



Bitlis Eren Üniversitesi
Fen Bilimleri Dergisi

Bitlis Eren University
Journal of Science

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

Cilt / Volume: 10

Sayı / Number: 1

Yıl / Year: 2021

Yazışma Adresi

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

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

Yayın Kurulu / Editorial Board

Sahibi / Owner	Prof. Dr. Necmettin ELMASTAŞ
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. Leyla AÇIK	Gazi Üniversitesi
Prof. Dr. Belkıs ZERVENT ÜNAL	Çukurova Üniversitesi
Prof. Dr. Ayten ÇELEBİ KESKİN	Kırıkkale Üniversitesi
Prof. Dr. İsmail ZORLUER	Afyon Kocatepe Üniversitesi
Prof. Dr. Mehmet KAYA	Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi
Prof. Dr. Rasim BEHCET	İnönü Üniversitesi
Prof. Dr. Sadık Özgür DEĞERTEKİN	Dicle Üniversitesi
Prof. Dr. Selma ÇALIŞKAN	Gazi Üniversitesi
Prof. Dr. Serkan AKKOYUN	Cumhuriyet Üniversitesi
Prof. Dr. Tuncay BAYRAM	Karadeniz Teknik Üniversitesi
Prof. Dr. Turgay Tugay BİLGİN	Bursa Teknik Üniversitesi
Prof. Dr. Yahya Hışman ÇELİK	Batman Üniversitesi
Prof. Dr. Yıldırım YALMAN	Piri Reis Üniversitesi
Doç. Dr. Ercan IŞIK	Bitlis Eren Üniversitesi
Doç. Dr. Gülnur YEL	Uluslararası Fındık Üniversitesi
Doç. Dr. Hakan SEPET	Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi
Doç. Dr. Hasan GENÇ	Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi
Doç. Dr. Havvanur KILIÇ	Yıldız Teknik Üniversitesi
Doç. Dr. Levent UĞUR	Amasya Üniversitesi
Doç. Dr. Mehmet Ali BELEN	İskenderun Teknik Üniversitesi
Doç. Dr. Murat Can GANİZ	Marmara Üniversitesi
Doç. Dr. Murat KÜRŞAT	Bitlis Eren Üniversitesi
Doç. Dr. Sabit HOROZ	Siirt Üniversitesi
Doç. Dr. Sema CAMCI ÇETİN	Ankara Hacı Bayram Veli Üniversitesi
Doç. Dr. Sinan AKSÖZ	Pamukkale Üniversitesi
Doç. Dr. Tarık DANIŞMAN	Kırıkkale Üniversitesi
Doç. Dr. Yaşar KIRAN	Fırat Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Alper POLAT	Munzur Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Aykut DİKER	Bandırma Onyediy Eylül Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Ayşe ÖZGÜVEN	Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Buket DOĞAN	Marmara Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Çağatay AYDIN	Altınbaş Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Fatih AVCİL	Bitlis Eren Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Funda İŞÇİOĞLU	Ege Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Gökay BAYRAK	Bursa Teknik Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi İbrahim Halil YANARDAĞ	Malatya Turgut Özal Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi İrfan UÇKAN	Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi İsmail DEMİRCİOĞLU	Harran Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Muhammet Burak KILIÇ	Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Murat KİLİT	Afyon Kocatepe Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Mustafa ÖZDEMİR	Yozgat Bozok Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Mustafa Şamil ARGUN	Selçuk Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Neslihan İDİL	Hacettepe Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Neslihan TAŞAR	Munzur Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Oğuzhan ERBAŞ	Kütahya Dumlupınar Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Semih KORKMAZ	Bandırma Onyediy Eylül Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Sena Esen BAYER KESKİN	Kırklareli Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Sibel ŞARDAĞ	Bursa Uludağ Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Şerif RÜZGAR	Batman Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Tuncer ÇAKMAK	Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Burcu GÜRBÜZ	Üsküdar Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Volkan TUNALI	Maltepe Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Yalçın AKBULUT	Kafkas Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Yunus ÖZEN	Yalova Üniversitesi
Araş. Gör. Dr. Gökben BAŞARAN KANKILIÇ	Kırıkkale Üniversitesi
Araş. Gör. Dr. Demet ERDÖNMEZ	Aksaray Üniversitesi
Öğr. Gör. Dr. Erdiç VURAL	Aydın Adnan Menderes Üniversitesi
Öğr. Gör. Dr. Kenan AKBAŞ	Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi

Dergi Hakkında / About Journal

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

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

1. **Karyotype Analysis of *Lallemantia* Fisch. & C.A.Mey. Species Grown in Turkey: A Detailed Karyotype Asymmetry Study** 1-8
Türkiye’de Yetişen Lallemantia Fisch. & C.A.Mey. Türlerinin Karyotip Analizleri: Detaylı Karyotip Asimetri Çalışması
İ. Emre, O. Gedik, M. Kürşat, Y. Kiran
2. **Pd-Au Alaşımında Au Atomunun Konsantrasyonunun Polyhedron Topakları Oluşumu Üzerine Etkisinin Moleküler Dinamik Yöntemle İncelenmesi** 9-15
Investigation of Concentration Effect of Au atoms on Polyhedron Clusters formation at Pd-Si alloy with Molecular Dynamics Method
F.A.Çelik
3. **The Effect of Zivzik Pomegranate Juice on the Physico-chemical and Sensorial Properties of Kefir Produced by Conventional Method** 16-23
Zivzik Narı Suyunun Geleneksel Yöntemle Üretilen Kefirin Fiziko-kimyasal ve Duyusal Özellikleri Üzerine Etkisi
B. Hallac, H. Sancak
4. **Kırıkkale ilinin korumada öncelikli bitki taksonları ve habitatları hakkında güncel değerlendirme** 24-41
Up-to-date evaluation of the priority plant taxa and habitats of Kırıkkale province
O. Urker
5. **Molecular Typing with BOX-PCR of *Staphylococcus aureus* Isolated from Milk Samples** 42-48
Süt Örneklerinden İzole Edilen Staphylococcus aureus’un BOX-PCR ile Moleküler Tiplendirilmesi
E. Gülbahçe Mutlu, E. Arslan
6. **Heavy Metal Tolerance Potential of *Aspergillus alliaceus* Isolated from a Green Turtle Nesting Site** 49-56
Yeşil Kaplumbağa Yuvalama Alanından İzole Edilen Aspergillus alliaceus’un Ağır Metal Tolerans Potansiyeli
E.D. Candan
7. **Numerical bifurcation analysis for a prey-predator type interactions with a time lag and habitat complexity** 57-66
Gecikme ve yaşam alanı karmaşıklığı eklenmiş av-avcı tipindeki etkileşimler için nümerik çatalanma analizi
A. Gökçe
8. **Bir Aylık ve Beş Aylık Erkek Ratlarda Medulla Spinalis’in Torakal Segmenti Üzerine Yapılan Morfolojik ve Stereolojik Bir Çalışma** 67-81
A Morphological and Stereological Study on Thoracal Spinal Cord of One and Five Months Age Male Rat
A. Arkaç Toyran, G. Çakmak
9. **IBM-1 Model ile çift-çift Fe İzotoplarının Nükleer Özelliklerinin İncelenmesi** 82-90
Investigation of Nuclear Properties of even-even Fe Isotopes within the IBM-1 Model
G. Çakır Oruç, M. Büyükata
10. **Analysis of Linear Consecutive-2-out-of-n: F Repairable System with Different Failure Rate** 91-99
Farklı Hata Oranlı Doğrusal Ardışık n-den 2 Çıkışlı Tamir Edilebilir F Sistemin Analizi
F. Özbey, G. Gökdere
11. **On the Distribution and Host-Plant of *Aristotelia subericinella* (Duponchel, 1843) (Lepidoptera: Gelechiidae)** 100-104
Aristotelia subericinella (Duponchel, 1843)’nin (Lepidoptera: Gelechiidae) Yayılışı ve Konukçu Bitkisi Hakkında
K. Akin, E. Seven

