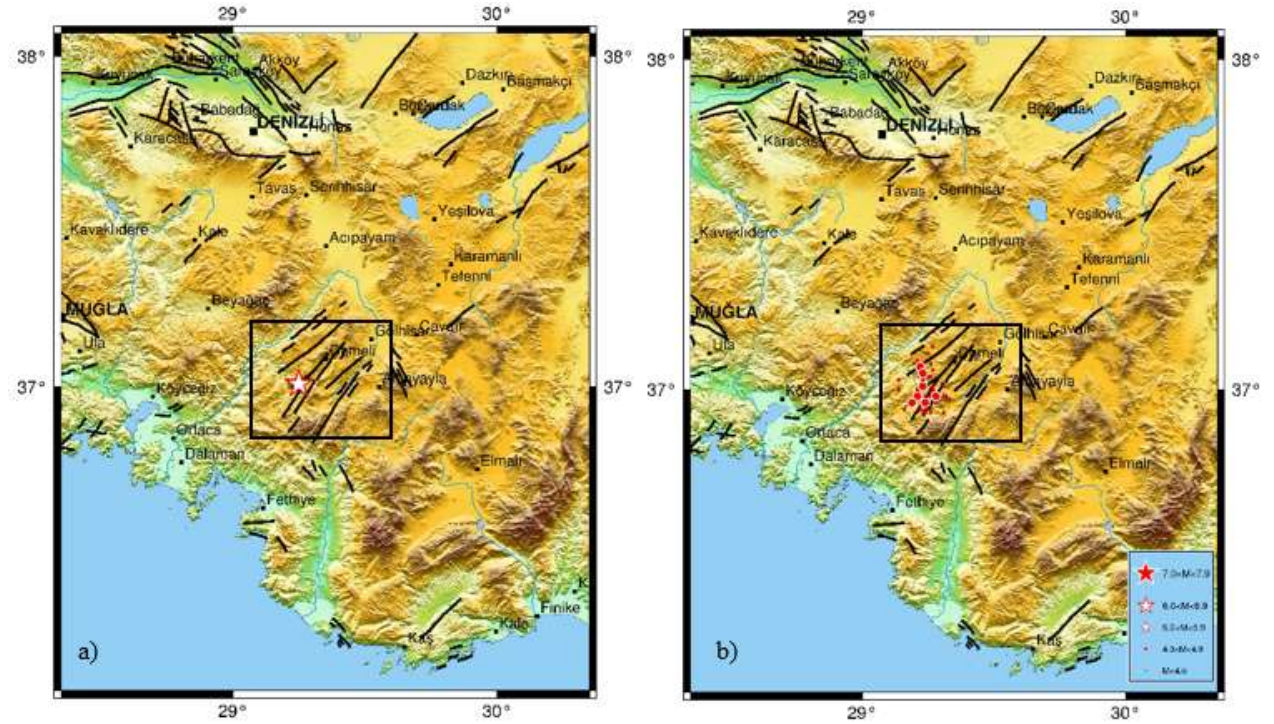
Çalışma alanı güneybatı Anadolu'da, KD-GB doğrultulu Burdur Fethiye Makaslama Zonu (BFMZ) üzerindedir. $36^{\circ}45'$ K ve $37^{\circ}10'$ K enlemleri ile $28^{\circ}55'$ D ve $29^{\circ}30'$ D boylamları arasında yer almaktadır. 29 Ekim 2007 tarihinde meydana gelen Çameli depremi ve artçı şok aktivitesinin analizi için deprem konum parametreleri, deprem çiftleri için gözlenen ve teorik seyahat zamanlarının farkları arasındaki artık zamanların en küçüklenmesi esasına dayanan çift-farklar yöntemi ile yeniden hesaplanmıştır.

Çalışma alanı ofiyolit, mermer ve Likya napları olarak bilinen birimlerin yaygın olarak görüldüğü, doğuda Dirmil Fayı batıda ise Bozdağ Fayı denetiminde KD-GB uzanımında bir graben olarak açılmaya başlamıştır [1-6]. Çameli Havzası, içinde Miyosen yaşlı flüviyal ve gösel sedimanlar ve Pliyo-Kuvaterner yaşlı birimlerin yer aldığı, KD-GB doğrultulu Burdur Fethiye Makaslama Zonu (BFMZ)'nin [7] bir parçası olarak da tanımlanmaktadır.

Çameli Havzası'nın Geç Miyosen' de Kıbrıs yayı etkisiyle KB-GD gerildiğini ve daha sonra Helen Yayı'nın etkisi ile KD-GB gerilme sistemine geçmiştir [6]. Bölgedeki KKD-GGB yönlü gerilme Gediz Grabeni'ni oluşturan sistemle ilişkilidir [6].

Güneybatı Anadolu'nun yapısal özellikleri ve tektonik evrimi ile ilgili tartışmalar devam etmektedir. Çameli Havzası ve çevresinde gözlemlenen en yaygın fay türleri büyük (km) ve küçük (m) ölçekli normal ve sol yanal oblik normal faylardır. Büyük ölçekli faylara ait fay düzlemleri incelendiğinde genellikle KD-GB doğrultulu oldukları görülmektedir [7].

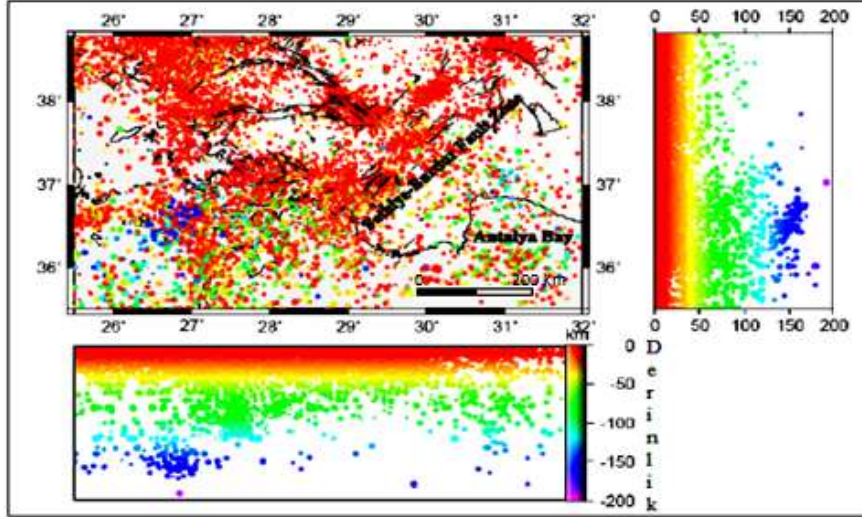
Çameli depremi ($M=5.1$) 29 Ekim 2007 tarihinde Denizli iline bağlı Çameli ilçesinin güney batısında gerçekleşmiştir (Şekil 1). Deprem Denizli ve Muğla illerinin birçok köyünde hissedilmiştir. 3 ev yıkılmış, yaklaşık 350 ev hasar görmüştür. Çameli depremi AFAD raporuna göre deprem merkez üssüne 2.67 km uzaklıktaki en yakın istasyon olan (CAM) ivmeölçer cihazında kaydedilen, ivme kayıtları üzerinden hesaplanan etkin süre K-G bileşeni için pik ivme değeri $56.58 \text{ (cm/s}^2\text{)}$ ve etkin süre $t_{\text{eff}}=10.41 \text{ sn}$, D-B bileşen için pik ivme değeri $42.81 \text{ (cm/s}^2\text{)}$ ve etkin süre $t_{\text{eff}}=15.23 \text{ sn}$ 'dir. Ana şoktan bir gün önce 3.0 büyüklüğünde bir öncü deprem meydana gelmiştir. 5.1 büyüklüğündeki depremin ardından 1 gün içinde büyüklükleri 3.4, 4.0 ve 3.1 olan artçı depremler gözlenmiştir.



Şekil 1. a) 29 Ekim 2007 Çameli Depremi (5.1) ve b) 29 Ekim 2007-31 Aralık 2007 tarihleri arasında meydana gelen depremler.

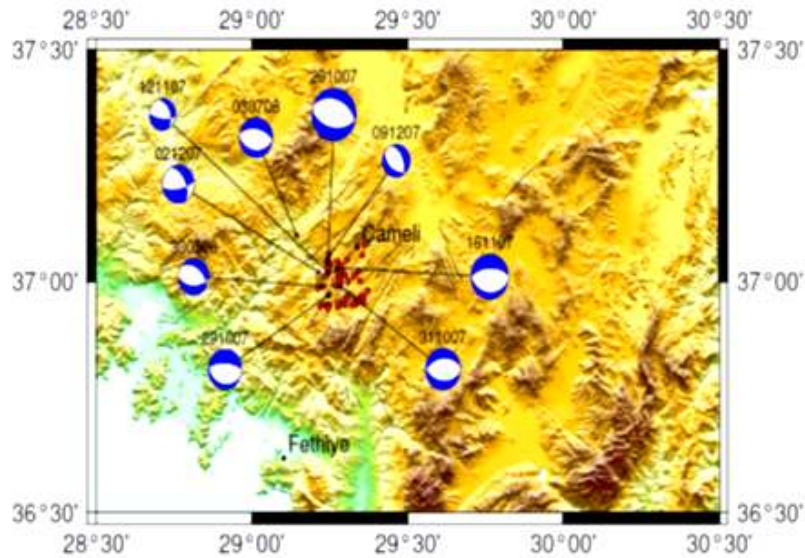
Çameli depremi Gölhisar-Çameli Fay zonu ile ilişkili olup, bu zon Gölhisar güneyinde, Kelekçi-Altınyayla arasında uzanan 40 km uzunlukta ve 30 km genişlikte birbirine paralel KD-GB genel gidişli

üç faydan oluşmaktadır [8]. Çameli depremi, Çameli havzasının güneybatısında meydana gelmiştir. Çameli civarında daha önce 3 Mart 1914 tarihinde 7.1 büyüklüğünde Burdur depremi ve 25 Nisan 1957 de büyüklüğü 7.1 olan Fethiye (Muğla) depremi gibi ağır hasara neden olan ve çok geniş bir alanda hissedilen [9] büyük depremler meydana gelmiştir [10]. Bu depremlerle birlikte 1900 yılından 2000 yılına kadar 10 adet hasar verici deprem meydana gelmiştir [10]. Çalışma alanı Ege-Anadolu bloğunun batıya doğru hareketinin yanı sıra, Girit ve Kıbrıs yitim zonlarıyla ilişkili [11] olduğundan geniş bir alana yayılmış değişik büyüklüklerde bir çok deprem meydana gelmektedir. Şekil 2’de Kandilli Rasathanesi ve Deprem Arastırma Enstitüsü deprem katalogunda yer alan ve 1900 yılından 2009 yılına kadar meydana gelmiş depremlerin dağılımı görülmektedir. Bölgede KD-GB, KB-GD, D-B ve K-G yönelimli farklı doğrultularda ve birbirini kesen normal faylar yer almaktadır [12].



Şekil 2. Güneybatı Anadolu ve Helen yayında 1900-2008 yılları arasında meydana gelen deprem etkinliği [13]

Över vd. [6] Çameli Havzası’ndaki gerilme durumunu belirlemek için 3 Ekim 2007 ve 26 Ekim 2008 tarihleri arasında 3.8-5.3 büyüklüğündeki depremlerin odak mekanizması çözümlerini analiz etmişlerdir (Tablo 1). Mekanizmaların kayma vektörleri oblik atımlı normal faylara karşılık gelmektedir (Şekil 3).



Şekil 3. 29 Ekim 2007 Çameli depremi artçı şokların konumları ve Över vd. [6]’de belirlenen odak mekanizması çözümleri (siyah rakamlar deprem oluş tarihlerini temsil eder)

Tablo 1. Çameli Havzasında meydana gelen depremlerin odak mekanizması çözümü parametreleri [6]

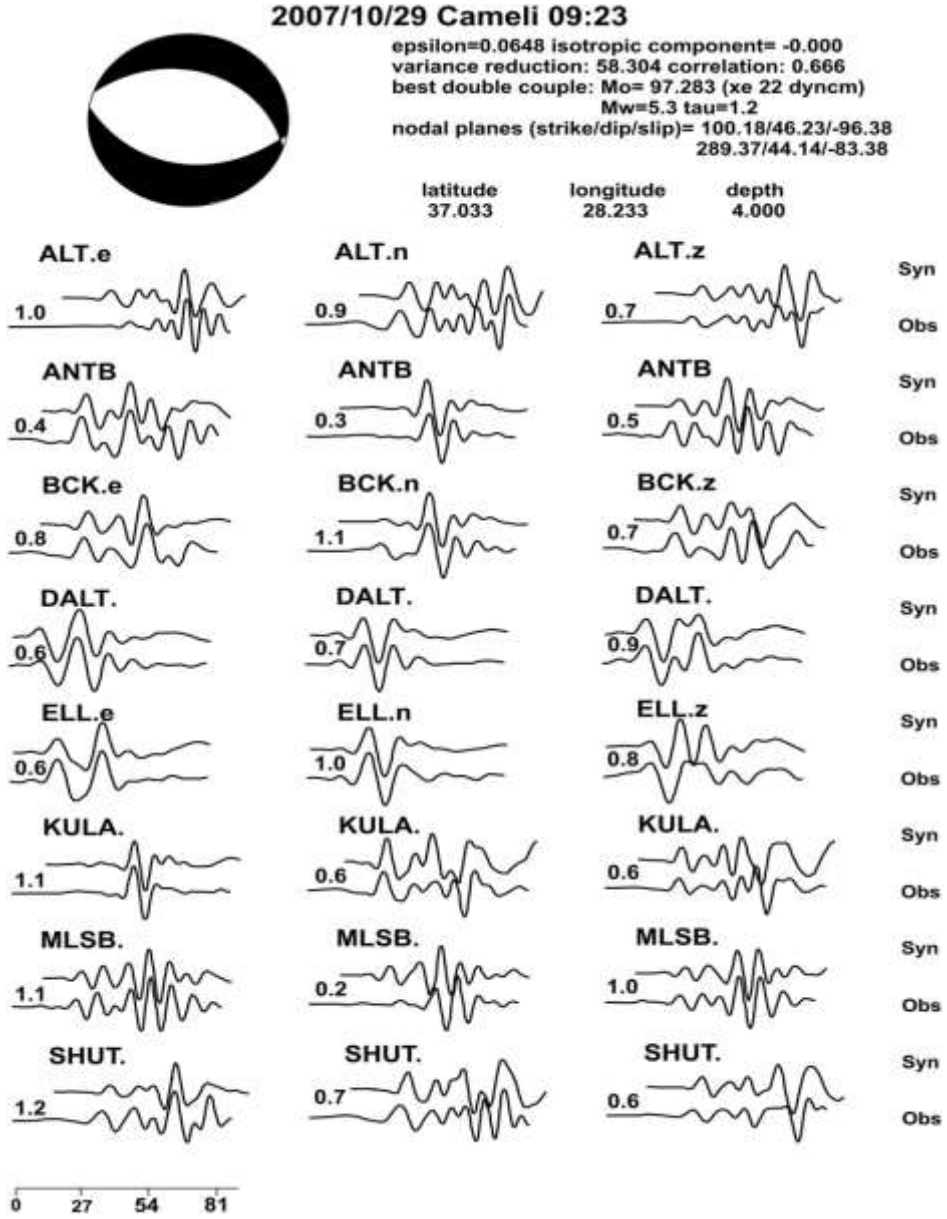
| Gün. Ay. Yıl | Yerel saat UTC | Enlem (N) (Derece, dakika, saniye) | Boylam (E) (Derece, dakika, saniye) | Derinlik h (km) | Büyük lük (M_w) | 1. Düzlem doğrultu°/eğim°/kayma° | 2.Düzlem doğrultu°/eğim°/kayma° |
|--------------|----------------|------------------------------------|-------------------------------------|-----------------|---------------------|----------------------------------|---------------------------------|
| 29.10.2007 | 09.23 | 37° 01' 59" | 29° 13' 58" | 5 | 5.3 | 100/48/-96 | 289/44/-83 |
| 29.10.2007 | 19.41 | 36° 58' 02" | 29° 13' 55" | 5 | 4.6 | 106/26/-78 | 273/65/-96 |
| 31.10.2007 | 15.02 | 36° 59' 16" | 29° 16' 32" | 5 | 4.7 | 96/44/-81 | 264/47/-99 |
| 12.11.2007 | 15.02 | 37° 00' 50" | 29° 13' 50" | 6 | 4.1 | 96/66/-126 | 337/42/-37 |
| 16.11.2007 | 09.08 | 37° 01' 26" | 29° 15' 42" | 6 | 4.9 | 96/31/-83 | 268/59/-94 |
| 02.12.2007 | 20.21 | 37° 01' 02" | 29° 12' 00" | 10 | 4.5 | 80/68/-139 | 332/53/-28 |
| 09.12.2007 | 20.29 | 37° 02' 40" | 29° 13' 48" | 8 | 4.2 | 336/50/-70 | 126/44/-112 |
| 30.05.2008 | 05.34 | 36° 58' 54" | 29° 12' 48" | 6 | 4.4 | 306/47/-64 | 90/49/-115 |
| 03.07.2008 | 17.37 | 37° 05' 40" | 29° 07' 49" | 5 | 4.6 | 280/54/-87 | 95/36/-9 |

Son zamanlarda meydana gelen Çameli deprem etkinliğine bakıldığında, BFMZ' nun Güneybatı ucunda deprem kümelenmesinin yer aldığı söylenebilir. 2007 yılının Ekim ayında $M_L=5.1$ büyüklüğünde büyük deprem meydana gelmiş olup bu depremi yoğun artçı deprem aktiviteleri takip etmiştir. Bunun dışında bölgede $M>3$ olan çok sayıda deprem meydana gelmiştir. Bu çalışmada, 29 Ekim 2007 Çameli depreminin detaylı artçı analizleri sunulmuştur. Deprem kayıt istasyonu konumları, faz okuma hataları, yeraltı yapısı, depremlerin yerinin doğru bir şekilde belirlenmesinde etkilidir. Bu nedenle 29 Ekim Çameli depremi ve sonrası deprem yoğunluğunun analizinde mutlak odak lokasyonunu iyileştiren göreceli deprem yeri yöntemlerinden biri olan çift fark algoritması (hypoDD) [14] kullanılmıştır. Bu algoritma bir istasyonda gözlemlenen iki yakın olayın hareket sürelerindeki farkın, yüksek doğrulukta olaylar arasındaki mekansal sapmaya bağlanabileceğini varsaymaktadır.

2. Materyal ve Metot

Çameli Bölgesinde 2007 ve 2008 yıllarında yoğun deprem aktivitesi gözlenmiştir. Bu depremlerin arasında en büyüğü 29 Ekim 2007 ($M_L=5.1$) tarihinde meydana gelen Çameli depremidir.

Şekil 4'de dalga şekli modellenmesi [15] ile elde edilen Çameli depreminin kaynak özellikleri ve mekanizma çözümü, gözlemsel ve yapay sismogramların karşılaştırması görülmektedir. En iyi uyumun sağlandığı odak derinliği 4 km olarak tespit edilmiştir. Çameli depreminin fay düzleminin 1. düzlem için doğrultu, eğim ve atım yönü sırasıyla 100, 46, -96 ikinci düzlem için 289, 44, -83 derece olarak bulunmuş ve sismik moment değeri $M_0=97.283$ ($\times 22$ dyncm) olarak hesaplanmıştır [6]. Çameli depremi fay çözümü dikkate alındığında KB-GD doğrultulu sol yanal oblik normal faylanma olduğu görülmektedir. Ana şok ve artçı şok aktivitesi benzer faylanma mekanizması sergilemektedir (Şekil 4).

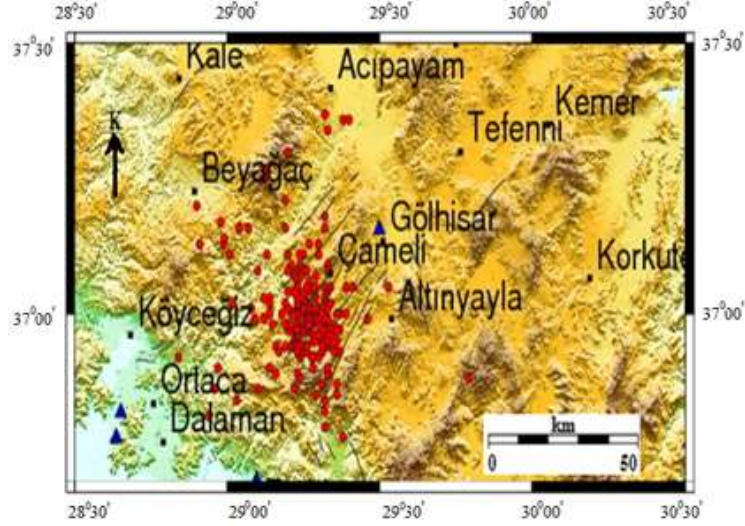


Şekil 4. 29 Ekim 2007 Çameli Depreminin sekiz geniş bant istasyonu için, yakın alan dalga formu kayıtlarını kullanan moment tensörünün ters çözümü sonucu. Odak mekanizması sol üst kısımda gösterilmiş ve kaynak parametreleri odak küresinin sağında gösterilmiştir. Her bir istasyondaki sentetik (üst) ve gözlenen (alt) sismogramlar, Doğu-Batı bileşeni (e), Kuzey-Güney bileşeni (n) ve dikey bileşen (z) için, iki sismogram arasında gözlenen ve sentetik genlik oranı ile gösterilmiştir [6].

Hypocenter programı ile konum parametreleri hesaplanırken hatalar minimize edilmeye çalışılsa da ağ geometrisi faz okuma hataları ve kabuk yapısı belirsizlikleri nedeniyle hatalar istenenden büyük olur. Burada hata miktarları yatayda ortalama 3.5 km, düşeyde ise ortalama 7 km'dir. Bu çalışmada çift fark algoritması (hypoDD) kullanılarak lokasyon parametrelerindeki hatalar minimize edilip, ağ geometrisi ve faz okuma kalitesi artırılmıştır.

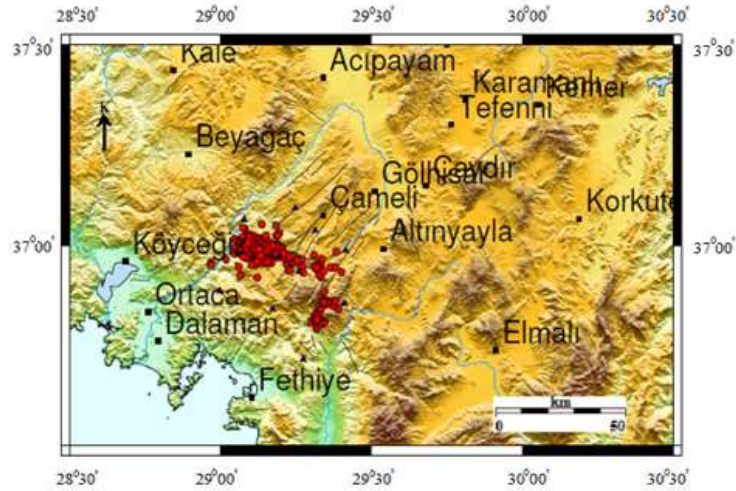
Ters çözüme giriş verisi olarak depremlerin mutlak konum parametreleri ve deprem çiftleri arasındaki P ve S dalgası seyahat zamanları farkı kullanılmıştır.

BDTİM tarafından hazırlanan katalogdan 2007-2008 yılında meydana gelen Çameli merkez olmak üzere 50 km yarıçaplı alan içerisinde kalan 1206 deprem seçilmiştir. Depremler zSacWin [16] Programı kullanılarak BDTİM tarafından çözümlenmiştir. Bu depremlerin ilksel konumları Şekil 5'de haritalanmıştır.



Şekil 5. BDTİM'den alınan verilerinden elde edilen Çameli Bölgesi deprem dağılımı (hypoDD öncesi), mavi üçgenler istasyon konumlarını, kırmızı daireler deprem konumlarını temsil etmektedir.

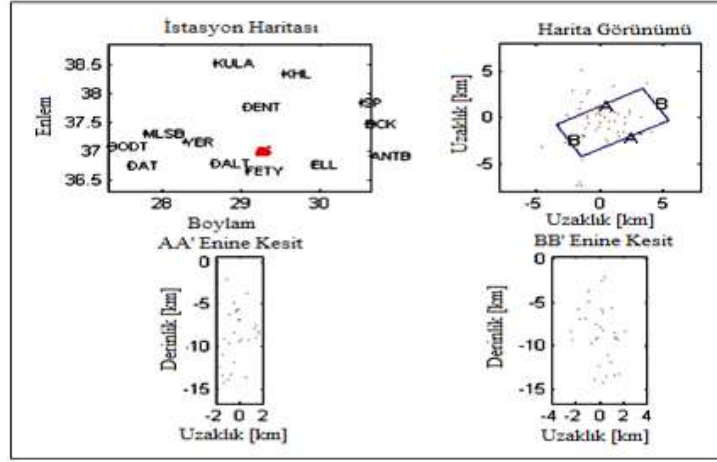
TÜBİTAK ve AFAD'ın ortaklaşa yürüttükleri Deprem Sonrası Acil Gözlem Araştırmaları projesi kapsamında Çameli depremi sonrası devam eden deprem aktivitesini yaklaşık bir aylık süre boyunca izlemek için 4 Kasım 2008 tarihinde 10 adet deprem istasyonu kurulmuştur. İstasyonlar yapay kaynaklı sismik gürültünün çok düşük olduğu alanlara yerleştirilmiştir. Bu istasyonlarda Çameli bölgesine ait 754 adet deprem kaydedilmiştir. Kayıtlardaki depremlerin konumu, Hypocenter algoritması [17] ile TÜBİTAK tarafından belirlenmiştir. Her bir depreme ait odak koordinatlarını, oluş zamanlarını ve her bir istasyondaki varış zamanlarını içeren bir veri seti hazırlanmıştır. Bu veri setindeki olayların çok iyi konumlandırılabilir özellikle olması gerekmektedir. Kaliteli bir veri seti ile doğru sonuca ulaşılabilir ve elde edilen sonuçları güvenilir kılar. Bu nedenle veri seçimine önem verilmiştir. Seçilen depremlerin harita üzerindeki odak dağılımı Şekil 6' da gösterilmektedir.



Şekil 6. Çameli Bölgesinde TÜBİTAK tarafından kaydedilen depremlerin dağılımı, artı işareti çalışma alanının orta noktasını, üçgenler istasyonları temsil etmektedir.

Depremlerin konum hatalarını azaltmak böylece daha güvenilir fay geometrisi bilgisi elde edebilmek için göreceli konum (hypoDD) yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem ile birbirine çok yakın deprem çiftleri için gözlenen ve teorik seyahat zamanı farklarının en küçüklenmesi ile depremlerin konumları iyileştirilmektedir. Çift-fark algoritmasında ilk adım, odaktan sismik istasyona olan seyahat zamanını belirlemektir.

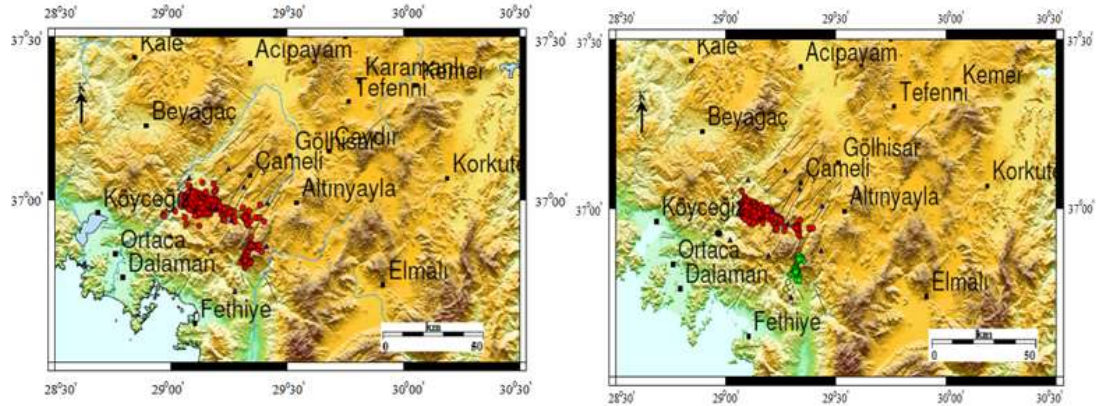
$$T_k^i = \tau^i + \int_i^k u ds \quad (1)$$



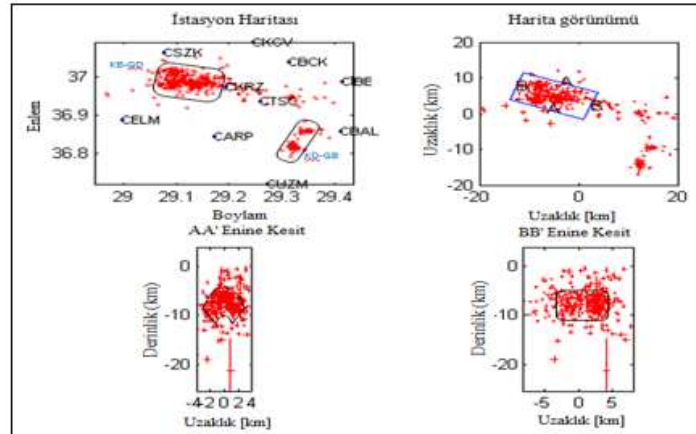
Şekil 8. BDTİM' den alınan deprem verilerinin göreceli lokasyon yöntemi sonucu elde edilen derinlik kesitleri.

Depremselliğin derinlikle değişiminde (Şekil 8) deprem dağılımının sığ derinliklerle sınırlandırıldığı görülmektedir. Fakat bu çalışmada çok küçük büyüklüklerdeki depremler de incelendiğinden deprem dağılımının 14 km derinliğe kadar indiği görülmektedir.

TÜBİTAK verilerinin hypoDD analizi ile yaklaşık 686 depremin konumu iyileştirilmiştir (Şekil 9). Yatay hatalar (E_x ve E_y) sırasıyla 100-800 m ve 150-900 m arasında ve düşey hata ise 100-900 m arasında değişmektedir. Depremlerin konumları çift fark yöntemi ile daha belirgin hale gelmiştir. İyileştirilen deprem derinlikleri sismojenik kabuk kalınlığını belirlemede yardımcı olmuştur (Şekil 10).

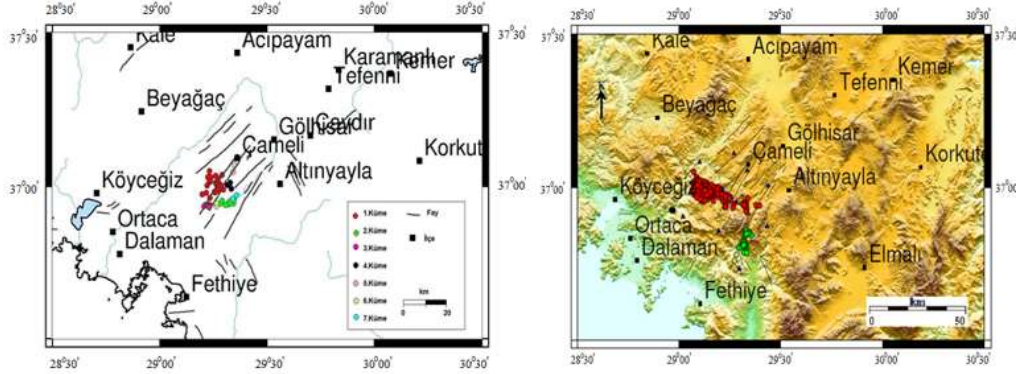


Şekil 9. TÜBİTAK' tan alınan depremlerin (solda) göreceli lokasyon yöntemi sonucu elde edilen konumları (sağda), mavi üçgenler istasyon konumlarını, kırmızı daireler 1. büyük kümeyi, yeşil ve siyah daireler ise sırasıyla 2. ve 3. küçük kümeleri temsil eder.



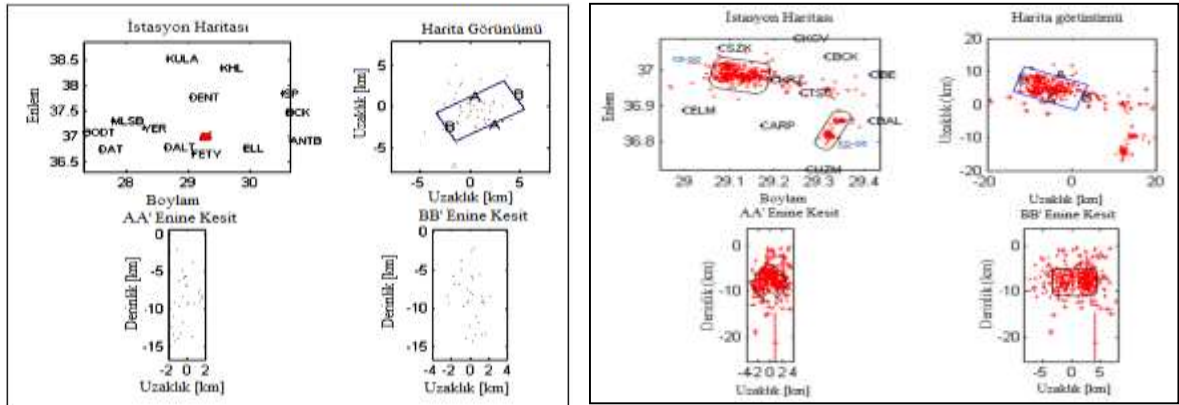
Şekil 10. TÜBİTAK' tan alınan deprem verilerinin hypoDD sonrası elde edilen derinlik kesitleri

TÜBİTAK ve BDTİM sonuçları (Şekil 11) karşılaştırıldığında birbirine dik iki yönelim görülür. TÜBİTAK verilerinde kırmızı renkli büyük küme KB- GD yönelimli ve depremler bölgedeki fayların uç kısmında gözlenmektedir. BDTİM verilerinde ise nispeten büyük 3 kümenin yönelimi KD-GB olup depremler fay dizileri üzerindedir.



Şekil 11. BDTİM' den alınan depremlerin hypoDD sonrası elde edilen konumları (solda) ve TÜBİTAK'tan alınan depremlerin hypoDD sonrası elde edilen konumları (sağda)

TÜBİTAK ve BDTİM sonuçlarında derinlik kesitleri incelendiğinde; BDTİM deprem dağılımı 14 km' ye kadar iken TÜBİTAK deprem dağılımı 16 km'ye kadar inmiştir. Şekil 10'da büyük kümenin enine ve boyuna derinlik kesitleri incelendiğinde deprenselliğin yarı oval dar bir alanda meydana geldiği görülmektedir.



Şekil 12. BDTİM (solda) ve TÜBİTAK'tan (sağda) alınan depremlerin göreceli lokasyon yöntemi sonucu edilen derinlik kesitleri

4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada 29 Ekim 2007 tarihinde meydana gelen Çameli Depremi ve artçı şokları çift fark algoritması ile analiz edilmiştir. Çalışmada BDTİM' den alınan 2007-2008 yılında meydana gelen Çameli merkez olmak üzere 50 km yarıçaplı alana isabet eden 1206 adet deprem ve TÜBİTAK' dan alınan 4 Kasım 2008 – 5 Aralık 2008 tarihleri arasında meydana gelen Çameli bölgesine ait 754 adet deprem kullanılmıştır. BDTİM tarafından yerleştirilen sismometrelerin çalışma alanına 100 km' den uzak olması nedeniyle verilerin çift-fark yöntemi ile yeniden konumlandırılması sonucu yatay ve düşey düzlemde hatalar yüksek çıkmış ve veri sayısı azalmıştır. Yalnızca 50 adet depremin tekrar konumlandırılması yapılmıştır. HypoDD sonrası elde edilen kümeler daha dar bir alanda sıkışmış ve hizalanmıştır. Depremler 5 ile 15 km arasında yoğunlaşmıştır.

Şekil 9'da TÜBİTAK' tan alınan deprem verilerine çift-fark yöntemi uygulanmadan önceki ilksel konumları ve çift-fark yöntemi ile elde edilen sonuçlara göre depremlerin dağılımı gösterilmektedir. HypoDD sonrası deprem dağılımı büyük bir kümelenme etrafında az sayıda deprem bulunan küçük kümelerden oluşmaktadır. KB-GD' doğrultusunda uzanan deprensellik (büyük küme) incelendiğinde ilksel konumlara göre daha net bir görüntü ortaya çıkmıştır. Çameli depreminin fay

çözümü dikkate alındığında KB-GD doğrultulu sol yanal oblik normal faylanma olduğu görülmektedir. İyileştirilen deprem odak yerlerinin moment tensör çözümleri ile uyumlu olması dikkat çekicidir. Depremlerin bu dağılımı Över vd. [6]'nin önerdiği, Çameli Bölgesi'nin Kıbrıs Yayı boyunca olan dalma batma zonunun neden olduğu KB-GD yönlü açılıma maruz kaldığı hipotezi ile uyumludur. Bu büyük kümedeki depremler çizgiselleşmeye benzer dar bir alana yayılmışlardır. Bu küme içindeki depremler yaklaşık 2 km ve 15 km derinlikleri arasında yoğunlaşmaktadır (Şekil 10). Çameli bölgesi için sismojenik kabuğun alt sınırı yaklaşık 15 km olduğu düşünülebilir.

Teşekkür

Deprem verileri için TÜBİTAK ve BDTİM' e çok teşekkür ederim. Prof. Dr. Ali Pınar, Prof. Dr. Asım Oğuz Özel, Dr. Doğan Kalafat, Doç. Dr. Onur Tan ve Doç. Dr. Özcan Bektaş'a yapıcı eleştirileri ve önerileri için çok teşekkür ederim. Haritalar, Genel Haritalama Araçları (GMT) ile çizildi [21].

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] Gürer A., Bayrak M., Gürer Ö.F. 2004. Magnetotelluric images of the crust and mantle in the southwestern Taurides, Turkey. *Tectonophysics*, 391:109-120.
- [2] Alçıçek M.C., Kazancı N., Özkul M. Sen S. 2004. Çameli (Denizli) Neojen havzasının tortul dolgusu ve jeolojik evrimi. *Maden Tetkik ve Arama Dergisi*, 128: 99-123.
- [3] Alçıçek M.C., Kazancı N., Özkul M. 2005. Multiple rifting pulses and sedimentation pattern in the Çameli Basin, southwestern Anatolia, Turkey. *Sedimentary Geology*, 173: 409-431.
- [4] Alçıçek M.C., Ten Veen J.H.T., Özkul M. 2006. Neotectonic development of the Çameli Basin, southwestern Anatolia, Turkey. In: Robertson, A.H.F., Mountrakis, D. (Eds.), *Tectonic Development of the Eastern Mediterranean Region*, Geological Society, London, Special Publications, 260: 591-611.
- [5] Alçıçek M.C. 2001. Çameli Havzası'nın Sedimantolojik İncelemesi (Geç Miyosen-Geç Pliyosen, Denizli, GB Anadolu). Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 101s, Ankara.
- [6] Över S., Özden S., Pınar A., Yılmaz H., Ünlügenç U.C., Kamacı Z. 2010. Late Cenozoic Stress Field in the Cameli Basin, SW Turkey. *Tectonophysics*, 492 (4): 60-72.
- [7] Elitez İ., Yaltırak C. 2014. Çameli Havzası'nın Miyosen-Kuvaterner Jeodinamigi, Burdur-Fethiye Makaslama Zonu (GB Türkiye). *Geological Bulletin of Turkey*, 57: 3.
- [8] Şaroğlu F., Emre Ö., Boray A. 1987 Türkiye'nin diri fayları ve depremsellikleri. *MTA Derleme*, 8174: 394.
- [9] Eyidoğan H., Utku Z., Güçlü U., Değirmenci E. 1991. Türkiye Büyük Depremleri Makro-Sismik Rehberi (1900-1988). İ.T.Ü. Maden Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, 198.
- [10] Demirtaş R., Erkmen C., Yaman M. 2000. 12 Kasım 1999 Düzce Depremi: Yüzey Kırık Geometrisi, Atım Miktarı Dağılımı ve Gelecek Deprem Potansiyeli, Deprem Araştırma Dairesi. Afet İşleri Genel Müdürlüğü, 61-99, Ankara.
- [11] Dewey J.F., Şengör A.M.C. 1979. Aegean and surrounding regions complex multiplate and continuum tectonics in a convergent zone. *Geological Society America Bulletin*, 90 (383): 84-92.

- [12] Koçyiğit A., Ünay E., Saraç G. 2002. Episodic graben formation and extensional neotectonic regime in West Central Anatolia and the Isparta Angle: a case study in the Akşehir-Afyon Graben, Turkey. Geological Society, London, Special Publications, 173: 405-421.
- [13] Canbay E. 2009. Fethiye –Burdur Fay Kuşağının Güneybatı Uzantısının Kinematik Özellikleri. İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans tezi, 63 s, İstanbul.
- [14] Waldhauser F., Ellsworth W.L. 2000. A double-difference earthquake location algorithm: method and application to the northern Hayward fault, California. Bulletin of the Seismological Society of America, 90: 1353-1368.
- [15] Kuge K. 2003. Source modeling using strong-motion waveforms: toward automated determination of earthquake fault planes and moment-release distributions. Bulletin of Seismological Society of America, 93: 639-654.
- [16] Yılmaz M. 2003. Online determination of earthquake source parameters using a new software zSacWin. MSc Thesis, University of Istanbul, Istanbul.
- [17] Lienert B.R.E., Havskov J. 1995. A computer program for locating earthquakes both locally and globally. Seismological Research Letters, 66: 26-36.
- [18] Paige C.C., Saunders M.A. 1982. LSQR: Sparse linear equations and least squares problems. ACM Transactions on Mathematical Software, 8 (2): 195–209.
- [19] Akyol N., Zhu L., Mitchell B.J., Sözbilir H., Kekovalı K. 2006. Crustal structure and local seismicity in western Anatolia. Geophysical Journal International, 166: 1259-1269.
- [20] Tan O., Tapırdamaz M.C., Ergintav S., Inan S. 2010. Bala (Ankara) earthquakes: Implications for shallow crustal deformation in Central Anatolian Section of the Anatolian Platelet (Turkey). Turkish Journal of Earth Sciences, 19: 449-471.
- [21] Wessel P., Smith W.H.F. 1998. New, improved version of the Generic Mapping Tools released, Eos Trans. AGU, 79 (47): 579.

Araştırma Makalesi / Research Article

Derin Evrişimsel Sinir Ağı Kullanılarak Kayısı Hastalıklarının Sınıflandırılması

Muammer TÜRKÖĞLU^{1*}, Kazım HANBAY¹, Işıl SARAÇ SİVRİKAYA², Davut HANBAY³

¹Bingöl Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Bingöl

²Bingöl Üniversitesi, Bitki Koruma Bölümü, Bingöl

³İnönü Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Malatya

(ORCID: 0000-0002-2377-4979) (ORCID: 0000-0003-1374-1417)

(ORCID: 0000-0002-5991-2173) (ORCID: 0000-0003-2271-7865)

Öz

Bitki hastalıklarının hızlı ve doğru teşhisi için makine öğrenmesine dayalı yaklaşımlar kullanılmaktadır. Son zamanlarda derin öğrenme yaklaşımı bitki türleri ve hastalıkları tanıma ile ilgili problemlerde de kullanılmaya başlanmıştır. Bu çalışmada kayısı hastalıklarının tespiti için Derin Evrişimsel Sinir Ağlarına (DESA) dayalı bir model önerilmiştir. Bu model Evrişim, Relu, Normalizasyon, Havuzlama ve tam bağlı katmanlardan oluşmaktadır. Önerilen model için evrişim katmanlarında kullanılan filtrelerin pencere boyutu 3×3, 5×5, 7×7, 9×9 ve 11×11 olmak üzere beş farklı filtre kullanılarak deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Önerilen çalışmayı test etmek için Bingöl ve İnönü Üniversitelerinin Ziraat Fakültelerinin çalışma alanlarından elde edilen kayısı hastalıklarından oluşan görüntüler kaydedilip kapsamlı bir veri tabanı inşa edilmiştir. Geliştirilen derin ağ modeli bu veri tabanı üzerinde test edilmiştir. Gerçekleştirilen deneysel sonuçlara göre, kayısı hastalıklarının tespiti için önerilen derin ağ modelinin diğer geleneksel görüntü tanımlayıcılarına göre daha yüksek sınıflandırma başarısına sahip olduğu gözlemlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Bitki Hastalık Tespiti, Derin Öğrenme, Kayısı Hastalık Görüntüleri, Evrişimsel Sinir Ağları, Geleneksel görüntü tanımlayıcıları.

Classification of Apricot Diseases by using Deep Convolution Neural Network

Abstract

Machine learning approaches are used for fast and accurate diagnosis of plant diseases. Recently, deep learning approach has been used in plant species and disease recognition problems. In this study, a model based on Deep Convolutional Neural Networks (DCNN) was proposed for the detection of apricot diseases. The developed model consists of Convolution, Relu, Normalization, Pooling and fully connected layers. For the proposed model, experimental studies were carried out using five different filter as 3×3, 5×5, 7×7, 9×9 and 11×11 window size of the filters used in convolution layers. In order to test the proposed study, a comprehensive database was constructed using the images of apricot diseases obtained from the study areas of the Faculty of Agriculture of the Bingöl and İnönü Universities. The developed deep network model has been tested on this database. According to the experimental results carried out, it was observed that the proposed deep network model for the detection of apricot diseases had higher classification success than other traditional image descriptors.

Keywords: Plant Disease Detection, Deep Learning, Apricot Disease Images, Convolutional Neural Networks, Conventional Image Identifiers.

1. Giriş

Bitki hastalıklarının erken teşhisi tarımsal üretim için ekonomik kayıpların önlenmesinde önemli bir etkidir. Çünkü bu hastalıklar her yıl büyük oranda verim düşüklüğüne neden olmaktadır. Günümüzde

*Sorumlu yazar: mturkoglu@bingol.edu.tr

Geliş Tarihi: 08.05.2019, Kabul Tarihi: 16.10.2019

bu hastalıkların tespiti ziraat mühendisleri tarafından laboratuvar ortamında yapılmaktadır. Ancak bu konudaki işlemler maliyetli, uzun zaman almakta ve performansları düşüktür. Tüm bu sebeplerden dolayı bitki hastalıklarının otomatik tespitine ihtiyaç duyularak, makine öğrenmesi ve bilgisayar görmesi yöntemlerine dayalı çalışmalar önem kazanmıştır [1-3].

Literatürde görüntü işleme algoritmaları kullanılarak bitki hastalıklarının tespitine yönelik birçok çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalarda genellikle şekil, doku ve renk tabanlı geleneksel yöntemler kullanılmıştır. Tablo 1’de yapılan çalışmalarda kullanılan geleneksel yöntemler verilmiştir. Geleneksel yöntemler ön-işlem aşamasına ihtiyaç duymaları, performanslarının düşük olması, görüntüdeki gürültülerin performansa olumsuz etkisi ve gerçek-zamanlı görüntüler için elverişsiz olmaları gibi birçok dezavantajlara sahiptirler.

Tablo 1. Geleneksel yöntemlere dayalı literatür araştırması

| Referans | Öznitelik çıkarım yöntemi | Sınıflandırıcı yöntemi | Kullanılan hastalık türü | Doğruluk Skorları |
|----------|---|------------------------------|--------------------------|-------------------|
| [4] | Renk Özellikleri (RÖ) ve Gri Seviye Eş-Oluşum Matrisleri (GSEM) | Yapay Sinir Ağları (YSA) | Patates | %92 |
| [5] | Yönlendirilmiş Gradyanların Histogramı (YGH) | Destek Vektör Makinesi (DVM) | Pamuk | %94.8 |
| [6] | Renk Eş-Oluşum Yöntemi | Diskriminant analizi (DA) | Turunçgiller | %95 |
| [7] | Gabor Filtresi | YSA | Nar | %91 |
| [8] | Yerel İkili Örüntüler (YİÖ) | k-En Yakın Komşu (k-EYK) | Mercimek | %91 |
| [9] | RÖ, YİÖ ve Yerel Üçlü Örüntüler (YÜÖ) | DVM | Elma | %89.97 |
| [10] | GSEM | DVM | Domates | %99.83 |
| [11] | RÖ, GSEM ve Şekil Özellikleri | DVM | Virüslü yapraklar | %87.80 |

Gelişen teknoloji ile birlikte büyük verilerin oluşturulması ve büyük ölçekli hafızalara sahip daha hızlı bilgisayarların üretilmesiyle derin sinir ağlarına dayalı modeller geliştirilmiştir. Böylece özellikle görüntü işleme, nesne tanıma ve nesne takibi gibi birçok alanda önemli kazanımlar sağlanmıştır. Bunun ile birlikte, derin öğrenme tarımsal alanda da birçok yeni uygulamalar sunmaktadır. Son zamanlarda bitki hastalıklarının tespitine yönelik birçok derin öğrenme tabanlı çalışma yapılmıştır. Walleign ve arkadaşlarının çalışmasında [12], soya bitkisi hastalıklarını sınıflandırmak ve tespit etmek için derin sinir ağlarına dayalı bir model önerilmiştir. Bu model evrişim, havuzlama ve Relu katmalarından oluşmaktadır. Geliştirilen model gerçek-doğal ortamdan çekilen görüntüler kullanılarak eğitilmiş ve %99.32 oranında sınıflandırma başarısı elde edilmiştir. Fuentes ve arkadaşlarının çalışmasında [13], 9 farklı domates hastalık ve zararlılarının tespiti için evrişimsel sinir ağlarına dayalı geliştirilmiş modeller kullanılarak performansları karşılaştırılmıştır. Sladojevic ve arkadaşları ise [14], bitki hastalıklarını yaprak görüntülerinden otomatik olarak tespit etmek ve sınıflandırmak için derin öğrenme yönteminin kullanılmasına yönelik yeni bir yaklaşım önermişlerdir. Bu çalışmada, büyütme işlemleri gibi uygun dönüşüm yöntemleri kullanılarak görüntü veri seti genişletilmiştir. Gerçekleştirilen çalışmanın deneysel sonuçlarında ortalama %96.3 doğruluk elde edilmiştir. Lu ve arkadaşları [15], pirinç hastalıkları için derin evrişimsel sinir ağlarına dayalı yeni bir hastalık tanımlama yaklaşımı önermişlerdir. Hastalıklı ve sağlıklı olmak üzere farklı pirinç hastalık görüntüleri içeren veri setine dayalı gerçekleştirilen deneysel çalışmalarda ortalama %95.48 sınıflandırma performansı elde edilmiştir. Tan ve arkadaşları [16] elma patolojik görüntülerini tanımlamak için evrişimsel sinir ağlarına dayalı bir model geliştirmiştir. Önerilen modelin ağ parametrelerini güncellemesi ve eğitim aşamasını daha hızlı yapılabilmesi için kendinden uyarlamalı momentum kuralı kullanılmıştır. Deneysel sonuçlar %96.08 doğruluk elde edildiğini göstermiştir. Buna ek olarak, bitki hastalıklarının tespiti için yapılan bu çalışmalar dışında önceden eğitilmiş ağ mimarilerinin kullanılmasına dayalı birçok çalışma da mevcuttur [3, 17-20].

Ülkemizin önemli bir tarımsal ihraç ürünü ve geçim kaynağı olan kayısı meyvesinde oluşan hastalıklar ağaçların kurumasına ve meyve kalitesinin düşmesine sebep olmaktadır. Kayıslarda görülen en yaygın hastalıklar çil ve monilya hastalıkları olup genellikle yaprak ve meyvelerde oluşmaktadır.

Kayısı ağaçlarında meydana gelen kanser belirtileri ise ağacın kök kısımlarında yaygın olarak görülmektedir. Buna ek olarak, ağaçlardaki kuruma ise dallarda meydana gelmektedir. Ayrıca bu hastalıklar mevsimsel koşullardan dolayı başka ağaçlara yayılmakta ve yeni enfeksiyonların oluşmasına neden olmaktadır. Bu çalışmada kayısı hastalıklarının tespiti için derin evrişimsel sinir ağlarına dayalı yeni bir model önerilmiştir. Geliştirilen model Evrişim, Relu, Normalizasyon, Maksimum Havuzlama ve Tam Bağlı katmanlardan oluşmaktadır. Buna ek olarak, beş farklı evrişim filtreleme türü kullanılarak farklı filtrelerin sınıflandırma performansları karşılaştırılmıştır. Önerilen modeli test etmek için dört farklı kayısı hastalığı içeren görüntüler kullanılmıştır. Önerilen modelin ana katkıları şunlardır;

- Bilindiği kadarıyla, ilk defa Malatya ve Bingöl illerindeki kayısı ağaçlarından insansız hava aracı (İHA) ve fotoğraf makinesi ile hastalıklı kayısı ve ağaç görüntüleri alınmış ve kapsamlı bir kayısı hastalıkları veri tabanı inşa edilmiştir.
- Kayısı hastalıklarının tespitine yönelik derin evrişimsel sinir ağlarına dayalı bir ağ modeli geliştirilmiştir. Kayısı hastalık tespiti için farklı evrişim filtreleri kullanılmış ve en uygun evrişim filtresi tespit edilmiştir.
- Literatürde genel olarak sentetik bitki hastalık görüntüleri kullanılarak çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmada ise gerçek kayısı hastalık görüntülerini içeren bir veri seti kullanılmıştır. Önerilen model bu veri seti kullanılarak test edilmiştir. Böylece geliştirilen yöntem gerçek dünya problemlerinde de kullanılabilir.

Çalışma şu şekilde organize edilmiştir. Bölüm 2’de önerilen yöntemin teorik altyapısı ile önerilen model detaylandırılmıştır. Bölüm 3’te veri setleri, deneysel çalışmalar ve elde edilen sonuçlar sayısal ve görsel olarak verilmiştir. Son olarak Bölüm 4’te ise sonuçlar tartışılmış ve gelecekteki çalışmalar ile ilgili bilgilere yer verilmiştir.

2. Materyal ve Metot

Bu bölümde önerilen yöntemi oluşturan teorik altyapı ve önerilen model alt başlıklar halinde verilmiştir.

2.1. Evrişimsel sinir ağları (ESA)

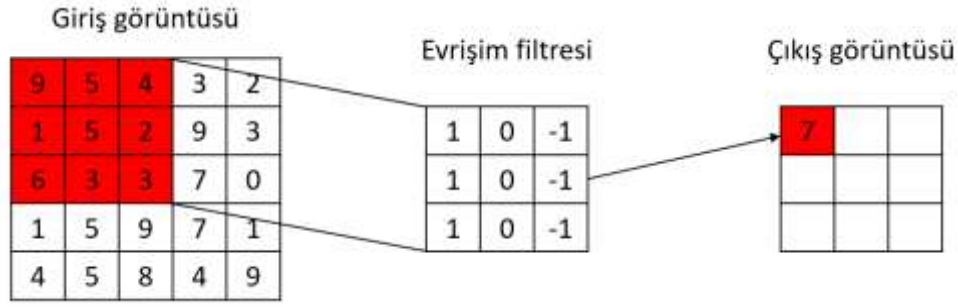
Derin öğrenme, derin evrişimsel sinir ağları kullanılmasına dayalı bir makine öğrenmesi yaklaşımıdır. Çok katmanlı algılayıcı ağ yapısına dayalı oluşturulan ESA, günümüzde nesne tanıma ve sınıflandırma alanında başarılı sonuçlar elde etmektedir. Derin evrişimsel sinir ağlarına dayalı geliştirilen modeller birçok avantaja sahiptir. Bunlar;

- Bölütleme ve nesneyi arka plandan ayırma gibi ön-işlem aşaması uygulanmaksızın ileri düzey görevler gerçekleştirilebilmektedir.
- Geleneksel görüntü tanımlayıcılara göre daha yüksek performans sağlamaktadır.
- Geliştirilen mimariler tek bir nesnenin özelliklerine bağlı olmadan tüm nesnelerin sınıflandırılması için kullanılabilir.

Derin sinir ağları bu avantajlarının yanı sıra önemli bir dezavantaja sahiptir. Bu ise derin ağların eğitim ve test aşamasında gerekli olan güçlü donanımsal kaynaklardır. Çünkü derin ağ modellerinin etkin çalışabilmeleri için yüksek bellek ve güçlü GPU kartlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Son zamanlarda üretilen yüksek boyutlu bellekler ve güçlü GPU kartları sayesinde bu tür sorunlar çözülmeye başlanmıştır. Gelecekte bu problemin giderilmesi için daha güçlü ürünler üretilmesi yönünde çalışmalar hız kazanmıştır [21]. Bu bölümde ilk olarak evrişimsel sinir ağlarının yapısını oluşturan katmanlar alt başlıklar halinde detaylandırılmıştır.

2.1.1. Evrişim katmanı

Evrişim katmanı derin sinir ağlarının temelini oluşturmaktadır. Bu katman, 2×2 , 3×3 ve 5×5 gibi küçük boyutlu filtrelerin tüm görüntü üzerinde gezdirilmesine dayanmaktadır. Böylece görüntüdeki daha belirgin öznitelikler çıkartılarak yeni bir görüntü elde edilir [21-22]. Bir evrişim filtresinin görüntü üzerinde uygulanması Şekil 1’te gösterilmiştir.

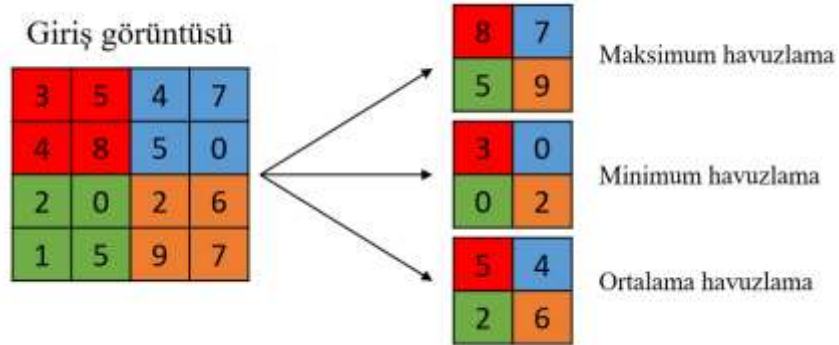


Şekil 1. Evrişim uygulaması

Şekil 1’de tek kanallı 5×5 boyutundaki görüntü matrisi üzerinde 3×3 boyutundaki evrişim filtresinin uygulaması ve elde edilen çıkış görüntüsü verilmiştir. Bu işlem 3×3 filtresinin giriş görüntüsü üzerinde sağa-sola ve aşağı-yukarı kaydırılması ile gerçekleştirilir. Bu kaydırma işlemi tüm görüntü üzerinde uygulanır. Filtre katsayıları görüntünün içerisindeki eşit boyutlu pencereler ile çarpılıp toplamları alınarak hesaplanmaktadır. Sonuç olarak belirgin yüksek seviyeli özneliklere dayalı yeni bir görüntü elde edilir.

2.1.2. Havuzlama katmanı

Havuzlama katmanı derin öğrenme modellerinde boyut azaltmak için kullanılan bir işlemdir. Genellikle boyut azaltma işlemleri bazı bilgilerin kaybolmasına ve performansın düşmesine neden olmaktadır [21]. Ancak havuzlama işlemi modelin ezberlemesini önlemek ve daha az hesaplama yükü oluşturmak gibi avantajlara sahiptir. Bu işlem evrişim işlemindeki gibi belirli filtre çeşitleri kullanılarak gerçekleştirilir. Bu filtreler görüntü üzerinde gezdirilerek görüntüdeki piksellerin maksimum, ortalama veya minimum değerleri alınarak havuzlama işlemi yapılmaktadır [22]. Şekil 2’de 4×4 boyutundaki görüntü üzerinde 2×2 pencere boyutunda maksimum, minimum ve ortalama havuzlama işlemlerinin uygulaması ile ilgili bir örnek verilmiştir.



Şekil 2. Havuzlama işlemi

2.1.3. Relu katmanı

Evrişimsel sinir ağları için aktivasyon fonksiyonları önemli bir etkidir. Relu derin sinir ağlara dayalı geliştirilen modellerde en yaygın kullanılan aktivasyon fonksiyonudur. Denklem 1’de gösterildiği gibi, bu katmanın en önemli özelliklerinden biri giriş verisindeki negatif değerleri sıfıra çekmesidir. Bu sayede Relu fonksiyonu kullanılarak ağına daha hızlı öğrenmesi sağlanmaktadır.

$$f(x) = \begin{cases} 0 & \text{eğer } x < 0 \\ x & \text{eğer } x \geq 0 \end{cases} \quad (1)$$

2.1.4. Normalizasyon katmanı

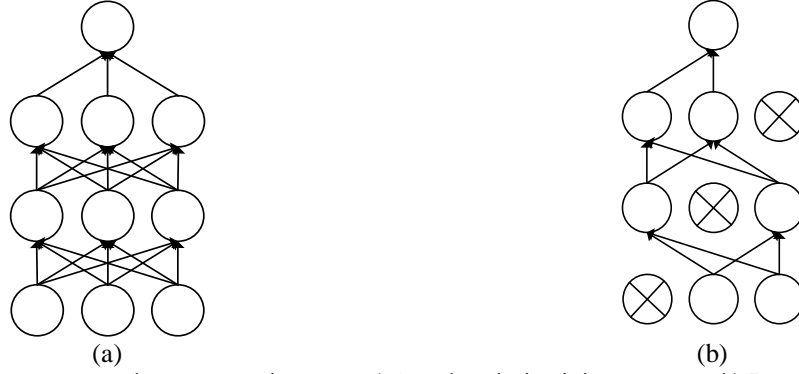
Evrişimsel Sinir Ağlarına dayalı geliştirilen katmanlardan elde edilen verileri düzenli hale getirmek için normalizasyon katmanı kullanılmaktadır. Bu işlem girdi verilerinin belirli bir aralıkta olmasını sağlamak ve ağın performansını pozitif yönde etkilemektedir [23].

2.1.5. Tam bağlı katmanı

Tam bağlı katman kendinden önce gelen katmanın tüm nöronlarına bağlı ve tek boyutlu bir matristir. Bu katmanlar genellikle ESA mimarisinin sonuna doğru ve sınıf skorlarını optimize etmek için kullanılmaktadır. Buna ek olarak, derin öğrenmeye dayalı mimarilerde bu katmanın sayısı değişebilmektedir [21-23].

2.1.6. Dropout katmanı

Evrişimsel sinir ağlarındaki tam bağlı katmanlarda aşırı öğrenmenin ya da ağın veriyi ezberlemesinin önüne geçmek için Dropout katmanı kullanılmaktadır. Bu katman belli eşik değerler kullanılarak bazı düğümlerin kaldırılmasına dayanmaktadır. Böylelikle gereksiz-zayıf bilgilerin unutulması ile ağın performansı artırılır [24]. Şekil 3'te normal bir sinir ağı ile Dropout uygulanmış ağ yapısı gösterilmiştir.



Şekil 3. Derin ağ yapısı ve dropout uygulanması, a) Standart derin sinir ağı yapısı, b) Dropout katmanından sonraki ağ yapısı.

2.1.7. Sınıflandırma katmanı

ESA modelinin son katmanı ve sınıflandırma işleminin yapıldığı katmandır. Bu katmanın çıkış değerleri tanınması istenilen nesne sayısına bağlı olarak sınıf sayısına eşittir. Derin öğrenme mimarilerine dayalı olarak bu katmanda yaygın olarak softmax sınıflandırıcısı kullanılır. Bu sınıflandırıcı her bir sınıf için 0-1 arasında olasılıksal değerler üretmektedir. Sonuç olarak en yüksek olasılık değeri modelin tahmin ettiği sınıfı verir [21-23].

2.2. Performans ölçütleri

Bu çalışmada başarımlar ölçütleri olarak doğruluk, duyarlılık, özgüllük, kesinlik ve F1-skor oranları kullanılmıştır. Bu performans ölçütleri ile ilgili matematiksel ifadeler aşağıda verilmiştir.

$$\text{Doğruluk} = \frac{DP + DN}{DP + DN + YP + YN} \quad (2)$$

$$\text{Duyarlılık} = \frac{DP}{DP + YN} \quad (3)$$

$$\text{Özgüllük} = \frac{DN}{DN + YP} \quad (4)$$

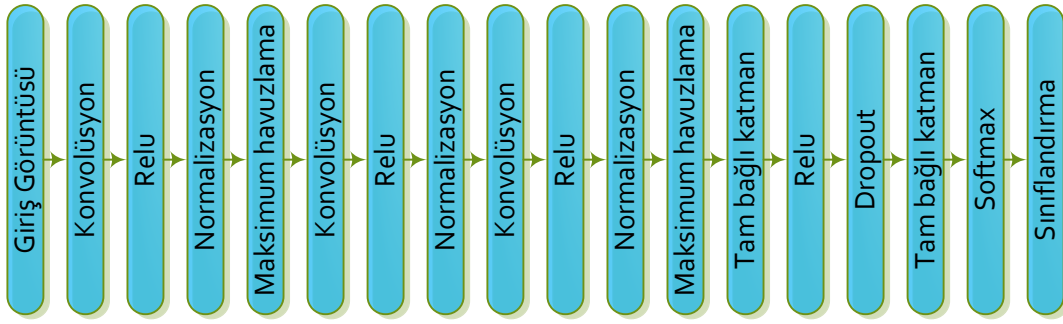
$$\text{Kesinlik} = \frac{DP}{DP + YP} \quad (5)$$

$$F1 - \text{Skor} = 2 * \frac{\text{Duyarlılık} * \text{Kesinlik}}{\text{Duyarlılık} + \text{Kesinlik}} \quad (6)$$

Denklem (2-6)'da, DP doğru sınıflandırılmış pozitif örnekler, DN doğru sınıflandırılmış negatif örnekler, YP yanlış sınıflandırılmış pozitif örnekler ve YN ise yanlış sınıflandırılmış negatif örneklerdir.

2.3. Önerilen model

Bu çalışmada kayısı hastalıklarının tespitine yönelik evrimsel sinir ağlarına dayalı yeni bir derin öğrenme modeli önerilmiştir. Geliştirilen model 18 katmandan oluşmaktadır. İlk katman giriş katmanıdır. İkinci, altıncı ve dokuzuncu katmanlar sırasıyla 32, 64 ve 128 adet evrişim filtresi içeren evrişim katmanlarıdır. Üçüncü, yedinci ve onuncu katmanlar aktivasyon fonksiyonu olan Relu katmanlarıdır. Dördüncü, sekizinci, on birinci ve on dördüncü katmanlar normalizasyon katmanlarıdır. Beşinci ve on ikinci katmanlar maksimum havuzlama katmanları olup 3×3 'lük pencere boyutu kullanılmaktadır. On üçüncü katman 64 nöronlu tam bağlı katmandır. Son katmanlar ise yine tam bağlı katman, bir softmax katmanı ve sınıflandırma katmanlarıdır. Önerilen modelin genel akış adımları Şekil 4'te gösterilmiştir.



Şekil 4. Önerilen model

Önerilen model için evrişim katmanlarında kullanılan beş farklı filtre 3×3 , 5×5 , 7×7 , 9×9 ve 11×11 pencere boyutlarına sahiptir. Her bir filtre türü için deneysel uygulamalar gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmanın uygulama adımları aşağıda özetlenmiştir:

- Adım 1:** Bitki hastalık görüntüsü elde et.
- Adım 2:** Bitki hastalık görüntüsünü bilinear interpolation kullanılarak derin ağların yapısına göre yeniden boyutlandır.
- Adım 3:** Kayısı hastalık veri setini eğitim ve test kümelerine ayır.
- Adım 4:** Eğitim kümesi kullanılarak önerilen derin model eğit.
- Adım 5:** Test kümesi kullanılarak eğitilmiş derin model ile sınıflandırma performansı hesapla.

3. Deneysel Çalışmalar

Bu bölümde ilk olarak deneysel çalışmalar için inşa edilip kullanılan ve kayısı hastalık görüntülerinden oluşan veri seti tanıtılmıştır. Daha sonra bu veri seti üzerinde elde edilen deneysel sonuçlar karşılaştırmalı olarak irdelenmiştir.

3.1. Veri seti

Önerilen çalışma kapsamında Malatya ve Bingöl illerinde yaygın olarak görülen kayısı hastalık görüntüleri fotoğraf makinesi ve İHA ile kaydedilmiştir. Kayısı ağaçlarından görüntü almada Dji Phantom 4 Advanced İHA sistemi kullanılmıştır. Bu sistem geliştirmiş 4 k / 60fps video ve 13 fps'de seri çekim modu çekimi yapabilen 1 inç 20 megapiksel sensöre sahip dâhili bir kameraya sahiptir. Fotoğraf makinesi ise Nikon 7200d modeli olup, DX biçiminde 6 fps, 1.3x kesme modunda ise 7 fps hıza kadar çekim yapan ve 24.2 megapiksel çözünürlüğe sahiptir. Şekil 5'te kullanılan İHA sistemi ve fotoğraf makinesi görülmektedir.

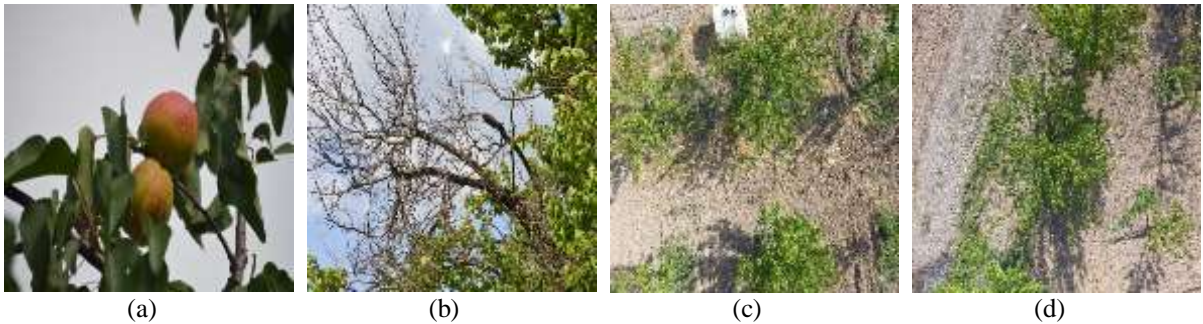


Şekil 5. Veri tabanı oluşturmak için görüntü alma cihazları, a) İHA, b) Fotoğraf makinesi.

Kayısı ağaçlarından görüntü almak için İnönü ve Bingöl Üniversitelerinin Ziraat Fakültelerinin deneysel çalışma yaptıkları alanlar kullanılmıştır. Ziraat Fakülteleri akademik çalışmalar yapmak için arazilerine farklı türlerde ve yaşlarda kayısı ağaçları dikmişlerdir. Özellikle Malatya ili dünya kayısı üretiminde ilk sırada yer alan bir il olup kayısıyı stratejik bir ürün olarak görmektedir. Malatya çiftçisinin en önemli geçim kaynağı olan kayısının akıllı teknolojiler ile incelenmesi ürün kaybının önüne geçebilecek yeni alternatif yaklaşımlar geliştirilmesine yol açacaktır. Bu nedenle veri setinde Malatya kayısına ait çok sayıda örnek görüntü alınmıştır. Yine Bingöl ilinde de kısmi olarak kayısı ağacı bulunmakta olup veri setinin kapsamının artırılması açısından bu ildeki kayısı ağaçlarından da görüntüler alınmıştır. Veri setinde kayısıda en yaygın görülen hastalık türlerine ait görüntüler bulunmasına dikkat edilmiştir. Bu kapsamda veri seti 467 adet çil hastalığı, 139 adet kanser belirtisi, 195 adet kuruma belirtisi ve 85 adet monilya hastalığı olmak üzere toplam 886 görüntüden oluşmaktadır. Şekil 6'da fotoğraf makinesi kullanılarak elde edilen hastalıklı kayısılara ait örnek görüntüler görülmektedir. Şekil 7'de ise İHA kullanılarak elde edilen ve kırılmış kayısı hastalık görüntüleri görülmektedir.



Şekil 6. Fotoğraf makinesi kullanılarak elde edilen örnek görüntüler, a) Çil hastalığı, b) Kanser belirtisi, c) Kuruma belirtisi, d) Monilya hastalığı.



Şekil 7. İHA kullanılarak elde edilen örnek görüntüler, a) Çil hastalığı, b) Kuruma belirtisi, c-d) Kırılmamış kayısı ağacı görüntüleri.

Bu çalışmada kullanılan hastalık türlerinin kayısı ağaçlarının hangi organında görüldüğü ve oluşturduğu belirtiler aşağıda verilmiştir:

Kanser Belirtisi: Farklı etmenlerin etkisiyle bitkilerin gövde, korteks ve kabuk dokularında oluşan sınırlı nekrozlara kanser adı verilmektedir. Nekrotik yaralar kallusla çevrili olmakta olup bu şekilde de etrafındaki sağlıklı dokulardan ayrılmaktadır. Bitki patojenlerinin yol açtığı kanserlerde, yaranın kapanmasını sağlayan kallus ve patojenin karşılıklı etkinlikleri sonucunda iç içe şişkinlikler şeklinde derin ve açık kanser yaraları oluşmaktadır.

Kuruma Belirtisi: Çok yıllık bitkilerde sürgün ve gövdede görülen geniş nekrozlar kuruma belirtileridir. Bu hastalık sürgün uçlarından başlayıp gövdeye doğru ilerlerse buna geriye doğru ölüm denilmektedir. Bazı patojenler ve kuraklık gibi çevresel etkiler bu kuruma ve ölümleri oluşturabilir. Özellikle sert çekirdekli meyvelerde monilya hastalıkları bu belirtilere neden olmaktadır.

Monilya Hastalığı: Monilya hastalıklarında etmen genellikle meyve enfeksiyonları yapmaktadır. Fakat çiçek ve yaprak enfeksiyonlarına da sebep olabilmektedir. Hastalık etmeni olan fungus, meyveyi kuş, rüzgâr, böcek vb. vasıtasıyla açılan yaralardan penetre edebilir veya meyvedeki doğal açıklıklardan doğrudan giriş yapabilmektedir. Enfeksiyonlar meyve olgunlaşmaya başladığında, meyve kabuğunda oluşan kahverengi lekelerle başlar. Enfeksiyon başladıktan sonra bir kaç gün içinde çürüme meydana gelir. Meyve dokusu su kaybederek buruşur ve hastalığın tipik belirtisi olarak mumyalaşmış dalda asılı kalır.

Çil Hastalığı: Çil hastalığı sert çekirdekli meyve ağaçlarının yaprak, meyve, tomurcuk ve genç dalları üzerinde belirti oluşturmaktadır. Öncelikle genç yapraklar üzerinde 1 mm çapında oluşan kırmızı lekeler giderek büyümekte ve 5 ila 10 gün içerisinde dökülmektedir. Bu dökülmelerin ardından yaprakta saçma deliği şeklinde belirtiler oluşmaktadır. Meyvelerde ise genellikle meyvenin sapa yakın kısmında 1-2 mm çapında yuvarlak kırmızı lekeler oluşmaktadır. Bu lekeler giderek şişkinleşip, ortaları çökmekte ve daha koyu renge dönüşmektedir.

3.2. Benzetim sonuçları

Bu çalışmada geliştirilen derin ağ 18 katman ve çeşitli evrişim filtrelerinden oluşmaktadır. Önerilen modeli test etmek için 4 farklı kayısı hastalığına ait görüntüler kullanılmıştır. Deneysel çalışmalar MATLAB platformu aracılığıyla gerçekleştirilmiştir. Tüm uygulamalar için i7 2.9 Ghz işlemci, GTX 950m 8GB GPU kartı ve 16 GB RAM özelliklerine sahip bilgisayar kullanılmıştır.

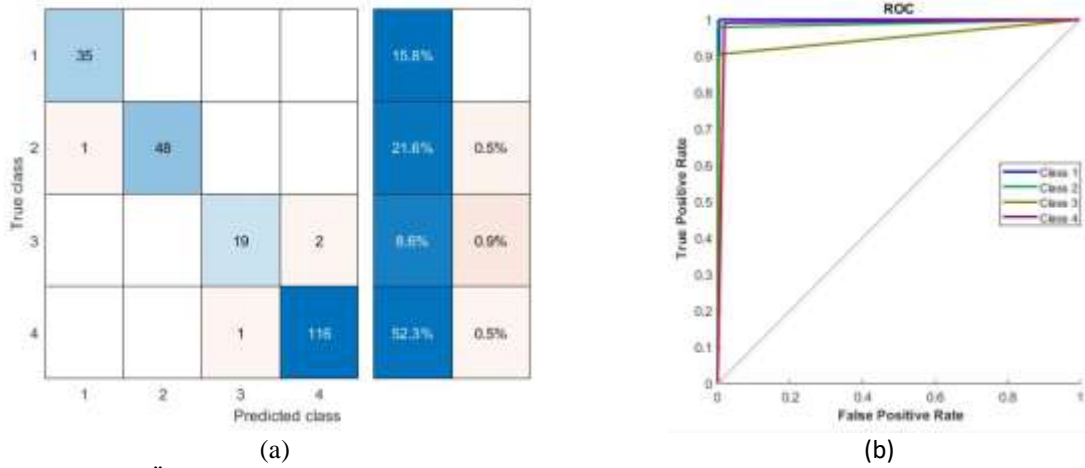
Gerçekleştirilen deneysel çalışmalarda, veri tabanının rastgele bir şekilde %70'i eğitim seti, geri kalan %30'u ise test seti olarak ayrılmıştır. Eğitim ve test setlerinin ayrımı rastgele bir şekilde ve bir defaya mahsus yapılmıştır. Böylece bütün uygulamalar için aynı eğitim ve test seti kullanılmıştır. Sonuç olarak, her seferinde rastgele ayrılan eğitim ve test setlerinin performans etkisi kaldırılmıştır.

Derin evrişimsel sinir ağlarına dayalı önerilen modelin performansı beş farklı evrişim filtresi kullanılarak ayrı ayrı test edilmiştir. Bu model için derin ağ parametreleri eğitim adım değeri (epoch) 10, batch boyutu 7 ve öğrenme katsayısı (learning rate) 0.0001 olarak belirlenmiştir. Buna ek olarak, derin ağın eğitimi için stokastik dereceli alçalma yöntemi (SGA) optimizasyon yöntemi kullanılmıştır. Ayrıca eğitim aşaması 940 iterasyondan sonra sona ermiştir. Önerilen modelin performans ölçütleri olarak doğruluk, duyarlılık ve özgüllük, kesinlik ve F1-skor değerleri Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Önerilen modelin performans sonuçları

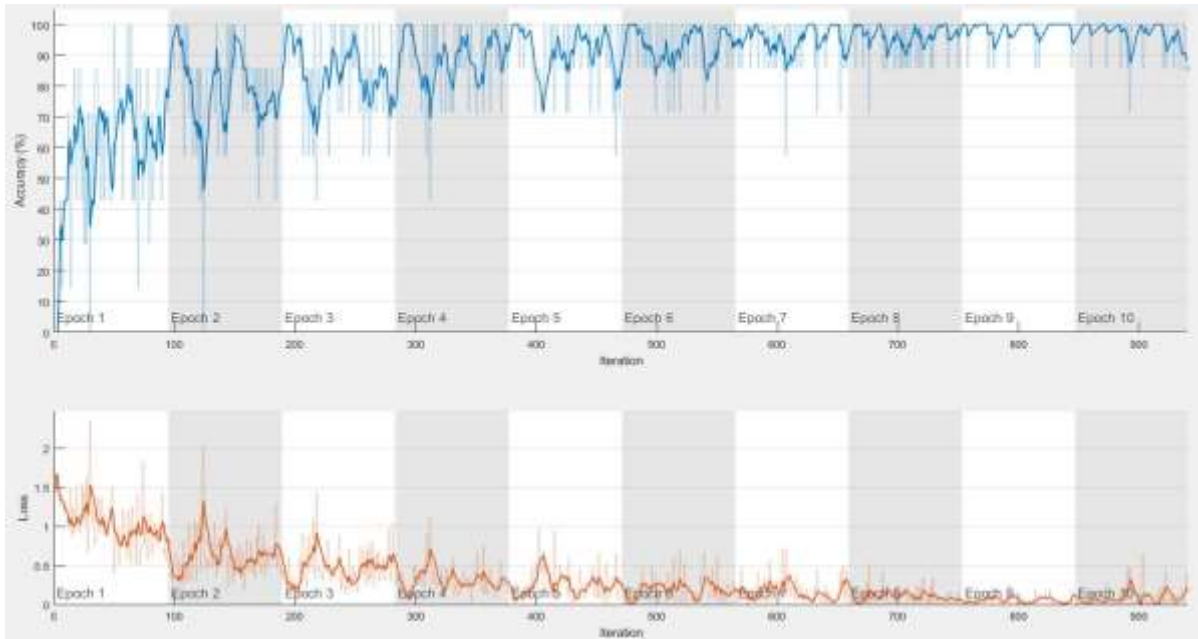
| Başarım ölçütleri | Evrişim filtreleri | | | | |
|-------------------|--------------------|-------|--------------|--------------|-------|
| | 3×3 | 5×5 | 7×7 | 9×9 | 11×11 |
| Doğruluk | 97.30 | 96.40 | 96.85 | 98.20 | 95.50 |
| Duyarlılık | 94.81 | 92.59 | 92.35 | 96.90 | 88.57 |
| Özgüllük | 98.79 | 98.48 | 98.44 | 99.27 | 97.73 |
| Kesinlik | 97.08 | 96.95 | 98.09 | 97.63 | 96.29 |
| F1-skor | 94.80 | 94.48 | 94.60 | 97.24 | 91.36 |

Tablo 2'de görüldüğü üzere, önerilen model ile 9×9 evrişim filtresi kullanılarak %98.20 oranında en yüksek doğruluk elde edilirken, en düşük doğruluk 11×11 evrişim filtresi kullanılarak elde edilmiştir. Buna ek olarak, farklı evrişim filtreleri kullanılarak performans skorları arasında önemli farklılıklar olduğu gözlenmiştir. Önerilen modelin en yüksek performansının karmaşıklık matrisi ve Alıcı İşletim Karakteristiği (Receiver Operating Characteristic - ROC) diyagramı Şekil 8'de verilmiştir.



Şekil 8. Önerilen modelin performans gösterimleri, a) Karmaşıklık matrisi, b) ROC diyagramı

Şekil 8’de kanser belirtisi, kuruma belirtisi, monilya hastalığı ve çil hastalığı sırasıyla sınıf 1, 2, 3 ve 4 olarak gösterilmiştir. Şekil 8’den anlaşılacağı üzere, önerilen modelin kayısı meyvesinde oluşan kanser belirtilerini tanıma başarımı %100 olarak hesaplanmıştır. Buna ek olarak kuruma belirtisinde 1, monilya hastalığında 2 ve çil hastalığında 1 olmak üzere kayısı hastalıkları için toplam 4 yanlış tanıma tespit edilmiştir. Ayrıca önerilen modelin iterasyonlara karşı eğitim doğruluğu ve eğitim kaybının değişimi Şekil 9’da gösterilmiştir.



Şekil 9. Artan iterasyon sayısının etkileri, (a) Eğitim doğruluğu, (b) Eğitim kaybı

Şekil 9’da görüldüğü gibi, eğitim doğruluğu ilk iterasyonlarda hızlı bir şekilde artmış, ancak daha sonra yavaş bir şekilde artmaya devam etmiştir. Aynı şekilde, eğitim kaybındaki değişim ilk iterasyonlarda hızlı şekilde azalmış ve daha sonra yavaş yavaş azalmaya devam etmiştir. Tüm bu nedenlerden dolayı, ilk iterasyonlar modeli ezberlemek yerine iteratif olarak optimum değere doğru kararlı bir şekilde ilerleyerek kayıp fonksiyonunu en aza indirmiştir.

Bu çalışmada ESA’ya dayalı geliştirilen çok sınıflı veri setleri kullanılarak eğitilen AlexNet, SqueezeNet, Inceptionv3 ve InceptionResNetv2 gibi nesne tanıma alanında yaygın olarak kullanılan derin modeller kayısı hastalık tespiti için uygulanmıştır. Bu mimarileri kayısı hastalık tespiti problemine uyarlamak için transfer öğrenme yaklaşımı benimsenmiştir. Transfer öğrenme yaklaşımında önceden eğitilmiş derin mimarilerin son üç katmanının yerine bir tam bağlı katman, bir softmax katmanı ve çıkış katmanı mimariye eklenir ve yeni problem için bu derin mimari uyarlanmış olunur. Önerilen model ile

bu mimarilerin performans sonuçlarının karşılaştırılabilmesi için ağ parametreleri ile eğitim ve test verileri aynı şekilde ayarlanmıştır. Bu mimarilerin performans sonuçları Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Önceden eğitilmiş derin mimarilerin sınıflandırma sonuçları (%)

| AlexNet | SqueezeNet | Inceptionv3 | InceptionResNetv2 |
|---------|------------|-------------|-------------------|
| 97.75 | 73.87 | 97.30 | 90.99 |

Tablo 3'ten anlaşılacağı üzere, önceden eğitilmiş derin mimarilerden en yüksek performans AlexNet modeli ile %97.75 olarak elde edilmiştir. İkinci en yüksek performans Inceptionv3 mimarisi ile %97.30 doğruluk elde edilirken, en kötü performans ise %73.87 olarak SqueezeNet mimarisi ile elde edilmiştir.

Yapılan deneysel çalışmalarda derin öğrenme yöntemine ek olarak, geleneksel görüntü işleme ve makine öğrenmesi yöntemleri de kullanılarak kayısı hastalık görüntüleri üzerindeki performansları da irdelenmiştir. Literatürdeki çalışmalarda yaygın olarak kullanılan Yerel İkili Örüntüler (YİÖ), Yönlendirilmiş Gradyanların Histogramı (YGH), Renk İstatistikleri ve Gri Seviye Eş-Oluşum Matrisleri (GSEM) yöntemleri kullanılarak elde edilen öznelilikler ve Destek Vektör Makineleri (DVM) yöntemi ile hastalık görüntülerinin sınıflandırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Sınıflandırıcı olarak kullanılan DVM yönteminin yapısında, bire karşı hepsi yaklaşımı ve kübik çekirdek fonksiyonu kullanılmıştır. Elde edilen performans sonuçları Tablo 4'te gösterilmiştir.

Tablo 4. Geleneksel yöntemlerin kayısı hastalık görüntülerini sınıflandırma sonuçları

| Başarım ölçütleri | YİÖ | YGH | Renk istatistikleri | GSEM |
|-------------------|--------------|--------------|---------------------|-------|
| Doğruluk | 89.64 | 86.94 | 76.58 | 81.98 |
| Duyarlılık | 82.04 | 72.69 | 70.29 | 63.81 |
| Özgüllük | 95.60 | 93.76 | 90.74 | 91.29 |
| Kesinlik | 85.47 | 92.30 | 74.02 | 87.73 |
| F1-Skor | 83.47 | 75.06 | 70.90 | 64.32 |

Tablo 4'te görüleceği gibi, YİÖ yöntemi için doğruluk, duyarlılık, özgüllük, kesinlik ve F1-Skor değerleri sırası ile %89.64, %82.04, %95.60, %85.47 ve %83.47 iken bu değerler YGH için sırası ile %86.94, %72.69, %93.76, %92.30 ve %75.06 elde edilmiştir. Bu sonuçlara göre, kayısı hastalık tespiti için kullanılan geleneksel yöntemlerden en yüksek performans YİÖ yöntemi ile %89.64 iken en kötü performans GSEM yöntemi ile %81.98 olarak elde edilmiştir.

Tablo 3-4'de verilen deneysel sonuçlara göre, kayısı hastalık tespiti için önerilen derin model kullanılarak önceden eğitilmiş derin mimariler ile geleneksel yöntemlere göre daha üstün performans sağlanmıştır. Bunun yanı sıra, ESA'ya dayalı geliştirilen mimarilerin genel olarak geleneksel yöntemlerden daha yüksek performansa sahip olduğu gözlenmiştir.

Önerilen derin modelin avantajları ve dezavantajları aşağıda verilmiştir. Bunlar:

Avantajları:

- Önerilen derin model geleneksel yöntemler ile derin mimarilere göre daha üstün performans sağlamıştır.
- ESA'ya dayalı geliştirilen model için farklı evrişim filtreleri ve havuzlama katmanlarının etkileri değerlendirilmiştir.
- Gerçek zamanlı görüntülerden oluşan kayısı hastalık veri tabanı inşa edilmiş ve önerilen model bu veri seti kullanılarak test edilmiştir.
- Gerçekleştirilen deneysel çalışmalarda elde edilen sonuçlara göre, önerilen derin modelin gerçek hayatta kullanılabileceği kanıtlanmıştır.

Dezavantajları:

- Gerçek ortamdan İHA ve fotoğraf makinesi kullanılarak inşa edilen veri seti nispeten az görüntü içermektedir.
- Önerilen derin modelin kayısı hastalıklarını en iyi tespit etmek için farklı boyutlarda evrişim filtreleri kullanması bu çalışmanın diğer bir sınırlılığı olarak görülebilir.

4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada kayısı bitkisinde en sık karşılaşılan dört farklı hastalık türü için hastalık tespitine yönelik özel olarak tasarlanan bir derin evrişimsel sinir ağı modeli geliştirilmiştir. Gerçekleştirilen çalışmada İHA ve fotoğraf makinesi kullanılarak hastalıklı kayısı ağaçlarından görüntüler alınmış ve kayısı hastalıkları görüntü veri tabanı inşa edilmiştir. Geliştirilen derin ağ modeli bu veri tabanı üzerinde test edilip optimize edilmiştir. Modelin evrişim katmanlarında 9×9 boyutunda evrişim filtresi kullanılarak kayısı hastalıkları %98.20 oranında sınıflandırılmıştır. Bununla birlikte farklı boyutlarda (3×3, 5×5, 7×7 ve 11×11) evrişim filtreleri de kullanılarak ağın performansı test edilmiştir. Elde edilen sonuçlara bakıldığında, bu evrişim filtrelerinin performanslarının 9×9 boyutundaki evrişim filtresine kıyasla %1 ile %3 arasında değişen oranlarda performanslarının daha düşük oldukları tespit edilmiştir. Derin öğrenme modeline ek olarak YİÖ, YGH, Renk İstatistikleri ve GSEM gibi geleneksel özellik çıkarma yöntemlerinin inşa edilen kayısı hastalıkları veri tabanı üzerindeki performansları da test edilmiştir. Elde edilen sonuçlara bakıldığında en yüksek hastalık sınıflandırma başarısının YİÖ yöntemi tarafından elde edildiği görülmüştür. Bununla birlikte geliştirilen derin öğrenme modeli tüm yöntemlerden daha yüksek sınıflandırma başarısına ulaşmıştır.

Kayısı hastalıklarının tespiti için önerilen derin öğrenme modeli gelecekte yapılacak farklı bitki hastalıkları tespit ve sınıflandırma çalışmaları için oldukça umut vericidir. İlerleyen dönemde yapılacak çalışmalarda, geliştirilen modelin farklı bitkilerde görülen hastalıklarında tespit edilmesinde kullanılabilecek şekilde geliştirilmesi planlanmaktadır. Ayrıca tespit edilmesi zor bitki hastalıklarının tanımlanabileceği özelliklerin hesaplanabilmesi için ağ mimarisinin hassasiyetini ve derinliğini arttıracak çalışmalar yapılması düşünülmektedir.

Teşekkür

Bu çalışma Bingöl Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri programı tarafından desteklenmiştir (Proje Numarası: BAP-MMF.2018.00.004).