Araştırma Makaleleri (Mühendislik) / Research Articles (Engineering)

12. **Modellenen Bir Jet Türbin Pervanesine Uygulanan Kaplamaların Simülasyon Tabanlı Statik Analizi** 105-112
Simulation-Based Static Analysis of Coatings Applied to a Modeled Jet Turbine Propeller
S. Özel, A. Özcan
13. **Çarpma yükü etkisinde sandviç plakların şekil optimizasyonu** 113-125
Shape optimization of sandwich plates under impact load
S. Savaş, D. Bakır
14. **Görünür Işık Haberleşme Sistemleri için SC-PPM Tekniği Kullanılarak Alıcı-Verici Tasarımı** 126-132
Transceiver Design for Visible Light Communication Systems by using SC-PPM Technique
M. Sönmez
15. **Analysis of Book-borrowing Network using Complex Network Analysis** 133-142
Karmaşık Ağ Analizi Kullanılarak Kitap Ödünç Alma Ağının Analizi
V. Tunalı, C. Tümer
16. **Alüvyon Özelliklerinin Homojen Dolgu Barajların Stabilitésine ve Kazı Derinliklerine Etkisinin Araştırılması** 143-148
Investigating Effects of Alluvium Properties on the Stability and Excavation Depths of Homogeneous Embankment Dams
U.Ş. Çavuş
17. **Türkiye'de Çevik ve Klasik Yazılım Geliştirme Metodolojilerine Dair Kapsamlı Bir Değerlendirme** 149-159
A Comprehensive Assessment of Agile and Classic Software Development Methodologies in Turkey
D. Çalışkan, A.F. Yavuz, B. Doğan, B. Çalış Uslu
18. **CNC Takım Tezgahlarında Ayna ve Punta Basıncının Talaşlı İmalat Parametrelerine Etkisinin YüzeY Yanıt Yöntemiyle Değerlendirilmesi** 160-169
Evaluation of the Effect of Chuck and Tailstock Pressure on Machining Parameters in CNC Lathe by Response Surface Method
H. Gürbüz, Ş. Baday, F. Sönmez
19. **Properties investigation of polyester yarns with different cross-sections** 170-176
Farklı enine kesitlere sahip polyester ipliklerin özelliklerinin incelenmesi
Y. Toydemir, D. Vatansever Bayramol
20. **Harran Ovası Yaygın Toprak Serilerinin Fiziksel, Kimyasal ve Morfolojik Özellikleri** 177-185
Physical, Chemical, and Morphological Properties of Harran Plain Common Soil Series
A.R. Öztürkmen, E. Ramazanoğlu, M. Çakmaklı, E. Çakmaklı
21. **Bitlis İli Şartlarında Merkezi Isıtma Sisteminde Kullanılan Farklı Yakıt Türlerinin Ekonomik ve Çevresel Etkilerinin İncelenmesi** 186-196
Investigation of Economic Effects of Different Fuel Types Used in Central Heating System in Bitlis Province Conditions
F. Oral, A. Elhuveydi
22. **Effects of Fennel and Cumin Extracts on Flax Seed Germination Parameters and Mitotic Activity in the Root Tip Cells** 197-206
Rezene ve Kimyon Ekstraktlarının Keten Tohumunun Çimlenme Parametreleri ve Kök Ucu Hücrelerinde Mitotik Aktivite Üzerine Etkisi
O. Gedik, Ö.S. Uslu
23. **Yapı Bilgi Modellemesinin Kablosuz Algılayıcı Ağ Entegrasyonu ile Gerçek Zamanlı Akıllı Bina Yönetim Sistemi Prototipi** 207-216
Real-Time Smart Building Management System Prototype with Wireless Sensor Network Integration with Building Information Modeling
Ö. Pınarer

24. **Esnek Yol Kaplama Tabakalarında Kullanılan Geri Dönüştürülmüş Beton Agregalarının Ağır Trafik Yükleri Altında Doğrusal Olmayan Davranışının Deneysel ve Sayısal İncelenmesi** 217-234
Experimental and Numerical Investigation of Nonlinear Behavior of Recycled Concrete Aggregates used in Flexible Pavement Courses under Heavy Traffic Load
M. Akbaş, B. Özaslan, H. Khanbabazadeh, R. İyisan
25. **Kars İli Sarıkamış İlçesi İçme Suyu Arıtma Tesisi Giriş ve Çıkış Su Kalitesinin Aylara Göre Değişiminin İncelenmesi** 235-248
Investigation of the Monthly Variation in Inlet and Outlet Water Quality of Drinking Water Treatment Plant of Sarıkamış District of Kars Province
Ş. İrdemez, H. Özger, F. Ekmekyapar Torun, S. Kul
26. **Ultra-Wideband Microstrip Filter Design with Super-Shaped Defected Ground Structures** 249-255
Süper-Şekilli Kusurlu Taban Yapıları ile Ultra Geniş Bant Mikroşerit Filtre Tasarımı
C. Bardak, I. Dagli
27. **Toz metalurjisi ile Üretilen NiTi Alaşımına Al'un Etkisi** 256-267
The Effect of Al of NiTi Alloy Fabricated by Powder Metallurgy
M. Kılıç
28. **Mobil Uygulama Etkileşimli Entegre Websitesi Tasarımı: Güvenlik ve Ölçeklenebilirlik** 267-276
Interactive Mobile Application Integrated Website Design: Security and Scalability
N. Bandırmalı Ertürk

Derleme Makaleleri / Review Articles (Engineering)

29. **Spor Tesislerinin Aydınlatmasında Yüksek Enerji Verimli ve LED'li Aydınlatma Araçları** 277-286
High Energy Efficient and LED Lighting Vehicles in Lighting of Sports Halls
D.Y. Ünlü, N. Şahin
-

Araştırma Makalesi / Research Article

Karyotype Analysis of *Lallemantia* Fisch. & C.A.Mey. Species Grown in Turkey: A Detailed Karyotype Asymmetry Study

Irfan EMRE^{1*}, Osman GEDIK², Murat KÜRSAT³, Yasar KIRAN⁴

¹Department of Basic Education, Faculty of Education, Fırat University, Elazığ, 23119, Turkey

²Faculty of Agriculture, Department of Field Crops, Kahramanmaraş Sutcu Imam University, Kahramanmaraş, 460640, Turkey

³Faculty of Science and Arts, Department of Biology, Bitlis Eren University, Bitlis, 13000, Turkey

⁴Faculty of Science and Arts, Department of Biology, Fırat University, Elazığ, 23119, Turkey

(ORCID: 0000-0003-0591-3397) (ORCID: 0000-0002-4816-3154)

(ORCID: 0000-0002-0861-4213) (ORCID: 0000-0002-3225-2080)

Abstract

The study aimed to karyologically analyse three species [*Lallemantia peltata* (L.) Fisch. & Mey., *Lallemantia iberica* (Bieb.) Fisch. & Mey. and *Lallemantia canescens* (L.) Fisch. & Mey.] from *Lallemantia* Fisch. & C.A.Mey. (Lamiaceae) grown in Turkey. Also, it was calculated various karyotype asymmetry and S/A_1 , CV_{CL} and M_C values in this study. Seed samples were given natural habitats and Feulgen staining method was used. The study showed that the chromosome numbers of *Lallemantia* species are $2n=14$ and that they have median (m) and submedian (sm) centromeric chromosomes. The study also demonstrated karyotype analysis and asymmetry values and suggested that three species of *Lallemantia* genus were 2A based on Stebbins classifications. Furthermore, the study showed Pearson correlation using karyotype asymmetry values and a scatter diagram was formed using A_1 and A_2 . The results obtained from the study were compared with the results of karyotype analysis performed by different literatures and it was concluded that there may be differences according to locality.

Keywords: Chromosome, *Lallemantia*, Karyotype Asymmetry, Karyotype Formula, Stebbins Classification.

Türkiye’de Yetişen *Lallemantia* Fisch. & C.A.Mey. Türlerinin Karyotip Analizleri: Detaylı Karyotip Asimetri Çalışması

Öz

Bu çalışma Türkiye’de yetişen *Lallemantia* Fisch. & C.A.Mey. cinsine ait üç türün [*Lallemantia peltata* (L.) Fisch. & Mey., *Lallemantia iberica* (Bieb.) Fisch. & Mey. and *Lallemantia canescens* (L.) Fisch. & Mey.] karyolojik analizinin yapılmasını amaçlamıştır. Ayrıca, bu çalışmada çeşitli karyotip asimetrisi ve A_1 , CV_{CL} and M_C değerleri de hesaplanmıştır. Tohum örnekleri doğal habitatlarından toplanmış ve Feulgen boyama metodu kullanılmıştır. Bu çalışma, *Lallemantia* türlerinin kromozom sayılarının $2n=14$ olduğunu ve median ve submedian sentromer kromozomlara sahip olduklarını bulmuştur. Ve ayrıca, bu çalışma *Lallemantia* cinsine ait üç türün Stebbins sınıflandırmasına göre 2A grubunda olduğunu ileri sürmüş ve karyotip analizi ve asimetri değerlerini göstermiştir. Bundan başka, bu çalışma karyotip asimetri değerlerini kullanarak Pearson korelasyonunu ve A_1 and A_2 ’yi kullanarak saçılım grafiğini göstermiştir. Çalışmadan elde edilen sonuçlar, farklı literatürler tarafından yapılan karyotip analizlerinin sonuçlarıyla karşılaştırılmış ve lokailtelere göre farklılıklar olabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: *Lallemantia*, Karyotip Asimetrisi, Karyotip Formülü, Stebbins Sınıflandırması.

1. Introduction

Lamiaceae, represented by about 236 genera and 7000 taxa, is distributed throughout the world but especially in the Mediterranean. The endemism ratio of the family is 45% [1-3]. In the Flora of Turkey,

*Corresponding author: irfanemre@gmail.com

Received: 20.08.2020, Accepted: 15.10.2020

the family has 45 genera and 735 taxa [1]. The subtribe Nepetinae comprises 12 genera and 350 taxa and is distributed in Eurasia and North America [4].

Lallemantia, a small genus from the Nepetinae, includes five species and is found in Europe, southwest Asia and the Himalayas [5]. The species from *Lallemantia* are annual or biennial plants that are used as food or for medicinal purposes [6]. In Turkey, *Lallemantia* (Ajdarbaşı) is represented by three species: *L. canescens* (topajbaşı), *L. peltata* (kalkanbaşı) and *L. iberica* (ajdarbaşı) [7]. *L. iberica*, known as Dragon's head, is cultivated for the high oil content of its seeds [8]. *L. canescens* has blue flowers and an attractive smell and is used ornamentally in gardens while *L. peltata* with its volatile oils is used as a medicinal plant [1,9]. *L. iberica* and *L. peltata* are annual herbs whilst *L. canescens* is perennial [10].

Chromosome studies are used in plant systematics to contribute to taxonomical knowledge. They can also be used for geographical and taxonomical comparisons [10]. Karyological studies showed that *Lallemantia* species have $2n=2x=14$ chromosomes [11,12]. Similarly, Ozcan et al. [10] found that three *Lallemantia* species grown in Turkey at different localities to those in this study had $2n=14$ chromosomes. This study aimed to karyologically analyse three species of *Lallemantia* (*L. peltata*, *L. iberica* and *L. canescens*) grown in Turkey and to compare the results with various studies from different localities.

2. Material and Method

2.1. Materials

The samples were gathered from natural habitats in Turkey in 2012-2013 and stored at the Bitlis Eren University Herbarium (BEUH) (Table 1, Figure 1).

Table 1. Localities of *Lallemantia* studied

Locality	Voucher number
B9, Bitlis, Bitlis Eren University, Rahva campus, north slopes, 2600 m, 12.08.2012	<i>Kursat</i> 6002
B7, Elazığ; Baskil, Bolucuk village, 1480 m, 12.09.2013.	<i>Kursat</i> 6005
B9, Bitlis, Nemrut mountain, steppes, 2290 m, 12.08.2012.	<i>Kursat</i> 6001

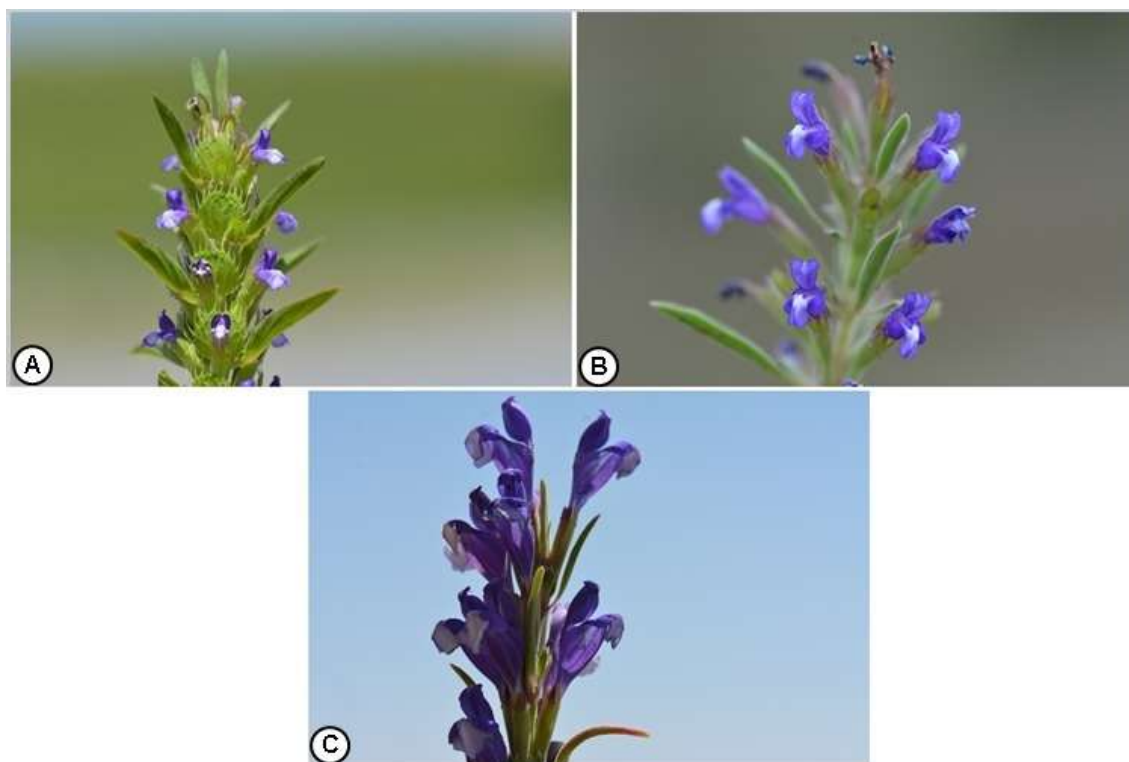


Figure 1. The Photographs of *Lallemantia* studied (A: *L. peltata*; B: *L. iberica*; C: *L. canescens*)

2.2. Method

The seeds were vegetated at 25 °C and the tips of the roots were treated with aqueous α -monobromonaftalin for 12 h at +4 °C in a refrigerator and fixed with glacial acetic acid–absolute ethanol (1:3) for at least 24 h at 4 °C. Then, hydrolysed process was done (5 min., 1 N HCl, 60 °C) and rinsed in tap water for 3-5 min. Lastly, Feulgen was used for staining about 1h [13]. Photographs of metaphase chromosomes were taken from Olympus BX51 microscope and Olympus Camedia C-4000 digital camera.

2.2.1. Karyotype analysis

In this study, we measured, ploidy level, karyotype formula, total karyotype length (TKL), ranges of chromosome length, somatic chromosome number (2n), relative lengths (RL), arm ratios (AR), centromeric indices (CI), and Stebbins classification [14]. Classifications of centromeric positions and karyotype formulae were determined based on the methods of Levan et al. [15].