Yazarların Katkısı

Muammer TÜRKÖĞLU veri tabanının oluşturulması, kullanılan yöntemin kodlanması, uygulama sonuçlarının alınması ve yazılması işlemlerinde katkı sunmuştur. Kazım HANBAY elde edilen sonuçların yorumlanarak yazılması, makalenin düzenlenmesi, derin öğrenme modelinin parametrelerinin analizinde katkı sunmuştur. Işıl SARAÇ kayısı hastalıkları içeren görüntülerin hastalık türüne göre sınıflandırılarak veri tabanının inşa edilmesinde, elde edilen sonuçların yorumlanmasında ve makalenin yazımında katkı sunmuştur. Davut HANBAY makalenin yazılmasında, sonuçların analiz edilerek yorumlanmasında ve derin öğrenme modelinin yapısının sonuçlar üzerindeki etkisinin analiz edilerek yazılmasında 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] Turkoglu M., Hanbay D. 2015. Classification of the grape varieties based on leaf recognition by using SVM classifier. In 2015 23rd Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU), 2674-2677.
- [2] Nguyen T.T.N., Van Tuan Le T.L.L., Vu H., Pantuwong N., Yagi Y. 2016. Flower species identification using deep convolutional neural networks. AUN/SEED-Net Regional Conference for Computer and Information Engineering.

- [3] Turkoglu M., Hanbay D. 2018. Apricot Disease Identification based on Attributes Obtained from Deep Learning Algorithms. In 2018 International Conference on Artificial Intelligence and Data Processing (IDAP), 1-4.
- [4] Athanikar G., Badar P. 2016. Potato Leaf Diseases Detection and Classification System. *International Journal of Computer Science and Mobile Computing*, 5 (2): 76-88.
- [5] Prashar K. 2017. Robust Automatic Cotton Crop Disease Recognition (ACDR) Method using the Hybrid Feature Descriptor with SVM. 4th 2016 International Conference on Computing on sustainable Global Development.
- [6] Pydipati R., Burks T.F., Lee W.S. 2006. Identification of citrus disease using color texture features and discriminant analysis. *Computers and electronics in agriculture*, 52 (1-2): 49-59.
- [7] Kulkarni A.H., Patil A. 2012. Applying image processing technique to detect plant diseases. *International Journal of Modern Engineering Research*, 2 (5): 3661-3664.
- [8] Singh K., Kumar S., Kaur P. 2017. Local Binary Patterns Based Detection of Rust Disease of Lentils (*Lens Culinaris*) Using K-NN Classification System. *International Journal of Computer Science Engineering and Information Technology Research (IJCSSEITR)*, 7 (4): 47-52.
- [9] Dubey S.R., Jalal A.S. 2014. Fusing Color and Texture Cues to Categorize the Fruit Diseases from Images. arXiv preprint arXiv: 1412.7277.
- [10] Mokhtar U., El Bendary N., Hassenian A.E., Emary E., Mahmoud M.A., Hefny H., Tolba M.F. 2014. SVM-based detection of tomato leaves diseases. In *Intelligent Systems*, Springer, Cham, 641-652.
- [11] Es-saady Y., El Massi I., El Yassa M., Mammass D., Benazoun A. 2016. Automatic recognition of plant leaves diseases based on serial combination of two SVM classifiers. In 2016 International Conference on Electrical and Information Technologies (ICEIT), pp. 561-566, IEEE.
- [12] Wallelign S., Polceanu M., Buche C. 2018. Soybean Plant Disease Identification Using Convolutional Neural Network. In *The Thirty-First International Flairs Conference*.
- [13] Fuentes A., Yoon S., Kim S., Park D. 2017. A robust deep-learning-based detector for real-time tomato plant diseases and pests recognition. *Sensors*, 17 (9): 2022.
- [14] Sladojevic S., Arsenovic M., Anderla A., Culibrk D., Stefanovic D. 2016. Deep neural networks based recognition of plant diseases by leaf image classification. *Computational intelligence and neuroscience*, 2016: 1-11.
- [15] Lu Y., Yi S., Zeng N., Liu Y., Zhang Y. 2017. Identification of rice diseases using deep convolutional neural networks. *Neurocomputing*, 267: 378-384.
- [16] Tan W.X., Zhao C.J., Wu H.R. 2016. CNN intelligent early warning for apple skin lesion image acquired by infrared video sensors. *High Technol. Lett.*, 22: 67-74.
- [17] Amara J., Bouaziz B., Algergawy A. 2017. A Deep Learning-based Approach for Banana Leaf Diseases Classification. In: *BTW Workshops; Bonn, Germany*, 79-88.
- [18] Ferentinos K.P. 2018. Deep learning models for plant disease detection and diagnosis. *Computers and Electronics in Agriculture*, 145: 311-318.
- [19] Brahim M., Boukhalifa K., Moussaoui A. 2017. Deep learning for tomato diseases: classification and symptoms visualization. *Applied Artificial Intelligence*, 31 (4): 299-315.
- [20] Mohanty S.P., Hughes D.P., Salath'e M. 2016. Using deep learning for image-based plant disease detection. *Frontiers in plant science*, 7: 1419.
- [21] Kızrak M.A., Bolat B. 2018. Derin Öğrenme ile Kalabalık Analizi Üzerine Detaylı Bir Araştırma. *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, 11 (3): 263-286.
- [22] Ülker E. 2017. Derin Öğrenme ve Görüntü Analizinde Kullanılan Derin Öğrenme Modelleri. *Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi*, 6 (3): 85-104.
- [23] Doğan F., Türkoğlu İ. 2018. Derin Öğrenme Algoritmalarının Yaprak Sınıflandırma Başarımlarının Karşılaştırılması. *Sakarya University Journal of Computer and Information Sciences*, 1 (1): 10-21.
- [24] Çarkacı N. 2018. Derin Öğrenme Uygulamalarında En Sık kullanılan Hiper-parametreler, <https://medium.com/deep-learning-turkiye/derin-ogrenme-uygulamalarinda-en-sik-kullanilan-hiper-parametreler-ece8e9125c4> (Erişim Tarihi: 12.10.2018).

Araştırma Makalesi / Research Article

Pazarlama 4.0 İçin Genetik Algoritma Tabanlı Bir Karar Destek Modeli Önerisi

Cemal AKTÜRK*

Gaziantep İslam Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Gaziantep (ORCID: 0000-0003-3764-3862)

Öz

Üretim işletmelerindeki sipariş kabul prosedürü ile teslim tarihi belirleme prosedürü, pazarlama birimi yöneticileri için kritik öneme sahiptir. Üretici firmalarının müşteri siparişlerine müşterilerin talep ettiği teslim tarihinden daha erken veya daha geç bir teslim tarihi sunması müşteri ile firma arasında problem oluşturur. Sipariş kabul süreçlerinin dijital dönüşüme uyarlanması ve otonom karar veren sistemler ile bu süreçlerin otomatikleştirilmesi sayesinde, firmalara bu problemlerle başa çıkmanın yanında çeşitli avantajlar da kazandırılabilir. Bu avantajlardan bazıları; toplam gelirin artması, müşteri memnuniyetinin artması, işçilik maliyetlerinin azalması ve ilgili kararların otonom verilmesiyle verimliliğin artması şeklindedir. Yapılan çalışmada sipariş kabul ve teslim tarihi atama ile ilgili güncel literatür çalışmalarından bahsedilmiştir. Buna ek olarak Endüstri 4.0 kavramının ortaya çıkışından itibaren pazarlama karar destek sistemleri ile ilgili yapılan bilimsel çalışmalar araştırılmış ve bulgular paylaşılmıştır. Devamında, Endüstri 4.0 ve Pazarlama 4.0 perspektifinde genetik algoritma tabanlı bir pazarlama karar destek modeli önerilmiştir. Bu karar destek modeliyle, hem işletmelerin kârlılıkları ve pazar paylarını arttırmaları amaçlanmakta, hem de kullanıcılardan kaynaklı hataların minimize edilmesi ve iş süreçlerinin otomatikleştirilmesi amaçlanmaktadır. Öncelikle üretim işletmesine gelen müşteri siparişlerinin belirli bir sayıya veya kapasiteye ulaşmaya kadar sanal bir havuzda bekletilmesi tavsiye edilmiştir. Belirlenen koşul gerçekleştiğinde, müşterilerin sipariş taleplerinin çoklu yöntemlerle sıralanması ve her yönetime göre yapılan sıralamadan elde edilecek gelirlerin karşılaştırılması sağlanacaktır. Bu sayede üretim işletmelerinin pazarlama birimlerine gelen müşteri talepleri belirli kısıt altında bekletilerek hep birlikte değerlendirilmiş olacaktır. Anlık olarak işletmenin amaçları için uygun siparişler üretim planlamasına alınarak siparişlerin teslim tarihleri otomatik olarak hesaplanacak ve müşterilerin onayına sunulacaktır. Sıralama işlemi bir karar problemi olarak ele alınıp belirli değişken ve katsayılar için anlık veriler üzerinden çalıştırılacak bir genetik algoritma ile en optimum değerleri aranacaktır. Bu sayede her zaman mevcut siparişlerden maksimum gelirin elde edileceği siparişlerin seçilmesi amaçlanmıştır.

Anahtar kelimeler: Pazarlama Karar Destek Sistemleri, Genetik Algoritma, Endüstri 4.0, Pazarlama 4.0

A Genetic Algorithm Based Decision Support Model Proposal for Marketing 4.0

Abstract

The order acceptance procedure and delivery date determination procedure in manufacturing enterprises are critical for marketing unit managers. The fact that the manufacturer firms provide a delivery date earlier or later than the delivery date requested by the customers creates a problem between the customer and the company. By adapting order acceptance processes to digital transformation and automating these processes with autonomous decision-making systems, companies can gain various advantages as well as deal with these problems. Some of these advantages; increase in total revenue, increase in customer satisfaction, decrease in labor costs and increase efficiency through autonomous issuance of related decisions. In this study, current literature studies about order acceptance and delivery date are mentioned. In addition, from the emergence of the concept of Industry 4.0, scientific studies on marketing decision support systems have been researched and findings have been shared. Next, a marketing decision support model based on genetic algorithm was proposed in the perspective of Industry 4.0 and Marketing 4.0. With this decision support model, it is aimed to increase the profitability and market share

*Sorumlu yazar: cemal.akturk@gibtu.edu.tr

Geliş Tarihi: 17.04.2019, Kabul Tarihi: 02.08.2019

of the enterprises as well as to minimize the errors caused by the users and to automate the business processes. First, until it reaches a certain number of incoming customer orders or production capacity of the company was recommended to stand in a virtual pool. When the specified condition is fulfilled, it will be ensured that the order requests of the customers are sorted by multiple methods and the revenues from each order will be compared. In this way, the customer requests coming to the marketing units of production enterprises will be kept together under certain constraints and evaluated together. Orders which are suitable for the purposes of the enterprise shall be taken to production planning and delivery dates of the orders will be calculated automatically and submitted to the approval of the customers. The process of sorting will be considered as a decision problem and the optimum values will be searched by a genetic algorithm to be run over the instant data for certain variables and coefficients. In this way, it is always aimed to select the orders from which the maximum income will be obtained from the existing orders.

Keywords: Marketing Decision Support Systems, Genetic Algorithm, Industry 4.0, Marketing 4.0.

1. Giriş

Dördüncü sanayi devrimi olarak tanımlanan Endüstri 4.0, ilk kez bir kavram olarak 2011 yılında Almanya Hannover Fuarı'nda kullanılmıştır. Ekim 2012'de ise Bosch ve SAP kuruluşlarının eski bir üst düzey yöneticisi olan Henning Kagermann tarafından oluşturulan bir ekibin hazırladığı öneri dosyasıyla Alman Federal Hükümeti'ne sunulmuştur. Bu dönemden itibaren Almanya'da bu kavram etrafında Endüstri 4.0 dönüşümü için yol haritaları oluşturulmuştur [1]. Avrupa'da yayılan bu akım ve hızla gelişen teknoloji, bu gelişime ayak uyduranlar ile bu gelişimin gerisinde kalanlar arasında büyük bir rekabet oluşturmaktadır.

Dijital dönüşümün beraberinde, enformasyon üretiminde yapay zeka ve optimizasyon tekniklerinin kullanılması ile iş süreçlerinin entegrasyonu da Endüstri 4.0 dönüşümü için kuruluşlara hız kazandırmaktadır. Buna karşın, dijital dönüşüm için çaba harcayan firmalar ile bu dönüşümlere sadece maliyet odaklı yaklaşan firmalar arasındaki dijital uçurum da artmaktadır. Dolayısıyla, bu dönüşüm sürecine girenlerin amaçlarına ulaşabilme ve varlıklarını sürdürübilme imkânı da yenilenme sürecinde gösterdikleri fedakarlıklarla orantılı olmaktadır. Endüstri 4.0 kavramı ile birlikte gelen nesnelerin interneti, büyük veri, yapay zeka ve otomasyonların entegre edilerek otonomlaştırılması gibi yenilikler; dijital dönüşümler için önemli bir rehber rolündedir. Bu dijitalleşme dönüşümü, tüm iş süreçlerinin ve otomasyonların birbiriyle entegrasyonunu ve sürekliliğini amaçlar. Üretim işletmelerindeki iş süreçleri, gelen bir müşteri siparişi talebiyle başlar.

Siparişler için verilecek kabul veya ret kararı, öncelikle ürünün fiyatı, ödeme koşulu ve teslim tarihi gibi konularda müşteri ile varılacak mutabakata bağlıdır. Müşteri ile siparişin toplam tutarında, ödeme ve teslimat koşullarında anlaşıldıktan sonra talep edilen ürünleri üretebilmek için bir malzeme ihtiyaç planlaması yapılmalı ve gerekli hammaddelerin teminine göre üretim planlaması yapılmalıdır. Üretim planlamasına dahil edilen bir sipariş, planlanan takvime göre üretilir ve müşteriye sevk edilir. Tüm bu iş süreçleri siparişlerin kabul edilmesine ve müşteriyle anlaşılan teslim tarihine göre ilerler. Müşterilerin talep ettiği teslim tarihinden önce ürünleri üreterek stokta bekletmek, işletmelere çeşitli risk ve maliyetler getirir. Talep tarihinden daha geç bir tarihe üretilip teslim edilecek ürünler ise müşteri memnuniyetsizliğine hatta siparişlerin kaybedilmesine neden olur. Dolayısıyla üretim işletmeleri, bir müşteri siparişini kabul ederken hem kendi verimliliğini, kârlılığını göz önünde bulundurmalı hem de müşteri memnuniyetini kazanmayı sağlamalıdır. Bu önemli denge kurulamadığı zaman, siparişlerin erken veya geç kalma durumlarının her birinde ayrı sorunlar ortaya çıkmaktadır. Her siparişi kabul etmek işletmelere kazanım sağlamayacağı gibi bir siparişi kabul ederek onu talep edilenden daha geç bir tarihte teslim etmek ise o siparişi hiç kabul etmemekten daha olumsuz sonuçlar doğurabilmektedir. Pazarlama birimlerinin sipariş kabul / ret veya teslim tarihi belirleme kararları hem işletme içinde hem de tedarik zincirinde birçok paydaşı etkileyen kararlar olduğu için dijital dönüşüm sürecinde bu konuda etkili ve doğru kararlar vermeyi sağlayan karar destek sistemlerinden yararlanmak yerinde olacaktır.

Geçmiş çalışmalara bakıldığında, Guhlich ve arkadaşları [2] tarafından yapılan çalışmada, gelir yönetiminde kâr maksimizasyonu sağlayabilmek amacıyla, siparişe göre montaj yapan işletmeler için olasılık tabanlı bir talep yönetim modeli öne sürülmektedir. Olasılık tabanlı çalışan bu program ile talep edilen siparişin teslim tarihine göre siparişin işletmeye kâr getirip getirmeyeceğine bakılır ve kârlı bulunan siparişler kendi teslim tarihleri ile kabul edilir, kâr getirisi olmayanlar reddedilir [2]. Erken ve geç kalan teslim tarihlerinin cezalandırılması varsayılarak yapılan bir başka çalışmada genetik algoritma

ve rastgele arama teknikleri kullanılmış olup genetik algoritma çözümünün alternatif çözümlerden daha iyi performans gösterdiği vurgulanmıştır [3]. Aynı araştırmacı başka bir ekiple; entegre süreç planlama, çizelgeleme ve teslim tarihi atama problemi üzerine yürüttüğü çalışmada yine genetik algoritma yöntemini kullanmıştır [4]. Aynı problem için çeşitli yöntemler içerisinde genetik algoritmanın en iyi sonucu verdiği farklı bir çalışmada yine gösterilmiştir [5]. Canıyılmaz ve arkadaşları [6] belirli teslim tarihi kısıtlamaları altında toplam gecikmeyi minimize etmek amacıyla gerçek bir fabrikanın verileri üzerinde yapay arı koloni algoritması ve genetik algoritma tekniklerini kullanmıştır. Siparişlerin, müşteri ve sipariş kriterlerinden oluşan doğrusal bir fonksiyon ile sıralanıp işlem sürelerine göre her siparişe teslim tarihi ataması yapıldığı bir karar modeli önerilmiştir [7]. Aynı araştırmacılar tarafından siparişlerin altı farklı karar modeli ile sıralanarak teslim tarihlerinin atandığı, maksimum geliri elde etmeyi amaçlayan bir karar destek sistemi modeli de önerilmiştir [8].

Pazarlama 4.0 kavramı, Endüstri 4.0 kavramıyla ortaya çıkan, pazarlama yönetimine farklı bir bakış açısından bakmaya gösterilen çabalar ve arayışları kapsamaktadır. Tablo 1’de Pazarlama 1.0’dan Pazarlama 4.0 kavramına kadar ilerleyen süreçler ayrıntılı olarak gösterilmiştir. Ürün odaklı olarak başlayan pazarlama sürecindeki gelişim sırasıyla müşteri odaklı, değer odaklı ve sanal pazarlama odaklı olarak devam etmiştir [9,10].

Tablo 1. Pazarlama trendindeki gelişimler.

| | Pazarlama 1.0 (Ürün Odaklı) | Pazarlama 2.0 (Müşteri Odaklı) | Pazarlama 3.0 (Değer Odaklı) | Pazarlama 4.0 (Sanal Pazarlama Odaklı) |
|------------------------------------|--|---|---|---|
| Amaç | Ürün satmak | Müşteriyi memnun etmek | Dünyayı daha iyi bir yer yapmak | Bugünden geleceği yaratmak |
| İmkân Tanıyan Güç | Sanayi devrimi | Bilgi Teknolojisi | Yeni dalga teknolojisi | Sibernetik devrim ve Web 4.0 |
| Anahtar Pazarlama Kavramı | Ürün geliştirme | Farklılaştırma | Değerler | Müşteriye göre üretim ve tam zamanında üretim |
| Değer Önermeleri | İşlevsel | İşlev ve duygusal | İşlevsel, duygusal ve ruhsal | İşlevsel, duygusal, ruhsal ve kendi kendine yaratıcılık |
| Müşterilerle Olan Etkileşim | Bir’den Çok’a işlem | Bir’e Bir ilişki | Çok’tan Çok’a işbirliği | Çok’tan Çok’a beraber yaratma ve işbirliği |

Pazarlama 4.0’ın anahtar pazarlama kavramının müşteri memnuniyetini kazanmak ve tam zamanında üretim yapmak olduğunu ayrıca vurgulamak gerekmektedir. Buradan yola çıkıldığında araştırmacılar da Endüstri 4.0 trendinin pazarlama organizasyonunun ve pazar alanlarının yeni formlara dönüşeceğini belirterek bilgi teknolojileri sayesinde yeni pazarlama fırsatlarının yakalanacağını vurgulamıştır [10-12].

1.1. Pazarlama Karar Destek Sistemleri

Endüstri 4.0 kavramı ile ilişkili pazarlama karar destek sistemleri konusundaki çalışmalarını analiz etmek için yapılan araştırmada özellikle bu kavramın ortaya çıktığı 2013 yılından itibaren yayınlanan bilimsel araştırmalar incelenmiştir. Yapılan araştırmada 100’e yakın çalışma incelenmiş olup pazarlama alanındaki karar verme konularıyla ilgisi olmayanlar doğrudan elenmiştir. Geri kalan 32 adet çalışma detaylı olarak incelenmiş olup bunlardan dijital pazarlama, sosyal medya pazarlama, mobil pazarlama ile ilgili olup endüstriyel teslim tarihi problemini ve pazarlama birimi yöneticilerini ilgilendirmeyen çalışmaların haricindeki 10 adet çalışmaya odaklanılmıştır. Bu çalışmalar detaylı olarak incelenmiş olup çalışmada geçen anahtar kelimeler ve kullanılan yöntemler Tablo 2’de gösterilmektedir. Tablo 2’deki

çalışmalar incelendiğinde, bu çalışmaların yarısından fazlasının daha çok literatür taramasına ağırlık verdiği görülmektedir. Literatür taramasından farklı olarak yapılan çalışmalar ise veri madenciliği ile yapay sinir ağları gibi tekniklerin kullanılarak pazarlama alanında yenilikler getirmeyi amaçlamaktadır.

Tablo 2. Pazarlama karar destek sistemleri ile ilgili çalışmalar.

| No | Kaynak | Anahtar Kelime | Kullanılan Yöntem |
|----|--------|--|--|
| 1 | [13] | İnovasyon, Pazarlama, Nesnelerin İnterneti, Patent Analizi, Bulut Bilişim, Tedarik Zinciri Yönetimi, Büyük Veri Analitiği, Endüstri 4.0, Siber Güvenlik, Entegrasyon, Müşteri Profili. | Literatür Taraması Patent Analizi |
| 2 | [14] | Analitik, Büyük Veri, Karar Desteği, Makine Verisi | Literatür Taraması |
| 3 | [15] | Veri Madenciliği, Karar Ağacı, Hassas Tahmin, Pazarlama, Karar Verme | K-ortalama Algoritması Karar Ağacı, Pareto Oranı RFM model |
| 4 | [16] | Karar Destek ve Akıllı Sistemler, Tekstil ve Konfeksiyon, Tedarik Zinciri, Literatür İncelemesi | Literatür Taraması |
| 5 | [17] | Dijital Teknoloji, e-pazarlama, e-iş, e-ticaret, küçük işletmeler, kobi | Literatür Taraması |
| 6 | [18] | Veri Madenciliği, Bilgi Yönetimi, Pazarlama, Nöral Ağlar | Veri Madenciliği Yapay Sinir Ağları |
| 7 | [19] | Kayıp Tahmin Modelleme, B2B E-Ticaret, Destek Vektör Makineleri, Parametre Seçme Tekniği, Pazarlama Tutma Stratejileri | Karar Ağacı Nöral Ağ Destek Vektör Makineleri |
| 8 | [20] | Bilgi Teknolojisi, Veritabanı Pazarlama. | Anket |
| 9 | [21] | Büyük veri analizi, İş zekâsı, Pazarlama zekâsı, Pazarlama karması, Anket ve günlük verileri | Literatür Taraması Veri Madenciliği |
| 10 | [22] | Pazarlama, Karar verme, Yaratıcılık, Talep, Arz | Literatür Taraması |

Sınıflandırılan çalışmalarda en çok tekrar eden anahtar kelimeler analiz edildiğinde “pazarlama” kelimesinin en çok tekrar edilen kelime olduğu ve bu tekrar sayısının 14 olduğu Tablo 3’te gösterilmiştir. Tablo 3’ü incelemeye devam edersek, “veri” kelimesinin sekiz defa, “karar” kelimesinin beş defa, “karar destek” ifadesinin ise üç defa tekrar ettiği görülmüştür. Buna rağmen pazarlama birimleri için yöneticilere karar desteği sağlayan somut bir çalışma örneğine rastlanmamıştır.

“Dijital Teknoloji” ve “Endüstri 4.0” kavramlarının ise pazarlama karar destek sistemleriyle ilgili yapılan taramada anahtar kelime olarak yeterince yaygınlıkta bulunmadığı gözlenmiştir. Teknolojinin ve dijital dönüşümün Endüstri 4.0 ile yeni bir boyuta taşınması gerektiği düşünülecek olursa, bir üretim işletmesinde doğrudan geliri ve karlılığı etkileyen pazarlama birimleri için bu perspektifte yeterli çalışmaya rastlanılmamış olması oldukça düşündürücü ve dikkat çekici bulunmuştur.

Tablo 3. Anahtar kelimedeki kullanılan bazı kelimelerin tekrar sayıları.

| No | Kelime | Tekrar Sayısı |
|----|-------------------|---------------|
| 1 | Pazarlama | 14 |
| 2 | Veri | 8 |
| 3 | Karar | 5 |
| 4 | Büyük Veri | 3 |
| 5 | Karar Destek | 3 |
| 6 | Dijital Teknoloji | 1 |
| 7 | Endüstri 4.0 | 1 |
| 8 | Bilgi Teknolojisi | 1 |

Akıllı ürün ve akıllı fabrikalar için “herkese, her şeye, her yerde ve her zaman dijital bağlantı” yeteneği sayesinde sürekli öğrenen yazılımlar ile yeni pazarlama iş modellerine ihtiyaç duyulmaktadır [23]. Yapılan çalışmada, mevcut bir sipariş havuzundaki sipariş ve müşteri verileri üzerinde çalıştırılacak doğrusal bir fonksiyon olan sipariş sıralama karar modellerinin [7,8] genetik algoritmadan elde edilecek optimal ağırlık katsayıları ile kullanılmasıyla sipariş kabulü ve üretim çizelgeleme süreçlerinin otonomlaştırılması hedeflenmiştir. Bu otonomlaştırma sadece süreçlerin otomatik olarak birleştirilmesi ile sınırlı olmayıp, veriler üzerinde kullanılan genetik algoritma ile işletmenin gelirini

maksimize edecek siparişlerin kabul edilerek üretim programına dahil edilmesi amaçlanmaktadır. Netice itibarıyla sürekli kendi kendini kontrol eden, otonom çalışan, siparişleri değerlendirerek kabul veya ret kararı veren ve en fazla gelirin elde edileceği sipariş sıralamasını oluşturarak siparişleri bu sıraya göre üretim programına dahil eden bir karar destek modeli önerilmiştir.

2. Materyal ve Metot

Bu bölümde öncelikle sipariş sıralamada kullanılan yöntemlerden doğrusal fonksiyon ve moora yöntemleri ve bu yöntemlere dayanan sipariş sıralama karar destek sisteminden bahsedilecektir. Sonrasında ise sipariş sıralama karar destek sisteminin genetik algoritma ile entegre edilmesiyle elde edilen bir pazarlama karar destek sistemi önerilecektir.

2.1. Doğrusal Fonksiyon

Sipariş sıralamada kullanılan müşteri ve sipariş alt fonksiyonları aşağıda gösterilmiştir[8]. M fonksiyonu (1) müşteri kriterlerini ifade eder. 1 numaralı denklemde R; yıllık toplam siparişlerden elde edilen hasılat tutarını, Q; yıllık toplam sipariş miktarını ve C ise müşteri ile çalışılan yıl sayılarını kapsar. S fonksiyonu (2) ise ilgili siparişin toplam tutarını belirtmek için kullanılır. Burada R_o bir siparişin toplam tutarını ifade eder. M ve S fonksiyonları ana karar fonksiyonu olan F fonksiyonunda (3) farklı ağırlık katsayıları ile temsil edilirler ve bu ağırlık katsayıları toplamı 1 olmalıdır (4).

Her bir sipariş verisi için karar modeli içerisinde F fonksiyon değeri hesaplanarak ağırlık katsayılarıyla birlikte 5 numaralı denklemde belirtilen karar matrisi elde edilir ve doğrusal fonksiyonda ilgili karar problemindeki her alternatif (sipariş) F fonksiyonu değerine göre büyükten küçüğe sıralanarak teslim tarihi belirleme aşamasına alınır.

$$M(i) = W_{m1}R + W_{m2}Q + W_{m3}C \quad (1)$$

$$S(i) = R_o \quad (2)$$

$$F(i) = W_1M(i) + W_2S(i) \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^n W_i = 1 \quad (4)$$

$$\begin{bmatrix} f1 \\ f2 \\ f3 \\ \vdots \\ fn \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a11 & a12 & a13 & \dots & a1m \\ a21 & a22 & a23 & \dots & a2m \\ a31 & a32 & a33 & \dots & a3m \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ an1 & an2 & an3 & \dots & anm \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} W1 \\ W2 \\ W3 \\ \vdots \\ Wm \end{bmatrix} \quad (5)$$

2.2. Moora Oran Yöntemi

Moora oran yönteminde her bir kriter değeri diğer kriterlerin kareleri toplamına bölünerek 6 numaralı denklemde gösterildiği gibi normalize edilir. Daha sonra minimize edilecek kriterler ile maksimize edilecek kriterler kendi içerisinde gruplandırılır ve bir alternatif için maksimize edilecek kriterlerin toplamından minimize edilecek kriterlerin toplamı çıkarılarak 7 numaralı denklemde gösterilen Y_i değeri hesaplanır. Karar değişkeni burada hesaplanan Y_i değeridir. Moora oran yönteminde siparişlerden oluşan alternatifler Y_i değerine göre büyükten küçüğe sıralanır [8].

$$X_{ij}^* = \frac{X_{ij}}{\sqrt{\sum_{j=1}^m X_{ij}^2}} \quad (6)$$

$$Y_i^* = \sum_{j=1}^g X_{ij}^* - \sum_{j=g+1}^{n-g} X_{ij}^* \quad (7)$$

2.3. Moora - Referans Noktası Yaklaşımı

Moora referans noktası yaklaşımında oran yöntemi hesaplamalarını takiben her kriter kümesinde, minimize edilecek kriterler için en küçük kriter değeri, maksimize edilecek kriterler için ise en büyük kriter değeri referans noktası olarak alınır ve normalize kriter değerinden referans noktası değeri olan r_i çıkarılarak alternatifler 8 numaralı denklemdeki d_{ij} değerine göre sıralanır. Bu yöntemde amaç en iyi değere en yakın olan alternatifin seçilmesidir.

$$d_{ij} = r_i - X_{ij}^* , \quad \min_i \max_j (d_{ij}) \quad (8)$$

2.4. Moora - Önem Katsayısı Yaklaşımı

Bu yöntemde kriterler herhangi bir ağırlık katsayısı ile ağırlıklandırılabilir (9). Yapılan çalışmada moora önem katsayısı olarak, daha önce kriterlerin ağırlıklı toplamından elde edilen doğrusal fonksiyon (F) her bir sipariş için çarpan olarak kullanılmış ve karar modelinde Ağırlıklı Moora olarak isimlendirilmiştir.

$$Y_i^* = \sum_{j=1}^g w_j X_{ij}^* - \sum_{j=g+1}^{n-g} w_j X_{ij}^* \quad (9)$$

2.5. Sipariş Sıralama Karar Destek Sistemi

Yukarıda bahsedilen doğrusal fonksiyon ve Moora yöntemleri bir araya gelerek, sipariş havuzunun bir planlama senaryosu için çalıştırılabileceği bir karar destek sistemine dönüşmüştür. Sistemde karşılaştırma yöntemleri olarak ise üretim işletmelerinin genelinde kullanılan FCFS ve EDD yöntemleri de bulunmaktadır. Bu sayede karar destek sistemi içerisinde birçok yöntem ile Şekil 1’de belirtildiği gibi siparişler sıralanır ve her sıralamada, belirli bir planlama süresi limitindeki üretim kapasitesi için siparişlerin teslim tarihleri belirlenir. Teslim tarihleri, her bir siparişin toplam işlem süresi hesaplanarak üretim hazırlık aşamasında harcanan sürelerin de uç uca eklenmesiyle hesaplanır. Daha sonra elde edilebilecek toplam sipariş gelirleri, her yöntemin sıraladığı siparişlerden hesaplanıp karşılaştırılarak pazarlama birimi yöneticilerine firmanın amaçları doğrultusunda maksimum gelire ulaşılması için karar desteği olarak sunulur [8].

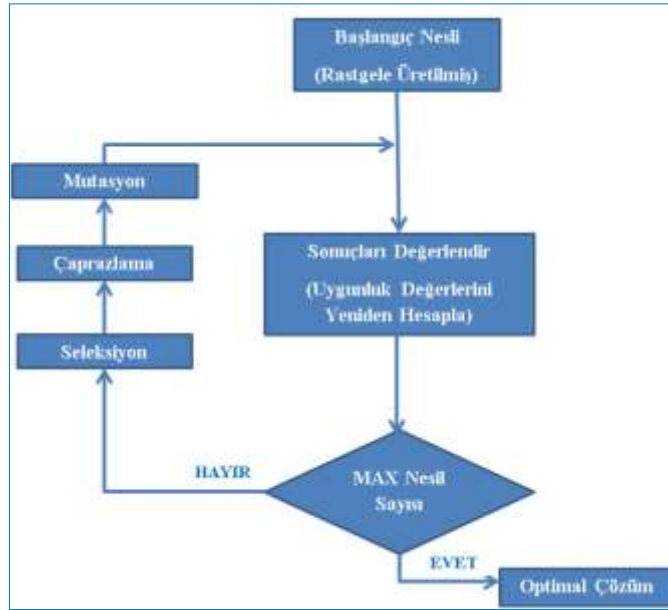


Şekil 1. Gelir Yaklaşımıyla Çok Yöntemli Sipariş Sıralama Karar Destek Modeli

Sipariş sıralama karar destek sistemi, mevcut parametre ve veriler ışığında siparişleri çeşitli yöntemlere göre sıralayarak takip edilen çıktı olarak da elde edilecek geliri önermektedir. Mevcut karar destek sistemine genetik algoritma gibi kolay kullanışlı ve karmaşık problemlerin çözümünde etkili olan bir yapay zeka tekniği eklenerek mevcut verilerden daha anlamlı sonuçlar arayarak daha optimum sonuçlara ulaşmak mümkündür.

2.6. Genetik Algoritma

Daha uyumlu olanın hayatta kalması prensibine dayanan genetik algoritma, en iyi değeri bulmak amacıyla optimizasyon problemlerinde arama algoritması olarak sıklıkla kullanılmaktadır. Bu çalışmada ise genetik algoritmanın sipariş sıralama karar destek sisteminde kullanılan (1 ve 3 numaralı denklemlerdeki) W ağırlık katsayılarının optimize edilmesi ve maksimum geliri verebilecek ağırlık katsayılarının aranmasında kullanılması planlanmıştır. Şekil 2’de genetik algoritmanın temel çalışma prensibi gösterilmektedir. Öncelikle ilk aşama olarak rastgele bir başlangıç popülasyonu üretilir. Her popülasyon için uygunluk ölçütü olarak aranan değerler hesaplanır. Daha sonra sırasıyla seçim, çaprazlama ve mutasyon gibi genetik algoritma operasyonları sürdürülür ve tekrar uygunluk kriterleri karşılaştırılır. Bu işlemler belirli bir döngü sayısı kadar veya istenilen belirli uygunluk kriteri değerlerine ulaşıncaya kadar sürekli devam ettirilir. Beklenen çözüm kümesine ulaşıldığında veya sabit bir döngü sayısı kadar işlemlerin tamamlanmasıyla sistem son durumdaki en iyi çözümü çıktı olarak sunar.

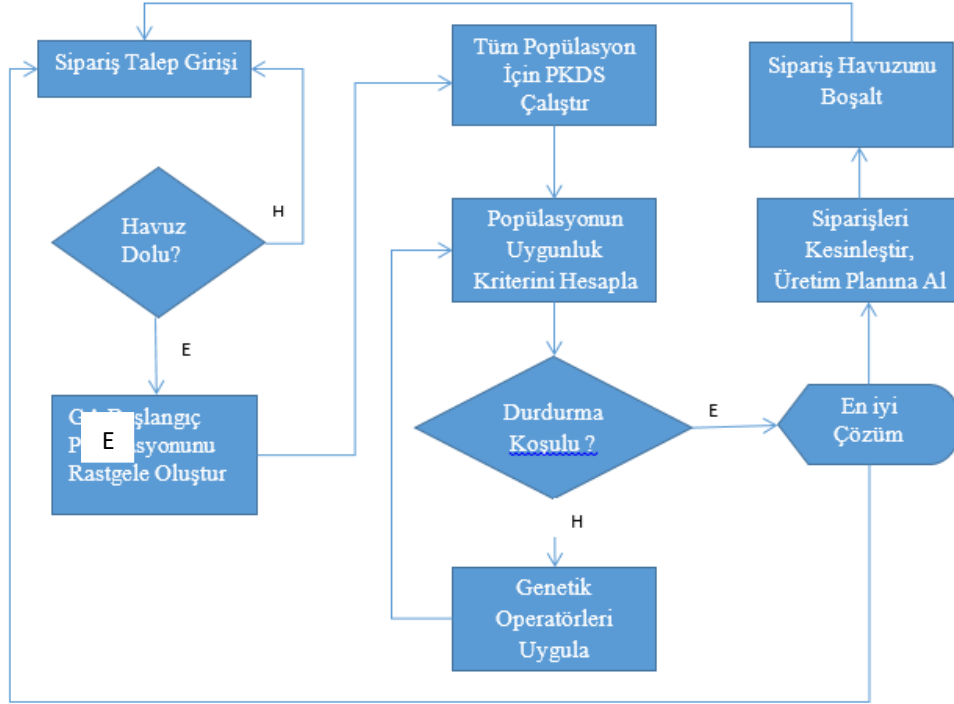


Şekil 2. Genetik Algoritma Akış Diyagramı [24]

2.7. Genetik Algoritma ve Karar Destek Sisteminin Entegrasyonu

Endüstri 4.0 ile öne çıkan nesnelerin interneti, otomasyonların ve üretimin otonomlaştırılması gibi kavramlar düşünüldüğünde üretimin girdisi olan sipariş kabul sürecinin de bu akımdan payını alması gerektiği düşünülerek ideal bir karar modeli önerilmektedir. Önerilen model, işletmeye gelen ve kabul/ret kararı verilmemiş ham sipariş taleplerinin işletme kapasitesine bağlı olarak belirlenen bir sayıya ulaşıncaya kadar bir havuzda bekletilmesini gerektirmektedir. Belirli bir sayıya ulaşan siparişler için, genetik algoritma kapsamında rastgele olarak farklı ağırlık katsayıları ile çeşitlendirilen başlangıç popülasyonu oluşturulur. Ayrıntıları Şekil 3’te görülebileceği üzere model kendi içerisinde pazarlama karar destek sistemini çalıştırır ve çeşitli yöntemlere göre siparişler sıralanır. Daha sonra her yöntemden elde edilecek sipariş gelirlerine bakılır. Beklenen bir sipariş geliri veya belirli bir döngü sayısı sınırlamasına ulaşıp ulaşılmadığı şeklindeki durdurma koşulunun sağlanması durumunda sistem optimal çözümü sunar. Durdurma koşulu sağlanmamışsa algoritma çalışmaya devam eder. Genetik algoritma popülasyonunun her bireyinin genomunda sadece kodlanmış ağırlık katsayıları bulunur. Popülasyonun her bir bireyi için mevcut sipariş havuzunun (farklı ağırlık katsayıları ile) sıralanması ve gelirlerinin hesaplanması ayrı ayrı yapılır. Örnek olarak başlangıçta 100 farklı bireyin oluşturulduğu düşünüldüğünde, her genetik algoritma döngüsünde en iyi değere sahip 50 birey ile yola devam edilir. Bu oran talebe göre değişkenlik gösterebilir. Daha az sayıda birey seçilirse genetik çeşitlilik kaybedilecektir. Ayrıca her döngüde popülasyon içindeki en iyi değere sahip beş birey, en iyi bireylerin korunması prensibine dayanan elitizm yaklaşımıyla koruma altına alınır ve sonraki nesillerde varlığını sürdürür. Bu sayede her döngüde en iyi toplam sipariş gelirini sağlayacak karar modelinin ağırlık

katsayıları, genetik operasyonlar ile çeşitlendirilerek bulunmaya çalışılır. Genetik algoritmanın belirli bir durdurma kriteri var ise (beklenen maksimum sipariş geliri veya sabit bir döngü sayısı) bu durum gerçekleştiğinde algoritma sonlandırılarak son durumdaki en iyi değere sahip popülasyon bireyinin sahip olduğu ağırlık katsayıları, anlık olarak siparişlerin sıralanmasında kullanılır. En fazla sipariş gelirini öneren yöntemin sıralı siparişleri için teslim tarihleri atanarak bu siparişlerin kabul işlemi tamamlanarak siparişler kesinleştirilmiş ve üretim planlamasının girdisi oluşturulmuş olur.



Şekil 3. Genetik Algoritma (GA) ve Pazarlama Karar Destek Sisteminin (PDKS) Çalışma Prensibi.

3. Bulgular

Enformasyon üretiminin ve rekabet zorluğunun arttığı günümüzde, yeni bilgilere ulaşmak gelişen teknolojiye rağmen her geçen gün daha da zorlaşmaktadır. Buna karşın üretici firmalar, gittikçe zorlaşan ekonomik koşullar altında global piyasalara ayak uydurarak pazar paylarını ve karlılıklarını korumak zorundadır. Son yıllarda iş süreçleri için dijital dönüşüm çabaları ile ortaya çıkan yeni endüstri trendi, açtığı yol ile bu dönüşüme ayak uyduran firmalar için yeni fırsatlar ve rekabet avantajlarını birlikte sunmaktadır. Üretimde gecikmemeyi sağlayarak müşteri memnuniyetini sağlamak, üretimin girdisi olan sipariş kabul sürecinin doğru yönetilmesiyle başlar. Kabul edilecek siparişlere teslim tarihi ataması yaparken de firmanın gelirlerini ve dolayısıyla karlılığını koruma çabası kaçınılmaz bir gerçektir. Bu tür amaçlara ulaşabilmek için doğru kararlar verebilmek ancak iyi tasarlanmış karar destek sistemleriyle mümkündür. Karar destek sistemleri sadece endüstriyel alanda değil; hastalıkların tanı ve teşhisi, coğrafi bilişim sistemleri, ulusal yargı sistemleri gibi farklı kurumlarda çeşitli amaçlar için kullanılmakta ve çeşitli yararlar sağlamaktadır [25,26].

Buraya kadar bahsedilen teslim tarihi atama ile ilgili önceki çalışmalarda, son kullanıcıya veya pazarlama birimi yöneticilerine hitap eden somut veya model olarak önerilmiş yeterli karar destek sistemlerine rastlanmamıştır. Buna ek olarak pazarlama karar destek sistemleri ile ilgili Endüstri 4.0 kavramının ortaya çıkışından itibaren bu alanda yapılan çalışmalar incelenerek analiz edilmiştir ve aynı sonuç bu çalışmalar için de geçerlidir. Pazarlama karar destek sistemleriyle ilgili incelenen çalışmaların Tablo 2’de belirtildiği üzere daha çok literatür taraması şeklinde olduğu gözlemlenmiştir. Bu sebeple yapılan çalışmada, etkili bir sipariş kabul süreci yönetimini sağlamak adına daha önce önerilen gelir yaklaşımıyla pazarlama karar destek sistemine [8] bir yapay zeka tekniği olan genetik algoritmanın entegre edilmesiyle Pazarlama 4.0 perspektifinde Genetik Algoritma-Pazarlama Karar Destek Sistemi (GA-PKDS) adında yeni bir bakış açısı kazandırılmıştır.

4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada sipariş kabulü ve teslim tarihi atama ile ilgili güncel literatür çalışmalarına, Endüstri 4.0 ve pazarlama karar destek sistemleri gibi konulara yer verilerek Endüstri 4.0 kavramının ortaya çıkışından itibaren pazarlama karar destek sistemleri ile ilgili yapılan bilimsel çalışmalar araştırılmış ve çalışmadan elde edilen bulgular paylaşılmıştır. Çalışmanın devamında pazarlama birimi yöneticileri için Endüstri 4.0 bakış açısıyla sipariş kabulü ve teslim tarihi atama işlemlerinin yapılacağı genetik algoritma tabanlı bir karar destek modeli önerilmiştir. Önerilen karar destek modeliyle, hem işletmelerin kârlılıkları ve pazar paylarını arttırmaları amaçlanmakta, hem de kullanıcılardan kaynaklı hataların minimize edilmesi ve iş süreçlerin otomatikleştirilmesi amaçlanmaktadır.

Giriş bölümünde bahsedilen sipariş sıralama ve teslim tarihi belirleme ile ilgili olan geçmiş çalışmalar daha çok teorik çalışmalar olarak karşımıza çıkmaktadır. Sipariş kabulü ve teslim tarihi belirleme problemi için yöneticilerin kullanacağı ve karar desteği sağlayacağı bir modelin genetik algoritma ile entegre edilmesi ile geçmiş çalışmalardan farklı olarak hem sipariş kabul sürecinin Endüstri 4.0 standartlarında otomattırılması hem de anlık sipariş verilerine göre firmaların maksimum sipariş gelirine ulaşmaları amaçlanmıştır. Yapılan çalışmada kullanılan karar destek modelinde sipariş sıralama yöntemi olarak doğrusal fonksiyon, fcfs, edd ve moora yöntemlerinden yararlanılmıştır. Sonraki çalışmalar farklı yöntemler kullanılarak genişletilebilir. Anlık kararların etkili verilmesi için ise arama algoritması olarak genetik algoritma tekniğinden yararlanılabileceği tavsiye edilmiştir. Yine sonraki çalışmalar yapay sinir ağları, makine öğrenmesi gibi çeşitli öğrenme ve tahmin yöntemleriyle bu konudaki çalışmalara katkı sağlayabilir.

Yapılan çalışma ile ayrıca global ölçekte kullanılan kurumsal kaynak planlaması (ERP) yazılımlarının Endüstri 4.0'a daha uyumlu olabilmeleri adına, ERP üreticilerine burada bahsedildiği gibi sürekli öğrenen ve anlık otonom karar veren karar destek sistemlerini de modüler olarak bulundurmaları tavsiye edilmektedir. Bu çalışma ile yeni nesil pazarlama yönetimi için aynı zamanda yeni nesil bir pazarlama iş süreci de önerilmiş olmaktadır. Dolayısıyla çalışma hem mühendislik hem de beşeri bilimler için farklı bir bakış açısı sunmaktadır. Netice itibarıyla yeni bir pazarlama iş sürecine uyumlu olacak ERP ve PKDS'lerin geliştirilmesi için yeni bir model öne sürülerek Pazarlama 4.0, Endüstri 4.0 ve teslim tarihi literatürüne de yeni bir yol açılmıştır.

Yazarların Katkısı

Bu çalışmanın tamamı, makalenin yazarı olan Cemal Aktürk tarafından yapılmıştır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada, araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar

- [1] Akıllı Üretim Çağı, Fortuneturkey, 2019. <http://www.fortuneturkey.com/akilli-uretim-cagi-endustri-40-42841> (Erişim Tarihi: 20.03.2019).
- [2] Guhlich H., Fleischmann M., Stolletz R. 2015. Revenue Management Approach To Due Date Quoting And Scheduling In An Assemble-To-Order Production System. OR Spectrum, 37 (4): 951-982.
- [3] Demir H.I., Uygun O., Cil I., Ipek M., Sari M. 2015. Process Planning and Scheduling with SLK Due-Date Assignment where Earliness, Tardiness and Due-Dates are Punished. Journal of Industrial and Intelligent Information, 3 (3): 173-180.
- [4] Demir H.I., Cil I., Uygun O., Simsir F., Kokcam A.H. 2016. Process Planning And Weighted Scheduling With Wnoppt Weighted Due-Date Assignment Using Hybrid Search For Weighted

- Customers. *International Journal Of Science And Technology*, 2 (1): Retrieved from <https://grdspublishing.org/index.php/matter/article/view/151>.
- [5] Demir H.İ., Erden C. 2017. Solving Process Planning And Weighted Scheduling With WNOPPT Weighted Due-Date Assignment Problem Using Some Pure And Hybrid Meta-Heuristics. *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 21 (2): 210-222.
- [6] Canyılmaz E., Benli B., Ilkay M.S. 2015. An Artificial Bee Colony Algorithm Approach For Unrelated Parallel Machine Scheduling With Processing Set Restrictions, Job Sequence-Dependent Setup Times, And Due Date. *The International Journal Of Advanced Manufacturing Technology*, 77 (9-12): 2105-2115.
- [7] Aktürk C, Gülseçen S. 2017. Teslim Tarihi Problemi ve İnovatif Bir Karar Modeli Önerisi. *Girişimcilik İnovasyon ve Pazarlama Araştırmaları Dergisi*, 1 (2): 103-119.
- [8] Aktürk C., Gülseçen S. 2018. Sipariş Teslim Tarihi Problemi İçin Çok Kriterli ve Çok Yönteimli Karar Destek Sistemi Önerisi. *İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi İşletme İktisadi Enstitüsü Yönetim Dergisi*, 29 (84): 65-78.
- [9] Tarabasz A. 2013. The Reevaluation of Communication in Customer Approach-Towards Marketing 4.0. *International Journal of Contemporary Management*, 12 (4): 124-134.
- [10] Ertuğrul İ., Deniz G. 2018. 4.0 Dünyası: Pazarlama 4.0 ve Endüstri 4.0. *Bitlis Eren Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 7 (1): 143-170.
- [11] Vassileva B. 2017. Marketing 4.0: How Technologies Transform Marketing Organization. *Óbuda University e-Bulletin*, 7 (1): 47-56.
- [12] Jara A.J., Parra M.C., Skarmeta A.F. 2012. Marketing 4.0: A New Value Added To The Marketing Through The Internet Of Things. *Sixth International Conference On Innovative Mobile and Internet Services in Ubiquitous Computing*, (p. 852-857). Sanpaolo Palace Hotel, Palermo, Italy.
- [13] Ardito L., Petruzzelli A.M., Panniello U., Garavelli A.C. 2018. Towards Industry 4.0: Mapping Digital Technologies For Supply Chain Management-Marketing Integration. *Business Process Management Journal*, 25 (2): 323-346.
- [14] Power D.J. 2014. Using 'Big Data' for Analytics And Decision Support. *Journal of Decision Systems*, 23 (2): 222-228.
- [15] You Z., Si Y.W., Zhang D., Zeng X., Leung S.C., Li T. 2015. A Decision-Making Framework For Precision Marketing. *Expert Systems With Applications*, 42 (7): 3357-3367.
- [16] Ngai E.W.T., Peng S., Alexander P., Moon K.K. 2014. Decision Support And Intelligent Systems In The Textile And Apparel Supply Chain: An Academic Review Of Research Articles. *Expert Systems with Applications*, 41 (1): 81-91.
- [17] Mazzarol T. 2015. Smes Engagement With E-Commerce, E-Business And E-Marketing. *Small Enterprise Research*, 22 (1): 79-90.
- [18] Zekić-Sušac M., Has A. 2015. Data Mining As Support To Knowledge Management In Marketing. *Business Systems Research Journal*, 6 (2): 18-30.
- [19] Gordini N., Veglio V. 2017. Customers Churn Prediction And Marketing Retention Strategies. An Application Of Support Vector Machines Based On The AUC Parameter-Selection Technique In B2B E-Commerce Industry. *Industrial Marketing Management*, 62: 100-107.
- [20] Ekman P., Erixon C., Thilenius P. 2015. Information Technology Utilization For Industrial Marketing Activities: The IT-Marketing Gap. *Journal of Business & Industrial Marketing*, 30 (8): 926-938.
- [21] Fan S., Lau R.Y., Zhao J.L. 2015. Demystifying Big Data Analytics For Business Intelligence Through The Lens Of Marketing Mix. *Big Data Research*, 2 (1): 28-32.
- [22] Althuizen N., Wierenga B., Chen B. 2016. Managerial Decision-Making in Marketing: Matching The Demand And Supply Side Of Creativity. *Journal of Marketing Behavior*, 2 (2-3): 129-176.
- [23] Fırat O.Z., Fırat S.Ü. 2017. Endüstri 4.0 Yolculuğunda Trendler Ve Robotlar. *İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi Dergisi*, 46 (2): 211-223.
- [24] Genetik Algoritma, 2019. <http://www.elektrik.gen.tr/2015/08/genetik-algoritma-ile-iletisim-aglarinda-yonlendirme-optimizasyonu/346> (Erişim Tarihi: 25.03.2019).
- [25] Aydemir E. 2019. Akademik Personel Performans Değerlendirmesinde Bir Karar Destek Sistemi Önerisi. *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, 12 (2): 131-140.

- [26] Khan M.E., Choudhury A., Won D., Friedman A. 2018. Decision Support System for Renal Transplantation. In Avishek Choudhury, Ehsan khan, Decision Support System for Renal Transplantation, Proceedings of the 2018 IISE Annual Conference, Orlando (pp. 431-436).

Araştırma Makalesi / Research Article

An Investigation into the Electrochemical Behavior of Beta-Blocker Drugs Using Reduced Graphene Oxide Modified Screen Printed Electrodes

Hilal ÇELİK KAZICI*

*Van Yüüncü Yıl University, Faculty of Engineering, Department of Chemical Engineering, Van
(ORCID: 0000-0001-6391-1811)*

Abstract

In this study, the electrochemical behavior of propranolol was investigated on screen printed electrodes (SPCE) with reduced graphene oxide (rGO). Oxidation process, cyclic voltammetry (CV) and differential pulse voltammetry (DPV) techniques were conducted by using measurements. The results showed that rGO increased the oxidation rate by increasing the peak current, and therefore oxidizing these drugs at appropriate potentials. The modified SPCE exhibited excellent catalytic activity towards oxidation of the beta-blockers at an unusually positive potential in phosphate buffer solution (PBS). The linear concentration range and the detection limit of the proposed sensor for the detection of propranolol was 5- 50 μM and 2.61 μM , respectively.

Keywords: Beta-blocker, Reduced graphene oxide, Screen printed electrode.

İndirgenmiş Grafen Oksit Modifiye Yüzey Baskılı Karbon Elektrotlar Kullanılarak Beta-Bloker İlaçların Elektrokimyasal Davranışının Araştırılması

Öz

Bu çalışmada, propranololün elektrokimyasal davranışı, indirgenmiş grafen oksit (rGO) ile modifiye edilmiş yüzey baskılı karbon elektrotlar (SPCE) ile incelenmiştir. Oksidasyon işlemi, döngüsel voltametri (CV) ve diferansiyel puls voltametri (DPV) teknikleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar, rGO'nun oksidasyon pik akımını artırarak bu ilaçları uygun potansiyellerde oksitlediğini göstermiştir. Modifiye edilmiş SPCE, beta-blokerlerin, fosfat tampon çözeltisinde (PBS) alışılmadık derecede pozitif bir potansiyelde oksidasyonuna doğru mükemmel katalitik aktivite sergilemiştir. Propranololün tespiti için önerilen sensörün doğrusal konsantrasyon aralığı ve tespit limiti, sırasıyla, 50 μM ve 2.61 μM olarak elde edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Beta-bloker, İndirgenmiş grafen oksit, Yüzey baskılı elektrot.

1. Introduction

The action mechanism of beta-blockers on the sympathetic nervous system is based on the binding of the β_1 and β_2 receptors and inhibiting the effects of norepinephrine and epinephrine [1]. These substances are used in the treatment of hypertension, cardiac arrhythmias and angina pectoris [2]. There are two types of beta-blockers, which are generally used in the treatment of hypertension. These are selective beta-blockers (β_1) such as atenolol, betaxolol, bisoprolol, metoprolol, nebulolol and nonselective beta-blockers (β_1 , β_2) such as propranolol, carteolol, penbutolol, pindolol, timolol.

Carvedilol is a α_1 and β_1 beta blocker [3]. Propranolol is the first beta blocker to be used in the clinical treatment of angina pectoris. The active substance of this drug reduces blood pressure in all vessel beds except for the brain vessels, reduces blood pressure and controls cardiac arrhythmia. It also

*Corresponding author: hilalkazici@vyu.edu.tr
Received: 26.04.2019, Accepted: 11.07.2019

decreases the volume of breath in the bronchi and bronchioles by blocking the β_2 receptors. Another important action mechanism of propranolol is that it controls anxiety and stress somatic symptoms [4]. Due to the widespread use of blockers, it has become increasingly important to detect the reliability of these drugs accurately. For this purpose, a variety of methods such as spectrophotometry [5], gas chromatography [6], capillary electrophoresis [7] and high performance liquid chromatography [8] have been developed. In contrast to these methods, electrochemical methods have taken an important place in the literature as being more suitable for the detection of drugs due to their low cost as well as their high degree of sensitivity. Electrochemical methods are the most suitable methods for investigating the redox behavior of drugs and other substance [9-11]. The most striking feature of modern electroanalytical methods is that they are not affected by any materials that can interfere. Therefore, the samples can be prepared simply by dissolving the pharmaceutical component in a suitable solvent.

In a study on the determination of propranolol electrochemically, the surface was modified with copper oxide using carbon paste electrode [9]. The linear concentration range started from 10 μM . It is clear that concentrations below 10 μM cannot be measured accurately. However, in this study a very good linear concentration of 5-50 μM was obtained. Although the detection limits are very close to the two studies.

In this study, the redox behavior of antihypertensive drugs such as carvedilol and metoprolol were investigated, however a detailed electro-catalytic study was carried out on propranolol. For this purpose, a screen printed electrode (SPCE) system modified with reduced graphene oxide (rGO) was developed to ensure that propranolol can be examined in a fast, reliable and reproducible manner with redox behavior thanks to voltammetric methods. A rapid and simple method with in situ monitoring was developed without complex sample pre-treatments with SPCE. In recent years, graphene based materials have caught great attention in various applications including catalyst and electrocatalysts because of their superior electrical conductivity and load mobility. Therefore in this study, the SPCE surface was modified with rGO. A single-use, cost-effective electrocatalytic method was developed with rGO for the investigation of the electrochemical behavior of propranolol.

2. Experimental

2.1. Chemicals and reagents

Potassium dihydrogen phosphate (KH_2PO_4), potassium hydrogen phosphate (K_2HPO_4), potassium chloride (KCl) and sodium hydroxide (NaOH) were obtained from Merck. rGO (15-20 sheets, 4-10% edge-oxidized), propranolol, carvedilol, metoprolol and nafion (5% w/v) were obtained from Sigma-Aldrich.

Electrochemical measurements were performed with the help of Bio-Logic SP50 model potentiostat. SPCE (Working electrode: C (4 mm), Auxiliary electrode: C and Reference electrode: Ag / AgCl (0.1 M KCl)) were obtained from Dropsens. A calibrated Mettler Toledo pH-meter was used to prepare the buffer at the desired pH at room temperature. The mixing process at the desired rate for solution dispersion was carried out with Isolab model magnetic stirrer. TEM TPG 320 model 0.001 mg sensitive electronic balance was used for weighing the solid chemicals. The ultra-pure water used in the experiments was obtained from the Millipore Milli-Q Direct Q-3 ultra-pure water device.

2.2. Cleaning and activation of electrode surface

In order to obtain optimum electrochemical performance of SPCE, mild electrochemical activation is required [12]. The cleaning and activation of the electrode surface lead to an increase in the current of electrochemical measurements, a reduction in the signal-to-noise ratio and a reduction of irreversible reactions. The electrochemical pretreatment for the activation of the electrode surface was carried out in a buffered buffer of 0.1 M pH 8, at a scanning speed of 50 mVs^{-1} and by applying cyclic voltammetry at a potential range of - 0.5 to + 0.7 V [13]. Before using the electrodes, the surface was cleaned and activated, washed with ultra-pure water and dried with high purity nitrogen (N_2) gas.

2.3. Preparation of standard and support electrolyte solution

Propranolol, carvedilol and metoprolol were dissolved in ethanol. A 0.1 M stock solution was prepared by weighing 0.75 mg of propranolol which was dissolved with ethanol at a total volume of 25 mL. 1 mg of carvedilol and 0.2 mg of metoprolol were carefully weighed and dissolved in ethanol to complete the total volume to 25 mL. Standard substances in different concentrations were prepared by diluting the support electrolytes from stock solutions.

In the experiments, 0.2 M phosphate buffer solution (PBS) prepared using KH_2PO_4 and K_2HPO_4 in 0.1 M KCl was used as a support electrolyte. During the preparation of the support electrolyte, pH adjustment was made by adding 1 M NaOH or 1 M HCl. All solutions used in the experiments were prepared in phosphate buffer system.

2.4. Modification of screen printed electrodes with rGO

For the modification of SPCE, 3 μL of the rGO solution was drop-casted onto the working electrode surface. Electrode was kept in the dark at room temperature until it was dry [14]. It was then cleaned in ultrapure water for 15 minutes with a magnetic stirrer and dried with high purity N_2 gas.

2.5. Electrochemical measurements

Electrochemical measurements were performed using electrochemical techniques such as cyclic voltammetry (CV) and differential pulse voltammetry (DPV). As a result of using the CV techniques, the nature of the electrochemical reactions was revealed in a short time. In CV, the current-potential change is usually in the form of a peak. The effect of the scan rate was monitored in the studied potential range. The relation between peak height and scanning speed gives information about the mechanism of adsorption, diffusion or kinetics.

In DPV, pulses with constant amplitude were applied to the increased direct current potential in normal voltammetry. The current was measured before and after the pulse. The difference between the currents was plotted against the potential and the height of the peak was directly proportional to the concentration of the analyte. Therefore, this technique can be used for qualitative analysis.

3. Results and Discussion

3.1. Electrochemical behavior of beta blockers on the SPCE

Voltammetric behavior of propranolol is shown in Figure 1 using a bare SPCE and modified SPCE with rGO in pH 7.0 and 0.1 M PBS. On the bare electrode surface, no significant peak of propranolol was observed. It is clear that the current is very low in the voltamogram which shows that the determination of propranolol by a bare electrode system is not possible. However, a high-current oxidation peak of about 0.7 V (750 μA) around 0.5 V was obtained for propranolol on the rGO/SPCE surface.

After the determination of the working electrode type, the electrochemical behaviors on the surface of the rGO/SPCE were investigated using carvedilol and metoprolol (Figure 2). For this purpose, CV measurements of 1 M propranolol, carvedilol and metoprolol solution in 0.1 M PBS with a pH of 7.0 were carried out.

It was observed that propranolol provided the best peak current from the beta blockers prepared under the same conditions (Figure 3). The oxidation process on the rGO/SPCE surface showed a high electrocatalytic effect for propranolol. Therefore, an effective method for selective oxidation of beta-blocker drugs was developed. The oxidation mechanism for the beta-blocker drug studied is presented in Figure 3.

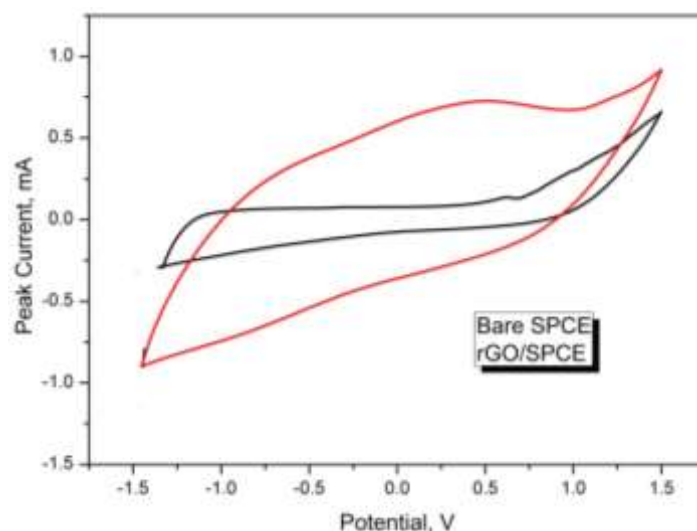


Figure 1. CV of 1 mM propranolol on bare electrode and rGO modified surfaces, support electrolyte: 0.1 M PBS, pH 7.0, scan rate 50 mV s⁻¹

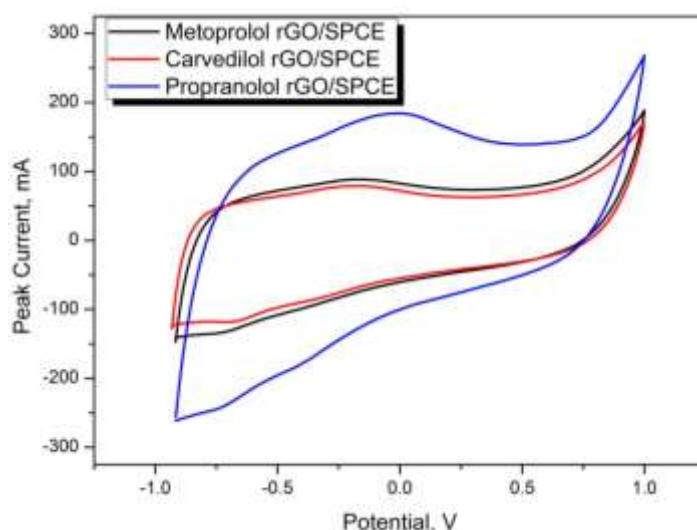


Figure 2. CV on 0.5 mM propranolol, metoprolol and carvedilol rGO/SPCE modified surfaces, support electrolyte: 0.1M PBS, pH 7.0, scan rate 50 mV s⁻¹

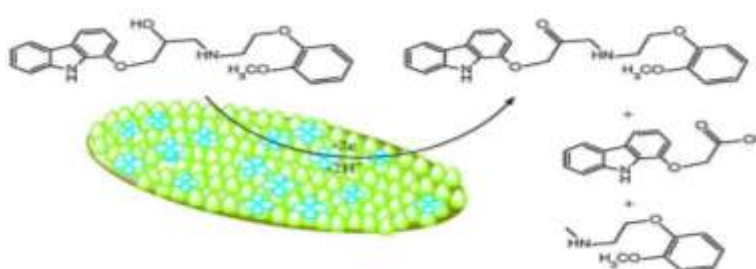


Figure 3. Oxidation mechanism of propranolol

When the current passes through the interface between the solution and the electrode, oxidation occurs in one of the electrodes and the reduction reaction occurs, and these reactions are referred to as Faraday laws [15]. Figure 4 illustrates the most appropriate potential for the transfer of electrons between the electrode and the solution interface. As can be seen from the figure, when the 1.5 V potential was applied, the highest (500 μ A) oxidation peak current was obtained.

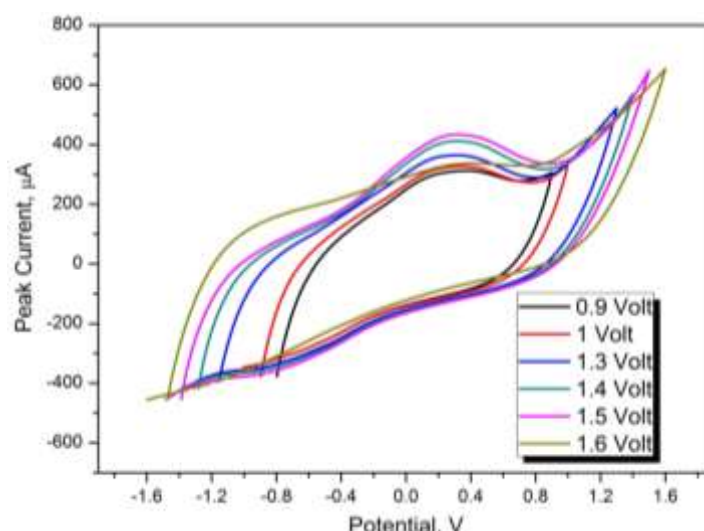


Figure 4. Propranolol CV of optimal working potential on rGO/SPCE modified surfaces: 1 mM propranolol, support electrolyte 0.1 M PBS, pH 7.0, scan rate 50 mVs⁻¹

The CVs of propranolol in PBS ranging from pH 5.0 to 10.0 in 1 mM concentration are shown in Figure 5. As can be seen from the voltammograms, while no oxidation peaks were observed at pH 5.0 or 10.0, peaks were observed at pH 7.0 and 8.0 at about +0.5 V. According to the results of the pH scan of propranolol, it was observed that the current response was high in the PBS buffer and the smoothest shape was obtained at pH 8 (Figure 5).

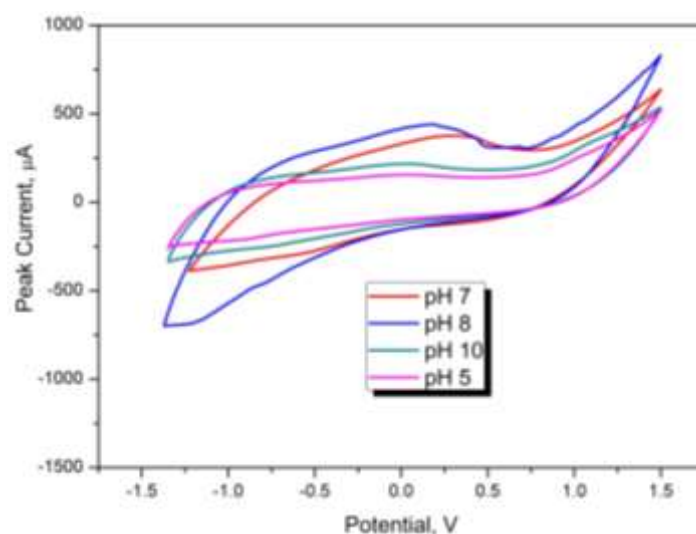


Figure 5. CVs of 1 mM propranolol in the pH 5.0-10.0 range PBS, scan rate: 50 mV s⁻¹

The pH of the solution increased from 7.0 to 8.0 and the peak potential shifted to negative potential, therefore it was found that the electrochemical reaction of propranolol also included the transfer of protons.

The CVs of the rGO/SPCE electrodes were taken at different scan rates in 1 mM pH 8.0 PBS. The CVs obtained for each electrode are given in Figure 6. Furthermore, the graphs of the anodic peak currents were plotted against the square root of the scan rate (Figure 7). It can be seen from the CVs that the anodic peak currents increase as the scan rate increases. This increase in the anodic peak currents is linear with the square root of the scan rate. According to these results, the electrochemical process formed by the oxidation of propranolol in the rGO/SPCE electrode is diffusion controlled.

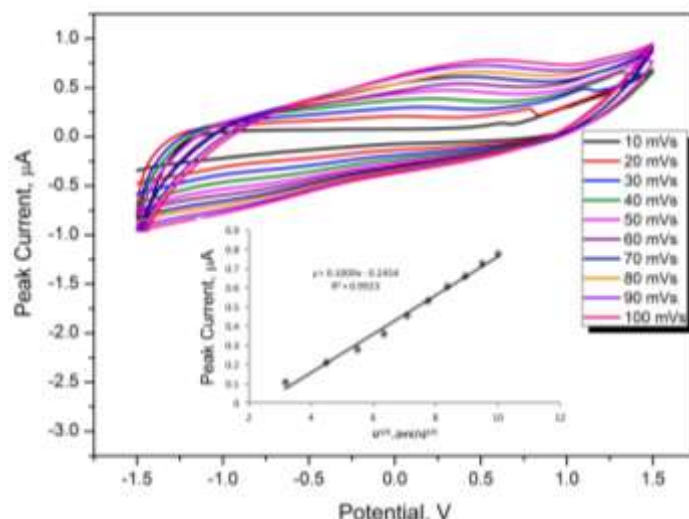


Figure 6. CVs of rGO/SPCE electrode in the range of -1.5 V to +1.5 V potential, scan rate: 10-100 mVs⁻¹, 1 mM propranolol pH 8.0 PBS, inset graph: square root of peak current-scan rate from CVs

Through the DPV voltammetric techniques, the detection limits can be reduced to very low levels. As a result of advantages such as no separation process for analysis and also the fact that the analysis is conducted in a short time, solutions containing propranolol were prepared in order to generate the calibration graph. This technique was used to plot the peak currents for the propranolol-containing solutions in the range of 0.005 s pulse width and 0.5 V amplitude [16]. The optimum operating range was determined up to 50 µM and the corresponding graph is shown in Figure 7. The calibration graph equation was obtained as follows: $I_p = 0.3027C_{\text{propranolol}} + 36.259$ and 0.9922 with correlation coefficient (Figure 8). With this technique, parameters such as limit of quantification, limit of detection and sensitivity for analytical characterization of the rGO/SPCE electrode were determined (Table 1).

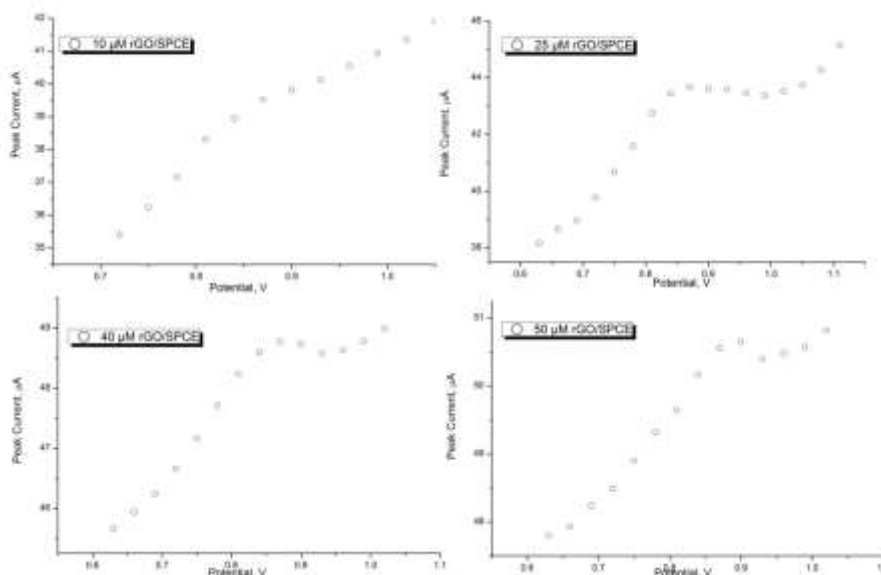


Figure 7. Anodic oxidation curves recorded in rGO/SPCE at different analyte concentrations of propranolol in potassium buffer, pH = 8 PBS, pulse amplitude: 50 mV; scan rate: 50 mV/s

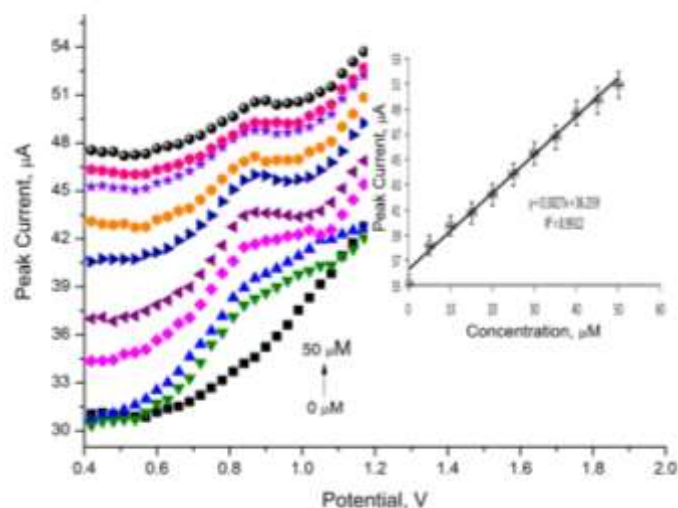


Figure 8. Anodic oxidation curves recorded in rGO/SPCE at different analyte concentrations of propranolol in potassium buffer (pH = 8 PBS), (pulse amplitude: 50 mV; scan rate: 50 mV/s): inset graph: Calibration graph obtained by DPV technique for propranolol

Table 1. Analytical parameters obtained from the rGO/SPCE electrode for the determination of propranolol by DPV

| | |
|-------------------------|---|
| Limit of Detection | 2.61 μM |
| Limit of Quantification | 8.72 μM |
| Linear Range | 5- 50 μM |
| Sensitivity | 4263.38 $\mu\text{A}\cdot\text{mM}^{-1}\cdot\text{cm}^{-2}$ |

As seen in Table 1, the sensitivity of the rGO/SPCE electrode is quite high. This is due to the rapid transfer of electrons, with the increase of the electroactive surface area and electronic conductivity. The limit of detection and the limit of quantification can be calculated by the following equation based on the standard deviation and slope:

$$\text{LOD} = \frac{3 \cdot s_{y/x}}{m} \quad (1)$$

$$\text{LOQ} = 3 * \left(\frac{3 \cdot s_{y/x}}{m} \right) \quad (2)$$

Where $s_{y/x}$ is the standard error of the graph and m is the slope of the calibration graph [17]. The calibration graph was drawn with optimum working conditions and the $y = ax + b$ equation was obtained. Standard error of the calibration graph can be calculated by the following equation:

$$s_{y/x} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (y_i - \hat{y})^2}{N-2}} \quad (3)$$

4. Conclusion and Recommendations

In this study, a new electrochemical sensor for propranolol analysis was developed with rGO/SPCE. The kinetic studies of propranolol were performed with CV at a scan rate of 10-100 mVs^{-1} in 0.1 M pH 8 PBS. The propranolol oxidation mechanism was irreversible and diffusion controlled. After optimizing the best operating conditions of the developed sensor (pH, voltage, scanning speed, etc.), the most important analytical performance values of a sensor, the limit of detection and the limit of quantification, the linear concentration range and the sensitivity properties were examined. The propranolol linear concentration range was found as 5- 50 μM , the detection and quantification limits were 2.61 μM and 8.72 μM , and the sensitivity of the sensor was 4263.38 $\mu\text{A}/\text{mM}\cdot\text{cm}^2$, respectively.

This study proposes an easy and cost-effective sensor structure for the selective determination of propranolol. The low detection limit (low micromolar) is very useful in making simple devices for the detection of propranolol in pharmaceutical preparations.

Author's Contributions

Concept, design, resources, data collection and/or processing, analysis, literature search and writing manuscript - H.Ç.K

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] Moscou K., Snipe K. 2013. Pharmacology for Pharmacy Technicians. Elsevier, Missouri, 354-357.
- [2] Vázquez P., Martínez Galera M., Serrano Guirado A. 2010. Determination of five beta-blockers in wastewaters by coupled-column liquid chromatography and fluorescence detection. *Analytica Chimica Acta*, 666: 38-44.
- [3] Sendon J.L., Swedberg K., McMurray J., Tamargo J., Maggioni A.P., Dargie H. 2004. Expert consensus document on beta-adrenergic receptor blockers, *European Society of Cardiology*, 25: 1341-1362.
- [4] Frishman W.H. 2008. Beta-adrenergic blockers: a 50-year historical perspective. *American Journal of Therapeutics*, 15: 565-76.
- [5] Santoro M.I.R.M., Cho H.S., Kedor-Hachman E.R.M. 1996. Simple template-free solution route for the synthesis of Cu(OH)₂ and CuO nanostructures and application for electrochemical determination three β-blockers. *Analytical Letters*, 29: 775.
- [6] Siren H., Saarinen M., Hainari S., Riekkola M.L. 1993. Screening of beta-blockers in human serum by ion-pair chromatography and their identification as methyl or acetyl derivatives by gas chromatography-mass spectrometry. *Journal of Chromatography A*, 632:215.
- [7] Clohs L., McErlane K.M. 2003. Comparison between capillary electrophoresis and high-performance liquid chromatography for the stereoselective analysis of carvedilol in serum. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 31: 407.
- [8] Modamio P., Lastra C.F., Marino E.L. 1998. Error structure for the HPLC analysis for atenolol, metoprolol and propranolol: a useful weighting method in parameter estimation. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 17: 507.
- [9] Nasrin S., Mohammad H., Lotfali S., Robab M., Abolghasem J. 2011. Electrochemical behavior of atenolol, carvedilol and propranolol on copper-oxide nanoparticles. *Electrochimica Acta*, 58: 336-347.
- [10] Kazıcı H.C, Yayla M, Ulaş B, Aktaş N, Kivrak H. 2019. Development of Nonenzymatic Benzoic Acid Detection on PdSn/GCE/Vulcan XC-72R Prepared via Polyol Method. *Electroanalysis*, 31: 1118-1124.
- [11] Kazıcı H.C, Salman F., Kivrak H.D. 2017. Synthesis of Pd–Ni/C bimetallic materials and their application in non-enzymatic hydrogen peroxide detection. *Materials Science-Poland*, 35: 660-666.
- [12] Nassef H.M., Civit L., Fragoso A., Sullivan C.K. 2008. Amperometric sensing of ascorbic acid using a disposable screen-printed electrode modified with electrografted o-aminophenol film. *Analyst*, 133: 1736-1741.
- [14] Mccreey R.L. 2008. Advanced Carbon Electrode Materials for Molecular Electrochemistry. *Chem. Rev.*, 108: 2646-2687.

- [15] Serafin V., Agul L., Yanez-Sedeno P., Pingarron J.M. 2011. A novel hybrid platform for the preparation of disposable enzyme biosensors based on poly(3,4-ethylenedioxythiophene) electrodeposition in an ionic liquid medium onto gold nanoparticles-modified screen-printed electrodes. *Journal of Electroanal Chem.*, 656: 152-158.
- [16] Olson M.P., Lacourse W.R. 2004. Voltammetry. In: *Ewing's Analytical Instrumentation Handbook*, Ed.: Cazes, J., 3rd Ed. Boca Raton FL: CRC Press, 529-544.
- [17] Greef R.G., Peat R., Peter L.M., Pletcher D., Robinson J. 1990. *Instrumental Methods in Electro Chemistry*. London, Ellis Horwood series in Physical Chemistry.
- [18] Kazici H.C. 2018. The Ultra-sensitive method development using Nafion and multi-walled carbon nanotube coated glassy carbon electrode for atenolol determination. *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences*, 24: 1287-1292.

Araştırma Makalesi / Research Article

Mekanik Alaşımlama Yöntemi ile Üretilen Nanoyapılı Al₆₆Co₂₀Cu₁₄ Tozlarının Termal ve Mikroyapısal Özellikleri

Mustafa OKUMUŞ*

*Batman Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Batman, Türkiye
(ORCID: 0000-0003-0369-7686)*

Öz

Bu çalışmada, Al₆₆Co₂₀Cu₁₄ alaşımı elementel tozlarından mekanik alaşımlama (MA) yöntemi ile üretilmiştir. Farklı öğütme aşamalarında MA ile üretilen alaşımın mikroyapısal değişiklikleri ve termal davranışları, diferansiyel termal analiz (DTA), X-ışını kırınımı (XRD) ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) enerji yayımlı X-ışını analizi (EDX) kombinasyonu ile araştırılmıştır. XRD sonuçları Al₂Cu, Al₁₃Co₄ gibi yeni intermetalik fazların oluşumunu göstermiştir. Öğütme süresine bağlı olarak tane büyüklüğü kırılma ve deformasyon sonucu küçülerek 25.2 nm olarak ölçülmüştür. 100 saatlik öğütme ile üretilen numune için faz geçiş aktivasyon enerjileri hesaplandı ve sonuçlar üretilen alaşımın termal kararlılığa sahip olduğunu göstermiştir. Ayrıca, numunelerin mikroyapısı ve toz bileşenlerin alaşım içerisindeki dağılımı, SEM/EDX sonuçlarına göre öğütme süresi arttıkça tane boyutunda küçülme ve daha homojen bir yapı oluştuğunu bulunmuştur.

Anahtar kelimeler: Al-bazlı alaşımlar, Mekanik alaşımlama, Mikroyapı, Termal özellikler.

Thermal and Microstructural Properties of Nanostructured Al₆₆Co₂₀Cu₁₄ Powders Produced by Mechanical Alloying Method

Abstract

In this study, Al₆₆Co₂₀Cu₁₄ alloy is produced from its elemental powders by mechanical alloying (MA) method. Microstructural changes and thermal behavior of the alloy produced by MA in different grinding stages were investigated by a combination of differential thermal analysis (DTA), X-ray diffraction (XRD) and scanning electron microscopy (SEM) with energy diffusion X-ray analysis (EDX). XRD results showed the formation of new intermetallic phases, such as Al₂Cu, Al₁₃Co₄. Depending on the milling time, the grain size was reduced to 25.2 nm as a result of the fracture and deformation. For the sample produced with 100 hours of milling, the phase transition activation energies were calculated and the results showed that the alloy produced had thermal stability. In addition, the microstructure of the samples and the distribution of the powder components in the alloy, according to the SEM/EDX results, it was found that as the grinding time increased, the grain size decreased and a more homogeneous structure was formed.

Keywords: Al-based alloys, Mechanical alloying, Microstructure, Thermal properties.

1. Giriş

Teknolojik gelişmeler, farklı özelliklere ve uygulamalara sahip yeni tür malzemelerin geliştirilmesiyle olmaktadır. Araştırmacılar teknolojik uygulamalarda üstün fiziksel, yüzeysel, elektronik, mekanik ve termodinamik özelliklere sahip malzemelerin önemini göstermişlerdir [1]. Günlük hayatta kullanılan alet ve makineleri oluşturan malzemelerin özellikleri üstün olmalıdır ki malzeme ömrü de uzun olsun. Bundan dolayı nanoyapılı teknolojik malzemelerin önemi gün geçtikçe artmaktadır. Bu teknolojik malzemeleri üretmek için farklı yöntem ve teknikler kullanılmıştır. Bu tekniklerden biri de mekanik alaşımlama (MA) tekniğidir ve nanoyapıda alaşım veya kompozit malzeme üretmek için son yıllarda

*Sorumlu yazar: mustafa.okumus@batman.edu.tr
Geliş Tarihi: 15.05.2019, Kabul Tarihi: 23.09.2019

yaygınca kullanılmaktadır [2-4]. Teknolojik malzemelerin kullanım alanları arttıkça rekabet ortamı oluşmakta ve dolayısıyla daha kaliteli malzemelerin daha düşük maliyetlerle piyasaya arz edilmesi gerekmektedir. Bu gereklilik sanayide kullanılan malzemelerinin geliştirilerek üstün özelliklere sahip olmasını zorunlu kılmaktadır. Al-bazlı alaşımlar, düşük özgül ağırlığa ve yüksek mukavemete, ısı iletkenliğe ve korozyon direncine sahip olması, kolay işlenebilmesi ve ayrıca daha ekonomik olması gibi özelliklerinden dolayı sanayide yaygın olarak kullanılmaktadır [5-8]. Hava araçlarında ve otomobil sanayisinde kullanılan malzemelerde rakiplerine göre daha üstün özelliklere sahip malzemeleri MA tekniği ile üretmek çalışmamızın ana temasıdır. Bu çalışmada hava ve otomobil sanayisinde kullanılmak üzere Al-Co-Cu üçlü alaşım sistemi nanoyapıda üretilmiştir. Alaşım sisteminin karakterizasyonu diferansiyel termal analiz (DTA), X-ışını kırınımı (XRD) ve taramalı elektron mikroskopu (SEM) ile yapılmıştır.

Al-bazlı alaşım sistemlerinde kuazikristal, amorf ve nanokristal yapı elde edebilmek için oldukça fazla çalışmalar yapılmıştır. Fakat Al-Co-Cu üçlü alaşım sistemi üzerine yapılan çalışmalar sınırlı kalmıştır. Mukhopadhyay ve ark. [9] $Al_{65}Cu_{20}Co_{15}$ dekağonal fazını 10, 20 ve 30 saat sürelerinde yüksek enerjili planetary tip bilyalı öğütme değirmeninde mekanik olarak ve yavaş soğutma tekniğini kullanarak sentezlemişler ve özelliklerini incelemişlerdir. Yamauchi ve ark. [10] kimyasal sızıntı için Al-Co-Cu üçlü alaşımını hızlı katılaştırma ve mekanik alaşımlama tekniği ile üretmişlerdir. Üretilen alaşımların yapılarını SEM, XRD, EPMA (electron probe microanalyzer) ve DSC ölçümleri ile incelemişlerdir. Bogdanowicz [11], ısı işleminin iki alt-taneli Al-Cu-Co alaşımının tekli kuazikristallerinin alt grain parametreleri (misorientation açısı ve gerilme alanı) ve mikroyapı üzerindeki etkisini incelemiştir. Mishra ve ark. [12] $Al_{65}Cu_{15}Co_{20}$ ve $Al_{65}Cu_{20}Co_{15}$ dekağonal kuazikristal alaşımlarına kimyasal liç etkisini araştırmışlar. Araştırma sonucuna göre Al atomlarının çoğu, üçlü $Al_{65}Cu_{15}Co_{20}$ ve $Al_{65}Cu_{20}Co_{15}$ alaşımlarından kimyasal liç yoluyla giderilmiş ve liç sonucu alaşımlarının yüzey yapısı değiştirilmiştir. Roik ve ark. [13] kuazikristal formuna yakın sıvı Al-Cu-Co alaşımlarının yapısını XRD ve Monte Karlo modeli ile araştırmışlardır. Inoue [14] tarafından yapılan çalışmalarda çoklu alaşımların (alaşımı oluşturan element sayısı üçten fazla ise) daha kolay olarak ve hatta hızlı soğutmaya gerek kalmadan amorf yapıda üretilebileceği gösterilmiştir. Bu çalışmanın amacı ise yapılan literatür çalışmalarından farklı olarak $Al_{66}Co_{20}Cu_{14}$ (at.%) kompozisyonuna sahip nanoyapılı tozları mekanik alaşımlama tekniği ile üretmek ve öğütme süresine bağlı olarak tozlarda gerçekleşen mikroyapısal ve termal değişimleri incelemektir.

2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada kullanılan saf Al-Co-Cu elementel tozları Sigma Aldrich firmasından temin edilmiştir. Temin edilen metal tozlarının özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Deney çalışmasında kullanılan tozların özellikleri

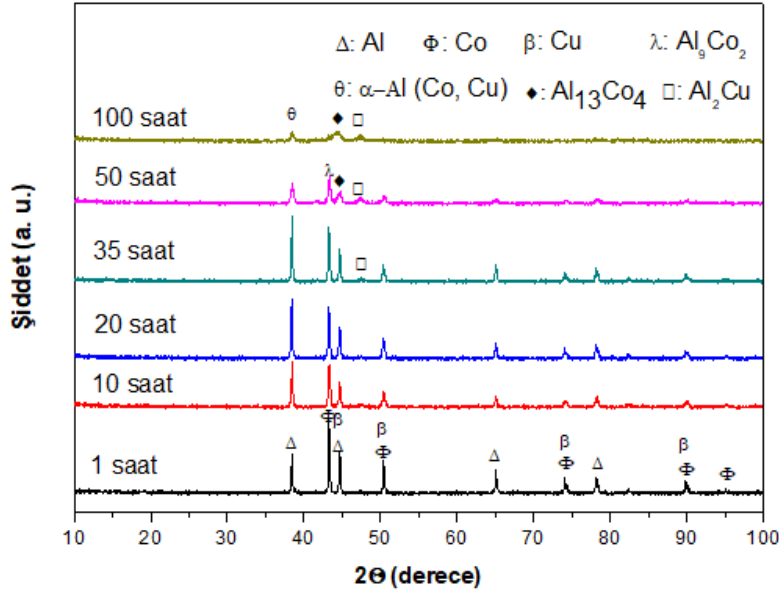
| Metal | Safılık (%wt) | Boyut (mesh) | Erime Sıcaklığı (°C) | Özgül Ağırlık (g/cm ³) | Atom Kütlesi (g/mol) |
|-------|---------------|--------------|----------------------|------------------------------------|----------------------|
| Al | 99.8 | -325 | 660.4 | 2.7 | 26.98 |
| Cu | 99.9 | -325 | 1085 | 8.93 | 63.55 |
| Co | 99.8 | -325 | 1495 | 8.6 | 58.93 |

$Al_{66}Co_{20}Cu_{14}$ (% at) nominal stokiometrik hesaplamaya uygun olarak hassas terazi ile her numune 20 g olacak şekilde tartılmıştır. Tartılan numuneler bilye/toz oranı 10:1 olacak şekilde bilyelerle birlikte bir paslanmaz çelik öğütme hücresinde mekanik alaşımlanmıştır. Mekanik alaşımlama işlemi XQM-2 yüksek enerjili planetary tip cihazda argon gazı altında ve 350 rpm hızında gerçekleşmiştir. Mekanik alaşımlama cihazı belirlenen alaşımlama süresi içerisinde 20 dakika çalışıp 20 dakika dinlendirilmiştir. Bu işlemin amacı alaşımlama esnasında sıcaklığın düşürülmesidir.