2.2.2. Karyotype asymmetry

This study used percent of symmetry index (SI%), index of karyotypic asymmetry (AsK%), total form percentage (TF%), value of relative chromatin (VRC), resemblance between chromosomes (Rec. index), symmetric indices (Syi index), dispersion index (DI) and difference of relative length (DRL) as the karyotype asymmetry [16-21]. The intra-chromosomal asymmetry index (A₁) and interchromosomal asymmetry index (A₂) were measured using the method of Romero Zarco [22] and the dispersion diagram was prepared using A₁ and A₂ (fig.4). Furthermore, this study also showed the S/A_I (karyotype symmetry/asymmetry index), CV_{CL} (coefficient of variation of chromosome length; interchromosomal asymmetry) and M_{CA} (mean centromeric asymmetry; intrachromosomal asymmetry) [23,24].

2.2.3. Statistical analysis

Pearson correlation was calculated based on karyotype asymmetry results using SPSS 21.0 (IBM Corporation, USA). 0.01 and 0.05 levels were used to compare the correlations.

3. Results and Discussion

The results of karyotype analysis [somatic chromosome number (2n), ploidy level, karyotype formula, ranges of chromosome length, TKL, A₁, A₂ indices and Stebbins classification] are given in Table 2 while RL, AR, CI] and Stebbins classification [14] are given in Table 3. Also, the findings of karyotype asymmetry [TF, SI%, AsK%, VRC, Syi index, Rec. index, DI, DRL, S/A_I, CV_{CL}, and M_{CA}, A₁, A₂ are given in Table 4.

Table 2. Poidy level. Somatic chromosome number (2n), karyotype formula, ranges of chromosome length, total karyotype length (TKL) and Stebbins classification for the studied *Lallemantia* species

Taxa	2n	Ploidy level	Karyotype formula	Chromosome length range (µm)	TKL (µm)	Stebbins classification
<i>L. peltata</i>	14	2x	1m+6sm	1.82-2.87	15.84	2A
<i>L. iberica</i>	14	2x	3m+4sm	1.46-2.43	13.07	2A
<i>L. canescens</i>	14	2x	2m+5sm	1.56-2.18	12.88	2A

Table 3. Karyomorphological parameters of *Lallemantia* species

	Pair no	RL	AR	CI	Type
<i>L. peltata</i>	I	18.12	2.18	31.44	sm
	II	15.72	2.26	30.59	sm
	III	14.59	1.26	44.06	m
	IV	14.17	2.03	32.97	sm
	V	13.32	1.98	33.48	sm
	VI	12.59	2.12	32.04	sm
	VII	11.51	2.23	30.88	sm
<i>L. canescens</i>	I	16.99	2.03	32.90	sm
	II	15.30	1.64	37.87	m
	III	15.89	2.01	33.17	sm
	IV	13.81	2.06	32.66	sm
	V	13.06	1.46	40.60	m
	VI	12.79	2.04	32.86	sm
	VII	12.15	2.13	31.84	sm
<i>L. iberica</i>	I	18.60	2.07	32.49	sm
	II	15.83	1.56	38.95	m
	III	15.32	2.04	32.78	sm
	IV	13.95	1.98	33.55	sm
	V	12.89	1.44	40.82	m
	VI	12.21	2.02	33.05	sm
	VII	11.18	1.53	39.39	m

Table 4. Karyotype Assymetry of *Lallemantia* species

Species	TF%	SI%	As.K%	VRC	Syi	Rec.	DI	DRL	S/A ₁	CV _{CL}	M _{CA}	A ₁	A ₂
<i>L. peltata</i>	32,82	62,71	67,11	0,31	48,99	88,8	2,39	3,36	1,85	7,24	32,70	0,48	0,15
<i>L. iberica</i>	35,63	60,08	64,39	0,26	55,0	85	3,08	3,7	1,57	8,83	28,76	0,43	0,17
<i>L. canescens</i>	34,67	68,88	65,21	0,26	52,94	93	1,94	2,21	1,71	5,43	30,9	0,46	0,12

***Lallemantia peltata* (L.) Fisch. & Mey.**

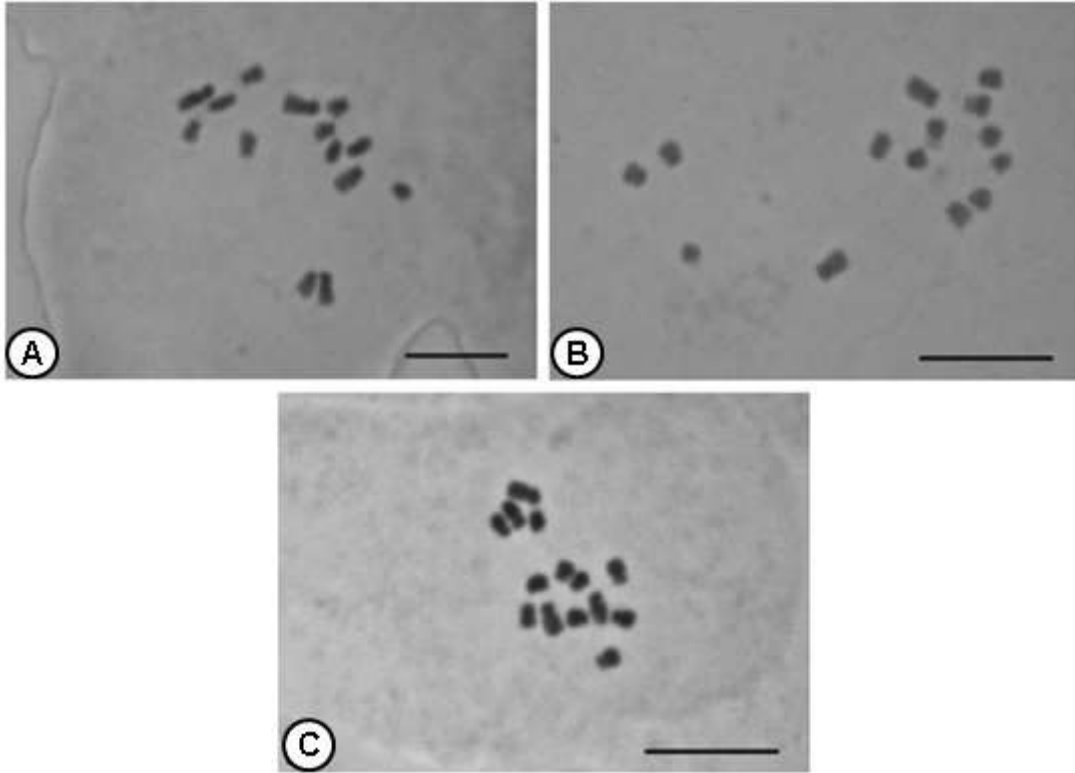
It has 2n=14 chromosome and includes one median (m) and six submedian (sm) chromosomes (Table 2, Figures 2A-3A). Lengths of the chromosomes ranged from 1.82 µm to 2.87 µm and TKL was 15.84 µm. The ratio of the longest to shortest chromosome was 1.5:1. This study found that AR values were between 1.26 and 2.26, CI values were between 30.59 and 44.06 and RL values were between 11.51% and 18.12% (Tables 2-3).