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. XRD Çalışmaları

Mekanik alaşımlama tekniği ile üretilen $Al_{66}Co_{20}Cu_{14}$ toz malzemelerinde faz analizleri X- ışını kırınımı (XRD) ile yapıldı. Numuneler XRD cihazının (Philips X'Pert PRO) 40kV ve 30mA olarak ayarlanması ile monokromatik $CuK\alpha$ radyasyonuna ($\lambda=0.154056$ nm) tabi tutuldu. XRD analizleri tüm numuneler için; oda sıcaklığında, 10° den 100° ye kadar $0.2^\circ/s$ hızında ölçümler alındı. Elde edilen XRD sonuçları Şekil 1'de verilmiştir.



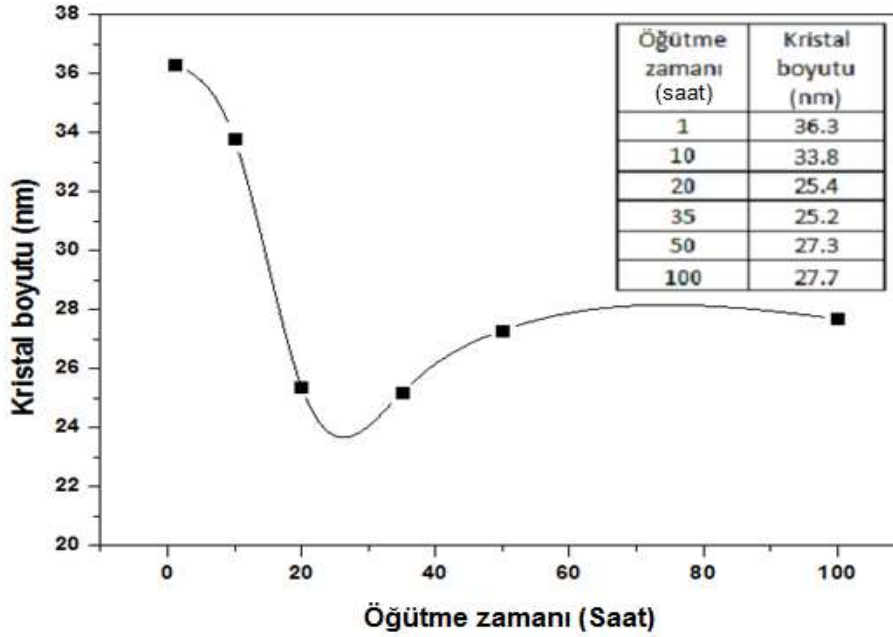
Şekil 1. $Al_{66}Co_{20}Cu_{14}$ alaşımlarının farklı öğütme süreleri için XRD sonuçları

Bu sonuçlara göre 35 saat öğütme süresine kadar Al, Co ve Cu fazları gözlenmiştir. Aynı zamanda pik şiddetlerinde bir azalma söz konusu olduğundan üretilen tozların tane boyutunda da bir azalma olmuştur. Öğütme süresi 35 saatten 50 saate çıkarıldığında ise alaşımlama başlamış ve tane boyutu büyümüştür. 50 saat öğütme süresi sonunda α -Al (Co, Cu), $Al_{13}Co_4$, Al_9Co_2 ve Al_2Cu intermetalik fazları gözlenmiştir. Elde edilen bu sonuçların literatür [10, 15, 16] sonuçlarıyla uyum içinde olduğu görülmüştür. Öğütme süresi 100 saate çıkarıldığında Al_9Co_2 fazı da yüksek enerjili deformasyonlar sonucu çözünerek yok olduğu düşünülmektedir. Bu fazlar gözlendikten sonra toz tane boyutunda fazla bir değişiklik gözlenmemiştir. Öğütme süresine bağlı olarak toz tane boyutu değişim grafiği ve değerleri Şekil 2'de verilmiştir. Tane boyutu değerleri XRD sonuçlarından yararlanarak Debye Scherrer denklemi ile hesaplanmıştır [17]. Araştırmacılar tane boyutu çalışmalarında genellikle Debye Scherrer denklemini kullanmışlardır. Çünkü bu denklem TEM (transmission electron microscopy) ölçümlerine en yakın değeri vermektedir. Debye Scherrer denklemi aşağıda verilmiştir:

$$D = \frac{0.9\lambda}{\beta \cos\theta} \quad (1)$$

Burada, D ortalama kristalit boyutu, λ X-ışını dalga boyu, B maksimum şiddetli pikin yarı pik genişliği (radyan) ve θ maksimum şiddetli pikin XRD kırınım açısıdır. Bu eşitlik kullanılarak hesaplanan değerler Şekil 2'de verilmiştir. Şekil 2'de görüldüğü gibi 0-20 saatlik MA işlemi süresinde $Al_{66}Co_{20}Cu_{14}$ alaşım tozlarının tane (kristalit) boyutunda hızlı bir düşüş olmuş ve 25.4 nm olarak bulunmuştur. Öğütme süresi 35 saate çıkarıldığında kristalit boyutunda yine düşme (25.2 nm) devam etmiş, fakat keskin bir düşüş sonrası kristalit boyutunda artış başlamıştır. Öğütme süresi 50 saate çıkarıldığında kristalit boyutu artarak 27.3 nm olmuştur. Bu artışın nedeninin yeni intermetalik $Al_{13}Co_4$, ve Al_9Co_2 fazlarının oluşmasından kaynaklandığı anlaşılmıştır. Öğütme süresi 100 saat olduğunda ise deformasyon süreci tamamlanarak yeni bir intermetalik faz oluşmadığından tozların kristal boyutunda

dikkate değer bir değişim olmamıştır. Sonuç olarak MA sürecinde $Al_{66}Co_{20}Cu_{14}$ alaşım tozlarının en düşük kristal boyutu yaklaşık 25 nm olarak hesaplanmıştır.

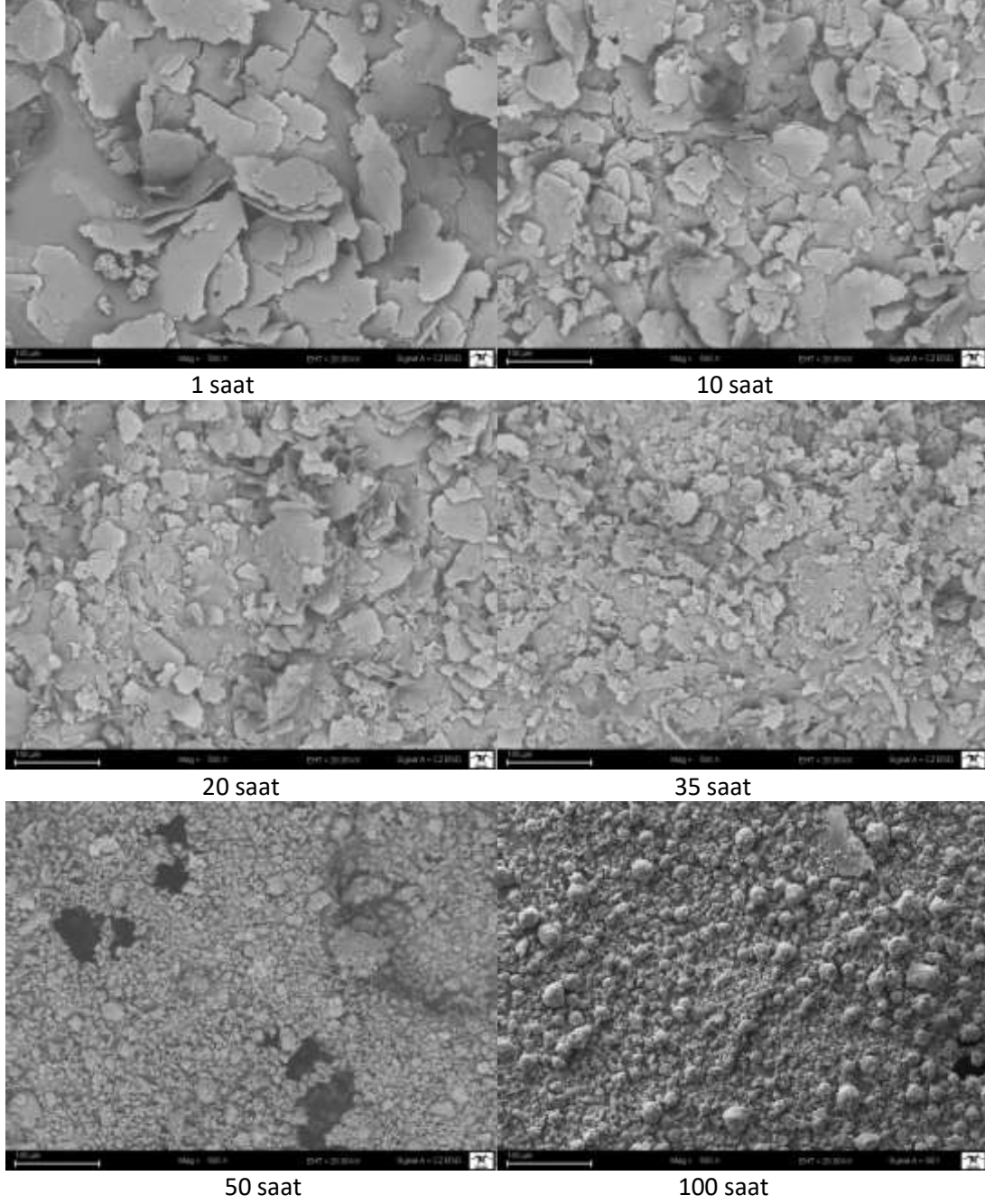


Şekil 2. $Al_{66}Co_{20}Cu_{14}$ alaşımının farklı öğütme süreleri için kristal boyutları

3.2. SEM/EDX Çalışmaları

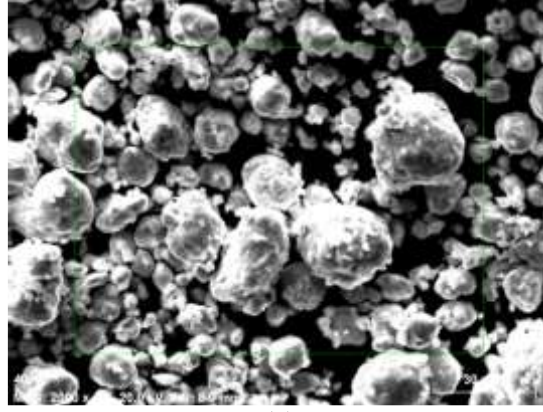
Mekanik alaşımlama ile üretilen $Al_{66}Co_{20}Cu_{14}$ tozlarının partikül boyutu ve yapısı gibi fiziksel özelliklerinin belirlenmesi için tozlar taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile morfolojik incelemeye tabi tutulmuştur. Tozlara ait çeşitli SEM görüntüleri Şekil 3’de verilmiştir. Resimlerde alaşım tozlarının tane boyutlarında değişiklikler görülmüştür. Şekil 3 incelendiğinde, tabakalı ve genellikle düzensiz şekilli tozlar olduğu, mekanik alaşımlama etkisiyle toz tanelerin farklı şekil ve boyutlara sahip olduğu görülmektedir. 50 saat öğütme sonrasında ise deformasyon sertleşmesinden dolayı kırılmayarak birbirine soğuk kaynaklanmış tozlardan oluşan iri taneli partiküller görülmektedir. Bu tozların yüksek büyütme ile elde edilen görüntülerinde tozların öğütülmesi sırasında partiküllerin çarpışan bilyelerin arasında defalarca kaldığı ve kaynaklaşarak yaklaşık küresel bir yapı oluşturduğu görülmektedir. Kaynaklaşma işlemi yüksek hızda dönen değirmende karıştırıcı bilyeler arasında kalan tozların ezilmesinden kaynaklanmaktadır.

Ayrıca SEM çalışmalarında değişen süre bakımından da bir karşılaştırma yapmak mümkündür. Resimlerde partikül boyutunun öğütme süresinin artması ile kırılmalardan dolayı azaldığı ve sonra soğuk kaynaklanmadan dolayı tekrar arttığı görülmektedir. Öğütme süresinin artması ile partiküller yavaş yavaş homojen ve daha yumuşak kenarlı kırılğan tabakalı yapıya ulaşmaya başlamıştır. Bunun yanında yapıda topaklanmalar sonucu oluşmuş daha büyük boyutlu partiküllere de rastlanmaktadır. Öğütme süresi arttıkça partiküllerin morfolojisi değişmiş ve 35 saat öğütme sonrasında elementel fazlar birbirine kaynaklaşarak alaşımlama olmuş ve daha homojen bir yapı elde edilmiştir. Sonuç olarak, öğütme süresi arttıkça tanecik boyutu önce azalmakta sonra artmakta ve 50 saat öğütmeden sonra fazla bir değişkenlik gözlenmemekte ve ayrıca öğütme süresi arttıkça tanecikler küreselleşmekte ve daha homojen bir yapı gözlenmektedir. Bu sonuçlar XRD piklerinin şiddet ve genişlikleri ile karşılaştırıldığında birbirleriyle uyum içinde oldukları görülmektedir.

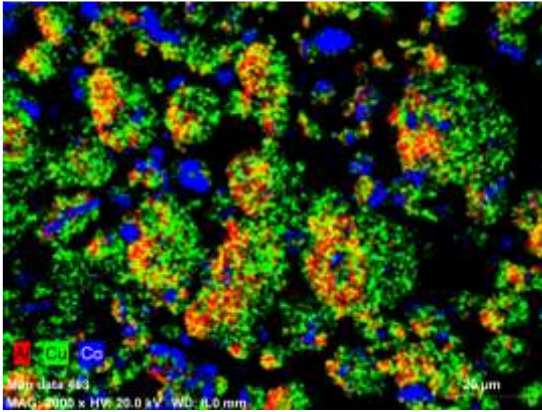


Şekil 3. $Al_{66}Co_{20}Cu_{14}$ alaşımının farklı öğütme süreleri için SEM görüntüleri

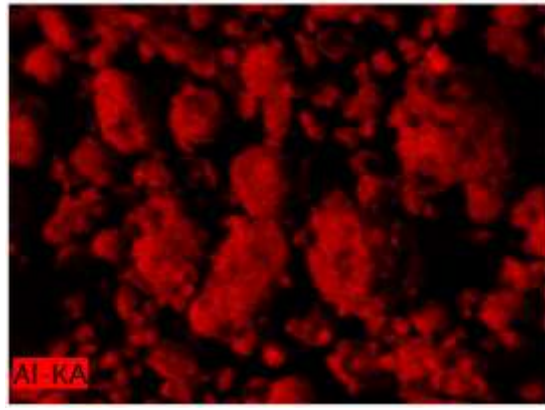
Mekanik alaşımlama sonucunda alaşımı oluşturan tozların alaşım içerisindeki dağılım durumunu gözlemlemek için EDX çalışmaları yapılmıştır. Şekil 4, 100 saat öğütme ile elde edilen alaşım numunesinin EDX analiz sonuçlarını göstermektedir. Şekil 4a'nın bir bölgesinin toz haritalanması Şekil 4b'de görülmektedir. Şekil 4b'de görüldüğü gibi 100 saat öğütme sonucunda alaşımın homojenlik durumu 1 saat öğütme sonucuna göre oldukça artmıştır. Diğer öğütme sürelerindeki homojenlik durumu Şekil 3 (SEM) görüntüleri ile uyum içerisindedir. Şekil 4.b incelendiğinde Al-Cu tozlarının Co tozuna göre daha homojen olarak dağıldığı ve bazı bölgelerde yüksek enerjili tozların aşırı deformasyon sertleşmesinden dolayı toplanmalar olduğu görülmektedir. Sonuç olarak SEM/EDX sonuçları $Al_{66}Co_{20}Cu_{14}$ alaşım tozlarının 50 saat öğütme süresi sonucunda tozların üniform yapıda dağılmaya başladığını göstermiştir. Çalışmamızda elde edilen SEM/EDX sonuçlarının literatürlerde [18-20] yapılan benzer çalışmalar ile uyum içinde olduğu görülmüştür.



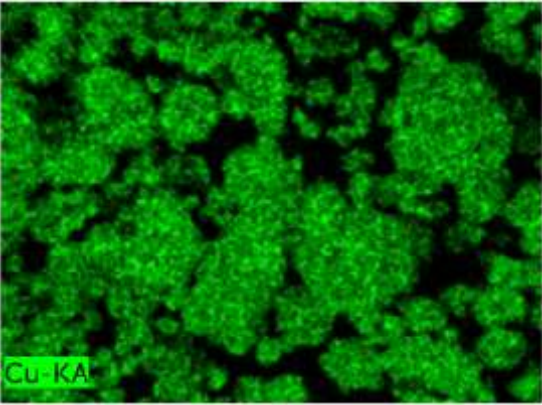
(a)



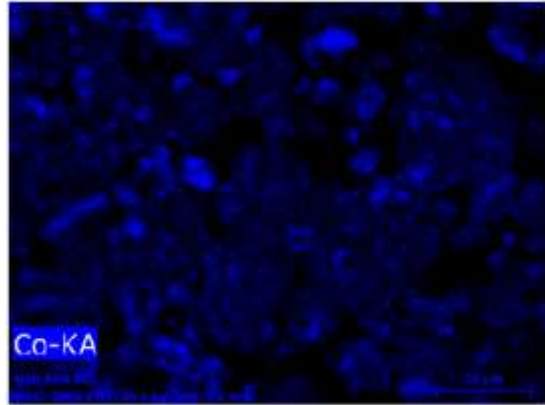
(b)



(c)



(d)

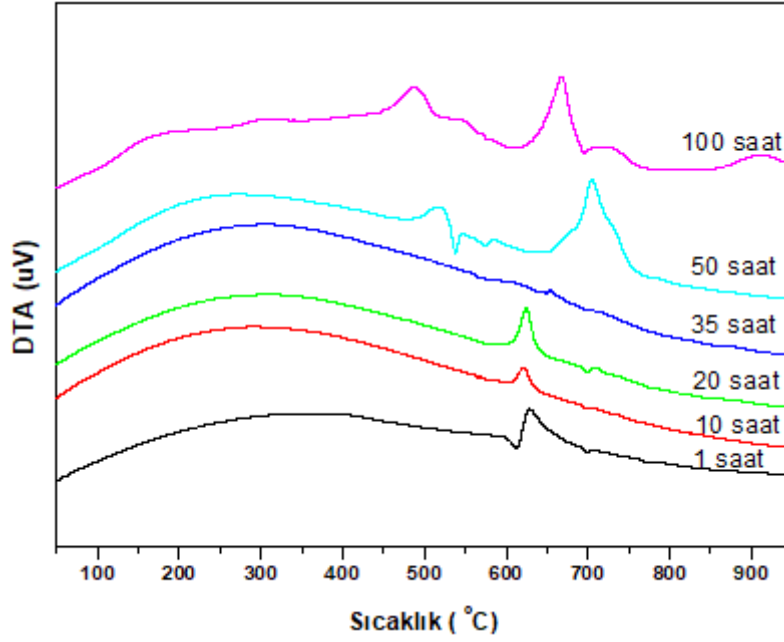


(e)

Şekil 4. Al₆₆Co₂₀Cu₁₄ alaşımında 100 saat öğütme sonucu elde edilen numune için EDX görüntüleri, (a): SEM görüntüsü, (b): EDX haritalama, (c): Alaşımda Al tozları, (d): Alaşımda Cu tozları, (e): Alaşımda Co tozları

3.3. DTA Çalışmaları

Üretilen Al₆₆Co₂₀Cu₁₄ toz numunelerinin ısısal özellikleri SII 6300 EXSTAR Diferansiyel Termal Analiz (DTA) ile araştırıldı. Numuneler yaklaşık 25-45mg ağırlığında alınarak platin kap içerisine DTA ölçümleri için konuldu. 20 °C/dak ısıtma oranında 50-950 °C sıcaklıklar arasında sürekli devam eden azot atmosferi altında yapıldı. Elde edilen sonuçlar Şekil 5'te verilmiştir.



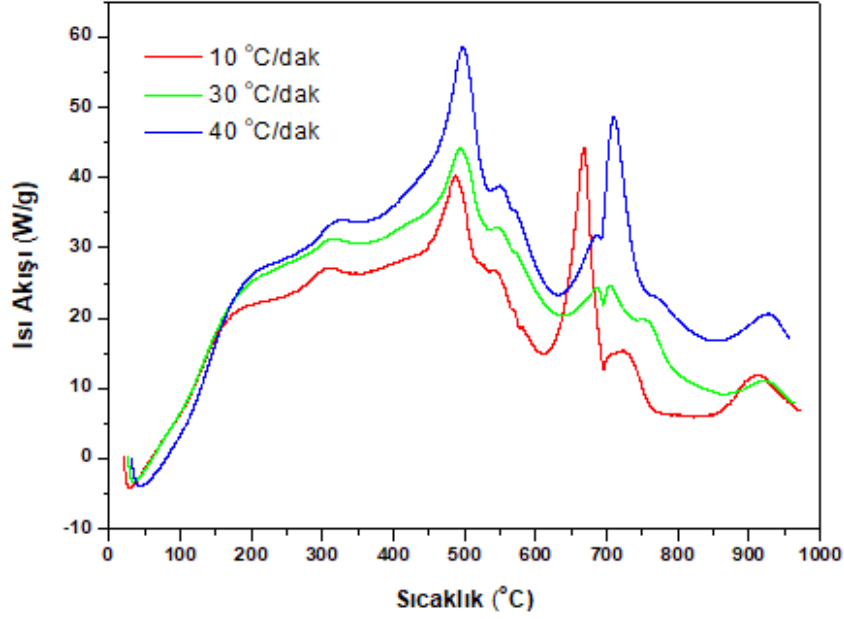
Şekil 5. Al₆₆Co₂₀Cu₁₄ alaşımının farklı öğütme süreleri için DTA sonuçları

Şekil 5'te görüldüğü gibi 450-950 °C aralığında bir dizi ekzotermik pikler gözlenmiştir. 1-35 saat öğütme sürelerinde üretilen tozlar için 600-650 °C aralığında görülen pik α -Al fazına ait erime pikini işaret etmektedir. 50-100 saat için 450-500 °C civarında görülen ekzotermik pikler α -Al(Co,Cu) ve Al₂Cu intermetalik fazının tane sınırlarında ve porozite bölgesinde alaşım fazının erimeye başladığını göstermektedir. 650-700 °C civarında görülen ekzotermik pikler ise sırasıyla Al₉Co₂ intermetalik fazların alaşım içerisinde erimeye başladığını göstermektedir. 900-950 °C sıcaklık aralığında ise Al₁₃Co₄ intermetalik fazı erimeye başlamıştır. Şekil 5'te görüldüğü gibi sadece 50 saat numunesinde 575 °C civarında bir endotermik pik gözlenmiştir. Bu pik diğer numunelerde gözlenmediğinden anlaşılamamıştır. Ancak bu pikin oksitlenmeden kaynaklandığı düşünülmektedir. 50 saat öğütmeden sonra Al₁₃Co₄ fazı ve Al₉Co₂ fazı oluşmuş ve malzeme yüksek sıcaklıklara ve korozyona dayanıklı fakat Al₂Cu fazı ile gevrek yapıya sahip olmuştur. Elde edilen DTA sonuçlarının XRD ve SEM sonuçlarıyla uyum içerisinde olduğu görülmüştür. Literatür çalışmaları incelendiğinde benzer çalışmalarda gözlemlenen sonuçlar [10, 15, 21] çalışmamızda elde edilen sonuçlar ile uyumludur.

Öğütme süresine bağlı olarak oluşan intermetalik fazlar için faz geçiş aktivasyon enerjileri DTA verileri kullanılarak Kissinger [22] eşitliği ile hesaplanır. Bu eşitlik aşağıda verilmiştir:

$$\ln\left(\frac{\beta}{T^2}\right) = -\frac{E}{RT} + A \quad (2)$$

Bu eşitlikte, β ısıtma oranını, T faz geçiş pik sıcaklığını, R gaz sabitini (8.314 J/mol K), E aktivasyon enerjisini ifade etmektedir. A ise bir sabittir. Aktivasyon enerjisi bir alaşımın termal stabilitesini belirlemede önemli bir parametredir. Al₆₆Co₂₀Cu₁₄ toz numunelerinin termal stabilitesini belirlemek için faz geçiş aktivasyon enerjileri Kissinger metodu ile hesaplandı. Aktivasyon enerjilerini hesaplamak için Şekil 6'da verilen pik sıcaklık değerleri kullanıldı. Elde edilen sonuçlara göre aktivasyon enerjileri α -Al(Co, Cu) fazı için 234±10 kJ/mol, Al₉Co₂ fazı için 250 ± kJ/mol, Al₁₃Co₄ fazı için 262 ±10 kJ/mol olarak bulunmuştur. Bu sonuçlara göre Al₁₃Co₄ fazı en kararlı yapıda olup yüksek sıcaklıklara dayanıklıdır. Ayrıca Şekil 6 ve Tablo 2'de görüldüğü gibi faz geçiş pik sıcaklıkları ısıtma oranına bağlıdır ve ısıtma oranı arttıkça faz geçiş pik sıcaklıkları da artmaktadır.



Şekil 6. 100 saat öğütülen $Al_{66}Co_{20}Cu_{14}$ alaşımının farklı ısıtma oranları için DTA sonuçları

Tablo 2. Şekil 6'dan elde edilen faz geçiş pik sıcaklıkları

| Isıtma Oranı (°C/dak) | Pik 1 (°C) | Pik 2 (°C) | Pik 3 (°C) |
|--------------------------|------------|------------|------------|
| 10 | 487 | 668 | 912 |
| 30 | 493 | 696 | 921 |
| 40 | 497 | 709 | 925 |

4. Sonuçlar

Bu çalışmada, mekanik alaşımlama tekniği ile nanoyapılı $Al_{66}Co_{20}Cu_{14}$ alaşımı toz halinde üretilerek termal ve mikroyapısal özellikleri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir;

XRD sonuçlarına göre öğütme süresine bağlı olarak α -Al (Co,Cu), Al_2Cu , $Al_{13}Co_4$ ve Al_9Co_2 intermetalik fazları oluşmuştur.

Öğütme süresi (1-35 saat) arttıkça tane boyutu küçülerek 25.2 nm olmuş ve 100 saat öğütme sonunda yeni intermetalik fazların oluşumundan dolayı artarak 27.7 nm olarak ölçülmüştür.

$Al_{66}Co_{20}Cu_{14}$ alaşımı sürekli ısıtma sırasında 450-650 °C aralığında α -Al fazı, α -Al(Co,Cu), Al_2Cu fazları, 650-700 °C civarında Al_9Co_2 intermetalik fazı, 900-950 °C civarında ise $Al_{13}Co_4$ intermetalik fazı dönüşümleri görülmüştür.

100 saat öğütme süresinde üretilen $Al_{66}Co_{20}Cu_{14}$ alaşımı için faz geçiş aktivasyon enerjileri hesaplandı ve maksimum aktivasyon enerjisi $Al_{13}Co_4$ fazı için 262 ± 10 kJ/mol olarak bulunmuştur. Bu sonuca göre $Al_{13}Co_4$ fazının en kararlı yapıda olduğu ve yüksek sıcaklıklara dayanıklı olduğu anlaşılmıştır.

50 saat öğütme sonrasında α -Al (Co,Cu), Al_9Co_2 , $Al_{13}Co_4$ fazları oluşarak malzemenin yüksek sıcaklık ve korozyon direncinin artacağı fakat Al_2Cu fazından dolayı malzemenin daha kırılgan hale geleceği anlaşılmaktadır.

SEM/EDX görüntülerine göre öğütme süresi arttıkça kırılma ve soğuk kaynaklanmaların olduğu ve ayrıca daha homojen bir yapının oluştuğu görülmüştür.

Teşekkür

18.002 numaralı Proje'ne desteğinden dolayı Batman Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyonuna ve XRD analizlerinin yapılmasında teknik desteğinden dolayı Prof. Dr. Musa Gögebakan'a teşekkür ediyorum.

Yazarların Katkısı

Bu makale tek isimli bir çalışma olup, sorumlu yazarın makalenin tamamında katkısı bulunmaktadır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada, araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar

- [1] Agostinho Jamshi L.C.L., Rodbari R.J. 2018. Evolution of the Phases of Quasicrystalline Alloys Icosahedral/decagonal $Al_{62.2}Cu_{25.3}Fe_{12.5}/Al_{65}Ni_{15}Co_{20}$ and Oxidative Behaviour. *Journal of the Chilean Chemical Society*, 63 (2): 3928-3933.
- [2] Mohammeda K.S., Naeemb H.T., Iskaka S.N. 2016. Study of the Feasibility of Producing Al–Ni Intermetallic Compounds by Mechanical Alloying. *The Physics of Metals and Metallography*, 117 (8): 795-804.
- [3] Stoloff N., Liu C., Deevi S. 2000. Emerging Applications of Intermetallics. *Intermetallics*, 8: 1313-1320.
- [4] Yamauchi I., Ohmori M., Ohnaka I. 2000. Metastable Phase Formation by Chemical Leaching of Al–Co–Cu Ternary Alloys. *Journal of Alloys and Compounds*, 299: 269-275.
- [5] Inoue A. 1998. Amorphous, nanoquasicrystalline and nanocrystalline alloys in Al-based systems. *Progress in Materials Science*, 43 (5): 365-520.
- [6] Viet N.H., Oanh N.T.H., Quynh P.N.D., Lap T.Q., Kim J.S. 2015. Thermal stability of amorphous Al-Fe-Y prepared by mechanical alloying. *Materials Science Forum*, 804: 271-274.
- [7] Gogebakan M. 2004. Thermal stability and mechanical properties of Al-based amorphous alloys. *Journal of Materials Processing Technology*, 153-154: 829-832.
- [8] Avar B., Gogebakan M., Tarakci M., Gencer Y., Kerli S. 2013. Microstructural investigations of rapidly solidified Al-Co-Y alloys. *Advances in Materials Science and Engineering*, 163537.
- [9] Mukhopadhyay N.K., Murthy G.V.S., Murty B.S., Weatherly G.C. 2002. A n investigation on the transformation of the decagonal phase to a B2 phase in Al–Cu–Co alloy during mechanical milling. *Journal of Alloys and Compounds*, 342: 38-41.
- [10] Yamauchi I., Ohmori M., Ohnaka I. 2000. Rapid solidification and mechanical alloying of Al–Co–Cu ternary alloys for chemical leaching. *Journal of Alloys and Compounds*, 299: 276-282.
- [11] Bogdanowicz W. 2003. Influence of thermal treatment on the subgrain parameters and microstructure of two-subgrain Al-Cu-Co single quasicrystals. *Materials Science and Engineering A* 346: 328-335.
- [12] Mishra S.S., Pandey S.K., Yadav T.P., Srivastava O.N. 2017. Influence of chemical leaching on Al-Cu-Co decagonal quasicrystals. *Materials Chemistry and Physics*, 200: 23-32.
- [13] Roik O.S., Galushko S.M., Samsonnikov O.V., Kazimirov V.P., Sokolskii V.E. 2011. Structure of liquid Al–Cu–Co alloys near the quasicrystal-forming range. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 357: 1147-1152.
- [14] Inoue A., 1990. An-Pang Tsai and Tsuyoshi Masumoto: Stable decagonal and icosahedral quasicrystals. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 117-118: 824-827.
- [15] Zhang L.M., Gille P. 2004. Solidification study of Al–Co–Cu alloys using the Bridgman method. *Journal of Alloys and Compounds*, 370: 198-205.
- [16] Murty B.S., Koteswara Rao R.V., Mukhopadhyay N.K. 2004. Stability of quasicrystalline phase in Al–Cu–Fe, Al–Cu–Co and Al–Pd–Mn systems by high energy ball milling. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 334-335: 48-51.
- [17] Suryanarayana C., Norton M.G. 1998. X-ray Diffraction: A Practical Approach. Plenum Press, New York.

- [18] Mohammed K.S., Naeem H.T., Iskak S.N. 2016. Study of the Feasibility of Producing Al–Ni Intermetallic Compounds by Mechanical Alloying. *The Physics of Metals and Metallography*, 117 (8): 795-804.
- [19] Kursun C., Gogebakan M. 2015. Characterization of nanostructured Mg–Cu–Ni powders prepared by mechanical alloying. *Journal of Alloys and Compounds*, 619: 138-144.
- [20] Gogebakan M., Kursuna C., Eckert J. 2013. Formation of new Cu-based nanocrystalline powders by mechanical alloying technique. *Powder Technology*, 247: 172-177.
- [21] Bogdanowicz W. 2002. Two-subgrain single quasicrystals Al–Cu–Co alloy growth and characterisation. *Journal of Crystal Growth*, 240: 255-266.
- [22] Kissinger H.E. 1957. Reaction kinetics in differential thermal analysis. *Analytical Chemistry*, 29: 1702-1706.

Araştırma Makalesi / Research Article

Düşük güçte bir motor test düzeneği kurulumu ve örnek bir uygulama gerçekleştirilmesi

Mehmet AKÇAY¹, Salih ÖZER^{1*}, İlker Turgut YILMAZ², Erdinç VURAL³

¹Muş Alparslan Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Muş, Türkiye

²İstanbul Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İstanbul, Türkiye

³Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, Germencik Meslek Yüksek Okulu, Aydın, Türkiye

(ORCID:0000-0002-6968-8734) (ORCID:0000-0002-5030-1296)

(ORCID:0000-0002-0398-7635) (ORCID:0000-0002-8018-2064)

Öz

İçten yanmalı motorların test edilmesi işleminde genellikle ithalat yoluyla temin edilen, oldukça yüksek maliyetli motor test dinamometreleri kullanılmaktadır. Bu çalışmanın amacı, oldukça yüksek maliyetli olan içten yanmalı motor test dinamometreleri yerine, tek silindirli dizel motorlu bir jeneratörün motor test düzeneğine dönüştürülmesi ile düşük maliyetli bir içten yanmalı motor test düzeneği elde etmektir. Elde edilen düzenekte viskozitesi toluen ile iyileştirilmiş olan fuel-oil kullanılarak motor performansına etkileri incelenmiştir. Bu çalışma kapsamında 10 HP güce ve 3000 d/d sabit devire sahip dizel motorlu jeneratör kullanılmıştır. Dizel motorun yüklenmesi işlemi jeneratöre alıcı bağlanması ile gerçekleştirilmiştir. Motorun gücü ve her bir krank mili açısı için silindir içi basıncı, yakıt hattı basıncı anlık olarak gözlenmiş ve kaydedilmiştir. Dizel ve dizel+fuel-oil karışımları kullanılarak gerçekleştirilen deneylerde, fuel-oil katkısı ile silindir içi basınç değerinin düştüğü, yakıt tüketiminin ve egzoz gazı sıcaklığının arttığı görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Motor Dinamometresi, Alternatif Yakıt, Fuel-oil, Motor Performansı.

Designing a low power motor test assembly and performing a sample application

Abstract

In the process of testing the internal combustion engines, high-cost engine test dynamometers are generally used. The aim of this study is to obtain a low-cost internal combustion engine tester by converting a single-cylinder diesel engine generator into a motor tester, rather than a high-cost internal combustion engine test dynamometer. Engine performance effects were investigated by using fuel-oil with viscosity toluene. Within the scope of this study, diesel powered generator with 10 HP power and 3000 1/min constant speed is used. The loading of the diesel engine was carried out by connecting the receiver to the generator. The in-cylinder pressure for the engine power and the crankshaft angle was instantaneously monitored and recorded at the fuel line pressure. In experiments carried out using diesel and diesel + fuel-oil mixtures, with the addition of fuel-oil, it was seen that the pressure in the cylinder decreased and fuel consumption and exhaust gas temperature increased.

Keywords: Engine Dynamometer, Alternative Fuel, Fuel-oil, Engine Performance.

1. Giriş

İçten yanmalı motorların birçok sınıflandırılma şekli vardır. Bunlardan bir tanesi de ürettikleri güçlere göre olan sınıflandırılma şeklindedir. Buna göre, üretilen veya geliştirilen motorlardan elde edilen gücün ölçülmesi gerekmektedir. Bir içten yanmalı motorun taşıt üzerinde iken karşılaştığı çalışma koşulları, araç olmadan bir motor test tezgahında simülasyon edilebilmektedir. Yük koşulları, test tezgâhı üzerinde motorun krank miline bağlı bir dinamometre ile uygulanmaktadır. Test tezgahı ile yapılan çalışmada, sıcaklık ve basınç gibi tekrarlanabilir koşulları sabit tutulabilmekte, geliştirme ve konfigürasyon için

*Sorumlu yazar: s.oz@alparslan.edu.tr

Geliş Tarihi: 21.05.2019, Kabul Tarihi: 23.09.2019

gereken maliyetler ve zaman azaltılabilmektedir [1,2]. İçten yanmalı motorların test edilme işlemi için birçok farklı türü bulunan motor dinamometreleri kullanılmaktadır [3]. Motor çıkış milinin dönme hızını ve motor tarafından şafta uygulanan mekanik kuvveti bir fren yükü uygulayarak ölçen cihazlara dinamometre denilmektedir [4].

Motor dinamometreleri, genel olarak hidrolik ve elektrikli olarak sınıflandırılmakta olup [5] elektrikli dinamometreler daha hassas ölçüm işlemi ve hızlı test edebilme özelliklerinden dolayı hidrolik dinamometrelere göre daha çok tercih edilmektedirler [6]. Elektrik dinamometreleri, motordan emilen gücü elektrik enerjisine dönüştürmekte ve daha sonra bu elektrik enerjisi ısıya dönüştürülerek su veya havaya atılmaktadır [4]. Yine benzer şekilde test edilecek motorun mili doğrudan bir jeneratöre bağlandığında, motorun ürettiği güç jeneratör tarafından elektrik enerjisine dönüştürülmekte, elde edilen elektrik enerjisi dirençler vasıtasıyla ısıya dönüştürülerek harcanmaktadır. Jeneratör tarafından üretilen güç, yükleme sırasında dirençlere uygulanan gerilim ve akım ölçülerek belirlenmektedir. Devreye sokulan direnç sayısının kontrolü ile motora uygulanacak olan yük ayarlanabilmektedir [7].

Literatürde, motor performans deneylerinin gerçekleştirilmesi amacıyla jeneratörlerin kullanıldığı birçok çalışma mevcuttur. Bunlardan bazıları aşağıda kısaca özetlenmeye çalışılmıştır. Oliveira ve ark. (2017) B7 yakıtı (% 7 biyodizel+%93 dizel karışımı) ile % 5 ile % 30 arasında değişen konsantrasyonlarda sulu etanol karışımının motor performans ve emisyonları üzerine etkisini inceledikleri çalışmada, 49 kW gücünde dizel jeneratör kullanmışlardır [8]. Işık ve ark. (2017), n-bütanol katkısının biyodizel-dizel karışımının yanma, performans ve emisyonları üzerine etkisini araştırdıkları deneysel çalışmada, 4 silindirli, 4 zamanlı, direk enjeksiyonlu ve su soğutmalı 18 kW gücünde dizel motor jeneratörü kullanmışlardır. Dizel jeneratörünün yüklenmesi işleminde değişken dirençli ısıtıcı rezistans ünitesi kullanılmıştır [9]. Late ve ark. (2012), dizel bir jeneratörde hidrojen ve LPG ilavesinin motora etkilerini incelemişlerdir. Motorun değişik yük kademelerinde yüklenmesi için su pompası ve endüstriyel ısıtıcılar kullanılmıştır [10]. Sing ve ark. (2007), tarafından yapılan deneysel çalışmada, üç silindirli bir dizel motoru sabit devir elektrik üreticisine bağlamış ve alternatif yakıt karışımları ile ürettiği gücün ne kadarlık bir değişim ile üretildiğini araştırmışlardır [11].

Elektrikli dinamometreye sahip test standartlarının fiyatları oldukça yüksektir ve genellikle yurt dışından temin edilmektedirler [6]. Dolayısıyla yerli kaynaklar kullanılarak daha ekonomik motor test standı imalatının gerçekleştirilmesi ve yaygınlaştırılması, bu alanda yapılan çalışmaların daha düşük maliyetler ile gerçekleştirilebilmesine imkân sağlayacağı açıktır. Yapılan literatür araştırmasında da görüldüğü üzere, jeneratörlerin ilave aparatlarla yüklenmesi ile motor testleri yapılabilmektedir. Bu çalışmada da maksimum çalışma gücü 7 kW olan alternatöre sahip dizel jeneratör tercih edilmiştir. Bu jeneratörün motoru ise 4 zamanlı, hava soğutmalı, direk enjeksiyonlu 10 HP gücündedir. Motorun yüklenmesi işlemi için deney düzeneğine 250 W ve 1000 W'lık projektörler ile yükleme ünitesi kurulmuştur. Motor üzerinde yapılan değişiklikler ile motorun silindir içi basınç, yakıt hat basıncı, motor devri ve egzoz gazı sıcaklığı değerleri ölçülmüş ve yüksek frekanslı dijital osilaskop ile kayıt altına alınarak veriler değerlendirilmiştir.

2. Motor test düzeneğinin kurulumu

Bu bölümde, düşük güçte bir motor test düzeneğinin oluşturulması amacıyla, dizel motorlu jeneratörün üzerinde yapılan değişiklikler ve dizel motoruna ilave edilen parçalar ile ilgili detaylı bilgi sunulmaktadır. Tablo 1'de jeneratörün teknik özellikleri verilmektedir.

Tablo 1. GENPOWER GDG 7000 jeneratörünün teknik özellikleri.

| Motor | |
|----------------------|---------------------------|
| Model | 186 FAG |
| Tip | Hava Soğutmalı- 4 Zamanlı |
| Silindir Hacmi | 418 cm ³ |
| Maksimum Çıkış gücü | 7 kW |
| Çalıştırma Şekli | Marşlı |
| Jeneratör | |
| Maksimum Çıkış Gücü | 7 kVA |
| Sürekli Çalışma Gücü | 6 kVA |
| Frekans | 50 Hz |

2.1. Deney motorunun yüklenmesi

Dizel motorunun yüklenmesi işlemi, jeneratörün çektiği akımın kontrol edilmesi ile sağlanmaktadır. Bu amaçla 250 W ve 1000 W gücünde metal halide ampüllü projektörler kullanılmış ve jeneratörden çekilen güç kontrol edilerek dizel motorunun yüklenmesi işlemi gerçekleştirilmiştir. Dizel motoru 7 kW gücündedir. Dolayısıyla jeneratöre bağlanan 7 adet 1000 W gücündeki projektör ile dizel motorunun tam yükte yüklenmesi sağlanmaktadır. Her bir projektöre farklı güçte yükleme işlemi için ayrı ayrı anahtar devreleri kurulmuş ve jeneratör ile elektrik bağlantıları 3x2,5 elektrik kabloları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Literatürde deney motorunun yüklenmesi işleminde benzer uygulamalara rastlamak mümkündür [5,12]. Şekil 1’de deney düzeneğinin yükleme ünitesinde kullanılan 250 W ve 1000 W projektörler ve montaj yapılmış hali görülmektedir.



Şekil 1. Deney düzeneğinin yükleme ünitesinde kullanılan projektörlerin montaj yapılmış hali

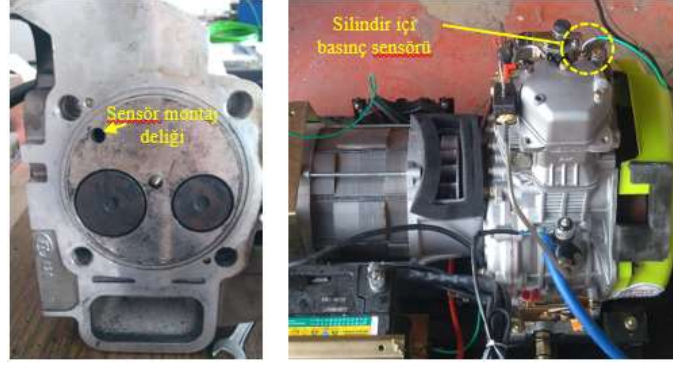
2.2. Silindir içi basınç ölçümü

Silindir içi basıncın anlık ölçülmesi amacıyla bir adet KİSTLER marka silindir içi basınç sensörü ve bir adet de sensör yükselticisi kullanılmıştır. İtçen yanmalı motorlar üzerine yapılan çalışmalarda silindir içi basıncın ölçülmesi işleminde KİSTLER Piezo dirençli sensörlerin kullanıldığı birçok çalışma mevcuttur [13-16]. Silindir içi basınç sensörünün özellikleri Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Kistler 4065B0200DS1-2,0 silindir içi basınç sensörü özellikleri

| Model | | Kistler Piezo Dirençli Mutlak Basınç Sensörü |
|---------------------------------|------|--|
| Ölçüm aralığı | bar | 0-200 |
| Aşırı yükleme | bar | 300 |
| Besleme gerilimi (Amplifikatör) | V DC | 10-30 |
| Çıkış voltajı | V DC | 0-5 ($\pm 0,025$) |
| Frekans | kHz | 0-40 |
| Maksimum sapma basıncı | % | ± 1.5 |
| Lineerlik | % | $\leq \pm 0.3$ |
| Çalışma sıcaklığı | °C | -40 - +140 |

Silindir içi basınç sensörünün montaj işlemi için öncelikle dizel motorun silindir kapağı üzerine M6 matkap ile delik delinmiştir. Daha sonra bu deliğin içerisine M7x0,75 dış açılarak silindir içi basınç sensörünün montajı gerçekleştirilmiştir. Şekil 2’de basınç sensörünün montajı için silindir kapağına açılan delik ve sensörün montajlı hali görülmektedir.



a) Silindir kapağı b) Silindir içi basınç sensörünün montajlı halı

Şekil 2. Silindir içi basınç sensörünün deney motoruna montajı

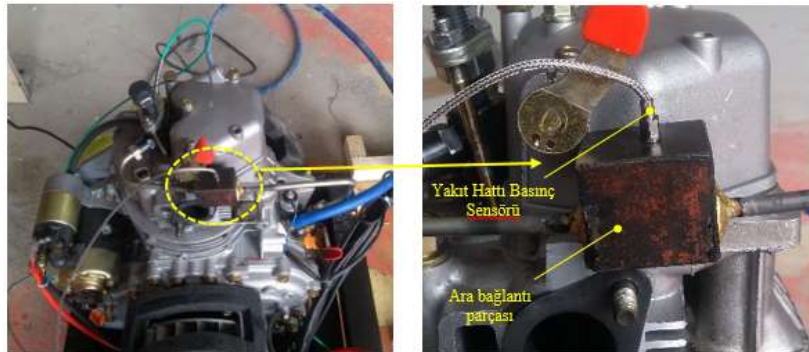
2.3. Yakıt hattı basınç ölçümü

Dizel motorunun yakıt hattı basıncının anlık olarak ölçülmesi amacıyla bir adet OPRANT marka basınç sensörü kullanılmıştır. Literatürde dizel motorlarında yakıt hat basıncının ölçülmesi işleminde Oprant AutoPSI Basınç Sensörünün kullanıldığı çalışmalara rastlamak mümkündür [17]. Yakıt hattı basınç sensörünün özellikleri Tablo 3’de verilmiştir.

Tablo 3. Oprant AutoPSI basınç sensörü özellikleri

| Model | Oprant AutoPSI Basınç Sensörü | |
|--------------------------|-------------------------------|------------------------|
| Ölçüm aralığı | bar | 0-340 |
| Aşırı yükleme | bar | 680 |
| Giriş voltajı | V DC | 9-18 |
| Çıkış voltajı | V DC | 0,5-5 |
| Frekans | kHz | 0,1-20 |
| Hassasiyet | % | ±1 yanma şartlarında |
| | % | ±0,5 yanma olmadığında |
| Sensör çalışma sıcaklığı | °C | -40-300 |

Yakıt hattı basınç sensörünün montajını gerçekleştirebilmek için öncelikle çelik malzemeden bir ara bağlantı parçası imal edilmiştir. Ara bağlantı parçasına gerekli ölçülerde delikler açılarak yakıt hat basınç sensörünün montajı gerçekleştirilmiştir. Yakıt hattı borusu motor üzerinden sökülmüş ve yakıt enjektörüne mümkün olduğunca yakın bir bölümden kesilerek ikiye ayrılmıştır. Yakıt hattı boyunun uzamasından kaynaklanabilecek ateşleme gecikmesi ve benzeri olumsuzlukların önüne geçmek amacıyla ara bağlantı parçasının genişliği kadar yakıt hattı borusundan kesilerek yakıt borusunun boyu kısaltılmıştır. İki parçalı bakır alaşımli yakıt hattı borusunun arasına, imalatı yapılmış olan ara bağlantı parçası yerleştirilerek kaynaklı birleştirme işlemi ile birleştirilmiştir. Şekil 3’de yakıt hattı basınç sensörünün montajı için imal edilen ara bağlantı parçası ve yakıt hattı borusuna montajı görülmektedir.



a) Yakıt hattı basınç sensörü ara bağlantı parçası montajının genel görünümü b) Yakıt hattı basınç sensörü ara bağlantı parçası

Şekil 3. Yakıt hattı basınç sensörü ara bağlantı parçasının yakıt hattı borusuna montajı.

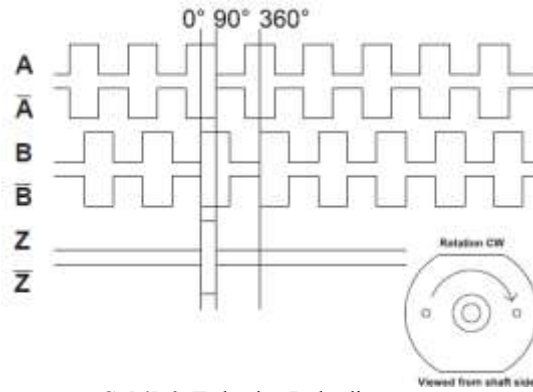
2.4. Motor krank açısı ölçümü

Motor krank mili dönüşünün derece olarak ölçülmesi amacıyla 50B model artımlı enkoder kullanılmıştır. Enkoderin özellikleri Tablo 4’de verilmiştir.

Tablo 4. Enkoder teknik özellikleri

| Model | FNC 50B artımlı optik enkoder | |
|-----------------------|-------------------------------|----------------------|
| Besleme gerilimi | V DC | 4.75-30 |
| Pulse hızı | (puls/devir) | 500 |
| Çıkış sinyalleri | | 90° kaymış A ve B, Z |
| Çalışma sıcaklığı | °C | -20 - +85 |
| Maksimum çalışma hızı | devir/dakika | 5000 |
| Mil yükü | N | ≤60 eksenel |
| | N | ≤80 radyal |
| Frekans | kHz | <300 |

Şekil 4’de artımlı enkoderin puls diyagramı görülmektedir. Şekilde görüldüğü üzere, enkoder A, B ve Z olmak üzere üç çıkışa sahiptir. Kanal B, Kanal A’yı 90 derece faz kayması ile yönlendirmektedir. Z kanalı, kodlayıcının her dönüşünde bir pulse oluşturmaktadır. A ve B kanalları dönüş yönü ve konum bilgisi için kullanılırken, Z kanalları devir sayısı ölçümü için kullanılmaktadır [18].



Şekil 4. Enkoder Puls diyagramı

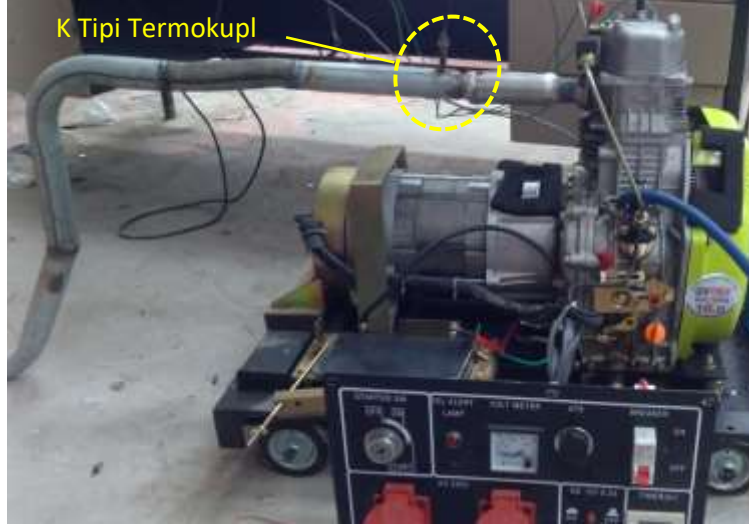
Enkoder’in krank mili eksenine dik olarak bağlantısını gerçekleştirebilmek amacıyla krank kasnağı önüne 3 mm kalınlığındaki çelik sacdan destek parçası imal edilmiştir. Ayrıca enkoder ile krank milini aynı eksenle bileştirerek krank milinin dairesel hareketini doğrudan enkodere iletmek amacıyla bağlantı parçası imal edilmiştir. Enkoderin 8 mm çapındaki mili ile bağlantı parçasının mili, bir kaplin yardımı ile aynı eksen üzerinde montajları gerçekleştirilmiştir. Enkoderin motor üzerinde montajı gerçekleştirilmiş hali Şekil 5’de görülmektedir. Literatürde, motor devrinin hassas bir şekilde ölçülmesi amacıyla çeşitli marka ve modellerde enkoderlerin yaygın olarak kullanılmakta olduğu görülmektedir [19-22].



Şekil 5. Enkoderin motor üzerine montajı

2.5. Egzoz gazı sıcaklığının ölçülmesi

Deney motorunun egzoz gazı sıcaklığının ölçülmesi işleminde bir K tipi termokupl kullanılmıştır. Literatürde benzer şekilde egzoz gazı sıcaklığının ölçülmesi işleminde K tipi termokupl yaygın olarak kullanılmaktadır [23-26]. Egzoz borusu üzerine, motor çıkışından 20 cm ileriye K tipi termokupl yerleştirilmiş ve buradan egzoz gazı sıcaklıklarının ölçülmesi işlemi gerçekleştirilmektedir. Egzoz gazı sıcaklığının ölçülmesinde kullanılan K-tipi termokuplun deney düzeneğindeki montajı Şekil 6'da görülmektedir.



Şekil 6. Deney düzeneği üzerinde termokupl montajının gösterimi.

2.6. Yakıt tüketim değerinin ölçülmesi

İçten yanmalı motorlarda performans testlerinin gerçekleştirilmesi işlemlerinde, çalışma koşullarına göre motorun yakıt tüketiminin belirlenmesi oldukça önemlidir. Yakıt tüketimi değeri, belirli bir kütle ya da hacimdeki yakıtın tükenme süresi ile hesaplanabilmektedir [27-30].

Yapılan bu çalışmada da yakıt deposunun altına hassas bir terazi yerleştirilmiş, 10 gr yakıtın tükenmesi için geçen süre bir kronometre yardımı ile tespit edilmiştir. Daha sonra elde edilen bu değer kullanılarak saatteki yakıt tüketim değeri hesaplanmıştır. Çalışmada, 0,01 gram hassasiyete sahip RADWAG PS 6000.R2.H marka hassas terazi kullanılmıştır (Şekil 7).



Şekil 7. Hassas terazi

2.7. Motor test verilerinin kontrolü ve kaydedilmesi

Yapılan çalışmada sabit hız jeneratörü kullanılmaktadır. Dolayısıyla, jeneratör motoru standart olarak dakikada 3000 devir dönecek şekilde ayarlanmıştır. Motor devri, jeneratör üzerinde bulunan elektronik hız kontrol devresi tarafından kontrol edilmektedir. 3000 devir/dakika (d/d) ile çalışmakta olan deney motorunun her bir krank açısı için veri kaydını gerçekleştirebilmek amacıyla yüksek örnekleme hızına sahip PicoScope marka 2406B Model 4 kanallı dijital osiloskop kullanılmıştır. Yapılan bu çalışmaya benzer şekilde, literatürde osiloskop kullanılarak veri kaydı işlemi gerçekleştirilen çalışmalara rastlamak

mümkündür [31-34]. Şekil 8’de PicoScope marka 2406B Model 4 kanallı Osiloskop görülmektedir. Osiloskopun genel özellikleri Tablo 5’te verilmiştir.

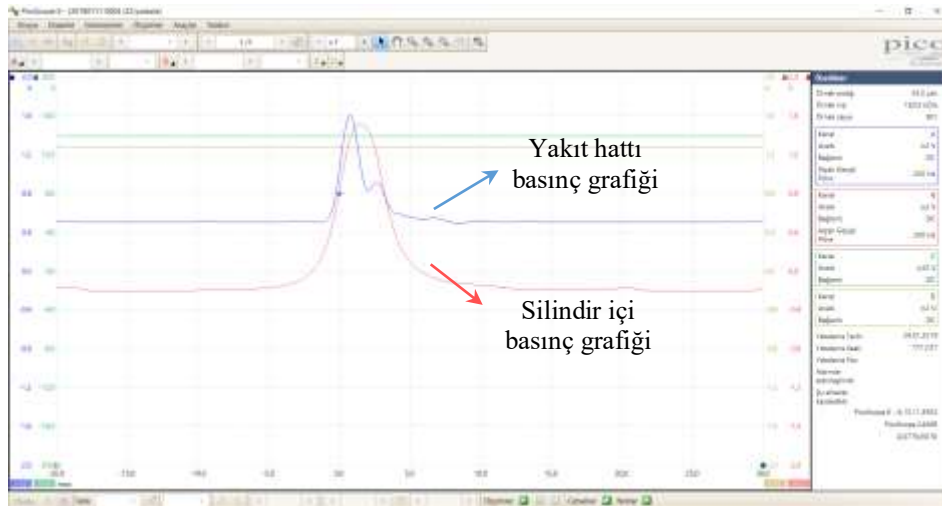


Şekil 8. PicoScope marka 2406B Model 4 kanallı Osiloskop.

Tablo 5. PicoScope marka 2406B Model 4 kanallı Osiloskopun özellikleri.

| | |
|-------------------------------|--|
| Model | PicoScope 2406B dijital osiloskop |
| Kanal sayısı | 4 channel |
| Band genişliği | 50 MHz |
| Input ranges | ± 20 mV - ± 20 V |
| Giriş Hassasiyet | 4 mV/div - 4 V/div |
| Giriş akım | AC/DC |
| DC doğruluğu | $\pm 3\%$ (± 200 μ V tam değerinin) |
| Giriş konektörü | Tek uçlu, BNC (f) |
| Maksimum örnekleme hızı | |
| 1. Kanal | 1 GS/s |
| 2 Kanal | 500 MS/s |
| 3 ve 4 Kanal | 250 MS/s |
| Eşdeğer zaman örnekleme oranı | 10 GS/s |
| En kısa zaman tabanı | 2 ns/div |
| En uzun zaman tabanı | 5000 s/div |

PicoScope osiloskopun yazılımı bilgisayara yüklendikten sonra bağlantı kablosu ile bilgisayara bağlanmaktadır. Elde edilen veriler osiloskop ara yüzü üzerinden bilgisayar ortamına aktarılmakta, kontrol ve kayıt işlemleri gerçekleştirilebilmektedir. Osiloskop ile elde edilen verilerin bilgisayar ekranında görüntüsü Şekil 9’da verilmiştir.



Şekil 9. Osiloskoptan elde edilen verilerin anlık görüntüsü.

Kurulumu gerçekleştirilen ve deneysel çalışmaya hazır hale getirilen motor test ünitesinin genel görünümü Şekil 10’da verilmiştir.



Şekil 10. Deney düzeneğinin genel görünümü

3. Örnek uygulama

Dizel jeneratörünün motor test ünitesine dönüştürülmesi aşamasından sonra, örnek bir uygulama gerçekleştirilmiştir. Uygulamada, dizel ve dizel+fuel-oil yakıt karışımlarının motor performansı üzerine etkileri incelenmiştir. Bu amaçla deneyler sabit motor devrinde (3000 d/d), sabit motor yükünde (3500 W) gerçekleştirilmiştir.

Kurulan deney düzeneğinde fuel-oil yakıtının kullanılabilmesi için öncelikli olarak viskozite değerinin düşürülmesi gerekmektedir. Viskozitesi yüksek olan yakıtların dizel motorlarında kullanılması, motor performansı ve emisyonları açısından olumsuz sonuçlar doğurabilmektedir [35]. Bu amaçla iyi bir çözücü de olan toluen kimyasalından yararlanılmıştır. Fuel-oil yakıtının viskozite değerini düşürmek amacıyla içerisine %2,5 oranında toluen ilave edilmiştir. Toluenin fuel-oil içerisinde tamamen çözülmesini ve homojen bir karışım oluşumunu sağlamak amacıyla, fuel-oil+toluen karışımları ağızı kapalı bir kap ile NÜVE marka çalkalamalı su banyosu cihazı içerisine yerleştirilmiş ve 1 saat boyunca çalkalanması sağlanmıştır. Deneysel çalışmada kullanılan fuel-oil+toluen karışımlarının bazı özellikleri Elazığ Valiliği Çevre Ölçüm Analiz Laboratuvarında analiz edilmiş ve Tablo 6’da verilmiştir.

Tablo 6. Deneysel çalışmada kullanılan yakıtlarının bazı özelliklere etkisi

| Yakıt | Isıl Değeri (cal/gr) | Viskozite (mm ² /s) | Yoğunluk (gr/cm ³) |
|------------------------------|----------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| Dizel Yakıtı ^[36] | 10183 | 2,72 | 835 |
| Fuel-Oil | 10537 | 43,78 | 996 |
| Fuel-Oil+Toluen | 10337 | 24,56 | 963 |

Elde edilen yeni karışım (fuel-oil+toluen) daha sonra dizel yakıtı içerisine kütleli olarak %5 ve %10 oranında ilave edilerek deney yakıtları elde edilmiştir. Dizel yakıtına ilave edilen yakıtların miktarları ve elde edilen karışımların isimleri Tablo 7’de verilmiştir.

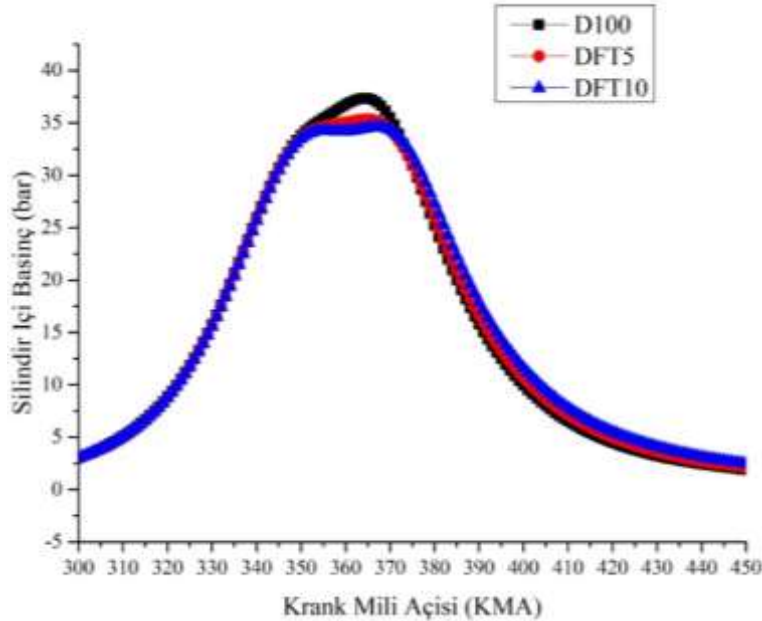
Tablo 7. Deneysel çalışmada kullanılan yakıt karışımları

| Yakıt | Toluen (Kütlece %) | Fuel-Oil (Kütlece %) | Dizel yakıtı (Kütlece %) |
|-------|--------------------|----------------------|--------------------------|
| D100 | 0 | 0 | 100 |
| DTF5 | 2,5 | 5 | 95 |
| DTF10 | 2,5 | 10 | 90 |

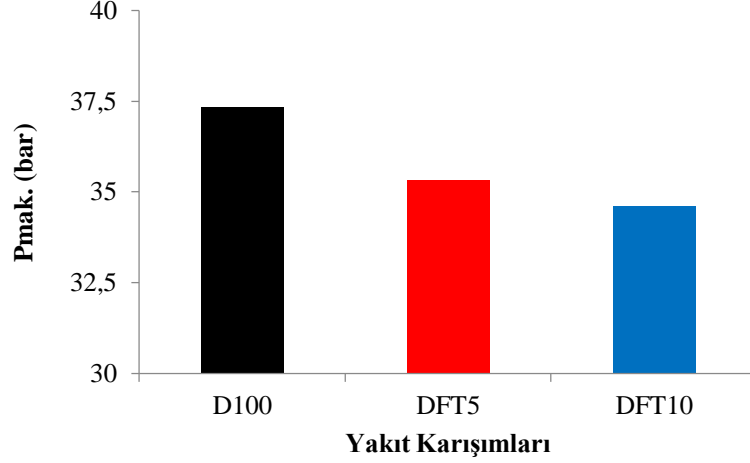
Yakıtsal özellikleri iyileştirilen fuel-oil yakıtının kütlece olarak %5 ve %10 oranlarında dizel yakıtına karıştırılarak silindir içi basınç değişimi, maksimum silindir içi basınç değeri (P_{mak}), yakıt tüketimi ve egzoz gazı sıcaklığı incelenmiştir. Deney motoru sabit devir (3000 d/d) ve 3500 W güç üretecek şekilde yüklenmiş ve her bir yakıt için gerekli ölçümler tekrarlanmıştır.

İçten yanmalı bir motorda herhangi bir yakıtın yanması işlemini analiz edebilmek için gerekli olan en önemli parametre silindir içi gaz basıncının değişimidir [37]. Silindir içerisindeki yanmanın anlaşılabilmesi ve yakıt özelliklerinin (ısı değeri, yoğunluk, viskozite vb.) yanma üzerine etkisinin incelenebilmesi için silindir içerisindeki ve yakıt hattındaki basınç değişimlerinin ölçülerek kayıt altına alınması gerekmektedir. Silindir içi gaz basıncı, silindir içerisindeki mekanik yüklerin krank açısına göre yayılmasını ifade etmektedir [38]. Yanma sonucunda silindir içi basıncın her ne kadar aniden yükselmesi beklense de aşırı ani basınç yükselmeleri de çoğu kez motor parçalarına zarar veren vuruntuya sebep olabilmektedir. Dolayısıyla, silindir içi basıncının ölçülmesi ile maksimum silindir içi basıncının gerçekleştiği yer, maksimum basınç artış oranı, yanma başlangıcı, yanma sonu, yanma süresi gibi veriler elde edilerek kullanılan yakıtın yanma özellikleri hakkında değerlendirme yapılabilmektedir. Yapılan bu çalışmada, motorun krank mili açısının her bir derecesi için silindir içi basınç değişimleri ölçülerek elde edilen veriler grafik haline getirilmiştir.

Şekil 11’de dizel yakıtının içerisine fuel-oil+toluen ilavesinin kullanılması ile silindir içerisindeki değişim verilmektedir. Yine dizel yakıtı ile karıştırıldığında fuel-oil katkısı ile maksimum silindir içi basıncın düştüğü görülmüştür. Dizel yakıtının içerisine fuel-oil+toluen ilavesi ile birlikte yanmanın süresinin uzadığı görülmüştür. Dizel yakıtına Fuel-oil+toluen ilavesi ile karışımın setan sayısı azaltmakta ve tutuşma gecikmesi süresinde artış meydana gelmektedir. Bu durum silindir içindeki maksimum basınç artışını kısıtlamaktadır. Dizel motorlarında tutuşma gecikmesi süresinin istenilen süreden daha fazla olması istenilen bir durum değildir. Çünkü bu durumda yakıtın tutuşmaya başlaması, piston genişleme yönünde ilerlerken gerçekleşmekte, maksimum yanmanın olduğu evrede silindir içerisindeki hacmin artmış olması silindir içi basıncın azalmasına neden olmaktadır. Bu nedenle yanmanın gecikerek oluşması maksimum silindir içi basıncın azalmasına ve yakıttan elde edilen yararlı işin sınırlandırılmasına neden olmaktadır.

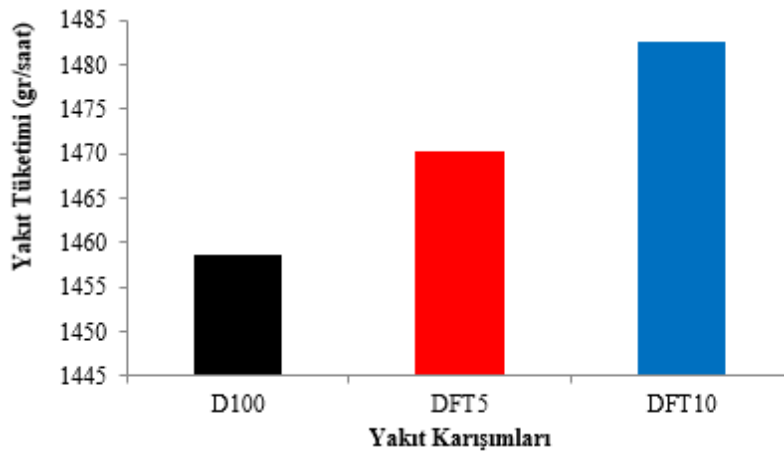
**Şekil 11.** Dizel Yakıtına fuel-oil+toluen ilavesinin silindir içi basınç değişimine etkisi

Şekil 12’de Pmak değerinin dizel yakıtına ilave edilen fuel-oil+toluen ile değişimi verilmiştir. Dizel yakıtına fuel-oil+toluen ilavesi ile birlikte Pmak değerinin azaldığı görülmektedir. Yakıtın yüksek viskozitesi ve yoğunluğu, kötü enjeksiyon karakteristiklerine yol açmakta ve dolayısıyla zayıf yanmaya neden olmaktadır [37]. D100 yakıtı ile maksimum 37,35 bar basınç değeri elde edilirken, DFT5 yakıtı kullanımı ile 35,34 bar ve DFT10 yakıtı ile birlikte ise 34,62 bar değeri elde edilmiştir. Literatürde, yüksek viskozite ve yoğunluğa sahip yakıtlar ile ilgili yapılan çalışmalar incelendiğinde benzer sonuçların elde edildiği görülmüştür [25, 39, 40].



Şekil 12. Pmak’ın yakıt karışımlarına göre değişimi

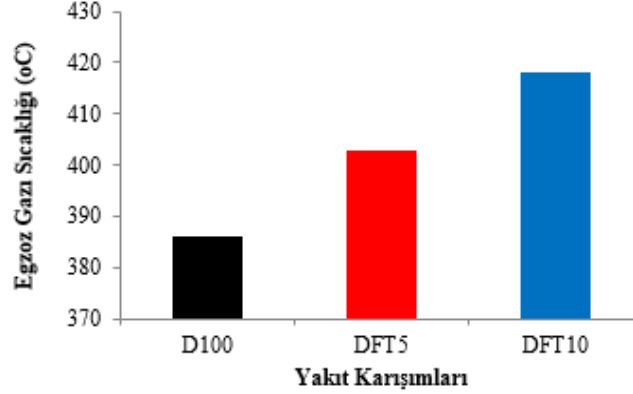
Dizel yakıtına fuel-oil+toluen ilavesi ile yakıt tüketiminde meydana gelen değişim şekil 13’te gösterilmektedir. İçten yanmalı motorlarda motor performansının belirlenmesi işlemi önemli bir parametre olan yakıt tüketimi, verilen test koşulları altında belirli bir zaman içerisinde hacimsel veya kütleli yakıt tüketiminin ölçülmesi ile belirlenebilmektedir [41]. Bu çalışmada yakıt tüketimi, 0,01 gram hassasiyete sahip terazi kullanılarak 10 gr yakıtın tükenmesi için geçen süre kaydedilerek hesaplanmıştır. Dizel yakıtına fuel-oil+toluen ilavesi ile yakıt tüketiminde artış görülmüştür. Yapılan deneylerde yakıt tüketimi D100 yakıtı ile 1458,7 g/saat iken DFT5 yakıtının kullanımı ile 1470,26 gr/saat ve DFT10 yakıtının kullanılması ile 1482,5 gr/saat olarak elde edilmiştir. Bir motorun yakıt tüketiminin yakıtın yoğunluğuna, viskozitesine, ısıl değerine, yakıt hava oranına ve motorun çalışma verimliliğine bağlı olarak değişebileceği ifade edilmektedir [41,42]. Daha önce yapılan çalışmalarda, genel olarak yüksek yoğunluk, viskozite değerlerine sahip yakıtların yakıt tüketimini arttırdığı görülmüştür [43-46].



Şekil 13. Yakıt tüketiminin yakıt karışımlarına göre değişimi

Şekil 14’te egzoz gazı sıcaklığının dizel yakıtına ilave edilen fuel-oil+toluen ile değişimi gösterilmektedir. Dizel yakıtına fuel-oil+toluen ilavesi ile birlikte egzoz gazı sıcaklığında artış meydana

gelmiştir. Dizel yakıtına fuel-oil+toluen ilavesi ile birlikte yanmanın uzadığı silindir içi basınç eğrilerinden görülmektedir (Şekil 11). Silindir içerisinde uzayan yanma işleminin genişleme zamanı sonlarına sarkması, egzoz gazı sıcaklığının artmasına neden olduğu düşünülmektedir.



Şekil 14. Egzoz Gazı Sıcaklığının yakıt karışımlarına göre değişimi

Sonuç ve Öneriler

Günümüzde içten yanmalı motorların test edilmesi işleminde yaygın olarak motor dinamometreleri kullanılmaktadır. Motor dinamometreleri oldukça yüksek maliyetli cihazlardır ve genel olarak yurt dışından ithal yoluyla temin edilmektedirler. Yapılan bu çalışmada, bir dizel jeneratörünün düşük maliyetli motor test düzeneğine dönüştürülebileceği görülmüştür.

Dizel bir jeneratörde dizel yakıtının içerisine, fuel-oil+toluen ilavesi ile motor parçaları ve vuruntulu çalışma açısından olumsuz bir durum ile karşılaşılması. Motor performansı açısından bakıldığında ise silindir içi basınç değerinde dizel yakıtına göre DFT5 yakıtı ile %5 ve DFT10 yakıtı ile %7.3'lük bir azalma meydana gelmiştir. Bunun yanında saatlik yakıt tüketiminde ise DFT5 yakıtı ile %1.2 ve DFT10 yakıtı ile % 1.9'luk artış görülmüştür. Elde edilen motor test düzeneğinde dizel ve dizel+fuel-oil karışımları kullanılarak birtakım deneyler gerçekleştirilmiştir. Dizel yakıtına fuel-oil katkısı ile silindir içi basınç değerinin düştüğü, yakıt tüketiminin ve egzoz gazı sıcaklığının arttığı görülmüştür.

Teşekkür

Bu çalışma, BAP-17-MMF-4901-03 proje numarası ile Muş Alparslan Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri birimi tarafından desteklenmiştir.

Yazarların Katkısı

Çalışmada tüm yazarlar eşit oranda katkı sunmuştur.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada, araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar

- [1] Passenbrunner T.E., Sassano M., Re L. 2013. Optimal Control of Internal Combustion Engine Test Benches equipped with Hydrodynamic Dynamometers. 7th IFAC Symposium on Advances in Automotive Control, September 4-7, pp576-581, Tokyo, Japan.

- [2] Blumenschein J., Schrangl P., Passenbrunner T.E., Trogmann H., Re L. 2013. Easily Adaptable Model of Test Benches for Internal Combustion Engines. 2013 European Control Conference (ECC), July 17-19, 2013, Zürich, Switzerland.
- [3] Öz İ.H., Borat O., Sürmen A. 2003. İçten Yanmalı Motorlar. Birsen Yayınevi, İstanbul.
- [4] Batmaz U. 2010. Construction of a computer controlled diesel engine setup for performance and emission test. Master of Science in Mechanical Engineering Department, Middle East Technical University, Ankara, Türkiye.
- [5] Aktaş A., Aydın M., Sekmen P. 2016. Bir AC Jeneratörün Motor Dinamometresi Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması. El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi, 3 (3): 498-505.
- [6] Çelik M.B., Bayır R., Özdalyan B. 2007. Bilgisayar destekli motor test standının tasarımı ve imalatı. Teknoloji, 10 (2): 131-141.
- [7] Koç T. 2012. Bir motor test ünitesinin kontrol sisteminin tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- [8] Oliveira A., Morais A.M., Valente O.S., Sodr  J.R. 2014. Combustion, performance and emissions of a diesel power generator with direct injection of B7 and port injection of ethanol. J Braz. Soc. Mech. Sci. Eng., 39: 1087-1096.
- [9] Işık M.Z., Bayındır H., İscan B., Aydın H. 2017. The effect of n-butanol additive on low load combustion, performance and emissions of biodiesel-diesel blend in a heavy duty diesel power generator. Journal of the Energy Institute, 90: 174-184.
- [10] Lata D.B., Misra A., Medhekar S. 2012. Effect of Hydrogen and LPG Addition on the Efficiency and Emissions of a Dual Fuel Diesel Engine. International Journal of Hydrogen Energy, 37: 6084-6096.
- [11] Singh R.N., Singh S.P., Pathak B.S. 2007. Investigations on Operation of CI Engine Using Producer Gas And Rice Bran Oil In Mixed Fuel Mode. Renewable Energy, 32: 1565-1580.
- [12] Chung T.W., Liu K.T. Gao S. 2012. Fuel Properties and Emissions from a Diesel Power Generator Fuelled with Jatropha Oil and Diesel Fuel Blends. Advanced Materials Research, 347-353: 2688-2691.
- [13] Killol A., Reddy N. Paruvada S., Murugan S. 2019. Experimental studies of a diesel engine run on biodiesel n-butanol blends. Renewable Energy, 135: 687-700.
- [14] Wittek K., Geiger F., Andert J., Martins M., Cogo V., Lanzanova T. 2019. Experimental investigation of a variable compression ratio system applied to a gasoline passenger car engine. Energy Conversion and Management, 183: 753-763.
- [15] Kumar M.S., Arul K., Sasikumar N. 2019. Impact of oxygen enrichment on the engine's performance, emission and combustion behavior of a biofuel based reactivity controlled compression ignition engine. Journal of the Energy Institute, 92: 51-61.
- [16] Montoya J.P.G., Diaz G.J.A., Arrieta A.A.A. 2018. Effect of equivalence ratio on knocking tendency in spark ignition engines fueled with fuel blends of biogas, natural gas, propane and hydrogen. International Journal of Hydrogen Energy, 43: 23041-23049.
- [17] Labeckas G., Slavinskas S. 2013. Performance and emission characteristics of a direct injection diesel engine operating on KDV synthetic diesel fuel. Energy Conversion and Management, 66: 173-188.
- [18] Aydın M., Irgin A., Çelik M.B. 2018. The Impact of Diesel/LPG Dual Fuel on Performance and Emissions in a Single Cylinder Diesel Generator. Applied Sciences, 8 (5): 825, 1-14.
- [19] Hawi M., Elwardany A., Ookawara S., Ahmed M. 2019. Effect of compression ratio on performance, combustion and emissions characteristics of compression ignition engine fueled with jojoba methyl ester. Renewable Energy, 141: 632-645.
- [20] Karthickeyan V. 2019. Effect of combustion chamber bowl geometry modification on engine performance, combustion and emission characteristics of biodiesel fuelled diesel engine with its energy and exergy analysis. Energy, 176: 830-852.
- [21] Luo Q., Hu J.B., Sun B., Liu F., Wang X., Li C., Bao L. 2019. Experimental investigation of combustion characteristics and NOx emission of a turbocharged hydrogen internal combustion engine. International Journal of Hydrogen Energy, 44: 5573-5584.
- [22] Yeom J.K., Jung S.H., Yoon J.H. 2019. An experimental study on the application of oxygenated fuel to diesel engines. Fuel, 248: 262-277.

- [23] Öztürk U., Hazar H., Yılmaz F. 2019. Comparative performance and emission characteristics of peanut seed oil methyl ester (PSME) on a thermal isolated diesel engine. *Energy*, 167: 260-268.
- [24] Lee J., Park C., Kim Y., Choi Y., Bae J., Lim B. 2019. Effect of turbocharger on performance and thermal efficiency of hydrogen-fueled spark ignition engine. *International Journal of Hydrogen Energy*, 44: 4350-4360.
- [25] Asokan M.A., Prabu S.S., Bade P.K.K., Nekkanti V.M., Gutta S.S.G., 2019. Performance, combustion and emission characteristics of juliflora biodiesel fuelled DI diesel engine. *Energy*, 173: 883-892.
- [26] Nour M., El-Seesy A.I., Abdel-Rahman A.K., Bady, M. 2018. Influence of adding aluminum oxide nanoparticles to diesterol blends on the combustion and exhaust emission characteristics of a diesel engine. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 98: 634-644.
- [27] Al-Dawody M.F., Jazie A.A., Abbas H.A. 2019. Experimental and simulation study for the effect of waste cooking oil methyl ester blended with diesel fuel on the performance and emissions of diesel engine. *Alexandria Engineering Journal*, 58: 9-17.
- [28] Alptekin E., Sanli H., Canakci M. 2019. Combustion and performance evaluation of a common rail DI diesel engine fueled with ethyl and methyl esters. *Applied Thermal Engineering*, 149: 180-191.
- [29] Öztürk E. 2015. Performance, emissions, combustion and injection characteristics of a diesel engine fuelled with canola oil-hazelnut soapstock biodiesel mixture. *Fuel Processing Technology*, 129: 183-191.
- [30] Özer S. 2015. Pirina yağından fuzel yağı ile biyodizel üretimi ve dizel motor performans ve emisyonlarına etkisi. Doktora Tezi, Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.
- [31] Sandalcı T., Işın Ö., Galata S., Karagöz Y., Güler İ. 2019. Effect of hythane enrichment on performance, emission and combustion characteristics of an CI engine. *International Journal of Hydrogen Energy*, 44: 3208-3220.
- [32] Jamrozik A., Tutak W., Pyrc M., Gruca M., Kocisko M. 2018. Study on co-combustion of diesel fuel with oxygenated alcohols in a compression ignition dual-fuel engine. *Fuel*, 221: 329-345.
- [33] Tangöz S., Kahraman N., Akansu S.O. 2017. The effect of hydrogen on the performance and emissions of an SI engine having a high compression ratio fuelled by compressed natural. *International Journal of Hydrogen Energy*, 42: 25766-25780.
- [34] Sharma T.K. 2015. Performance and emission characteristics of the thermal barrier coated SI engine by adding argon inert gas to intake mixture. *Journal of Advanced Research*, 6: 819-826.
- [35] Yılmaz E., Aksoy F. 2019. %10 Balık Yağı Biyodizeli-%90 Dizel Yakıt Karışımı İle Çalışan Direkt Enjeksiyonlu Bir Dizel Motorunda Yanma ve Performans Karakteristiklerinin İncelenmesi. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji*, 7 (1): 12-24.
- [36] Şimşek D., Çolak N.Y. 2019. Biyodizel/Propanol Yakıt Karışımlarının Dizel Motor Emisyonlarına Etkisinin İncelenmesi. *El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi*, 6 (1): 166-174.
- [37] Kumar R., Gakkhar R.P. 2018. Influence of nozzle opening pressure on combustion, performance and emission analysis of waste cooking oil biodiesel fuelled diesel engine. *Int. J. Renewable Energy Technology*, 9 (1/2): 244-259.
- [38] Aydoğan H., Acaroglu M., Ozcelik A.E. 2018. Comparison of Performance and Combustion Characteristics of Methyl Ester and Ethanol Used In a Common Rail Diesel Engine. 4th International Conference On Environmental Science and Technology, 19-23 September 2018 Kiev, Ukraine.
- [39] Kumar R., Gakkhar R.P. 2018. Influence of nozzle opening pressure on combustion, performance and emission analysis of waste cooking oil biodiesel fuelled diesel engine. *Int. J. Renewable Energy Technology*, 9 (1/2): 244-259.
- [40] Azad A.K., Rasul M.G., Bhatt C. 2019. Combustion and emission analysis of Jajoba biodiesel to assess its suitability as an alternative to diesel fuel. *Energy Procedia*, 156: 159-165.
- [41] Raman L.A., Deepanraj B., Rajakumar S., Sivasubramanian V. 2019. Experimental investigation on performance, combustion and emission analysis of a direct injection diesel engine fuelled with rapeseed oil biodiesel. *Fuel*, 246: 69-74.
- [42] Srivastava P.K., Verma M. 2008. Methyl ester of karanja oil as an alternative renewable source energy. *Fuel*, 87: 1673-1677.

- [43] Arunkumar M., Kannan M., Murali G. 2019. Experimental studies on engine performance and emission characteristics using castor biodiesel as fuel in CI engine. *Renewable Energy*, 131: 737-744.
- [44] Dhanasekaran R., Ganesan S., Kumar B.R., Saravanan S. 2019. Utilization of waste cooking oil in a light-duty DI diesel engine for cleaner emissions using bio-derived propanol. *Fuel*, 235: 832-837.
- [45] Shen X., Shi J., Cao X., Zhang X., Zhang W., Wu H. 2018. Real-world exhaust emissions and fuel consumption for diesel vehicles fueled by waste cooking oil biodiesel blends. *Atmospheric Environment*, 191: 249-257.
- [46] Valente O.S., Silva M.J., Pasa V.M.D., Belchior C.R.P., Sodre J.R. 2010. Fuel consumption and emissions from a diesel power generator fuelled with castor oil and soybean biodiesel. *Fuel*, 89: 3637-3642.

Araştırma Makalesi / Research Article

New Experimental Approaches to Sand Hardening by Microbial Biocalcification

Alpcan ARIC¹, Irem DENİZ CAN², Tugba KESKİN^{1*}

¹Bioengineering Department, Ege University, Izmir, Turkey

²Bioengineering Department, Manisa Celal Bayar University, Manisa, Turkey

(ORCID0000-0002-9542-1654) (ORCID:0000-0002-1171-8259) (ORCID: 0000-0001-9354-7774)

Abstract

In recent years, together with the increasing population, there has been a rapid growth in the construction sector in order to meet housing needs. This growth led to the rapid development of the cement industry. In the process of increasing industrialization, biotechnological processes are becoming more important. The most important alternative to the cement industry is the microbial bio-calcification process. In this process, cement-like structures are produced by bacteria at room temperature conditions. Microbial bio-calcification processes have attracted the interest of researchers especially in the process of self-healing in recent years as an alternative and nature-friendly solution to the cement production processes that are being produced at high temperatures. This study is an optimization of an innovative, environmentally friendly and biotechnological method for the construction and cement industry. Different production surfaces was used for sand hardening with *Sporosarcina pasteurii* such as agar plates, filter paper and polyurethane support materials. The effect of different CaCl₂ concentrations (25 mM, 50 mM and 100 mM) and sand thickness (1 mm, 5 mm and 10 mm) was also tested. CaCO₃ was determined by FTIR and measured by chemical analysis. In addition, the hardness and integrity of the samples were observed. Agar and polyurethane support materials were found to be more effective in terms of support material for sand hardening. Increased thickness reduced the hardness and 50 mM CaCl₂ concentration was found to be optimum for these types of processes. This study shows the effects of sand hardness on innovative, environmentally friendly and biotechnological approach optimization.

Keywords: Bio-calcification, Bio-cement, Agar, Polyurethane, Filter paper, Sand hardening.

Mikrobiyal Biyokalsifikasyon ile Kumun Sertleştirilmesinde Yeni Deneysel Yaklaşımlar

Öz

Son yıllarda nüfustaki artışla birlikte barınma ihtiyacının giderilmesi için inşaat sektöründe hızlı bir büyüme olmuştur. Bu büyüme beraberinde çimento endüstrisinde hızlı gelişimi getirmiştir. Artan endüstrileşme sürecinde biyoteknolojik süreçler her geçen gün daha fazla önem kazanmaktadır. Çimento endüstrisinin en önemli alternatifi mikrobiyal biyokalsifikasyon prosesleridir. Bu proseste çimento benzeri yapılar oda sıcaklığı koşullarında bakteriler tarafından üretilmektedirler. Mikrobiyal biyo-kalsifikasyon prosesleri yüksek sıcaklıklarda üretimi gerçekleştiren çimento proseslerine alternatif ve doğa dostu bir çözüm olarak son yıllarda araştırmacıların ilgisini özellikle kendi kendine iyileşme sürecinde çekmiştir. Bu çalışma kapsamında mikrobiyal biyo-kalsifikasyon işlemiyle kum sertleşmesinde farklı üretim yüzeyleri karşılaştırılmıştır. Agar, filtre kağıdı ve poliüretan destek malzemeleri kullanılarak *Sporosarcina pasteurii* ile kum sertleştirilmesi proses verimleri incelenmiştir. Farklı CaCl₂ konsantrasyonlarının (25 mM, 50 mM ve 100 mM) ve kum kalınlığının (1 mm, 5 mm ve 10 mm) etkisi de test edilmiştir. CaCO₃ varlığı FTIR testleri ile belirlenmiş ve konsantrasyon karşılaştırmaları kimyasal yöntemlerle yapılmıştır. Ek olarak, numunelerin sertliği ve bütünlüğü de gözlenerek en uygun üretim yüzeyi karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Sonuç olarak agar ve poliüretan destek malzemelerinin, kum sertleşmesinde destek malzemesi olarak daha etkili olduğu bulunmuştur. Artan kum kalınlığının sertliği azalttığı ve 50 mM CaCl₂ konsantrasyonunun optimum miktar olduğu belirlenmiştir. Bu çalışma yapı sektörü ve çimento sektörü açısından yenilikçi, çevre dostu ve biyoteknolojik bir yöntemin optimizasyonu niteliğindedir.

Anahtar kelimeler: Biyo-kalsifikasyon, Biyo-çimento, Agar, Poliüretan, Filtre kâğıdı, Kum sertleştirilmesi.

*Corresponding author: tugba.keskin.gundogdu@ege.edu.tr

Received: 25.05.2019, Accepted: 23.09.2019

1. Introduction

For the last fifty years, the world-wide public awareness of environmental issues initiated a movement that developed around the concepts of green, ecological and environmentally friendly, sustainable production technologies. The concept of sustainability is the preservation of continuity while ensuring the progression of diversity and productivity. Although the origins date back to 70s, the public has been introduced to the concept of sustainability by means of the Brundtland Report published by the World Commission on Environment and Development working in the United Nations. In this report, it was emphasized that the development of a vital bridge between environmental development and economic development should urgently be taken into consideration [1].

In recent years, the increasing population in the world has brought environmental problems and housing needs simultaneously. For many years, accommodation has been the basic need of humanity and with the help of increasing technological facilities, durable housing solutions are becoming more and more explicit in the construction industry therefore the cement industry. The building block of the construction industry is the cement industry. A very few portion of accommodation projects in developed countries are based on alternative design aspects that do not utilize cement. The market value of cement industry was reported as at \$7.5 billion ton annually for 2016 in U.S. Turkey is the largest cement producer in Europe and the fifth largest producer in the world, ranking sixth in the world market for exports. Our country cement production, according to Turkey Cement Manufacturers' Association data, averagely 70 million ton cement production reported since 2014 [2]. Cement industry is environmentally hazardous from the usage of raw material to final product. The process temperatures increases up to 1350-1450 °C during heat treatment of the raw material. Therefore a huge energy consumption occurs during production [3]. There is an urgent need to reduce the energy costs and to find an environmentally friendly cement production technologies or natural replacement for cement [4].

First solution for replacement of the cement industry is thought to be using sand and soil constructions. Although it will no longer be the dominant building material in industrialized countries, it is still being used in the restoration of old buildings and in some regions where the architectural tradition continues. The soil can be hardened with different materials when necessary, in order to increase the resistance against cracking, water erosion and wear, and its binding property, compressive strength and thermal insulation resistance [5].

In recent years, the use of developing technologies for environmentally friendly solutions has become widespread. The elimination of the negative environmental conditions or the reduction of the minimum environmental burden has been the focus of many researchers, along with developing bioengineering approaches. Increasing production capacities, which are the biggest reason of globalization, result in increasing harm to the human health of the emerging products [6]. In summary developing building sector needs ecological, environmentally friendly and sustainable design products which is compatible with nature. The type of material or the low temperature biotechnological processes gaining importance day by day [7].

For the production of cement mostly used biotechnological process is the microbial biocalcification. Since microbial biocalcification is a combination of biological pathways instead of chemical pathways of cement production it is compatible with nature. The final product of biocalcification, CaCO_3 , is a hard, durable and long life concrete alternative which can harden the sand, the most abundant material in nature [8].

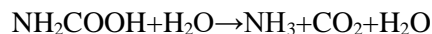
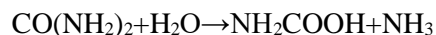
Natural formation of CaCO_3 in nature is a very slow process that can take many years. Microbial activity is the main source for mineral formation in nature especially the moulds and the CaCO_3 based stones at seas. This mineralization process is the activity of urease enzyme Urease is Ni-dependent, homologueous enzyme and can be found in plant, bacteria etc. The main duty of the urease is to hydrolyze urea into ammonia and CO_2 . There are many types of bacteria having this urease mechanism but *Sporosarcina pasteurii* is known as the most studied and wide spread soil bacterium with high capacity of urease production [9]. Other strains that can take role in microbial biocalcification are; *Sporosarcina urea*, *Sporolactabacillus* etc [10].

In general, spore forming, gram-positive, aerobic or facultative anaerobic rod shaped bacteria are known to belong to *Bacillus* genus. *Bacillus pasteurii* was identified by Miquel Chester in 1889 and in 2001 Yoon et al. changed the name of this bacteria to *Sporosarcina pasteurii* [11]. The cell size changes between 1.3-4 μm and the spore size changes between 0.8-1.3 μm . They can live at a wide

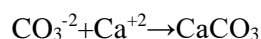
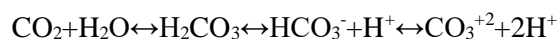
variety of temperatures between 5 to 45°C, mostly ambient room temperature is used. *Sporosarcina pasteurii* can be isolated from soil, water, muds. It is at Biosafety level 1 and non pathogenic. One of the main important property of *Sporosarcina pasteurii* is the ability to grow at high pH levels. Therefore it can live at ammonium salt containing environments [12].

The metabolic pathway of *Sporosarcina pasteurii* is as follows.

1 mol urea is converted to 2 mol ammonia and 1 mol CO₂.



After addition of CaCl₂ to this medium at high pH;



It can be clearly seen from this reaction that microbial biocalcification process also known as to reduce the CO₂ release to atmosphere which is also an important benefit in terms of environmental protection [8].

The urease mechanism and the CaCO₃ production capacity of *Sporosarcina pasteurii* was also used in many studies for rehabilitation and renewing the cement materials. It was used for filling the cracks, self healing processes [13-15]. *Sporosarcina pasteurii* can also be used for reducing the hydraulic conductivity for environmental applications [16].

As it can be seen clearly there are several application areas for microbial biocalcification processes such as self healing or crack filling but direct usage of this process for sand hardening and therefore using as alternative for construction sector is very limited.

In this study, the urease mechanism of *Sporosarcina pasteurii* and sand hardening feature were utilized. In order to increase the low strength values in sand hardening studies in the literature, *Sporosarcina pasteurii* activity differences, optimum support material and highest CaCO₃ production values were determined using agar, filter paper and polyurethane support materials. The most suitable and environmentally friendly support material for the integration of microbial bio-calcification processes to the building sector was investigated.

2. Materials and Methods

2.1. Support materials and sand

In this study, it was aimed to determine the optimum support material for bio-calcification. In this respect, agar, filter paper and polyurethane material were tested. For agar surface, 10% agar containing nutrient medium was used. For the filter paper surface, Grade 1 (11 µm) filter paper (Fisher Scientific) was used. For the polyurethane surface, solid polyurethane material with a pore size of 1,5 mm was used. The sand used in the study was collected from a local area.

2.2. Microorganism and nutrient media

The bacterium provided in lyophilized form from the DSMZ culture collection (DSM-GmbH, Germany). For the DSMZ-DSM 33 culture, Medium 220 + Urea (20 g/L) was used as nutrient. The content of Medium 220 was 15.0 g/L peptone from casein (Oxoid), 5.0 g/L peptone from soymeal (Oxoid), 5.0 g/L NaCl (Merck), 15.0 g/L agar (Sigma) and 1000.0 ml distilled water. The growth curve of the bacteria is in Figure 1.

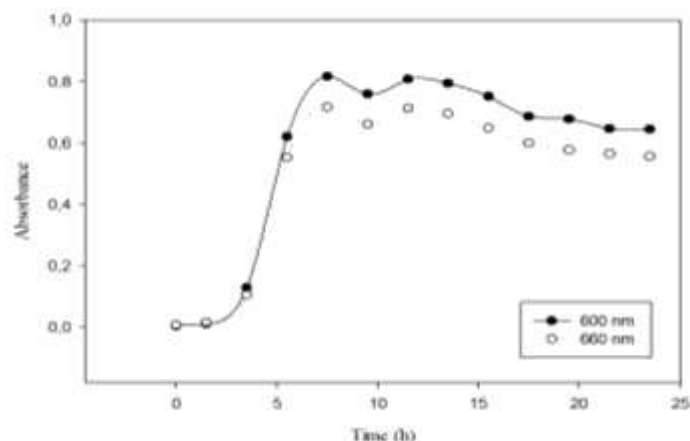
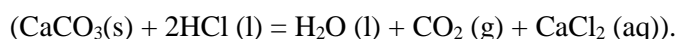


Figure 1. The growth curve of *Sporosarcina pasteurii*

2.3. Analytical Methods

2.3.1. Chemical CaCO₃ test

Exothermic reaction occurs between HCl and CaCO₃



To determine the CaCO₃ content of the samples the solid samples (0, 5 g) are kept overnight in 5 ml HCl (37% w/w HCl_{aq}) at ependorf tubes. Then liquid removed from tube and samples dried at 105°C for 2 h. Finally, the percentage mass loss determined by measuring the weight. Before the CaCO₃ determination the standard curve was sketched by using increasing amounts of CaCO₃ (0,02 – 0,08 g CaCO₃ / 0,5 g Sand). R² value of standard samples graph is 0,99 (Figure 2).

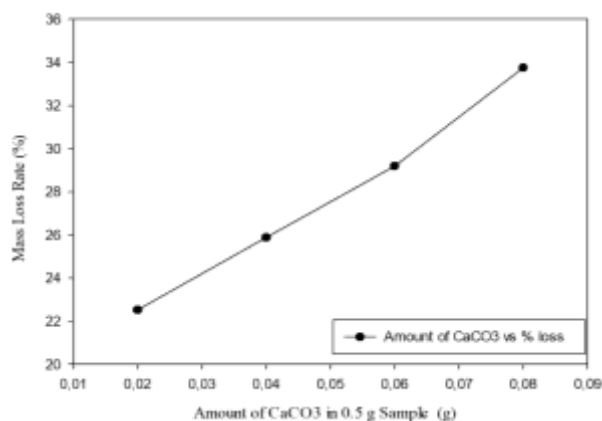


Figure 2. Standard curve of chemical CaCO₃ analysis

2.3.2. ATR-FTIR Analysis

ATR-FTIR (Attenuated Total Reflection - Fourier Transformed Infrared Spectrometer) was used to examine the structure of solid liquid and powder samples. The device determines the vibration frequencies of the bonds in the molecules and defines the functional groups. Hardware features; DTGS detector, 4000-600 cm⁻¹ spectrum range, Laser diode and Spectrum 10 software.

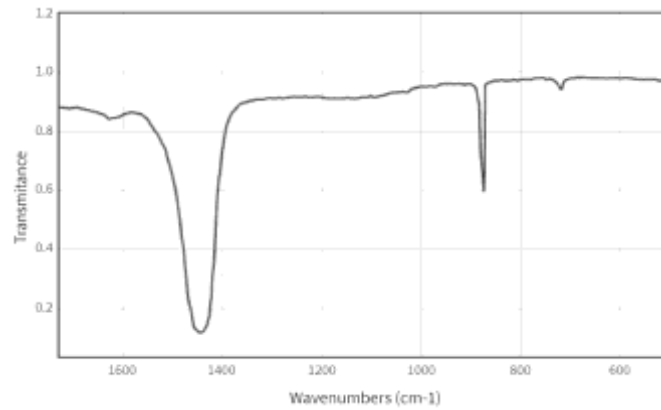


Figure 3. FTIR Spectrum of CaCO_3 [17]

ATR-FTIR device analysis is used in many analyzes because of its fast realization and practicality. Molecular groups give peaks in a certain spectrum and their presence can be observed. Like each molecule, CaCO_3 has a unique spectrum (Figure 3). CaCO_3 gives peaks at approximately 1480, 881 and 712 wave count (cm^{-1}) [17]. Values may vary depending on the characteristics of the device and the environment in which the analysis was performed. Due to the analysis costs, selected samples according to observational analysis were analyzed with the FTIR device.

2.4. Agar supported sand hardening

The agar assisted sand hardening process started with the revitalization of the lyophilized culture supplied from DSMZ (Germany). *Sporosarcina pasteurii* was grown on agar plates. After 24 h incubation non-sterilized sand was spread over agar plates and the 20 mL calcification medium with proper concentrations was added on sands and mixed gently (Figure 4). The calcification medium consists DSM 33 medium, 20 g/L urea and CaCl_2 . CaCl_2 concentrations was prepared as 25 mM, 50 mM and 100 mM. The thickness of the sand was adjusted to 1 mm, 5 mm and 10 mm (all experiments were performed in 3 parallels). In order to complete the process, the petri dishes are kept in an incubator set at 30 °C for 3-4 days.

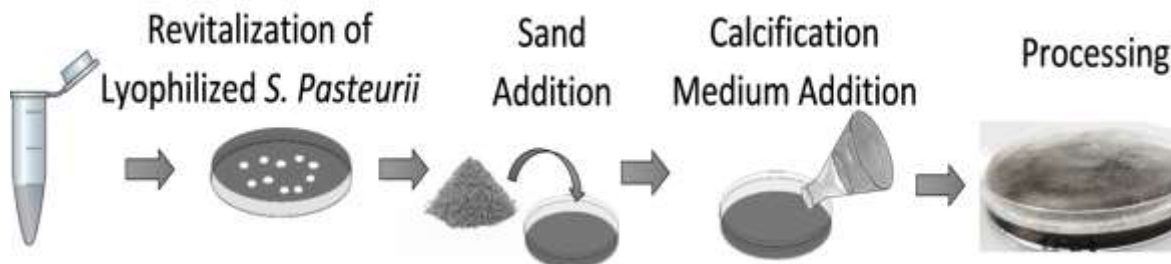


Figure 4. Experimental set-up of sand hardening process

2.5. Polyurethane supported sand hardening

For polyurethane supported sand hardening started with revitalization of the lyophilized culture. *Sporosarcina pasteurii* was grown on agar plates (24h). The activation in liquid culture was occurred by transferring the bacteria for petri to liquid medium. *Sporosarcina pasteurii* medium was transferred to polyurethane assisted sand material at 6th hour of the process. The experimental design can be seen in Figure 5. First, the polyurethane sponges are placed in the petri dishes. Then the sand is added to the thicknesses determined (1 mm, 5 mm and 10 mm) on the polyurethane foam (sponge) (all experiments were performed in 3 parallels). Homogeneous mixing of sand grains in the sponge is provided. Liquid bacterial culture (10 mL) and calcification medium (20 mL) are added on petri dishes. The control groups were prepared without adding CaCl_2 . As a final step, the petri dishes are kept in the incubator set to 30 °C for 3-4 days.

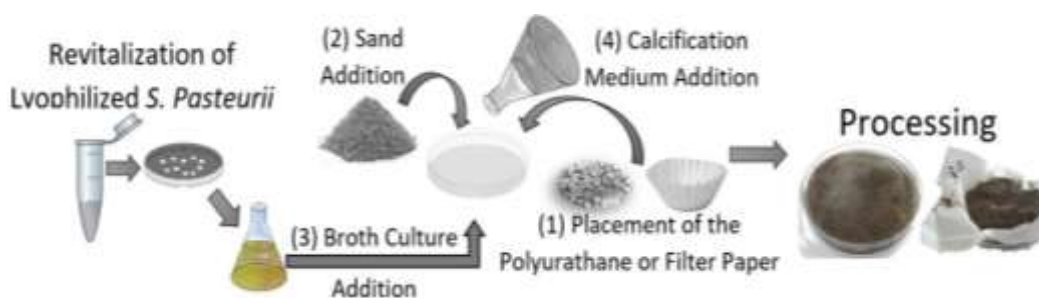


Figure 5. Experimental set-up of polyurethane or filter paper supported sand hardening

2.6. Filter paper supported sand hardening

In filter paper assisted sand hardening the same procedure with polyurethane assisted design was used with replacement of filter paper with polyurethane foam (all experiments were performed in 3 parallels) (Figure 5).

3. Results and Discussions

The important parameters in sand hardening process are; bacteria type, sand thickness and CaCl_2 concentration. The growth rate of the *Sporosarcina pasteurii* showed that the active hours for the bacteria are between 4-7 h (Figure 1) Therefore the experiments were conducted by using *Sporosarcina pasteurii* 6-7 hours after activation to keep the concentration constant. In all experiments the sand thickness was changed as 1mm, 5mm and 10 mm; the CaCl_2 concentrations were 25 mM, 50 mM and 100 mM. All experiments were performed in duplicates and all the parameters has control group without bacteria. The agar plates with bacteria and without bacteria were kept at different incubators to keep them from cross contamination at 30 °C. After the process, the products were first examined based on observation then chemical analysis were performed and mass losses were also compared. Finally, FTIR analysis was applied to 3 best samples from each group in order to confirm the CaCO_3 presence.

3.1. Agar supported sand hardening

In many bioprocesses agar is used as encapsulation material for different types of bacteria. Agar provides a solid surface for bacteria by reaching easily to the nutrients for growth and enzyme reactions. In this study %10 agar was added to growth medium and the bacteria was grown on this support material. After adding the sand and the calcification medium including CaCl_2 the sand hardening started by the urease mechanism of *Sporosarcina pasteurii*. At the end of the calcification process the agar and the solidified sand was observed as stacked together and cannot be separated from each other. At control group an elastic and broken structure was observed (Figure 6A). The agar plate with *Sporosarcina pasteurii* provided a suitable surface for stable (Figure 6B). A thinning of the agar layer was also observed due to the performance of bacteria using the nutrient medium. All samples including *Sporosarcina pasteurii* was resulted in a smooth and stable surface and in all control samples no hardening was observed. 10 mm thickness and 50 mM CaCl_2 concentration gave the best results in terms of hardening and a stable surface.

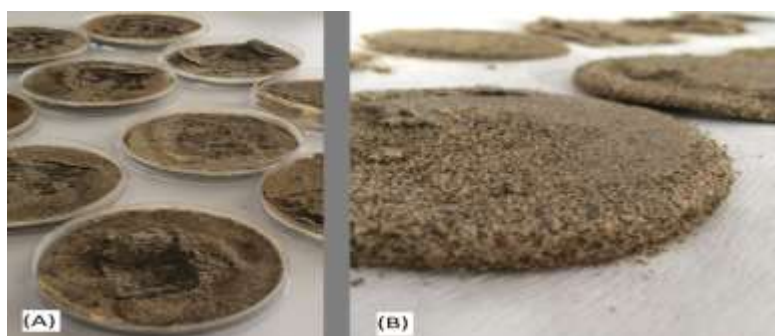


Figure 6. Products of agar assisted sand hardening (A: Without inoculum; B: With inoculum)

The chemical CaCO_3 concentration tests was conducted as explained in materials and methods section 2.3.1 in details. The difference of CaCO_3 formation was measured according to mass losses from each sample. The mass loss results were changed between 14 to 22% in the samples with inoculum and 15 to 20% in the samples without inoculum (control groups). The maximum CaCO_3 formation was observed with 5 mm thickness and 100 mM concentration samples (Figure 7).

CaCO_3 amounted to high values in the control groups but as a result of these observations no structural hardening was observed in these groups. It is normal to observe CaCO_3 in the sand as it is taken from nature, but the hardening in the bacteria-containing environment is due to the urease mechanism. It has been clearly understood from these experiments that the presence of free calcium carbonate in the sand structure is not enough for sand hardening process.

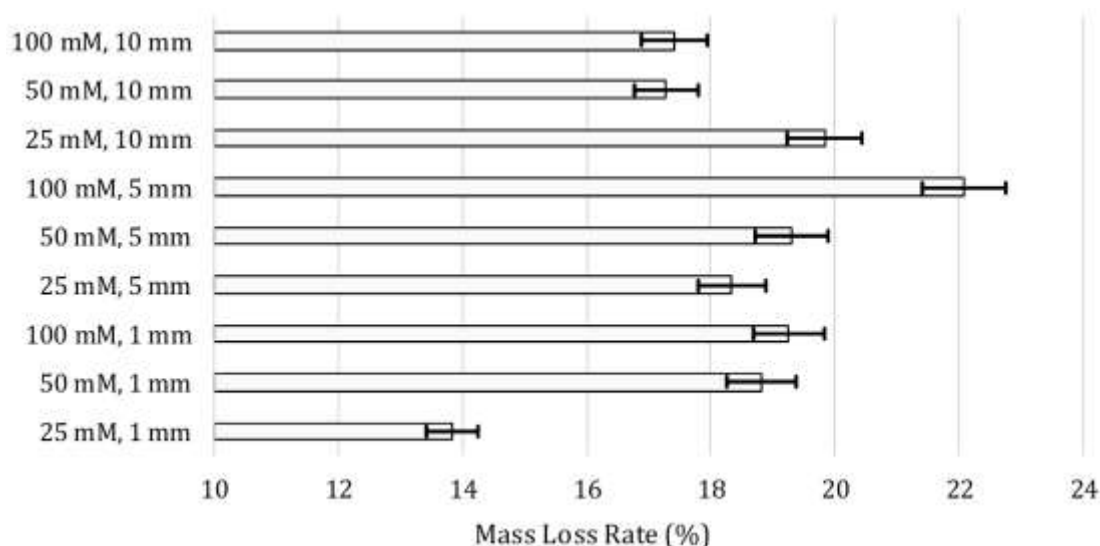


Figure 7. Chemical analysis results of agar supported sand hardening

According to chemical analysis and the observational analysis the best three samples were chosen for FTIR analysis. The samples were the 5 mm thickness samples with 25 mM, 50 mM and 50 mM CaCl_2 . When the analysis results were examined (Figure 13), according to the wavelength it can be clearly understood that all of the spectra were observed to have CaCO_3 peaks. As a result, all samples contain different proportions of CaCO_3 . Thus, the samples were proved to contain CaCO_3 .

3.2. Polyurethane supported sand hardening

Polyurethane is a biocompatible, flexible and sponge-like material. After biocalcification process the observational results showed the positive effect of polyurethane as support material in terms of sand hardening. In control groups without *Sporosarcina pasteurii* sand hardening was not observed (Figure 8).



Figure 8. Products of polyurethane assisted sand hardening (A: Without inoculum; B: With inoculum)

Since the sand thickness of 1 mm with polyurethane support material is lower than the polyurethane foam height the chemical analysis could not be performed. The difference of CaCO_3 formation was compared according to mass losses from the samples (Figure 9). The mass loss results were changed between 17 to 21% in the samples with inoculum and 16 to 20% in the samples without inoculum. The sand hardening with 5 mm thickness had better formation than in 10 mm samples. 100 mM concentration gave the best results in terms of mass loss rate (%) for both thickness samples.

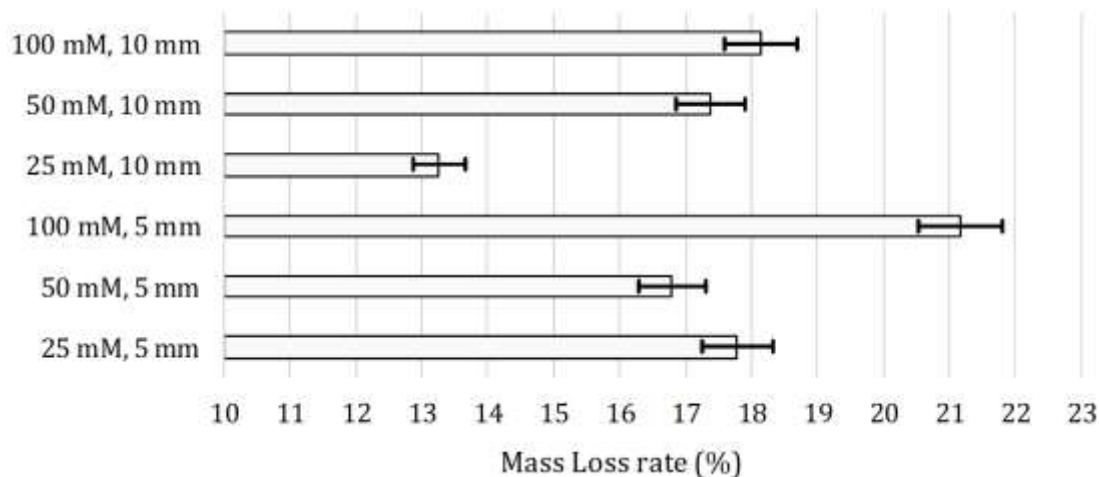


Figure 9. Chemical analysis results of polyurethane supported sand hardening

FTIR analysis was performed on the samples having 5 mm thickness and 50 mM, 100 mM CaCl_2 and the control group of 50 mM. When the analysis results were examined (Figure 13), all of the spectra were observed to have CaCO_3 peaks. As a result, all samples contain different proportions of CaCO_3 . Thus, the samples were proved to contain CaCO_3 .

3.3. Filter paper supported sand hardening

The formation of sand hardening was not stabilized in filter paper support as in agar and polyurethane foam support. From the final shape it was understood that the contact between the bacteria and the sand was not occurred especially outer parts. Therefore it can be understood that the evaporation rate and the liquid absorbance capacity of the filter paper negatively affected the sand hardening process (Figure 10).

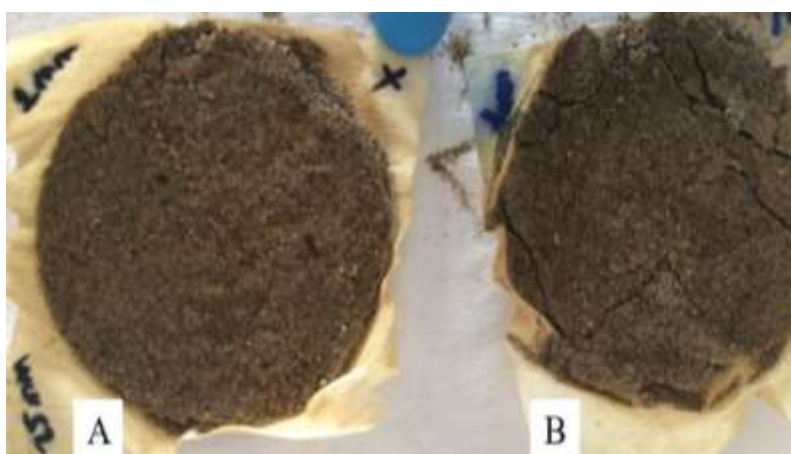


Figure 10. Products of filter paper assisted sand hardening (A: With inoculum; B: Without inoculum)

The difference of CaCO_3 formation was compared according to mass losses from the samples (Figure 11). The mass loss results were changed between 14 to 21% in the samples with inoculum and 15 to 24% in the samples without inoculum. When the results were examined, it was observed that the mass loss was generally higher in samples with 1 mm thickness samples. In addition, the highest mass loss was observed at a concentration of 25 mM with 22.16%.

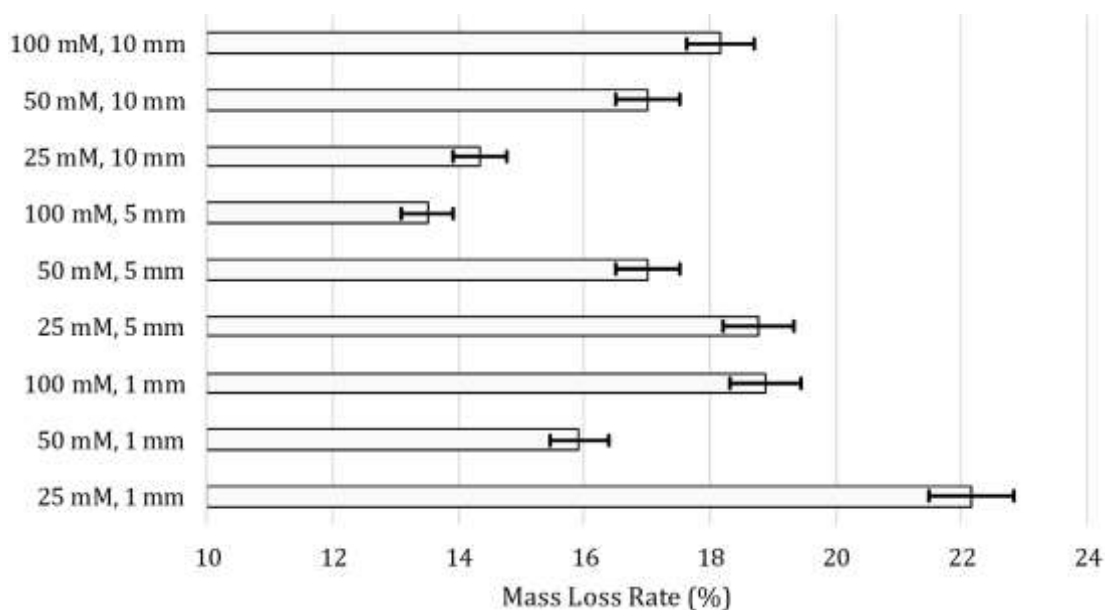


Figure 11. Chemical analysis results of filter paper supported sand hardening

3.4. Comparison of the results of mass loss analysis

When the mass loss test results were examined in all experiments, it was observed that the best results for polyurethane and agar were obtained at a concentration of 100 mM CaCl₂ and a thickness of 5 mm as mass loss of 20% and higher values. In the filter paper test, the best result was obtained with 25 mM CaCl₂ concentration and 1 mm of sand thickness. Although the filter paper seems to be the most advantageous in terms of calcium chloride products, which is the most important component in the bacterial biocalcification process, the hardening provided in the thickness of 5 mm is much more advantageous than the hardening provided in 1 mm thickness. For this reason the best mass loss rate values for 3 different process were compared for the thickness values of 5 mm. The polyurethane and agar supported biocalcification resulted in 20%, 22 % mass loss respectively. At same conditions the mass loss for filter paper was 13% for 5mm thickness (Figure 12). Because the primary aim of the sand hardening processes in this study is to use this environmentally friendly process in urban or industrial designs. The biocalcification process with sandy soil was studied in 60 mL columns [18]. The effect of the CaCl₂ and urea concentration, column depth and the reaction time was compared. *Sporosarcina pasteurii* is and *Sporosarcina urea* was used to compare the reaction times of solidification using sandy soil columns and found 12% CaCO₃ precipitation ratio with 50 mM CaCl₂ which is lower than this study. The optimum CaCO₃ production results were reported as 1.5 M reactant mixture and the best thickness were reported as 0-15 mm. Stocks-Fisher et al. also used plastic columns for optimization of solidification ratio and they found similar results [10]. In this study the hardening was achieved with same thickness but with lower (100 mM) CaCl₂ concentrations showing the advantage of support material usage.

Figure 5, which was prepared to compare all the support materials under the same conditions, showed that approximate results were obtained in agar and polyurethane and mass loss was quite better compared to filter paper. According to the observational results, it was decided that the agar and polyurethane support, was more smooth and controlled. In comparison between agar and polyurethane, it is observed that polyurethane is very advantageous compared to agar when the costs are taken into consideration. However, the most suitable material that can be used for environmentally friendly structures should be completely decomposed and should be a biological material such as agar. The results of a feasibility study of the support material can give the best option for the end user to utilize either agar and polyurethane.

In a study reported by Bhaduri et al. [19], *Sporosarcina pasteurii* was injected together with the nutrient medium and the formation of CaCO₃ was observed. The contribution of this calcium carbonate to the strength of the sponge was measured by the reaction against 1 kg weight. As a result of 1 kg loading, *Sporosarcina pasteurii* and inoculated sponge were not deformed while the other sponge was

very elastic and became thinner with the load. The study draws attention to the enhancing capacity of bacterial biocalcification of the porous surfaces. In this study similar behaviour was obtained with polyurethane support material. The polyurethane supported sand was very hard and stable.

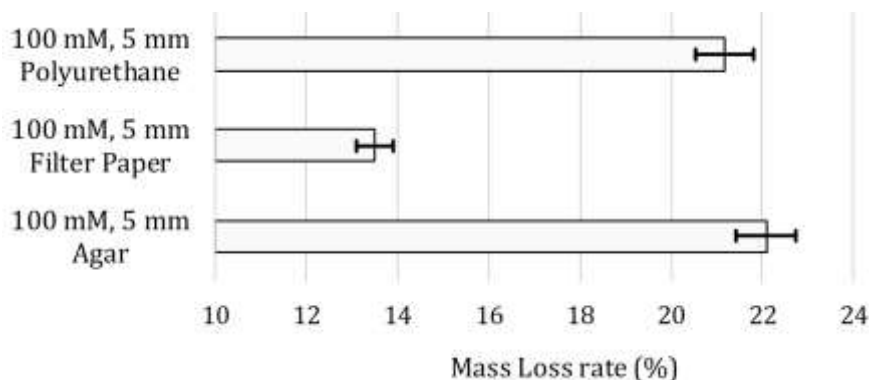


Figure 12. Comparison of results

3.5. Comparison of the results of FTIR analysis

All samples contain different proportions of CaCO_3 . Thus, the samples were proved to contain CaCO_3 (Figure 13).

Okwadha and Li [20] studied on the CO_2 capture capacity of *Sporosarcina pasteurii* and proved the benefits of ureolytic activity to reduce the CO_2 emissions. For civil engineering applications bacterial biocalcification can also be used to heal the cracks and improve the durability of the concrete [3-21]. Therefore the results of this study can be combined with the concrete production pathway to increase the durability of the construction materials

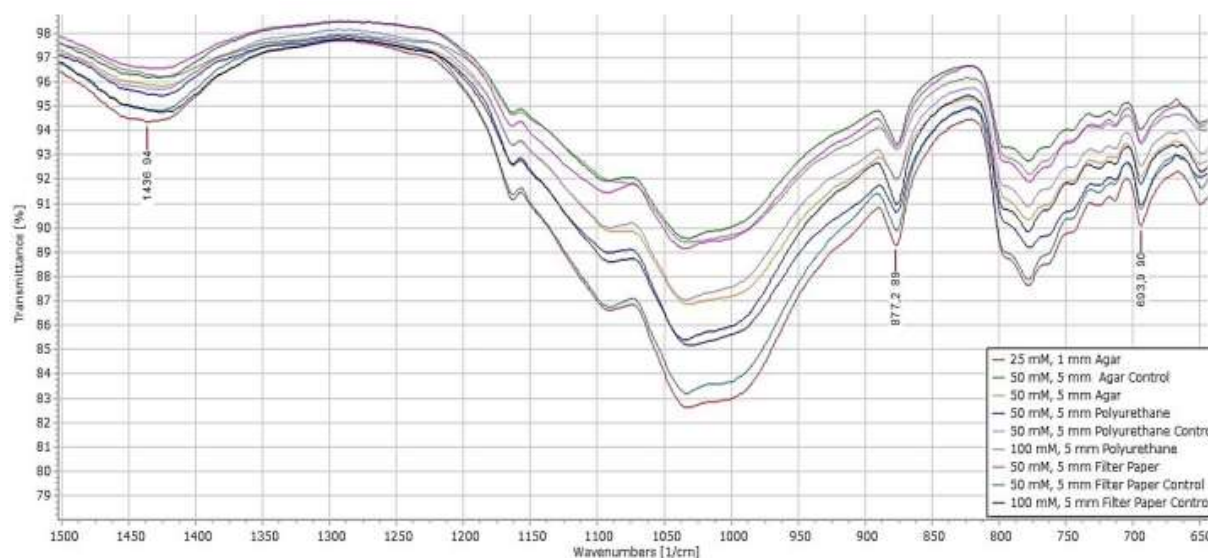


Figure 13. Results of FTIR Analysis

In summary results of all analysis showed that bacterial biocalcification has a great potential than conventional biocalcification processes. Using support material has also improved the applicability potential. In the perspective of environmental safety bacterial biocalcification is the most advantageous pathway for being an alternative to cement production, crack healing or any construction facilities. This process is also a good alternative to reduce the CO_2 emissions.

4. Conclusion

Sporosarcina pasteurii has great potential in terms of replacement of cement production by sand hardening processes. Sand hardening processes can be improved by using support materials such as agar, polyurethane and filter paper but the best results can be obtained by polyurethane foam and the agar. Using support material enhanced the solidification potential of the sand. In this study it was shown that the support material usage greatly enhance the solidification potential of the sand.

Bacterial biocalcification has many advantages over conventional cement production processes in terms of the use of lower temperatures, lower CO₂ emissions and environmental safety. For future studies this study can be a starting point for the usage of support materials to improve the hardness of sand structures produced by bacterial biocalcification because of the advantages of low cost and environmentally friendly materials.

Acknowledgement

The authors wish to thank TUBITAK for financial support under 2209A programme. The authors also wish to thank Prof. Dr. Nuri Azbar for the support of using his laboratory and Turkey Biodesign Team (www.biodesignteam.com) for advisory support.

Authors' Contribution

All author's performed the experiments and took role on writing the manuscript.

Statement of Conflicts of Interest

The authors have no conflict of interest to declare.

Statement of Research and Publication Ethics

This study does not need and ethical permission. The ethical rules for research and publication was carefully followed by all authors.

References

- [1] Alam I., Naseer A., Shah A.A. 2015. Economical Stabilization of Clay for Earth Buildings Construction in Rainy and Flood Prone Areas. *Construction and Building Materials*, 77: 154-159.
- [2] Türkiye Cumhuriyeti Ekonomi Bakanlığı İhracat Genel Müdürlüğü Kimya Ürünleri ve Özel İhracat Daire Başkanlığı, Çimento Sektör Raporu, Ankara, Turkey, 2016. (<https://ticaret.gov.tr/data/5b87000813b8761450e18d7b/Cimento.pdf>) (Accessed: 15.03.2019).
- [3] Wiktor V., Jonkers H.M. 2011. Quantification of Crack-healing in Novel Bacteria-based Self-healing Concrete. *Cement and Concrete Composites*, 33 (7): 763-770.
- [4] Türkkan A. 2015. Çimento Fabrikalarının Sağlık Etkileri, Türk Tabipler Birliği Bursa Tabip Odası, 1-36s. Bursa, Turkey. (https://www.researchgate.net/profile/Alpaslan_Turkkan/publication/312627595_Cimento_Fabrikalarının_Sağlık_Etkileri/links/58872dfe4585150dde4c8903/Cimento-Fabrikalarının-Sağlık-Etkileri.pdf) (Accessed: 27.02.2019).
- [5] Minke G. 2012. *Building with Earth Design and Technology of a Sustainable Architecture*, Birkhauser, 196 s. Basel. https://books.google.com.tr/books?hl=tr&lr=&id=DUbVAAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA7&dq=G.+Minke,+Building+With+Earth+Design+and+Technology+of+a+Sustainable+Architecture.+Birkhauser+Basel:+Walter+de+Gruyter,+2012.&ots=CCOLwA2OUJ&sig=1BEakyGV2h76nafEFkNXzDDPxoA&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false (Accessed: 27.02.2020).
- [6] Fjærtoft I., Sageie J. 2000. The Natural Environment as a Playground for Children: Landscape Description and Analyses of a Natural Playscape. *Landscape and Urban Planning*, 48 (1-2): 83-97.

- [7] Taya M. 2003. Bio-inspired Design of Intelligent Materials, Smart Structures and Materials 2003: Electroactive Polymer Actuators and Devices (EAPAD), 50 (51): 54-66.
- [8] Siddique R., Chahal N.K. 2011. Effect of Ureolytic Bacteria on Concrete Properties. *Construction and Building Materials*, 25 (10): 3791-3801.
- [9] Olivera-Severo D., Wassermann G., Carlini C. 2006. *Bacillus pasteurii* Urease Shares with Plant Ureasases the Ability to Induce Aggregation of Blood Platelets. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 452 (2): 149-155.
- [10] Stocks-Fischer S., Galinat J.K., Bang S.S. 1999. Microbiological Precipitation of CaCO₃. *Soil Biology and Biochemistry*, 31 (11): 1563-1571.
- [11] Yoon J.H., Lee K.C., Weiss N., Kho Y.H., Kang K.H., Park Y.H. 2001. *Sporosarcina aquimarina* sp. nov., a Bacterium Isolated from Seawater in Korea, and Transfer of *Bacillus globisporus* (Larkin and Stokes 1967), *Bacillus psychrophilus* (Nakamura 1984) and *Bacillus pasteurii* (Chester 1898) to the Genus *Sporosarcina* as *Sporosarcina globispora* comb. nov., *Sporosarcina psychrophila* comb. nov. and *Sporosarcina pasteurii* comb. nov., and Emended Description of the genus *Sporosarcina*. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 51 (3): 1079-1086.
- [12] Wiley W.R., Stokes J.L. 1962. Requirement of an Alkaline pH and Ammonia for Substrate Oxidation by *Bacillus pasteurii*. *Journal of Bacteriology*, 84 (4): 730-734.
- [13] Chunxiang Q., Jianyun W., Ruixing R., Liang C. 2009. Corrosion Protection of Cement-based Building Materials by Surface Deposition of CaCO₃ by *Bacillus pasteurii*. *Materials Science and Engineering: C*, 29 (4): 1273-1280.
- [14] Wang J., Tittelboom K.V., Belie N.D., Verstraete W. 2012. Use of Silica Gel or Polyurethane Immobilized Bacteria for Self-healing Concrete. *Construction and Building Materials*, 26 (1): 532-540.
- [15] Jonkers H.M., Schlangen E. 2007. Crack Repair by Concrete-immobilized Bacteria. In *Proceedings of the First International Conference on Self Healing Materials*, 18-20 April, Noordwijk aan Zee, The Netherlands. (<http://extras.springer.com/2007/978-1-4020-6250-6/documents/9.pdf>) (Accessed: 27.02.2019).
- [16] Eryürük K., Yang S., Suzuki D., Sakaguchi X., Akatsuka T., Tsuchiya T., Katayama A. 2015. Reducing Hydraulic Conductivity of Porous Media Using CaCO₃ Precipitation Induced by *Sporosarcina pasteurii*. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 119 (3): 331-336.
- [17] NIST Chemistry WebBook SRD 69 2019. Calcium carbonate (precipitated) (<https://webbook.nist.gov/cgi/cbook.cgi?ID=C471341&Mask=80>) (Accessed: 01.03.2019).
- [18] Sarmast M., Farpoor M.H., Sarcheshmehpoor M., Eghbal M.K. 2014. Micromorphological and Biocalcification Effects of *Sporosarcina pasteurii* and *Sporosarcina ureae* in Sandy Soil Columns. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 16 (3): 681-693.
- [19] Bhaduri S., Debnath N., Mitra S., Liu Y., Kumar A. 2016. Microbiologically Induced Calcite Precipitation Mediated by *Sporosarcina pasteurii*. *Journal of Visualized Experiments*, 110: 54-63.
- [20] Okwadha G.D., Li J. 2010. Optimum Conditions for Microbial Carbonate Precipitation. *Chemosphere*, 81 (9): 1143-1148.
- [21] Achal V., Mukherjee A., Reddy M.S. 2010. Microbial Concrete: Way to Enhance the Durability of Building Structures, *Journal of Materials in Civil Engineering*, 23 (6): 730-734.

Araştırma Makalesi / Research Article

EVA Bazlı Reçine Modifikasyonunun Reolojik Özellikler Bakımından SBS Modifikasyonu ile Karşılaştırılması

Beyza FURTANA¹, Erkut YALÇIN^{2*}, Baha Vural KÖK², Mehmet YILMAZ²

¹Munzur University Engineering Faculty Civil Engineering Department, Tunceli, Turkey

²Fırat University Engineering Faculty Civil Engineering Department, Elazığ, Turkey

(ORCID: 0000-0003-4565-7324 (ORCID: 0000-0002-6389-4211)

(ORCID: 0000-0002-7496-6006)(ORCID: 0000-0002-2761-2598)

Öz

Esnek üstyapıların en üst tabakasında kullanılan ve en çok gerilmeye maruz kalan aşınma tabakası artan trafik miktarı ve yüklerinden ötürü çoğunlukla modifiye bağlayıcılarla imal edilmektedir. Aşınma tabakasının polimer tipi katkı maddeleriyle modifiye edilmesi kaçınılmaz bir durum haline gelmiştir. Son zamanlarda bitümlü karışım içinde kullanılan bitüm stiren-butadien-stiren (SBS) polimeri ile modifiye edilmektedir. Bu konuda oldukça başarılı uygulamalar söz konusudur. Ancak SBS'ye olan talep her zaman temin edilebilmesini zorlaştırmakta ve alternatif katkı maddelerinin kullanımını gündeme getirmektedir. Bu çalışmada etilen-vinil-asetat (EVA) bazlı reçinenin (EBR) bitümlü bağlayıcının reolojik özelliklerine olan etkisi araştırılmış ve SBS modifikasyonu ile karşılaştırılmıştır. Sonuçta tekerlek izi ve kohezyon özellikleri bakımından %4 EBR modifikasyonunun %3 SBS modifikasyonu ile benzer performans sergilediği, düşük ve yüksek sıcaklık özelliklerinin birlikte değerlendirilmesi durumunda ise %4,7 EBR modifikasyonunun %3 SBS modifikasyonu ile benzer performansa sahip olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar kelimeler: SBS, EVA Bazlı Reçine, Modifikasyon, Reolojik Özellikler.

The Comparison of the EVA Based Resin with SBS Modification in Terms of Rheological Properties

Abstract

The wear layer, which is used in the top layer of flexible pavements and is subjected to the most stress, is produced mostly with modified binders due to increased traffic volume and loads. Modification of the wear layer with polymer type additives has become inevitable. Recently bitumen used in bituminous mixture is modified with styrene-butadiene-styrene (SBS) polymer. There are quite successful applications in this regard. However, demand for SBS makes it difficult to provide always and brings on the use of alternative additives. In this study, the effect of ethylene-vinyl-acetate (EVA) based resin (EBR) on the rheological properties of bituminous binder was investigated and compared with SBS modification. As a result, it was found that 4% EBR modification in terms of rutting and cohesion properties showed similar performance with 3% SBS modification and in the case of the evaluation of low and high temperature properties together, 4.7% EBR modification had similar performance with 3% SBS modification.

Keywords: SBS, EVA Based Resin, Modification, Rheological Properties.

1. Giriş

Karayolları; her türlü taşıt ve yaya ulaşımı için kamunun yararlanmasına açık olan arazi şeridi olarak tanımlanmaktadır. Karayolu üstyapısı, yolun trafik yüklerini taşımak ve bu yükü taban zeminin taşıma gücünü aşmayacak şekilde taban yüzeyine dağıtmak üzere alt yapı üzerine inşa edilen; alt temel, temel ve kaplama tabakalarından oluşmaktadır. Düzgün bir yuvarlanma yüzeyi oluşturan, taşıt lastiklerinin

*Sorumlu yazar: erkutyalcin@firat.edu.tr

Geliş Tarihi: 25.05.2019, Kabul Tarihi: 11.07.2019

temas ettiği üstyapının en pahalı kısmı olan kaplama tabakaları; sathi kaplamadan bitümlü sıcak karışıma (BSK) kadar değişik yöntemlerle yapılabilmektedir. Bitümlü sıcak karışımlar (BSK) içindeki bağlayıcının ana görevi karışımın adezyon ve kohezyonunu sağlamaktır. Agregalar ise karışımın içsel sürtünme direncini ve stabilitesini sağlamaktadır. Bitümlü bağlayıcılar ayrıca oluşturdukları düzgün yüzeyler ile sürüş konforunu sağlamakta ve karışımın boşluklarını doldurarak geçirimsizliğini sağlamaktadır [1].

Bitümlü sıcak karışımlarda trafik ve çevre koşulları nedeniyle tekerlek izi, nem hasarı, düşük ısı ve yorulma çatlakları gibi bozulmalar meydana gelmektedir [1,2]. Bitümün ve bitümlü sıcak karışımların ısıya ve trafik yüklerine karşı dayanımını ve performansını artırarak üstyapının servis ömrünü uzatmak amacıyla çeşitli katkı maddeleri eklenerek modifiye bitümler kullanılmaktadır [3]. Modifiye bitüm üretilmesinde elastomer (SBS) ve plastomer polimerlerin (EVA) yanı sıra polimer olmayan kimyasal katkı maddeleri ile göl asfaltları, kaya asfaltları gibi doğal katkı maddeleri de kullanılmaktadır [3].

Katkı maddeleri içerisinde en çok stiren-butadien-stiren (SBS) blok kopolimerleri kullanılmaktadır. Yapılan çalışmalarda, bitüm modifikasyonunda SBS kullanımının, bitümlü sıcak karışımların kalıcı deformasyonuna, nem hasarına, tekerlek izi oluşumu ve yorulmaya karşı dayanımını arttırdığı belirtilmiştir [4-8]. Bitümlü bağlayıcı ve karışımı deformasyon ve mekanik yüklere karşı daha dayanıklı hale getiren bu maddeler ağır taşıt trafiğinin ve ağır statik yüklerin bulunduğu yüksek fiziksel ve mekanik özelliklere ihtiyaç duyulan kaplamalar için kullanılmaktadır [3].

EVA kopolimerleri etilen-vinil-asetat'ın rastgele zincirlerinden oluşur. EVA kristal fazlı ve vinil asetat kauçuk yönünden zengin şekilsiz fazlı iki mikro yapıdan oluşur. Kristallenme derecesi ve EVA kopolimer özellikleri, vinil asetat içeriği ile yakından ilgilidir. Vinil içeriğinin artırılması kristalleşme derecesini azaltır. Kristallenme derecesi bileşeni değiştireceği ve yüksek bitüm içeriğine sahip karışımlarda uyumluluk sorununa neden olacağı yüzünden çok düşük olmalıdır. EVA bitüm etkileşimi, SBS bitüm etkileşimi ile aynıdır. Bitümün hafif bileşenleri EVA tarafından emilir ve bu da bitümün orijinal boyutunun 4-5 katı kabarmasına sebep olmaktadır. Düşük EVA içeriği bitüm bakımından zengin faz gösterirken yüksek EVA içeriğinde ise EVA bakımından zengin faz göstermektedir. Optimum EVA içeriğinde ise bitümün özelliklerini önemli ölçüde geliştirir. Ayrıca tekerle izi ve yorulmaya karşı çatlak direncini artırmaktadır [9-11].

SBS'nin aşırı bir şekilde kullanılması, istenilen zamanda tedarik edilmesini sınırlamaktadır. Bu nedenle araştırmacılar SBS modifikasyonu ile elde edilen karışım kadar iyi bir performans sağlayan alternatif katkı maddelerine odaklanmışlardır. Bu çalışmada etilen-vinil-asetat (EVA) bazlı reçinenin (EBR) bitümlü bağlayıcının reolojik özelliklerine olan etkisi araştırılmış ve SBS modifikasyonu ile karşılaştırılmıştır. EBR bağlayıcı farklı oranlarda, SBS ise %3 oranında saf bitüme eklenmiştir. Saf ve modifiye bitüme dinamik kesme reometresi (DSR), kiriş eğilme reometresi (BBR) ve kuvvet düktilite deneyleri uygulanmıştır.

2. Materyal ve Metot

Çalışmada TÜPRAŞ Batman rafinerisinden temin edilen B 50/70 sınıfı bitüm, Würth firmasından temin edilen etilen vinil asetat (EVA) bazlı reçine (EBR) ve Shell Bitumen şirketi tarafından üretilen stiren-butadien-stiren (SBS) blok kopolimeri (KRATON D 1101) kullanılmıştır. EBR bağlayıcı ağırlığınca %2,3,4,5 oranlarında SBS ise %3 oranında kullanılmıştır. EBR modifiyeli bağlayıcılar 2EBR, 3EBR, 4EBR ve 5EBR olarak SBS modifiyeli bağlayıcı ise 3SBS ile gösterilmiştir. Modifiye bağlayıcılar, katkı malzemesinin saf bağlayıcıya yavaş yavaş ilave edilerek, dört bıçaklı karıştırıcı ile 1000 devir/dakika hıza sahip karıştırıcıda 170 °C sabit sıcaklıkta 1 saat süre ile karıştırılarak elde edilmiştir. Şekil 1'de kullanılan katkı maddeleri Şekil 2'de ise modifiye bitüm hazırlama mikseri görülmektedir. Modifiye bitüm hazırlama sırasında meydana gelen yaşlanma etkisinin sonuçları etkilememesi için hiç katkı içermeyen saf bağlayıcı da aynı karıştırma işlemine tabi tutulmuştur. Saf ve modifiye bitümler dinamik kesme reometresi (DSR), kiriş eğilme reometresi (BBR) ve kuvvet düktilite deneyine tabi tutulmuştur.



Şekil 1. Çalışmada kullanılan katkı maddeleri

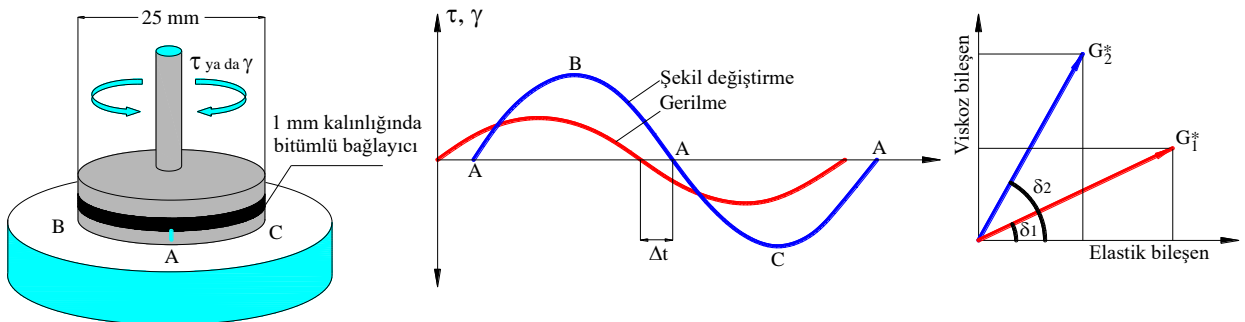


Şekil 2. Modifiye bitüm hazırlama mikseri

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Dinamik Kesme Reometresi (DSR) Deney Sonuçları

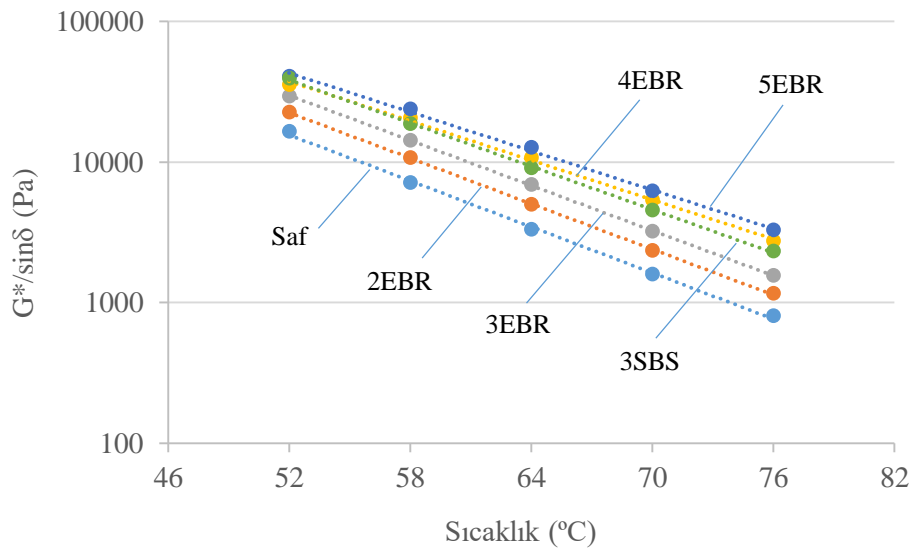
Dinamik kesme reometresi (DSR), bitümlü bağlayıcıların orta ve yüksek sıcaklıklarda viskoz ve elastik davranışlarını karakterize etmek için kullanılan bir deney yöntemidir. DSR deneyinde, bağlayıcıların kompleks kesme modülü (G^*) ve faz açısı (δ) belirlenmektedir. Kompleks kesme modülü, bağlayıcının belirli bir periyotla burulması (Şekil 3) sırasında deformasyona karşı toplam direnci temsil ederken, faz açısı, uygulanan kesme gerilmesi ve ortaya çıkan kesme şekil değiştirmesi arasındaki gecikmeyi temsil etmektedir. Daha büyük faz açısı daha viskoz bir bitümlü bağlayıcıya işaret etmektedir. Kalıcı deformasyon, tekerlek izi parametresini ($G^*/\sin \delta$), yaşlanmamış orijinal bağlayıcılar için 1.0 kPa'dan daha büyük değerlerle sınırlandırarak kontrol edilir [12].



Şekil 3. DSR deneyinde gerilme ve şekil değiştirmeler

Deney, yaşlandırılmamış saf ve modifiye bitümlere gerilme kontrollü olarak Bohlin DSR II reometresi ile ASTM D7175 standardına uygun olarak yapıldı. Deney, 25 mm çapında plak ve 1 mm plak açıklığı ile 1.59 Hz frekans değerinde 52, 58, 64, 70 ve 76  C’de uygulandı. Deneyde bağlayıcıların yüksek sıcaklık performansını ve elastik davranışlarını değerlendirmek amacıyla tekerlek izi parametreleri ve faz açıları tespit edildi.

Şekil 4’te saf ve modifiye bağlayıcıların tekerlek izi parametrelerinde sıcaklığın artması ile meydana gelen değişim verilmiştir. Sıcaklığın artması ile tekerlek izi parametreleri logaritmik olarak azalmaktadır. Bu azalış bütün bağlayıcı tiplerinde benzer bir eğilim göstermektedir. Her 6 derecelik sıcaklık artışı tekerlek izi parametrelerinin %50 azalmasına neden olmaktadır. Saf bağlayıcının $G^*/\sin\delta$ değeri 76  C’de 1000 Pa değerinin altına düşerken, 2EBR ve 3EBR bağlayıcıları 76  C’de sırası ile 1161 Pa ve 1553 Pa $G^*/\sin\delta$ değerini vermektedir. 4EBR, 5EBR ve 3SBS için 82  C’de yapılan deneyde bu bağlayıcıların 1000 Pa limit değerini temin edebildikleri belirlenmiştir. 3SBS bağlayıcısının sıcaklıkla tekerlek izi parametresinde meydana gelen değişim 4EBR bağlayıcısı ile benzer bir eğilim göstermektedir.

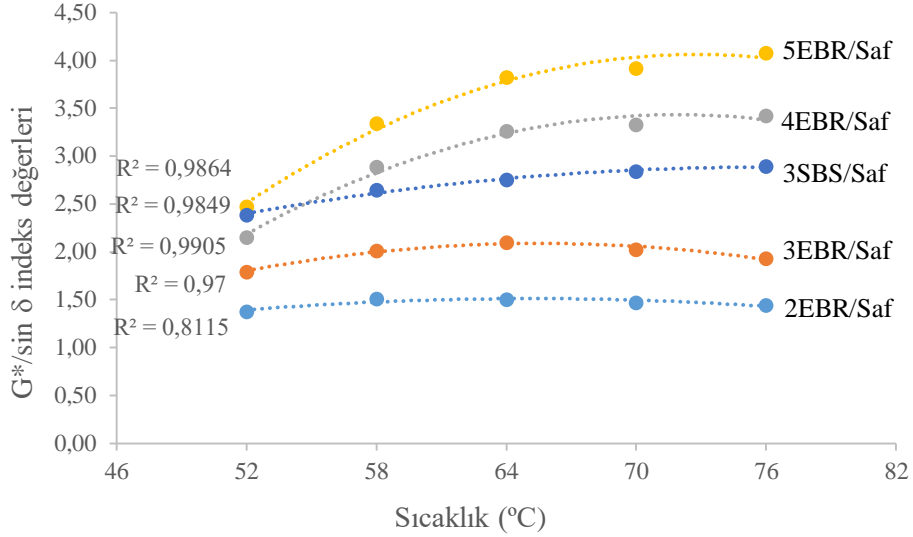


Şekil 4. $G^*/\sin\delta$ değerlerinin sıcaklıkla değişimi

Tablo 1’de modifiye bağlayıcıların 5 farklı sıcaklıktaki $G^*/\sin\delta$ değerlerinin saf bağlayıcının aynı sıcaklıklardaki $G^*/\sin\delta$ değerlerine bölünerek elde edilen indeks değerleri verilmiştir. Şekil 5’te bu indeks değerlerinin sıcaklıkla değişimi grafiksel olarak verilmiştir.

Tablo 1. $G^*/\sin\delta$ değerlerindeki artışlar

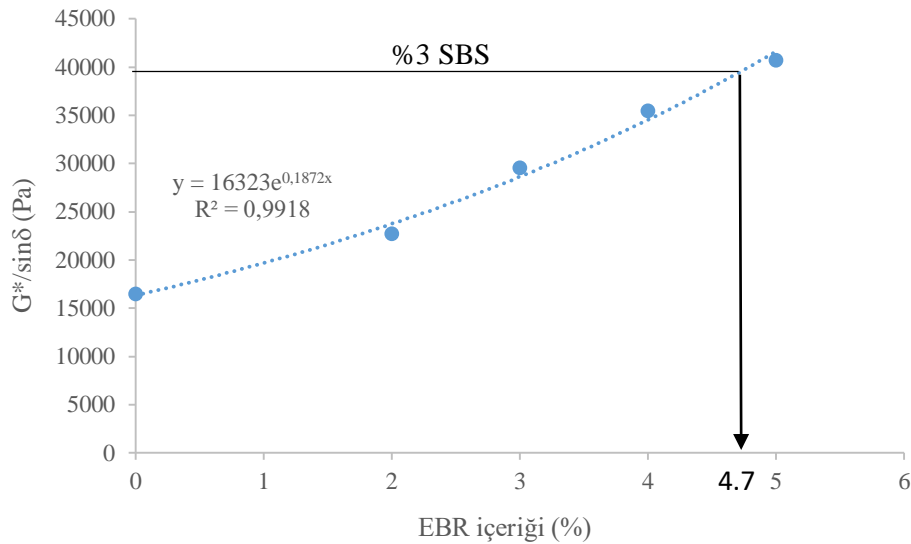
| Sıcaklık( C) | 2EBR/Saf | 3EBR/Saf | 4EBR/Saf | 5EBR/Saf | 3SBS/Saf |
|--------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 52 | 1,38 | 1,79 | 2,15 | 2,47 | 2,39 |
| 58 | 1,51 | 2,01 | 2,89 | 3,34 | 2,64 |
| 64 | 1,50 | 2,10 | 3,26 | 3,82 | 2,75 |
| 70 | 1,47 | 2,03 | 3,33 | 3,92 | 2,84 |
| 76 | 1,45 | 1,93 | 3,42 | 4,08 | 2,89 |



Şekil 5 G*/sinδ indeks değerlerinin sıcaklıkla değişimi

Bağlayıcıya %2 ve %3 oranında EBR ilavesi saf bağlayıcının G*/sinδ değerlerini her sıcaklıkta yaklaşık olarak sırasıyla 1,5 ve 2 kat artırmaktadır. %4 ve %5 EBR ilavesinde ise artış oranları sıcaklığın artması ile artmaktadır. Bu durum %4 oranından daha fazla miktardaki EBR modifikasyonunun yüksek sıcaklıklarda deformasyon oluşumuna karşı daha fazla direnç gösterdiğine işaret etmektedir. 3SBS bağlayıcısı, 3EBR ve 4EBR bağlayıcılarının sahip olduğu indeks değerlerinin yaklaşık olarak ortalaması kadar indeks değerleri vermektedir. SBS modifikasyonunda indeks değerlerinin sıcaklıkla artışı 4EBR ve 5EBR bağlayıcılarındaki kadar yüksek olmamaktadır.

%3 SBS modifikasyonu ile aynı G*/sinδ değerini veren EBR oranını tespit etmek amacıyla Şekil 6'da 52 °C için G*/sinδ değerlerinin EBR oranı ile değişimi verilmiştir. Burada görüldüğü üzere %3 SBS modifikasyonu ile aynı performans %4,7 EBR içeriği ile elde edilmektedir. Diğer sıcaklıklar için belirlenen oranlar Tablo 2'de verilmiştir. Bütün sıcaklıklar dikkate alındığında ortalama %4 EBR modifiyeli bağlayıcının %3 SBS modifikasyonu ile benzer performans verdiği tespit edilmiştir.

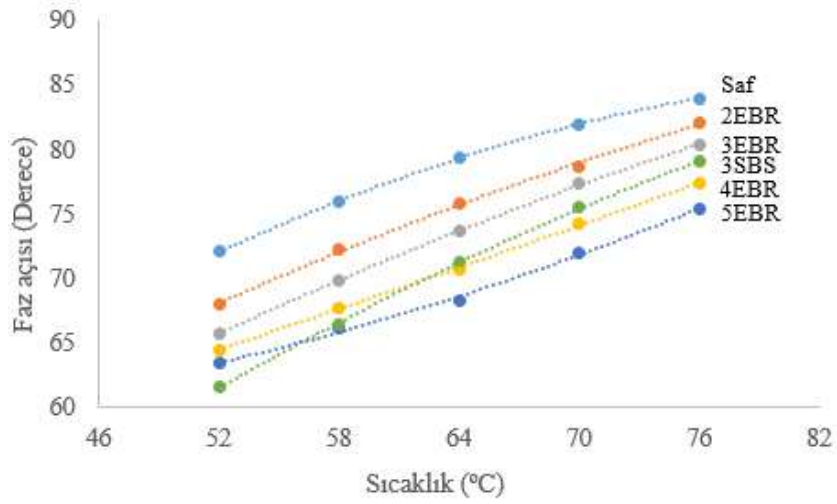


Şekil 6. 52 °C'de EBR içeriği ile G*/sinδ değişimi

Tablo 2. %3 SBS modifikasyonu ile aynı G*/sinδ değerini veren EBR oranı

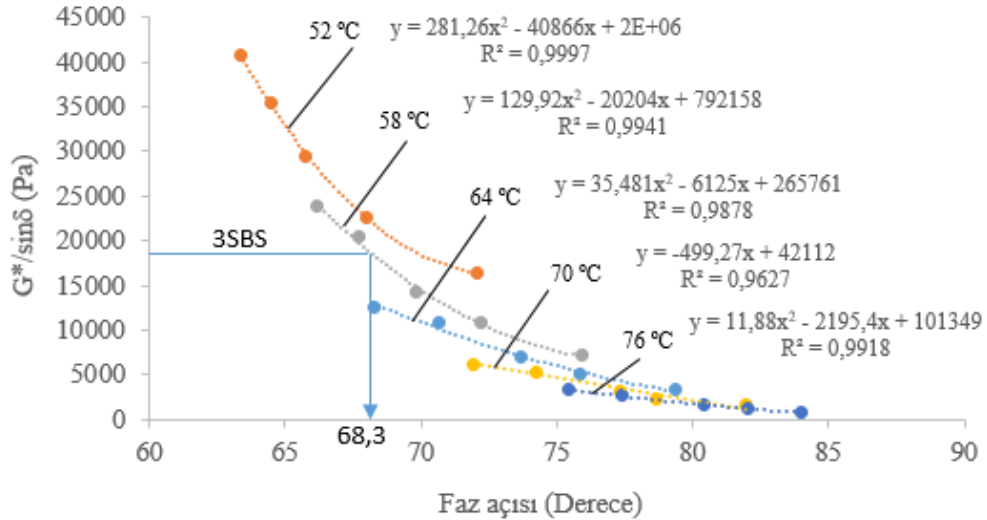
| Sıcaklık (°C) | 52 | 58 | 64 | 70 | 76 | Ortalama |
|---------------|-----|-----|-----|-----|-----|----------|
| EBR (%) | 4,7 | 3,9 | 3,8 | 3,9 | 3,9 | 4,04 |

Şekil 7’de bağlayıcıların faz açıları sıcaklıkla meydana gelen değişim verilmiştir. Sıcaklığın artışı ile bütün bağlayıcıların faz açıları artarak daha viskoz bir davranış sergilemektedirler. SBS modifikasyonunda faz açısının sıcaklıkla artış hızı herhangi bir EBR modifikasyonundan daha fazladır. Bu durum SBS modifiyeli bağlayıcıların 52 ve 58 °C’deki faz açıları diğer sıcaklıklardaki faz açılardan önemli derecede düşük olmasından kaynaklanmaktadır. 3SBS bağlayıcısının faz açısı değerleri 64 °C’nin üstünde 3EBR ve 4EBR modifikasyonlarının faz açıları arasında kalmaktadır. 2EBR, 3EBR, 4EBR ve 5EBR bağlayıcıları saf bağlayıcıdan bütün sıcaklıklarda sırasıyla ortalama %5, %8, %11 ve %12 daha düşük faz açısı değerleri verirken, 3SBS bağlayıcısı 52 °C’de %15, 76 °C’de ise %6 daha düşük faz açısı vermektedir.



Şekil 7. Bağlayıcıların faz açıları sıcaklıkla değişimi

Faz açıları incelendiğinde 4EBR ve 5EBR bağlayıcılarının 64 °C’nin üstünde 3SBS bağlayıcısından daha düşük faz açısına sahip olarak daha fazla elastik özellik gösterdiği düşünülebilir. Bağlayıcıların elastik özelliklerini değerlendirmek için aynı tekerlek izi parametresine karşılık gelen faz açıları değerlendirilmesi elastik bileşenlerin karşılaştırması bakımından daha gerçekçi olmaktadır. Şekil 8’de EBR modifikasyonunda faz açısına karşılık tekerlek izi parametresindeki değişimler farklı sıcaklıklar için verilmiştir. Bu grafikte örnek olarak 58 °C’deki 3SBS bağlayıcısının tekerlek izi parametresi de gösterilmektedir. Bu grafikten 3SBS bağlayıcısının tekerlek izi parametresi ile aynı değere sahip EBR modifikasyonundaki faz açıları tespit edilmiştir. Tablo 3’te elde edilen sonuçlar verilmiştir.



Şekil 8. Faz açısına karşılık tekerlek izi parametrelerindeki değişim

Tablo 3. Bağlayıcıların aynı tekerlek izi parametresindeki faz açıları

| Sıcaklık (°C) | 52 | 58 | 64 | 70 | 76 |
|----------------------|-------|-------|------|------|------|
| G*/sin α (Pa) | 39323 | 18823 | 9116 | 4526 | 2324 |
| EBR (α) | 63,6 | 68,3 | 71,6 | 74,8 | 78,1 |
| SBS (α) | 61,6 | 66,4 | 71,2 | 75,5 | 79,1 |

Tablo 3'ten görüldüğü üzere SBS modifikasyonu 64 °C'ye kadar EBR modifikasyonundan daha düşük faz açısı vermekte dolayısıyla bu sıcaklıklara kadar daha fazla elastik davranış gösterebilmektedir ancak 64 °C'nin üstünde EBR modifikasyonu daha düşük faz açısı vererek yüksek sıcaklıkta SBS modifikasyonuna göre daha fazla elastik bileşene sahip olmuştur.

3.2. Kiriş Eğilme Reometresi (BBR) Deney Sonuçları

Termoplastik bir malzeme olan bitümlü bağlayıcılar düşük sıcaklıkta büzülme eğilimindedirler. Bitümlü bağlayıcı ile agreganın termal genleşme katsayıları arasındaki fark, hava sıcaklığının düşüşü sırasında bitümlü karışımlarda termal gerilmelere neden olur. Sıcaklığın kritik sıcaklığın çok altına tek bir defa düşmesi veya normal düşük sıcaklıklardaki tekrarlanan termal büzülme, termal çatlamaya neden olabilmektedir [13]. BBR testi ile, düşük sıcaklıkta bağlayıcıların sünme rijitliği (St) ve sünme oranı (m değeri) tespit edilmektedir. Bu parametreler bitümlü karışımların düşük sıcaklıkta çatlamaya dayanma kabiliyetini göstermektedir. Bir asfalt kiriş numunesinin herhangi bir yükleme anında (t) sünme rijitliği formül (1) ile tespit edilmektedir.

$$St = PL^3 / (4bh^3 \delta_t) \quad (1)$$

Burada St is sünme rijitliği (MPa), P uygulanan sabit yük(N), L asphalt kiriş numunesinin uzunluğu (102 mm), b kirişin genişliği (12.7 mm), h kirişin yüksekliği (6.35 mm) ve δ_t t zamanındaki deformasyondur (mm). m -value sünme rijitliğinin 60. saniyedeki eğimini ifade etmektedir. Yüksek m -value değeri yüksek eğime, dolayısıyla rijitliğin zamanla çabuk düşmesine diğer bir ifade ile bağlayıcının rijitliği üzerinde tutma süresinin düşük olduğuna yani daha esnek olduğuna işaret etmektedir.

Deney -10 °C ve -20 °C'de ASTM D6648 standardına göre yapılmıştır. Tablo 4'te deneyden elde edilen sonuçlar verilmiştir. -10 °C'de sünme rijitliği değerlerinde düzenli bir artış olurken, -20 °C'de düzenli bir artış söz konusu değildir. m -value değerleri de her iki sıcaklıkta EBR oranı ile düzenli bir değişim göstermemiştir. -10 °C'de 5EBR bağlayıcısı saf bağlayıcıdan %17 daha yüksek sünme rijitliği değeri verirken -20 °C'de saf bağlayıcı ile benzer rijitlik değerine sahip olmuştur. %3 SBS modifiyeli bağlayıcı her iki sıcaklıkta da saf ve EBR modifiyeli bağlayıcılardan daha düşük rijitlik değeri vermiştir. 3SBS bağlayıcısı -10 ve -20 °C'de sırasıyla saf bağlayıcıdan %11 ve %20 daha düşük sünme rijitliğine sahiptir. SBS modifikasyonunun esneklik özelliğini sıcaklığın azalması ile saf ve EBR modifikasyonuna göre daha fazla koruduğu görülmektedir.

Tablo 4. BBR deney sonuçları

| Bağlayıcı | -10 (°C) | | -20 (°C) | | -10 (°C) | -20 (°C) |
|-----------|----------|---------|----------|---------|------------|------------|
| | St (Mpa) | m-value | St (Mpa) | m-value | St/m-value | St/m-value |
| Saf | 34,07 | 0,448 | 163,57 | 0,337 | 75,93 | 484,22 |
| 2EBR | 35,57 | 0,421 | 162,22 | 0,315 | 84,42 | 513,51 |
| 3EBR | 35,88 | 0,414 | 168,60 | 0,326 | 86,49 | 516,38 |
| 4EBR | 38,79 | 0,406 | 162,05 | 0,307 | 95,37 | 527,85 |
| 5EBR | 40,10 | 0,410 | 165,24 | 0,310 | 97,80 | 533,03 |
| 3SBS | 30,11 | 0,419 | 130,31 | 0,3145 | 71,80 | 414,34 |

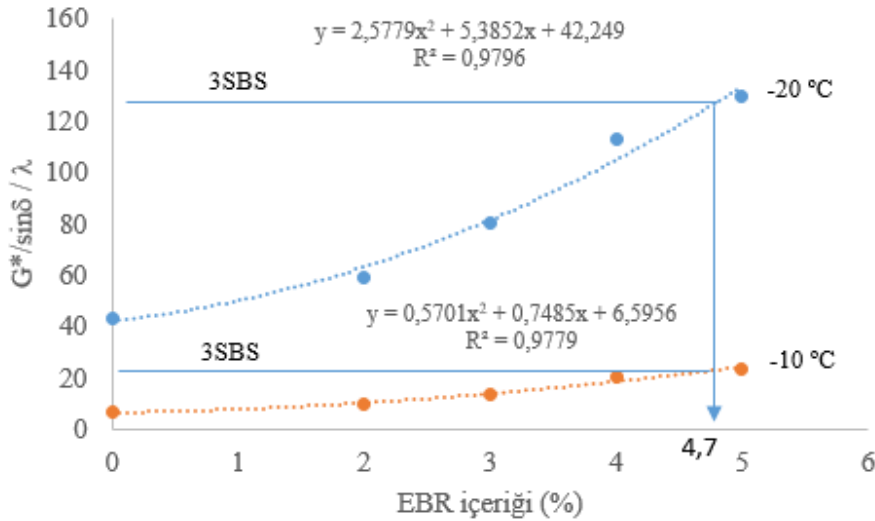
Düşük sünme rijitliği ve yüksek sünme oranı (m -value) düşük sıcaklıkta iyi bir esnek davranış için istenen bir durumdur. Bu sebeple sünme rijitliğinin m -value değerlerine oranı olan " λ "nın

belirlenmesi daha gerçekçi bir değerlendirme olmaktadır. λ 'nın düşük değerleri düşük sıcaklıktaki esnek davranışa işaret etmektedir [14].

Rijitlik ve m-value değerlerinin katkı içeriği ile düzenli bir değişim göstermediği deneyde, λ değerlerinin düzenli değiştiği görülmektedir. Rijitliğin göstergesi olan λ değerlerine göre en düşük λ dolayısıyla en yüksek esneklik özelliğini 3SBS bağlayıcısı göstermiştir. 2,3,4 ve %5 EBR modifikasyonu saf bağlayıcıdan -10 °C'de sırasıyla %11, %14, %26 ve %29 daha fazla λ değerleri vermiştir. Bu oranlar -20° C için %6, %7, %9 ve %10 olmaktadır. Buna göre EBR modifikasyonunun çok düşük sıcaklıklarda daha uygun olduğu görülmektedir.

Diğer bir değerlendirme yüksek ve düşük sıcaklık davranışını birlikte ele alınarak yapılmıştır. BBR deneyinden tespit edilen λ değerleri düşük sıcaklıkta yük dağıtma kabiliyetinin bir ölçüsü olup bu değerlerin düşük olması esnek davranışa işaret etmektedir. $G^*/\sin\delta$ değeri ise yüksek sıcaklıkta iyi bir kalıcı deformasyon direnci bakımından yüksek olması istenen bir değerdir. Bitümlü karışımların yüksek sıcaklıkta stabil ve düşük sıcaklıkta esnek davranış göstermesi arzu edilen bir durum olduğundan bu iki özelliği birlikte değerlendiren $G^*/\sin\delta/\lambda$ oranı bir indeks değeri olarak tespit edilmiştir. Yüksek indeks değerleri, kalıcı deformasyonlara karşı daha iyi bir direnç ve daha iyi bir termal çatlama direnci anlamına gelmektedir.

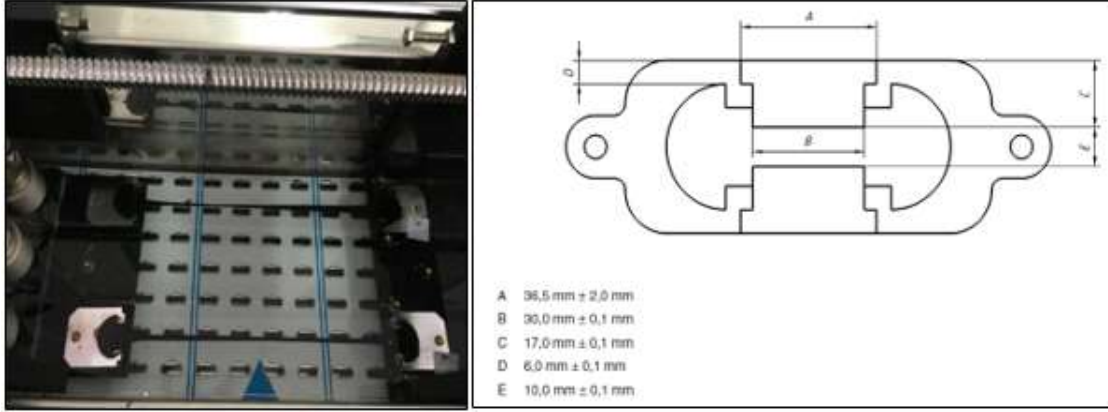
Şekil 9'da 64 °C'deki tekerlek izi parametresinin -10 ve -20 °C'deki λ değerlerine oranı olan indeks değerlerinin EBR içeriği ile değişimi verilmiştir. İndeks değerleri EBR içeriği ile sürekli artmaktadır. EBR modifiyeli bağlayıcıların sünme rijitliklerinin saf bağlayıcıya göre en fazla %30 daha fazla olmasına karşılık tekerlek izi parametrelerinin de çok yüksek olması indeks değerlerinin yüksek olmasına neden olmuştur. Bağlayıcıların yüksek ve düşük sıcaklık performansları birlikte değerlendirildiğinde EBR modifikasyonunun saf bağlayıcıdan önemli derecede üstün olduğu görülmektedir. 3SBS bağlayıcısı ile aynı indeks değerleri %4,7 EBR modifikasyonu ile elde edilmektedir.



Şekil 9. $G^*/\sin\delta / \lambda$ indeks değerlerinin EBR içeriği ile değişimi

3.3. Kuvvet Düktilite Deney Sonuçları

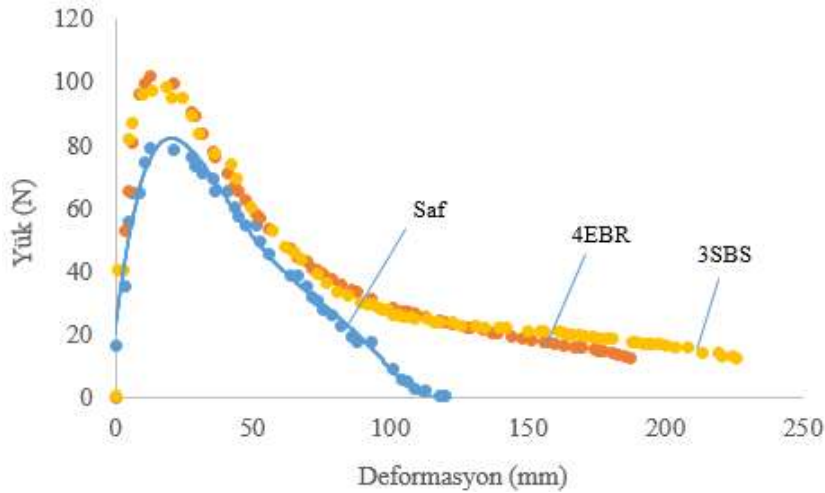
Kohezyon malzemenin moleküllerini bir arada tutan kuvvet olarak, düktilite deneyi ise bu molekülleri birbirinden ayırmaya neden olan kuvveti ölçen deney olarak tanımlanmaktadır. Düktilite, bitümlü bağlayıcının belirli bir çekme hızında kopmadan uzayabilme yeteneğidir. Deney 5°C sıcaklıkta 50 mm/min \pm 2,5 mm/min çekme hızında BS EN 13589:2003 standardına uygun olarak yapılmıştır [15]. Şekil 10'da deney numuneleri görülmektedir.



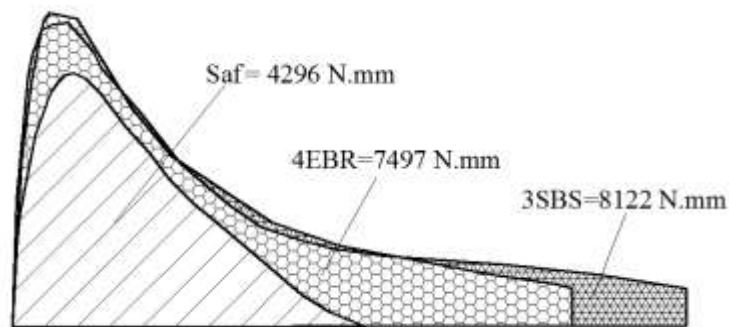
Şekil 10. Kuvvet düktilite deney aleti ve numune kalıbı

Saf, %4 EBR ve %3 SBS modifiyeli bağlayıcılar deneye tabi tutulmuştur. Bağlayıcıların uzama sırasında gösterdikleri dirençteki değişim Şekil 11’de verilmiştir. Saf bağlayıcı 120 mm, 4EBR bağlayıcısı 187 mm ve 3SBS bağlayıcısı ise 226 mm deformasyon seviyesine kadar yük almış ve sonrasında kopmuşlardır. 4EBR ve 3SBS bağlayıcısı benzer bir davranış göstermiş, ancak 187 mm deformasyon seviyesinden sonra 3SBS bağlayıcısı çekme yüküne daha fazla direnç göstererek daha yüksek bir deformasyon seviyesinde kopmuştur.

Yük- deformasyon eğrisinin altında kalanlar bağlayıcıların deformasyon enerjilerini vermektedir. Şekil 12’de hesaplanan alan değerleri görülmektedir. 3SBS bağlayıcısı 4EBR bağlayıcısından %8 daha fazla deformasyon enerjisine sahiptir. 4EBR ve 3SBS bağlayıcılarının deformasyon enerjileri saf bağlayıcıdan sırası ile %74 ve %89 daha fazladır.



Şekil 11. Bağlayıcıların kuvvet-deformasyon ilişkisi



Şekil 12. Bağlayıcıların alan değerleri

4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada bitüm modifikasyonunda yaygın olarak kullanılan SBS katkısına alternatif olarak etilen-vinil-asetat bazlı reçinenin (EBR) bitümün reolojik özelliklerine olan etkisi araştırılmış ve SBS modifikasyonu ile karşılaştırılmıştır. SBS oranı bitüm ağırlığında %3 olarak, EBR ise 5 farklı oranda kullanılmıştır.

Dinamik kesme reometresi deneyine göre saf bağlayıcının 70 °C’de, %2 ve %3 EBR modifiyeli bağlayıcıların 76 °C’de %4, %5 EBR ve %3 SBS modifiyeli bağlayıcıların ise 82 °C’de 1000 Pa tekerlek izi parametresini sağladığı tespit edilmiştir. Saf bağlayıcıya göre tekerlek izi parametresinde meydana gelen artışların, %4 ve %5 EBR modifikasyonunda yüksek sıcaklıkta %3 SBS modifikasyonuna göre daha fazla olduğu belirlenmiştir. Bütün sıcaklıklar birlikte değerlendirildiğinde %3 SBS modifikasyonu ile aynı tekerlek izi parametresi ortalama %4 EBR modifikasyonu ile elde edilmektedir. SBS modifikasyonu 64 °C’ye kadar EBR modifikasyonundan daha düşük faz açısı dolayısıyla daha fazla elastik davranış gösterirken, 64 °C’nin üstünde EBR modifikasyonu daha düşük faz açısı vermektedir.

Kiriş eğilme reometresi deneyine göre saf ve EBR modifikasyonunda sıcaklığın düşmesi rijitliğin artmasına neden olurken, SBS modifikasyonunda rijitlik azalması söz konusudur. EBR modifikasyonunda katkı oranının artması ile rijitlikte meydana gelen artış çok fazla olmamaktadır. Tekerlek izi parametresinin ve sünme rijitliğinin birlikte değerlendirilmesi durumunda %4,7 EBR modifikasyonunun %3 SBS modifikasyonu ile benzer özellik gösterdiği tespit edilmiştir.

Düktilite deneyine göre %4 EBR modifikasyonu %3 SBS modifikasyonu ile benzer kohezyon özelliklerine sahiptir. 4EBR ve 3SBS bağlayıcılarının deformasyon enerjileri saf bağlayıcıdan sırası ile %74 ve %89 daha fazladır.

SBS’nin temininde sorun olması durumunda EBR katkısı alternatif olarak kullanılabilir ancak düşük ve yüksek sıcaklık bakımından SBS modifikasyonu ile benzer performansın elde edilebilmesi için EBR içeriğinin SBS içeriğinden 1,5 kat daha fazla kullanılması gerekmektedir.

Yazarların Katkısı

Çalışmayı hazırlayan 4 yazar çalışmaya eşit oranda (%25) 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] Janoo V.C., Korhonen, C. 1999. Performance Testing of Hot-Mix Asphalt Aggregates. US Army Corps of Engineering Project, 99-20.
- [2] Roque R., Birgisson B., Drakos C., Sholar G. 2005. Guidelines for Use of Modified Binders. Florida Department of Transportation Project, 4910-4504-964-12.
- [3] Yalçın E. 2014. Filler olarak kireç kullanımının modifiye bitümlerle hazırlanan karışımların performansına etkisinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 102s, Elazığ.
- [4] Kumar P., Chandra S., Bose S. 2006. Strength characteristics of polymer modified mixes. International Journal of Pavement Engineering, 7 (1): 63-71.
- [5] Tayfur S., Özen H., Aksoy A. 2007. Investigation of Rutting Performance of Asphalt Mixtures Containing Polymer Modifiers. Construction and Building Materials, 21 (2): 328-337.
- [6] Kök B.V., Yılmaz M. 2009. The effects of using lime and styrene-butadiene-styrene on moisture sensitivity resistance of hot mix asphalt. Construction and Building Materials, 23: 1999-2006.

- [7] Görkem Ç., Şengöz B. 2009. Predicting stripping and moisture induced damage of asphalt concrete prepared with polymer modified bitumen and hydrated lime. *Construction and Building Materials*, 23: 2227-2236.
- [8] Cortizo M.S., Larsen D.O., Bianchetto H., Alessandrini J.L. 2004. Effect of the thermal degradation of SBS copolymers during the ageing of modified asphalts. *Polymer Degradation and Stability*, 86: 275-282.
- [9] Singh B., Kumar P. 2019. Effect of polymer modification on the ageing properties of asphalt binders: Chemical and morphological investigation. *Construction and Building Materials*, 205: 633-641.
- [10] Saoula S., Mokhtar K.A., Haddadi S., Ghorbel E. 2009. Improvement of the performances of modified bituminous concrete with EVA and EVA-waste. *Phys. Procedia.*, 2: 1319-1326.
- [11] Stark W., Jaunich M. 2011. Investigation of Ethylene/Vinyl Acetate Copolymer (EVA) by thermal analysis DSC and DMA. *Polymer Testing*, 30: 236-242.
- [12] Airey G., Hunter A., Rahimzadeh B. 2017. The influence of geometry and sample preparation on dynamic shear rheometer testing. in: *Perform. Bitum. Hydraul. Mater. Pavements*, CRC Press, Taylor & Francis Group, 6000 Broken Sound Parkway NW, Suite 300, Boca Raton, FL 33487-2742.
- [13] Marasteanu M.O., Li X., Clyne T.R., Voller V.R., Timm D.H., Newcomb D.E. 2004. *Low Temperature Cracking of Asphalt Concrete Pavements*. Pillsbury Drive S.E. Minneapolis, MN.
- [14] Liu S., Cao W., Fang J., Shang S. 2009. Variance analysis and performance evaluation of different crumb rubber modified (CRM) asphalt. *Construction and Building Materials*, 23: 2701-2708.
- [15] BSI (British Standards Institution). 2003. *Methods of test for petroleum and its products-BS 2000-520: Bitumen and bituminous binders-Determination of the tensile properties of modified bitumen by the force ductility method*. BS EN 13589:2003. London: BSI.

Araştırma Makalesi / Research Article

Investigating the Effect of Geometrical and Dynamic Parameters on the Performance of Darrieus Turbines: A Numerical Optimization Approach via QBlade Algorithm

Abdullah MURATOĞLU*, Muhammed Sungur DEMİR

Batman Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği, Batman
(ORCID: 0000-0001-8981-5983) (ORCID: 0000-0003-3631-6325)

Abstract

Increasing energy demand, rising per capita energy use, growing climate problems and other detrimental consequences of energy and environmental issues have prompted scientists and engineers to conduct more studies on the technical feasibility and efficiency of renewable energy conversion systems. Free flow (wind and hydrokinetic) turbines are one of the mostly investigated renewable energy technologies and Darrieus turbines have an exceptional place especially for smaller scale and domestic applications. Many experimental and computational studies have been provided on the performance of Darrieus turbines. However, the number of numerical studies which are more time and cost effective than computational and experimental works are quite limited in the literature. The main objective of this study is to analyze Darrieus turbines at different geometrical and dynamic configurations using numerical QBlade software. In this study, the effect of airfoil selection, number of blades, chord length, solidity and helicity are analyzed in terms of delivering higher performance at straight bladed Darrieus turbines. It has been found that NACA 0020 profile performs better relative to other symmetrical blade sections in vertical axis turbines. Better performance and wider TSR range is obtained for three bladed turbines. Also, increasing chord lengths delivered maximum power at lower tip speed ratio (TSR) ranges. This study is expected contribute site-dependent Darrieus turbine design works at different dimension and dynamic scales for both wind and hydrokinetic applications.

Keywords: QBlade, numerical, H-shaped, Darrieus, TSR, solidity, helicity.

Geometrik ve Dinamik Parametrelerin Darrieus Türbin Performansı Üzerindeki Etkisinin Araştırılması: QBlade Algoritması ile Sayısal Optimizasyon

Öz

Artan enerji talebi, kişi başına düşen enerji kullanımı, çevresel problemler ve bunlara bağlı diğer olumsuz sonuçlar bilim insanlarını ve mühendisleri yenilenebilir enerji sistemlerinin verimliliği konusunda daha fazla çalışma yapmaya sevk etmiştir. Serbest akışlı (rüzgâr ve hidrokinetik) türbinler, üzerinde en çok araştırma yapılan yenilenebilir enerji teknolojileri olup Darrieus türbinleri özellikle küçük ölçekli ve lokal uygulamalarda önemli bir yere sahiptir. Darrieus türbinlerinin performansı hakkında birçok deneysel ve hesaplamalı çalışma yapılmış olmasına rağmen, zaman ve maliyet açısından nispeten çok daha elverişli olan numerik çalışmaların sayısı oldukça sınırlıdır. Bu çalışmanın temel amacı, farklı geometrik ve dinamik konfigürasyonlara sahip Darrieus türbinlerinin QBlade yazılımı kullanılarak analiz edilmesidir. Mevcut çalışmada, düz kanatlı Darrieus türbinlerinden daha yüksek performans elde edilmesi amacı ile kanat profili, kanat sayısı, kord uzunluğu, solidite ve sarmallığın performansa etkisi analiz edilmiştir. Bu çalışmada NACA 0020 profilinin, dikey eksen türbinlerde diğer simetrik kanat kesitlerine nazaran daha iyi performans gösterdiği bulunmuştur. Üç kanatlı türbinlerin daha geniş TSR aralığında çalıştığı ve yüksek performans sergilediği tespit edilmiştir. Ayrıca, kord uzunluğu arttıkça maksimum güç katsayısına daha düşük uç hız oranında (TSR) ulaşıldığı tespit edilmiştir. Bu çalışmanın hem rüzgâr hem de hidrokinetik uygulamalar için farklı boyut ve dinamik ölçeklere sahip Darrieus türbini tasarımı çalışmalarına katkıda bulunması beklenmektedir.

Anahtar kelimeler: QBlade, sayısal, düz kanatlı, Darrieus, TSR, solidite, sarmallık.