***Lallemantia iberica* (Bieb.) Fisch. & Mey.**

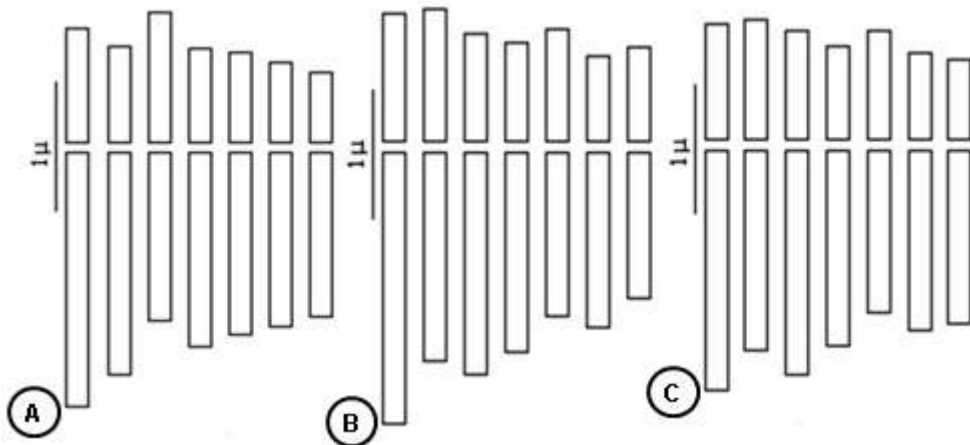
It has 2n=14 chromosome and includes three median (m) and four submedian (sm) chromosomes (Table 2; Figures 2B-3B). Lengths of the chromosomes ranged from 1.46 µm to 2.43 µm and TKL was 13.07 µm. The ratio of the longest to shortest chromosome was 1.6:1. (Tables 2-3). This study found that AR values were between 1.44 and 2.07, CI values were between 32.78 and 40.82 and RL values were between 11.18% and 18.60% (Tables 2-3).

***Lallemantia canescens* (L.) Fisch. & Mey.**

It has 2n=14 chromosome and includes two median (m) and five submedian (sm) chromosomes (Table 2, Figures 2C-3C). Lengths of the chromosomes ranged from 1.56 µm to 2.18 µm and TKL was 12.88 µm. The ratio of the longest to shortest chromosome was 1.3:1 (Tables 2-3). This study found that AR values were between 1.46 and 2.13, CI values were between 31.84 and 40.60 and RL values were between 12.15% and 16.99% (Tables 2-3).



Figures 2. Metaphase chromosomes of *Lallelantia* species. A: *Lallelantia peltata*, B: *Lallelantia iberica*, *Lallelantia canescens*



Figures 3. Haploid ideograms of *Lallelantia* studied. A: *Lallelantia peltata*; B: *Lallelantia iberica*.; C: *Lallelantia canescens*

Current data demonstrated that the karyotype formula of *L. peltata* is 1m+6sm, the karyotype formula of *L. iberica* is 3m+4 sm and the karyotype formula of *L. canescens* is 2m+ 5sm. However, Ozcan et al. [10] findings regarding the karyotype formula conflicted with the present study. They found that three *Lallelantia* species had a karyotype formula of 6m+1sm [10]. Also, Dolatyari and Kamrani [25] showed that various *Lallelantia* species including *L. iberica*, *L. canescens* and *L. peltata* have $2n=2x=14$ chromosomes. They also found that accessions of *L. peltata* (1M+4m+2sm^{1st}; 5m+2sm; 1M+3m+3sm), *L. iberica* (1M+3m+3sm;1M+4m+2sm+2Bs) and *L. canescens* (4m+3sm; 5m+2sm) have karyotype formulae that differ from the present study and they observed two B-chromosomes in one accession of *L. iberica* [25]. This difference among *Lallelantia* accessions may be due to geography. A karyotype study done by Martin et al. [26] supported the theory that the karyotypes of species gathered from various areas might change. They explained that this resulted from infraspecific

and infrageneric variations such as climatological, geographical and ecological [26]. Reda et al. [27] also indicated that the chromosome structure and karyotype of the accessions might change because of significant adaptations.

On the other hand, the current study determined that the TF% varied from 32.82% to 35.63%; SI varied from 60.08 to 68.88; As.K% varied from 64.39 to 67.11; VRC varied from 0.26 to 0.31; Syi varied from 48.99 to 55; Rec. index varied from 85 to 93; DI varied from 1.94 to 3.08; DRL varied from 2.21 to 3.7; S/A_I varied from 1.57 to 1.85; CV_{CL} varied from 5.43 to 8.83, M_{CA} varied from 28.96 to 32.70; A₁ varied from 0.43 to 0.48; and A₂ varied from 0.12 to 0.17. (Table 4). This study demonstrated that *Lallemantia* species studied possess symmetric karyotypes ($1.0 < S/A_I \leq 2.0$; [22] according to S/A_I. Also, the present study determined that *Lallemantia* species are 2A based on Stebbins classification. However, Ozcan et al. [10] demonstrated that *L. canescens* and *L. iberica* are 2A whereas *L. peltata* are 2B according to the Stebbins classification. In addition, the scatter diagram based on A₁ and A₂ showed that *Lallemantia* species exhibited close localisation (Figure 4). Furthermore, the Pearson correlation calculated using karyotype asymmetry values and correlation is significant at 0.01 and 0.05 (Table 5).

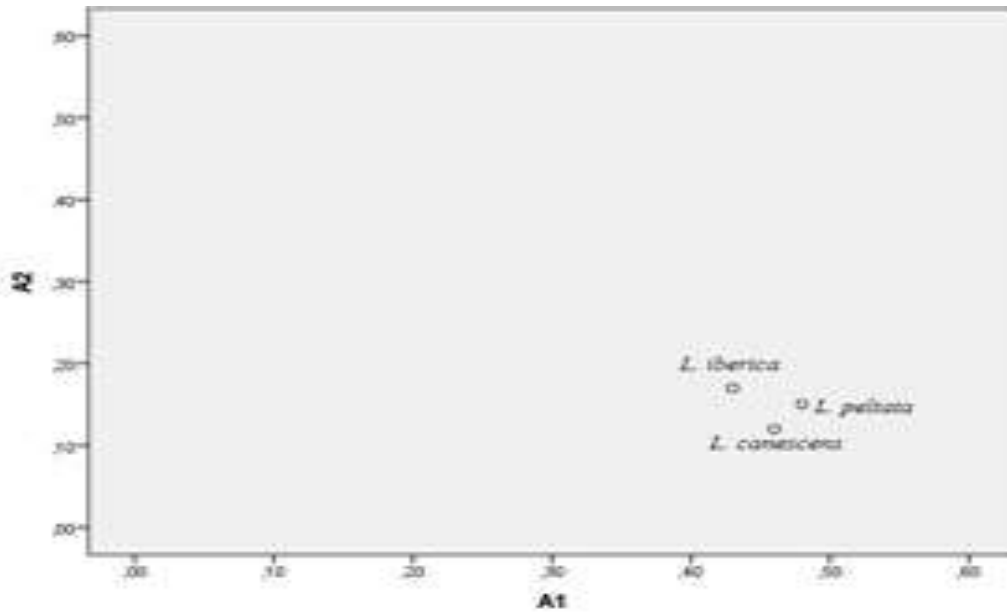


Figure 4. Scatter diagram based on A₁ and A₂

Table 5. Pearson correlation for karyotype asymmetry

	TF%	SI%	As.K%	VRC	Syi	Rec.	DI	DRL	S/A _I	CV _{CL}	M _{CA}	A ₁	A ₂
TF%	1	,540	,919	,762	1,000**	,363	,955	,992	,984	,990	,991	,998*	,998*
SI%	,540	1	,829	,957	,541	,980	,766	,433	,683	,655	,646	,595	,595
As.K%	,919	,829	1	,956	,919	,702	,995	,863	,975	,966	,962	,943	,943
VRC	,762	,957	,956	1	,763	,880	,920	,677	,866	,847	,840	,803	,803
Syi	1,00**	,541	,919	,763	1	,364	,955	,992	,984	,990	,992	,998*	,998*
Rec.	,363	,980	,702	,880	,364	1	,624	,246	,525	,493	,482	,424	,424
DI	,955	,766	,995	,920	,955	,624	1	,911	,993	,987	,985	,972	,972
DRL	,992	,433	,863	,677	,992	,246	,911	1	,954	,965	,968	,982	,982
S/A _I	,984	,683	,975	,866	,984	,525	,993	,954	1	,999*	,999*	,993	,993
CV _{CL}	,990	,655	,966	,847	,990	,493	,987	,965	,999*	1	1,00**	,997*	,997*
M _{CA}	,991	,646	,962	,840	,992	,482	,985	,968	,999*	1,00**	1	,998*	,998*
A ₁	,998*	,595	,943	,803	,998*	,424	,972	,982	,993	,997*	,998*	1	1,00*
A ₂	,998*	,595	,943	,803	,998*	,424	,972	,982	,993	,997*	,998*	1,00**	1

* Correlation is significant at 0.05 level. ** Correlation is significant at 0.01 level

4. Conclusion

This study demonstrated that the *Lallemantia* species grown in Turkey have $2n=2x=14$ chromosomes. Also, the present study found that *L. peltata* has $1m+6sm$ karyotype formula, *L. iberica* has $3m+4 sm$ karyotype formula and *L. canescens* has $2m+ 5sm$ karyotype formula. The research also showed that three *Lallemantia* species are 2A based on Stebbins' classification. Furthermore, correlation was found based on karyotype asymmetry values and present results supported the contention that karyotypes display differences depending on locality.