*Corresponding author: abdullah.muratoglu@batman.edu.tr

Received: 19.01.2020, Accepted: 10.02.2020

1. Introduction

Life is a continuous process of energy conversion and transformation [1]. Many scientists and engineers are in consensus on the irreversible detrimental impacts of fossil fuels such as coal, gas and oil. Additionally, non-renewable primary energy resources are not expected to respond increasing energy demand in the future [2, 3]. Therefore, in the last years research, development and investments on renewable and alternative energy systems have been exponentially increased. The oldest and most popular renewable energy resource is known as hydropower. According to the statistics of the year 2018, the total global installed power capacity of renewables (including hydropower) is around 2378 GW [4]. By the end of the same year, the hydropower capacity reported to correspond around half of the total renewable power capacity [4]. Another half of the renewable power is generated from wind, solar, geothermal and ocean power resources which are also known as modern renewables. Wind energy has an exceptional place among other modern renewables with around 591 GW total installed capacity world widely [4].

Aerodynamics and hydrodynamics of fluid environment (water and air) becomes crucially important for renewable power generation. The physical properties of the flow environment have direct effects on the geometric shape of the preferred turbines. Conventional hydroelectric power plants utilize classical type of turbines such as Francis, Pelton or axial flow turbines for energy production [5]. These turbines have either impact or reaction mechanism in which the energy is produced by the hydrodynamic drag and lift forces or a combination of these loads. Conventional hydro turbines concentrate the flow through nozzles in order of generating high capacity of power [6]. Therefore, their efficiency is relatively larger approximating to 90 % [7, 8]. However, modern wind and hydrokinetic turbines directly convert the kinetic energy of the fluid into electricity without constraining or pressurizing it [9, 10]. Therefore, they are also called as free flow turbines.

Contemporary free flow turbine technology is greatly based on the conventional hydropower turbines, ship propellers and airplane rotors [11]. However, there is a great deal of difference between the classical and modern turbine technologies. The efficiency of the contemporary wind and hydrokinetic turbines varies at different configurations and it is typically between 0.1 and 0.5 [12, 13]. Theoretically, the overall aerodynamic/hydrodynamic efficiency of any free flow turbine cannot exceed 59 %, which is also known as Betz limit [14]. This ratio can be increased using a suitable augmentation structure to pressurize the fluid flow around the propeller [15, 16].

Free flow wind and hydrokinetic turbine technology is mainly classified based on orientation of the central shaft in which the propeller rotates around it [17]. These are horizontal axis and vertical axis mechanisms [12]. Majority of commercial scale free flow turbines are oriented to be horizontal axis [18]. The main advantage of horizontal axis systems is delivering higher power coefficients (CP) which can exceed 0.5 [9]. The reason behind having relatively higher efficiency is based on the orientation of blade profiles (which are also called as airfoils or hydrofoils). The twist and pitch distributions of horizontal axis machines prevent aerodynamic stall. However, this case is not valid in vertical axis turbines which are also called as cross flow turbines [19]. These turbines (fixed pitch systems) receive the incoming fluid at an axis which is perpendicular to the central shaft. Additionally, they provide very advantageous power output at turbulent and skewed flow conditions [20]. In these systems, together with the azimuthal position changes, the airfoils experience very high angles of attack, resulting aerodynamic stall thus delivering deteriorating performance. Therefore, the typical efficiency of vertical axis machines becomes around 0.1-0.35 [12, 21].

Cross flow turbines have different configurations such as, straight bladed (H-shaped) Darrieus turbines [22], Gorlov helical turbines [23], troposkien [24], Achard [25] and spherical turbines [26, 27], all having vertical axis mechanism. Together with delivering lower efficiency rates, they have several advantages over the horizontal axis schemes. They do not need yaw regulation mechanisms having advantage of converting the fluid energy at any direction, even at the reversal currents. Also, simplicity of production and the configuration of generator above the water level are among the other advantages of cross flow turbines [28].

H-shaped Darrieus turbines are known as the most simple and one of the oldest configurations of cross flow machines [29]. The first Darrieus type of turbine design has been proposed by French engineer Darrieus to harness wind energy [1]. These systems have typically 3-5 blades in which the airfoils are oriented to have identical angle of attack along the blades' longitudinal direction without

having any helicity or twist angle. The blades are connected to the central shaft using suitable type of struts. Although having extensive amount of research on the aerodynamics of Darrieus turbines, their performance is still complicated due to especially dynamic stall problem.

Bachant and Wosnik [30] investigated the near-wake region of the cross flow turbines by experimental analyses and remarked the need of parameterized engineering models for accurately prediction of near-wake physics of cross flow turbines. Dabbagh and Yuce [31] investigated and compared the performance of straight bladed and vertical hydrokinetic turbines using computational tools. It has been reported that, helical turbines are more efficient than the same sized H-shaped Darrieus turbines in terms of power coefficient, especially at high tip speed ratios (TSR). Kirke [32] analyzed the effect of duct around the helical and straight bladed Darrieus turbines concluding that, the power output can be increased by a factor up to 3 using a suitable type of diffuser. Also, straight bladed turbines experienced to have violent vibrations due to high dynamic loads. It is also noted that, turbine shaking problem is greatly solved by using helical type of blades. Kirke and Lazauskas [28] reported the main limitations of fixed pitch Darrieus turbines. They noted that, the efficiency can be increased and vibration and shaking problems which are encountered in H-shaped classical Darrieus systems can be resolved using an active pitch mechanism which will also increase the complexity and cost as a disadvantage. Cheng et al. [33] provided computational analyses on the aerodynamic behavior of helical cross flow turbines. It is reported that, helical systems exhibit better aerodynamic performance and less noise emission rates comparing to the straight bladed machines. Mohamed [1] investigated the performance of straight bladed Darrieus turbines employing different airfoil shapes (both symmetric and non-symmetric) using 2D computational fluid dynamics simulations for maximizing the power output. It has been reported that, the performance can be substantially increased using suitable type of blade section. Balduzzi et al. [20] investigated the energetic sustainability of H-shaped Darrieus turbines for the rooftop installation of a building at different wind profiles and skew employing a computational approach. They reported around 12 % energy increase can be attained at skew angles of 15-35°. Longhuan et al. [34] analyzed the experimental performance of the Darrieus turbines at different solidity, blade profile, pitch angle and aspect ratio distributions. Importance of the blade's span angle on the self-starting capability of the turbine is outlined. The unsteady behavior of the Darrieus turbine aerodynamics have been remarked by Rezaeiha et al. [35]. The effect of blade camber and curvature on the unsymmetrical blade profiles used in Darrieus turbines has been investigated by Sengupta et al. [36]. The experimental performance of Darrieus turbines have been investigated by Battisti et al. [37]. Finally, low speed wind tunnel performance of H-shaped Darrieus turbines were analyzed by Scungio et al. [38].

Majority of the abovementioned studies examine the performance of Darrieus turbines at different geometrical and dynamic configurations using mainly computational and experimental tools. Experimental studies are rather time consuming and expensive works. Similarly, the unsteady behavior of Darrieus turbines at various azimuthal position of the blades due to the stall problem have been reported in many studies [33, 39-41]. The need for parametric engineering models have also been outlined in the previous studies [30]. Therefore, detailed study of various geometrical and dynamic conditions of Darrieus turbines using numerical algorithms which employ the physical models generated for the vertical axis turbines (Actuator disk, BEM and MST and DMST theories) becomes substantially important in order of providing a practical approach [42]. The main objective of this study is to analyze Darrieus turbines at different geometrical and dynamic configurations and to investigate the effect of airfoil selection, thickness, solidity, number of blades, chord length and helicity on the performance of straight bladed Darrieus turbines using numerical QBlade algorithm. Various different configurations have been tested, their performances were compared and the optimum design specifications were outlined to contribute Darrieus turbine design studies. The main findings were discussed with existing literature studies in details.

2. Materials and Method

2.1. QBlade

QBlade is an open source code that has been developed for horizontal and vertical wind turbine design analyses and simulations by the Hermann Föttinger Institute (Berlin) [43]. The algorithm have capability of extrapolating the airfoil polars through 360°, interface for inputting turbine's geometrical parameters,

calculating the rotor’s performance at various dynamic conditions and estimating the overall performance using the DMST (Double Multiple Stream Tube Theory) [44]. The performance of two-dimensional blade sections are evaluated using the XFOIL software which is known as the most popular airfoil panel code [45, 46]. Turbine blades are defined to be combination of a number of airfoil segments having specified span lengths. Geometric modifications such as twist, helicity, chord length, azimuthal angle, etc. are defined for each of the blade segments. Then, the dynamic properties of flow such as, cut-in and cut-out velocities, tip speed ratio, free stream speed, etc. are defined [43]. QBlade algorithm’s basic working mechanism is illustrated in Figure 1.

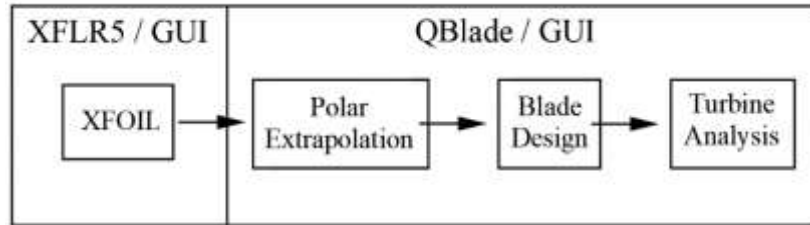


Figure 1. QBlade algorithm running mechanism (modified from [43])

Validation of the QBlade algorithm had been provided by [43] using the experimental [47] and numerical outputs of double multiple stream tube theory. Satisfying results were reported exhibiting quite similar behavior with the numerical DMST code that is originally proposed by Parachivoiu [48] until the peak power. It should be noted that, QBlade shows slightly higher results compare to the Parachivoiu’s double multiple stream tube model, after the rated power. Also, QBlade algorithm has been validated with Sandia turbine [47] having 17 m longitudinal length delivering effectual results and providing good agreement compare to the experimental analyses [43] (Figure 2).

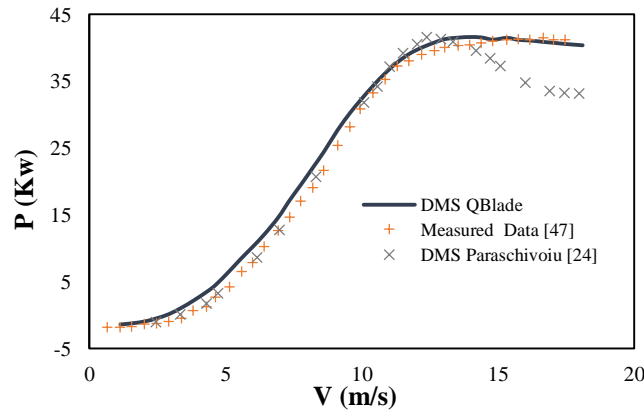


Figure 2. Validation of QBlade algorithm (Modified from [49])

2.2. Vertical axis turbine theory

The extractable power of a free-flowing stream inside a cross sectional area of A is given in Equation 1. It should be noted that, the power output of any free flow turbine is proportional with the cube of free stream speed (U_∞). Thus, velocity regime of the turbine domain becomes substantially important. On the other hand, free flow devices can harness a certain amount of energy inside the flow domain based on their efficiency (η) which is an output of rotor geometry and aerodynamic/hydrodynamic properties of flow around the turbine blades.

$$P = 0.5\rho AU_\infty^3\eta \tag{1}$$

where, P is the extractable power, ρ is the fluid’s density, A is the cross-sectional area normal to the free stream velocity, U_∞ is the free stream speed and η is the overall aerodynamic and mechanical efficiency of the rotor.

The free stream speed (U_∞) is modified by aerodynamic induction factors [48] and converted

into local velocity components in x and y directions (Figure 3). A resultant velocity is obtained (U_r) from the combination of Cartesian velocity components and the rotational velocity of the turbine blades (U_θ) [50]. Aerodynamic (lift and drag) forces generated on the blade sections are formed as a result of the relative velocity component acted at an angle of attack (α) which is the angle between the airfoil chord and applied velocity vector (U_r).

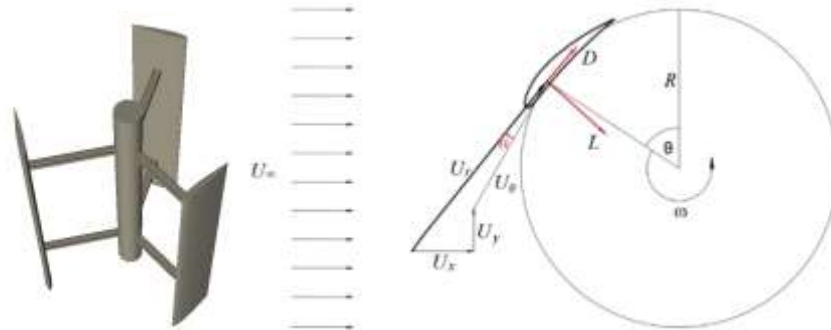


Figure 3. A conceptual Darrieus turbine and velocity vectors and loads generated on the longitudinal rotor section (Modified from [50])

Accordingly, lift and drag forces generated on each blade section can be defined as follows;

$$L = \frac{1}{2} \rho U_r^2 (bc) C_L \quad (2)$$

$$D = \frac{1}{2} \rho U_r^2 (bc) C_D \quad (3)$$

where, L is the lift force, D is the drag force, U_r is the relative velocity vector, b is the span length of each blade segment, c is the chord length of the blade profiles, C_D is the coefficient of drag and C_L is the coefficient of lift of employed airfoil sections.

During the rotation, after 180° azimuth angle, the blade sections are exposed to negative angle of attack values. The direction of the lift force is varied in this case. However, the resultant lift force is always produces positive torque at a unit length of the blade [50]. The blade's angle of attack can be written as a function of induced velocity and relative velocity at different azimuthal position as [51];

$$\alpha = \tan^{-1} \frac{U_r \sin \theta}{\omega r + U_r \cos \theta} \quad (4)$$

Torque is the most important parameter that is required for power production of rotor. Resultant torque per unit length of the blade can be written as a function of lift and drag forces and turbine's geometrical parameters as follows [50];

$$Q = NR(L \sin \alpha - D \cos \alpha) \quad (5)$$

where, Q is the total torque, N is the number of blades, R is the rotor radius.

Detailed illustration of one dimensional momentum theory, blade element momentum (BEM), double actuator disk concept and double multiple stream tube (DMS) theories are provided by Muratoglu [52], Demir [53], Consul [50] and Paraschivoiu [24, 54].

Tip speed ratio and solidity terms are also important for characterizing the turbine's dynamic and geometrical conditions. Both parameters are frequently used by many of the literature studies as a common criterion for comparison among the generated designs. Tip speed ratio (TSR , λ) is known as dimensionless parameter that shows the ratio of the blades' tangential velocity to the free stream velocity (Equation 6). On the other hand, solidity (σ) is parameter of number of blades, chord length and radius which is defined as the ratio of the total blade planform area to the swept area (Equation 7).

$$\lambda = \frac{\omega R}{U_\infty} \quad (6)$$

$$\sigma = \frac{cN}{2R} \tag{7}$$

where, λ is the tip speed ratio, ω is the rotational speed, R is the turbine radius, U_∞ is the free stream velocity, σ is the rotor solidity, c is the chord length, N is the number of blades.

3. Result and Discussion

3.1. Investigation the Effect of Airfoil Selection on the Performance

Selecting a suitable airfoil shape is the most important parameter to maximize turbine efficiency [55]. In this section, various airfoils that are frequently employed in H-shaped Darrieus turbines are compared. The geometrical illustration of symmetrical and asymmetrical airfoils that are analyzed in this study are given Figure 4. Their aerodynamic performance (C_L - α and C_L/C_D - α curves) which is calculated by XFOIL software are provided in Figure 5. Also, numerical QBlade analysis outputs of the straight bladed Darrieus turbines that are designed using these airfoils are reported in Figure 6.

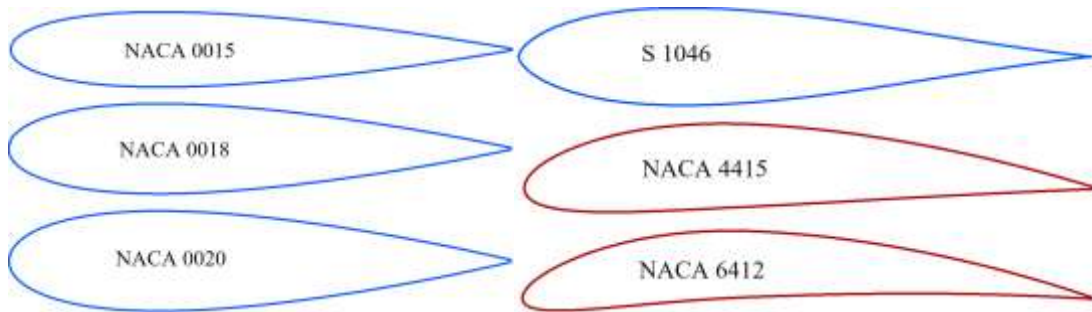


Figure 4. Geometric illustration of symmetrical and asymmetrical airfoils analyzed in this study

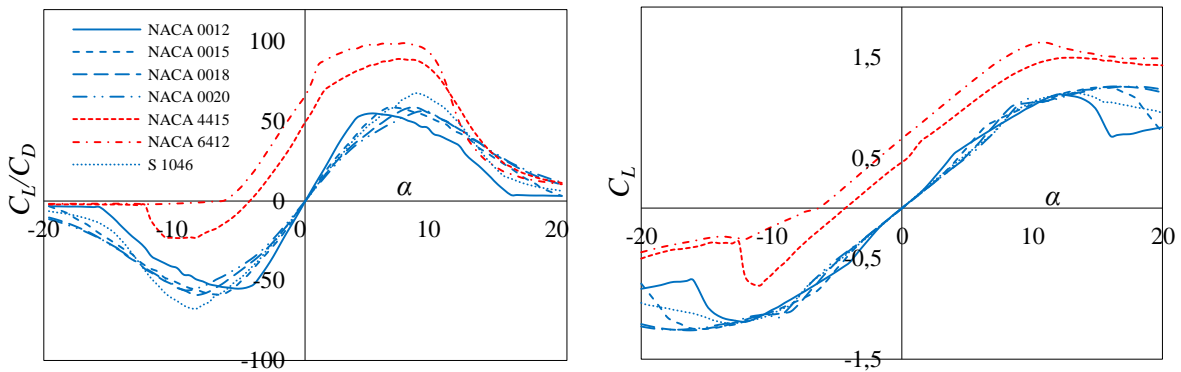


Figure 5. Performance analysis of some symmetrical and asymmetrical airfoils ($Re=0.33 \times 10^6$)

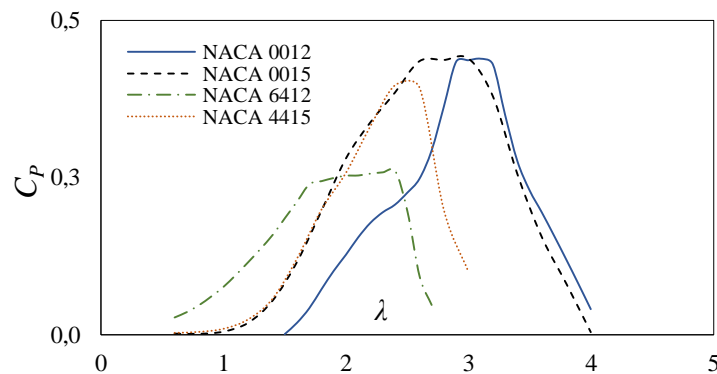


Figure 6. H=Darrieus turbine performance comparison using symmetrical and asymmetrical airfoils ($H=1.5$ m, $R=0.5$ m, $c=0.2$ m, $N=3$)

Many studies report that, blade profiles having symmetrical cross-section perform much better than asymmetrical profiles at negative angles of attack [50, 56]. Although asymmetrical blade sections have relatively higher lift/drag performance in positive angles of attack, their performance deteriorates in negative α values relative to symmetrical sections (Figure 5). Accordingly, superior performance of Darrieus turbines modeled using symmetrical turbines can be clearly identified in Figure 6. In this study, turbines having the symmetrical airfoils of NACA 0012 and NACA 0015 represented considerably higher power coefficient than asymmetrical airfoils of NACA 6412 and NACA 4415.

The type of employed airfoil which is mainly characterized by per cent thickness is another important design criterion for high performance. There have been different literature studies investigating the effect of thickness on the C_p -TSR curve. Subramanian et al. [57] compared the performances of blade profiles having different % thicknesses for vertical axis turbines and reported that, thinner airfoils such as NACA 0012 have higher C_p at high TSR values while, thick profiles such as NACA 0030 perform better at low TSR values (<2). Thus, thinner airfoils have the C_p -TSR curve shifted to the right-hand side. A similar consequence has also been observed by Rezaeiha et al. [58]. Mohamed [1] investigated the performance of straight bladed Darrieus turbines made of various different airfoils having both symmetric and non-symmetric body using CFD methods reporting that, symmetric S-1046 section delivered maximum power coefficient. Similarly, Brinck and Jeremejeff [59] analyzed H-shaped Darrieus turbines using DMST model and proposed that S-1046 section delivered highest performance with unfavorable oscillating torque. Again, Feng et al. [56] highlighted high performance of S-1046 airfoil relative to non-symmetrical S809 profiles. In the present study, similar to Mohamed [1], Brinck and Jeremejeff [59] and Feng et al. [56], the maximum C_p was obtained using S-1046 airfoils with slight differences. However, maximization solely the power coefficient would not be sufficient especially in stall regulated turbines. Delivering high C_p at relatively a wide range of TSR is also a desired property. Also, similar to Subramanian et al. [57] and Rezaeiha et al. [58], thicker blade profiles represented better performance at low TSR values. Consequently, in this study, NACA 0020 blade profile has been found to be more suitable for straight bladed vertical axis turbines because of especially its high performance in low TSR values and having wider TSR range. Also, the present study highlights that, similar to Brusca et al. [60] and Subramanian et al. [57], Darrieus turbines designed from symmetrical airfoils should be operated in the TSR range of 2-3 (Figure 7).

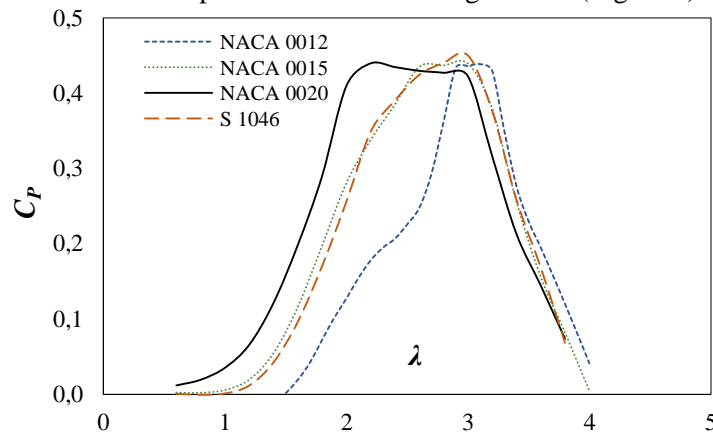


Figure 7. Performance comparison of symmetrical airfoils ($H=1.5$ m, $r=0.5$ m, $c=0.2$ m, $N=3$)

3.2. Effect of Solidity, Number of Blades and Chord Length

Solidity varies as a function of turbine diameter, number of blades and chord length (Equation 7). In literature, the effect of solidity on VAWT has been investigated in two different ways; depending on the number of blades and the length of the chord. Qamar and Janajreh [61] tested the effect of solidity on the performance and reported that, the maximum performance is obtained at $N=3$ and $\sigma=0.45$. Similarly, Delafin et al. [62] proposed that, the maximum power coefficient is proportional with the number of blades at the same chord length. Again, Subramanian et al. [57] stated that the maximum power coefficient is obtained at lower TSR values and higher number of blades. In the present study, we compared Darrieus turbine performance for different blade numbers and chord lengths (Figure 8 and 9). We obtained that, the maximum power coefficient characteristics are quite similar except some

slight differences. Four-bladed turbine represented the maximum power coefficient in this study. However, as the number of blades increases, the TSR range delivering maximum power coefficient become narrower. On the other hand, similar to Delafin et al. [62], Qamar and Janajreh [61], Rezaeiha et al. [58], we observed that, increasing blade number shifts C_p -TSR curve to the left side (Figure 9).

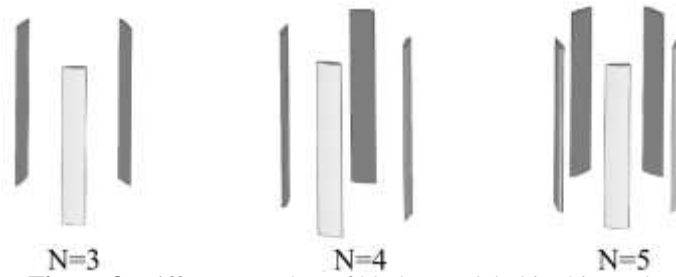


Figure 8. Different number of blades modeled in this study

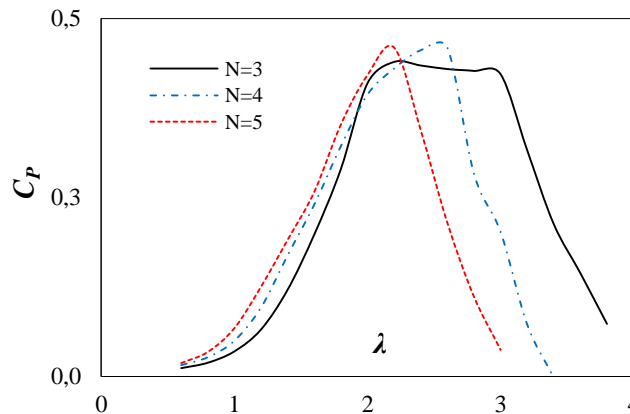


Figure 9. Comparison of blade number on the performance of Darrieus turbines ($H=1.5$ m, $R=0.5$ m, $c=0.2$ m)

Eboibi et al. [63] reported the better performance at $\sigma=0.34$ relative to $\sigma=0.26$. Rezaeiha et al. [58] stated that the maximum power coefficient increases when solidity increases up to 0.36. On the other hand, Roh and Kang [64] highlighted the maximum C_p is increased up to a solidity number of 0.3. Accordingly, in this study the performance at different chord lengths of NACA 0020 section ($N=3$) is compared (Figure 10). It can be observed that similar to Rezaeiha et al. [58], Roh ve Kang [64] and Eboibi et al. [63] the maximum C_p increased until a chord length of $c=0.12$ m ($\sigma=0.36$). However, further increments of chord length are observed to have reduced C_p . Also, the optimum TSR range delivering high performance expands which is a desired property. At low TSR values, the turbine performs better as the chord length increases parallel to the Sheikh [65]. At higher TSR values, the performance deteriorates as the cord length increases which is also supported by Winchester and Quayle [66].

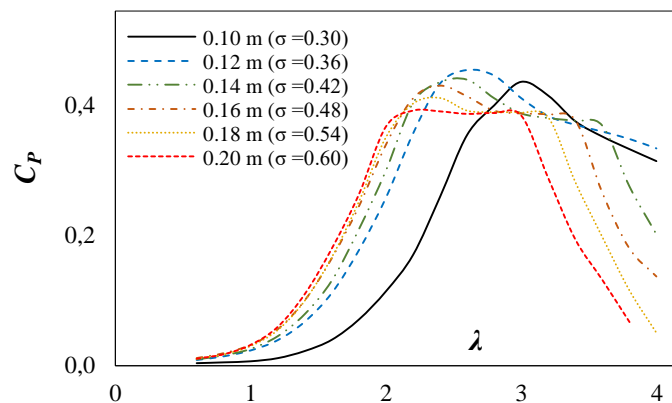


Figure 10. Effect of chord length on the performance of Darrieus turbines ($H=1.5$ m, $R=0.5$ m, $N=3$)

3.3. Effect of Blade Helicity

The first helical turbine was developed to solve the vibration problems of Darrieus turbines [9]. These turbines are formed by rotating the blades around their longitudinal axes to give a helical structure. Several studies [67, 68] proposed that, straight bladed turbine deliver higher power than helical turbines. However, Al-Dabbagh and Yuce [31] found the efficiency of helical turbines to be slightly higher. Nevertheless, according to Battisti et al. [69] maximum power coefficient of both type of turbines are very close to each other, where the helical turbine showed high performance in a wider TSR range. It can be said that, existing literature studies are not agreed on positive contributions of the helicity for power maximization. However, reduced load fluctuations and prolonged life of helical turbines are a topic of common estimates. In the present study, three different turbines have been designed at different helicity angles (0, 45, and 60 degrees, Figure 11) and their performance is compared using DMST method. Parallel to existing works, the power coefficients and average torques of straight and helical bladed turbines were found to be the same. However, when the instantaneous torque graph is analyzed (Figure 12), the torque oscillation of the helical turbines is observed to be lower than that of the straight bladed turbines parallel to the studies of Niblick [70], Marsh et al. [67], Moghimi et al. [68] and Winchester and Quayle [66].



Figure 11. Straight bladed turbine (a), 45° helical turbine (b) and 60° helical turbine (c)

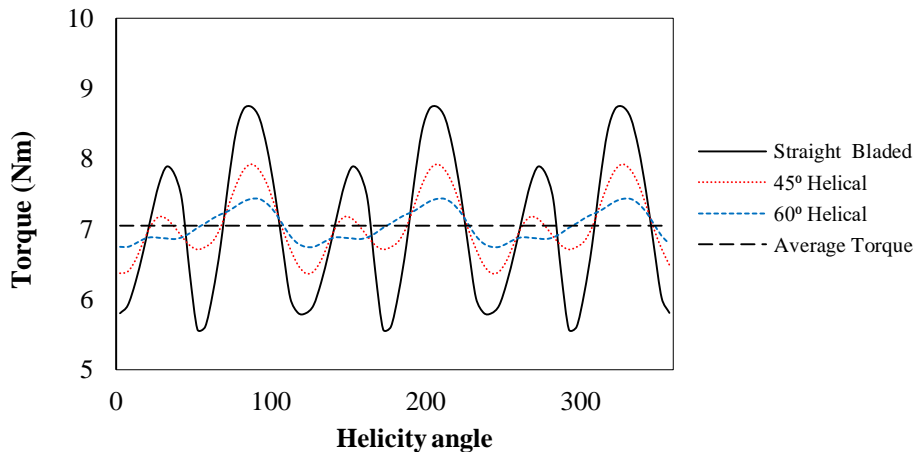


Figure 12. Comparison of helical and straight bladed Darrieus turbine

Helical turbine blade segments are exposed to various different angles of attack at an instantaneous timestep. Nevertheless, each blade of straight bladed Darrieus turbines experience constant angle of attack at a specific azimuthal position. Therefore, torque fluctuations are reduced in helical turbines compare to the straight bladed designs. Consequently, in parallel to the previous works the basic findings of this study outline that, straight bladed and helical turbines generally perform similar in terms of power maximization, where helical turbines represented less torque oscillations.

4. Conclusion

In this study, the effect of airfoil type, number of blades, chord length, solidity and helicity which are the most important design parameters for the performance of vertical axis turbines have been investigated using QBlade code which employs DMST algorithm. Accordingly, vertical axis turbines

with symmetrical blade profiles provide optimum performance in the *TSR* range of 2-3. Among symmetrical blade sections, the NACA 0020 profile is found to be more suitable for vertical axis turbines. As the number of blades increases, the range of *TSR* in which the turbine is efficient is narrowed. Three blades have been found to be optimum for sufficient performance and reduced cost in straight bladed vertical axis turbines. At higher chord length and solidity values, the *TSR* value delivering maximum C_P is decreased. A concrete relationship showing the effect of helicity on C_P has not been attained. However, torque oscillations are observed to be reduced at increased helicity angles.

Authors' Contribution

A.M conceived and supervised the study, wrote the manuscript and M.S.D., performed the numerical analyses and contributed to discussions.

Statement of Conflicts of Interest

The authors have no competing interests to declare.

Statement of Research and Publication Ethics

The authors complied with research and publication ethics. This article does not contain any studies involving animals or human participants performed by any of the authors.

References

- [1] Mohamed M.H. 2012. Performance investigation of H-rotor Darrieus turbine with new airfoil shapes. *Energy*, 47 (1): 522–530.
- [2] Mejbri A., Haddou S., Rejeb J.B. 2014. Renewable energy, fossil fuels and economic development: Evidence from the Middle East and North African countries. *The Journal of Energy and Development*, 40 (1/2): 209–228.
- [3] Martins F., Felgueiras C., Smitková M. 2018. Fossil fuel energy consumption in European countries. *Energy Procedia*, 153: 107–111.
- [4] REN21. 2019. Renewables 2019 Global Status Report.
- [5] Çengel Y.A., Cimbala J.M. 2006. Fluid mechanics: fundamentals and applications. Fluid Mechanics: With Problems and Solutions, and an Aerodynamic Laboratory, New York.
- [6] Williamson S.J., Stark B.H., Booker J.D. 2014. Low head pico hydro turbine selection using a multi-criteria analysis. *Renewable Energy*, 61: 43–50.
- [7] Okot D.K. 2013. Review of small hydropower technology. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 26: 515–520.
- [8] Elbatran A.H., Yaakob O.B., Ahmed Y.M., Shabara H.M. 2015. Operation, performance and economic analysis of low head micro-hydropower turbines for rural and remote areas: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 43: 40–50.
- [9] Yuce M.I., Muratoglu A. 2015. Hydrokinetic energy conversion systems: A technology status review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 43: 72–82.
- [10] Muratoglu A., Yuce M.I. 2017. Design of a River Hydrokinetic Turbine Using Optimization and CFD Simulations. *Journal of Energy Engineering*, 143 (4).
- [11] Batten W.M.J., Bahaj A.S., Molland A.F. 2006. Chaplin J.R., Hydrodynamics of marine current turbines. *Renewable Energy*, 31 (2) : 249–256.
- [12] Aslam Bhutta M.M., Hayat N., Farooq A.U., Ali Z., Jamil S.R., Hussain Z. 2012. Vertical axis wind turbine – A review of various configurations and design techniques. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16 (4) : 1926–1939.
- [13] Tummala A., Velamati R.K., Sinha D.K., Indraja V., Krishna V.H. 2016. A review on small scale wind turbines. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 56: 1351–1371.
- [14] Gorban A.N., Gorlov A.M., Silantyev V.M. 2001. Limits of the Turbine Efficiency for Free Fluid Flow. *Journal of Energy Resources Technology*, 123 (4) : 311–317.
- [15] Chen L., Ponta F.L., Lago L.I. 2011. Perspectives on innovative concepts in wind-power

- generation. *Energy for Sustainable Development*, 15 (4) : 398–410.
- [16] Shonhiwa C., Makaka G. 2016. Concentrator Augmented Wind Turbines: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 59: 1415–1418.
- [17] Muratoglu A. 2018. A review on alternative hydropower production methods. *Journal of Engineering and Tecnology*, 2: 21–28.
- [18] Khan M.J., Bhuyan G., Iqbal M.T. 2009. Quaicoe J.E., Hydrokinetic energy conversion systems and assessment of horizontal and vertical axis turbines for river and tidal applications: A technology status review. *Applied Energy*, 86 (10) : 1823–1835.
- [19] Forbush D., Cavagnaro R.J., Polagye B. 2019. Power-tracking control for cross-flow turbines. *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, 11 (1): 014501.
- [20] Balduzzi F., Bianchini A., Carnevale E.A., Ferrari L., Magnani S. 2012. Feasibility analysis of a Darrieus vertical-axis wind turbine installation in the rooftop of a building. *Applied Energy*: 97 921–929.
- [21] Kim D., Gharib M., Efficiency improvement of straight-bladed vertical-axis wind turbines with an upstream deflector. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 115: 48–52, 2013.
- [22] Raciti Castelli M., Ardizzon G., Battisti L., Benini E., Pavesi G. 2010. Modeling Strategy and Numerical Validation for a Darrieus Vertical Axis Micro-Wind Turbine, 409–418.
- [23] Gorlov M. 1995. The helical turbine: A new idea for low-head hydro. *Hydro Review*, 14 (5).
- [24] Paraschivoiu I. 2002. *Wind turbine design: with emphasis on Darrieus concept*. Polytechnic International Press.
- [25] Bernad S., Georgescu A., Georgescu S.-C., Susan-Resiga R., Anton I. 2008. Flow investigations in Achard turbine. *Proceedings of the Romanian Academy*, 9 (2).
- [26] Gorlov A.M. 2012. Universal spherical turbine with skewed axis of rotation. <https://patents.google.com/patent/US20120070294A1/en> (Access Date: 26.01.2019)
- [27] Mosbahi M., Ayadi A., Mabrouki I., Driss Z., Tucciarelli T., Abid M.S. 2019. Effect of the Converging Pipe on the Performance of a Lucid Spherical Rotor. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 44 (2): 1583–1600.
- [28] Kirke B.K., Lazauskas L. 2011. Limitations of fixed pitch Darrieus hydrokinetic turbines and the challenge of variable pitch. *Renewable Energy*, 36 (3): 893–897.
- [29] Kiho S., Shiono M., Suzuki K. 1996. The power generation from tidal currents by darrieus turbine. *Renewable Energy*, 9 (1–4): 1242–1245.
- [30] Bachant P., Wosnik M. 2015. Characterising the near-wake of a cross-flow turbine. *Journal of Turbulence*, 16 (4): 392–410.
- [31] Al-Dabbagh M.A., Yuce M.I. 2018. Simulation and Comparison of Helical and Straight-bladed Hydrokinetic Turbines. *International Journal of Renewable Energy Research (IJRER)*, 8 (1): 504–513.
- [32] Kirke B.K. 2011. Tests on ducted and bare helical and straight blade Darrieus hydrokinetic turbines. *Renewable Energy*, 36 (11): 3013–3022.
- [33] Cheng Q., Liu X., Ji H.S., Kim K.C., Yang B. 2017. Aerodynamic Analysis of a Helical Vertical Axis Wind Turbine. *Energies*, 10 (4).
- [34] Du L., Ingram G., Dominy R.G. 2019. Experimental study of the effects of turbine solidity, blade profile, pitch angle, surface roughness, and aspect ratio on the H-Darrieus wind turbine self-starting and overall performance. *Energy Science & Engineering*. <https://doi.org/10.1002/ese3.430>.
- [35] Rezaeiha A., Montazeri H., Blocken B. 2019. On the accuracy of turbulence models for CFD simulations of vertical axis wind turbines. *Energy*, 180: 838–857.
- [36] Sengupta A.R., Biswas A., Gupta R. 2019. Comparison of low wind speed aerodynamics of unsymmetrical blade H-Darrieus rotors-blade camber and curvature signatures for performance improvement. *Renewable Energy*, 139: 1412–1427.
- [37] Battisti L., Persico G., Dossena V., Paradiso B., Raciti Castelli M., Brighenti A., Benini E. 2018. Experimental benchmark data for H-shaped and troposkien VAWT architectures. *Renewable Energy*, 125: 425–444.
- [38] Scungio M., Arpino F., Focanti V., Profili M., Rotondi M. 2016. Wind tunnel testing of scaled models of a newly developed Darrieus-style vertical axis wind turbine with auxiliary straight blades. *Energy Conversion and Management*, 130: 60–70.
- [39] Mohamed M.H., Dessoky A., Alqurashi F. 2019. Blade shape effect on the behavior of the H-rotor

- Darrieus wind turbine: Performance investigation and force analysis. *Energy*, 179: 1217–1234.
- [40] Carrigan T.J., Dennis B.H., Han Z.X., Wang B.P. 2012. Aerodynamic Shape Optimization of a Vertical-Axis Wind Turbine Using Differential Evolution. *ISRN Renewable Energy*: 1–16.
- [41] Ghasemian M., Ashrafi Z.N., Sedaghat A. 2017. A review on computational fluid dynamic simulation techniques for Darrieus vertical axis wind turbines. *Energy Conversion and Management*, 149: 87–100.
- [42] Muratoğlu A., Demir M.S. 2019. Numerical analysis of a straight bladed vertical axis Darrieus wind turbine: Verification of DMS algorithm and QBlade code. *European Journal of Technic*, 9 (2): 195–208.
- [43] Marten D., Wendler J., Pechlivanoglou G., Nayeri C.N., Paschereit C.O. 2013. Qblade: An Open Source Tool for Design and Simulation of Horizontal and Vertical Axis Wind Turbines. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 3 (3): 264–269.
- [44] Qblade. 2018. Wind turbine design and simulation. Hermann Föttinger Institute of TU Berlin.
- [45] Drela M. 2013. Xfoil: Subsonic Airfoil Development System, MIT.
- [46] Morgado J., Vizinho R., Silvestre M.A.R., Páscoa J.C. 2016. XFOIL vs CFD performance predictions for high lift low Reynolds number airfoils. *Aerospace Science and Technology*, 52: 207–214.
- [47] Worstell M.H. 1981. Aerodynamic Performance of the DOE/Sandia 17-m-Diameter Vertical-Axis Wind Turbine. *Journal of Energy*, 5 (1): 39–42.
- [48] Paraschivoiu I., Delclaux F. 1983. Double multiple streamtube model with recent improvements (for predicting aerodynamic loads and performance of Darrieus vertical axis wind turbines). *Journal of Energy*, 7 (3): 250–255.
- [49] Marten D., Wendler J., Pechlivanoglou G., Nayeri C.N., Paschereit C.O. 2013. Development and Application of a Simulation Tool For Vertical and Horizontal Axis Wind Turbines. *Proceedings of the ASME Turbo Expo*, 8 (June).
- [50] Consul C.A. 2011. Hydrodynamic Analysis of a Tidal Cross-Flow Turbine, Oxford.
- [51] Bachant P. 2011. Experimental investigation of helical cross-flow axis hydrokinetic turbines, including effects of waves and turbulence. University of New Hampshire, M.Sc. thesis, 122 p, Durham.
- [52] Muratoglu A. 2014. Design and simulation of a riverine hydrokinetic turbine. Ph.D. thesis, University of Gaziantep, Institute of Natural and Applied Sciences, 212 p, Gaziantep.
- [53] Demir M.S. 2019. Design and CFD analyses of a spherical hydrokinetic turbine for energy production in gravity water transmission pipelines. M.Sc. thesis, Batman University, Institute of Natural and Applied Sciences, 72 p, Batman.
- [54] Paraschivoiu I. 1982. Aerodynamic loads and performance of the Darrieus rotor. *Journal of Energy*, 6 (6): 406–412.
- [55] Hashem I., Mohamed M.H. 2018. Aerodynamic performance enhancements of H-rotor Darrieus wind turbine. *Energy*, 142: 531–545.
- [56] Feng F., Zhao S., Qu C., Bai Y., Zhang Y., Li Y. 2018. Research on Aerodynamic Characteristics of Straight-Bladed Vertical Axis Wind Turbine with S Series Airfoils. *International Journal of Rotating Machinery*. <https://doi.org/10.1155/2018/8350243>.
- [57] Subramanian A., Yogesh S.A., Sivanandan H., Giri A., Vasudevan M., Mugundhan V., Velamati R.K. 2017. Effect Of Airfoil and Solidity On Performance Of Small Scale Vertical Axis Wind Turbine Using Three Dimensional CFD Model. *Energy*, 133: 179–190.
- [58] Rezaeiha A., Montazeri H., Blocken B. 2018. Towards optimal aerodynamic design of vertical axis wind turbines: Impact of solidity and number of blades. *Energy*, 165: 1129–1148.
- [59] Brinck D., Jeremejeff N. 2013. The development of a vertical axis tidal current turbine. KTH School of Industrial Engineering and Management. M.Sc. thesis, KTH School of Industrial Engineering and Management, Division of Energy Technology, 84 p, Stockholm.
- [60] Brusca S., Lanzafame R., Messina M. 2015. Design and performance of a straight-bladed darrieus wind turbine Design and Performance of a Straight-Bladed Darrieus Wind Turbine. *International Journal of Applied Engineering Research*, 10 (September), 3979–3982.
- [61] Qamar S.B., Janajreh I. 2017. A Comprehensive Analysis Of Solidity For Cambered Darrieus VAWTs. *International Journal of Hydrogen Energy*, 42 (30): 19420–19431.
- [62] Delafin P.L., Nishino T., Wang L., Kolios A. 2016. Effect Of The Number Of Blades And Solidity

- On The Performance Of a Vertical Axis Wind Turbine. *Journal of Physics: Conference Series*, 753 (2).
- [63] Eboibi O., Danao L.A.M., Howell R.J. 2016. Experimental Investigation of The Influence of Solidity On The Performance and Flow Field Aerodynamics of Vertical Axis Wind Turbines at Low Reynolds Numbers. *Renewable Energy*, 92: 474–483.
- [64] Roh S.C., Kang S.H. 2013. Effects of a blade profile, the Reynolds number, and the solidity on the performance of a straight bladed vertical axis wind turbine. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 27 (11): 3299–3307.
- [65] Sheikh S.R. 2015. Hydrodynamic Design and Optimization of Vertical Axis Water Turbine for Shallow and High Velocity Water Streams of Pakistan. in: *UMT National Multidisciplinary Engineering Conference 2015 (NMEC-15)*, (November), 1–18, 2015. doi:10.13140/RG.2.1.3358.1520.
- [66] Winchester J., Quayle S. 2009. Torque Ripple and Variable Blade Force: A Comparison of Darrieus and Gorlov-Type Turbines For Tidal Stream Energy Conversion, in *Proceedings of the 8th European Wave and Tidal Energy Conference*, 668–676.
- [67] Marsh P., Ranmuthugala D., Penesis I., Thomas G. 2015. Numerical investigation of the influence of blade helicity on the performance characteristics of vertical axis tidal turbines. *Renewable Energy*, 81: 926–935.
- [68] Moghimi M., Motawej H. 2020. Developed DMST Model For Performance Analysis and Parametric Evaluation of Gorlov Vertical Axis Wind Turbines. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 37. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2019.100616>.
- [69] Battisti L., Brighenti A., Benini E., Castelli M.R. 2016. Analysis of Different Blade Architectures on Small VAWT Performance. *Journal of Physics: Conference Series*, 753 (6).
- [70] Niblick A.L. 2012. Experimental and Analytical Study of Helical Cross-Flow Turbines for a Tidal Micropower Generation System. University of Washington, Washington.

Appendix:List of Abbreviations

| | |
|------------|--|
| A | : Cross-sectional area |
| α | :Angle of attack |
| b | :Span length |
| c | :Chord length |
| C_D | :Drag coefficient |
| C_L | :Lift coefficient |
| C_P | :Power of coefficient |
| D | :Drag force |
| H | :Rotor height |
| L | :Lift force |
| N | :Number of blades |
| P | :Power |
| R | :Rotor radius |
| U_r | :Relative velocity |
| U_θ | :Rotational velocity of the turbine blades |
| U_∞ | :Free stream velocity |
| Q | :Torque |
| λ | |
| (TSR) | :Tip speed ratio |
| ρ | :Density |
| η | :Efficiency of the rotor |
| θ | :Azimuth angle |
| ω | :Rotational speed |
| σ | :Solidity |

Araştırma Makalesi / Research Article

Üç Farklı Bölgeye Ait Pomzanın Yüksek Plastisiteli Kile Etkisinin Karşılaştırılması

Ömür ÇİMEN^{1*}, Burak DERELİ², Erhan KELEŞ³

¹Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Isparta

²Bitlis Eren Üniversitesi, Tatvan Meslek Yüksekokulu, İnşaat Bölümü, Bitlis

³Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü (YL), Isparta
(ORCID: 0000-0002-6138-6029) (ORCID: 0000-0003-4062-0792) (ORCID: 0000-0001-8712-5540)

Öz

Yapı temelleri altında taşıyıcı tabaka olarak kullanılan zemin, her zaman istenilen özelliklere sahip olmayabilir. Böyle durumlarda, inşaat yerinin değiştirilmesi, istenilen özelliklere sahip olmayan tabakaların kaldırılarak uygun zeminlerin yerleştirilmesi gibi çözümler genelde ekonomik değildir. İstenilen özelliklere sahip olmayan zeminler, farklı katkı maddeleri kullanılarak yerinde iyileştirme ile daha ekonomik çözümler sunulabilir. Pomza patlamalı volkanizma sonucunda oluşmuş, boşluklu, süngerimsi bir kayacık olup, patlamalı volkanik faaliyetlerin bulunduğu dünyanın birçok bölgesinde bulunur. Özellikle ülkemiz pomza rezervi açısından iyi bir potansiyele sahiptir. Bu çalışmada Bitlis, Manisa Kula ve Isparta bölgesine ait pomzaların yüksek plastisiteli kile etkisi araştırılmış ve karşılaştırılmıştır. Kile %10, %20, %30 oranlarında Isparta Gelincik ve Bitlis pomzası, %10, %20, %25 oranlarında Manisa Kula pomzası ilave edilerek pomza-kil ikili karışımları hazırlanmıştır. Kireç (%6) sabit tutularak %10, %20, %30 oranlarında Isparta Gelincik ve Bitlis pomzası, kireç (%5) sabit tutularak %10, %20, %25 oranlarında Manisa Kula pomzası ilave edilerek pomza-kil-kireç üçlü karışımlar hazırlanmıştır. Bu karışımlar kullanılarak kompaksiyon, kıvam limitleri, serbest basınç ve şişme deneyleri yapılmıştır. Pomza-kil ikili karışımlarda ideal pomza oranları Isparta Gelincik, Manisa Kula ve Bitlis pomzaları için sırasıyla %30, %20, %20 olarak belirlenmiştir. Pomza-kil-kireç üçlü karışımlarında ise Isparta Gelincik pomzası için ideal oranın olmadığı, Manisa Kula pomzası için %25 ve Bitlis pomzası için %10 olarak belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Zemin stabilizasyonu, pomza, kireç, yüksek plastisiteli kil.

Comparison of The Effect of Pumice of Three Different Regions to High Plasticity Clay

Abstract

The soil used as a bearing layer under construction foundations may not always have the desired properties. In such cases, solutions such as replacing the construction site and removing the layers that do not have the desired properties by placing suitable floors are generally uneconomical. Soils that do not have the desired properties can offer more economical solutions with insitu improvement by using different additives. The pumice is a spongy, porous, and volcanic rock. It is possible to find this rock formation in many regions of the world where volcanic activities are exist. Especially our country has a good potential in terms of pumice reserve. In this study, the effect of pumice of Bitlis, Manisa - Kula and Isparta regions on high plasticity clay was investigated and compared. Pumice-clay binary mixtures were prepared by adding 10%, 20%, 30% to clay, Isparta Gelincik and Bitlis pumice, 10%, 20%, 25% Manisa Kula pumice. The lime (6%) is kept constant 10%, 20%, 30% of Isparta Gelincik and Bitlis pumice, lime (5%) is kept constant 10%, 20%, 25% Manisa Kula pumice by adding pumice-clay-lime triple mixtures prepared. Compaction, consistency limits, free pressure and swelling tests were performed using these mixtures. The ideal pumice ratios in pumice-clay double mixtures were determined as 30%, 20%, 20% for Isparta Gelincik, Manisa Kula and Bitlis pumice respectively. In pumice-clay-lime triple mixtures, there was no ideal ratio for Isparta Gelincik pumice, 25% for Manisa Kula pumice and 10% for Bitlis pumice.

Keywords: Soil stabilization, pumice, lime, high plasticity clay.

*Sorumlu yazar: omurcimen@sdu.edu.tr

Geliş Tarihi: 28.05.2019, Kabul Tarihi: 18.10.2019

1. Giriş

Stabilizasyon, mühendislik yapıları için istenilen özelliklere sahip olmayan zemin yapısının kimyasal, mekanik ve fiziksel iyileştirme yöntemleri ile dış kuvvetlere karşı dayanıklı hale getirilmesidir [1]. Zemin bina, baraj, yol ve köprü gibi her türlü mühendislik yapılarının üzerine inşa edildiği, bu şekilde yapıların yükünü taşıyan, daneli yapıya sahiptir. Zeminler, çeşitli kayaçların farklı dış kuvvetler etkisiyle ayrışması sonucu oluşan taneli ve boşluklu bir yığındır. Daneler, hareketli yükler, sabit yükler ve yer çekimi etkisi ile birbiri üzerinde durur. Danelerden oluşan zemin iskeleti, daneler arası sürtünme dayanımı ile mekanik dirençlere kuvvet gösterir. Zemin daneleri arasındaki bu direnç mukavemeti gelen yükleri taşıyamadığında çeşitli zemin iyileştirme yöntemlerine başvurulur. Genelde yol, hava alanı ve toprak baraj inşaatlarında karşılaşılan bu problemlerden zemin iyileştirme yapılarak kurtulmak mümkündür [2].

Kil hidratlı alüminyum ve magnezyum silikatlardan oluşan ikincil bir mineraldir. Dane boyutu 2 mikrondan daha küçük olup aynı boyuttaki diğer minerallerden farkı, su ile karıştırıldığında çamur haline gelmesidir. Killer genellikle kurutulduğunda hacmi azalır ve çatlar; ıslatıldığında ise hacim artışı meydana gelir. Toprakların mineral içeriği çoğunlukta kuvars olan çakıl, kum, silt ve ikincil silikatlardan oluşmuş kil olarak gösterilirse, diğer bileşenlerin toplamının % 25'i geçmediği karışımlar da killi zemin olarak adlandırılır. Kil mühendislik, tarım, ormancılık, seramik endüstrisi ve tıpta önemli bir endüstriyel gereçtir. Killer yararlı özelliklerinden dolayı çoğu kez geoteknik mühendisliği tarafından aranan bir mineraldir. Göletlerin su tutması, atık depolarında ve dolgu barajlarda geçirimsizliğin sağlanması için etkin kullanılan bir malzemedir [3]. Kil zeminler, genel olarak su muhtevsındaki değişimi takiben hacim değişimine uğrarlar. Zemin numunesinin kurduğunda, büzülmesi ıslatıldığında ise şişmesi, hacim değişimi olarak tanımlanır. Büyük hacimsel değişiklikler çok değişken iklim şartlarında meydana gelir. Killerin oturma, mukavemet, şişme ve büzülme özellikleri mühendislik yapılarını ciddi anlamda negatif yönde etkilemektedir.

Karthik vd. (2014), yaptıkları çalışmada kile %0, %3, %5, %6 ve %9 oranlarında uçucu kül ilave ederek CBR ve diğer dayanım özellik testleri yapmışlardır. Uçucu kül oranının artmasına bağlı olarak maksimum kuru birim hacim ağırlığının ve CBR yüzdesinin arttığını, plastik limit ve likit limit değerinin azaldığını tespit etmişlerdir [4].

Taş vd. (2018), çalışmalarında zemin stabilizasyonu için uçucu kül ve Bayburt taşı endüstriyel atıkları kullanmışlardır. Çalışma kapsamında düşük plastisiteli killi bir zeminin stabilizasyonunda kullanılan %25 uçucu küle, %0, %5, %10, %15, %20 oranlarında Bayburt taşı ilave etmişlerdir. Hazırlanan karışımların indeks ve dayanım gibi geoteknik özelliklerini araştırmışlardır. Tek eksenli serbest basınç dayanımı değerlerine göre Bayburt taşının %10 oranında katıldığı %25 uçucu kül içeren karışımın en yüksek dayanım değerini verdiğini belirlemişlerdir[5].

Bu çalışmada üç farklı bölgeye ait pomzanın, yüksek plastisiteli kile olan etkisi araştırılıp, deney sonuçları karşılaştırılmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Kullanılan Malzemelerin Tanıtılması

Patlamalı volkanik faaliyetlerin bulunduğu dünyanın birçok yerinde bulunan pomza taşı oluşumları, volkanik püskürmeler sonucu oluşmuş boşluklu ve süngerimsi bir kayadır. Bu taş oluşumları, ekonomik değerliliği bakımından dünyada önemli bir yere sahip olup, ülkemizde hatırı sayılır bir rezerve sahiptir. Pomza taşı rezervleri bakımından Kayseri, Nevşehir, Niğde, Bitlis ve Van illerimiz önemli bir konuma sahiptir[6].

Pomza, asidik (Şekil 1a) ve bazik pomza (Şekil 1b) olmak üzere iki kısma ayrılır. Asidik pomza beyaz ve kirlili beyaz renktedir ve Mohs skalasına göre sertliği 5-6 olup, yoğunluğu 0.5-1 gr/cm³'tür. Bazik pomza ise kahve renkli veya siyah olup daha ağırdır ve Mohs sertliği 5-6 olup, yoğunluğu ise 1-2 gr/cm³'tür. Asidik ve bazik pomzaların genel kimyasal özellikleri Tablo 1'de verilmiştir. Bu çalışmada üç farklı bölgenin (Isparta - Gelincik, Manisa – Kula ve Bitlis) pomzası kullanılmıştır. Bu pomzalara ait kimyasal analiz sonuçları Tablo 2 'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Asidik ve bazik pomza

Tablo 1. Asidik ve bazik pomzaların genel kimyasal özellikleri [7]

| Oksitler | Asidik Pomza (%) | Bazik Pomza (%) |
|------------------------------------|------------------|-----------------|
| SiO ₂ | 70 | 45 |
| Al ₂ O ₃ | 14 | 21 |
| Fe ₂ O ₃ | 2.5 | 7 |
| CaO | 0.9 | 11 |
| Na ₂ O+K ₂ O | 9 | 8 |
| MgO | 0.6 | 7 |
| Kızdırma Kaybı (K.K) | 3 | 1 |

Tablo 2. Üç bölgeye ait pomzanın kimyasal özellikleri [8-10]

| Oksitler | Isparta Gelincik (%) | Manisa Kula (%) | Bitlis (%) |
|--------------------------------|----------------------|-----------------|------------|
| Na ₂ O | 5.3 | 1.08 | 5.25 |
| MgO | 1.1 | --- | 0.14 |
| Al ₂ O ₃ | 17.1 | 2.60 | 13.12 |
| SiO ₂ | 60.9 | 92.48 | 68.08 |
| P ₂ O ₅ | 0.2 | --- | --- |
| K ₂ O | 5.0 | 0.04 | --- |
| CaO | 3.0 | 0.31 | 0.71 |
| TiO ₂ | 0.3 | 1.34 | --- |
| MnO | 0.1 | --- | --- |
| Fe ₂ O ₃ | 3.2 | 0.09 | 4.47 |
| Kızdırma Kaybı | 2.8 | 1.85 | 1.84 |

Kireç, doğal kireçtaşından üretilir. Kireçtaşı, sedimanter bir kayaç olup yüksek kalsiyumlu, magnezyumlu veya dolomitik yapıda olabilir. Kireç taşının yapısına ve üretim aşamalarına bağlı olarak farklı özelliklerde kireçlerin üretilmesi mümkündür. Yüksek kalsiyumlu sönmemiş kireç (CaO), monohidrate dolomitik kireç (Ca(OH)₂MgO) ve yüksek kalsiyumlu sönmüş kireç (Ca(OH)₂) zemin iyileştirmede en çok kullanılan kireç türleridir [8]. Bu çalışmada sönmemiş yüksek kalsiyumlu kireç kullanılmıştır. Kullanılan kirecin kimyasal özellikleri Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 1. Kirecin kimyasal özellikleri [8].

| Oksit | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | CaO | Na ₂ O | MgO | K ₂ O | TiO ₂ | SiO ₂ | MnO | P ₂ O ₅ | K.K. |
|-------|--------------------------------|--------------------------------|------|-------------------|-----|------------------|------------------|------------------|------|-------------------------------|-------|
| % | <0.1 | 0.1 | 79.3 | <0.1 | 0.4 | <0.1 | <0.1 | 0.1 | <0.1 | <0.1 | 19.85 |

Bu çalışmada Muğla'nın Fethiye ilçesinde yapılan Eşen barajlarında şantiye sahasından alınan kil numunesi ile çalışılmıştır. Kilde simektik grubu mineral, serpantin grubu mineral, kuvars, kalsit, amorf silika, amfibol grubu mineral (çok az), klorit grubu mineral (çok az) bulunmaktadır[8]. Kilin kimyasal özellikleri Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 2. Kilin kimyasal özellikleri [8].

| Oksit | Na ₂ O | MgO | Al ₂ O ₃ | SiO ₂ | P ₂ O ₅ | K ₂ O | CaO | TiO ₂ | MnO | Fe ₂ O ₃ | K.K. |
|-------|-------------------|------|--------------------------------|------------------|-------------------------------|------------------|-----|------------------|-----|--------------------------------|------|
| % | <0.1 | 17.4 | 4.3 | 47.1 | <0.1 | 0.3 | 2.8 | 0.2 | 0.1 | 16.6 | 9.85 |

2.2. Araştırma Kapsamında Yapılan Deneyler

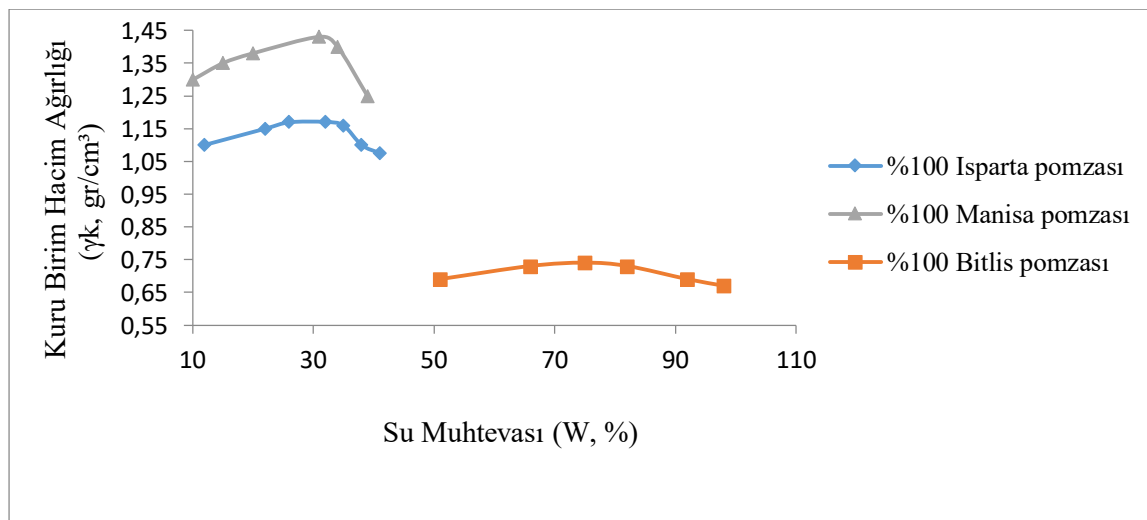
Kilin kıvam limitlerine, kompaksiyon parametrelerine, serbest basınç direncine ve şişme basıncına pomzanın ve kirecin etkilerinin belirlenmesi amacıyla, kile belirli oranlarda pomza ve kireç ilave edilmiştir. Pomza-kil ikili karışımlarında %10, %20, %30, ağırlık oranlarında pomza kullanılmıştır. Pomza-kil-kireç üçlü karışımlarında kireç oranı %6 'da sabit tutularak %10, %20, %30 ağırlık oranlarında pomza ilave edilir. İkili karışım olarak adlandırılan pomza-kil deneylerinin tamamlanmasının ardından üçlü karışım pomza-kil-kireç deneyleri yapılmıştır.

Kıvam limitleri olarak bilinen likit ve plastik limitin belirlenmesinde [11] deney metodu kullanılmıştır. Pomza ve kireç, No 40 elekten elenerek, yukarıda belirtilen miktarlarda yine No 40 elekten elenen kile eklenmiştir. Numunelerin kompaksiyon özelliklerinin belirlenmesi için [12] standartlarındaki standart kompaksiyon deneyi yapılmıştır. Her bir karışım oranı için standart kompaksiyon deneylerinden elde edilen maksimum kuru birim hacim ağırlığı ve optimum su muhtevası verilerinden yararlanılarak hazırlanan numuneler üzerinde serbest basınç deneyleri yapılmıştır. [13] standartlarında yapılan serbest basınç deneylerinde No 40 elek altına geçen numuneler kullanılmıştır. Serbest basınç numuneleri 3.8 cm çapında ve 7.6 cm yüksekliğinde ikiye ayrılabilen ringe tabakalar halinde serilerek sıkıştırılmıştır. Ringden çıkarılan numuneler üzerinde 0.5 mm/dk yükleme hızıyla yükleme yapılarak serbest basınç deneyleri yapılmıştır. İncelenen zemin numunelerinin şişme basınçları, sabit hacim ödometre deney yöntemi [14] metot C kullanılarak belirlenmiştir.

3. Bulgular ve Tartışma

Kil üzerinde yapılan elek ve hidrometre analizinde numunenin içerisinde %0 çakıl, %2 kum, %38 silt ve %60 kil olduğu belirlenmiştir. Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemine göre, zeminin CH (Yüksek plastisiteli kil) sınıfında olduğu tespit edilmiştir[8]. Kil numunesinin dane birim hacim ağırlığı 2.7 g/cm³tür. Numune üzerinde kıvam limitleri, standart kompaksiyon, serbest basınç ve şişme deneyleri yapılarak sonuçlar Tablo 5-7'de verilmiştir.

Üç farklı pomza üzerinde piknometre deneyleri yapılmış olup sırasıyla dane birim hacim ağırlıkları Isparta Gelincik pomzası için 2.42 gr/cm³, Manisa Kula pomzası için 2.64 gr/cm³, Bitlis pomzası için 2.41 gr/cm³ olarak bulunmuştur. Ayrıca, numuneler üzerinde standart kompaksiyon deneyleri yapılmış, deney sonuçları Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. Üç farklı bölgeye ait pomzanın standart kompaksiyon eğrileri.

Kompaksiyon sonuçlarına göre Isparta Gelincik ve Manisa Kula pomzalarının optimum su muhtevası birbirine yakın iken Bitlis pomzasında optimum su muhtevasının bunlardan çok yüksek, kuru birim hacim ağırlığının ise çok düşük olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 3. Isparta Gelincik pomzası katkılı kilin deney sonuçları[8].

| Numuneler | WL (%) | WP (%) | PI (%) | γ_{kmax} (g/cm ³) | W _{opt} (%) | q _u (kg/cm ²) | Ps(kg/cm ²) (Serbest şişme) |
|-----------------------------------|--------|--------|--------|--------------------------------------|----------------------|--------------------------------------|---|
| % 100 Kil | 108 | 38 | 70 | 1.16 | 38 | 1.96 | 1.60 |
| % 100 P _I | --- | --- | --- | 1.18 | 29 | 0.45 | --- |
| % 10 P _I +% 90Kil | 95 | 32.5 | 62.5 | 1.16 | 29 | 2.95 | 0.40 |
| % 20P _I +% 80Kil | 89 | 27 | 62 | 1.23 | 35 | 4.29 | 0.37 |
| % 30 P _I +% 70Kil | 80 | 27 | 53 | 1.30 | 32 | 5.50 | 0.25 |
| % 10 P _I +% 6K+% 84Kil | 85 | 64 | 21 | 1.31 | 26 | 3.52 | 0.81 |
| % 20 P _I +% 6K+% 74Kil | 75 | 63 | 15 | 1.31 | 24 | 3.84 | 0.49 |
| % 30 P _I +% 6K+% 64Kil | 65 | --- | --- | 1.28 | 26 | 3.39 | 0.02 |

Tablo 5’de P_I; Isparta Gelincik pomzasını, K; Kireci, WL; Likit limiti, WP; Plastik limiti, PI; Plastisite indisini, γ_{kmax} ; Maksimum kuru birim hacim ağırlığını, W_{opt}; Optimum su muhtevasını, q_u; Serbest basınç direncini, Ps; Şişme basıncını göstermektedir.

Tablo 4. Manisa Kula pomzası katkılı kilin deney sonuçları[9].

| Numuneler | WL (%) | WP (%) | PI (%) | γ_{kmax} (g/cm ³) | W _{opt} (%) | q _u (kg/cm ²) | Ps(kg/cm ²) (Sabit şişme) |
|----------------------------------|--------|--------|--------|--------------------------------------|----------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|
| % 100 P _M | --- | --- | --- | 1.44 | 23 | 0.38 | 0.003 |
| % 10P _M +% 90Kil | 94 | 35 | 59 | 1.16 | 46 | 1.36 | 0.380 |
| % 20P _M +% 80Kil | 83 | 35 | 48 | 1.28 | 32 | 2.55 | 0.240 |
| % 25 P _M +% 75Kil | 80 | 38 | 42 | 1.33 | 36 | 2.20 | 0.093 |
| % 10P _M +% 5K+% 85Kil | 95 | 62 | 33 | 1.26 | 36 | 5.20 | 0.110 |
| % 20P _M +% 5K+% 75Kil | 66 | 50 | 16 | 1.28 | 31 | 5.40 | 0.032 |
| % 25P _M +% 5K+% 65Kil | 66 | 50 | 16 | 1.36 | 24 | 7.00 | 0.029 |

Tablo 6’da P_M; Manisa Kula pomzasını göstermektedir.

Tablo 5. Bitlis pomzası katkılı kilin deney sonuçları.

| Numuneler | WL (%) | WP (%) | PI (%) | γ_{kmax} (g/cm ³) | W _{opt} (%) | q _u (kg/cm ²) | Ps(kg/cm ²) (Sabit şişme) |
|----------------------------------|--------|--------|--------|--------------------------------------|----------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|
| % 100 P _B | --- | --- | --- | 0.74 | 75 | 0.74 | --- |
| % 10P _B +% 90Kil | 98.75 | 31 | 67.75 | 1.21 | 37 | 3.34 | 1.53 |
| % 20P _B +% 80Kil | 96.88 | 29.5 | 67.38 | 1.125 | 32 | 5.36 | 0.26 |
| % 30P _B +% 70Kil | 87.95 | 28.5 | 59.45 | 1.12 | 35 | 3.003 | 0.31 |
| % 10P _B +% 6K+% 84Kil | 86.01 | 56 | 30.01 | 1.2 | 28 | 15.64 | 0.33 |
| % 20P _B +% 6K+% 74Kil | 86.14 | 52 | 34.14 | 1.125 | 35 | 7.89 | 0.041 |
| % 30P _B +% 6K+% 64Kil | 85.85 | 51.5 | 34.35 | 1.042 | 34 | 7.24 | 0.048 |

Tablo 7’de P_B; Bitlis pomzasını göstermektedir.

4. Sonuç ve Öneriler

Isparta Gelincik pomzasının kile ilave edilmesi ile pomza-kil ikili karışımlarda, pomza miktarının artması ile likit limit, plastik limit, optimum su muhtevası ve şişme basıncının azaldığı, maksimum kuru birim hacim ağırlığın ve serbest basınç direncinin ise arttığı görülmüştür. Pomza-kil-kireç üçlü karışımlarında ise pomza oranının artması ile likit limit, plastisite indisini, optimum su muhtevası ve şişme basıncının azaldığı, plastik limit ve serbest basınç direncinin ise arttığı görülmüştür. Pomza-kil ikili karışımları için ideal pomza karışım oranı %30 olarak belirlenmiştir. Pomza-kil-kireç üçlü

karışımlarında ise serbest basınç mukavemeti açısından ikili karışımlarla kıyaslandığında daha ideal oran görülmüştür.

Manisa Kula pomzasının kile ilave edilmesi ile pomza-kil ikili karışımlarında pomza oranının artması ile likit limit, plastik limit, plastisite indisi ve şişme basıncının azaldığı, %10 pomza oranında optimum su muhtevasının arttığı, %20 ve %25 pomza oranında ise optimum su muhtevasının azaldığı, kuru birim hacim ağırlığın ve serbest basınç direncinin ise arttığı görülmüştür. Pomza-kil-kireç üçlü karışımlarda ise pomza oranının artması ile likit limit, plastisite indisi, optimum su muhtevası ve şişme basıncının azaldığı, plastik limit, kuru birim hacim ağırlığın ve serbest basınç direncinin arttığı görülmüştür. Pomza-kil ikili karışımları için ideal pomza karışım oranı %20, pomza-kil-kireç üçlü karışımlarında ise serbest basınç mukavemeti açısından ideal oran %25 olarak belirlenmiştir.

Bitlis pomzasının kile ilave edilmesi ile pomza-kil ikili karışımlarında pomza oranının artması ile likit limit, plastik limit, plastisite indisi, optimum su muhtevası ve şişme basıncının azaldığı, maksimum kuru birim hacim ağırlığın ve serbest basınç direncinin arttığı görülmüştür, Pomza-kil-kireç üçlü karışımlarında pomza oranının artması ile likit limit, plastisite indisi, optimum su muhtevası ve şişme basıncının azaldığı, plastik limit, kuru birim hacim ağırlığın ve serbest basınç direncinin arttığı görülmüştür. Pomza-kil ikili karışımları için ideal pomza karışım oranı %20, pomza-kil-kireç üçlü karışımlarında ise serbest basınç mukavemeti açısından ideal oran %10 olarak belirlenmiştir. Pomza-kil-kireç üçlü karışımlarında, Manisa Kula pomzası ve Bitlis pomzasının kireç ile tepkimeye girdiği gözlemlenirken, Isparta Gelincik pomzasının kireç ile iyi bir tepkimeye girmediği gözlemlenmiştir.

Pomza-kil ikili karışımlarda ideal pomza oranları Isparta Gelincik, Manisa Kula ve Bitlis pomzaları için sırasıyla %30, %20, %20 olarak belirlenmiş ve bu oranın Isparta Gelincik pomzası için daha yüksek olduğu, Manisa Kula ve Bitlis pomzaları için ise ideal oranlarının eşit olduğu gözlemlenmiştir. Pomza-kil-kireç üçlü karışımlarında ise Isparta Gelincik pomzası için ideal oranın olmadığı, Manisa Kula pomzası için %25 ve Bitlis pomzası için %10 olduğu ve ideal oranın Manisa Kula pomzası için daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir.

Çalışmanın farklı katkı malzemeleri ile çeşitlendirilip ileri araştırmalarla daha detaylı deneyler yapılarak geliştirilmesi düşünülmektedir.

Yazarların Katkısı

Çalışmada tüm yazarlar eşit oranda katkı sunmuştur.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada, araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar

- [1] Cömert A.T. 2005. Uçucu Küllerin Zemin Stabilizasyona Etkileri. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 43s, Sakarya.
- [2] Çakılcıoğlu İ. 2007. Yüksek Plastisiteli Killerin Stabilizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 84s, Sakarya.
- [3] Önalp A. 2002. Geoteknik Bilgisi 1 Çözümlü Problemlerle Zeminler Ve Mekaniği. Birsan Yayınevi, 408s, İstanbul.
- [4] Karthik S., Ashok Kumar E., Gowtham P., Elango G., Gokul D., Thangaraj S. 2014. Soil Stabilization By Using Fly Ash. IOSR Makine ve İnşaat Mühendisliği Dergisi, 10 (6): 20-26.
- [5] Taş M., Fidan D., Yılmaz F. 2018. Uçucu Kül ve Bayburt Taşı ile Zemin Stabilizasyonu, Bayburt Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 1(1): 8-14.
- [6] Gündüz L. 1998. Pomza Teknolojisi Cilt 1. Süleyman Demirel Üniversitesi Yayınevi, 285s, Isparta.

- [7] Efe T. 2011. Edremit Travertenleri ve Van Gölü Kuzeyinde Yüzeleyen Pomzaların Çimento Sektöründe Kullanılabilirliğinin Araştırılması. Yüksek lisans Tezi, Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 175s, Van.
- [8] Kalay E. 2010. Sıkıştırılmış Yüksek Plastisiteli Kil Zemin Stabilizasyonunda Pomza, Mermer Tozu Ve Kirecin Kullanılması. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 54s, Isparta.
- [9] Coşan F.Ş. 2016. Amorf Silika, Volkanik Tuf Ve Kireç Kullanılarak İyileştirilmiş Yüksek Plastisiteli Kilin Mühendislik Özellikleri. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 118s, Isparta.
- [10] Taşkın V. 2016. Bitlis Pomzası İle Kendiliğinden Yerleşen Hafif Beton Tasarımı Ve Özelliklerinin Araştırılması Yüksek Lisans Tezi, Bitlis Eren Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 113s, Bitlis.
- [11] ASTM D 4318-05, 2010. Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils. ASTM, USA.
- [12] ASTM D 698-07 E1, 2009. Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Effort. ASTM, USA.
- [13] ASTM D2166 / D2166M-13, 2013. Standard Test Method for Unconfined Compressive Strength of Cohesive Soil, ASTM International, USA.
- [14] ASTM D 4546-90, 1993. Standard Test Method for One-Dimensional Swell or Settlement Percent of Cohesive Soils. ASTM, USA.

Araştırma Makalesi / Research Article

Derin Öğrenme Yöntemleri ile Borsada Fiyat Tahmini

Gözde ŞİŞMANOĞLU, Furkan KOÇER, Mehmet Ali ÖNDE, Özgür Koray ŞAHİNGÖZ*

İstanbul Kültür Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, İstanbul
(ORCID: 0000-0003-0284-4752) (ORCID: 0000-0002-0053-2459)
(ORCID: 0000-0001-9269-8554) (ORCID: 0000-0002-1588-8220)

Öz

Son yıllarda, bilgisayarların donanımındaki teknolojik gelişmeler ve makine öğrenme tekniklerindeki gelişmeler nedeniyle, "Büyük Veri" ve "Paralel İşleme" kullanımı olmak üzere problem çözmek için iki artan yaklaşım vardır. Özellikle GPU'lar gibi çok çekirdekli bilgi işlem aygıtlarında paralel olarak gerçekleştirilebilen Derin Öğrenme algoritmalarının ortaya çıkmasıyla, bu yaklaşımlarla birçok gerçek dünya problemleri çözülebilmektedir. Derin öğrenme modelleri eğitildikleri veri ile sınıflandırma, regresyon analizi ve zaman serilerinde tahmin gibi uygulamalarda büyük başarılar göstermektedir. Bu modellerin finansal piyasadaki en aktif uygulama alanlarından biri özellikle borsada işlem gören hisse senetlerinin tahmini işlemleridir. Bu alanda amaç, pazardaki değişim süreci hakkındaki hisse senedinin önceki günlük verilerine bakarak kısa veya uzun vadeli gelecekteki değerini tahmin etmeye çalışmaktır. Bu çalışmada, LSTM, GRU ve BLSTM isimli 3 farklı derin öğrenme modeli kullanılarak bir hisse senedi tahmin sistemi geliştirilip, kullanılan modeller arasında karşılaştırmalı bir analiz yapıldı. Spekülatif hareketlerden uzak olması için veri seti olarak 1968'den 2018'e kadar olan New York Borsası'ndan hisse senedinin zaman serisi değerleri kullanıldı. Spesifik olarak IBM hisse senedi ile test çalışmaları yapıldı. Deneysel sonuçlar, hisse senedine ait son 5 günlük işlem verilerinin girdi olarak kullanıldığı BLSTM modeliyle yapılan eğitimin %63,54 lük bir yönsel doğruluk değerine ulaşıldığını göstermektedir.

Anahtar kelimeler: Büyük veri, Makine Öğrenmesi, Derin Öğrenme, LSTM, GRU, BLSTM, Fiyat Öngörme.

Price Forecasting in Stock Exchange with Deep Learning Methods

Abstract

In recent years, due to the technological advances in computer hardware and enhancements in machine learning techniques, there are two hot research areas in problem solving, the use of "Big Data" and "Parallel Processing". Many real-world problems can be solved with the use of different Deep Learning algorithms, which can be realized in parallel with multicore computing devices such as GPUs. Deep learning models show great success in applications such as classification of raw data, regression analysis and estimation in time series. One of the most active application areas of these models is "the financial market" which aims a good estimation of stock prices in the exchange market. In this paper, it is aimed to forecast the short or long term future value by looking at the previous log data of the stock on the process of change in the market. In this study, a price forecasting system was developed by using 3 different deep learning models named LSTM, GRU and BLSTM with a comparative analysis between them. The time series values of the stock were used from the New York Stock Exchange from 1968 to 2018 as a set of data to be free of speculative movements. Specifically, tests were conducted on IBM stock. Experimental results show that the directional accuracy of 63.54% was achieved with the BLSTM model where the last 5-day transaction data of the stock were used as input.

Keywords: Big Data, Machine Learning, Deep Learning, LSTM, GRU, BLSTM, Price forecasting.

1. Giriş

Modern topluluklarda finansal marketler sadece ekonomik değil sosyal organizasyonlarda da çok önemli bir yer almaktadır [1]. Para ve sermaye piyasalarındaki bireysel ve kurumsal yatırımcıların amacı,

*Sorumlu yazar: o.sahingoz@iku.edu.tr

Geliş Tarihi: 29.05.2019, Kabul Tarihi: 11.10.2019

finansal piyasaların hareketlerini analiz etmek, piyasanın gidişine göre doğru bir tahmin yapmak ve ayırdıkları/yönettikleri bütçeyi bu yönde kullanmaktır. Gerek bu analizlerin yapılmasında gerekse yatırımların yönetilmesinde öncelikli olarak hedef alan Borsalar olarak göze çarpmaktadır. Borsalardaki hisse senetlerinin hareketleri farklı parametrelere bağlıdır. Bu parametrelerin uygun şekilde işlenmesi ve daha önceki veriler değerlendirilerek geliştirilen farklı modeller sayesinde gelecek dönemlerde hisse senetlerinin nasıl bir hareket izleyeceğinin öngörülmesi yatırımcılar için doğrudan para getirisi olan aktif bir araştırma alanıdır.

Yıllardan beri, sermaye piyasasındaki oyuncular borsa üzerindeki yatırımlarında karı arttırmak için farklı yöntem ve teknikler kullanmaya çalışmışlardır. Bu hareketlerin analiz edilmesi teknik ve temel analiz olmak üzere iki ana başlık altına toplanmıştır: Teknik Analiz ve Temel Analiz [2,3]. Teknik analiz, geçmiş fiyat hareketlerine dayanan gelecekte oluşabilecek fiyatların tahmini olarak açıklanabilir. Bu analiz türü, FOREX piyasası gibi değişikliğin yüksek olduğu piyasalarda kullanılan analiz yöntemidir ve genellikle kısa vadeli karar almak için kullanılmaktadır. Temel analiz yöntemi ise istatistiksel verilere dayanan öngörmenin yanında, finansal, ekonomik, çevresel, politik ve diğer faktörlere de dayanarak beklenen fiyat hareketlerini önermektedir.

Teknik analiz kapsamında, artan işlem sayısının yanı sıra hisse senedi fiyatlarını tahmin etme girişimleri de uzun zamandır araştırma konusu olmuş ve çeşitli akademik araştırmalarda bazı yöntemler önerilmiştir. Ancak, sonuçlar hiçbir yöntemin tek başına istenen başarıya ulaşmadığını göstermektedir. Eski modeller biraz daha istatistik tabanlı veya benzerlik tabanlı yaklaşımlardan esinlenmekte ve fiyat hareketlerinin eski hareketlerle benzerliklerinden yararlanarak bir öngöründe bulunmaktadır. Genel olarak yatırımcılara tavsiyede bulunmak amaçlı olarak bir karar destek sistemi olarak geliştirilen bu sistemlerde, modern bir yaklaşım olarak, geçmiş verilerin uygun öğrenme mekanizmaları ile eğitilmesinin oldukça faydalı sonuçlar doğurduğu görülmektedir [4,5].

Bilgisayar bilimi alanında, bu konuda, sistemin eğitimi için farklı öğrenme yaklaşımlarını kullanan, çoğunlukla geleneksel makine öğrenme yaklaşımının kullanımına odaklanan çok sayıda çalışma vardır. Bununla birlikte, son yıllarda bilgisayar donanımındaki hızlı gelişmeler ile güçlü bilgisayarların yaygın şekilde kullanılmaktadır. Bu sayede bilgisayarların, güncel bir çalışma alanı olan Büyük Veri (Big Data) işleme kabiliyeti de ciddi boyutta artmıştır [6, 18]. Geliştirilen modern öğrenme yaklaşımı olan Derin Öğrenme ile farklı gerçek dünyadaki uygulama alanlarını kullanmak için en cazip araştırma alanlarından biri olarak ortaya çıkmaktadır [7]. Daha önce geliştirilen standart makine öğrenmesi tabanlı sistemler, sahip oldukları yüksek başarımlarını sebebi ile birer birer farklı derin öğrenme algoritmaları kullanılarak yeniden geliştirilmektedir.

Bu çalışmanın amacı 3 farklı derin öğrenme algoritması kullanarak sahip olduğumuz uzun süreli hisse senetleri verileri ile derin öğrenme tabanlı bir Hisse Senedi tahmin sistemi geliştirmektir. Derin öğrenme modeli olarak kullanılan tekrarlayan sinir ağları (Recurrent Neural Network, RNN), birçok akademik çalışmada zaman serileri gibi sıralı verilerdeki gücünü kanıtlamıştır. Sistem iki farklı şekilde eğitilmiştir: 1 günlük veriye göre, son 5 günlük veriye göre. Bu eğitimde ilgili girdi verileri input olarak gönderilerek bir sonraki günlük hisse senedinin değeri tahmin edilmeye çalışılmıştır. Elde edilen yönsel doğruluk (directional accuracy) değerine göre hisse senedine al veya sat şeklinde komut verilmesi amaçlanmaktadır. Veri seti olarak yaklaşık 40 yıllık New York Borsası verileri baz alınarak sistem geliştirilmiştir. Çalışma içerisinde farklı RNN mimarileri kullanarak (LSTM, GRU, BLSTM) performanslarını karşılaştırıp en iyi ulaşılmış olduğumuz sonucu tespit ederek sonuç üzerinden kar hesaplaması yapılarak elde edilen sonuçlar paylaşılmıştır. Deneysel sonuçlar, önerilen sistemin tatmin edici sonuçlara ulaştığını göstermektedir.

Makalenin geri kalanı şu şekilde düzenlenmiştir. Bir sonraki bölümde, bazı arka plan bilgisi ve literatür araştırmaları sunulmaktadır. Bölüm 3, önerilen sistemin ilgili ayrıntıları aydınlatmakta olup ilgili parametreler ile yapılan deneysel sonuçlar Bölüm 4'te gösterilmektedir. Son olarak, bu çalışmadan elde edilen çıkarımlar özetlenerek makale sonuçlandırılmıştır.

2. İlgili Çalışmalar

2.1. Literatürdeki çalışmalar

Finansal zaman serilerinin tahmini, ekonomi dünyasında yatırımcılar için birincil öneme sahiptir. Son yıllarda, bu alanda yayınlanan yayınlarda büyük bir artış görülmüştür. Korcak ve ark. O'deki literatür

taramasında önerdikleri modelde temel olarak A-Trader sistemi denilen sistemde bir satış ve satın alma stratejisi oluşturduğunu göstermektedir. A-Trader, Forex piyasasında alım satım kararları vermeyi amaçlamaktadır. Bu sistem yüksek frekanslı ticareti destekler. Klasik sinir ağları ve derin öğrenme modeli arasında karşılaştırma yapmak için tahminler incelenmiştir. MLP modeli, sigmoid aktivasyonu ve geri yayılım öğrenme algoritması işlevini kullanır. MLP modelinin sonucu tatmin edici değildi; bu nedenle daha karmaşık bir model geliştirilmeliydi. Sonuç olarak, A-Trader sisteminde Evrişimli Sinir Ağlarına (Convolutional Neural Network, CNN) dayanan ağ mimarileri kullanılmıştır. Diğer modellerle karşılaştırıldığında, CNN en iyi hata oranına sahip olarak, bu proje CNN'in bu model için MLP'den daha iyi olduğunu göstermiştir.

İnternet ve bilgisayar teknolojilerinin hızlı büyümesiyle, borsada işlem frekansının saniyeler içinde arttığı görülmüştür. Zhou ve ark. 0 yüksek frekanslı stok tahminini yapmak için eğitim için LSTM ve CNN'yi kullanan genel bir çerçeve önermiştir. Bu çalışma, tahmin hatası kaybını ve yön tahminini ve başarılı ters tahmin sonuçları üretmek için bu tahmin kayıplarını birleştirmede verimli ters eğitimin başarılı bir şekilde kullanılabileceğini göstermektedir.

Veri sayısı arttıkça, saniyede ürettiğimiz veriler hızla artıyor, bazı yazarlar Derin Sinirsel bir ağ sistemi uyguladılar 0. Bu çalışmada veri kümeleri, bir tik bir (tick by tick) faaliyete karşılık gelen verilerden oluşmaktadır. Bir işlem, bir teklif veya fiyat veya başka bir faaliyet olabilir. Günde yaklaşık 14 milyon veri noktası sistemlerinde kullanılmaktadır. Rapor, modellerinin performansını tahmin doğruluğunun yanı sıra tam gün işlem simülasyonları için öngörü hızına dayalı olarak da analiz etmektedir. Bu çalışmada, gerçek zamanlı olarak öngörülerde bulunurken her bir ürünün model ağırlıklarının paralel olarak güncellemeye devam etmek için yeterli hesaplama gücüne sahip olmanın önemi açıkça belirtilmiştir.

Arevalo ve ark. 0'de olduğu gibi birçok çalışma, mevcut çalışmaların yanı sıra, derin sinir ağlarına (Deep Neural Network, DNN) dayalı yüksek frekanslı bir strateji sunmaya odaklanmaktadır. DNN tahminleri, bir sonraki tahmini nihai kapanış fiyatının altında veya üstünde olup olmadığına bağlı olarak alma veya satma kararını veren bir mal alım satım stratejisi oluşturmak için kullanılmıştır. Mevcut en iyi DNN, %66 doğruluk oranına sahiptir. Çalışmada geri yayılım algoritması kullanılmıştır. Bu araştırma, geri yayılım algoritmasının asıl sorunu olan gizli katmanlardan geçerken hatayı katlanarak seyreltme probleminin üstesinden gelmeyi amaçlamaktadır. Bu nedenle, bu proje DNN'lerin potansiyel bir çözüm sunabileceğini göstermiştir.

Bazı yazarlar ise 2 Boyutlu Evrişimli Sinir Ağları modelini kendi sistemlerini eğitmek için tercih etmişlerdir 0. Bu kapsamda sadece hisse senedi fiyatı gibi teknik özelliklerin yanı sıra, bazı temel özelliklerde girdi olarak sisteme verilerek 2 boyutlu bir evrişim sürecinde sistem eğitilmiş ve çalıştırılmıştır. Sistem 2 sınıflı ve 3-sınıflı olacak şekilde çalıştırılmıştır. 2 sınıflı yapıda sadece "Al-Sat" komutları üretilmiş, 3 sınıflı yapıda ise "Al-Tut-Sat" komutları üretilmiş ve sistem başarımları ona göre alınmıştır. Buna göre en iyi başarımlar değerlerinin 2 sınıflı "Al-Sat" sınıflandırması ile %78,46 gibi olduğu ifade edilmektedir.

Borsa verilerinden asıl verimi elde etmek için kısa süreli tahmin yapmak özellikle dinamik kullanıcılar için önem arz etmektedir. Özellikle bir gün içerisindeki "Al-Sat" komutlarıyla kazanç sağlamak isteyen yatırımcılar farklı makine öğrenmesi algoritmaları kullanarak bu amaçlarına ulaşmaya çalışmışlardır [15, 16]. Ancak bu tip sınıflandırma yapma işlemlerinde yeterli performans göstermekte zorluklarla karşılaşılması kaçınılmazdır. Karar verme sürecindeki özellik sayısını artırmak, doğru tahminde bulunma olasılığını artıracaktır. Ancak gerçek zamanlı verilerde bu dönüşümün yapılması işlem yoğunluğunu da ciddi boyutta artıracığı öngörülmektedir. Bu nedenle kendi çalışmamızda da daha somut sonuçların kullanılması açısından günlük verilerin kullanılması tercih edilmiştir.

2.2. Makine öğrenmesi

Makine öğrenmesi (Machine Learning) yapay zekânın bir alt kümesidir. Makine öğrenmesinin temel amacı, bazı durumlarda durumu insandan veya insandan daha iyi olarak tespit etmek, algılamak ve öğrenmektir. Makine öğreniminin kilit noktalarından biri insan etkileşimini en aza indirerek daha yüksek performans elde etmektir. Bu kararı verirken veri kalıplarını ve yapılarını analiz edebilen ve yorumlayabilen bilgisayar bilimi alanıdır. Makine öğrenmesi için verileri analiz etmek ve bu analizlerle sonuç çıkarmak için bir algoritma gerekir. Günümüzde geliştirilmiş olan birçok algoritma

bulunmaktadır. Bunlardan bazıları, ANN, SVM, DTR, KNN'dir. Herhangi bir makine öğrenme algoritması kullanılmadan önce eğitim verilerine en uygun modeli bulmak gerekmektedir.

2.3. Derin öğrenme

Derin Öğrenme, beynin yapısından ve Yapay Sinir Ağları denilen işlevlerinden ilham alan bir tür makine öğrenme algoritmasıdır. Biyolojik nöronlarda olduğu gibi, yapay nöronlar giriş sinyallerini alır, bu sinyaller toplanır ve işlenmiş ve çıkışlara iletilir.

Özellikle internetin gelişmesiyle birlikte dijital ortamda her saniye milyonlarca veri büyük boyutlarda üretiliyor ve depolanmaktadır. Şekil 1'den de görüleceği üzere, eğitim için kullanılan veri miktarı arttıkça, klasik makine öğrenme algoritmalarının büyük verilerle başa çıkmada performansı yeterli olmamıştır. Makine öğrenmesi algoritmaları gerek hızlı çalışması gerekse hızlı şekilde iyileşme sağlasa da günümüzde internetin yaygın kullanımı ile birlikte ulaşılabilen veri boyutu artmıştır. Hızlı sonuca ulaşmaktan ziyade ulaşılan sonucun performans değerinin daha iyi olması önem kazanmıştır. Derin öğrenme sistemleri ise bu büyük verileri etkili bir şekilde kullanarak verimli sonuçlar elde edebilmektedir. Diğer alanlardan farklı olarak, Derin öğrenme sınıflandırma özelliklerini ve görevlerini doğrudan veriden gerçekleştirmeyi öğrenir. Bazı modellerinde ilgili özelliklerin çıkarılmasına ihtiyaç duyulmadan doğrudan eğitim yapabilmeye olanağı bulunmaktadır. Derin öğrenme modelleri, insan düzeyinde öğrenmeyi başarmak ve hatta bu seviyeyi aşmak için farklı ve çok sayıda çok sinir ağı mimarisi kullanılarak eğitilebilir.



Şekil 1. Makine Öğrenmesi ve Derin Öğrenme Karşılaştırması

Derin ağlar, sistemin yüksek kaliteli GPU'lar kullanarak büyük verilerle eğitilmesine izin verir. Sonuç olarak, derin öğrenme için üst düzey donanıma ihtiyaç vardır. Bu yaklaşım, **Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.**'da kullanıldığı gibi özellikle büyük veri analizi tipi problem çözme için en uygun seçenektir.

3. Önerilen Sistem

Bu çalışmada, önerilen yöntemin performansını IBM hisse senedi fiyatlarından toplanan verilere dayanarak değerlendiriyoruz. IBM'e ait geçmiş verilerin kullanılarak gelecekteki 300 gün için şirketin stok değerini öngören bir sistemin farklı derin öğrenme modelleri kullanılarak zaman serisine en uygun olan modeli tespit etmek amaçlanmıştır. Çalışmamızda Uzun-Kısa Vadeli Bellek (Long Short Term Memory-LSTM), Çift yönlü LSTM (Bidirectional LSTM-BLSTM) ve Kapılı Tekrarlayan Hücre (Gated Recurrent Unit-GRU) mimarileri kullanılmıştır. Geliştirilen sistemde kullanılan ana bileşenler ve veri seti bilgileri aşağıda detaylandırılmıştır.

3.1. Veri seti

Bu çalışmadaki veriler 2 Ocak 1968'den 9 Nisan 2018'e kadar olan NYSE, NASDAQ ve NYSE MKT'de işlem gören ABD merkezli hisse senetlerinin tamamı için günlük fiyat verilerinden oluşmaktadır. Veri

girişi olarak, geliştirmiş olduğum 3 mimaride de son 5 günlük değerleri içeren 15 özellik kullanmış bulunmaktayız. Toplam 12.648 işlem günü bulunmaktadır. Elimizdeki son 300 veriyi daha sonra test aşamasında kullanabilmek için işlemedik. Bu çalışmada veri setinde 1968 ile 2018 arasında günlük hisse senedi fiyatları içeren örneklem büyüklüğü Büyük Veri olarak adlandırılacak kadar büyük sayılmamıştır.

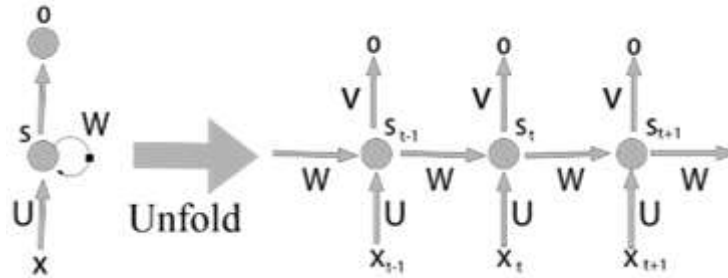
Tablo 1. Veri Setindeki Sütunların Tanımı

| SÜTUN ADI | TANIMI |
|-----------|---|
| TARİH | İŞLEM GÜNÜ |
| AÇILIŞ | AÇILIŞ FİYAT DEĞERİ |
| KAPANIŞ | KAPANIŞ FİYAT DEĞERİ |
| DÜŞÜK | GÜN İÇERİSİNDEKİ EN DÜŞÜK FİYAT DEĞERİ |
| YÜKSEK | GÜN İÇERİSİNDEKİ EN YÜKSEK FİYAT DEĞERİ |

Bu çalışmada sunulan verilerin değerlendirilmesi, bunun derin öğrenme algoritmalarıyla yeterince doğru bir çözüm bulmak için yeterli olduğunu göstermektedir. Bu veri setinde, Tablo 1'de gösterildiği gibi veri setimizde, sistemimiz üzerinde çalışacak 5 özelliğe sahibiz. Ancak son güne ait hisse senedi verisi ile tahmin pek gerçekçi sonuç vermeyebileceği öngörülmektedir. Bu nedenle aynı verinin çoğullanarak, yani son birkaç günlük veriler yan yana getirilerek yeni bir girdi verisi oluşturmanın daha gerçekçi sonuçlar verebileceği öngörülerek veri seti 5 günlük veri setini tutacak şekilde yeniden oluşturulmuştur.

3.2. Kullanılan derin öğrenme yaklaşımları

Tekrarlayan sinir ağları (Recurrent Neural Network, RNN); cümleler, ses, müzik ve zaman serisi verileri gibi sıralı verileri modellemek için kullanılır. Ana fikir sıralı bilgi kullanmaktır. Geleneksel bir sinir ağındaki tüm girdi ve çıktılar birbirinden bağımsız olduğunu söyleyebiliriz. Tekrarlayıcı olarak adlandırılmalarının nedeni, bir dizinin her elemanı için aynı görevi tekrar tekrar gerçekleştirmeleridir. Bu yapıyı açıklamanın başka bir yolu, şu ana kadar neyin hesaplandığı hakkında veri toplayan "hafıza" taşımalarıdır. Şekil 2'de gösterilen diyagram tam bir ağa açılan RNN yapısını göstermektedir [17].

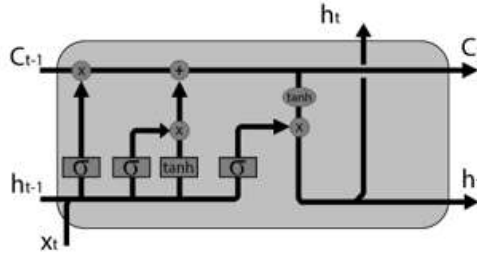


Şekil 2. RNN Şeması

LSTM yapıları, yok etme / sömürme (vanishing gradient) sorununun üstesinden gelmek için geliştirilmiştir. Bu problem tekrarlayan sinir ağı modellerini eğitmek için diğer modellerden daha zor bir süreçtir. Bir süre sonra, RNN'den geçen her adımda bilgi kaybedildiğinden, RNN ilk girişi "unutmaya" başlama problemi ile yüzleşir. Zaman serilerinin uzunluğuna bağlı olarak, bu problemin karmaşıklığı artış göstermektedir. Bu sorunlardan dolayı ağlarımızda bir çeşit "Uzun Süreli Bellek" gerekmektedir.

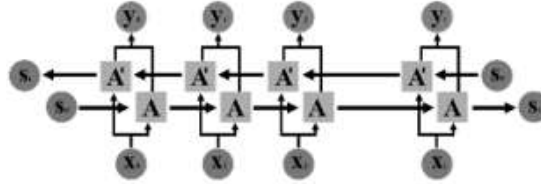
Karmaşık problemlerde, katman sayısı daha büyük olmalıdır. Bununla birlikte, bu tür modellerde istenmeyen sonuçlar elde edilebilir. Modelin ilk katmanlarını öğrenmek yavaştır ve sonraki katmanları öğrenmek kolaydır. Aksine, modelin ilk katmanlarının hızlı olduğu ve bir sonraki katmanların öğrenilmesinin yavaş olduğu durumlar da exploding gradient olarak adlandırılır. Bu gibi durumlar, modelin beklenen sonuçları yakalamamasına neden olur. LSTM katman yapıları bu gibi problemleri çözmek ve tekrarlayan yapay sinir ağı modellerini doğru şekilde oluşturmak için geliştirilmiştir.

Nöronların kendi hafızasına sahip olduğu LSTM katmanlarında, geçmiş zaman verileri Şekil 3'te gösterilen modelin gelişim sürecinde saklanır ve kullanılır. Eğitim sürecinde, bellekte saklanan verilerin şekillendirilmesi sağlanır. Bu şekilde, eski veriler bile yeni verilerle etkileşime girer ve daha etkili sonuçlar üreten bir ağ yapısı oluşturur [17].



Şekil 3. LSTM Şeması.

BLSTM yapı ve bağlantılar çift yönlü olarak Şekil 4'te gösterilmiştir. Birim zaman içinde ilerleyen, önceki gösterimlerden öğrenen ve gelecekteki gösterimlerle ileri geri öğrenmemize yardımcı olan iki tür bağlantı vardır.



Şekil 4. Bidirectional LSTM Şeması

İleri yayılım iki farklı şekilde yapılır:

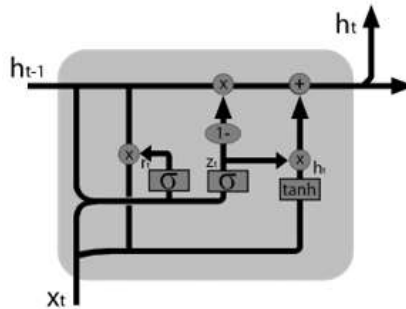
- Soldan sağa hareket ediyoruz, ilk adımdan başlıyoruz ve değerleri son zamana kadar hesaplıyoruz.
- Son adımdan başlayarak sağdan sola doğru hareket ederiz, ilk adıma ulaşana kadar değerleri hesaplarız.

GRU'da geçitli bir yinleme ünitesi, bir güncelleme portu ve bir sıfırlama kapısı kullanılır. Güncelleme geçidi, geçmişten gelen bilgilerin ne kadarının geçtiğine karar verirken sıfırlama geçidi, geçmişten gelen bilgilerin ne kadarının atıldığına karar verir.

Şekil 5'de Z_t , güncelleme geçidi işlemini temsil eder, bu nedenle geçmişe hangi değerlerin geçileceğine karar vermek için bir sigmoid işlevi kullanılır. h_t , önceki zaman adımından ve mevcut zaman adımından birleştirilen r_t değerlerini birleştirdiğimiz sıfırlama geçidi işlemini temsil eder. Bu, atmak istediğimiz değerleri önceki adımlardan üretilmektedir

4. Bulgular ve Tartışma

Önerilen model, aşağıdaki özelliklere sahip olan donanım ve yazılım içerisinde geliştirilmiştir. Donanım Bileşenleri: 9 MB Önbellek, Intel 8 çekirdekli, 8 GB RAM ve Ekran kartı ile 2.3 GHz işlemci 4 GB GDDR5 nVIDIA® GeForce® GTX1050 128-Bit DX12. Programlama Dili: Python (v.3.5.2), makine öğrenim görevleri için olan kütüphanelerinden dolayı seçilmiştir.



Şekil 5. GRU Şeması

Tümleşik geliştirme ortamı: Geliştirme ortamı olarak PyCharm (3.6) tercih edilmiştir ve çalışma ortamı Anaconda modülleri ile genişletilmiştir. Makine Öğrenimi ve Destekleyici Kütüphaneler: Keras. Önerilen borsa tahmin modeli, Python'da Tensorflow arka planlı Keras kütüphanesi kullanılarak geliştirilmiştir. Öngörme performansını değerlendirmek istediğimiz hedef değer olarak "kapanış" değeri özelliği kullanılmıştır. Veriler günlük değişimlere odaklanarak işlenmiştir. Veri seti, eğitim verileri ve test verileri olmak üzere iki bölüme ayrılmıştır.

Zaman serisi tahmin performans ölçümleri, tahmin yapması beklenen tahmin modelinin kapasitesi hakkında temel bilgiler sağlamaktadır. Bu tip problemler standart bir sınıflandırma modeli gibi doğru ve yanlış şeklinde sınıflandırılmadığı için standart başarımlar (accuracy) değerinin haricinde kriterler kullanılması gerekmektedir. Çalışmada kullanılmış olan mimarilerin performanslarını analiz etmek için kullanılan hata ölçümleri modelleri olan Kök Ortalama Kare Hata- Root Mean Square Error (RMSE), Ortalama Kare Hata-Mean Squared Error (MSE), Ortalama Mutlak Hata -Mean Absolute Error (MAE) ve Yönel Doğruluk-Directional Accuracy (DA) nin formülleri sırasıyla Denklem 1-4'te gösterilmiştir.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=0}^{n-1} (y_i - \hat{y}_i)^2} \quad (1)$$

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^{n-1} (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad (2)$$

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^{n-1} |y_i - \hat{y}_i| \quad (3)$$

$$DA = \frac{(GP + GN)}{(GP + GN + YP + YN)} \quad (4)$$

Modelimiz sadece "AL" ya da "SAT" kararı vereceği içi 2*2 boyutunda bir matris oluşturulmuştur. Denklem 4'te kullanılmış olan değerler Tablo 2'de gösterilen matriste hesaplanmış olan Gerçek Pozitifler (GP), Gerçek Negatifler (GN), Yanlış Pozitifler (YP) ve Yanlış Negatifler (YN) değerleridir.

Tablo 2. Karmaşıklık Matrisi (Confusion Matrix).

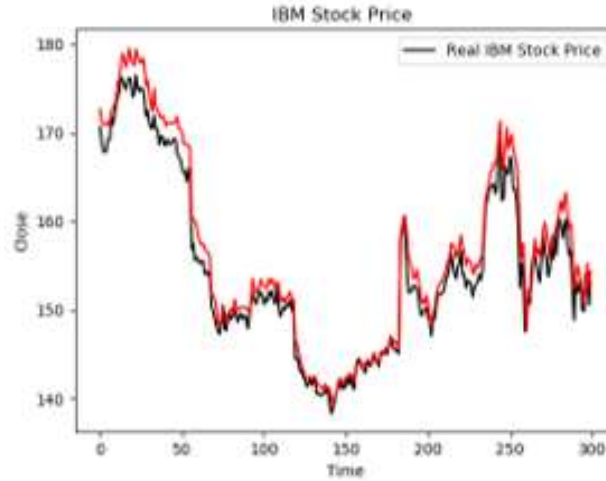
| | Negatif Tahmin | Pozitif Tahmin |
|----------------|----------------|----------------|
| Gerçek Negatif | GN | YP |
| Gerçek Pozitif | YN | GP |

3 farklı derin öğrenme modeli önerilen sistem üzerinde test edilmiştir. Kullanılan modeller ve parametreler Tablo 3'te gösterilmektedir.

Tablo 3. Kullanılan Modeller ve Parametreler

| Derin Öğrenme modeli | Kullanılan Parametreler |
|----------------------|---|
| LSTM | <i>Tek Katman</i> 128 neurons, activation=sigmoid, optimizer=rmsprop, dropout= 0.2 |
| GRU | <i>Toplam Üç Katman</i> Birinci Katman (64 neurons, activation=tanh, optimizer=adam, dropout= 0.2) İkinci Katman (16 neurons, activation=tanh, optimizer=adam, dropout= 0.2) Üçüncü Katman (64 neurons, activation=tanh, optimizer=adam, dropout= 0.2) |
| BLSTM | <i>Toplam Üç Katman</i> Birinci Katman (64 neurons, activation=tanh, optimizer=adam, dropout= 0.2) İkinci Katman (16 neurons, activation=tanh, optimizer=adam, dropout= 0.2) Üçüncü Katman (64 neurons, activation=tanh, optimizer=adam, dropout= 0.2) |

5 günlük veri girişine göre LSTM mimarisi 100 iterasyon eğitilmiş olup elde edilen gerçek fiyat ve tahmin grafiği Şekil 6'da, kullanılan 300 günlük test verisine göre elde edilen sonuçlarla sunulmaktadır. Burada gösterilen siyah grafik takip edilen hisse senedinin gerçek değerini, kırmızı grafik ise yapılan tahmin değerini göstermektedir. Önemli olan kırmızı veya siyah grafiğin yukarıda veya aşağıda olmasından ziyade, o gün içerisinde verilen “al” veya “sat” kararıdır. İlgili kararın doğru verilip verilmediğine göre “yönsel doğruluk” değerine ulaşılmaktadır.

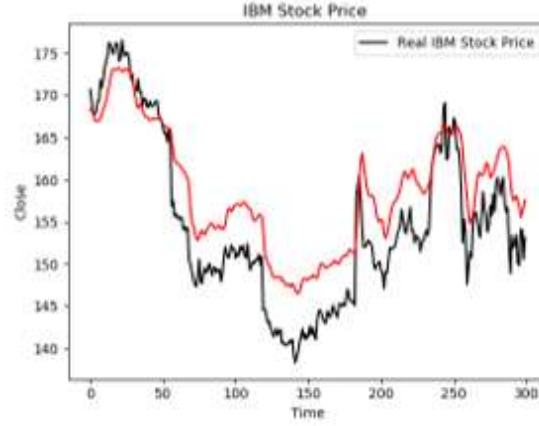
**Şekil 6.** LSTM Test verileri.

Bu verilere göre elde edilen karmaşıklık matrisi değerleri Tablo 4'te sunulmakta olup bu değerlerden % 57,52 lik bir başarı oranına ulaşıldığı görülmektedir.

Tablo 4. LSTM Karmaşıklık Matrisi

| | Negatif Tahmin | Pozitif Tahmin |
|----------------|----------------|----------------|
| Gerçek Negatif | 23 | 4 |
| Gerçek Pozitif | 123 | 149 |

5 günlük veri girişine göre GRU mimarisi 100 iterasyon eğitilmiş olup elde edilen gerçek fiyat ve tahmin grafiği Şekil 7'de, kullanılan 300 günlük test verisine göre elde edilen sonuçlarla sunulmaktadır.



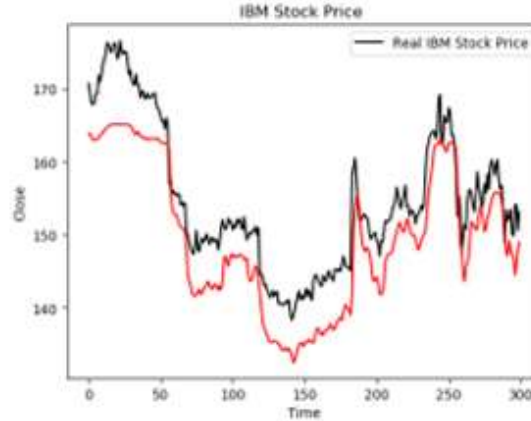
Şekil 7. GRU Test verileri.

Bu verilere göre elde edilen karmaşıklık matris değerleri Tablo 4’te sunulmakta olup bu değerlerden % 52,17 lik bir başarı oranına ulaşıldığı görülmektedir.

Tablo 4 GRU Karmaşıklık Matrisi

| | Negatif Tahmin | Pozitif Tahmin |
|----------------|----------------|----------------|
| Gerçek Negatif | 31 | 28 |
| Gerçek Pozitif | 115 | 125 |

5 günlük veri girişine göre BLSTM mimarisi 100 iterasyon eğitilmiş olup elde edilen gerçek fiyat ve tahmin grafiği Şekil 8’de, kullanılan 300 günlük test verisine göre elde edilen sonuçlarla sunulmaktadır.



Şekil 8. BLSTM Test verileri.

Bu verilere göre elde edilen karmaşıklık matris değerleri Tablo 6’da sunulmakta olup bu değerlerden % 63,54 lik bir başarı oranına ulaşıldığı görülmektedir.

Tablo 6. BLSTM Karmaşıklık Matrisi

| | Negatif Tahmin | Pozitif Tahmin |
|----------------|----------------|----------------|
| Gerçek Negatif | 73 | 36 |
| Gerçek Pozitif | 73 | 117 |

Bir test senaryosu olarak, öncelikle sistemimizi farklı mimariler ile eğittik ve gerçek stok verilerini öngörülen değerle karşılaştırarak hata ölçüm formüllerimizi kullanarak tahmin doğruluğunu kontrol ettik ve kullanmış olduğumuz mimarileri karşılaştırdık.

Son olarak, yapılmış olan testlerin bazı performans sonuçları Tablo 7’de kısaca gösterilmiştir. Bu tablodan görülebileceği gibi ulaşılan değerler tüm mimariler için kabul edilebilir ve önerilen modeller bazı gerçek dünya durumlarında kullanılabilir. Ancak bizim için yön tahmin etme konusunda

en önemli olan DA'nın en iyi sonuç verdiği mimarimiz olan BLSTM bizi en yüksek kâr marjına götürebileceği aşikardır.

Tablo 7. Performans Değerleri (5 günlük girdi için)

| MİMARİ | EĞİTİM SÜRESİ(DK) | RMSE | MSE | MAE | DA(%) |
|--------|-------------------|------|--------|-------|--------------|
| LSTM | 60 | 0,01 | 0,0001 | 0,004 | 57,52 |
| GRU | 142 | 0,03 | 0,0006 | 0,015 | 52,17 |
| BLSTM | 195 | 0,01 | 0,0001 | 0,010 | 63,54 |

Bundan dolayı, bir gerçek hayat örneği olarak BLSTM modelimiz tarafından verilen alım satım kararları sonucunda ne kadar kar elde ettiğimizi belirlemek için kullanıcının işlem yapmak için \$100.000'lık bir bütçe ayırmış olması varsayılmıştır. Eğer tahmin edilen karar ve gerçekte verilmesi gereken karar aynı ise kar elde edilecek, eğer tahmin ve gerçek karar aynı olmazsa zarar elde edilmiş olarak hesaplanacaktır. Kar ve zarar hesabı günlük olarak alınan kararlara göre, kullanıcının tahmin edilen değer anında işlem yapmış ve bir sonraki tahmine geçtiğinde işlemi kapatmış olması şeklinde hesaplanacaktır. Her tahmin anında yeni bir işlem başlatmış olması ve bütün bakiye ile işlem yapılması beklenmektedir.

Yukarıda bahsedilen deneysel testler 5 günlük verinin analizi üzerinden yapılmıştır. Ancak daha kısa süreli (örneğin 1 günlük) veri üzerinden eğitilen sistemin nasıl sonuç verdiği de ölçülmek istenmiştir. Bu değerlendirme sonucunda ulaşılan performans değerleri Tablo 8'de sunulmaktadır.

Tablo 8. Performans Değerleri (1 günlük girdi için)

| MİMARİ | EĞİTİM SÜRESİ(DK) | RMSE | MSE | MAE | DA(%) |
|--------|-------------------|------|---------|-------|--------------|
| LSTM | 32 | 0.01 | 0.00007 | 0,004 | 61,32 |
| GRU | 50 | 0.02 | 0.0004 | 0,013 | 55,78 |
| BLSTM | 78 | 0.02 | 0.0002 | 0,009 | 54,70 |

Elde edilen sonuçlara göre 5 günlük girdi ile eğitilen sistemin ortalama olarak daha iyi tahmin performansı olduğu görülmektedir. Rakamsal bir karşılaştırma olması açısından BLSTM modelinde 1 günlük veri girişi yapılarak çalıştırılmış ve Tablo 9'de bulunan sonuçlar elde edilmiştir. Bu örnek çalıştırım sonucuna göre 10 gün sonunda yalnızca %2,86 kar sağlandığı görülmektedir.

Karşılaştırma olması açısından aynı tarih aralığı içerisinde BLSTM modeli 5 günlük veri girişi yapılarak çalıştırılmış ve Tablo 10'de bulunan sonuçlar elde edilmiştir. Bu örnek çalıştırım sonucuna göre 10 gün sonunda toplamda %13,47 kar getirisi olmuştur.

Tablo 9. 1 Günlük veri girişi ile 10 günlük kazanç tablosu.

| GERÇEK DEĞER | ÖNGÖRÜLEN DEĞER | ÖNGÖRÜLEN İŞLEM | ASIL İŞLEM | BAKİYE |
|--------------|-----------------|-----------------|------------|------------|
| 148,89 | 161,537 | AL | AL | 100.000,00 |
| 153,37 | 161,937 | AL | AL | 103.008,93 |
| 151,91 | 163,717 | AL | SAT | 102.028,34 |
| 152,52 | 162,518 | AL | AL | 102.438,04 |
| 153,43 | 162,975 | AL | AL | 103.049,23 |
| 150,07 | 162,731 | AL | SAT | 100.792,53 |
| 149,85 | 159,242 | AL | SAT | 100.644,77 |
| 154,12 | 160,832 | AL | AL | 103.512,66 |
| 154,03 | 163,840 | AL | SAT | 103.452,21 |
| 150,57 | 163,155 | AL | SAT | 101.128,35 |
| 153,15 | 162,999 | AL | AL | 102.861,17 |

Elde edilen değerler incelendiğinde Yönelmiş doğruluk değerlerinin farklı makine öğrenmesi uygulamalarında karşılaştığı gibi % 80-90'larda olmadığı görülmektedir. Tasarlanan sistem bir karar destek sistemi olarak geliştirilmiş olup karar vericiye parametrik destek sağlaması amaçlanmaktadır. %55'lik başarıyı bile göz önüne aldığımızda bu verinin toplam (cumulative) hesaplamada ciddi kar ortaya koyacağı görülmektedir. Zaten para piyasası gibi mali konular üzerinde geliştirilecek bir uygulamada çok fazla girdi olduğu, sadece teknik analiz değil temel analiz faktörlerinin de etkisinin

gözönüne alınması gerekmektedir. Bu anlamda geliştirilen sistemin başarılı sonuçlar verdiği, deneysel çalışmalar ile ortaya konmuştur.

Tablo 10. 5 Günlük Veri Girişi ile 10 günlük kazanç tablosu.

| GERÇEK DEĞER | ÖNGÖRÜLEN DEĞER | ÖNGÖRÜLEN İŞLEM | ASIL İŞLEM | BAKİYE |
|--------------|-----------------|-----------------|------------|------------|
| 148,89 | 152,107 | AL | AL | 100.000,00 |
| 153,37 | 152,345 | AL | AL | 103.008,93 |
| 151,91 | 152,999 | SAT | SAT | 103.998,95 |
| 152,52 | 152,603 | AL | AL | 104.416,56 |
| 153,43 | 151,925 | SAT | AL | 103.797,26 |
| 150,07 | 151,606 | SAT | SAT | 106.121,23 |
| 149,85 | 151,126 | AL | SAT | 105.965,66 |
| 154,12 | 151,0482 | AL | AL | 108.985,17 |
| 154,03 | 153,1418 | SAT | SAT | 109.048,85 |
| 150,57 | 152,135 | SAT | SAT | 111.554,72 |
| 153,15 | 151,951 | AL | AL | 113.466,20 |

5. Sonuç ve Öneriler

Borsalarda doğru tahminler yapmak, finansal zaman serilerinin lineer olmayışı nedeniyle karmaşık bir işlemdir. Bu alandaki bazı araştırmacılar, hisse senedi fiyatlarının rastgele bir yürüyüş şeklinde davrandığını söylemektedirler. Ancak, teknik analistler, bazı güncel değerler dikkate alınarak gelecekteki fiyatların bir şekilde tahmin edilebileceği konusunda ısrar etmektedirler. Bu yazıda, derin öğrenme yaklaşımlarından olan LSTM, GRU ve BLSTM modelleri ile gelecekteki değerleri tahmin etmek için 2 Ocak 1968'den 9 Nisan 2018'e kadar değişen geniş çaplı bir borsa NYSE, NASDAQ ve NYSE MKT'ye uygulanmaktadır. Önerilen mimarilerinin kullanılmasıyla, piyasanın bazı gizli dinamikleri yakalanabilir ve etkili tahminler mümkün olabileceği görülmüştür. Önerilen modeller arasından 5 günlük girdiler ile eğitilen BLSTM %63,54'lük yönsel doğruluk oranı ve 0,01'lik RMSE değeri ile en iyi sonucu vermiş, 10 günün sonunda %13,47 kar getirdiği tespit edilmiştir.

Gelecekteki çalışma olarak, daha doğru tahminler yapmak için bazı yeni özellikleri göz önünde bulundurmaya hedefledik. Ek olarak, sistemin verimliliğini artırmak için bazı optimizasyon algoritmaları kullanılarak bazı parametre değerleri ayarlanabilir mimarilerinin kullanılmasıyla, piyasanın bazı gizli dinamikleri yakalanabilir ve etkili tahminler mümkün olabilir. Sistem performansının daha da artırılabilmesi için daha büyük verilerin kullanılması fayda sağlayacaktır. Büyük verilerin işlenmesi ve eğitim süresinin kısaltılması için paralel platformda sistemi çalıştırmak için sistem 0 'de belirtildiği gibi GPU tabanlı hesaplama ortamlarına aktarılabilir.

Yazarların Katkısı

G. ŞİŞMANOĞLU, F. KOÇER ve M.A. ÖNDE çalışmanın içerik tasarımına, verilerin toplanması, sistemin geliştirilmesine, test sonuçlarının analiz ve yorumuna, makalenin hazırlanmasına katkı sunmuştur. Ö.K. ŞAHİNGÖZ çalışmanın içerik tasarımına, kullanılacak algoritmaların belirlenmesine, makalenin düzeltilmesine ve makalenin son haline gelmesine 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] Cavalcante R.C., Brasileiro R.C., Souza V.L., Nobrega J.P., Oliveira A.L. 2016. Computational intelligence and financial markets: A survey and future directions. *Expert Systems with Applications*, 55: 194-211.
- [2] Namdari A., Li Z.S. 2018. Integrating Fundamental and Technical Analysis of Stock Market through Multi-layer Perceptron. 2018 IEEE Technology and Engineering Management Conference (TEMSCON), Evanston, IL, 1-6. doi: 10.1109/TEMSCON.2018.8488440.
- [3] Beyaz E., Tekiner F., Zeng X., Keane J. 2018. Comparing Technical and Fundamental Indicators in Stock Price Forecasting. 2018 IEEE 20th International Conference on High Performance Computing and Communications; IEEE 16th International Conference on Smart City; IEEE 4th International Conference on Data Science and Systems (HPCC/SmartCity/DSS), Exeter, United Kingdom, 1607-1613.
- [4] Chou J., Nguyen T. 2018. Forward Forecast of Stock Price Using Sliding-Window Metaheuristic-Optimized Machine-Learning Regression. in: *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 14 (7): 3132-3142.
- [5] Lien Minh D., Sadeghi-Niaraki A., Huy H.D., Min K., Moon H. 2018. Deep Learning Approach for Short-Term Stock Trends Prediction Based on Two-Stream Gated Recurrent Unit Network. in: *IEEE Access*, 6: 55392-55404.
- [6] Trelewicz J.Q. 2017. Big Data and Big Money: The Role of Data in the Financial Sector. in: *IT Professional*, 19 (3): 8-10.
- [7] Mohammadi M., Al-Fuqaha A., Sorour S., Guizani M. 2018. Deep Learning for IoT Big Data and Streaming Analytics: A Survey. in: *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 20 (4): 2923-2960.
- [8] Korczak J., Hernes M. 2017. Deep Learning for Financial Time Series Forecasting in A-Trader System. *Proceedings of the 2017 Federated Conference on Computer Science and Information Systems*.
- [9] Arévalo A., Niño J., Hernández G., Sandoval J. 2016. High-Frequency Trading Strategy Based on Deep Neural Networks. *Intelligent Computing Methodologies Lecture Notes in Computer Science*, 424-436.
- [10] Zhou X., Pan Z., Hu G., Tang S., Zhao C. 2018. Stock Market Prediction on High-Frequency Data Using Generative Adversarial Nets. *Mathematical Problems in Engineering*, 2018: 1-11.
- [11] Ganesh P., Rakheja P. 2018. Deep Neural Networks in High Frequency Trading, <https://arxiv.org/pdf/1809.01506.pdf>. (Erişim Tarihi: 01/12/2019).
- [12] Gudelek M.U., Boluk S.A., Ozbayoglu A.M. 2017. A deep learning based stock trading model with 2-D CNN trend detection. 2017 IEEE Symposium Series on Computational Intelligence (SSCI), Honolulu, HI, 1-8. doi: 10.1109/SSCI.2017.8285188.
- [13] Karatas G., Demir O., Sahingoz O.K. 2018. Deep Learning in Intrusion Detection Systems. 2018 International Congress on Big Data, Deep Learning and Fighting Cyber Terrorism (IBIGDELFT), Ankara, Turkey, 113-116.
- [14] Sahingoz O.K., Baykal S.I., Bulut D. 2018. Phishing Detection From URLs By Using Neural Networks. *Computer Science & Information Technology (CS & IT), SPPR, SCAI, CSIA, WiMoA, ICCSEA, InWeS, NECO, GridCom – 2018*, Sydney, Australia, 41-54.
- [15] Kumar S., Ningombam D. 2018. Short-Term Forecasting of Stock Prices Using Long Short Term Memory. 2018 International Conference on Information Technology (ICIT), Bhubaneswar, India, 182-186. doi: 10.1109/ICIT.2018.00046.
- [16] Shao X., Ma D., Liu Y., Yin Q. 2017. Short-term forecast of stock price of multi-branch LSTM based on K-means. 2017 4th International Conference on Systems and Informatics (ICSAI), Hangzhou, 1546-1551. doi: 10.1109/ICSAI.2017.8248530.
- [17] Sismanoglu G., Onde M.A., Kocer F., Sahingoz O.K. 2019. Deep Learning Based Forecasting in Stock Market with Big Data Analytics. 2019 Scientific Meeting on Electrical-Electronics & Biomedical Engineering and Computer Science (EBBT), Istanbul, Turkey, 1-4.
- [18] Zhong G., Zhang K., Wei H., Zheng Y., Dong J. 2019. Marginal Deep Architecture: Stacking Feature Learning Modules to Build Deep Learning Models. in: *IEEE Access*, 7: 30220-30233.

Araştırma Makalesi / Research Article

Memristör Temelli 2. Dereceden Aktif Yüksek Geçiren Filtrenin İncelenmesi

İshak PARLAR*, M. Nuri ALMALI

*Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Müh. Bölümü, Van
(ORCID: 0000-0002-6344-4253) (ORCID:0000-0003-2763-4452)*

Öz

Bu çalışmada ilk olarak Alharbi, Muthuswamy ile Mutlu ve arkadaşları tarafından literatürde önerilen memristör taklit devrelerinin Multisim programında düşük frekanslarda (5Hz–150Hz) benzetimi yapıldı. Taklit devreleri için farklı frekanslarda akım-gerilim (I-V) eğrileri incelenerek en kararlı çıkış eğrisini veren Mutlu ve arkadaşları tarafından önerilen devre gerçekleştirildi. Bu devre kullanılarak 2. dereceden aktif yüksek geçiren filtre devresi tasarlandı. Memristörlü ve direnç kullanılarak gerçekleştirilen filtre devreleri kalite faktörleri, Bode diyagramları ve kesim frekansları açısından karşılaştırıldı. Memristörlü filtre devresinin 0-10 Hz frekans aralığında direnç kullanılarak gerçekleştirilen filtre devresinden daha iyi süzme işlemi yaptığı görüldü.

Anahtar kelimeler: Memristör, Filtre, Memristör Taklit Devresi.

Investigation of Memristor Based Second Order Active High Pass Filter

Abstract

In this study, firstly the emulator circuits proposed by Alharbi, Muthuswamy and Mutlu et al. were simulated low frequencies (5Hz-150Hz) in the Multisim program. For emulator circuits, current-voltage (I-V) curves of different frequencies were examined and circuit proposed by Mutlu and his friends who gave the most stable output curve was performed. By using this circuit, 2nd order active high pass filter circuit was designed. Filter circuits with built-in memristor and resistor; quality factors, Bode diagrams and cut frequencies were compared. It has been seen that the filter circuit with built-in memristor has been better filtered than resistor filter circuit which is used in the frequency range of 0-10 Hz.

Keywords: Memristor, Filter, Memristor Emulator.

1. Giriş

İlk defa 1971 yılında Leon Chua tarafından 4. pasif temel devre elemanı olan memristor teorik olarak ortaya konulmuştur. Ayrıca memristörü aynı zamanda manyetik akı ve yük arasında bir ilişkiye sahip nonlinear bir hafıza elemanı olarak da tanımlandı [1]. Memristör, pratikte Williams ve ekibi tarafından 2008 yılında Hewlett-Packard (HP) laboratuvarlarında fiziksel olarak üretildi. Bundan sonra, memristör analog devre tasarımlarında yaygın bir şekilde kullanılmaya başlandı. Memristörün popülaritesi ise her geçen gün artmaya devam etmiştir [4,14].

Literatürde son yıllarda memristör tabanlı filtreler üzerine yoğun bir şekilde çalışmalar yapıldığı görülmektedir. Memristör tabanlı filtrelerin davranışı ve üzerindeki etkileri araştırılmakta ve zaman-frekans özelliklerini incelemek için çalışmalar yürütülmektedir [2,3,5,6,10,11,13].

Yener ve ark. 2014 yılında yaptıkları çalışmada, yeni programlanabilir amplifikatörler, adaptif filtreler ve programlanabilir osilatörler, yeni bir temel devre elemanı memristör kullanılarak tasarlanabileceğini ortaya atmışlardır. Yaptıkları çalışmada doğrusal sürüklenme memristör modeli kullanılarak bir memristör tabanlı biquad analog filtresini incelemişlerdir. Simülasyonlarda TiO_2 memristörün lineer

*Sorumlu yazar: ishakparlar@yyu.edu.tr

Geliş Tarihi: 29.05.2019, Kabul Tarihi: 31.07.2019

dopant sürüklenme modelini kullandıkları görülmektedir. Simülasyonlarda kazanç ve kalite faktörü gibi filtre bileşenlerinin biquad filtresindeki memristör kullanarak ayarlanabileceğini gösterdiler [13].

Sözen ve Çam, TiO_2 memristör modelini pasif RC yüksek geçiren filtre devresine uygulamışlardır. Bu çalışmada memristörün başlangıç direnci olan Rinit değerini belirli oranlarda arttırıldığında kesim frekansı üzerine olan etkileri incelenmiştir. Artan Rinit değerinin, doğrudan R_M 'yi etkilediği için filtre devresinin kesme frekansını azalttığını gözlemlemişlerdir [11].

Kirilov ve ark., Williams'ın 2008 yılındaki yaptığı çalışmada, piyasaya sürdüğü memristör modeli kullanarak pasif band geçiren filtre devresini 100Hz-10kHz frekans aralığında test ederken band durduran filtre devresini ise 1kHz-100kHz frekans aralığında test ettiler. 20 Hz'den daha yüksek frekanslarda, Williams'ın memristörü lineer bir direnç gibi benzer bir davranışa sahip olduğunu ve memristör devresinden geçen sinyallerdeki bozulmaların önemsiz olduğunu belirtti. Kullanılan memristör modelinin farklı memristans noktalarına göre analiz edilerek sistemin tepkisini ölçmeye çalıştılar. Çalışmanın sonucunda, filtrelerde kullanılan memristörlerin özelliklerinin çalışma frekansı aralığında doğrusal hale geldiğini gördüler [6].

Yapılan literatür araştırmalarında Kirilov ve ark., Yener ve ark., gibi ekiplerin belli bir taklit devresini baz aldıkları ve sınırlı bir frekans aralığında çalıştıkları görülmektedir. Bu çalışmalar birden fazla taklit devresini baz alarak en iyi süzme işleminin belirlendiği filtre seçilerek ve bu filtre üzerindeki etkileri incelenerek gerçekleştirildi.

Bu çalışmada ilk olarak; Alharbi, Mutlu ve arkadaşları tarafından önerilen taklit devrelerinin Multisim programında benzetimi yapıldı. Daha sonra histeresis eğrisi üzerinde alçak frekans tepkisine sahip model kullanılarak 2. dereceden aktif yüksek geçiren filtrenin kalite faktörü, Bode diyagramı, I-V tepkisi ve kesim frekansları karşılaştırıldı. Son olarak elde edilen bulgular paylaşıldı ve elde edilen sonuçlar verilerek tartışıldı.

2. Materyal ve Metot

2.1. Taklit Devrelerinin Matematiksel Modelleri

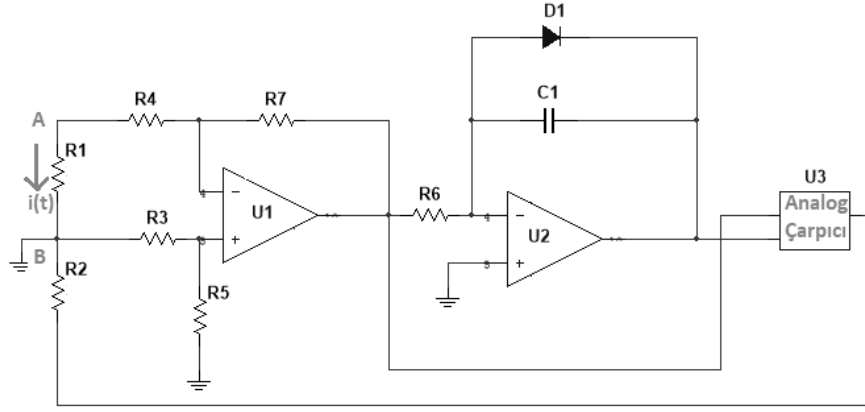
Chua, çok sayıda transistör, işlemsel yükselteç, direnç vb. devre elemanları ile simüle edilmiş bir devre geliştirmişti [4]. Bu devre pek çok elemandan oluştuğu ve uygulanması uzun zaman aldığı için daha az elemandan oluşan ve uygulaması daha pratik olan birçok devre modeli sunulmuştur. Bu çalışmada 3 farklı taklit devresi modeli sunulmuştur. Model-1, Mutlu ve arkadaşları tarafından önerilen taklit devresini, Model-2 Muthuswamy tarafından önerilen gerilim kontrollü taklit devresini, Model-3 ise Alharbi ve arkadaşları tarafından önerilen bir başka gerilim kontrollü taklit devresini göstermektedir.

Mutlu ve arkadaşları tarafından kullanılan TiO_2 Memristör modeli için dışardan harici bir öngerilim gerilimi $v(t)$ verilmesi, kutuplarını kutuplarına göre iki bölge arasında sınırlandırır. Memristör için gerilim-akım ilişkisi Eş.(1) ile verilmiştir [5].

$$v(t) = R_{ON} \frac{w(t)}{D} + R_{OFF} \left(1 - \frac{w(t)}{D} \right) i(t) \quad (1)$$

$w(t) = \mu_V \frac{R_{ON}}{D} q(t)$, μ_V ortalama kayma hızı ve cm^2/sV birimine sahiptir, D katkılı ve katkısız alanların toplamı ve m birimine sahiptir ve $q(t)$ memristör cihazından geçen toplam yüke karşılık gelmektedir.

Mutlu ve arkadaşları tarafından önerilen lineer sürüklenme hızlı TiO_2 memristör taklit devresi şematığı Şekil 1'de gösterilmiştir [9].



Şekil 1. Lineer Sürüklenme Hızlı TiO₂ Memristör Taklit Devresi Şematiği [9]

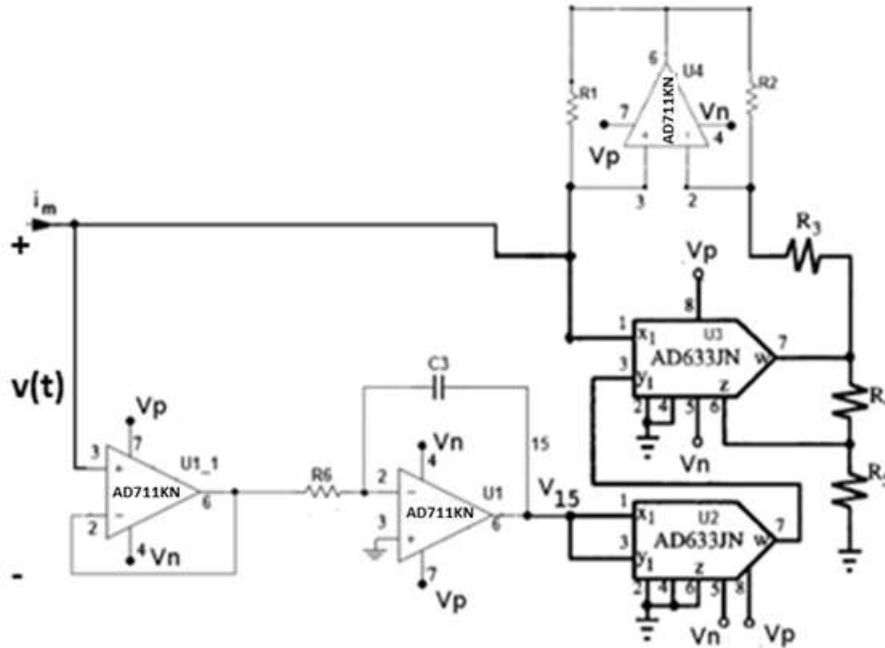
Şekil 1’de verilen taklit devresi bir diferansiyel yükseltici, bir integral alıcı devresi ve bir analog çoklayıcıdan oluşmaktadır. Şekil 1’de verilen $i(t)$, A’dan B’ye akan akım olarak kabul edilirse devreden geçen yük $q(t)$, Eş. (2)’deki gibi ifade edilir.

$$q(t) = \int_{t=-\infty}^t i(t) dt \quad (2)$$

Memristör yükünün negatife gitmemesi için Şekil-1’de görülen diyot (D1) veya çok yüksek bir direnç değeri kullanılabilir. Aşağıdaki formülde, memristör yükü ve akımı birbiri çarpılmaktadır. Analog çarpıcıdaki gerilim ifadesi ise Eş. (3)’deki gibi gösterilmiştir.

$$V_{CARPICI} = V_{U3} = \left(\frac{-R_3 R_1}{R_2} \right)^2 \frac{1}{R_6 C_1} q(t) i(t) \quad (3)$$

Muthuswamy tarafından önerilen devrenin matematiksel denklemleri Eş. (4)’te gösterilmiştir. Şekil 2’deki devre modelinde, AD711 işlemsel yükseltici ve AD633 çoklayıcı, integral alıcı ve diferansiyel amplifikatör devreleri için kullanılmıştır [8].



Şekil 2. Muthuswamy Tarafından Önerilen Gerilim Kontrollü Memristör Taklit Devresi [8]

Şekil 2'deki devre için kübik doğrusal olmayan $i_m(t)$ akımına ait ifade Eş.(4)'teki gibi yazılabilir [8]:

$$i_m(t) = \left(\alpha + \beta 3 \left(\int v(t) dt \right)^2 \right) v(t) \quad (4)$$

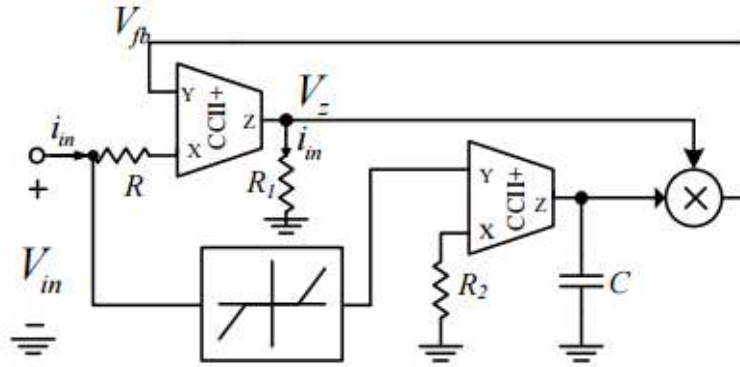
Burada memristör ölçüm değerlerine sahip α ve β ifadeleri aşağıda gösterilmiştir.

$$\alpha = -\frac{1}{R_3}, \quad \beta = \frac{1}{3} \left(\frac{R_4 + R_5}{R_3 \cdot R_4 \cdot 100} \right)$$

AD711 işlemsel yükseltici, akım invertörü olarak görev yapar ve eğer devrede $R_1 = R_2$ ise Eş. (4), Eş. (5)'teki ifadeye dönüşür:

$$i_m(t) = \frac{-v}{R_3} + \left(\frac{\int v(t) dt^2 v(R_4 + R_5)}{100R_4} \right) \frac{1}{R_3} \quad (5)$$

Alharbi ve ark., ise Şekil 3'te verilen gerilim kontrollü bir memristör için genel ve basit bir taklit devresi modeli önerdiler [2].



Şekil 3. Gerilim Kontrollü Memristör Taklit Devresi [2]

Şekil 3'te verilen taklit devresinde memristörün histerezis davranışını sağlaması için, iki adet ikinci nesil akım taşıyıcı (CCII+) ve analog çarpıcı kullanılmıştır. Devrenin giriş akımına ait ifade Eş. (6)'teki gibi yazılır [2]:

$$i_{in} = \frac{V_{in} - V_{fb}}{R} \quad (6)$$

Burada V_{fb} geri besleme gerilimini (çarpmanın çıktısı) temsil etmektedir. Giriş gerilimi doğrusal olmayan bir fonksiyon $f(V_{in})$ kullanılarak şekillendirilmiştir. Çıkış voltajı ikinci CCII+, V_Z gerilimi ile entegre edilir ve Eş. (7)'de olduğu gibi çarpılır ve geri besleme gerilimi üretilir:

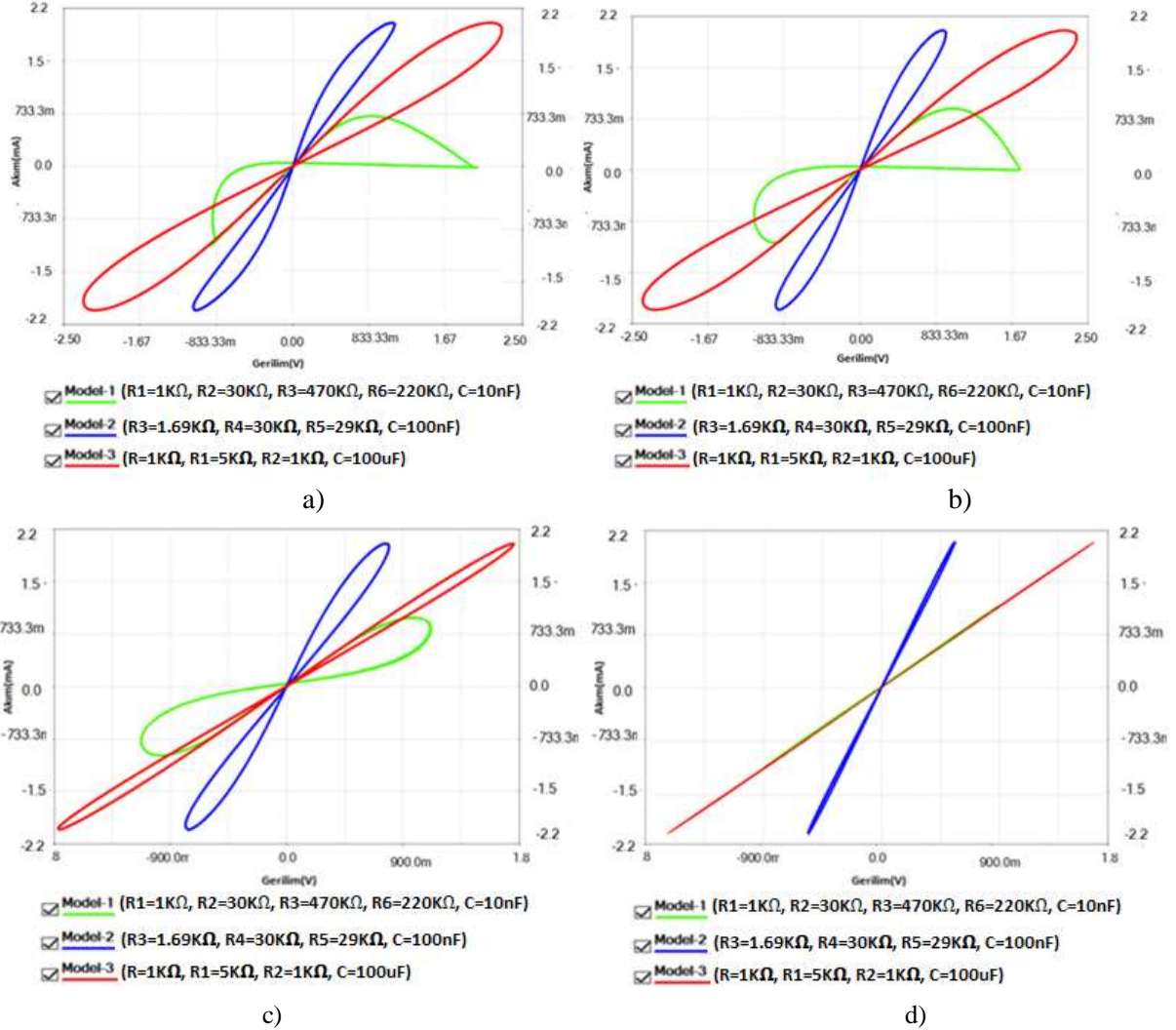
$$V_{fb} = \frac{\alpha V_Z}{R_2 C} \int_0^t f(V_{in}(t)) dt \quad (7)$$

Burada α çarpım sabiti ve f ise şekillendirme fonksiyonudur. Giriş gerilimi ise Eş. (8)'teki gibi ifade edilmektedir.

$$V_{in} = R + \frac{\alpha R_1}{R_2 C} \int_0^t f(V_{in}(t)) dt \quad (8)$$

3. Bulgular ve Tartışma

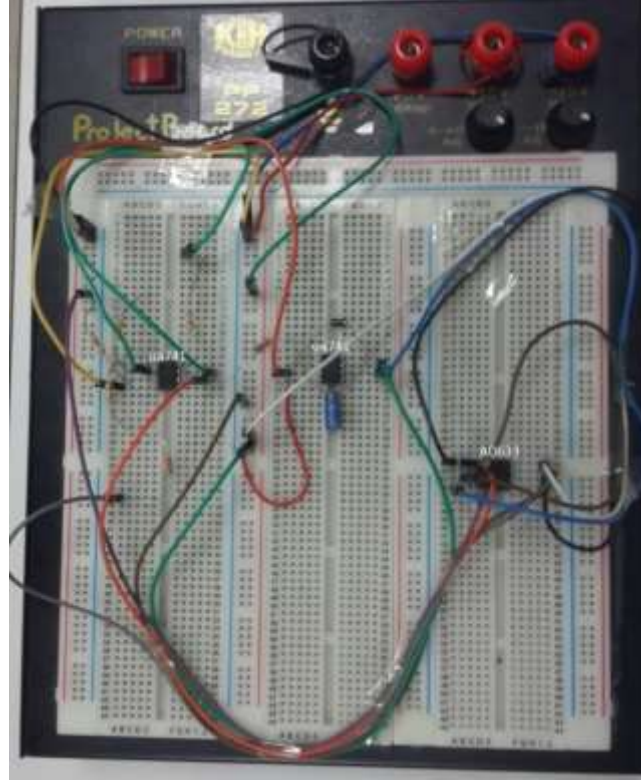
Bir önceki kısımda verilen üç farklı taklit devresi modelleri referans alınarak, bu devrelerin girişlerine ortak 2Vpp sinüs sinyali verilmiştir. Giriş sinyalinin frekansı, sırasıyla 5Hz, 10Hz, 15Hz ve 150Hz için akım-gerilim (histerezis eğrisi) eğrileri Şekil 4'te gösterilmiştir.



Şekil 4. Taklit Devrelerinin Histerezis Eğrileri a) 2Vpp, 5Hz b) 2Vpp, 10Hz c) 2Vpp, 15Hz d) 2Vpp, 150Hz

Tüm modeller öncelikle 2Vpp ve 5Hz giriş sinüzoidal bir sinyal için benzetim çalışması yapılmıştır. 5Hz frekansa sahip giriş sinyali için memristörün karakteristik eğrisi olan histerezis eğrisinin gerilimi sabit tutularak frekansı arttırdıkça giderek kaybolduğunu ve 150 Hz frekansa getirdiğimizde tamamen kaybolduğu gözlemlenmiştir. Yüksek frekanslarda memristive özelliğin kaybolduğu ancak bu karakteristiğin belirli frekans aralıklarında tekrarlandığı görülmüştür. Literatürde en sık kullanılan ve pratik uygulaması rahat bir şekilde gerçekleştirilen bu modeller ayrı ayrı incelenmiştir. Uygulama deneylerinde en kararlı çıkış tepkisini veren, 150 Hz frekansta histerezis alanın en az olduğu yani tamamen lineer özellik gösteren ve daha az aktif devre elemanı ile oluşturulan Model-1 devresi ele alınmıştır.

Şekil 5'te gösterilen taklit devresi, Mutlu ve arkadaşları tarafından önerilen lineer sürüklenme hızlı TiO₂ memristör taklit devresinden (Model-1) yararlanılarak oluşturulmuştur [9,10].



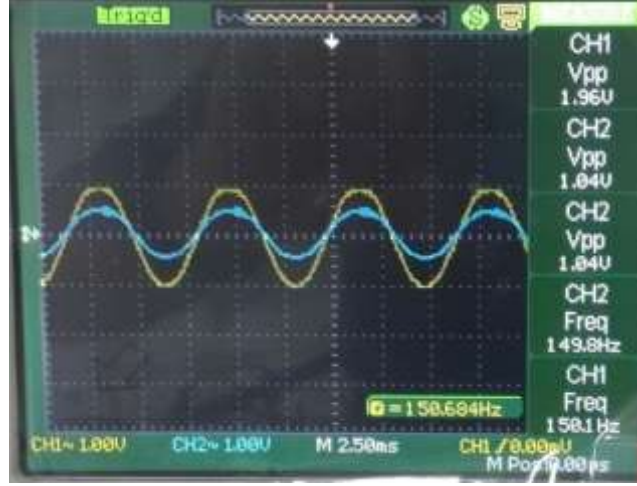
Şekil 5. Elektronik çalışma tahtası üzerine kurulmuş taklit devresi uygulaması

Öncelikle referans aldığımız Model-1 devresini elektronik çalışma tahtası üzerinde uygulama devresi tasarlanmıştır. Uygulamasını yaptığımız model-1 devresini analog devrelerde kullanmak için düşük frekanslarda histerezis alanının büyük olduğunu frekansı arttırdığımızda ise bu alanın azaldığını hatta lineer bir davranışa doğru gittiğini gözlemlenmemiz gerekmektedir. Akım ve gerilim parametreleri giriş sinyalinin frekansı artırılarak tepkileri Şekil 6-7’ de gösterilmiştir. 8Hz giriş sinyalinde akım lineer bir eğilim göstermediği ancak 150Hz giriş sinyalinde lineer bir davranış sergilediği Şekil 10’da gözlemlenmiştir.



Şekil 6. 8 Hz Sinüsoidal gerilimle beslenen memristör taklitçisinin akım ve gerilim grafiği (CH1: Gerilim, CH2: Akım)

Giriş sinyal frekansı 150 Hz'e ayarlanırsa, taklit devresi lineer bir direnç gibi davrandığı görülmüştür. 150 Hz Sinüsoidal Gerilimle Beslenen Memristör Taklitçisinin Akım ve Gerilim Grafiği Şekil 7’de gösterilmiştir. Ayrıca çıkış akımı ve geriliminde distorsiyon (gürültü) meydana gelmemiştir.



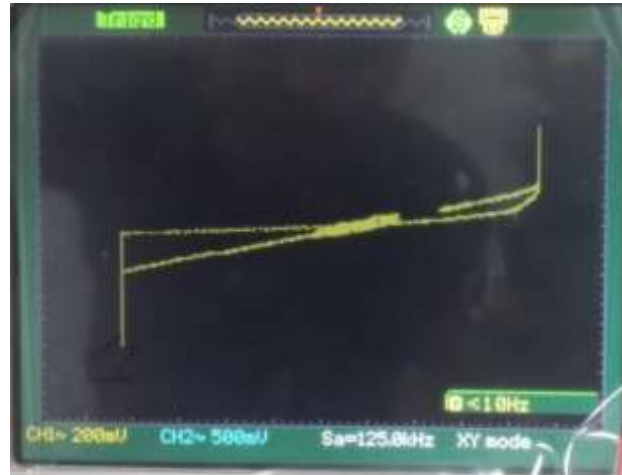
Şekil 7. 150 Hz sinüsoidal gerilimle beslenen memristör taklitçisinin akım ve gerilim grafiği (CH1: Gerilim, CH2: Akım)

Akım ve gerilim tepkileri verilen taklit devresini, X-Y düzleminde sırasıyla 8-9-150 Hz frekansa sahip sinüsoidal bir giriş sinyali uygulayarak histeresis eğrileri Şekil 8-9-10'da gösterilmiştir. 8 Hz frekansa sahip histeresis alanı (loop) net bir şekilde görülmektedir.



Şekil 8. 8 Hz sinüsoidal gerilimle beslenen memristör taklitçisinin histeresis eğrisi

Giriş gerilimi değiştirilmeden frekansı 9 Hz'e yükselttiğimizde histeresis alanının azaldığı Şekil 9'da görülmektedir.



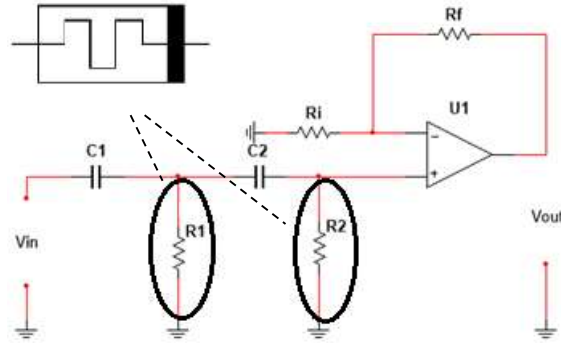
Şekil 9. 9 Hz sinüsoidal gerilimle beslenen memristör taklitçisinin histeresis eğrisi

Frekans 150 Hz'e yükselttiğimizde ise histerezis alanının neredeyse kaybolduğu Şekil 10'da gözlemlenmiştir.



Şekil 10. 150 Hz sinüsoidal gerilimle beslenen memristör taklitçisinin histerezis eğrisi

Aktif yüksek geçiren filtre (YGF), belli bir kesim frekansının altındaki sinyalleri zayıflatarak ve bu frekansın üzerindeki sinyalleri ise güçlendirerek çıkışa vermektedir. Kesim frekansının üzerindeki frekanslar için çıkış geriliminin genliği sabittir. İkinci dereceden yüksek geçiren filtrenin genel devresi Şekil 11'de gösterilmiştir [7].



Şekil 11. İkinci dereceden geleneksel yüksek geçiren filtre devre şematiği [7]

Şekil 11'de verilen sistemin transfer fonksiyonu Eş. (9)'da verilmiştir. Bu denklemde R_1 ve R_2 dirençleri yerine eş olarak memristör taklit devreleri yerleştirilmiştir. $(R_f - R_i)$ dirençleri ise kazancı belirlemektedir. Uygulamada uygun R ve C değerleri seçilerek kesim frekans ı olabildiğince düşük seçilmeye çalışılmıştır. ($R_1=R_2=R=900K\Omega$, $C_1=C_2=C=35\mu F$)

$$\frac{V_{out}(S)}{V_{in}(S)} = \frac{s^2 R_f (R_i + R_f) C^2}{s^2 R_M^3 R_i C^2 + s 3 R_M^2 R_i C + R_M R_i} \quad (9)$$

R_M , genlik memristörünün direncini belirtir. Talukdar ve arkadaşları, giriş gerilimi olarak sinüzoidal bir dalga formu verilmesi durumunda, R_M , R_{avg} boyunca salınacak ve Eş.(10)'daki gibi sinüzoidal giriş gerilimi için memristör direncini verecektir [12];

$$R_M = R_{avg} \pm \Delta R_M \sin(\omega t + \varphi) \quad (10)$$

Memristör direncin uç zirveleri ise Eş. (11) 'deki gibi verilebilir.

$$R_{max,min} = R_{avg} \pm \Delta R_M \quad (11)$$

Şekil 11’de verilen devrenin kesim frekansı ve kalite faktörü denklemleri sırasıyla Eş. (12-13)’te verilmiştir. Kalite faktörü (Q), sistemin kesim frekansının band genişliğine (BW) olan oranıdır.

$$f_{o,M} = \frac{1}{2\pi(R_{avg} \pm \Delta R_M)C} \quad (12)$$

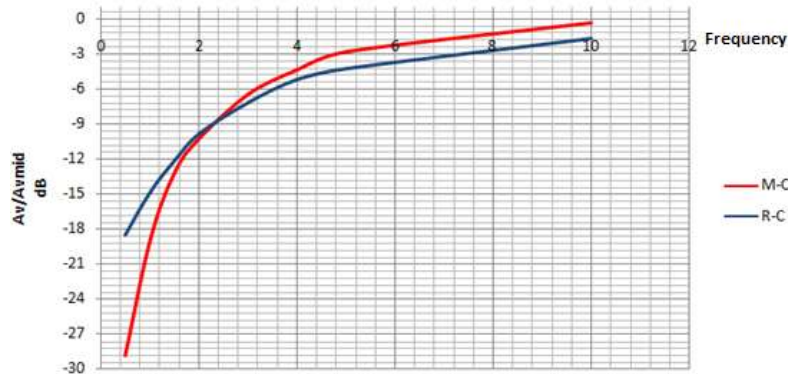
$$Q = \frac{f_{o,M}}{BW} \quad (13)$$

Yukarıda verilen eleman değerlerine göre tasarlanan 2. dereceden aktif yüksek geçiren filtre devresinde, giriş gerilimi $V_{in}(p-p) = 1V$ olan sabit sinüzoidal işaret için farklı frekanslarda ölçülen çıkış gerilimi ve hesaplanan kazanç, normalize kazanç, normalize kazanç desibel (dB) değerleri Tablo 1’de verilmiştir. Memristörlü 2. dereceden aktif yüksek geçiren filtre devresinde frekansı arttırdıkça kazancımızın sabit kaldığı orta kazanç bandının olduğu yerde gerilim kazancı $A_{V_{mid_{M-C}}} = 5,88$ olduğu görülmüştür. Bu değeri daha önceden elde edilen kazanç oranlayarak normalize kazanç elde edilmiştir. Aynı işlemler direnç ile tasarlanan 2. dereceden aktif yüksek geçiren filtre devresinde de ele aldığımızda bu değeri $A_{V_{mid_{R-C}}} = 2,18$ olduğu görülmüştür. Elde edilen normalize kazanç değerlerini Bode grafiğine aktarmak için bu değerlerin desibel noktaları Tablo 1’de hesaplanarak verilmiştir.

Tablo 1. 2. Dereceden aktif yüksek geçiren filtre devresinde farklı frekanslar için hesaplanan kazanç, normalize kazanç desibel (dB) Değerleri ($V_{in}(p-p) = 1V, A_{V_{mid_{M-C}}} = 5,88, A_{V_{mid_{R-C}}} = 2,18$)

| $F(Hz)$ | $V_{out}(p-p)$ | $A_V = \frac{V_{out}}{V_{in}}$ | $\frac{A_V}{A_{V_{mid}}}$ | $20 \log \frac{A_V}{A_{V_{mid}}}$ dB |
|---------|----------------|--------------------------------|---------------------------|--------------------------------------|
| | <i>M-C/R-C</i> | <i>M-C/R-C</i> | <i>M-C/R-C</i> | <i>M-C/R-C</i> |
| 0.5Hz | 0.21V/0.26V | 0,212/0,260 | 0,036/0,119 | -28,86/-8,46 |
| 1Hz | 676mV/0.4V | 0,676/0,40 | 0,114/0,183 | -18,78/-4,72 |
| 1.5Hz | 1,3V/540mV | 1,3/0,540 | 0,221/0,247 | -13,10/-2,12 |
| 2 Hz | 1,8V/700mV | 1,8/0,700 | 0,306/0,321 | -10,28/-9,86 |
| 3Hz | 2,8V/960mV | 2,8/0,960 | 0,476/0,44 | -6,44/-7,12 |
| 4Hz | 3,58V/1 V | 3,58 /1,2 | 0,608/0,55 | -4,3/-5,18 |
| 5Hz | 4,28V/1,34V | 4,28/1,34 | 0,727/0,614 | -2,75/-4,22 |
| 10Hz | 5,68V/1,8V | 5,68 /1,8 | 0,965/0,829 | -0,3/-1,66 |
| ... | ... | ... | ... | ... |
| 100Hz | 5,88V/2,18V | 5,88/2,18 | 1/1 | 0/0 |
| 1000Hz | 5,88V/2,18V | 5,88/2,18 | 1/1 | 0/0 |

Tablo 1’deki frekans ve normalize kazanç desibel (dB) değerleri kullanılarak filtreye ait Bode eğrisi Şekil 12’de verilmiştir.



Şekil 12. 2. dereceden aktif yüksek geçiren M-C ve R-C filtre devrelerinin bode grafiği

Şekil 12’de de gösterildiği gibi devremizin kesim frekansı yaklaşık olarak 5Hz’e ayarlanmıştır. Filtre devrelerinde duvar etkisi (wall effect) dediğimiz olayda eğimin dik olması istenir. Kesim frekansı dik eksene ne kadar yakın olursa o derece kaliteli bir süzgeç işlemi yapıldığı anlamına gelmektedir. 0-2

Hz frekans aralığında M-C ve R-C devrelerinin kalite faktörleri incelendiğinde, M-C filtre devresinin eğiminin yaklaşık 3 kat daha yüksek olduğu görülmüştür. 2-5 Hz frekans aralığında, M-C devresinin kalite faktörünün R-C den daha iyi olduğu görülmüştür. 5-10 Hz frekans aralığında, M-C devresinin kalite faktörünün R-C'ye göre daha doğrusal bir eğri oluşturduğu izlenmiştir. Daha da yüksek frekanslarda memristör taklit devresi 2. Bölümde de belirttiğimiz gibi lineer direnç gibi davranmakta ve 2. Dereceden aktif YGF devresinde de $Av/Av_{mid} = 1$ olduğu hesaplanmıştır.

4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada öncelikle Mutlu ve arkadaşları tarafından geliştirilen lineer sürüklenme hızlı TiO₂ memristör modeli, Alharbi ve arkadaşları tarafından önerilen gerilim kontrollü memristör ve Muthuswamy tarafından geliştirilen bir başka gerilim kontrollü memristör devreleri ele alınmıştır. Ele alınan taklit devrelerinin farklı frekans tepkileri altındaki akım-gerilim karakteristikleri incelenmiştir. Mutlu ve arkadaşları tarafından geliştirilen gerilim kontrollü modelin uygulama deneylerinde en kararlı çıkış tepkisini veren, 150 Hz frekansta histerezis alanın en az olduğu yani tamamen lineer özellik gösteren ve daha az aktif devre elemanı ile oluşturulduğu görülmüştür. Kullanılan bu model 2. dereceden aktif yüksek geçiren filtreye ayarlanarak kalite faktörü, akım-gerilim karakteristikleri, histerezis bölgeleri ve kesim frekansları incelenmiştir. Memristörlü 2. dereceden aktif YGF devresinde kesim frekansı yaklaşık olarak 5 Hz'e ayarlanmıştır. M-C ve R-C devreleri 0-10 Hz frekans aralığında kalite faktörleri karşılaştırıldığında, M-C devresinin R-C devresine göre daha iyi sonuç verdiği görülmüştür. 0-2Hz frekans aralığında eğimin (kesim frekansının band genişliğine olan oranı) R-C filtreden 3 katına kadar daha yüksek çıktığı, 2-5 Hz frekans aralığında, kalite faktörünün R-C den daha iyi olduğu, 5-10 Hz frekans aralığında, yani kesim frekansının üzerine çıktığımızda M-C devresinin kalite faktörünün R-C'ye göre daha doğrusal bir eğri oluşturduğu izlenmiştir. Bu modelin istenen amaç ve kullanımına göre devre elemanlarının değerleri değiştirilerek farklı kesim frekanslarında ve aktif filtrelerde, özellikle düşük frekanslarda çalışılacak 2. Dereceden aktif YGF devrelerinde tercih edilebilir.

Teşekkür

Çalışma kapsamındaki uygulama ve hesaplamalar Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Elektronik Laboratuvarında yapılmıştır.

Yazarların Katkısı

Çalışmada tüm yazarlar eşit oranda katkı sunmuştur.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada, araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar

- [1] Alharbi A.G., Fouda M.E., Chowdhury M.H. 2015. Memristor Emulator Based on Practical Current Controlled Model. IEEE 58th International Midwest Symposium on Circuits and Systems (MWSCAS), 1-4.
- [2] Alharbi A.G., Fouda M.E., Khalifa Z.J., Chowdhury M.H. 2016. Simple Generic Memristor Emulator for Voltage-Controlled Models. In Circuits and Systems (MWSCAS), IEEE 59th International Midwest Symposium, 1-4.
- [3] Biolek Z., Biolek D., Biolkova V. 2009. SPICE Model of Memristor with Nonlinear Dopant Drift. Radioengineering, 18 (2).

- [4] Chua L. 1971. Memristor-the Missing Circuit Element. *IEEE Transactions on Circuit Theory*, 18 (5): 507-519.
- [5] Strukov D.B., Snider G.S., Stewart D.R., Williams R.S. 2008. The missing memristor found. *Nature*, 453: 80–83.
- [6] Kirilov S. M., Yordanov R. S., Mladenov V. M. 2013. Analysis and Synthesis of Band-Pass and Notch Memristor Filters, In 17th WSEAS International Conference on Circuits.
- [7] Megep. 2012. Oscillators and Filter Circuits. http://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Osilat%C3%B6rler%20Ve%20Filtre%20Devreleri.pdf. (Erişim Tarihi:12.07.2017).
- [8] Muthuswamy B. 2010. Implementing Memristor Based Chaotic Circuits. *International Journal of Bifurcation and Chaos*, 20 (5): 1335-1350.
- [9] Mutlu R., Karakulak E. 2009. Department of Electronics, A Memristor (Memory Resistor) Emulator Circuit for Using at Engineering Education. 13. Elektrik, Elektronik, Bilgisayar ve Biyomedikal Mühendisliği Ulusal Kongresi, 23-26 Aralık, ODTÜ, Ankara.
- [10] Mutlu R., Karakulak E. 2010. Emulator Circuit of TiO_2 Memristor with Linear Support Drift Made Using Analog Multiplier. In *Electrical Electronics and Computer Engineering (ELECO)*, 380-384.
- [11] Sözen H., Çam U. 2013. On The Realization of Memristor Based RC High Pass Filter. 8th International Conference on Electrical and Electronics Engineering (ELECO), IEEE, 45-48.
- [12] Talukdar A., Radwan A.G., Salama K.N. 2010. Time Domain Oscillating Poles: Stability Redefined in Memristor Based Wien-Oscillators. In 2010 International Conference on Microelectronics, IEEE, 288-291.
- [13] Yener Ş.Ç., Mutlu R., Kuntman H.H. 2014. Performance Analysis of a Memristor-Based Biquad Filter Using a Dynamic Model. *Informacije Midem-Journal of Microelectronics Electronic Components And Materials*, 44 (2): 109-118.
- [14] Williams R.S. 2008. How We Found the Missing Memristor. *IEEE Spectrum*, 45 (12).

Araştırma Makalesi / Research Article

Elektrik Dağıtım Şebekelerinde Kendi Kendini İyileştiren Sistemler

Gökmen HASANÇEBİ¹, Erdal Mustafa YEĞİN², Korhan KARAARSLAN^{2*}

¹SEDAŞ İl İşletme Müdürlüğü, 41400, Kocaeli

²Kocaeli Üniversite, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü, 41380, Kocaeli
(ORCID: 0000-0002-2799-3052) (ORCID: 0000-0002-1665-3132) (ORCID: 0000-0001-7109-3636)

Öz

Kaçınılmaz sanayileşme ve günlük hayattaki dijitalleşmeye olan hızlı eğilim nedeniyle elektrik enerjisine bağımlılık günden güne artmaktadır. Bu sebeple, tüketiciye enerji tedarigini gerçekleştiren elektrik dağıtım şebekelerinin kalitesi, erişilebilirliği ve güvenilirliği üzerinde durulması gereken önemli bir konu başlığıdır. Konvansiyonel dağıtım şebekelerinde kullanılmakta olan kesinti yönetimi süreçleri bu doğrultuda, kesinti sürelerini minimize edecek şekilde güncellenmekte ve dağıtım otomasyonu sistemleri ile kendi kendini iyileştiren şebekelere geçiş çalışmaları yapılmaktadır. Yurt dışında konsept doğrulama çalışmaları farklı topolojiler ile devam etmekte olan kendi kendini iyileştiren şebekeler henüz pilot uygulama seviyesindedir ve bu alanla ilgili Türkiye'deki ilk adımı Sakarya Elektrik Dağıtım Şirketi (SEDAŞ) atmıştır. SEDAŞ bu amaçla, mevcut otomasyon işlevselliğini güçlendirerek tedarik sürekliliğini en yüksek seviyeye çıkarmayı hedefleyen kendi kendini iyileştiren şebeke tasarımı ve uygulama projesini başlatmıştır. Bu çalışmada, söz konusu proje kapsamında yapılan çalışmalardan elde edilen kazanımlar doğrultusunda gerçekleştirilen geniş alanlı otonom dağıtım şebekesi tasarım kriterleri, otonom sisteme dahil edilecek olan şebeke unsurlarının seçimi, sistem için gerekli otomasyon ekipmanlarının minimum teknik gereklilikleri ve SEDAŞ sorumluluk alanında seçilen pilot bölge için yapılan tasarım anlatılmıştır. Müşteri başına düşen kesinti süresi teorik olarak uygulama öncesi durum ve uygulama sonrası durum için hesaplanarak kesinti sürelerinde öngörülen iyileştirme oranı belirlenmiştir. Bununla birlikte, olası yeniden enerjilendirme manevraları için şebekedeki akım taşıma kapasitesi, gerilim düşümü gibi teknik parametreler de dikkate alınmıştır.

Anahtar kelimeler: Kendi kendini iyileştiren şebekeler, Akıllı şebekeler, Dağıtım sistemi, Arıza izolasyonu, Güvenilirlik, SCADA.

Self-healing Systems for Electrical Distribution Networks

Abstract

Due to the inevitable industrialization and the rapid trend towards digitalization in daily life, the electrical energy dependence is increasing day by day. For this reason, the quality, availability and reliability of the electrical distribution networks that supply energy to the consumers is an important issue. Fault management processes used in conventional distribution networks are updated in such a way to minimize the interruption duration and, transition studies are carried out to self-healing systems through distribution automation systems. Self-healing systems are under test in pilot scheme of which conceptual validation studies are performed with different architectures. The first self-healing system design and implementation project in Turkey was initiated by Sakarya Electricity Distribution Company (SEDAS) aiming to maximize supply continuity by strengthening existing automation functionality. In this study, the design of the autonomous distribution network design criteria, the selection of the network elements to be included in the autonomous system, the minimum technical requirements of the automation equipment required for the system and the design for the selected pilot region in the responsibility area of SEDAS are explained. The interruption duration per customer is theoretically calculated for the pre-application and the post-application situations and the improvement in the interruption duration is determined. Furthermore, technical parameters such as ampacity and voltage drop in the network are also taken into account for possible re-energizing maneuvers.

Keywords: Self-healing networks, Smart grids, Distribution system, Fault isolation, Reliability, SCADA.

*Sorumlu yazar: korhan.karaarslan@kocaeli.edu.tr

Geliş Tarihi: 29.05.2019, Kabul Tarihi: 31.07.2019

1. Giriş

Kullanıcıların güvenli, kaliteli, güvenilir elektrik enerjisine sürdürülebilir erişimini sağlayabilmeleri için ulusal ve uluslararası alanda çeşitli iyileştirme ve Ar-Ge çalışmaları yapılmaktadır. Mevcut çalışmalar arasında, şebeke işletiminde kullanılan merkezi denetim-veri toplama, dağıtım ve kesinti yönetim sistemlerinin (SCADA/DMS-OMS) gelişmişlik seviyelerini yükseltmek ve günlük sistem operasyonlarını hızlandırmak çok büyük bir öneme sahiptir. Bu amaçla, kendi kendini iyileştiren şebeke mimarileri kullanılarak günlük operasyonlar içerisinde güç sisteminde meydana gelen arızalar nedeniyle oluşan kesintilerin hızlı bir şekilde sistemden izole edilmesi hedeflenmektedir.

Mevcut durumda, SCADA/DMS-OMS yazılımları ile dağıtım şebekesinde bulunan kesici, yük ayırıcısı vb. gibi anahtarlar uzaktan kontrol edilebilmektedir. Böylece, arızalara karşı şebekenin topolojisi değiştirilerek sağlıklı fiderlerde bulunan müşterilere yeniden enerji sağlanabilmektedir. SCADA operatörleri tarafından manuel yöntemler ile gerçekleştirilen bu manevralar; anahtarlama işlemlerinin ancak 10-15 dk gibi bir sürede tamamlanabilmesi, topolojik değişiklik sırasında personelin hata yapabilme riski ve personelin şebeke modeli konusunda uzmanlaşma zorunluluğu gibi çeşitli olumsuzluklar barındırmaktadır. Belirtilen dezavantajları minimize etmek için kendi kendini iyileştirebilen şebeke mimarisi (self-healing system) geliştirilmiştir.

Kendi kendini iyileştiren şebeke mimarisinin ilk temelleri, 1999 yılında Elektrik Enerjisi Araştırma Enstitüsü (EPRI) bünyesinde kurulan Kompleks İnteraktif Şebekeler/Sistemler Girişim (CIN/SI) grubu tarafından atılmıştır. Konsept, yaklaşık 20 senelik bir geçmişe sahip olmasına rağmen otonom sistemlerin yüksek maliyetleri, kalifiye personele gereksinim duymaları ve güvenlik endişeleri nedenleriyle bu tür sistemlerin uygulamaları henüz yaygınlaşmamıştır.

Hollanda’da faaliyet gösteren bir dağıtım sistemi operatörü, 23 kV gerilim seviyesindeki 33 adet dağıtım merkezini kapsayan yer altı kablo şebekesinde otonom arıza izolasyonu ve yeniden enerjilendirme projesini 2012 yılında devreye almıştır [1-2]. Benzer şekilde, İspanya’da hizmet veren bir başka dağıtım sistemi operatörü ise mevcut SCADA/DMS’e otomatik şebeke kurtarma modülü ekleyerek yazılım geliştirmesi yapmıştır. Bu modül aracılığıyla şebekenin büyük bir kısmında otonom restorasyon yapılması mümkün kılınmıştır [3]. Bunun yanında, ABD Enerji Bakanlığı tarafından sağlanan Akıllı Şebeke Yatırım Fonu üzerinden dağıtım şirketleri yedi adet kendi kendini iyileştiren şebeke projesi yürütmüştür. Saha uygulamaları 2011 ila 2014 yılları arasında tamamlanmış olan bu projelerde kesintiden etkilenen kullanıcı sayısı ve toplam kesinti süresi parametreleri sırasıyla %45 ve %51 oranlarında azaltılmıştır [4]. Bu uygulamalara ek olarak, haberleşme performansını ve sistem güvenilirliğini optimize etmek amacıyla bir arıza izolasyonu ve yeniden enerjilendirme kontrol şeması önerilmiştir [5]. Benzer bir kontrol şeması, Mısır’da orta gerilim seviyesindeki şebekede uygulanmak üzere tasarlanmıştır. Monte Carlo benzetim metodu tabanlı yapılan güvenilirlik değerlendirmesinde sistem ortalama kesinti süresi endeksinin (SAIDI) %32 azaldığı tespit edilmiştir [6].

Türkiye’de ise; Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK) tarafından sağlanan Ar-Ge fonu ile SEDAŞ “Kendi Kendini İyileştiren Şebeke” projesini başlatmıştır. Proje, farklı sistem mimarileri ile otonom şebeke tasarımlarını geliştirmeyi ve uygulamayı hedeflemektedir.

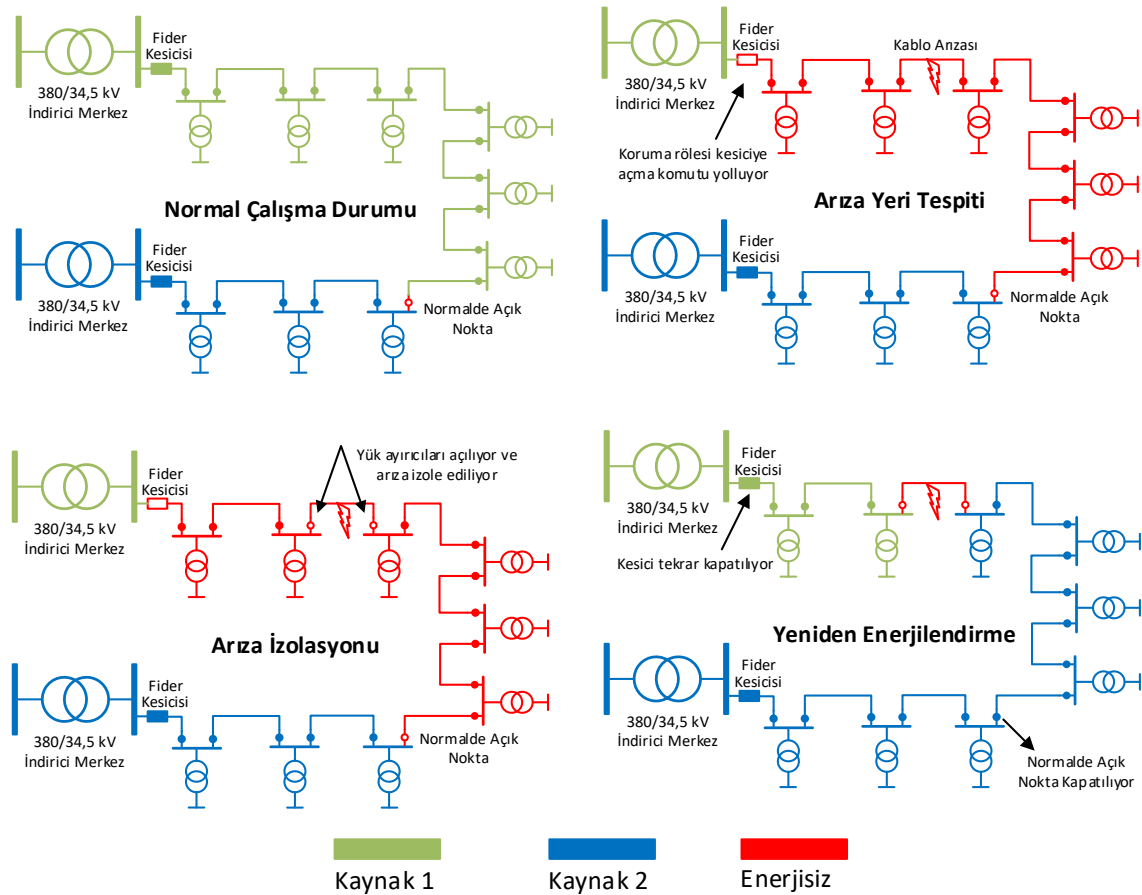
Bu çalışmada, söz konusu proje kapsamındaki çalışmalardan yola çıkarak farklı sistem mimarileri için yapılan değerlendirme ve SEDAŞ sorumluluk alanı içerisindeki pilot bir bölge için durum analizi ayrıntılı bir şekilde anlatılmaktadır. İkinci bölümde, kendi kendini iyileştiren şebekede arıza yönetim sürecine değinilmektedir. Bir arıza oluşması durumunda, otonom sistemin çalışma evreleri ayrıntılı olarak gösterilmektedir. Konvansiyonel arıza yönetim sistemi ile otonom sistemin kesinti sürelerine dair bir karşılaştırma yapılmaktadır. Karar alma noktasının konumu dikkate alınarak yapılan sınıflandırmaya göre sistem mimarisi türleri ve seçilen pilot bölgenin özellikleri üçüncü bölümde ele alınmaktadır. Sonrasında, otonom sistemin güvenilirlik endekslerine olan etkisi, seçilen pilot bölgede 2017 yılında gerçekleşen kesinti bilgilerinden elde edilen bulgular kullanılarak ortaya koyulmaktadır. Kesinti bilgileri, SEDAŞ’ın internet sayfasında yer alan Bilgi Danışma bölümündeki kayıtlardan ulaşılmıştır.

2. Kendi Kendini İyileştiren Şebekede Arıza Yönetim Süreci

Kendi kendini iyileştiren şebeke konsepti, temel olarak akıllı elektronik cihazlar, uzaktan kontrol edilebilir kesiciler/ayırıcılar, otonom restorasyon algoritmalarını yürüten işlemciler ve isteğe bağlı

olarak haberleşme sistemlerinden oluşmaktadır. Bu konseptin ana amacı, dağıtım şebekesindeki arızaların hızlı ve insan müdahalesi olmadan tespit edilmesi, mümkün olan en dar alanda arızanın izole edilmesi ve mümkün olan maksimum sayıda tüketicinin enerji tedarikinin en kısa sürede yeniden sağlanmasıdır. Gelişmiş ölçüm, kumanda ve haberleşme sistemlerinin entegre edilmesiyle oluşturulan otonom özellikteki bu şebeke konseptinde, güç sistemi arızalarına karşı otomatik cevaplar üretilmektedir. Bir arıza durumunda, otonom sisteme ait çalışma evreleri; sistem tarafından arıza noktasının tespit edilmesi, sistemin arızalı kısmını sağlıklı kısımdan ayırmak için arıza izolasyonu ve fiderin sağlıklı kısımlarını yeniden enerjilendirmek için restorasyon manevraları olarak ifade edilebilir.