Authors' Contributions

All authors contributed equally to the study

Statement of Conflicts of Interest

There is no conflict of interest between the authors.

Statement of Research and Publication Ethics

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

References

- [1] Alan S., Ozkan Y., Tuncer O. 2010. Taxonomical, Morphological and Anatomical Studies on *Lallemantia* Fisch. & Mey J. Fac. Pharm. Ankara, 39 (1): 17-34.
- [2] Khoury M., Stien D., Eparvier V., Ouaini N., El Beyrouthy M. 2016. Report on the Medicinal Use of Eleven Lamiaceae Species in Lebanon and Rationalization of Their Antimicrobial Potential By Examination of the Chemical Composition and Antimicrobial Activity of Their Essential Oils. Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine, 1-18.
- [3] Celep F., Dirmenci T. 2017. Systematic and Biogeographic Overview of Lamiaceae in Turkey. Nat. Volatiles & Essent. Oils, 4 (4): 14-27.
- [4] Dinc M., Pinar N.M., Dogu S., Yildirimli S. 2009. Micromorphological Studies of *Lallemantia* (Lamiaceae) Species Growing in Turkey. Acta Biologica Cracoviensia Series Botanica, 51 (1): 45-54.
- [5] Kamrani A., Riahi M. 2018. Using Molecular Data to Test the Monophyly of *Lallemantia* in the Subtribe Nepetinae (Menthae, Lamiaceae). Plant Biosystems, 152 (4): 857-862.
- [6] Sheidai M., Koohdar F., Poode Z.M. 2018. Molecular Phylogeny of *Lallemantia* L. (Lamiaceae): Incongruence Between Phylogenetic Trees and the Occurrence of HGT. Genetika, 50 (3): 907-918.
- [7] Dirmenci T. 2012. Guner A., Aslan S., Ekim T., Vural M., Babac M.T. (edlr.). Vascular Plants List of Turkey: 555. Nezahat Gokyigit Botany Garden and Flora Research Org. Publish: Istanbul.
- [8] Shafiee S., Motlagh A.M., Minaee S., Haidarbigi K. 2009. Moisture Dependent Physical Properties of Dragon's Head Seeds (*Lallemantia iberica*). Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal, XI: 1-10.
- [9] Sheidai M., Poode Z.M., Koohdar F., Talebi S.M. 2018. Infra-Specific Morphological, Anatomical and Genetic Variations in *Lallemantia peltata* (L.) Fisch. & C. A. Mey. (Lamiaceae). Acta Biologica Sibirica, 4 (3): 85-93.
- [10] Ozcan T., Gezer E., Martin E., Dirmenci T., Altinordu F. 2014. Karyotype Analyses on The Genus *Lallemantia* Fisch. & C.A.Mey. (Lamiaceae) from Turkey. Cytologia, 79 (4): 553-559.
- [11] Astanova S.B. 1984. Chromosome Numbers in the Species of the Families Alliaceae, Asteraceae, Caryophyllaceae, Ebenaceae, Linaceae, Oleaceae, Lamiaceae from Tadjikistan. Bot Zhurn SSSR, 69: 1563-1564.
- [12] Daviña J.R., Honf A.I. 2018. IAPT Chromosome Data 28. Taxon, 67 (6): 1235-1245.
- [13] Elci S. 1982. Observations and Reserarch Methods in Cytogenetics. Firat University Press Elazig.
- [14] Stebbins G.L. 1971. Chromosomal Evolution in Higher Plants. Edward Arnold, London.

- [15] Levan A., Fredga K., Sandberg A.A. 1964. Nomenclature for Centromeric Position on Chromosomes. *Hereditas*, 52 (2): 201-220.
- [16] Huziwara Y. 1962. Karyotype Analysis in Some Genera of Compositae. VIII Further Studies on the Chromosome of Aster. *Americ. J. Bot.*, 49: 116-119.
- [17] Arano H. 1963. Cytological Studies in Subfamily Carduoideae (Compositae) of Japan. IX. The Karyotype Analysis and Phylogenic Considerations on *Pertya* and *Ainsliaea*. *Bot Mag (Tokyo)*, 76: 32-39.
- [18] Greilhuber J., Speta F. 1976. C-Banded Karyotypes in the *Scilla hohenackeri* group, *S. persica* and *Puschkinia* (Liliaceae). *Plant Syst Evol.*, 126 (2): 149-188.
- [19] Lavania U.C., Srivastava S. 1992. A Simple Parameter of Dispersion Index That Serves As An Adjunct to Karyotype Asymmetry. *J. Biosci.*, 17 (2): 179-182.
- [20] Paszko B. 2006. A Critical Review and A New Proposal of Karyotype Asymmetry Indices. *Plant Syst Evol.*, 258 (1-2): 39-48.
- [21] Hesamzadeh H.S.M, Ziaei N.M. 2010. Cytotaxonomy of Some *Onobrychis* (Fabaceae) Species and Populations in Iran. *Caryologia*, 63 (1): 18-31.
- [22] Romero-Zarco C. 1986. A New Method for Estimating Karyotype Asymmetry. *Taxon*, 35 (3): 526-530.
- [23] Peruzzi L., Eroglu H.E. 2013. Karyotype Asymmetry: Again, How to Measure and What to Measure? *Comparative Cytogenetics*, 7: 1-9.
- [24] Eroglu H.E. 2015. Which Chromosomes Are Subtelocentric or Acrocentric? A new Karyotype Symmetry/Asymmetry Index. *Caryologia*, 68: 239-245.
- [25] Dolatyari A., Kamrani A. 2015. Chromosome Number and Morphology of Some Accessions of Four *Lallemantia* Fisch. & C.A. Mey. (Lamiaceae) species from Iran. *Wulfenia*, 22: 127-135.
- [26] Martin E., Akan H., Ekici M., Aytac Z. 2010. Karyology of Ten Turkish *Trigonella* L. (Leguminosae) Species From Section *Cylindricae* Boiss. *Turk. J. Bot.*, 34: 485-494.
- [27] Reda H.A., El-Shanshoury S.A.R., Safaa A.R., El-Sherif D.E.A.A. 2014. Karyotype Dynamic Variation Among Accessions of *Lathyrus sativus* L. From Different Geographic All Regions. *Egypt J Exp Biol (Bot.)*, 10 (2): 107-113.