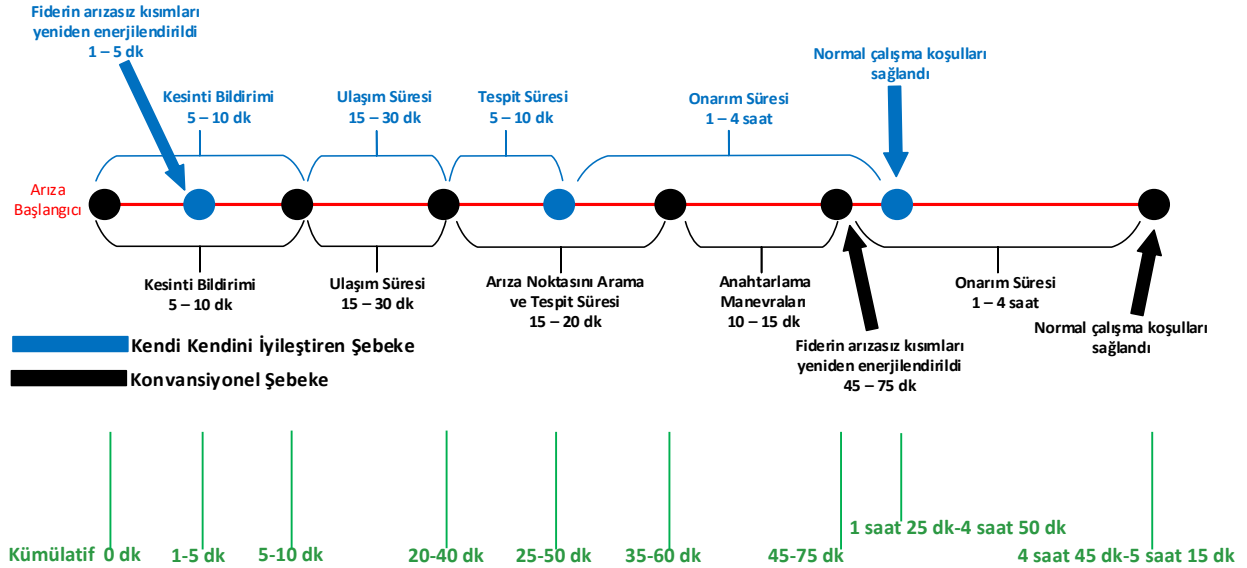
Şekil 1’de, sistemin çalışma evreleri gösterilmiştir. İlk evredeki arıza yerinin tespiti, arıza gösterge cihazları veya koruma rölelerin çıkış kontakları üzerinden elde edilebilmektedir. Arıza yeri tespiti, sorunun kaynağını bulmak ve soruna özgü doğru çözümü geliştirmek bakımından kritik önem teşkil etmektedir. İkinci aşamada, arıza yeri tespit edildikten sonra bu noktaya en yakın kontrol edilebilir anahtarlama elemanları tespit edilerek bu elemanlara açma komutları gönderilmektedir. Devrede bulunan arızalı kısım, sistemin geri kalanından izole edildikten sonra alternatif kaynağa geçiş için tediye noktasındaki kesiciye kapama komutu gönderilmektedir. Böylece, yük aktarımı hazırda bekleyen ikincil kaynağa doğru gerçekleştirilmektedir. Telemetri özelliğine sahip olmayan istasyonlarda, saha ekipleri tarafından yapılan manuel manevralarda bahsedilen arıza izolasyonu ve yeniden enerjilendirme süresi bir saatin üzerine çıkmaktadır. Şebeke topolojisi, coğrafi kısıtlar, personel uygunluğu ve benzeri faktörlere göre değişkenlik gösteren bu süre boyunca aslında arıza bölgesi içerisinde yer almayan müşteriler enerjisiz kalabilmektedir. Son olarak, saha ekibi gerekli çalışmaları yapıp arızayı temizledikten sonra şebekenin optimum çalışma rejimine dönmesi için otonom sistem tarafından anahtarlama komutları gönderilerek ideal topolojiye geri dönülmektedir.



Şekil 1. Otonom sistem çalışma evreleri

Arıza yönetiminin otomatik yapılmasıyla birlikte kesinti sürenin 1-5 dk mertebesine indirilebileceği ifade edilmektedir [7]. Şekil 2’de, konvansiyonel arıza yönetim sistemi ile otonom sistemin karşılaştırıldığı bir diyagram gösterilmiştir.

Kendi kendini iyileştiren şebekelerin bir diğer önemli katkısı da arıza noktasını bulmak için saha ekibi tarafından manevra sayısını azaltmaktır. Konvansiyonel süreçlerde, saha ekipleri dağıtım merkezlerini gezerek anahtarlama noktalarında manevralar yapmakta, koruma sisteminin çalışıp çalışmama durumuna göre arıza noktasını tahmin etmeye çalışmaktadırlar. Ancak deneme-yanılma yöntemi olarak bilinen bu metotta aynı arızanın üzerine çok sayıda kapama yapılmakta, bu nedenle şebekeden geçen kısa devre sayısı çoğaltılmaktadır. Bu yüzden, birçok kez yüksek genlikli kısa devre akımlarına maruz kalan şebeke ekipmanlarının faydalı ömürleri kısalmaktadır. Otonom sistemlerde, deterministik arıza yeri tespiti yapıldığı için bu tür sistemlerin şebeke ekipmanlarının daha az zorlanmasını sağladığı söylenebilir.



Şekil 2. Konvansiyonel arıza yönetim sistemi ve otonom sistemin kesinti süreleri

Bunlara ek olarak, saha ekiplerinin yorucu arıza yeri tespit işlemlerinde bulunmaması iş gücü optimizasyonunu sağlamaktadır. Dağıtım şebekesi acil durum ekiplerinin arıza sonrası faaliyetler yerine önleyici bakım süreçlerine yönlendirilmesine imkan sağlayacak bu iş modeli sayesinde, şebekede meydana gelen arıza sayısı düşürülebilecektir.

3. Kendi Kendini İyileştiren Şebeke Özellikleri ve Bölge Seçimi

3.1. Sistem tasarımı

Kendi kendini iyileştiren şebekelerde temel olarak üç farklı mimari kullanılmaktadır. Bunlar, saha ekipmanlarından toplanan verilerin değerlendirildiği ve bir anahtarlama dizisinin oluşturulduğu karar alma noktasının konumuna göre aşağıda sıralanmıştır:

- Merkezi kontrol sistemi (Centralized Scheme)
- Dağıtık veya yarı-merkezi kontrol sistemi (De-centralized Scheme)
- Noktadan noktaya kontrol sistemi (Peer-Peer Scheme)

Merkezi kontrol sistemi mimarisinde, sistemde oluşan arıza, akıllı elektronik cihazlar (IED: Intelligent Electronic Device) tarafından SCADA yazılımına bildirilmekte ve bu veriler direkt olarak DMS modülüne aktarılmaktadır. Sonrasında, DMS modülü toplanan verileri kullanarak, arızalı bölgenin restorasyonunu tamamlamak için analiz gerçekleştirmekte ve anahtarlama manevralarını oluşturmaktadır. Yapılan analiz, detaylı şebeke bağlantı modeli ile birlikte güç akışı algoritmalarına dayanmaktadır. Böylece restorasyon sonrasında şebekede akım taşıma kapasitesi ve gerilim genliğine dair limitlerde bir aşım oluşması engellenmektedir. Arıza izolasyonu ve yeniden enerjilendirme sürecinin yürütüldüğu bölgenin yüklenme oranına göre restorasyon işlemlerinin karmaşıklık düzeyi değişmektedir. Az yüklü bir bölgede yeniden enerjilendirme için birkaç manevra yeterli olur iken, yüklenme oranı limite yakın bölgelerde çok yönlü/çok katmanlı restorasyon işlemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Dağıtım merkezlerinden toplanan veriler arıza izolasyonu ve yeniden enerjilendirme

merkezine noktadan-noktaya veya noktadan-çoklu noktaya haberleşme yöntemleriyle aktarılmaktadır. Merkezi sistem, her bir dağıtım merkezini ve o dağıtım merkezine bağlı akıllı elektronik cihazları sorguladıktan sonra restorasyon komutlarını yollamaktadır. Bu nedenle, tek bir haberleşme arızasında sistem düzeni inaktif konuma geçebilmektedir [8].

Dağıtık kontrol sistemi mimarisinde, sahada konumlandırılmış uzaktan yönetim birimi (RTU: Remote Terminal Unit) tarafından lojik işlemler yürütülmektedir. Master RTU analiz sonucunda elde ettiği anahtarlama prosedürlerini, sahadaki ilgili IED'lere ve ekipmanlara yollamaktadır. Böylece tek bir merkezi noktadan tüm işlemlerin yönetildiği yapı yerine, birden çok ana RTU'nun kendi bölgesinde arıza izolasyonu ve yeniden enerjilendirme sürecini yönettiği bir yapı oluşturulmaktadır. İşlemsel süreçler, dağıtım veya indirici merkezlerde yürütüldüğü için merkezi kontrol sistemi ile karşılaştırıldığında saha ekipmanlarına olan haberleşme mesafeleri kısaltılabilmektedir. Dağıtık kontrol sistemi mimarilerinde yalnızca hat başında koruma yapılmakta ise arıza durumlarında önemli miktarda yük devre dışı bırakılmaktadır. Çözüm için sahada tekrar kapayıcıların ve ekstra koruma elemanlarının kullanılması durumunda, arıza izolasyonu ve yeniden enerjilendirme süreçleri başlatılmadan önce yerel koruma kararlarının ve aksiyonların tamamlanması gerekmektedir [8].

Noktadan noktaya kontrol sistemi mimarisinde, her bir IED arıza izolasyonu ve yeniden enerjilendirme algoritmalarını gerçekleştirebilmekte ve ana bileşen görevini alabilmektedir. Tasarımda, dağıtık ve merkezi sisteme kıyasla arıza izolasyonu ve yeniden enerjilendirme süreçlerinin tamamlanmaları daha kısa zamanlarda gerçekleşmektedir. Uygulamada bu süreler değişiklik göstermekle birlikte, genellikle dakikalar mertebesinde ziyade saniyeler mertebesinde otonom restorasyon süreci tamamlanmaktadır. Trafo merkezleri arasındaki haberleşme, fider RTU'ları ile sağlanabildiği gibi lojik programlama özelliği bulunan sayısal koruma röleleri üzerinden de sağlanabilmektedir. Özellikle, ethernet ve fiber optik teknolojilerinin gelişmesiyle önem kazanmış olan noktadan noktaya haberleşme mimarisi, 2003 yılında IEC 61850 protokolünün tanımlanmasıyla birlikte yaygınlaşmaya başlamıştır [9].

Kendi kendini iyileştiren şebeke tasarımları, sistem yapısına özgü olarak yukarıda belirtildiği biçimde birtakım avantajları ve dezavantajları barındırmaktadır. Arıza izolasyonu ve yeniden enerjilendirme çalışmalarında şebeke tasarımı seçimi öncelik teşkil etmektedir. Bu seçime kılavuz olması açısından Tablo 1'de merkezi, dağıtık ve noktadan noktaya kontrol topolojileri karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Tablo 1. Sistem tasarımlarının karşılaştırılması

| Mimari Niteliği | Merkezi | Dağıtık | Noktadan Noktaya |
|---|---------|---------|------------------|
| İlk kurulum maliyeti | Yüksek | Orta | Düşük |
| Genişleme maliyeti | Düşük | Orta | Yüksek |
| İzlenebilirlik | Yüksek | Orta | Düşük |
| Otonom restorasyon süresi | Uzun | Kısa | Çok Kısa |
| Topolojik değişikliklere uyarlabilirlik | Kolay | Kısıtlı | Oldukça Kısıtlı |
| Uygulamanın kurulum süresi | Uzun | Kısa | Çok Kısa |
| Bant genişliği gereksinimi | Yüksek | Orta | Düşük |
| Şebeke bağlantı modeli gereksinimi | Detaylı | Orta | Düşük |
| Veri gecikmeleri | Yüksek | Orta | Düşük |

3.2. Pilot uygulama

SEDAŞ sorumluluk alanında bulunan ve yaklaşık 20.000 müşterinin bulunduğu Yahyakaptan bölgesi, pilot uygulama noktası olarak belirlenmiştir. Bölge, SEDAŞ SCADA sistemi tarafından izlenen Türkiye Elektrik İletim A.Ş.'ye (TEİAŞ) ait dört adet indirici trafo merkezi tarafından beslenmektedir. Bu alanda SCADA sistemi ile izlenip kontrol edilecek toplam 67 adet dağıtım merkezi bulunmaktadır. Ayrıca, Kocaeli ilinin merkezi bir noktası olan bu alanda kaymakamlık binası, polis merkezi, hastane, telekomünikasyon santrali ve spor kompleksleri gibi stratejik öneme sahip kritik yükler bulunmaktadır.

Pilot alanda, yer altı ve havai hatların birlikte kullanıldığı açık ring ve radyal fider şebeke topolojileri bulunmaktadır. Uygulama çalışmalarına geçilmeden önce yapılanlar aşağıda özetlenmiştir: Şebekenin optimum çalışma rejimi ve buna uygun olarak sistem topolojisi ve açık noktaları belirlenmiştir.

- Haberleşme bulunmayan stratejik istasyonlara telemetri tesis edilmesi planlanmıştır.
- Modelleme çalışmaları yürütölmüş ve pilot şebeke bilgisayar ortamına aktarılmıştır.
- Arıza senaryoları ve otonom anahtarlama dizileri çıkarılmıştır.
- Her bir senaryo için gerilim düşümü, akım taşıma kapasitesi ve koruma sistemi incelemeleri yapılmıştır.

Sistem ihtiyaçları ve çalışma alanı belirlendikten sonra pilot uygulama için yarı-merkezi kontrol sistemi mimarisinde karar kılınmış ve aşağıda listelenen sistem/donanım gereksinimleri tespit edilmiştir:

- Otonom restorasyon senaryolarının yürütöleceği ana kontrolör,
- Saha cihazlarından veri toplamak ve komutları iletmek için RTU'lar,
- Motorlu kesiciler,
- Ölçü için akım ve gerilim transformatörleri,
- Arıza algılama ve adaptif koruma için sayısal koruma röleleri,
- Yer problemi bulunan kapalı şalt hücreleri için kapasitif/rezistif gerilim bölücüler,
- Haberleşme alt yapısı için gerekli modem ve ethernet switch'ler.

Sistem, arıza izolasyonu ve yeniden enerjilendirme görevini yerine getirebilmek için dağıtım merkezlerini gerçek zamanlı olarak izlemektedir. Bu amaçla, kullanılmakta olan akıllı elektronik cihazlara her bir kesinti senaryosuna göre bir grup koruma değişim sinyali ana kontrolör tarafından gönderilmektedir. Koruma grubu ayarları, pilot bölgenin kısa devre analizi sonuçlarına göre önceden tanımlanmaktadır. Ayrıca, şebeke topolojisi ana kontrolöre önceden tanımlandığından arıza izolasyonu ve yeniden enerjilendirme algoritmasının yürütölmesinden sonra sistemdeki yük akışı yönü normal çalışma koşulları durumundaki ile aynı olmaktadır.

4. Bulgular

Pilot bölgede uygulanacak otonom anahtarlama sinyal prosedürleri farklı arıza durumları için üretilemektedir. Bu prosedürler, ayrıca bir yazılım kullanılarak yük akışı ve kısa devre analizleri ile doğrulanmaktadır. Bölgedeki trafo merkezlerinden senelik bazda elde edilen akım ölçümleri bir eş-zamanlılık faktörü ile değerlendirilip pilot bölgenin maksimum talep gücü hesaplanmaktadır. Analiz sonuçlarına göre, aşırı yüklenme durumunda primer ring hatlarda bir aşırı yüklenme oluşmamaktadır. İndirici trafo merkezlerinde de aşırı yüklenme görülmediği gibi, her bir arıza senaryosu için uygun bir anahtarlama prosedürü üretilebilmektedir.

Arıza izolasyonu ve yeniden enerjilendirme sisteminin kesinti süresine olan etkisini değerlendirebilmek için gerçek verilerin ve bir kısım varsayımların kullanıldığı bir hesaplama yapılmıştır. Ortalama kesinti süresi ve her bir fiderdeki kesinti sayısı SCADA/DMS-OMS'den temin edilmiştir. Her bir fiderdeki tüketici sayısı da birbirlerine entegre edilmiş olan SCADA/DMS-OMS, Coğrafi Bilgi Sistemi (GIS) ve Müşteri Bilgi Sistemi ile bilinmektedir.

Mevcut durumda geleneksel SAIDI [10]:

$$SAIDI = \frac{\sum(r_i * N_i)}{N_T} \quad (1)$$

olarak bilinmektedir. Burada;

r_i : yeniden enerjilendirme süresini (dakika),

N_i : kesintiye maruz kalan toplam tüketici sayısını,

N_T : toplam tüketici sayısını ifade etmektedir.

Arızaların %80'inin geçici olduğu varsayımıyla, pilot bölgedeki tüketici başına düşen kesinti süresinde sağlanan iyileşme hesaplanmıştır [6,11]. Pilot bölgedeki çalışma sonrası $SAIDI_{restorasyon}$ değerini belirlemek için aşağıdaki formöl kullanılmıştır.

$$SAIDI_{restorasyon} = \frac{\sum(r_i * N_i * (1 - k)) + \sum(r_r * N_i * k)}{N_T} \quad (2)$$

Burada;

k : restorasyon fonksiyonlarından fayda sağlayan kullanıcı sayısı

r_r : 3 dk (hedeflenen)

Tablo 2. Pilot bölge için 2017 yılındaki kesinti bilgileri

| Toplam Süre (dakika) | Fider başına ortalama müşteri sayısı (adet) | Müşterinin maruz kaldığı kesinti süresi (dakika) |
|----------------------|---|--|
| 358.892 | 5.929 | 61 |
| 3.510.716 | 26.547 | 132 |
| 1.782.963 | 16.021 | 111 |
| 1.179.200 | 3.947 | 299 |
| 358.378 | 1.839 | 195 |
| 8.467 | 155 | 55 |
| 26 | 1 | 26 |
| 3.868.544 | 6.366 | 608 |
| 1.817.259 | 7.449 | 244 |
| 40.520 | 1.219 | 33 |
| 11.081 | 548 | 20 |
| 2.184.673 | 5.569 | 392 |
| 378.000 | 6.965 | 54 |
| 42.237 | 7.184 | 6 |
| 756.911 | 9.354 | 81 |
| 634.142 | 24.950 | 25 |
| 571.526 | 5.351 | 107 |
| 704.783 | 21.326 | 33 |

Tablo 3. Otonom sistem uygulandıktan sonra pilot bölgedeki oluşacak kesinti bilgileri

| Faydalanan müşteri sayısı | Faydalanamayan müşteri sayısı | Faydalanan kesinti süresi | Toplam kesinti süresi | Müşterinin maruz kaldığı kesinti süresi |
|---------------------------|-------------------------------|---------------------------|-----------------------|---|
| 4.743 | 1.186 | 14.229 | 86.575 | 15 |
| 21.238 | 5.309 | 63.714 | 764.502 | 29 |
| 12.817 | 3.204 | 38.451 | 394.095 | 25 |
| 3.158 | 789 | 9.474 | 245.385 | 62 |
| 1.471 | 368 | 4.413 | 76.173 | 41 |
| 124 | 31 | 372 | 2.077 | 13 |
| 1 | 0 | 3 | 3 | 3 |
| 5.093 | 1.273 | 15.279 | 789.263 | 124 |
| 5.959 | 1.490 | 17.877 | 381.437 | 51 |
| 975 | 244 | 2.925 | 10.977 | 9 |
| 438 | 110 | 1.314 | 3.514 | 6 |
| 4.455 | 1.114 | 13.365 | 450.053 | 81 |
| 5.572 | 1.393 | 16.716 | 91.938 | 13 |
| 5.747 | 1.437 | 17.241 | 25.863 | 4 |
| 7.483 | 1.871 | 22.449 | 174.000 | 19 |
| 19.960 | 4.990 | 59.880 | 184.630 | 7 |
| 4.281 | 1.070 | 12.843 | 127.333 | 24 |
| 17.061 | 4.265 | 51.183 | 191.928 | 9 |

Tablo 2, SEDAŞ'ın 2017 yılı için internet sitesinde paylaştığı kesinti bilgilerinden sadece pilot bölge ile ilgili verileri göstermektedir [12]. 2017 yılı verilerinden elde edilen SAIDI yaklaşık 121 dk ve ortalama kesinti sıklığı endeksi (SAIFI) 6 olarak belirlenmiştir. Arıza izolasyonu ve yeniden enerjilendirme sistemi ile hedef, anahtarlama işlemlerinin 3 dk'nın altında bir sürede tamamlanmasıdır. Pilot bölgedeki çalışma sonrası elde edilen veriler ise Tablo 3'te gösterilmektedir. Restorasyon çalışması sonrası SAIDI değeri 27 dk olarak hesaplanmıştır.

5. Sonuç ve Öneriler

Dağıtım şebekelerindeki tedarik sürekliliğini iyileştirme motivasyonunun düzenleyici kurumlar tarafından artırılması ile kendi kendini iyileştiren şebekelerin hem ulusal hem de uluslararası çapta yaygınlaşması beklenmektedir. Kendi kendini iyileştiren şebeke mimarileri, tasarım ve analiz

alışmalarına dair bilgi birikiminin oluşturulmasıyla pilot uygulamaların önünün açılacağı öngörölmektedir.

SEDAŞ, bahsedilen konsepti kanıtlamak, müşteri memnuniyeti ile tedarik sürekliliğini daha iyi hale getirmek ve gelişmiş dağıtım otomasyon sistemleri alanında deneyim sahibi olmak için Türkiye’de yapılacak ilk otonom şebeke projesine öncölük etmiştir. Bu alışma, kendi kendini iyileştiren şebeke mimarilerinin karşılaştırılmasını, gerçek şebeke bilgileri kullanılarak yapılan simölasyon tabanlı bir durum analizini ve önerilen arıza izolasyonu/yeniden enerjilendirme sisteminin ortalama kesinti süresine olan etkisini kapsamaktadır. Bu amaçla, Kocaeli’nin Yahyakaptan bölgesinde yaklaşık 20000 müşterinin bulunduğu bir alan, pilot bölge olarak seçilmiştir. Kaymakamlık binası, polis merkezi, hastane, telekomünikasyon santrali ve spor kompleksleri gibi stratejik öneme sahip kritik yükler ile yer altı ve havai hatların birlikte kullanıldığı açık ring ve radyal fider şebeke topolojilerinin bu alanda bulunması bölgenin pilot uygulamanın yapılacağı alan olarak seçilmesinde etkili olmuştur. Sistemin devreye girmesinin ardından yapılan tahminlerde müşteri başına ortalama kesinti süresinin 27dk olarak belirlenmesi ile bu sürenin yaklaşık %78 düşeceği öngörölmektedir. Özellikle, kesintilerle en fazla karşılaşılan yaz aylarında bu sistemin daha fazla devreye girip çıkararak elektrik enerjisine ihtiyacın çok olduğu dönemlerde katkıda bulunacağı düşünölmektedir.

Kendi kendini iyileştiren şebekeler ile birlikte arıza yönetim süreçlerinden insan faktörünün çıkarılması sonucunda müşterilere hızlı enerji verebilecek ve kesintilerin getirdiği sosyal ve finansal kayıplar minimize edilecektir. Ancak, insan faktörünün devreden çıkarılmasıyla beraber İş Sağlığı ve Güvenliği (İSG) süreçlerinin yenilenmesi ve bu çalışma tipi için gerekli güvenlik aksiyonlarının planlanması gerekecektir. Bu güvenlik aksiyonlarının, hem yazılımsal kilitlemeler hem otomasyon noktalarındaki kilitlemeler hem de saha prosedürleri başlıklarında ele alınması önerilmektedir.

Bu konu ile ilgili bir başka kısıt ise personel yeterliliği olarak değerlendirilmektedir. Sistemin ayakta kalmasını sağlamak, olası problemleri çözmek ve yeni şebeke bileşenlerini sisteme entegre etmek için kalifiye otomasyon mühendislerine ve teknisyenlere ihtiyaç duyulmaktadır. Dolayısıyla kendi kendini iyileştiren şebekeye dair uygulamalı eğitimlerin düzenlenmesi ve personel uzmanlık seviyesinin artırılması tavsiye edilmektedir.

Teşekkür

Bu alışma, EPDK tarafından desteklenen “Uygun Anahtarlama Operasyonları ile Kendi Kendini İyileştiren (Self-Healing) şebekeye Geçiş” projesi kapsamında gerçekleştirilmiştir (Proje no: 01-17-15).

Yazarların Katkısı

Çalışmada tüm yazarlar eşit oranda katkı sunmuştur.

ıkar atışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar atışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada, araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar

- [1] Coster E., Oirsouw P.V., Lava J., Parabirsing E. 2013. Automated analysis of distribution grid protective schemes. 22nd International Conf. and Exhibition on Electricity Distribution, pp.1-4, Stockholm.
- [2] Coster E., Kerstens W.C.M., Schroedel O. 2014. Implementation of an automatic FLIR-scheme in a 20 kV distribution grid. 12th IET International Conf. on Developments in Power System Protection, pp.1-6, Copenhagen.
- [3] Marti J., Gutierrez J., Gabriel E., Richter C., Beiglboeck E., Moise V. 2011. Automatic Isolation and Restoration. 11th Electric Power Center Conf., Altea, Spain.

- [4] Tarhuni N.G., Elkalashy N.I., Kawady T.A., Lehtonen M. 2015. Autonomous control strategy for fault management in distribution networks, *Electric Power System Research*, 12: 252-259.
- [5] U.S. Department of Energy. 2014. Fault location, isolation, and service restoration technologies reduce outage impact and duration, *Smart Grid Investment Grant Program*, USA.
- [6] Elkadeem M.R., Alaam M.A., Azmy A.M. 2016. Optimal automation level for reliability improvement and self-healing MV distribution networks, *18th International Middle East Power Systems Conference*, pp.206-213, Cairo.
- [7] Agüero J.R. 2012. Applying self-healing schemes to modern power distribution systems, *IEEE Power and Energy Society General Meeting*, pp.1-4, San Diego, CA.
- [8] Tutvedt K.A., Seguin R., Kjolle G., Simonsen S., Hermansen T.S., Myhr I. 2017. Smart fault handling in medium-voltage distribution grids, *24th International Conf. & Exhibition on Electricity Distribution*, pp.1471-1474, Glasgow.
- [9] Yip T., Wang J., Xu B., Fan K., Li T. 2017. Fast self-healing control of faults in MV networks using distributed intelligence. *24th International Conf. & Exhibition on Electricity Distribution*, Glasgow, Scotland, pp.1131-1133.
- [10] IEEE Power Engineering Society IEEE 1366. 2012. *IEEE Guide for Electric Power Distribution Reliability Indices*.
- [11] Hasançebi G., Yeğın E.M., Karaarslan K. 2018. Status determination of fault characteristics in medium voltage power distribution system, *Journal of Engineering Research and Applied Science*, 7 (2): 980-983.
- [12] SEDAŞ. 2018. https://www.sedas.com/tr-tr/Bilgi_Danisma/Pages/Tablo1.aspx (Erişim Tarihi: 02.03.2019)

Araştırma Makalesi / Research Article

Nonlinear Behavior of Beams Having Initially Small Imperfection Subjected to Sinusoidal Load

Ayfer TEKİN ATACAN*, Receb Faruk YÜKSELER

*Yildiz Technical University, Department of Civil Engineering, İstanbul
(ORCID: 0000-0001-8161-1345) (ORCID: 0000-0002-2733-580X)*

Abstract

In the present study, the buckling and postbuckling behaviors of beams having initially small sinusoidal imperfection with pinned ends subjected to sinusoidal loading are examined by using Euler-Bernoulli beam theory. The governing differential equations of the geometrically nonlinear problem consisting of the equilibrium equations, kinematical equations and the constitutive equations are converted into algebraic equations via the finite differences and solved numerically by using the Newton-Raphson method. The values of buckling loads and buckling deflections are determined by drawing load-deflection curves. The effect of the initial imperfection on the buckling values is investigated. It is seen that as the value of the small initial imperfection is increased, the buckling force is increased and buckling deflection is decreased. Unlike previous studies on the subject, the diagrams of the deformed shapes of the beam having initially small imperfection as well as the diagrams of the internal forces at various stages of the deformation including the prebuckling, buckling and postbuckling states are presented for various values of the initial imperfection.

Keywords: Snap-through instability, initially imperfect beam, nonlinear equation, finite differences method, buckling.

Sinüzoidal Yük Etkisindeki Küçük İlkel Kusurlu Kirişlerin Doğrusal Olmayan Davranışı

Öz

Bu çalışmada; sinüzoidal yüke maruz, uçları sabit mesnetli, başlangıçta küçük sinüzoidal kusura sahip kirişlerin burkulma ve burkulma sonrası davranışları Euler-Bernoulli kiriş teorisi kullanılarak incelenmiştir. Denge denklemleri, kinematik denklemler ve bünye denklemlerini içeren, geometrik olarak doğrusal olmayan problemin yönetici diferansiyel denklemleri, sonlu farklar yöntemi ile cebirsel denklemlere dönüştürülmüş ve Newton-Raphson yöntemi kullanılarak sayısal olarak çözülmüştür. Burkulma yükleri ve burkulma çökmelerinin değerleri, yük-çökme eğrileri çizilerek belirlenmiştir. İlkel kusurun burkulma değerleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Küçük ilkel kusurun değeri arttıkça, boyutsuz burkulma yükünün arttığı ve boyutsuz burkulma yer değiştirmesinin azaldığı görülmüştür. Konuyla ilgili daha önceki çalışmalardan farklı olarak; başlangıçta sinüzoidal ilkel kusurlu kirişlerin, şekil değiştirmenin çeşitli aşamalarındaki elastik eğri diyagramlarının yanı sıra; burkulma öncesindeki, burkulma sırasındaki ve burkulma sonrasında durumlarına karşı gelen kesit tesirlerinin diyagramları ilkel kusurun çeşitli değerleri için sunulmuştur.

Anahtar kelimeler: Vurgu tipi stabilite, ilkel kusurlu kiriş, doğrusal olmayan denklem, sonlu farklar yöntemi, burkulma.

1. Introduction

The postbuckling behavior is an important phenomenon to investigate initially imperfect beams (or curved beams or arches) basing on their snap-through motion. Curved beams which have different

*Corresponding author: atekin@yildiz.edu.tr
Received: 17.07.2019, Accepted: 18.10.2019

mechanical behavior than the straight ones can resist both axial compression and bending actions.

They were frequently used in microelectromechanical system (MEMS) devices such as switches, sensors and actuators. Experimental and numerical results of the snap-through instability in MEMS based applications were presented in [1-5].

There were numerous studies investigating snap-through buckling for various beam geometries and loading conditions. For example, Bradford et al. [6] studied analytically in-plane elastic stability of both pin-ended and fixed circular arches subjected to a central concentrated load; Chen et al. [7] found exact static and dynamic buckling loads for a pinned sinusoidal arch under a point force at the midpoint; Moon et al. 2007 [8] examined pinned shallow parabolic arches under a vertically distributed load to evaluate the buckling load; Hu et al. [9] investigated buckling and postbuckling of parabolic arches under a uniform vertical load; Fung and Kaplan [10] analyzed the buckling problem of pinned shallow arches of various initial imperfections (parabolic, half-sine, circular, etc.), and spatial distributions of the lateral load. Simites and Hodges [11] gave a model for snapping of shallow pinned arches resting on an elastic foundation.

There have been a few studies that show the diagrams of the deformed shapes and the internal forces of the curved beams regarding the prebuckling, buckling and postbuckling states. Luu and Lee [12] presented a study on the buckling and postbuckling behaviors of elliptical curved beams subjected to a central concentrated vertical load and illustrated the deformed shapes of the semi-elliptical curved beam at various stages during the loading. Ning Lui et al. [13] gave a brief study in order to see snap-through behaviors of toggle frames subjected to various types of thermal and mechanical loads including localized heating. They showed the deformation process of toggles at various stages during the snap-through process. Tsiatas and Babouskos [14] studied the linear and geometrically nonlinear problem of non-uniform shallow arches under a central concentrated force. They determined the value of the buckling load for the given parameters and presented the normal displacement, the axial force, the shear force and the bending moment diagrams corresponding to the loads which were equal, smaller and larger than the buckling load.

In this study, snap-through analyses of pinned beam having initially sinusoidal small imperfection under sinusoidal loading are considered. The governing differential equations of the geometrically nonlinear problem are converted into algebraic equations via the finite differences and solved numerically by using the Newton Raphson method. The load-deflection curves corresponding to various amplitudes of the imperfection are drawn and the buckling values are determined. The diagrams of the deformed shapes and the diagrams of the internal forces of the beam having initially sinusoidal small imperfection corresponding to the various stages of the loading including the prebuckling, buckling and postbuckling states are drawn.

2. Formulation of the Problem

Geometric initial imperfections are among the main factors affecting the stability of structural systems and in fact, no element is perfect. Many structural elements may get initial geometric imperfections during their manufacturing and/or transporting processes. Therefore, a small geometric imperfection is initially added to the beam in order to examine the effect of the probable initial imperfection on the buckling problem of the structural element. In this study, the initially small imperfection is idealized to be in a sinusoidal form. Figure 1 shows an elastic pin-ended beam having initially small imperfection subjected to a sinusoidal loading. The initial deflection (imperfection) of any point of the beam is denoted by,

$$w_0(x) = \delta \sin\left(\frac{\pi x}{L}\right). \tag{1}$$

The height of the midpoint of the beam having initially small imperfection before the deformation is denoted by δ . The horizontal distance between the two pinned supports is indicated by L . The expression of the sinusoidal distributed load is as follows:

$$q(x) = q_0 \sin\left(\frac{\pi x}{L}\right). \tag{2}$$

Here, q_0 indicates the magnitude of the distributed load at $x = L / 2$.

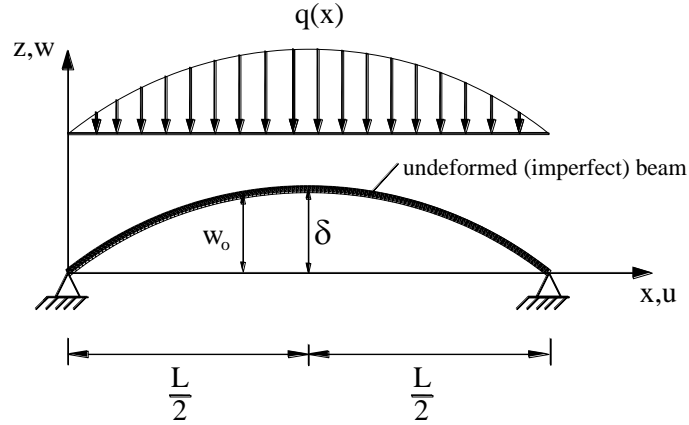


Figure 1. A half-sine pinned beam having initially sinusoidal small imperfection under half-sine loading acting along the entire span

The Euler-Bernoulli hypothesis is used in this study. According to this hypothesis, the kinematical equations are as follows:

$$\varepsilon_{xx} = \varepsilon^0 - z \bar{\kappa}, \quad \varepsilon_{zz} = \gamma_{xz} = 0, \tag{3}$$

where ε_{xx} is the normal strain at any material point located at point z from the neutral surface, ε_{zz} is the strain of the z direction, γ_{xz} is the shear strain, ε^0 is the neutral axis strain, $\bar{\kappa}$ is the change in curvature which are defined as

$$\varepsilon^0 = u_{,x} + \frac{1}{2}(w_{,x})^2 - \frac{1}{2}(w_{0,x})^2, \quad \bar{\kappa} = \bar{w}_{,xx}. \tag{4}$$

Here; u is the axial displacement, w shows the final position of the deformed beam in the z direction, which is composed of two parts, namely, the initial deflection w_0 owing to the initial imperfection and the vertical deflection \bar{w} due to the pure bending. The final rotation angle $\varphi(x)$ is the sum of the rotation $\varphi_0(x)$, due to the initial imperfection, and $\bar{\varphi}(x)$ caused by the pure bending. The relationship between deflection and rotation is

$$\varphi = w_{,x}. \tag{5}$$

The equations of equilibrium can be derived as

$$-V_{,x} + q = 0, \tag{6}$$

$$-M_{,x} + V + N(\varphi_0 + \bar{\varphi}) = 0, \tag{7}$$

$$N_{,x} = 0 \tag{8}$$

where M is the bending moment, N is the normal force and V is the effective shear force (composed of the summation of the shear force Q known from the elementary theory, shown in Figure 2, and the projection of the normal force in the vertical direction, which can be verified through the variational calculus or through the free body diagram of a deformed element). It can be emphasized that the normal force N can be assumed to be constant throughout the initially imperfect beam due to being shallow of the initially imperfect beam and it is equal to the horizontal support reaction H .

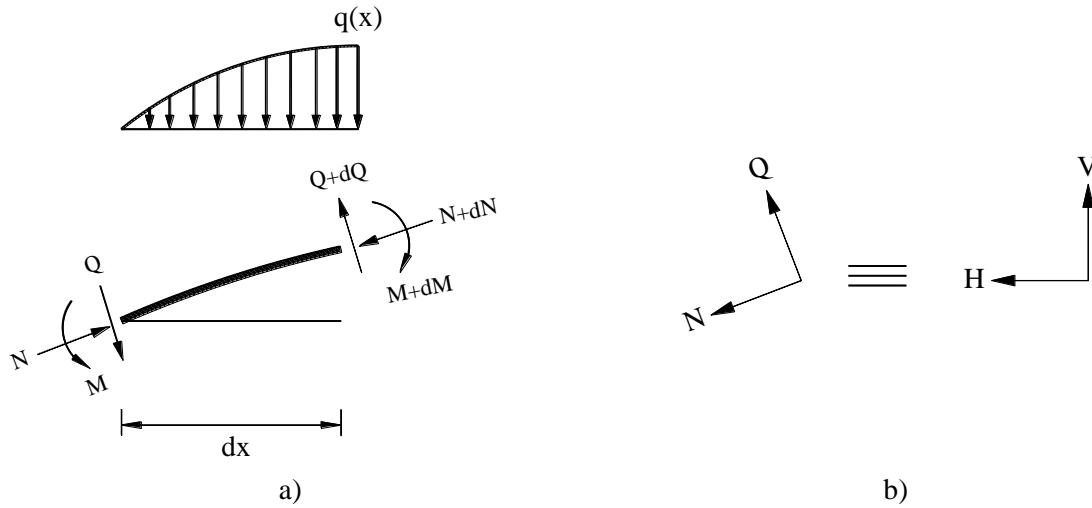


Figure 2. a) Internal forces on a differential arc-element, b) equivalent forces

Assuming that the strains are very small, the constitutive relation is

$$\sigma_{xx} = E \varepsilon_{xx} \tag{9}$$

where σ is the normal stress and E is the modulus of elasticity.

The normal force and the bending moment can be expressed as

$$N = \int_A \sigma dA, \tag{10}$$

$$M = \int_A z \sigma dA, \tag{11}$$

respectively. Using Eqs. (3)-(4), (8)-(10) and considering that horizontal deflections of pinned ended are zero, $u(0) = u(L) = 0$, the following expression for the normal force can be obtained as

$$N = \frac{EA}{2L} \int_0^L (\varphi_0^2 - \varphi^2) dx = H \tag{12}$$

where A is the cross-sectional area. Using Eqs. (3)-(4), (9), (11), the following constitutive equation for the bending moment can be obtained as

$$M = -EI \bar{\varphi}_{,x}. \tag{13}$$

where I is the moment of inertia. The boundary conditions for the concerning problem can be introduced as follows:

$$\bar{w}(0) = \bar{w}(L) = 0, M(0) = M(L) = 0. \tag{14}$$

For convenience, nondimensional parameters with asterisks can be introduced as

$$x^* = \frac{\pi x}{L}, r^2 = \frac{I}{A}, \varphi^* = \left(\frac{L}{\pi r}\right) \varphi, w_0^* = \frac{w_0}{r}, \bar{w}^* = \frac{\bar{w}}{r}, \delta^* = \frac{\delta}{r},$$

$$q^* = \frac{q}{EI r} \left(\frac{L}{\pi}\right)^4, H^* = \frac{H}{EI} \left(\frac{L}{\pi}\right)^2, V^* = \frac{V}{EI r} \left(\frac{L}{\pi}\right)^3, M^* = \frac{M}{EI r} \left(\frac{L}{\pi}\right)^2,$$

$$w_0^* = \delta^* \sin(x^*) \quad (0 \leq x^* \leq \pi), q^* = q_0^* \sin(x^*) \quad (0 \leq x^* \leq \pi) \tag{15}$$

where r is the radius of gyration of the cross section. Eqs.(5)-(7), (12)-(13) can be arranged in terms of the nondimensional parameters, as

$$\bar{\varphi}^* = \frac{d\bar{w}^*}{dx^*}, \tag{16}$$

$$q^* = \frac{dV^*}{dx^*}, \tag{17}$$

$$\frac{dM^*}{dx^*} = V^* + H^*(\bar{\varphi}^* + \varphi_0^*), \tag{18}$$

$$M^* = -\frac{d\bar{\varphi}^*}{dx^*}, \tag{19}$$

$$H^* = \frac{1}{2\pi} \int_0^\pi (\varphi_0^{*2} - \varphi^{*2}) dx^*. \tag{20}$$

Using Eqs.(14), the nondimensional boundary conditions can be rewritten as

$$\begin{aligned} \bar{w}^*(0) = \bar{w}^*(\pi) = 0, \\ M^*(0) = M^*(\pi) = 0. \end{aligned} \tag{21}$$

3. Solution Method

The ordinary differential equations given in Eqs.(16)-(19) are converted into nonlinear algebraic equations by means of the finite differences method. For this purpose, equally-spaced n nodes along the span are used. Thus, the span of the initially imperfect beam is divided equally into $(n-1)$ finite pieces, where the step size is given as Δx^* . There are four unknowns at each node i ; namely \bar{w}_i^* , $\bar{\varphi}_i^*$, V_i^* , M_i^* . In addition, horizontal support reaction H^* is not known. Thus, when n points are considered, there are totally $(4n - 1)$ unknowns in the system.

In this study, the first-order forward difference formula with respect to x^* is used for each node i except for the last node:

$$\left(\frac{dg}{dx^*}\right)_i = \frac{g_{i+1} - g_i}{\Delta x^*} + O(\Delta x^*) \quad i = 1, 2, \dots, (n-1) \tag{22}$$

where g is any unknown of the problem. O denotes the order of the truncation error [15]. The truncation error can be noted to be decreased as the number of nodes is increased.

Using Eq.(21) for the derivatives in Eqs.(16)-(19), the corresponding set of nonlinear algebraic equations is, then, obtained as

$$f_{1_i} = 0 = \Delta x^* \bar{\varphi}_i^* - (\bar{w}_{i+1}^* - \bar{w}_i^*), \tag{23}$$

$$f_{2_i} = 0 = \Delta x^* q_i^* \sin(x_i^*) - (V_{i+1}^* - V_i^*), \tag{24}$$

$$f_{3_i} = 0 = \Delta x^* H^*(\bar{\varphi}_i^* + \varphi_{0_i}^*) + \Delta x^* V_i^* - (M_{i+1}^* - M_i^*), \tag{25}$$

$$f_{4_i} = 0 = \Delta x^* M_i^* + (\bar{\varphi}_{i+1}^* - \bar{\varphi}_i^*) \tag{26}$$

for each i where $i = 1, 2, \dots, (n-1)$. Additionally,

$$f_5 = 0 = H^* + \frac{\Delta x^*}{2\pi} \left[\frac{(\bar{\varphi}_1^{*2} + 2\bar{\varphi}_1^* \varphi_{0_1}^*)}{2} + (\bar{\varphi}_2^{*2} + 2\bar{\varphi}_2^* \varphi_{0_2}^*) + (\bar{\varphi}_3^{*2} + 2\bar{\varphi}_3^* \varphi_{0_3}^*) + \dots + (\bar{\varphi}_{(n-1)}^{*2} + 2\bar{\varphi}_{(n-1)}^* \varphi_{0_{(n-1)}}^*) + \frac{(\bar{\varphi}_{(n)}^{*2} + 2\bar{\varphi}_{(n)}^* \varphi_{0_{(n)}}^*)}{2} \right] \tag{27}$$

can be written by using Eq.(20) and the trapezoidal rule. The nonlinear algebraic equations, Eqs.(23-27), together with the boundary conditions (21) can be expressed in compact form as

$$\mathbf{A} \Delta \mathbf{y} = \mathbf{b} \tag{28}$$

where \mathbf{A} is the Jacobian matrix, $\Delta \mathbf{y}$ is the correction vector, and \mathbf{b} is the right hand side vector. The matrix equation (28) can be solved numerically by using the Newton-Raphson method [16]. The number of equations can be checked to be equal to the number of unknowns.

Due to the convergence problem known to be occurring in the vicinity of the point where the slope of the force-deflection curve is zero [17-19], the rotation at the n th point, $\bar{\varphi}_n^*$, is chosen to be removed from the unknown (state) vector and used in the input data, instead of q_0^* . q_0^* is put into the state vector as an unknown, in place of $\bar{\varphi}_n^*$. If the value of $\bar{\varphi}_n^*$ is taken to be zero, then the state vector will be equal to zero vector. If a small increment is given to $\bar{\varphi}_n^*$, then the zero vector for the correction vector becomes a reasonable initial estimate for the Newton-Raphson iterations. While obtaining solutions for the subsequent increments of $\bar{\varphi}_n^*$, the solution vector corresponding to the previous value of $\bar{\varphi}_n^*$ is used as the initial estimate. In this way, by using the Newton-Raphson method, convergence could be achieved for the solution vector corresponding to the various values of $\bar{\varphi}_n^*$. The computer program used in the numerical calculations is generated by the authors.

4. Numerical Results and Interpretation

In this section, the buckling and postbuckling behavior of the beam having initially small sinusoidal imperfection under sinusoidal loading is analyzed numerically. The value of the sinusoidal external load at the center of the arch q_0^* , the horizontal support reaction H^* , the deflections \bar{w}_i^* , effective shear forces V_i^* and bending moments M_i^* at each node i of the initially imperfect beam corresponding to the selected values of the nondimensional initial imperfection parameter before the deformation δ^* are computed.

Comparing the values of the buckling loads determined by the computer program prepared in the present study for $\delta^* = 3$ with those of Mortazavi et al. [20], who considered different sets of governing equations and boundary conditions (obtained via a variational analysis) and used the finite difference method and a control algorithm; 81 nodes are seen to be sufficient for correct results. The equilibrium paths of a sinusoidal initially imperfect beam with $\delta^* = 3$ under the sinusoidal loading corresponding to the present study and Ref. [20], shown in Figure 3, are observed to be very close to each other. Mortazavi et al. [20] verified their very rigorous study by comparing their results with those of an analytical study [11].

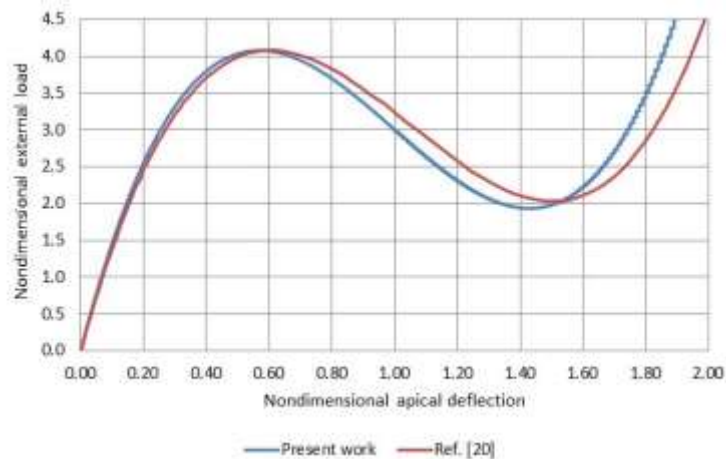


Figure 3. Comparison of the equilibrium paths

Figure 4 shows the typical snap-through behaviors for the values of $\delta^* = 3$ and $\delta^* = 3.6$. The point A corresponds to the initial configuration. The peak point C corresponds to the buckling load, and the corresponding deflection is called the buckling deflection. As can be seen in the Figure 4a and 4b by increasing the initial imperfection parameter, the buckling load is increased, but the buckling deflection is decreased. The equilibrium configurations between A and C are always stable. Once the load reaches the peak value at C, the system suddenly jumps to the position G [21]. Although the equilibrium configurations between C and E are unstable, the equilibrium configurations between E and G indicate to the second stable equilibrium conditions. In the stable regions, the external force is increased as the midpoint deflection is increased and vice versa in the unstable region. As shown in Figure 4, in snap-through behavior, under the same load; the apical deflections of C and G (or B, D and F) are quite different from each other.

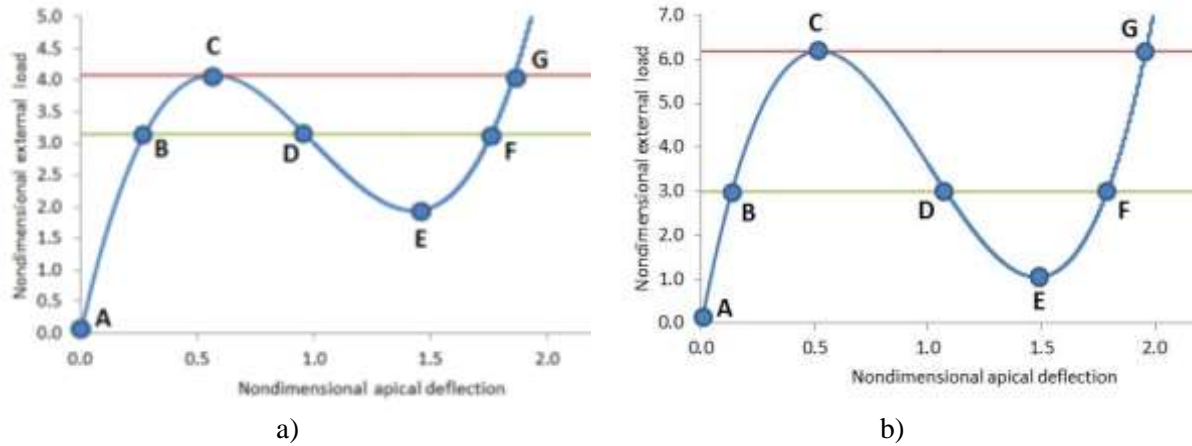


Figure 4. The various stages of the equilibrium paths for a) $\delta^* = 3$, b) $\delta^* = 3.6$

Figure 5 demonstrates the nondimensional external load versus the nondimensional horizontal support reaction. The letters in Figure 5 relate to those shown in Figure 4. The horizontal support reaction is increased by increasing the external load up to the point C, as indicated. However, after passing the point E, the horizontal support reaction is decreased as the external force is increased. Figures 5a and 5b show that as the initial imperfection parameter is increased, the support reaction corresponding to the buckling load is increased.

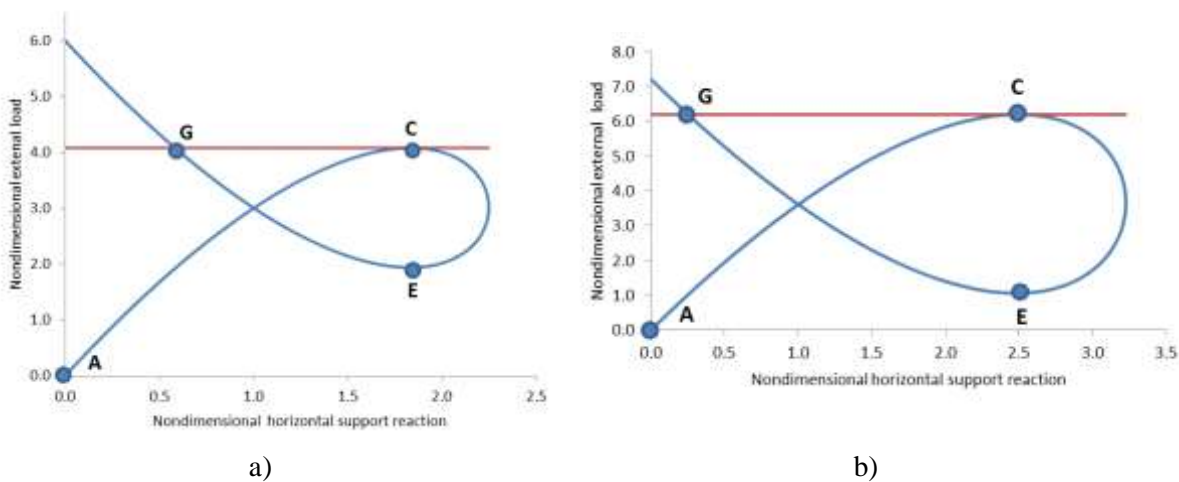


Figure 5. External load versus horizontal support reaction diagrams for a) $\delta^* = 3$, b) $\delta^* = 3.6$

Figure 6 represents the undeformed and deformed configurations of the initially imperfect beam corresponding to the various stages of the deformation (shown in Figure 4) for $\delta^* = 3$ and $\delta^* = 3.6$. The elastic curve indicated by A belongs to the undeformed beam. The elastic curve B corresponds to the

behavior in the first stable region between A and C, given in Figure 4. The elastic curve C corresponds to the buckling. The elastic curve D presents the behavior in the unstable region between C and E, shown in Figure 4. The elastic curve E corresponds to the deflection at the second limit point. The elastic curves corresponding to the point F and the point G show the behavior in the second stable equilibrium configurations, respectively.

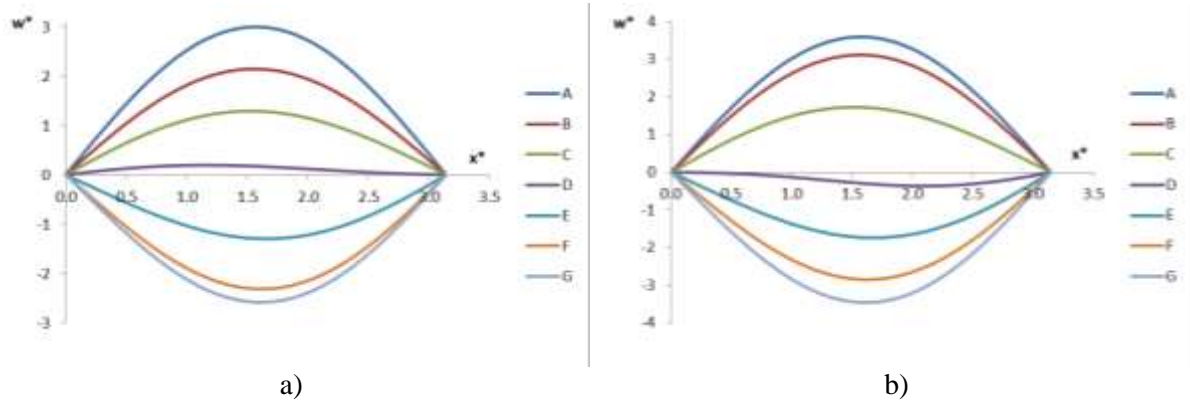


Figure 6. Initial and deformed shapes at various stages of loading for a) $\delta^* = 3$, b) $\delta^* = 3.6$

Figure 7 demonstrates the bending moment diagrams corresponding to the various stages of the deformation, stated in Figure 4, for $\delta^* = 3$ and $\delta^* = 3.6$. In Figure 7, the absolute values of the bending moments are increased with the increase in the values of the apical deflections. The absolute values of the bending moment corresponding to the various stages of the deformation are increased as the initial imperfection parameter is increased.

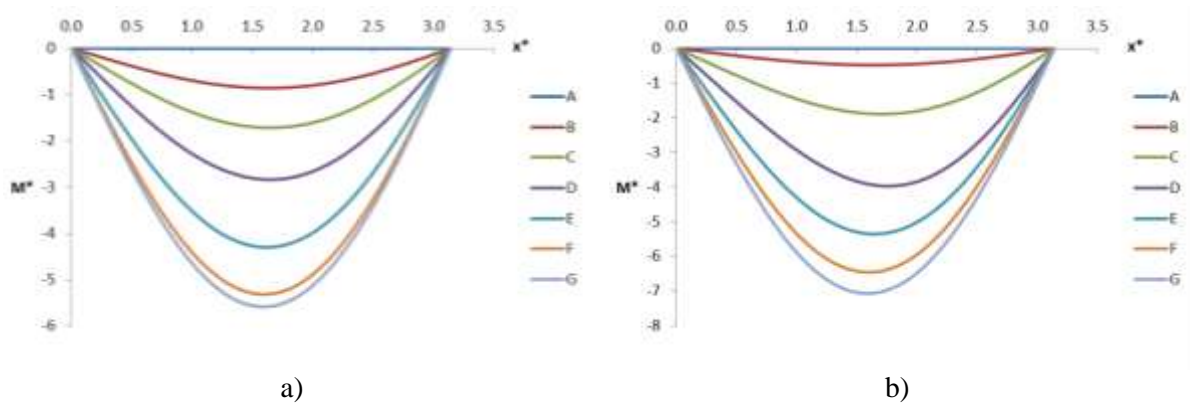


Figure 7. The bending moment diagrams corresponding to the various stages of the deformation for a) $\delta^* = 3$, b) $\delta^* = 3.6$

Figure 8 shows the effective shear force diagrams corresponding to the various stages of the deformation, stated in Figure 4, for $\delta^* = 3$ and $\delta^* = 3.6$. The effective shear force diagrams overlap on the C-G and B-D-F stages as the values of external load are same at these stages. Since the loading and support conditions are symmetrical, the diagrams pass through zero in the mid-span. The absolute values of the effective shear force corresponding to the various stages of the deformation are increased as the external force is increased.

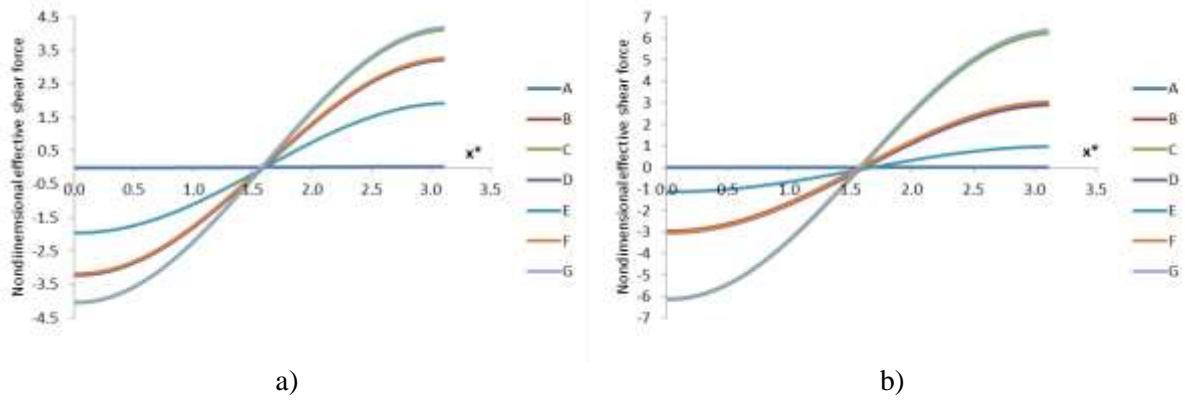


Figure 8. Effective shear force diagrams for the various stages of the deformation for a) $\delta^* = 3$, b) $\delta^* = 3.6$

From the results in Figure 9; it is seen that when the value of the nondimensional initial imperfection parameter, δ^* , is increased, for the same number of nodes, the corresponding buckling force is increased (Figure 9a), while the computed buckling midpoint deflection is decreased (Figure 9b).

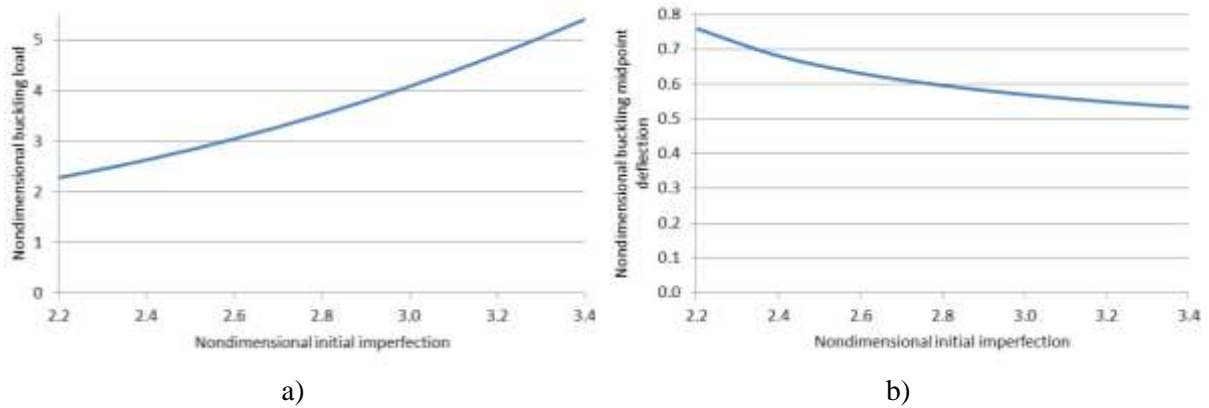


Figure 9. Influence of the value of the nondimensional initial imperfection parameter on a) the buckling load, b) the buckling midpoint deflection

Figure 10 represents load-deflection curves for certain values of δ^* . For the given values of δ^* in Figure 10; as the value of δ^* is increased, the snap-through buckling behavior becomes more pronounced.

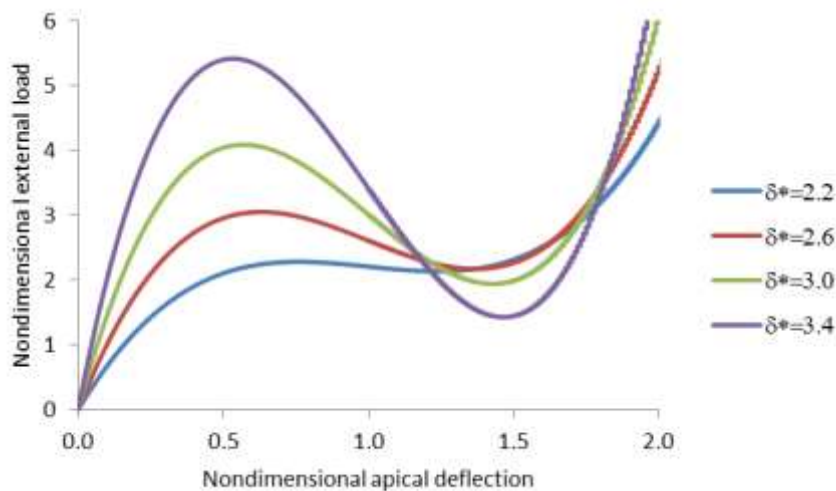


Figure 10. Load-deflection curves for certain values of initial imperfection

Figure 11 demonstrates the nondimensional horizontal support reaction versus nondimensional external load for various values of the initial imperfection. It is seen that the distance between the points (in the q^* - H^* diagram) corresponding to the first and second limit points (C and E points in Figure 4, respectively) is increased as the value of δ^* is increased.

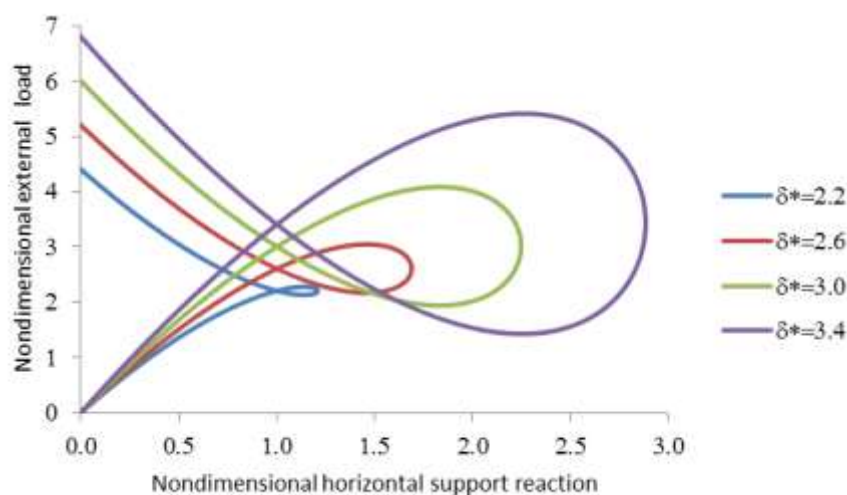


Figure 11. The nondimensional horizontal support reaction versus the nondimensional external load for various initial imperfection values

5. Concluding Remarks

In the present paper, the snap-through behavior of the pinned beams having initially sinusoidal imperfection subjected to the sinusoidal load is examined. The corresponding geometrically nonlinear problem is solved numerically by using the finite difference and Newton-Raphson methods. The values of the buckling load and buckling deflection are determined by using the equilibrium paths for various values of the initial imperfection. The diagrams of the deformed shapes of the beam having initially small imperfection and the diagrams of the internal forces are presented for the prebuckling, buckling and postbuckling states.

According to the results obtained, as the value of the initial imperfection parameter is increased, the corresponding buckling force is increased (Figure 9a) and the snap-through buckling behavior becomes more pronounced (Figure 10). On the other hand, the computed buckling midpoint deflection is decreased as the initial imperfection is increased (Figure 9b).

It can be observed from the nondimensional external load versus the nondimensional horizontal support reaction diagram (see Figure 5) that the slopes of the corresponding curve are zero for the first and second limit points where the slopes of the force-deflection diagram (see Figure 4) are zero. The horizontal support reaction is increased by increasing the external load up to the first peak point (C) in the equilibrium path diagram. After passing the limit point E, second stable equilibrium configuration, the horizontal support reaction continues to decrease, despite the rise observed in the external load (Figure 5). Moreover; the distance between the points (in the q^* - H^* diagram) corresponding to the first and second limit points (C and E points in Figure 5, respectively) is increased as the value of δ^* is increased (Figure 11).

The sign of the curvature of the deformed beam is changed at a stage of the deformation between the first limit point and the second limit point (Figure 6).

The diagrams of the bending moments at various stages of the deformation are symmetrical as the support and loading conditions are symmetrical. The absolute values of the bending moments are increased during the snap-through process (Figure 7).

The effective shear force diagrams are seen as parabolic in various stages of the deformation. The effective shear force diagrams overlap when the values of external load are the same at some stages.

At the point where moment diagrams pass from maximum, shear force diagrams pass from zero (Figure 8). The absolute value of the effective shear force is increased as the values of the external force or the initial imperfection is increased.

Diagrams of elastic curves and internal forces for the different values of δ^* are drawn, and it is seen that with the change of δ^* , the corresponding values are changed, but the interpretations remain similar.

It should be noted that the variation of the value of the span of the beam, L , and the radius of gyration of the cross section, r (dimensional parameters), do not alter the dimensionless physical quantities due to their being excluded in the dimensionless boundary value problem (Eqs. (16-21)).

In the present study, the buckling and postbuckling behaviors of beams having small sinusoidal imperfection with pinned ends subjected to sinusoidal loading are investigated. Other types of support and loading conditions are not within the scope of this study. However, those interested in the effect of the concerning parameters on the buckling behavior can refer to [22] for the fixed support type and [20] for the uniform loading.

Authors' Contribution

Ayfer TEKİN ATACAN Conceptualization, Methodology, Software, Writing – Review & Editing, Project administration, Formal analysis, Validation, Investigation, Resources, Data Curation, Visualization, Writing original draft. Receb Faruk YÜKSELER Conceptualization, Methodology, Software, Writing – Review & Editing, Project administration, Formal analysis, Supervision.

Statement of Conflicts of Interest

The authors have no competing interests to declare.

Statement of Research and Publication Ethics

The authors complied with research and publication ethics.

References

- [1] Das K., Batra R.C. 2009. Symmetry Breaking, Snap-Through and Pull-In Instabilities under Dynamic Loading of Microelectromechanical Shallow Arches. *Smart Materials and Structures*, 18 (11): Article Number: 115008.
- [2] Gerson Y., Krylov S., Ilic B. 2010. Electrothermal Bistability Tuning in a Large Displacement Micro Actuator. *J. Micromech. Microeng.*, 20 (11): Article Number: 112001.
- [3] Medina L., Gilat R., Ilic B., Krylov S. 2014. Experimental Investigation of the Snap-Through Buckling of Electrostatically Actuated Initially Curved Pre-Stressed Micro Beams. *Sensors and Actuators A: Physical*, 220 (1): 323-332.
- [4] Beharic J., Lucas T.M., Harnett C.K. 2014. Analysis of a Compressed Bistable Buckled Beam on a Flexible Support. *Journal of Applied Mechanics-Transactions of the ASME*, 81 (8): Article Number: 081011.
- [5] Chen X., Meguid S.A. 2015. Snap-Through Buckling of Initially Curved Microbeam Subject to an Electrostatic Force. *Proceedings of the Royal Society A*, 471 (2177):Article Number: 20150072.
- [6] Bradford M.A., Uy B., Pi Y.L. 2002. In-plane Elastic Stability of Arches under a Central Concentrated Load. *Journal of Engineering Mechanics-ASCE*, 128 (7): 710-719.
- [7] Chen J.S., Ro W.C., Lin J.S. 2009. Exact Static and Dynamic Critical Loads of a Sinusoidal Arch under a Point Force at the Midpoint. *Int. J. Nonlin. Mech.*, 44 (1): 66-70.
- [8] Moon J., Yoon K.Y., Lee T.H., Lee H.E. 2007. In-plane Elastic Buckling of Pin-Ended Shallow Parabolic Arches. *Eng. Struct.*, 29 (10): 2611–2617.
- [9] Hu C.-F., Pi Y.-L., Li W.G. 2018. In-Plane Non-Linear Elastic Stability of Parabolic Arches with Different Rise-to-Span Ratios. *Thin-Walled Structures*, 129: 74-84.

- [10] Fung Y.C., Kaplan A. 1952. Buckling of Low Arches or Curved Beams of Small Curvature. NACA Technical Note, No: 2840.
- [11] Simitses G.J., Hodges D.H. 2006. Fundamentals of Structural Stability. Elsevier, Burlington, MA.
- [12] Luu A.T., Lee J. 2016. Non-Linear Buckling of Elliptical Curved Beams, International Journal of Non Linear Mechanics, 82: 132-143.
- [13] Liu N., Plucinsky P., Jeffers A.E. 2017. Combining Load-Controlled and Displacement-Controlled Algorithms to Model Thermal-Mechanical Snap-Through Instabilities in Structures. J. Eng. Mech., 143 (8): Article Number: 04017051.
- [14] Tsiatas G.C., Babouskos N.G. 2017. Linear and Geometrically Nonlinear Analysis of Non-Uniform Shallow Arches under a Central Concentrated Force. Int. J. Non-Linear Mech., 92: 92-101.
- [15] Mathews J.H. 1992. Numerical Methods for Mathematics, Science and Engineering. Prentice-Hall International Inc., USA.
- [16] Maron M.J., Lopez R.J. 1991. Numerical Analysis: A Practical Approach. Wadsworth Publishing Company, Belmont.
- [17] Altekin M., Yükseler R.F. 2008. A Parametric Study on Geometrically Nonlinear Analysis of Initially Imperfect Shallow Spherical Shells. Journal of Elastomers and Plastics, 40 (1): 253-270.
- [18] Yıldırım B., Yükseler R.F. 2011. Effect of Compressibility on Nonlinear Buckling of Simply Supported Polyurethane Spherical Shells Subjected to an Apical Load. Journal of Elastomers and Plastics, 43 (2): 167-187.
- [19] Yıldırım B., Yükseler R.F. 2014. Combined Effect of Compressibility, Height and Thickness on the Nonlinear Behaviour of Polyurethane, Simply-Supported Spherical Shells under Apical Loads. Bitlis Eren Univ J Sci & Technol., 4 (1): 12-19.
- [20] Mortazavi P., Mirdamadi H.R., Shahidi A.R. 2018. Postbuckling, Limit Point, and Bifurcation Analyses of Shallow Nano-Arches by Generalized Displacement Control and Finite Difference Considering Small-Scale Effects. International Journal of Structural Stability and Dynamics, 18 (1): Article Number: 1850014.
- [21] Pflüger A. 1964. Stabilitäts Probleme der Elastostatic. Springer Verlag, Berlin.
- [22] Dimopoulos C.A., Gantes C.J. 2008. Nonlinear In-Plane Behavior of Circular Steel Arches with Hollow Circular Cross-Section. Journal of Constructional Steel Research, 64 (12): 1436-1445.

Derleme Makalesi / Review Article

Yarasa Gübresi (Guano)

Atilla ARSLAN^{1*}, Mesut BAŞ²

¹Selçuk Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Konya, Türkiye

²Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, Türkiye

(ORCID: 0000-0002-4766-4969), (ORCID: 0000-0001-5380-3366)

Öz

Modern tarımda kimyasal gübrelerin ve böcek ilaçlarının kullanılması, gıda verimliliğini arttırırken, aynı zamanda toprak ve çevre koşullarını da olumsuz etkilemiştir. Sürdürülebilir tarım için doğal gübre kullanımı çok önemli bir duruma gelmiştir. Doğal gübrelerden birisi olan yarasa guanosu da ihtiva ettiği makro ve mikro besin elementleri, mikroorganizmalar ve organik maddeler nedeniyle çok önemlidir. Sentetik gübrelerin geliştirilmesinden önce, mahsullerinin verimliliğini en üst düzeye çıkarmak için çok eskiden beri kullanılmaktadır. Kimyasal gübrelerin kullanılmaya başlanmasıyla birlikte eski önemini kaybetmiştir. Günümüzde organik tarımın tekrar işlevsel duruma getirilmeye çalışmasıyla, organik gübrelerle birlikte yarasa guanosu da eski önemini kazanmıştır.

Anahtar kelimeler: Ekosistem, Mağara, Organik Gübre.

Bat Fertilizer (Guano)

Abstract

The use of chemical fertilizers and pesticides in modern agriculture has increased food productivity, but also impaired soil and environmental conditions. The use of natural fertilizers has become very important for sustainable agriculture. Bat guanos, which is one of the natural fertilizers, is very important because it has got macro and micro nutrients, microorganisms and organic substances. Prior to the development of synthetic fertilizers, it has been used for a long time to maximize the productivity of crops. With the introduction of chemical fertilizers, it lost its old importance. Nowadays, with the efforts to make organic agriculture functional again, bat guanos and organic fertilizers have gained their old importance.

Keywords: Cave, Ecosystem, Organic Fertilizer.

1. Giriş

Yarasalar, memeliler arasında uçma kabiliyeti olan tek canlı türüdür [1]. Dünya çapında memeliler sınıfında 1261 tür ile kemiricilerden (Rodentia) sonra en çok temsil edilen takımdır [2]. Kutup bölgeleri ve birkaç izole okyanus adası dışında dünyanın her yerinde yaygın olarak bulunan yarasalar [3], ekosistemde hayati bir rol oynarlar [4]. Yarasaların birçok türü koloniler halinde, sıcaklığın stabil olduğu mağaralar ve buna benzer yerlerde yaşarlar. Bazı türler, bir milyon kadar bireyden oluşan dev koloniler oluşturabilir. Örneğin, Meksika Serbest Kuyruklu Yarasası (*Tadarida brasiliensis*) metrekafe başına 300 bireye kadar toplanabilir [5]. Bununla birlikte, dünyadaki mağaralarda en fazla hayvan dışkısı kaynağı yarasa guanosudur [6]. “Guano” kelimesi Peru’nun “Quechua” denilen And yerlilerinin yerli dilinde “hayvan dışkısı ile gübreleme yapmak” anlamına gelen “Huano”dan gelmektedir [7]. Guano, genel olarak deniz kenarında bulunan kuşların dışkısını tanımlamak için kullanılır. Bugün, bu terim deniz kuşları, yarasalar ve hatta sahilde yaşayan kuşların dışkıları içinde kullanılmaktadır [8]. İkinci dünya savaşı sonrasında kimyasal gübre kullanımı, tarımsal üretimde kısa vadede sağladığı ürün artışı sebebiyle tüm dünyada hızlı bir şekilde yaygınlaştı [9]. 1970’li yılların sonlarına doğru endüstriyel

*Sorumlu yazar: aarslan@selcuk.edu.tr

Geliş Tarihi: 09.01.2020, Kabul Tarihi: 04.02.2020

tarımın çevre üzerindeki olumsuz etkileri konusunda farkındalık oluşmaya başladı. Bu yıllarda, kimyasal gübre kalıntılarının yer altı ve yer üstü su kaynaklarında tespit edilmesi endüstriyel/geleneksel tarım yöntemlerinin tartışılmaya başlamasına neden oldu [10]. 1980'li ve 1990'lı yıllarda geleneksel tarım tarafından teşvik edilen kimyasal gübre kullanımının toprağın doğal fauna ve flora dengesini olumsuz yönde etkilediği ve toprakların verimsizleşme sürecini hızlandırdığı fark edildi [11, 12]. Bu nedenle tarımsal üretimde, doğal dengeye saygılı ve doğaya kendini yenileme fırsatı verecek yeni yaklaşımlar arama süreci hızlandı. Bu arayışlar sonucunda tarımsal üretimde "sürdürülebilir" veya "organik" terimleri ile ifade edilen yeni yaklaşımlar ortaya çıkmıştır. Bu amaçla, kimyasal gübrelerin yerini alabilecek organik bazlı alternatif ürünleri geliştirmek için arayışlar başladı. Öncelikle, toprak organik madde içeriğini artırma amacıyla toprak iyileştirmesinde yüzyıllardır kullanılan aerobik (termofilik) kompost ürünleri üzerinde yoğunlaşıldı [13]. Doğal olarak tabiatta bulunan yarası guanosunun önemi de daha iyi anlaşılmasına başlandı. Yarası guanosunun öneminin artmasıyla birlikte, mağaralardan kontrolsüz olarak guano çıkarılması çeşitli sorunların ortaya çıkmasına da neden olmuştur. Ne yazık ki, mağara ekolojisi ve yarası biyolojisinin tam olarak bilinmemesi, birçok mağara için kötü tanımlanmış madencilik/mülkiyet hakları ile birlikte, çoğu zaman sürdürülemez durumdaki guano hasat uygulamaları, milyonlarca yarasının ve bunların ilişkili biyotasının kaybı ve birçok yerel koloninin ortadan kalkması ile sonuçlanmıştır [14].

Çalışmanın amacı yarası guanosunun organik gübre olarak kullanılmasının avantajları ile mağaralardan çıkartılması esnasında ve sonrasındaki dezavantajlarını ortaya koymaktır.



Şekil 1. Konya çevresinde yarası guanosu çıkarılan bir mağara

2. Yarası Guanosunun Önemi

Tarımda ve bahçecilikte, yarası guanosunun yüksek miktarda azot (N) ve fosfor (P) içeriği içeren gübre materyalinden [15, 16], toprak yapı malzemesi, fungusit, nematosidin yanısıra kompost inokülantının kontrolünden dolayı çeşitli şekillerde faydalanılmaktadır [17-19].

Yarası guanosu tipik olarak %2-6 toplam azot, %1.5-10 kullanılabilir fosforik asit ve %1.5-10 çözünür potasyum içerir [20]. Bazı yarası guanosundaki N, P ve K konsantrasyonları, herhangi bir materyalin gübre olarak nitelendirilebilmesi için kriter olarak belirlenen %5 NPK bileşimini karşılar [21]. Yapılan bir çalışmada yarası guanosundaki yüksek konsantrasyondaki birincil makro besin maddelerinin, özellikle çim için yararlı bir gübre olduğu bildirilmiştir. Bu temel besinlere ek olarak, yarası guanosunun sağlıklı bitki gelişimi için gerekli olan ikincil makro besinlerin ve mikro besinlerin kaynağı olduğu rapor edilmiştir. Bu çalışmadaki yarası guanosunun %3.5-9 Ca, %1.5-8 Mg, %0.4-0.8 Mn, %0.2-0.5 Cu, %0.5-1.3 Fe ve %0.2-0.4 Zn içerdiği belirtilmiştir. Ayrıca yarası guanosunun, kireçli topraklar için toprak düzenleyici olarak çalışmasına ve böylece bitkilerin besin alınımını ve rizosfer

ortamını iyileştirmesine izin verebilecek 4-5,6 aralığında pH değerlerine sahip olduğu rapor edilmiştir. [20, 22].

Diğer organik gübreler gibi yarasa guanosu da toprağın fiziksel özelliklerini, özellikle toprak yapısını iyileştirir ve dolayısıyla toprağın biyolojik ve kimyasal verimlilik durumunu etkileyen gözeneklilik, havalandırma, filtreleme ve su tutma kapasitesini arttırır. Yarasa guanosu kolayca yıkanıp gitmez ve bu nedenle bitkilere ve toprağa yararları çoğu inorganik gübreye kıyasla daha sürdürülebilirdir [23].

2.1. Yarasa guanosunun organik madde ve bitki besinleri içeriği

Yarasa guanosunun besin içeriği yarasalar ve dolayısıyla guanonun bulunduğu coğrafi konumu, yarasa türü, guano yaşı, yarasaların yaşadığı mağara türü ve yarasalar tarafından alınan diyet türü de dâhil olmak üzere çeşitli faktörlerin bir fonksiyonudur [24, 25]. Altıntaş ve ark. [26] yapmış oldukları çalışmada; değişik yörelerde bulunan yarasa gübresinin içeriği incelemiş ve mineral düzeyleri ortaya koymuşlardır. Bu alışmada Adana, Kırklareli, Aydın ve orum illerinden alınan yarasa guanoları analiz edilmiştir. Bu analiz sonucunda Azot, Fosfor, Potasyum, Kalsiyum, Magnezyum, Sodyum, Klor, Demir Bakır inko, Kurşun, Kadmiyum, organik madde, inorganik madde, ham kül, kuru madde ve pH değerleri her bölgede farklı sonuçlar vermiştir. Örneğin azot oranı, Adana'da %0.97 iken Kırklareli'de %1.40, Aydın'da %1.14 ve orum'da %5.60 bulunmuştur. Bu sonuçlara göre yarasa guanosu içeriğinin, yarasanın yaşadığı bölgeye ve dolayısıyla beslenme durumuna göre değişiklik gösterdiğini bildirmişlerdir [26, 27]. Studier ve ark. [28] yaz aylarında tneme döneminde bazı neotropik yarasaların dışkılarında Azot (N), Sodyum (Na), Kalsiyum (Ca), Magnezyum (Mg), Demir (Fe) ve Potasyum (K) seviyelerini analiz etmiş ve N seviyelerinin belirgin şekilde daha yüksek iken, Na seviyelerinin, etobur ve omnivorların dışkılarında meyve ile beslenen yarasalarınkinden daha düşük olduğunu tespit etmişlerdir. Böcek ile beslenen yarasaların dışkılarında Ca düzeyleri yüksek, K düzeyleri düşük bulunmuştur. Ayrıca alışma, meyve yiyen türlerin dışkısındaki toplam Fe seviyelerinin, etobur veya omnivorlara göre marjinal olarak düşük olduğunu, Mg konsantrasyonlarının ise tüm beslenme alışkanlıklarında dengesiz olduğunu bildirmiştir. Bu alışma sonucunda, tüm beslenme alışkanlıklarındaki yarasaların guanolarının N, K ve Mg değerlerinin yeterli seviyede olduğu sonucuna varılmıştır. Gray ve ark. [29] ile Penhallegon [30] yarasa guanosunun toprak kalitesini iyileştirmeye ve bitki büyümesi için besin sağlamaya yardımcı olan yüksek NPK içerdiğini bildirmiştir. Diğer hayvan gbreleriyle (kümes hayvanları, inek ve koyun gübreleri) karşılaştırıldığında, Mathur ve ark. [31], yarasa guanosunun N yönünden daha yüksek olduğunu ve organik karbonun düşük C/N oranı ile sonuçlandığına, P'nin ise inek ve koyun gbrelerinde olduğundan daha düşük olduğunu bildirmiştir.

Emerson ve Roark (2007) bcekle, kanla ve meyve ile beslenen yarasalar tarafından üretilen guanoda sırasıyla % 84.3, 88.4 ve % 88.8 organik madde bildirmiştir [32]. İsrail'de Shahack-Gross ve ark. [33], meyve ve böcek ile beslenen yarasaların ürettikleri guanoda sırasıyla % 60 ve % 53-65 organik madde içeriğini bildirmiştir. Hindistan'dan Sridhar ve ark. [22], bcekle beslenen yarasaların guanosunda % 45.6 organik madde içeriği bildirmiştir. Yarasa türleri, diyetler ve coğrafi bölgeler nedeniyle oluşan değişikliklere ek olarak, guano birikintisinin organik madde içeriği aynı zamanda guanonun derinliğine göre de değişir (en üst tabakalar genellikle kısmen ayrışmış olduğundan en yüksek organik madde içeriğine sahiptir). Organik madde içeriği guanoda derine indikçe azalır ve genellikle ilk birkaç metrede tamamen ayrışır [33-35].

Organik malzemenin birikintide ayrışması üzerine, karbonun çoğu tkutilir ve N serbest bırakılır. Geriye alan büyük ölçüde asidik guanodaki Alüminyum (Al), Potasyum (K) ve Demir (Fe) gibi diğer elementler, mağaradaki ayrışmış maddeler ile etkileşime girerek büyük oranda fosforik, otijenik (ikincil) mineraller oluşturur [33, 36].

Demirtaş ve ark. [37] tarafından yapılan çalışmada farklı organik kökenli gübrelerin bazı makro ve mikro element analizleri ile fiziksel analizleri yapılmıştır. Bu analizler sonucunda N, Mn ve Zn oranı en fazla yarasa guanosunda tespit edilmiştir. Yarasa guanosu bu sonuçlara göre diğer organik gübrelerden daha asidik bir özelliğe sahiptir. Jenkins [38] tarafından yapılan çalışmada, bazı hayvansal gübrelerin (yarasa guanosu, tavuk gbresesi, kan unu ve tüy unu) analizleri yapılmıştır. Bu analizler neticesinde Amonyum (NH₄), Nitrat (NO₃), Alüminyum, Kalsiyum, Fosfor ve çinko değerleri diğer hayvansal gübrelerden daha yüksek bulunmuştur. Potasyum, magnezyum, sodyum ve kükürt oranı da oldukça yüksektir (Tablo 1).

Tablo 1. Bazı hayvansal gübrelerin analiz sonuçlarının karşılaştırılması [38]

| | Yarasa Guanosu | Tavuk Gübresi | Kan Unu | Tüy Unu |
|----------------------------------|----------------|---------------|---------|---------|
| Toplam Karbon (g) | 32.7 | 49.0 | 28.1 | 52.0 |
| Toplam Azot (g) | 11.1 | 14.8 | 3.7 | 14.0 |
| Toplam Sülfür (g) | 2.3 | 1.0 | 0.8 | 3.6 |
| Amonyum (NH ₄) (ppm) | 20595.0 | 387.0 | 5325.0 | 966.0 |
| Nitrat (NO ₃) (ppm) | 12880.0 | 35.6 | 316.5 | 93.1 |
| Alüminyum (Al) (ppm) | 1471.0 | 294.9 | 783.4 | 51.3 |
| Bor (B) (ppm) | 5.8 | 6.2 | 36.2 | <1 |
| Kalsiyum (Ca) (ppm) | 34800.0 | 1955.6 | 29070.0 | 1979.5 |
| Bakır (Cu) (ppm) | 110.9 | 2.7 | 930.8 | 11.4 |
| Demir (Fe) (ppm) | 1348.0 | 2394.5 | 1235.5 | 263.6 |
| Potasyum (K) (ppm) | 18238.0 | 804.8 | 22780.0 | 574.6 |
| Magnezyum (Mg) (ppm) | 4223.0 | 273.9 | 5456.0 | 232.0 |
| Sodyum (Na) (ppm) | 5228.0 | 2140.5 | 7097.5 | 628.4 |
| Nikel (Ni) (ppm) | 1.4 | <1 | 7.6 | <1 |
| Fosfor (P) (ppm) | 24525.0 | 1016.3 | 17304.5 | 1442.5 |
| Kükürt (S) (ppm) | 12988.0 | 5653.5 | 5966.0 | 16330.0 |
| Silisyum (Si) (ppm) | 207.6 | 206.0 | 834.0 | 145.6 |
| Çinko (Zn) (ppm) | 441.5 | 16.0 | 420.6 | 66.7 |

2.2. Yarasa guanosunun uygulandığı topraktaki ürüne etkisi

Yarasa guanosu uygulamaları bitki büyümesini artırır, kök çevresi ve yüksekliğinde artış sağlar [23]. Araştırmacılar tarafından yapılan birçok denemede, bitki büyümesinin verimliliğini arttırmak için 20 g toprak başına çoğunlukla 0.1, 0.5 ve 1 g olmak üzere sadece küçük miktarlarda yarasa guanosu gerekli olduğu öne sürülmüştür [22, 39]. Dahası, yarasa guanosunun tarla gübresi, yeşil gübre, biyo-sıvı gübre vb. gibi diğer organik gübre ile uygun oranlarda karıştırılması, besin maddelerinin mevcudiyetini artırabilir ve mahsul üretimini iyileştirmek için besin eksikliklerinin üstesinden gelmeye yardımcı olabilir [22].

Shetty ve ark. [39] semi-karnivor yarasalardan elde ettiği yarasa guanosunu kullanarak *Vigna radiata* (maş fasulyesi) fidelerinin büyümesi üzerindeki etkisini araştırmıştır. Hindistan'ın iki farklı coğrafi bölgesinden (Varanga ve Yennehole) gelen guano, iki toprak türünde (otoklavlanmış ve otoklavlanmamış) farklı oranlarda (toprak/guano; 20/1, 20/0.5, 20/0.1) karıştırılarak uygulanmıştır. Bitki büyümesinde, Yennehole'den gelen guanonun, Varanga'dan gelen guanodan daha etkili olduğu bildirilmiştir. Şener ve Ulukapı [40] Brassicaceae (Cruciferae) familyasından Serac F1 karnabahar (*Brassica oleraceae* L. var. *botrytis*) ile yaptıkları çalışmada tarla koşullarında sıvı yarasa gübresi kök uzunluğu bakımından sıvı solucan gübresi ve kimyasal gübre uygulamalarına göre istatistiksel olarak daha iyi sonuçlar verdiğini ifade etmişlerdir. Mounirou ve ark. [41]'nin yaptığı çalışmada, yarasa gübresinin düşük doz uygulamasının toplam verime (3.58 t ha⁻¹) etkisi, ahır gübresine göre (2.42 t ha⁻¹) daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Benzer şekilde guanonun toplam verime etkisi kimyasal gübre (0.57 t ha⁻¹) etkisine göre 6 kat daha fazla bulunmuştur. Hayvanların beslenme şekilleri ve fizyolojilerinin farklı olması nedeniyle gübrelerin fizikokimyasal özelliklerinin farklılık gösterdiği ve bunun da bitki gelişimine farklı şekilde etki ettiği bildirilmiştir. Grantina-Ievina ve Ievinsh [42], vermikompost gübreye yarasa guanosu eklenmesinin, gübrenin kış çavdarı (*Secale cereale* L.) ve patates (*Solanum tuberosum* L.) bitkilerinin büyümesi ve gelişmesi üzerindeki olumlu etkisini önemli ölçüde arttırdığını bildirmişlerdir. Yarasa guanosunun %15-20 oranında fulvik asit içermelerinden dolayı nematosid ve fungusid etkilidir. Nematosis etkisi sayesinde nematodları etkisiz hale getiriler. Etkisiz olan nematodlar bitkinin beslenmesi için önemli olan kök sistemlerini korurlar. Fungusid etkisiyle de mantarların neden olduğu hastalıklara karşı koyarlar [26]. Musa ve ark. [43] yarasa guanosunun (*Craseonycteris thonglongyai*'ye ait) ve kimyasal gübrelerin, *Amaranthus cruentus* (Horozibiği)'taki bazı fitotoksinlerin (fitat, oksalat, siyanür ve nitrat) konsantrasyonları üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Bu çalışmaya göre, kontrol grubunda (uygulama yapılmamış) 157.69 ± 53.83 mg/kg olan Siyanür miktarı, Sentetik gübre uygulaması ile 140.51 ± 27.97 mg/kg iken yarasa guanosunun uygulanması sayesinde 118.99 ± 6.42 mg/kg seviyesine düştüğü bildirilmiştir.