Araştırma Makalesi / Research Article

Pd-Au Alaşımında Au Atomunun Konsantrasyonunun Polyhedron Topakları Oluşumu Üzerine Etkisinin Moleküler Dinamik Yöntemle İncelenmesi

Fatih Ahmet ÇELİK*

*Bitlis Eren Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, Bitlis
(ORCID: 0000-0001-7860-5550)*

Öz

Bu çalışmada, altının (Au) farklı konsantrasyon oranları için Pd-Au düzenli alaşım sistemlerinin amorf fazda meydana gelen polyhedron türü topakların yapısal özellikleri Moleküler Dinamik (MD) benzetim yöntemi ile belirlendi. Atomlar arasındaki etkileşimleri belirlemek için çok cisim etkileşimleri temeline dayanan Gömülmüş Atom Metodu'nun Sutton-Chen (SC) potansiyel fonksiyonu kullanıldı. Sistemlerin farklı Au konsantrasyonu için amorf fazda meydana gelen polyhedron türü topaklar Honeycutt-Andersen (HA) yöntemi ile belirlenen bağlı çiftler ile elde edildi. Sonuç olarak, amorf fazda Pd₁₀Au₉₀ yapısının ideal icosahedral (icos) türü polyhedron topaklarının oluşumu bakımından en uygun yapı olduğu sonucuna varılmıştır.

Anahtar kelimeler: Moleküler Dinamik, Polyhedron topaklanma, Bağlı çiftler, Gömülmüş Atom Metodu.

Investigation of Concentration Effect of Au atoms on Polyhedron Clusters formation at Pd-Si alloy with Molecular Dynamics Method

Abstract

In this study, the structural properties of polyhedron clusters which formed at amorphous phase of Pd-Au alloy systems was determined by Molecular Dynamics (MD) for different Au concentrations. The Sutton-Chen (SC) potential function version of Embedded Atom Method based on many-body interactions was used to determine interatomic interactions. The polyhedron clusters which formed at amorphous phase was obtained with bonded pairs obtained by Honeycutt-Andersen (HA) method for different Au concentrations. It was concluded that Pd₁₀Au₉₀ structure is the most suitable structure for the formation of polyhedron clusters of perfect icosahedral (icos) type at amorphous phase.

Keywords: Molecular Dynamics, Polyhedron clusters, Bonded pairs, Embedded Atom Method.

1. Giriş

Günümüzde önemli fiziksel özelliklerinden dolayı paladyum (Pd) metalik malzemesi çok çeşitli teknolojik uygulamalarda oldukça sık kullanılmaktadır [1-7]. Pd elementinin yanı sıra, altının (Au) elektriksel ve mekanik özellikleri bakımından çok daha farklı kullanım alanları mevcut olmakla beraber bu kullanım alanları sürekli artmaktadır [8]. Özellikle; basınç, ısıtma/soğutma hızı ve alaşımların konsantrasyon oranı gibi bazı dış şartların malzemelerin faz geçişi süreci üzerine etkileri son zamanlarda yapılan çalışmalarda görülmektedir [8]. Bununla birlikte, Pd elementine Au eklenmesiyle oluşan ikili alaşımda hızlı soğutma sürecinde meydana gelen amorf fazın oluşum mekanizması hakkında bilgiler oldukça kısıtlıdır [9,10].

Bu bağlamda, özellikle amorf fazda nano-boyutta meydana gelen atomik topaklanmaların mevcut fazın fiziksel ve yapısal özellikleri hakkında bilgiler vermesi oldukça önemlidir [11]. Tüm bu olumlu özelliklerine rağmen, paladyum içeren alaşımlarda yapılan deneysel çalışmaların yetersiz olduğu görülmektedir. Bunun en önemli sebeplerinden biri, bu metalin oldukça pahalı malzeme olması ve

*Sorumlu yazar: facelik@beu.edu.tr

Geliş Tarihi: 17.09.2020, Kabul Tarihi: 11.01.2021

doğada nadir bulunmasıdır [5-8]. Son zamanlarda bilgisayar hesaplamalı yöntemler bu tür malzemelerin birçok özelliklerinin açığa çıkması bakımından oldukça sık kullanılan yöntemler olmakla beraber, moleküler dinamik (MD) benzetim (simülasyon) metotları malzemeleri bilgisayar ortamında modelleyerek atomik ölçekte yapısal ve termodinamik gibi birçok fiziksel özelliklerinin belirlenmesi amacıyla kullanılmaktadırlar [11,12].

2. Materyal ve Metot

2.1. Benzetim Yöntemi

Benzetim yöntemi, deneysel olarak incelenmesi zor olan bazı deneysel ölçümlerin sayısal hesaplama yöntemleri ile elde edilmesini ve modellenen birçok fiziksel özellikleri hakkında bilgiler sağlar [13]. Moleküler Dinamik (MD) yöntemi hesaplama hücresi içine yerleştirilen atomların birbirleri üzerindeki kuvvetleri hesaplayarak faz uzayında dengelenmesi ve daha sonra sistemin algoritma olarak hareket denklemleri çözmek üzerine kurulmuştur [13]. Parrinello ve Rahman (PR) tarafından geliştirilen benzetim yönteminde hesaplama hücresinin kenar vektörleri zamana bağımlı olan üç vektörle temsil edilir [14].

2.2. Gömülmüş Atom Metodu (GAM)

GAM metodunda atomlararası etkileşimler ile meydana gelen sistemin toplam enerji,

$$E_{top} = \frac{1}{2} \sum_{\substack{i,j \\ (i \neq j)}} \phi_{ij}(R_{ij}) + \sum_i F_i[\rho_i] \quad (1)$$

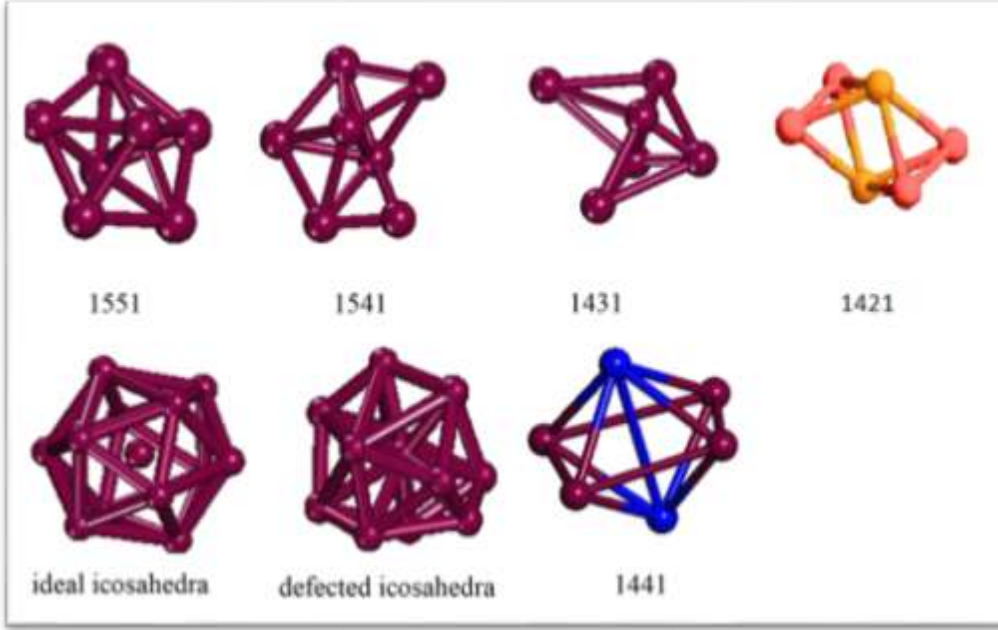
ile gösterilir. İlk terim iki cisim arasında itici etkileşimleri temsil ederken ikinci terim ise çekici etkileşimleri içeren yük yoğunluğuna bağlı gömme enerjisi fonksiyonudur [15,16].

$$\rho_i = \sum_{j=(\neq i)}^N \rho_j(r_{ij}) \quad (2)$$

2.3. Honeycutt-Andersen (HA) metodu

Amorf veya kristal fazlarda meydana gelen atomik topakların yapısal özelliklerini belirlemek amacıyla Honeycutt ve Andersen (HA) [17] tarafından öne sürülen çok yararlı bir yöntem mevcuttur. Bir atomik topağın amorf yapıyı temsil eden bir topak mı yoksa kristal yapıyı temsil eden bir topak mı olduğu o topağı meydana getiren az sayıda atomun meydana getirdiği bağlı çiftlere bakılır. Burada atomik topaktaki bağlı çiftlerin geometrisi dört temel indis ile tanımlanır. Mesela; 1551 bağlı çifti ideal bir icosahedral topağın temel bağlı çifti olup; 1 indisi bir atom çifti arasında bağlanma olduğunu gösterir, 5 indisi bu atom çifti tarafından paylaşılan yakın-komşu sayısıdır, diğer 5 indisi yakın komşular arasında paylaşılan bağ sayısını ifade etmektedir. Son indis ise, atomik topaklar arasında geometrik farklılığı belirtir. Yukarıda belirtilen durumlara göre bazı bağ çiftlerinin şematik görünümü Şekil 1'de gösterilmiştir [17].