2.3. Guanonun kimyasal gübrelerle karşılaştırılması

Hem kimyasal hem de organik gübreler içerdikleri NPK sayesinde, bitkilere yeşil rengini verir, kök ve çiçek gelişimi ile sapların büyümesini teşvik eder [44, 45]. Yarasa guanosu ve kimyasal gübreler arasındaki en büyük fark, minerallerin bitkilere alınım hızı ve durumudur. Bitkiler besinleri suda çözülmüş mineral tuzları olarak emerler [46]. Kimyasal gübrelerden sağlanan çözülmüş haldeki NPK elementlerini bitkiler doğrudan kullanabilir. Bunun aksine, yarasa guanosu gibi organik gübreler, toprakta mikroorganizmalar tarafından ayrıştırılması ve mineralleştirilmesi gereken besinler içerir [47]. Bu işlemler topraktaki mineralleri bağlar ve bitkilerin NPK'ları ihtiyaç duydukları miktarlarda ve oranlarda almasını ve kullanmasını kolaylaştırır. Ayrıca, guano bazlı gübrelerin kullanımı toprak yapısını ve nem tutma kabiliyetini artırırken, kimyasal gübrelerin kullanımı verimsiz bir yapıya sahip sert, zayıf yapılı ve asitli topraklara yol açmaktadır [48]. Aslında, çoğu kimyasal gübrede Ca, Zn, Cu ve Mg gibi farklı metabolik süreçleri, toprak pH'sının stabilizasyonunu ve korunmasını kolaylaştıran ikincil elementler ve mikro besinler yoktur [49]. Ek olarak, yarasa guanosunun gübre olarak kullanılmasının, bitkileri ve meyveleri kimyasal gübre kullanmaya göre daha iyi ve daha uzun ömürlü hale getirdiği söylenmektedir [50]. Ayrıca, yarasa guanosu kimyasal gübrelerden oldukça ucuzdur. Kimyasal gübreler akıntı nedeniyle göllere, nehirlere sızabilecekleri için çevre kirliliğine neden olma potansiyeline sahiptir [51]. Yarasa guanosu gibi organik gübrelerde su kaynaklarını kirletebilir, ancak bu durum çok daha küçük bir ölçekte meydana gelmektedir [52].

3. Guano Madenciliğinin Yarasalar Üzerine Etkileri

Yarasa guanosu mağara ekosistemlerinde birincil enerji kaynağı oluşturmaktadır ve mağaralardaki karasal omurgasız faunanın önemli bir kısmının hayatta kalması guano birikimine bağlıdır. Bu guano yığınları, tüm yaşamlarını guano yığınlarının içinde veya çevresinde tamamlayan, yüksek oranda bu ortama adapte olmuş endemik eklembacaklılar (genellikle guanophiles veya guanobionts olarak adlandırılır) içermektedir [53]. Bunun önemi, yeraltı omurgasızlarının dünya çapında çeşitlilik göstermesi [54] ve mağaraların tür endemizm ve tehdit düzeyleri bakımından dünyadaki en sıcak biyolojik çeşitlilik noktaları [55] arasında yer aldığı düşünülmektedir [56]. Düşük yıllık üreme oranları nedeniyle, yarasa popülasyonlarının insan faaliyetleriyle ilişkili nüfus kayıplarından kurtulması nispeten uzun zaman almaktadır [57]. Bu durum, mağara yarasaları için özel bir sorun teşkil etmektedir, çünkü mağaraların sağladığı nispeten küçük ve sınırlı alanların herhangi bir şekilde bozulması tüm kolonileri etkileme eğilimindedir [58].

Bir yarasa türüne ait doğum kolonileri guano madenciliğinden farklı şekillerde olumsuz olarak etkilenmektedir. Özellikle dişilerin hamile olduğu üreme mevsiminin başlarında bireylerin tünek alanlarını terk etmelerine neden olabilir. Bu durum dişilerin daha az ideal olan tüneklere geçmesine zorlayarak onların üreme başarılarını azaltabilir. Madenciliğin koloniler üzerinde oluşturduğu rahatsızlık, tüneklerdeki yarasaların genel aktivite seviyesini yükselterek daha fazla enerji harcanmasına ve emziren dişilerin yavruları daha az verimli beslemesine neden olabilir. Bunun sonucunda yavrular daha yavaş büyür ve dişilerin de avlanma talepleri artabilir. Ayrıca doğum kolonilerinin rahatsız edilmesi, mağara tabanına düşen gençlerin doğrudan ölümüne de neden olabilir. Doğum kolonilerini oluşturan bireylerin biriken vücut ısısı tünek alanı içindeki sıcaklığı da artırarak termoregülatör fayda sağlar. Bu nedenle, bir koloninin boyutu azalır, o koloniler için termal avantajlar da aynı şekilde azalabilir [58].

Tüm bu olumsuzlukları gidermek açısından ülkemizde T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığına bağlı Doğa Koruma ve Milli Parklar Genel Müdürlüğü tarafından mağaralardan yarasa guanosu çıkarılması izne tabi tutulmuş ve bir teknik şartname hazırlanmıştır. Mağaralardan yarasa guanosu çıkarmak isteyen şahıslar özetle şartnamede belirtilen aşağıdaki prosedürleri uygulamak durumundadır [59].

- Faaliyetin mağara ekosistemine ve jeomorfolojik bütünlüğüne olumsuz etkisi olmayacağına dair izin alması gerekmektedir.
- Guano alımı için başvuruda bulunacak müteşebbis, başvuru öncesinde talebe konu olan mağarayı kapsayan bölgede bulunabilecek özel mevzuatla koruma altına alınmış sahalara ile herhangi bir sebeple kullanım/giriş kısıtlaması bulunan alanlara dair tüm izinleri almak zorundadır.

- Müteşebbis, alım yapacağı zamanı mağaranın bulunduğu bölgeden sorumlu kuruluşlardan en az 1 ay önce yazılı olarak bildirimde bulunmalıdır.
- Müteşebbis, inceleme aşamasında veya izin süreçleri tamamlandıktan sonra, faaliyet sırasında ve sonrasında hasıl olabilecek sağlık sorunlarına karşı gerekli tüm tedbirleri ve iş güvenliği tedbirlerini almalıdır.
- Guano alım izni temin eden müteşebbis yalnızca mağara içerisinde bulunan guanonun kendisine tahsis edilen kısmını kullanacaktır.
- Mağara içerisinde guano çıkarılması veya araştırılması maksadıyla hiçbir surette yol, ray sistemi, kaydırak benzeri yapılar oluşturulmayacak; açma, delme, kazma, kırma, genişletme yapılmayacaktır.
- Mağara dışarısında, portatif nakil sistemleri dışında, kalıcı fiziki değişikliğe yol açacak (yol açma, patlatma, kırma, kazma, vb) hiçbir uygulama yapılmayacaktır.
- Alım işlemi bitiminde, nakil öncesinde, mağara içerisinde ve dışarısında, ilksel duruma uymayan herhangi bir yabancı malzeme bırakılmayacaktır.
- Mağara içerisinde alım sırasında 45 dB üzerinde ses seviyesini açacak hiçbir uygulama yapılmayacaktır.
- Alım sırasında mağara içi atmosferini değiştirecek egzoz salımına neden olacak uygulamalar yapılamaz. Mağara içerisinde ateş yakılamaz, alev çıkaran ısı ve ışık kaynakları kullanılamaz. Jeneratör alıştırılması gerektiğinde, bu mağara dışında gerçekleştirilecektir.
- Yarasaların bulunduğu mağaralarda izin verilen zaman aralığı dışında yani hassasiyet dönemlerinde mağaraya kesinlikle girilmeyecektir.

4. Sonuç ve Öneriler

Organik gübre olarak yarasa guanosunun önemi yapılan çalışmalar neticesinde daha iyi anlaşılmaktadır. Bununla beraber tarımda kullanımı da gün geçtikçe artmaktadır. Yapılan çalışmalarda uygun içerik ve uygun dozlarda yarasa guanosu kullanımı toprağın ihtiyacı olan besinleri karşılayabilmektedir. Burada önemli olan yarasa guano bileşiminin çok değişken olmasından dolayı, gübre olarak uygulamadan önce yarasa guanosunun farklı toprak tipleri, mahsuller ve yarasa guano uygulama oranlarını kullanarak tarım alanlarında ayrıntılı bir şekilde analiz edilmesi gerekir. Gelişigüzel kullanım faydadan çok zarara neden olabilmektedir. Bir diğer önemli husus da, guano çıkartılırken yarasaların ve yaşadıkları habitatın zarar görmemesinin sağlanmasıdır. Diğer doğal gübrelere oranla yarasa guanosunun daha az maliyetle elde edilmesi ve talebin çok fazla olması nedeniyle yarasaların bulunduğu birçok mağarada kontrolsüz bir şekilde madencilik yapılmaktadır. Guano madenciliği, bu değerli gübreyi sağlayan yarasaları ve habitatlarını tahrip edici olabilmektedir. Madenciler bazen guanoya erişebilmek için kazı yapmakta veya patlayıcı kullanmaktadır. Böylelikle mağaraların yapısı ya da hava akışı değişebilmektedir. Bunun sonucunda da yarasaların yaşam alanları bozulmaktadır. Mağaralarda yaşayan yarasaların bozulmaya karşı oldukça hassas oldukları ve bunun neticesinde popülasyonlarının azalmasına neden olabileceğine dair yeterince kanıt bulunmaktadır. Guano madenciliği esnasında yapılan tüm faaliyetler sonuçta yüksek ses, parlak ışıklar ve hava sıcaklığındaki değişikliklere de neden olmaktadır. Bu tür faaliyetler dişi yarasaların yavrularını düşürmelerine veya kış uykusunda bulunan yarasaların rahatsız olmalarına yol açmaktadır. Bunların neticesinde yarasalar mağarayı terk edebilmektedir. Mağara ekosisteminin oluşmasında yarasa guanosunun katkısı çok büyüktür. Bunların mağaralardan çıkartılması ile mağara ekosisteminin bozulması da kaçınılmazdır. Yarasa guanosunun bazı bileşenlerinin daha iyi olmasına rağmen çıkartılmasının hem kısa hem de uzun vadede mağara ekosisteminin bozulması ve bölge için mevcut yarasa türlerinin dağılmasıyla birlikte böcek popülasyonlarının artmasına neden olacaktır.

Ülkemizde mağaraların korunması ile ilgili 03.02.2016 tarihinde T.C. Çevre ve şehircilik Bakanlığı tarafından “Tabiat varlığı olarak belirlenecek olan doğal mağaralara ilişkin ilke kararı” alınmış olup; 25 Mart 2016 tarih ve 29664 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanmıştır. Bu karara göre mağaralar 3 kategoriye ayrılmış ve her bir kategorideki mağaralar ile ilgili koruma çerçevesi belirlenmiştir. Ayrıca T.C. Gıda, Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı tarafından “İnsan tüketim amacıyla kullanılmayan hayvansal yan ürünler yönetmeliği” hazırlanmış, 24 Aralık 2011 ve 28152 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanmıştır. Bu yönetmeliğe istinaden 2017/44 sayılı uygulama tebliği yayımlanmıştır. Bu tebliğe yarasalardan elde edilen guanonun piyasaya hangi şartlarda arz edileceği belirtilmiştir. T.C.

Orman ve Su İşleri Bakanlığına bağlı Doğa Koruma ve Milli Parklar Genel Müdürlüğü, mağaralardan guano çıkarmak isteyelerin uyması gereken kuralları belirlemiş ve taahhüt altına almıştır.

Kanun koyucular tarafından guanonun çıkarılması, çıkarılan guanonun piyasaya hangi şartlarda sürebileceği ve mağaralarla ilgili koruma planlarının yapılması için düzenlemeler yapılmış olması sorunların genel hatlarını belirlemiştir. Burada üzerimize düşen en önemli sorumluluk denetim mekanizmasının etkin olarak kullanılabilmesini sağlamaktır.

Yazarların Katkısı

Atilla ARSLAN konunun belirlenmesi, ilgili kaynakların toplanması ve makalenin yazımına; Mesut BAŞ ise ilgili kaynakların toplanması ve makalenin yazımına katkı sağlamıştır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada, araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar

- [1] Albayrak İ. 2000. Yarasalar: Eli Kanatlı Memeli. Yeşil Atlas Coğrafya ve Keşif Dergisi, 3: 69-73.
- [2] IUCN. 2019. IUCN Red List of Threatened Species, <http://www.iucnredlist.org> (Erişim Tarihi: 06.12.2019).
- [3] Nowak R. 1994. Bats of the world. The Johns Hopkins University Press Baltimore, London.
- [4] Mehlhorn H. 2014. Introduction: The World of Bats. Bats (Chiroptera) as Vectors of Diseases and Parasites: Springer, 1-5.
- [5] Constantine D.G. 1967. Activity patterns of the Mexican free-tailed bat. University of New Mexico Press.
- [6] Gnaspi P. 2012. *Guano Communities*. Encyclopedia of Caves, 357-64.
- [7] Riechmann D. 2003. Guano, Das weiÙe Gold Perus. <https://www.scinexx.de/dossierartikel/guano/>. (Erişim Tarihi: 06.12.2019).
- [8] Dowd B. 2016. Wild life control: The importance of bat guano. <https://www.skedaddlewildlife.com/the-importance-of-bat-guano/>, (Erişim Tarihi: 04.12.2019).
- [9] Schuman S.H., Simpson J.W. 1997. A clinical historical overview of pesticide health issues. Occupational medicine (Philadelphia, Pa), 12 (2): 203-7.
- [10] Chernyak S.M., Rice C.P., McConnell L.L. 1996. Evidence of currently-used pesticides in air, ice, fog, seawater and surface microlayer in the Bering and Chukchi Seas. Marine Pollution Bulletin, 32 (5): 410-9.
- [11] Chen S.K., Edwards C.A., Subler S. 2001. Effects of the fungicides benomyl, captan and chlorothalonil on soil microbial activity and nitrogen dynamics in laboratory incubations. Soil Biology and Biochemistry, 33 (14): 1971-80.
- [12] Fushiwaki Y., Tase N., Saeki A., Urano K. 1990. Pollution by the fungicide pentachloronitrobenzene in an intensive farming area in Japan. Science of the Total Environment, 92: 55-67.
- [13] Şimşek Erşahin Y. 2007. Vermikompost ürünlerinin eldesi ve tarımsal üretimde kullanım alternatifleri. Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 24 (2): 99-107.
- [14] IUCN. 2014. IUCN SSC guidelines for minimizing the negative impact to bats and other cave organisms from guano harvesting. <https://www.batcon.org/pdfs/GuanoGuidelinesVersion1.pdf>, (Erişim Tarihi: 01.01.2020).
- [15] Furey N.M., Racey P.A. 2016. Conservation ecology of cave bats. Bats in the Anthropocene: Conservation of bats in a changing world: Springer, Cham, 463-500.
- [16] Gillieson D. 1996. Caves: Processes. Development, Management, 203-36.

- [17] Allocati N., Petrucci A., Di Giovanni P., Masulli M., Di Ilio C., De Laurenzi V. 2016. Bat–man disease transmission: zoonotic pathogens from wildlife reservoirs to human populations. *Cell death discovery*, 2: 16048.
- [18] Boyles J.G., Cryan P.M., McCracken G.F., Kunz T.H. 2011. Economic importance of bats in agriculture. *Science*, 332 (6025): 41-2.
- [19] Keleher S. 1996. Guano: bats' gift to gardeners. *Bats*, 14: 15-7.
- [20] Sikazwe O., De Waele B. 2004. Assessment of the quality and reserves of bat guano at chipongwe and kapongo caves near lusaka as fertiliser material. *Unza J Sci Technol*, 1 (3): 32-42.
- [21] Roy R.N., Finck A., Blair G., Tandon H. 2006. Plant nutrition for food security. A guide for integrated nutrient management FAO Fertilizer and Plant Nutrition Bulletin, 16: 368.
- [22] Sridhar K., Ashwini K., Seena S., Sreepada K. 2006. Manure qualities of guano of insectivorous cave bat *Hipposideros speoris*. *Tropical and subtropical agroecosystems*, 6 (2): 103-10.
- [23] Sothearen T., Furey N.M., Jurgens J.A. 2014. Effect of bat guano on the growth of five economically important plant species. *Journal of Tropical Agriculture*, 52 (2): 169-73.
- [24] Bhat H., Sreenivasan M. 1990. Records of bats in Kyasanur Forest disease area and environs in Karnataka state, India, with ecological notes. *Mammalia*, 54 (1): 69-106.
- [25] Korine C., Izhaki I., Arad Z. 1999. Is the Egyptian fruit-bat *Rousettus aegyptiacus* a pest in Israel? An analysis of the bat's diet and implications for its conservation. *Biological Conservation*, 88 (3): 301-6.
- [26] Altıntaş A., Kontaş T., Yıldız G., Erkal N. 2005. Mineral levels of bat guano. *Veterinary Journal of Ankara University*, 52: 1-5.
- [27] Karagöz K. 2014. Yarasa gübresinin tarımda kullanılma olanakları. *Alnteri Zirai Bilimler Dergisi*, 27 (2) : 35-42.
- [28] Studier E.H., Viele D.P., Sevick S.H. 1991. Nutritional implications for nitrogen and mineral budgets from analysis of guano of the big brown bat *Eptesicus fuscus* (Chiroptera: Vespertilionidae), *Comp. Biochem. Physiol.*, 100A (4): 1035-1039.
- [29] Gray A.E., Mulligan T.J., Hannah R.W. 1997. Food habits, occurrence, and population structure of the bat ray, *Myliobatis californica*, in Humboldt Bay, California. *Environmental Biology of Fishes*, 49 (2): 227-38.
- [30] Penhallegon R. 2003. Nitrogen-phosphorus-potassium values of organic fertilizers. Oregon State University Extension Service, <https://extension.oregonstate.edu/sites/default/files/documents/1/lc437organicfertilizersvaluesrev.pdf>, (Erişim Tarihi: 01.12.2019).
- [31] Mathur S., Patni N., Levesque M. 1990. Static pile, passive aeration composting of manure slurries using peat as a bulking agent. *Biological wastes*, 34 (4): 323-33.
- [32] Emerson J.K., Roark A.M. 2007. Composition of guano produced by frugivorous, sanguivorous, and insectivorous bats. *Acta chiropterologica*, 9 (1): 261-7.
- [33] Shahack-Gross R., Berna F., Karkanis P., Weiner S. 2004. Bat guano and preservation of archaeological remains in cave sites. *Journal of Archaeological Science*, 31 (9): 1259-72.
- [34] Bird M.I., Boobyer E.M., Bryant C., Lewis H.A., Paz V., Stephens W.E. 2007. A long record of environmental change from bat guano deposits in Makangit Cave, Palawan, Philippines. *Earth and Environmental Science Transactions of the Royal Society of Edinburgh*, 98 (1): 59-69.
- [35] Wurster C.M., McFarlane D.A., Bird M.I. 2007. Spatial and temporal expression of vegetation and atmospheric variability from stable carbon and nitrogen isotope analysis of bat guano in the southern United States. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 71 (13): 3302-10.
- [36] Giurgiu A., Tămař T. 2013. Mineralogical data on bat guano deposits from three Romanian caves. *Studia UBB Geologia*, 58 (2): 13-8.
- [37] Demirtaş I., Arı N., Arpacıoğlu A., Kaya H., Özkan C. 2005. Değişik organik kökenli gübrelerin kimyasal özellikleri, *Derim*, 22 (2), 47-52.
- [38] Jenkins WK. 2009. Evaluation of four organic fertilizers for vegetable and herb transplant production, PhD Thesis, University of Georgia, 26-27.
- [39] Shetty S., Sreepada K., Bhat R. 2013. Effect of bat guano on the growth of *Vigna radiata L.* *International Journal of Scientific and Research Publications*, 3 (3): 1-8.
- [40] Şener S., Ulukapı K. 2018. Farklı Organik Gübrelerin Tarla ve Örtüaltı Koşullarında Yetiştirilen Karnabaharın Bitki Gelişimi ve Verim Parametreleri Üzerine Etkisi. *Selcuk Journal of Agriculture and Food Sciences*, 32 (3): 510-5.

- [41] Mounirou M.M., Harouna K.A., Tidjani A.D. 2018. Nijer'in Balla İlçesi Tarım Havzasında Marul Üretimi Üzerine Yarasa Gübresi Uygulamalarının Etkileri. 2nd International Students Science Congress, 1-4.
- [42]. Grantina-Ievina L., Ievinsh G. 2015. Microbiological characteristics and effect on plants of the organic fertilizer from vermicompost and bat guano. *Res Rural Develop*, 1: 95-101.
- [43] Musa A., Agaie H., Kumar N., Ogbiko C. 2017. Comparison of the effects of *Criseonycteris thonglongyai* (bumblebee bat) droppings and synthetic fertilizer on some phytotoxins in the leaf of *Amaranthus cruentus*. *Journal of Scientific Agriculture*, 182-7.
- [44] Bokhtiar S., Sakurai K. 2005. Effects of organic manure and chemical fertilizer on soil fertility and productivity of plant and ratoon crops of sugarcane. *Archives of Agronomy and Soil science*, 51 (3): 325-334.
- [45] Chen J.H. 2006. The combined use of chemical and organic fertilizers and/or biofertilizer for crop growth and soil fertility. International workshop on sustained management of the soil-rhizosphere system for efficient crop production and fertilizer use, 16-20 October, Land Development Department, Bangkok, Thailand.
- [46] Barber S., Walker J., Vasey E.H. 1963. Mechanisms for movement of plant nutrients from soil and fertilizer to plant root. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 11 (3): 204-7.
- [47] Sun R.L., Zhu L.S., Zhao B.Q., Zhou Q., Xu J, Zhang F. 2004. Effects of long-term fertilization on soil microorganism and its role in adjusting and controlling soil fertility. *Ying yong sheng tai xue bao= The journal of applied ecology*, 15 (10): 1907-10.
- [48] Lal R. 1989. Soil degradation in relation to climate. International Rice Research Institute Climate and food security Los Baños, 257-76.
- [49] Hänsch R., Mendel R.R. 2009. Physiological functions of mineral micronutrients (cu, Zn, Mn, Fe, Ni, Mo, B, cl). *Current opinion in plant biology*, 12 (3): 259-66.
- [50] Buliga C. 2010. Guano exploitation in Madagascar. https://digitalcollections.sit.edu/isp_collection/904/, (Erişim Tarihi: 04.10.2019).
- [51] Förstner U., Wittmann G.T. 2012. Metal pollution in the aquatic environment. Springer Science & Business Media.
- [52] Hatibu A.A. 2018. Assessment of bat guano as source of nutrients for rice production: Sokoine University of Agriculture, Master, Morogoro, Tanzania. 2018.
- [53] Deharveng L., Bedos A. 2012. Diversity patterns in the tropics. *Encyclopedia of caves: Elsevier*, 238-50.
- [54] Gibert J., Deharveng L. 2002. Subterranean Ecosystems: A Truncated Functional Biodiversity: This article emphasizes the truncated nature of subterranean biodiversity at both the bottom (no primary producers) and the top (very few strict predators) of food webs and discusses the implications of this truncation both from functional and evolutionary perspectives. *BioScience*, 52 (6): 473-81.
- [55] Myers N., Mittermeier R.A., Mittermeier C.G., Da Fonseca G.A., Kent J. 2000. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, 403 (6772): 853.
- [56] Whitten T. 2009. Applying ecology for cave management in China and neighbouring countries. *Journal of Applied Ecology*, 46 (3): 520-3.
- [57] Racey P.A., Entwistle A.C. 2000. Life-history and reproductive strategies of bats. *Reproductive biology of bats. Elsevier*, 363-414.
- [58] McCracken G.F. 2011. Cave conservation: special problems of bats. *Course Booklet*, 68.
- [59] T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Doğa Koruma ve Milli Parklar genel Müdürlüğü, Şartname, <https://www.yarasagubresi.com.tr/FileUpload/bs209856/File/guanosartname.pdf>, (Erişim Tarihi: 28.01.2020).

Derleme Makalesi / Research Article

Veteriner İlaçlarının Çevrede Bulunuşu ve Etkileri

Ayşe ÖZGÜVEN*

*Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Van
(ORCID:0000-0003-1071-2813)*

Özet

Veteriner ilaçları hastalığı tedavi etmek ve hayvan sağlığını korumak için yaygın olarak kullanılmaktadır. Hayvan hastalıklarının tedavisinde ve önlenmesinde kullanılan veteriner ilaçları, yoğun tarımsal ve su ürünleri yetiştiriciliğinden dolayı çevre kirliliğinin önemli bir kaynağını oluşturmaktadır. Hayvancılık ve tavukçuluk üretiminde kullanılan farmasötik maddeler hayvanlar tarafından metabolize edildikten sonra dışkı yoluyla çevresel ortamlara bırakılırlar. Hayvan yemi ve kullanılmayan ilaçların uygunsuz bertarafı sonucunda yüzeysel su kaynaklarına kadar ulaşabilirler. Ayrıca hayvan gübrelerinin tarımsal alanlarda kullanılması veteriner ilaçlarının çevrede bulunmasına neden olmaktadır. Bu derlemede veteriner uygulamalarında yaygın olarak kullanılan ilaçların çevresel ortamlarda bulunuşu, davranışı, dönüşümü ve canlılar üzerindeki toksik etkileri hakkında mevcut bilgiler verilmektedir. Ayrıca düşük konsantrasyondaki ilaçların ve metabolitlerinin uzun vadeli etkileri, ekosistemdeki veteriner ilaçlarının davranışı ve çevresel etkileri araştırılmıştır.

Anahtar kelimeler: Çevresel etki, hayvancılık, veteriner ilaçları.

The Occurrence and Effect of Veterinary Pharmaceuticals in the Environment

Abstract

Veterinary medicines are widely used to treat disease and protect animal health. Veterinary drugs used in the treatment and prevention of animal diseases constitute an important source of environmental pollution due to intensive agricultural and aquaculture. The pharmaceuticals used in livestock and poultry production are metabolized by animals and after that released into the environment by feces. They can reach to surface water resources as a result of inappropriate disposal of animal feed and unused medicines. In this review, current information on the presence, behavior, transformation and toxic effects of drugs in the environment commonly used in veterinary practices are given. In addition, the long-term effects of drugs and their metabolites on low concentrations, the behavior of veterinary drugs in the ecosystem and their effects on the environment were investigated.

Keywords: Environmental impact, animal husbandry, veterinary pharmaceuticals

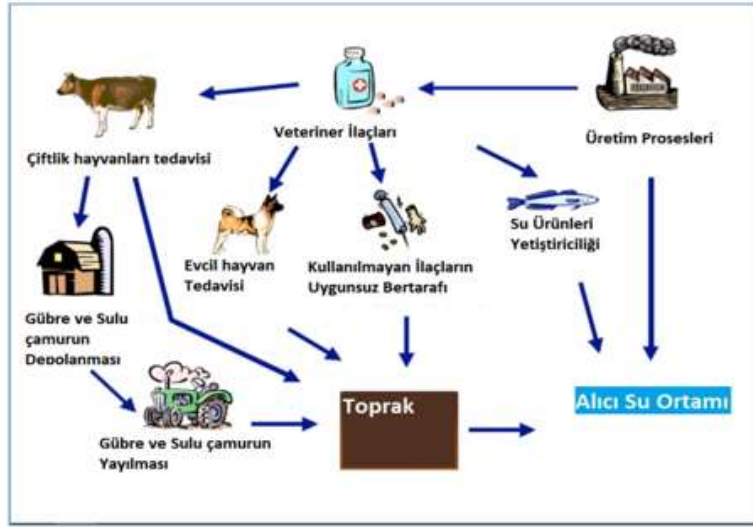
1. Giriş

Hayvanlardaki hastalıkların tedavisinde ve önlenmesinde kullanılan veteriner ilaçları, yoğun tarım ve su ürünleri üretimi nedeniyle önemli çevre kirliliği kaynaklarını oluşturmaktadır. Veteriner ilaçları, İngiltere'de ve Avrupa'da hayvanların sağlığını korumak ve hastalıklarını tedavi etmek için yaygın olarak kullanılmaktadır. Büyüme destekleyici yem katkı maddeleri büyüme hızlarını arttırmak amacıyla besi amaçlı yetiştirilen hayvan yemlerine eklenmektedir. Bu bileşikler hayvanlar tarafından tamamen metabolize edilememekte, büyük bir kısmı dışkı ve idrarla değişmeden atılmaktadır. Veteriner ilaçlarının çevrede bulunuşu ya doğrudan, örneğin balık çiftliklerinde ilaç kullanımı, ya da dolaylı olarak hayvan gübresinin toprağa uygulanmasıyla gerçekleşmektedir [1]. Veteriner ilaçlarının kullanımından kaynaklanan çevresel risklerin daha iyi anlaşılması için Çevre Ajansı çeşitli çalışmalar yapmıştır. Bu kapsamda, maruz kalma yolları, çevresel akıbet ve veteriner ilaçlarının tüm genel gruplarının etkileri hakkındaki mevcut verileri değerlendirmişlerdir. Birkaç veteriner ilaç grubunun (yani koyun

*Sorumlu yazar: ayseozguven@yyu.edu.tr

Geliş Tarihi: 28.03.2019, Kabul Tarihi: 23.09.2019

banyolarında kullanılan kimyasallar, balık çiftliği ilaçları ve antelmintikler) çevrede bulunuşu ve etkileri nedeniyle çevresel olarak endişe verici olduğu bilinmektedir. Antibakteriyel maddeler, koyun banyolarında kullanılan kimyasallar ve reçeteli ilaçlar dâhil olmak üzere birçok veteriner ilaçlarının kullanımıyla ilgili çeşitli kaynaklardan elde edilen veriler mevcuttur [2]. Elde edilen verilere dayanarak, antibakteriyeller en yüksek miktarlarda satılmakta ve bunu koksidiostatlar, organofosforlu koyun banyolarında kullanılan kimyasallar, büyüme destekleyicileri, endoparazit koruyucular, genel anestezikler, ektoparazitik öldürücüler, antifungal maddeler, steroid olmayan antienflamatuar ilaçlar (NSAID'ler), hormonlar ve enterik preparatlar takip etmektedir [3]. Veterinerlik uygulamalarında çoğunlukla antibiyotikler, antiparaziter ilaçlar ve steroidal hormonlar kullanılır. Bir veteriner ilacın çevrede bulunma potansiyeli, tedavi tipi dâhil olmak üzere tedavi edilen hayvanların sayısı, metabolizma derecesi ve toprağa uygulamadan önce gübredeki bozunma gibi çeşitli faktörlere bağlıdır. Su ürünü yetiştiriciliğinde kullanılan ilaçlar, genellikle doğrudan çevreye verildiğinden sucul ortamlara ulaşma potansiyeli yüksektir, karasal ortama giriş yolu ise çiftlik hayvanlarının yetiştiriciliğinde kullanılan veteriner ilaçlarının kullanımından olacaktır. Şekil 1'de çevredeki veteriner ilaçlarının kaynakları gösterilmektedir [4].



Şekil 1. Çevredeki veteriner ilaçlarının kaynakları

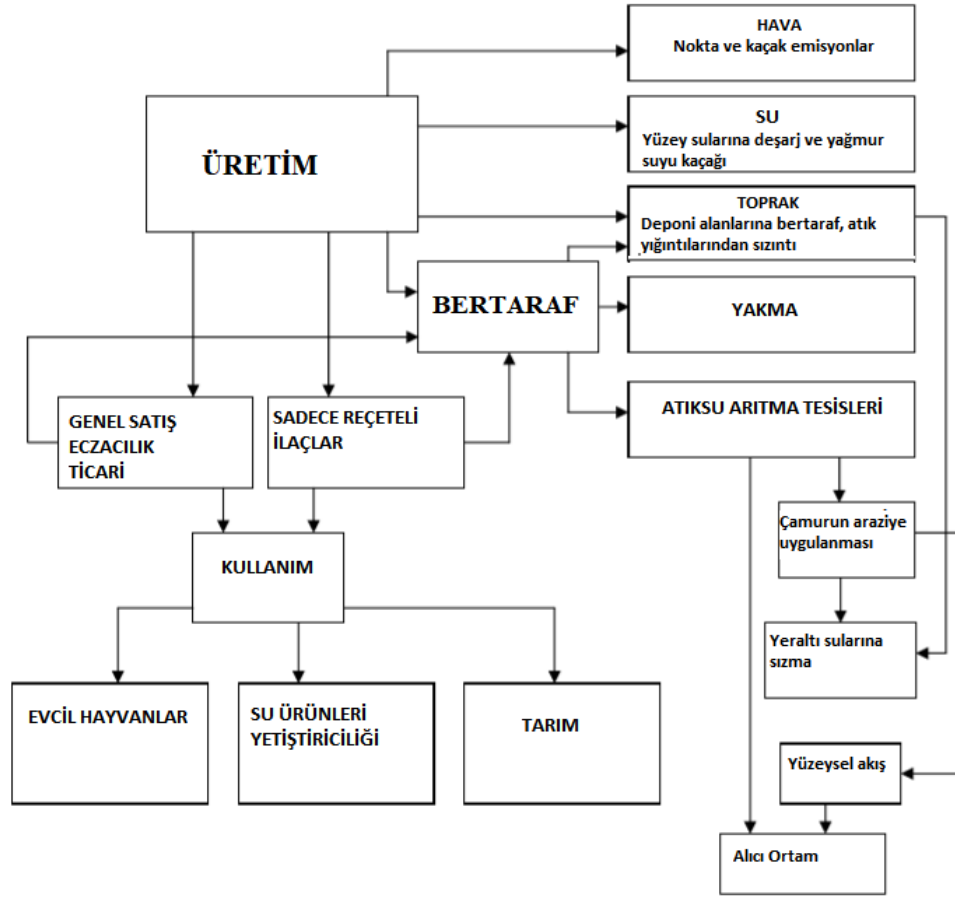
Bir veteriner ilacın çevre üzerindeki potansiyel etkisi aşağıda belirtilen bir dizi faktörle belirlenecektir:

- Kullanılan miktar ve kullanım modeli
- Metabolizma
- Gübre ve gübre çamurundaki kalıcılık
- Çevresel ortamlarda kalıcılık ve sorpsiyon
- Ekotoksosite

2. Veteriner İlaçlarının Çevrede Bulunuşu

Veteriner ilaçlarının çevreye girişinde başlıca yollar, çiftlik hayvanlarının tedavisi ve su ürünleri yetiştiriciliği tesislerinden kaynaklanmaktadır. Veteriner ilaçları genellikle yüzey suları, yeraltı suları, sedimentler, gübre ve biyotada tespit edilmiştir. İlaçların çevreye girişinin ana yolunu aktif farmasötik bileşenin kaplama, harmanlama, tablet sıkıştırma prosesleri sırasında imalat ekipmanlarının temizliğinde üretilen proses atıksuları oluşturmaktadır [5]. Veteriner ilaç ürünlerinin üretimi veya formülasyonu sırasında ortaya çıkan ve çevreye verilen zararların asgari düzeyde olması muhtemeldir. Boş konteynerlerin ve istenmeyen ürünlerin operatörler tarafından uygun olmayan şekilde imha edilmesi, toprak ve suların kirlenmesine neden olabilir. İstenmeyen veya kullanım süresi dolan ürünler üreticiye iade edilerek genellikle uygun alanlarda yakma veya depolama ile bertaraf edilir [6]. İlaçların uygun olmayan depolama sahalarında bertaraf edilmesi durumunda sızıntı sularında bulunan ilaç atıkları

yeraltı sularına ve yüzey sularına kadar ulaşabilir. Şekil 2’de veteriner ilaçlarının çevreye giriş yolları gösterilmektedir [7].



Şekil 2. Veteriner ilaçlarının çevreye giriş yolları

2.1. Su Kültürü Yetiştiriciliğinde Kullanılan İlaçlar

Balık yetiştiriciliğinde; kemoterapötik ilaçlar, anestezi maddeler, tıbbi dezenfektanlar ve anti-enfektif maddeler kullanılmaktadır. Balıklardaki bakteriyel enfeksiyonlar genellikle doğrudan kafeslere eklenen ilaçlı gıda peletleri kullanılarak tedavi edilmektedir [8]. İngiltere’de, su ürünleri yetiştiriciliğinde kullanılan altı antimikrobiyal madde; oksetetrasiklin, oksolinik asit, amoksisilin, florfenicol, sarafoksasin ve ko-trimazin için güncel satış yetkisi verilmiştir. Norveç’te daha geniş spektrumlu antimikrobiyaller ve ektoparazitisitler kullanılmaktadır. Son yirmi yıl boyunca, su ürünleri yetiştiriciliğinde kullanılan kemoterapötik ilaçların çevresel etkisini araştırmak için pek çok çalışma yapılmıştır [9].

2.2. Antibiyotikler

Antibiyotikler, mikroorganizmaları öldürebilen veya metabolik aktivitelerini biyokimyasal faaliyetlerle engelleyebilen ilaçlardır ve bakterilerin neden olduğu hastalıkların tedavisinde ve önlenmesinde kullanılırlar. Ayrıca veteriner hayvanlarının enfeksiyonlarını tedavi etmek veya önlemek için yem katkı maddesi olarak da uygulanırlar. 1998’de AB’de hayvancılıkta büyümeyi teşvik etmek için yemlere antibiyotiklerin eklenmesi yasaklanmış olsa da, hayvan üretiminde antibiyotik kullanımı dünya çapında yaygın bir şekilde kabul edilmektedir [10]. Tetrasiklinler en yaygın kullanılan antibakteriyel ilaçlardır, bunu güçlendirilmiş sülfonamidler, β -laktamlar, makrolitler, aminoglikozitler, fluorokinolonlar takip etmektedir. Veteriner antibiyotikleri, insanlarda kullanılan antibiyotiklerle benzer özellikler gösterse de bazı farklılıklar vardır, bunların çoğu hayvan bağırsağında az miktarda emilir, bu nedenle uygulanan dozun çoğu dışkı tarafından atılır [11]. İngiltere’de, veteriner ilaçları veya büyüme destekleyicileri

olarak kullanılan antimikrobiyal ürünlerin satışında veriler mevcuttur. Bu veriler, ilaç endüstrisinin Veteriner İlaç Müdürlüğüne verdiği bilgilere dayanmaktadır [12].

2.3. Oksolinik Asit

Kültür balıklarının ilaçla tedavisi sırasında, çevredeki yabani balık popülasyonunda ve diğer deniz hayvanlarında oksolinik asit kalıntılarında rastlanmıştır. Yapılan çalışmalarda Norveç'in batı kıyısındaki su ürünleri yetiştiriciliği tesisinin yakınındaki yabani faunada oksolinik asit kalıntıları tespit edilmiştir. Baltık Denizi'nde bulunan beş balık çiftliğinde yapılan bir çalışmada, 24 balık türünün hiçbirinde oksolinik asite rastlanmamıştır [13]. Diğer bir çalışmada ise iki ayrı balık çiftliğinden toplanan 11 farklı türdeki balık, yengeç ve midyede oksolinik asit kalıntıları tespit edilmiştir. Finlandiya'nın güneybatı sahilinde yapılan bir çalışmada, balıkların yetiştirildiği beş balık çiftliğinin üçünün tabanından toplanan anoksik sedimentlerde oksolinik asit kalıntıları bildirilmiştir. Balık çiftliğinden beş gün boyunca alınan sedimentlerde 0,05-0,2 µg/g konsantrasyonlarında oksolinik asit rapor edilmiştir [14].

2.4. Oksitetrasiklin

Su ürünleri yetiştiriciliğinde kullanılan oksitetrasiklinin çevresel akibeti kapsamlı bir şekilde incelenmiştir [14,15]. Finlandiya'nın güneybatı sahilinde yapılan bir çalışmada iki ayrı balık çiftliğinde balıkların yetiştirildiği kafeslerin yakınında inci balığı ve çamça balığı örnekleri toplanmıştır. Oksitetrasiklin konsantrasyonlarının tedavinin son gününde çiftlik A'dan toplanan inci balığının kas dokusunda 0,06-1,3 µg/g arasında olduğu görülmüştür. İlaçlamadan bir gün sonra bir balıkta 0,06 µg/L'lik bir konsantrasyonda oksitetrasiklin tespit edilmiştir. Çiftlik B'de, ilaçlama yapıldıktan sonra 1. ve 2. günlerde toplanan çamça balığı örneklerinde çok düşük seviyelerde oksitetrasiklin bulunmuştur (0,05-0,1 µg/L). Benzer şekilde, Washington'da yapılan yeni bir çalışmada yabani faunada düşük konsantrasyonlarda oksitetrasikline rastlanmıştır. Yüksek miktarda antibakteriyel kullanan bir somon balıkçılığı tesisinin etrafındaki alandan yengeçler ve istiridyeler toplanmıştır. İstiridye ve yengeçlerde sadece eser miktarda oksitetrasiklin kalıntıları (yaklaşık 0,1 µg/g) bulunmuştur. Norveç'te, ilaçlama yapıldıktan 1, 4, 10 ve 12 hafta sonra dört farklı balık çiftliğinin tabanından alınan sedimentlerde oksitetrasiklin kalıntıları bulunmuştur [15]. Finlandiya'nın güneybatı sahilindeki Baltık Denizi'ndeki bir çalışmada, iki ayrı balık çiftliğinde ilaçlamanın son gününde toplanan sediment örneklerinin 0,05-3,8 µg/g arasında değişen konsantrasyonlarda oksitetrasiklin içerdiği bildirilmiştir [14]. Çin'de sığır, domuz ve tavuk çiftliklerinin bulunduğu hayvancılık tesislerinin yakınındaki nehirlerden alınan sedimentlerde çeşitli antibiyotikler bulunmuştur. Domuz çiftliklerine yakın sedimentlerde sırasıyla 3106 ng/L ve 1957 ng/L'ye kadar yükselen oksitetrasiklin ve klorotetrasiklin konsantrasyonları tespit edilmiştir [16].

2.5 İvermektin

Oral uygulamayı takiben, ivermektin esas olarak değişmeyen bir formda dışarı atılır. Bu bağlamda, çeşitli modelleme yaklaşımlarında ivermektinin balık çiftliklerinin tabanındaki sedimentlerde ne kadar birikeceği tahmin edilmeye çalışılmıştır. Bir izleme çalışmasında, İrlanda'nın yaklaşık 1 km açık deniz kıyısına sahip olan batı kıyısında somon kafeslerin yakınındaki sedimentlerde ivermektin tespit edilmiştir. Sediment örnekleri ilacın haftada iki kez uygulandığı dört aylık bir periyodun son gününde toplanmıştır. Kafeslerden 31 m uzakta toplanan sedimentlerde, 1,4 ile 6,8 ng/g arasındaki konsantrasyonlarda ivermektin tespit edilmiştir. Almanya'da yapılan çalışmalarda ise çiftlik hayvanlarının tedavisinde kullanılan ilaç konsantrasyonlarına dair veriler elde edilmiştir. İzleme verilerinin özetleri ve analitik yöntemlerin kullanılabilirliği Tablo 1'de verilmiştir [17].

Tablo 1. Toprak, sediment, yüzeysuları ve yeraltı sularında tespit edilen veteriner ilaçların çevredeki konsantrasyonları

| Bileşik | Belirlenen konsantrasyon aralığı | | | |
|--------------------------|----------------------------------|------------------------|-----------------|-------------------|
| | Yüzeysel suları ng/L | Yeraltı suları ng/L | Toprak µg/kg | Sediment µg/kg |
| Kloramfenikol | 0,06 µg/L | - | - | - |
| Klorotetrasiklin | 0,5 µg/L | 0,17-0,22 µg/L | 0,7±0,2-41,8 | - |
| Sipermetrin | 1-85100 | - | - | - |
| Diazinon | 3-0,58 x 10 ⁶ | 216 | - | - |
| Desmetilamino metaboliti | - | - | - | >0,5 |
| Fenklorfos | <10-777 | - | - | - |
| Flumetrin | 1-2190 | - | - | - |
| İvermektin | - | - | 0,1-2 | 6,8 ng/L |
| Monensin | - | - | 0,8-1,08 mg/kg | - |
| Oksolinik asit | - | - | - | <0,05-0,2 µg/g |
| Oksitetrasiklin | - | 0,15-0,19 µg/L | 0,9±0,1-8,6±4,5 | 0,1-285 µg/g |
| Sulfamethazine | - | 0,08-0,16 µg/L | - | - |
| Tetrasiklin | - | 0,11-0,27 µg/L | <1-39,6±33,6 | - |
| Tilosin | - | 0,13-0,42±0,47 µg/L | 0,2 | - |

3. Veteriner İlaçlarının Metabolizması

Veteriner ilaçları vücuda alındıktan sonra metabolize edilmekte ve ortaya çıkan metabolitler idrar ve dışkı ile birlikte atılmaktadır. Çevreye bırakıldıktan sonra veteriner ilaçları çevresel ortamlar içinde (toprak, hava, yüzeysel suları, sediment ve biyota) taşınmakta ve dağılmaktadır. Çevresel ortamlardaki konsantrasyonlar, aşağıda belirtilen bir dizi faktör ve süreç tarafından belirlenir:

- Bileşiğin dozajı
- Maddenin fiziko-kimyasal özellikleri
- Gübre ve gübre çamurunun ayrışması
- Toprak ve sedimentin yapısına katılma
- Abiyotik ve biyotik ayrışma
- Çevresel özellikler (toprak tipi, iklim koşulları)

Bileşik vücut tarafından adsorbe edildiğinde faz I ve faz II şeklinde metabolize edilip vücuttan atılmaktadır. Bu reaksiyonlar sonucu, idrar veya dışkıyla atılan polar metabolitler üretilebilir. Eğer bileşik metabolize edilmezse, değişmeden atılabilir. Sonuç olarak, hayvan dışkıları ana bileşik ve metabolitlerinin bir karışımını içerebilir. Ana bileşik ve temel metabolitlerinin çevresel etkileri herhangi bir risk değerlendirmesinde dikkate alınmalıdır [17].

4. Veteriner İlaçlarının Bertarafı

İngiltere'de, "kontrollü" atıkların ve "özel" atık olan veteriner ilaçlarının bertaraf edilmesi için yasal düzenlemeler bulunmaktadır. Reçeteli ilaçlar sadece özel atık olarak sınıflandırılmaktadır. İlaç üreticileri tarafından sağlanan ürün etiketi ve güvenlik veri sayfaları, veteriner ilaçlarının ve ambalajlarının güvenli bir şekilde bertaraf edilmesine ilişkin bilgiler vermektedir. Kullanılmayan veteriner ilaçları veteriner cerrahi ve yerel eczanelere iade edilebilir. Veteriner ilaçları yerel kullanıcılar tarafından ya direkt tuvaletlerden kanalizasyon sistemine atılmakta ya da yakma ve evsel atıklarla birlikte bertaraf edilmektedir [18]. Üretim tesisleri, emisyonları kontrol etmek ve üretilen atık miktarını en aza indirmek için pek çok arıtma metodolojisi ve teknolojisini kullanmaktadır. Bunlar, kondansatörler, gaz temizleyiciler, adsorban filtreler ve hava emisyonlarında geri kazanım ve giderim için yakma teknolojilerini içermektedir. Atıksuların arıtılması için nötralizasyon, dengeleme, aktif çamur, birincil arıtma, filtrasyon, aktif karbon, kimyasal oksidasyon ve ileri biyolojik arıtma kullanılabilir.

5. Veteriner İlaçlarının Çevresel Ortamdaki Akibeti

Veteriner ilaçlarının çevreye salınması, ya doğrudan balık çiftliklerinde kullanılan ilaçların kullanımı ya da hayvan gübresinin toprağa uygulanması yoluyla dolaylı olarak gerçekleşmektedir. Çevreye salınan veteriner ilaçlarının miktarları; hayvancılık uygulamaları, tedavi tipi ve dozu, hayvan metabolizması, gübre ve gübre çamurundaki bozunma oranları gibi çeşitli faktörlere bağlıdır. Veteriner ilaçlarının karasal ortamlara girişinde temel yol, hayvancılıkta veteriner ilaçlarının kullanılması ve gübrenin toprağa uygulanması yoluyla olmaktadır. Ayrıca gübrenin toprağa uygulanması ile veteriner ilaçları su yüzeyine ve/veya yeraltı sularına sızma yoluyla da girmektedir [19].

5.1. Toprak

Bir veteriner ilacı toprağa ulaştığında, toprak parçacıkları tarafından adsorblanmakta, yeraltı suyuna sızmakta ve/veya ayrılmaktadır. Antibiyotikler, koyun yıkama havuzundaki kimyasallar ve topraktaki ivermektinlerin sorpsiyon davranışları üzerine hali hazırda veriler mevcuttur. Topraktaki veteriner ilaçlarının kalıcılığı ve sorpsiyon davranışları ile ilgili çok sayıda çalışma yapılmıştır. Bazı veteriner ilaçlarının topraklardaki sorpsiyon davranışları ile ilgili veriler mevcuttur. Dağılım katsayıları (Kd), 0,61 L/kg ile 6000 L/kg arasında değişmektedir. Çiftlik hayvanlarını tedavi etmek için kullanılan kortetrasiklin, ivermektin ve monensinin topraktaki konsantrasyonları, sırasıyla 42 µg/kg, 2 µg/kg ve 1 mg/kg kadar yüksektir. Veteriner ilaçlarının topraklarda parçalanması için temel yol toprakta aerobik biyobozunmadır. Veteriner ilaçları günlerce hatta yıllarca toprakta kalabilmekte ve yarı ömürleri sıcaklık, pH, gübre varlığı ve ilaç gruplarını parçalamak için geliştirilen spesifik bakterilerin mevcudiyeti gibi çeşitli faktörlerden etkilenmektedir [19,20].

Gübre içindeki bozunma oranları genellikle topraktaki bozunmadan daha hızlıdır. Örneğin, metanojenik koşullar altında, tylosin A'nın bozunması iki günden daha az sürede gerçekleşmiştir ve aerobik koşullar altında inkübasyon ortamında gübre konsantrasyonuna bağlı olarak artmıştır [21]. Sıcaklığın bir bileşiğin bozunma hızını hangi ölçüde etkilediğini göstermek için çalışmalar yapılmıştır. Örneğin, soğuk hava koşullarında bir toprak/dışkı karışımında ivermektin için 91 ila 217 günlük bir yarı ömür tespit edilmiştir. Buna karşılık, bileşiğin yaz aylarında bir toprak/dışkı karışımında çok daha hızlı bozunduğu ve 7 ila 14 günlük bir yarı ömre sahip olduğu gösterilmiştir [22]. Veteriner ilaçlarının topraktaki hareketliliği, çevredeki veteriner ilaçlarının konsantrasyonunun belirlenmesinde etkilidir. Yapılan bir çalışmada farklı toprak tiplerindeki dört antibiyotik sorpsiyonu ve hareketliliği belirlenmiştir. Kesikli deneylerle belirlenen dağılım katsayılarının (Kd değerleri), metronidazol için 0,5-0,7, olaquinox için 0,7-1,7 ve tilosin için ise 8-128 arasında olduğu rapor edilmiştir [23].

Yoğun hayvancılık yapılan bölgelerden toplanan toprak örneklerinde ilaç analizleri yapılmıştır. Hayvan gübresi ile iyileştirilmiş toprakta çeşitli veteriner ilaçları tespit edilmiştir. İlk çalışmada toprak numuneleri örnekleme işleminden iki gün sonra gübrenilmiş bölgenin çeşitli derinliklerinden toplanmıştır [24]. Toprak örneklerinin üst 10 cm'sinde 9-12 µg/kg klorotetrasilin, oksitetrasilin ve tetrasilin saptanırken, sadece düşük konsantrasyonlarda tilosin bulunmuştur. Üç farklı tetrasilin bileşiğinin konsantrasyonu 60 cm'nin altındaki derinliklerde 1 µg/kg' a kadar düşmüştür. Kuzey Almanya'da yapılan bir diğer çalışmada, toprak örnekleri hayvan gübresi uygulandıktan 4-5 ay sonra 12 farklı tarım alanından alınmış ve analiz edilmiştir. Toprak örneklerinin neredeyse hepsinin üst 30 cm'sinde 1-32,2 µg/kg ve 1,2-26,4 µg/kg konsantrasyonlarında tetrasilin ve klorotetrasilin saptanmıştır. Aynı araştırmacılar tarafından yapılan başka bir çalışmada, hayvan gübresi uygulanan toprağın üst 30 cm'sinde 20-40 µg/kg arasında tetrasilin konsantrasyonları tespit edilmiştir [25].

5.2. Yüzeysel Sular

Atıksu arıtma tesislerinden arıtılmadan ya da kısmen artırılmış olarak alıcı ortama deşarj edilen farmasötiklere sucul ortamlarda, kanalizasyon atıksularında ve yüzeysel sulara rastlanması büyük ilgi kaynağı olmuştur [26,27]. Organofosforlu bileşiklerden klorfenvinfos ve diklorvoların hepsi biyolojik olarak aktif sulara nispeten hızlı bir şekilde bozunmakta; fakat sentetik piretroid ve flumetrim ise kalıcı olmaktadır. Sedimentlerde furazolidonun yanı sıra fenitollerin (kloramfenikol ve florfenikol) hızla bozunduğu, 2,4 diaminopirimidin, kinolon, tetrasiklin ve sülfonamid sınıflarının hepsinin kalıcı olduğu görülmüştür [28-30]. Veteriner ilaçlarının yüzeysel sularında ve tatlı su ve deniz sedimentindeki kalıcılığını

araştırmak için çalışmalar yapılmıştır. Alman araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalarda arıtma tesisi çıkış suları ve yüzey sularında 0,06-0,56 µg/L konsantrasyonlarında 18 farklı antibiyotik tespit edilmiştir. ABD Çevre Koruma Ajansı (USEPA) ve ABD Jeolojik Araştırma grubu (USGS), domuz ve kümes hayvanı üretiminin yapıldığı bölgenin yakınındaki yüzey ve yeraltı sularından, domuz lagünlerinden alınan sıvı atıkları analiz etmişlerdir. Klorotetrasilin lagün örneklerinde çok yüksek konsantrasyonlarda tespit edilirken, yüzeysel sularda 0,5µg/L (tespit limiti) konsantrasyonunda bulunmuştur [31]. Koyun ilaçlama havuzlarında kullanılan ilaçların konsantrasyonları yüzey sularında 19,2-106 ng/L, yeraltı sularında ise 489 ng/L kadar yüksek olarak rapor edilmiştir. Su kültürü yetiştiriciliğinde kullanılan ilaçların konsantrasyonları yüzey sularında 1 µg/L, sedimentlerde ise 285 µg/g' a kadar çıkmaktadır [28].

5.3. Yeraltı Suları

Yeraltı sularında tespit edilen az sayıda veteriner ilacı raporları vardır [29,30]. Veteriner ilaçları çöp depolama alanlarından yeraltı sularına sızmaktadır. Danimarka'da bir ilaç üreticisinin atıklarının büyük bir kısmını 45 yıldır bertaraf ettiği bir depolama sahasının sızıntı sularında çok sayıda sülfonamidin yüksek konsantrasyonlarına rastlanmıştır [31]. Almanya'da yürütülen kapsamlı bir izleme çalışmasında, antibiyotiklerin kontaminasyon derecesini belirlemek için tarım alanlarından çok sayıda yeraltı suyu örneği toplanmıştır ve analiz edilmiştir [32]. Oksitetrasiklin, tetrasiklin, klortetrasiklin ve tilosin yeraltı sularında tespit edilmiştir [33,34]. Sığır ve domuz besleme tesisleri ile bağlantılı olan yeraltı sularında eritromisin (72-2380 ng/L) ve monensin (180-2350 ng/L) gibi bazı veteriner ilaçlarına rastlanmıştır. Ayrıca yeraltısuyu örneklerinde sulfamerazin, sulfametazin, sulfametazol ve sulfatizol gibi sulfanomidler tespit edilmiştir [35].

5.4. Gübre ve Gübre Çamuru

Hayvan çiftliklerinde fazla miktarda çiftlik gübresi (kirli yatak malzemesi ile birlikte hayvan idrarı ve dışkı) ve/veya gübre çamuru (idrar, dışkı ve yıkama suyu) üretilmektedir. Gübreler sonraki uygulamalar için gübre çukurlarında saklanmakta veya organik madde takviyesi ve toprak iyileştiricisi olarak toprağa uygulanmaktadır. Sülfonamidler, aminoglikozitler, beta-laktamlar ve makrolidlerin yarı ömürleri 30 gün veya daha düşüktür ve bu nedenle gübre/gübre çamurunda depolama sırasında önemli ölçüde ayrışmaktadırlar. Bunun aksine, makrolid endektin, ivermektin, tetrasiklinler ve kinolonların yarı ömürleri daha fazladır ve bu nedenle daha kalıcı olmaları muhtemeldir. Bazı veteriner ilaçları, gübrenin araziye uygulanmasından sonra toprak veya yüzey partiküllerine güçlü bir şekilde adsorblanmaktadır [25].

5.5. Arıtma Tesisleri

Sucul ortamlarda bulunan ve insani amaçlı tüketilen farmasötik bileşiklerin biyolojik arıtım proseslerinde giderimi ile ilgili çalışmalar bulunmaktadır [36-38]. Evsel atıksu arıtma tesislerinde rastlanan insani amaçlı tüketilen farmasötiklerden farklı olarak çevresel ortamlarda da farmasötik bileşiklere rastlamak, noktasal kaynaklardan ziyade daha çok dağınık kaynaklar ile ilgilidir ve atıksu arıtma tesisleri ile ilgili pek fazla çalışma yapılmamıştır. Bununla birlikte Kanada'daki atıksu arıtma tesisi çıkış sularındaki ilaçların varlığı ve konsantrasyonu araştırılmıştır ve elde edilen veriler diğer ülkelerde gözlemlenen maksimum konsantrasyonlarla karşılaştırılmıştır. Veteriner uygulamalarında kullanılan ve bir antibiyotik olan sülfametazin 3,278 g/L konsantrasyonunda tespit edilmiştir [39]. Veteriner ilaçları evsel atıksu arıtma tesislerine bir kaynak teşkil etmezken, hayvan besleme tesislerindeki atıksular çevresel ortamlar için potansiyel bir kaynak teşkil etmektedir [35]. Sığır ve domuz tesislerinden elde edilen atıksu örneklerinde linkomisin, raktopamin, sulfametazin, sulfatizol, eritromisin, tiamulin ve sulfadimetoksin tespit edilmiştir. Hayvancılığa ait atıksu arıtma tesislerinde veteriner ilaçlarının bulunuşu ile ilgili yapılan çalışmada, yüksek konsantrasyonlarda antelmintik fenbendazol ve metabolitleri (3,85-241 µg/L), fenbenzadol sülfon (0,283 - 93,9 µg/L), amino fenbendazol (0,554 - 94,1 µg/L) ve p-hidroksi fenenzadol (0,693 - 92,7 µg/L) tespit edilmiştir [40].

5.6. Tatlısu Kaynakları

Tatlı su kaynaklarındaki farmasötiklerin tespit edilmesi için çok sayıda çalışma yapılmıştır. Kore'de bir domuz gübresi kompostlama tesisine yakın Naerincheon nehri boyunca yer alan yüzey sularında antibiyotiklerin mevsimsel değişimi çalışılmıştır. Evsel atıksu arıtma tesisinin yakınında bulunan Kore nehir sularında antihelmintik fenbendazol ve metobilitleri çok düşük konsantrasyonlarda (0,006-1,31 µg/L) tespit edilmiştir [40]. Avustralya'da süt çiftliklerinin yakınındaki dere ve nehirlerinin bulunduğu sulama alanından alınan örneklerde penisilin, sulfanomidler ve tetrasiklinlerin akibetleri araştırılmıştır. Süt çiftliklerine yakın yerlerdeki örnekleme noktalarında sulfasazalin (202-321 ng/L) ve oksitetrasiklin (109-423 ng/L) tespit edilmiştir. Başta domuz çiftlikleri olmak üzere çok sayıda tarımsal kuruluşun bulunduğu ülkenin bir bölümünden geçen İspanya'daki Llobregat Nehri'nin sularında antelmintiklerin varlığı araştırılmıştır. Yapılan çalışmada 0,32 ve 39,43 ng/L aralığında değişen konsantrasyonlarda antihelmintikler tespit edilmiştir [41]. Bir antihelmintik olan levamisolun ise yüksek konsantrasyonda (39,43 ng/L) bulunduğunu bildirmişlerdir [42]. Sucul ortamdaki veteriner ilaçlarının konsantrasyon aralıkları ve bu ilaçların tespiti için kullanılan analitik yöntemler Tablo 2'de gösterilmiştir [43].

Tablo 2. Sucul ortamdaki veteriner ilaçlarının konsantrasyonları ve tespiti için kullanılan analitik yöntemler

| Bileşik | Bildirilen Konsantrasyon | Analitik Metod | Bulunma yeri | Kaynaklar | Referans |
|--|--|--|-------------------------------------|--|----------|
| Atıksu Arıtma Tesisleri | | | | | |
| Sülfametazin | 3.278 µg/L | - | Evsel Atıksu Arıtma Tesisleri | - | [34] |
| Sülfamerazin, eritromisin, monensin, tiamulin, sülfafiazol, linkomisin | - | Katı faz ekstraksiyonunu takiben LCMS/MS | Atık Lagünleri | Domuz ve Sığır Eti Tesisleri | [33] |
| Klortetrasiklin, oksitetrasiklin, asetilsalisilik asit | - | LC-MS/MS | Hayvancılık atıksu arıtma tesisleri | - | [39] |
| Fenbendazol Fenbendazol sülfon Amino fenbendazol P-hidroksi fenbendazol | 3.85 – 241 µg/L 0.283 -93.9 µg/L 0.554 -94.1 µg/L 0.693-92.7 µg/L | Katı faz ekstraksiyonunu takiben HPLC-MS/MS | Hayvancılık atıksu arıtma tesisleri | Hayvan Çiftlikleri | [35] |
| Deponi alanı/Gübre sızıntı suları | | | | | |
| Monensin | 191 – 11980 ng/L | Katı faz ekstraksiyonunu takiben LC-MS/MS | Karkas defin sızıntı suları | Hayvan çiftliklerindeki karkasların gömü yerleri | [40] |
| Yeraltı suları | | | | | |
| Sülfametazin sulfadimetoksin sülfasetamid | 3490 ng/L | Katı faz ekstraksiyonunu takiben LC-MS/MS | Yeraltı suları | - | [41] |
| Eritromisin Monensin | 72 -2380 ng/L 180-2350 ng/L | Katı faz ekstraksiyonunu takiben LC-MS/MS | Yeraltı suları | Domuz ve sığır eti tesisleri | [33] |
| Sülfametazin Sulfadimetoksin | 0.076-0.22 µg/L 0.046-0.068 µg/L | Katı faz ekstraksiyonunu takiben LC-MS/MS | İçme suyu amaçlı özel kuyular | Sığır eti tesisleri | [42] |
| Tatlı su kaynakları | | | | | |
| Fenbendazol | 0.006-1.31 µg/L | Katı faz ekstraksiyonunu takiben LC-MS/MS | Nehirler | Evsel atıksu arıtma tesisleri | [35] |
| Oksitetrasiklin | 2 ng/L – 68 | LC-MS/MS | Nehirler | Domuz, sığır ve tavuk çiftlikleri | [43] |
| Monensin Salinomisin Narasin | 0.036 µg/L 0.007 µg/L 0.038 µg/L | Katı faz ekstraksiyonunu takiben HPLC-MS/MS | Nehirler | Tavuk çiftlikleri vb. tarımsal aktiviteler | [44] |
| Tetrasiklin | 210 ng/L – 0.47 µg/L | HPLC-MS/MS | Nehirler | - | [45] |
| Anthelmintikler | 0.32 – 39.43 ng/L | İyon kütle spektrometresine bağlı Ultra HPLC(UHPLC-QqLIT-MS) | Nehirler | Domuz çiftlikleri | [46] |
| Sülfametaksozol Sülfametazin Trimethoprim | 20 – 174 ng/L 15 –328 ng/L 7 – 44 ng/L | HPLC/MS | Nehirler | Domuz ve tavuk çiftlikleri | [47] |
| Linkomisin | 0.006 µg /L | Katı faz ekstraksiyonunu takiben LC-MS/MS | Dere suları | Sığır eti tesisleri | [48] |
| Sulfadimidin Tilosin | > 7 ng/L 90 ng/L | Katı faz ekstraksiyonunu takiben HPLC-MS/MS | Nehir kıyıları | Tarımsal aktiviteler | [49] |

6. Sucul Ekosistemler ve İnsan Sağlığı Üzerindeki Riskleri ve Toksikitesi

Veteriner ilaçlarının toksisitesi hakkında yapılan laboratuvar çalışmaları sayesinde bireysel organizmalar grubuna ait veriler mevcuttur. Birtakım veteriner ilaçlarının endokrin sistemi bozucu aktivite sergilediği gösterilmiştir. Fakat sınırlı bilgi nedeniyle, veteriner ilaçlarını çevredeki endokrin bozulmasının bir nedeni olarak değerlendirmek zordur. Öncelikli tanımlanan bu bileşiklerin çevrede ekolojik olarak önemli seviyelerde bulunup bulunmadığını belirlemek için çevresel izlemenin yapılması gerekmektedir [38].

Antibiyotikler, antiparazitik ve antifungal ilaçlar, hormonlar, anti-inflamatuvar ilaçlar, anestezipler, sedatifler gibi geniş ölçekteki veteriner ilaçları çevreye salınırlar ve bitkilerde dâhil olmak üzere hedef dışı organizmaları etkileyebilirler. İvermektinlerin ve koyun yıkama kimyasallarının sucul organizmalar üzerindeki akut ve kronik etkileri belirlenmiştir ve bu maddelerin düşük konsantrasyonlarda bile çeşitli organizmalar için toksik olduğu bilinmektedir (ng/L ve µg/L). Dünya Sağlık Örgütü'ne (WHO) göre, çevrede bulunan veteriner ilaçlarının su ve toprak matrislerinde dirençli antibiyotiklerin gelişmesinden sorumlu olduğu belirtilmektedir. Son yıllarda ABD ve Avrupa'da veteriner ilaçlarının çevresel risk değerlendirmelerinin oluşturulması ve gereklilikleri ile son gelişmeler giderek hız kazanmaktadır [55]. Farmasötiklerin sucul organizmalardaki uzun vadeli etkilerini değerlendirmek için çok fazla araştırma yapılmasına rağmen, bunların sayısının hala çok düşük olduğunu belirtilmektedir [56]. Yapılan araştırmalarda metabolitlerin ve bozunma ürünlerinin potansiyel etkileri araştırılmıştır ve çok sayıda veri mevcut olmasına ve bilimin ilerlemeye devam etmesine rağmen yapılması gereken çok şey vardır. Veterinerlik bileşiklerinin toksik etkileri ve bunlarla ilişkili riskler hakkında bilgi edinmek için; kullanılan miktarlar, çevresel izleme, türlerin duyarlılık dağılımı, biyolojik birikim potansiyeli, endokrin bozunma potansiyeli ve daha yüksek trofik seviyeli türler üzerinde dolaylı etkileri gibi farklı alanlarda yapılmış çalışmalara ihtiyaç vardır.

Tarım ve su ürünleri yetiştiriciliği nedeniyle hayvanlarda ilaç kullanımının giderek artması çevresel risklerin artmasına neden olmuştur. Bu bileşikler dirençli bakteri popülasyonlarının gelişmesine, mikrofauna ve mikroflora üzerinde toksisiteye ve sonuçta olumsuz ekolojik etkilere sebep olmaktadır. Diğer farmasötik bileşik özellikle de antibakteriyel maddelerin sucul ve karasal toksisitesine ilişkin yapılan çalışmalar vardır. Bazı alg ve sucul bakteri türleri için toksisite daha fazladır. Genel olarak antibakteriyel maddeler için toksisite değerleri bildirilen çevresel konsantrasyonlardan önemli ölçüde yüksektir. Bununla birlikte, uygun toksisite verilerinin eksikliği nedeniyle, bu gözlemlerin çevresel önemini uzun vadeli etkiler açısından değerlendirmek zordur [57].

7. Sonuç

Veteriner ilaçlarından kaynaklanan çevresel potansiyel risklerin daha iyi anlaşılması için tüm genel veteriner ilaç gruplarının kullanımı, maruz kalma yolları, çevresel akıbeti, davranışları ve etkileri hakkındaki mevcut veriler harmanlanmış ve incelenmiştir. Literatürde çeşitli veteriner ilaçları için analitik yöntemler bulunmaktadır. Bunlar genel olarak gıdalardaki veteriner ilaç konsantrasyonlarının belirlenmesi için geliştirilmiştir. Bununla birlikte yüzey suları, sedimentler, gübre/gübre çamuru, topraklar ve yeraltı sularında seçilen bileşikler için sınırlı sayıda metotlar mevcuttur. Yüzey sularında koyun yıkama kimyasalları için tespit edilen konsantrasyonlar 106 ng/L ve yeraltı sularında 489 ng/L'ye kadar yükselmiştir ve genellikle bu değerler Çevresel Kalite standartlarında verilen değerleri aşmaktadır. Su ürünleri yetiştiriciliğinde kullanılan veterinerlik ürünlerinin rapor edilen konsantrasyonları suda 1 µg/L (emamektin benzoat) ve sedimentte 285 µg/g kadar yüksektir (oksitetrasiklin). Çiftlik hayvanlarını tedavi etmek için kullanılan antibakteriyel maddelerin ve antihelmantiklerin konsantrasyonları hakkında sınırlı miktarda veri mevcuttur. Toprakta klortetrasilin, ivermektin ve monensinin bildirilen maksimum konsantrasyonları sırasıyla 42 µg/kg, 2 µg/kg ve 1 mg/kg'dır. Bu veriler veteriner ilaçlarının çevre üzerindeki etkilerinin risk değerlendirmesi ve bu etkileri en aza indirmeyi hedefleyen politika belirleme ve düzenleme önlemleri için gereklidir.

Tetrasiklinler, tiamfenikoller, florokinolonlar, makrolidler ve sülfonamitleri içeren çok sayıda madde için mevcut veriler sınırlıdır. Bu nedenle birçok durumda kronik veri bulunmadığından ve farklı türlerin bağıl duyarlılığı bilinmediğinden bu maddelerin etkilerini tam olarak değerlendirmek zordur.

Veteriner ilaçlarının çevresel etkilerin tespiti, nicelleştirilmesi ve değerlendirilmesi gibi mevcut zorlukların üstesinden gelmek gerekmektedir. Günümüzde bu konular ile ilgili daha fazla araştırmaların

yapılmaya başlanmasıyla bu bileşiklerin davranışları, sucul ve karasal organizmalarda meydana getirdiği riskler hakkındaki bilgilere daha hızlı bir şekilde ulaşmak mümkün olacaktır. Veteriner ilaçlarının çevresel etkilerini daha iyi anlamak ve uygun risk azaltma önlemlerinin alınmasını sağlamak için öncelikli olarak tanımlanan veteriner ilaçları için daha fazla çalışma yapılması gerekmektedir.

Yazarların Katkısı

Makalenin yazımında yöntemin tasarlanması ve planlanması, literatürün taranması ve derlenmesi ve en sonunda makalenin basım aşamasına gelinceye kadar tüm düzeltme ve son kontroller tek yazar Ayşe ÖZGÜVEN tarafından yapılmıştır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada, araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar

- [1] Reemtsma T., Jekel M. (Eds.). 2006. Organic Pollutants in the Water Cycle: Properties, Occurrence, Analysis and Environmental Relevance of Polar Compounds. Water Chemical Society. 350pp.
- [2] Environment Agency. 2001. Pesticides 1999/2000: A summary of monitoring of the aquatic environment in England and Wales, National Centre for Ecotoxicology and Hazardous Substances. Environment Agency, Wallingford.
- [3] Environment Agency. 2000. Welsh sheep dip monitoring programme 1999. Environment Agency Wales, Cardiff. Environment Agency Midland Region, April 2001, Solihull.
- [4] Davies I.M., Gillibrand P.A., McHenry J.G., Rae G.H. 1998. Environmental risk of ivermectin to sediment-dwelling organisms. *Aquaculture*, 163: 29-46.
- [5] Arnold K.E., Boxall A.B., Brown A.R., Cuthbert R.J., Gaw S., Hutchinson T.H., Jobling S., Madden J.C., Metcalfe C.D., Naidoo V., Shore R. F., Smits J.E., Taggart M.A., Thompson H.M. 2013. Assessing the exposure risk and impacts of pharmaceuticals in the environment on individuals and ecosystems. *Biol. Lett.*, 9 (4): 20130492.
- [6] Jorgensen S.E., Halling-Sorensen B. 2000. Drugs in the environment. *Chemosphere*, 40: 691-699.
- [7] Boxall A.B.A., Fogg L., Blackwell P.A., Key P., Pemberton E.I. 2002. Review of veterinary Medicines in the Environment R&D Technical Report P6-012/8/TR. Environment Agency, Bristol, pp. 1-233, Bristol.
- [8] Samuelsen O.B., Lunestad B.T., Husevag B., Holleland T., Ervik A. 1992. Residues of oxolinic acid in wild fauna following medication in fish farms. *Diseases of Aquatic Organisms*, 12: 111-119.
- [9] Holm J.V., Rügge K., Bjerg P.L., Christensen T.H. 1995. Occurrence and distribution of pharmaceutical organic compounds in the groundwater downgradient of a landfill (Grinsted, Denmark). *Environmental Science and Technology*, 29: 1415-1420.
- [10] Du L.F., Liu W.K., 2012. Occurrence, fate and ecotoxicity of antibiotics in agro-ecosystems. A review. *Agron. Sustain., Dev.* 32 (2): 309-327.
- [11] Bartikova H., Podlipna R., Skalovaa L. 2016. Veterinary drugs in the environment and their toxicity to plants. *Chemosphere*, 144: 2290–2301.
- [12] VMD. 2001. Sales of antimicrobial products used as veterinary medicines and growth promoters in the UK in 1999. Report obtained from VMD website.
- [13] Ervik A., Thorsen B., Eriksen V., Lunestad B.T., Samuelsen O.B. 1994. Impact of administering antibacterial agents on wild fish and blue mussels *Mytilus edulis* in the vicinity of fish farms. *Diseases of Aquatic Organisms*, 18: 45-5.

- [14] Björklund H.V., Bondestam J., Bylund G. 1990. Residues of oxytetracycline in wild fish and sediments from fish farms. *Aquaculture*, 86: 359-367.
- [15] Capone D.G., Weston D.P., Miller V., Shoemaker C. 1996. Antibacterial residues in marine sediments and invertebrates following chemotherapy in aquaculture. *Aquaculture*, 145: 55-75.
- [16] Wang N., Guo X., Xu J., Kong X., Gao S., Zhengjun S. 2014. Pollution characteristics and environmental risk assessment of typical veterinary antibiotics in livestock farms in Southeastern China. *J. Environ. Sci. Health Part B.*, 49: 468-479.
- [17] Canavan A., Coyne R., Kennedy D.G., Smith P. 2000. Concentration of 22,23dihydroavermectin B1a detected in the sediments at an Atlantic salmon farm using orally administered ivermectin to control sea-lice infestation. *Aquaculture*, 182: 229-240.
- [18] Daughton C.G., Ternes T.A. 1999. Pharmaceuticals and personal care products in the environment; Agents of subtle change? Special report. *Environmental Health Perspectives Supplements*, 107: 907-938.
- [19] Ingerslev F., Halling-Sorensen B. 2001. Biodegradability of metronidazole, olaquinox and tylosin and formation of tylosin degradation products in aerobic soil/manure slurries. *Chemosphere*, 48: 311-320.
- [20] Gilbertson T.J., Hornish R.E., Jaglan P.S., Koshy T., Nappier J.L., Stahl G.L., Cazars A.R., Nappier J.M., Kubicek M.F., Hoffman G.A., Hamlow, P. 1990. Environmental fate of ceftiofur sodium, a cephalosporin antibiotic. Role of animal excreta in its decomposition. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 38: 890-894.
- [21] Loke M.L., Ingerslev F., Halling-Sorensen, B., Tjornelund J. 2000. Stability of tylosin A in manure containing test systems determined by high performance liquid chromatography. *Chemosphere*, 40: 759-765.
- [22] Halley B.A., VandenHeuvel W.J.A., Wislocki P.G. 1993. Environmental effects of the usage of avermectins in livestock. *Veterinary Parasitology*, 48: 109-125.
- [23] Rabolle M., Spliid N.H. 2000. Sorption and mobility of metronidazole, olaquinox, oxytetracycline and tylosin in soil. *Chemosphere*, 40: 715-722.
- [24] Hamscher G., Sczesny S., Abu-Quare A., Höper H., Nau H. 2000. Substances with pharmacological effects including hormonally active substances in the environment: Identification of tetracyclines in soil fertilised with animal slurry. *Dtsch. tierärztl. Wschr.* 107:293-348.
- [25] Hamscher G., Sczesny S., Höper H., Nau H. 2000a. Tetracycline and chlortetracycline residues in soil fertilized with liquidmanure. *Proceedings of Livestock Farming and the Environment*, 28-29 September, Hannover.
- [26] Balci B., Erkuş A., Erkuş F.Ş. 2010. Farmasötik bileşiklerin sucul ortamda bulunuşu ve etkileri, *Biyoloji Bilimleri Araştırma Dergisi*, 3: 13-19.
- [27] Heberer T, 2002. Occurrence, Fate, and Removal of Pharmaceutical Residues in the Aquatic Environment: a review of recent research data. *Toxicol. Letters*, 131: 5-17.
- [28] Ayscough N.J., Fawell J., Franklin G., Young W. 2000. Review of human pharmaceuticals in the environment. *Environment Agency R & D Technical Report*, 390ss.
- [29] Hartig C., Storm T., Jekel M. 1999. Detection and identification of sulphonamide drugs in municipal waste water by liquid chromatography coupled with electrospray ionisation tandem mass spectrometry. *Journal of Chromatography A*, 854: 163-173.
- [30] Ternes T.A. 1998. Occurrence of drugs in German sewage treatment plants and rivers. *Water Research*, 32: 3245-3260.
- [31] Meyer M.T., Bumgarner J.E., Varns J.L., Daughtridge J.V., Thurman E.M., Hostetler K.A. 2000. Use of radioimmunoassay as a screen for antibiotics in confined animal feeding operations and confirmation by liquid chromatography/mass spectrometry. *The Science of the Total Environment*, 248: 181-187.
- [32] Hirsch R., Ternes T., Heberer K., Kratz, K.L.1999. Occurrence of antibiotics in the aquatic environment. *The Science of the Total Environment*, 225: 109-118.
- [33] McKellar Q.A. 1997. Ecotoxicology and residues of anthelmintic compounds. *Veterinary Parasitology*, 72: 413-435.
- [34] Strong L. 1993. Overview: the impact of avermectins on pastureland ecology. *Veterinary Parasitology*, 48: 3-17.

- [35] Bartelt-Hunt S., Snow D.D., Damon-Powell T., Miesbach D. 2011. Occurrence of steroid hormones and antibiotics in shallow groundwater impacted by livestock waste control facilities. *J. Contaminant Hydrol.*, 123: 94-103.
- [36] Balcı B., Keskinan O., Erkuş A. 2012. Atıksulardan Parasetamol Gideriminde Aktif Çamur Kullanılması. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 27: 1-12.
- [37] Erkuş A., Başbüyük M., Erkuş F. Ş. 2015. The examination of paracetamol and diclofenac removal in activated sludge systems under different operating conditions. *International Journal of Ecosystems and Ecology Science-IJEES*, 5: 315-320.
- [38] Urase T., Kikuta T., 2005. Separate estimation of adsorption and degradation of pharmaceutical substances and estrogens in the activated sludge process. *Water Res.* 39: 1289-1300.
- [39] Kone M., Cologgi D.L., Lu W., Smith D.W., Ulrich A.C. 2013. Pharmaceuticals in Canadian Sewage treatment plant effluents and surface waters: occurrence and environmental risk assessment. *Environ. Technol. Rev.*, 2: 17-27.
- [40] Sim W.J., Kim H.Y., Choi S.D., Kwon J.-H., Oh J.E. 2013. Evaluation of pharmaceuticals and personal care products with emphasis on anthelmintics in human sanitary waste, sewage, hospital wastewater, livestock wastewater and receiving water. *J. Hazard. Mat.*, 248-249: 219-227.
- [41] Fisher P.M.J., Scott R. 2008. Evaluating and controlling pharmaceutical emissions from dairyfarms: a critical first step in developing a preventative management approach. *J. Cleaner Product.*, 16: 1437-1446.
- [42] Kolodziej E., Harter T., Sedlak D.L. 2004. Dairy Wastewater, Aquaculture and Spawning Fish as Sources of Steroid Hormones in the Aquatic Environment. *Environ. Sci. Technol.*, 38: 6377-6384.
- [43] Fabio K., Shlomo E.B. 2016. The Occurrence of Veterinary Pharmaceuticals in the Environment: A Review. *Current Analytical Chemistry*, 12: 169-182.
- [44] Lim S.J., Seo C.K., Kim T.H., Myung S.W. 2013. Occurrence and ecological hazard assessment of selected veterinary medicines in livestock wastewater treatment plants. *J. Environ. Sci. Health Part B.*, 48: 658-670.
- [45] Yuan Q., Snow D.D., Bartelt-Hunt S.N. 2013. Potential water quality impacts originating from land burial of cattle carcasses. *Sci. Total Environ.*, 456-457, 246-253.
- [46] Garcia-galan M.J., Garrido T., Fraile J., Ginebreda A., Diazcruz M.S. 2010. Simultaneous occurrence of nitrates and sulfonamide antibiotics in two groundwater bodies of Catalonia [Spain]. *J. Hydrol.*, 383: 93-101.
- [47] Batt A.L., Snow D.D., Aga D.S. 2006. Occurrence of sulfonamide antimicrobials in private water wells in Washington County, Idaho, USA. *Chemosphere*, 64:1963-1971.
- [48] Matsui Y., Ozu T., Inoue T., Matsushita T. 2008. Occurrence of a veterinary antibiotic in streams in a small catchment area with livestock farms. *Desalination*, 226: 215-221.
- [49] Kim K.R., Owens G., Kwon S.I., So K.H., Lee D.B., Ok Y.S. 2011. Occurrence and Environmental Fate of Veterinary Antibiotics in the Terrestrial Environment. *Water Air Soil Poll.*, 214: 163-174.
- [50] Luo Y., Xu L., Rysz M., Wang Y., Zhang H., Alvarez P.J.J. 2011. Occurrence and Transport of Tetracycline, Sulfonamide, Quinolone and Macrolide Antibiotics in the Haihe River Basin, China. *Environ. Sci. Technol.*, 45:1827-1833.
- [51] Zrncic M., Gros M., Balbic S., Kastelan-Macan M., Barcelo D., Petrovic M. 2014. Analysis of anthelmintics in surface water by ultra high performance liquid chromatography coupled to quadrupole linear ion trap tandem mass spectrometry. *Chemosphere*, 99: 224-232.
- [52] Bernot M.J., Smith L., Frey F. 2013. Human and veterinary pharmaceutical abundance and transport in a rural central stream influenced by confined animal feeding operation [CAFOs]. *Sci. Total Environ.*, 445-446: 219-230.
- [53] Christian T., Schneider R.J., Farber H.A., Skutlarek D., Meyer M.T., Goldbach H.E. 2003. Determination of antibiotic residues in Manure, Soil and Surface Waters. *Acta Hydrochim. Hydrobiol.*, 31: 36-44.
- [54] Kemper N., Farber H., Skutlarek D., Krieter J. 2008. Analysis of antibiotic residues in liquid manure and leachate of dairy farms in Northern Germany. *Agr. Water Manage.*, 95: 1288-1292.
- [55] Chevre N. 2011. Occurrence Pharmaceuticals in surface waters: Sources, behavior, ecological risk, and possible solutions. Case Study of Lake Geneva, Switzerland. *WIREs Water*, 1: 69-86.

- [56] Boxall A., Long C. 2005. Veterinary Medicines and the Environment. *Environ. Toxicol. Chem.*, 4: 759-760.
- [57] Kummerer K. 2010. Pharmaceuticals in the environment. *Annu. Rev. Environ. Resource*, 35: 57.

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. Öztürk Ö. 2017. A Different Solution Method for the Confluent Hypergeometric Equation, *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 7 (2): 215-224.
3. Kurşat M., Emre İ., Yılmaz Ö., Erecevit P. 2011. Antioxidant and antimicrobial activity in the seeds of *Origanum vulgare* L. subsp. *gracile* (C. Koch) Ietswaart and *Origanum acutidens* (Hand.-Mazz.) Ietswaart from Turkey, *Grasas y aceites*, 62 (4): 410-417.

Kaynak bir kitap ise;

1. Chapra C.S., Canale R.P. 2003. *Yazılım ve Programlama Uygulamalarıyla Mühendisler için Sayısal Yöntemler*, Literatür Yayınları, 1004s. İstanbul.
2. Demirsoy A. 1999. *Genel ve Türkiye Zoocoğrafyası "Hayvan Coğrafyası"*. Meteksan Yayınları, 965s. Ankara.

Kitap bölümü ise;

1. Cullen J. 1975. *Artemisia L.* in *Flora of Turkey and East Aegean Islands*, Edited by Davis PH, Vol.5, Edinburgh: Edinburgh Univ Press, 311-324.
2. Cassidy J., Elder R. 1984. Spillways of high dams, in *Developments in Hydraulic Engineering 2*, Edited by Novak P., Applied Science Publishers Ltd. Essex, UK, 153-173.

Kaynak sempozyum ise;

1. Akyüz M., Kırbağ S. 2012. Fatty Acid and Vitamin Composition of *Pleurotus eryngii* var. *ferulae* Grown on Various Agro-wastes, 21. Ulusal Biyoloji Kongresi, pp1168-1169, 3-7 Eylül, İzmir.
2. Tabur M.A., Uzun A., Ayvaz Y. 2004. Why is White-headed Duck Wintering in Lake Burdur (Turkey) decreasing? 1st International Eurasian Ornithology Congress 8-11 April, Abstract Book, 63s. Antalya.

Web adresi;**İnternet kaynağın yazar ismi ve tarihi biliniyorsa;**

1. Şenel F. 2006. Kırım-Kongo Kanamalı Ateşi. <http://www.biltek.tubitak.gov.tr/pdf/kene>. (Erişim Tarihi: 21.01.2007).

Yazar ve tarih isimleri bilinmiyorsa;

1. Biyolojik çeşitlilik 2005. Türkiye'nin Biyolojik Çeşitliliği. <http://www.bcs.gov.tr/1.4.php> (Erişim tarihi: 15.01.2007).

Kaynak Tez ise;

1. Kurşat M. 2010. Türkiye'de Yetişen *Artemisia L. (Asteraceae)* Taksonlarının Taksonomik Revizyonu. Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora tezi, 348s, Elazığ.

Kaynak Anonim ise;

1. Anonim, 1990. Sulak Alanların Korunması. Doğal Hayatı Koruma Derneği, 93s. İstanbul.

Şekil ve Tablolar: Fotoğraf, resim, çizim ve grafik gibi göstermeler şekil olarak verilmelidir. Resim, şekil ve grafikler net ve ofset baskı tekniğine uygun olmalıdır. Şekiller (Renkli ve siyah-beyaz fotoğraflar, siyah-beyaz çizimler, haritalar) metin içerisinde verilmelidir. Şekiller 16x20 cm den büyük olmamalıdır. Resim ve fotoğraflar en az 600 dpi çözünürlükte olmalıdır. Tüm tablo ve şekiller makale

boyunca sırayla numaralandırılmalı (Tablo 1., Şekil 1.), başlık ve açıklamalar içermelidir. Açıklamaların sonunda nokta veya 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. Öztürk Ö. 2017. A Different Solution Method for the Confluent Hypergeometric Equation, *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 7 (2): 215-224.
3. Kurşat M., Emre İ., Yılmaz Ö., Erecevit P. 2011. Antioxidant and antimicrobial activity in the seeds of *Origanum vulgare* L. subsp. *gracile* (C. Koch) Ietswaart and *Origanum acutidens* (Hand.-Mazz.) Ietswaart from Turkey, *Grasas y aceites*, 62 (4): 410-417.

Book:

1. Chapra C.S., Canale R.P. 2003. *Yazılım ve Programlama Uygulamalarıyla Mühendisler için Sayısal Yöntemler*, Literatür Yayınları, 1004s. İstanbul.
2. Demirsoy A. 1999. *Genel ve Türkiye Zoocoğrafyası "Hayvan Coğrafyası"*. Meteksan Yayınları, 965s. Ankara.

Book Chapter:

1. Cullen J. 1975. *Artemisia* L. in *Flora of Turkey and East Aegean Islands*, Edited by Davis PH, Vol.5, Edinburgh: Edinburgh Univ Press, 311-324.
2. Cassidy J., Elder R. 1984. Spillways of high dams, in *Developments in Hydraulic Engineering 2*, Edited by Novak P., Applied Science Publishers Ltd. Essex, UK, 153-173.

Symposium Proceeding:

1. Akyüz M., Kırbağ S. 2012. Fatty Acid and Vitamin Composition of *Pleurotus eryngii* var. *ferulae* Grown on Various Agro-wastes, 21. Ulusal Biyoloji Kongresi, pp1168-1169, 3-7 Eylül, İzmir.
2. Tabur M.A., Uzun A., Ayvaz Y. 2004. Why is White-headed Duck Wintering in Lake Burdur (Turkey) decreasing? 1st International Eurasian Ornithology Congress 8-11 April, Abstract Book, 63s. Antalya.

Web sites:**If the author name and date are known:**

1. Senel F. 2006. Kirim-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> (Access Date: 15.01.2007).

Thesis:

1. Kursat M. 2010. Türkiye'de Yetisen *Artemisia* L. (*Asteraceae*) Taksonlarının Taksonomik Revizyonu. Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, PhD Thesis, 348s, Elazığ.

Anonymous:

1. Anonymous, 1990. Sulak Alanların Korunması. Doğal Hayatı Koruma Derneği, 93s. İstanbul.

Figures and Tables: Images like photos, pictures, drawings, and graphs should be given as figures. Figures should be clear and appropriate for press. All figures should be given within the text. Figures should not exceed the size of 16x20 cm. Pixel based figures should be minimum of 600 dpi. All tables and figures should be numbered (e.g. Table 1, Figure 1), and should include a title and legend. There should be no period or comma after the legend. The titles should be centered and in 10 font size. Tables and figure titles should be placed above the table and below the figure, respectively.

Units: All units should be given according to SI (International System of Units).

Final Check List For Articles Accepted For Publication

- All margins are 2.5 cm.
- Paragraphs are single spaced.
- Article titles (Turkish and English) are bold and in 14 font size with capitalized first letters.
- Main section titles are bold and in 11 font size with capitalized first letters.
- Subsection titles are bold and in 11 font size and only the first letter of the first word is capitalized.

BEU FEN BİLİMLERİ DERGİSİ YAYIN İLKELERİ

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

Dergide yayımlanacak makalelerin bilimsel etik kuralları içerisinde olması gerekmektedir. Makalede yer alan tüm yazarlar, çalışmalarının yayın haklarını Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi'ne verdiklerine dair **Telif Hakları Formu**'nu imzalamalıdır. Bu form iletilmeden yayın kabul edilse de yayımlanmayacaktır. Bütün bu bilgiler aşağıdaki DergiPark sistemi, e-posta adresi veya posta adresi ile editörlüğe gönderilmelidir. Dergide yayımlanacak makalelerin içeriğinden kaynaklanan her türlü yasal sorumluluklar ve telif haklarına ilişkin doğabilecek hukuki sorumluluklar tamamen yazarlara aittir.

Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Editörlüğü

Bitlis Eren Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
13000, Merkez, Bitlis/TÜRKİYE
E-posta : fbe@beu.edu.tr
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