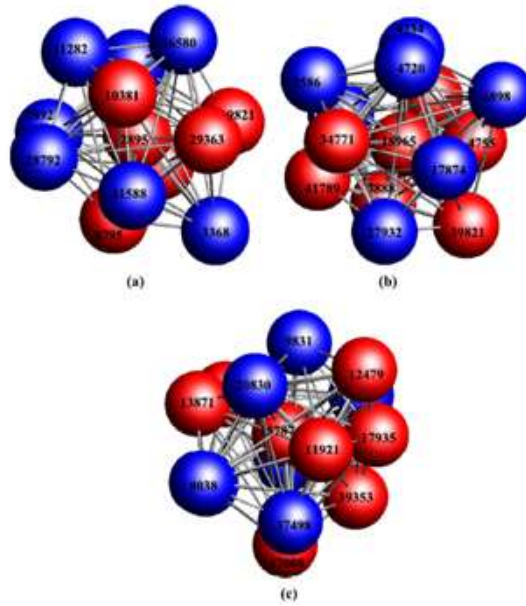
HA analizine göre, 1551 bağlı çifti ideal icosahedral (ICOS) topağının temel bağlı çiftidir. 1421 bağlı çifti yüzey merkezli kübik (FCC), 1422 bağ çifti Hegzagonal (HCP) ve 1661, 1441 bağlı çiftleri ise cisim merkezli kübik (BCC) yapısını temsil eder [17].



Şekil 1. Farklı türlerdeki bağlı çiftlerin gösterimi

2.4. Cluster-type index metod (CTIM) metodu

HA analizine göre belirlenen farklı yapıdaki bağlı çiftlerin oluşturduğu kombinasyonlar ile sistem içinde meydana gelen polyhedronları belirlemek mümkündür. Cluster-type index metod (CTIM) metoduna göre dört integer sayı ile farklı tür polyhedral yapılar incelenebilir [18]. Örnek olarak; (12 0 12 0) olarak nitelendirilen ideal icosadral polyhdron yapısında ilk sayı merkez atomun sahip olduğu komşu atom sayısını (12), ikinci sayı 1441 türü bağlı çiftlerin sayısı, üçüncü sayı 1551 türü bağlı çiftlerin sayısını, dördüncü sayı ise 1661 türü bağlı çiftlerin sayısını göstermektedir. (13 1 10 2) polyhedronu bir kusurlu (defekte) olmuş icosahedral yapıyı temsil etmektedir. Önemli olarak nitelendirilen polyhedron türlerinden biri Frank-Kasper (FK) polyhedronu (14 0 12 2), Bernal polyhedronu ise (10 2 8 0) ile temsil edilir. Şekil 2’de sistem içinde meydana gelen farklı türde polyhedronların üç boyutta bir görünümü verilmektedir [19,20].

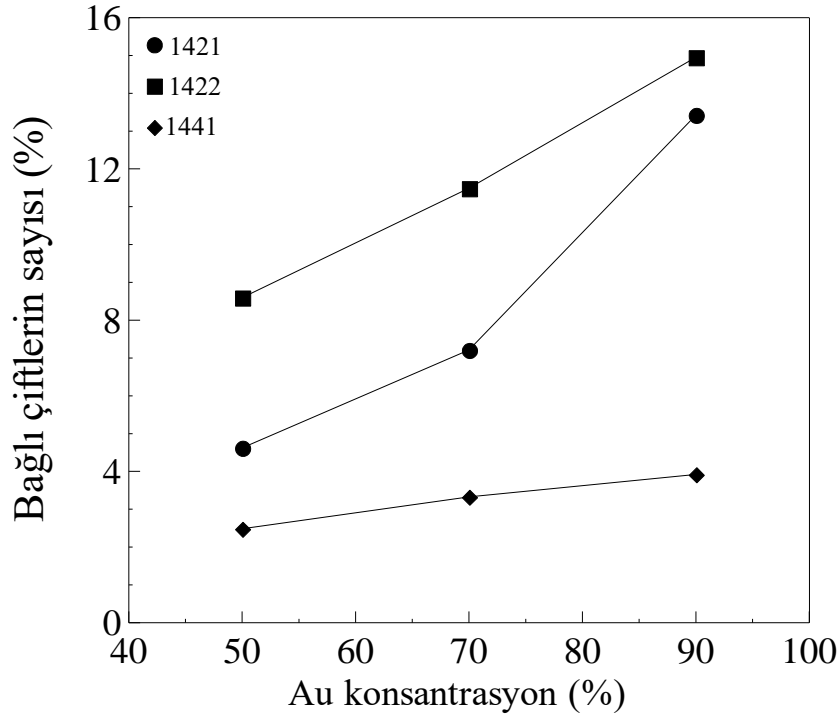


Şekil 2. Farklı türdeki polyhedron türü topakların atomik gösterimi a) (13 1 10 2) kusurlu (defekte) olmuş icos türü polyhdron b) (12 0 12 0) olarak nitelendirilen ideal icosadral polyhdron c) Frank-Kasper (FK) polyhedronu (14 0 12 2) polyhedron [20].

3. Bulgular ve Tartışma

Bu çalışmada, Pd-Au alaşım sistemi Au atomunun konsantrasyon oranı $Pd_{50}Au_{50}$, $Pd_{30}Au_{70}$ ve $Pd_{10}Au_{90}$ olacak şekilde modellendi. Sistemleri oluşturan atomlar FCC birim hücreli $L1_2$ süper örgü noktalarına periyodik sınır koşullarına uygun olarak yerleştirildi. Sistemlerin başlangıç hızlarını belirlemek için tüm sıcaklıklarda Maxwell-Boltzman dağılımı kullanıldı. Sistemlerin hareket denklemleri Gear'ın 5. dereceden öngörücü-düzeltilici algoritması kullanılarak çözüldü. Sisteme uygun potansiyel enerji parametreleri daha önceki çalışmalardan elde edildi [21]. Modellenen yapılar, 300K sıcaklıktan başlayarak 50K sıcaklık artışları ile 2000K sıcaklığına kadar her bir sıcaklık aralığında 10000 MD adımı bekletilmek sureti ile ısıtıldı. Daha sonra model sistemin sıcaklığı sıvı fazdan itibaren düşürülerek 1×10^{13} K/s hızlı soğutma uygulanarak 300K sıcaklığına düşürüldü ve sistemin amorf faza dönüşümü sağlandı.

Şekil 3, 300K sıcaklıkta elde edilen kristal yapıları temsil eden bazı bağlı çiftlerin sayısının Au atomunun konsantrasyon oranı ile değişimini göstermektedir. Genel olarak fcc örgüleri temsil eden 1421 bağlı çiftleri ile hcp örgüyü temsil eden 1422 bağlı çiftlerin sayısı Au konsantrasyonu arttıkça gözle görünür şekilde arttığı görülmektedir. Bcc kristal yapıyı temsil eden 1441 bağlı çiftlerin sayısında çok fazla bir değişim gözlenmemiştir. Bu sonuç, 300K sıcaklıkta Au atomunun eklenmesiyle hcp ve fcc sıkı-paket yapılarının sistemde daha fazla meydana geldiğini göstermektedir.

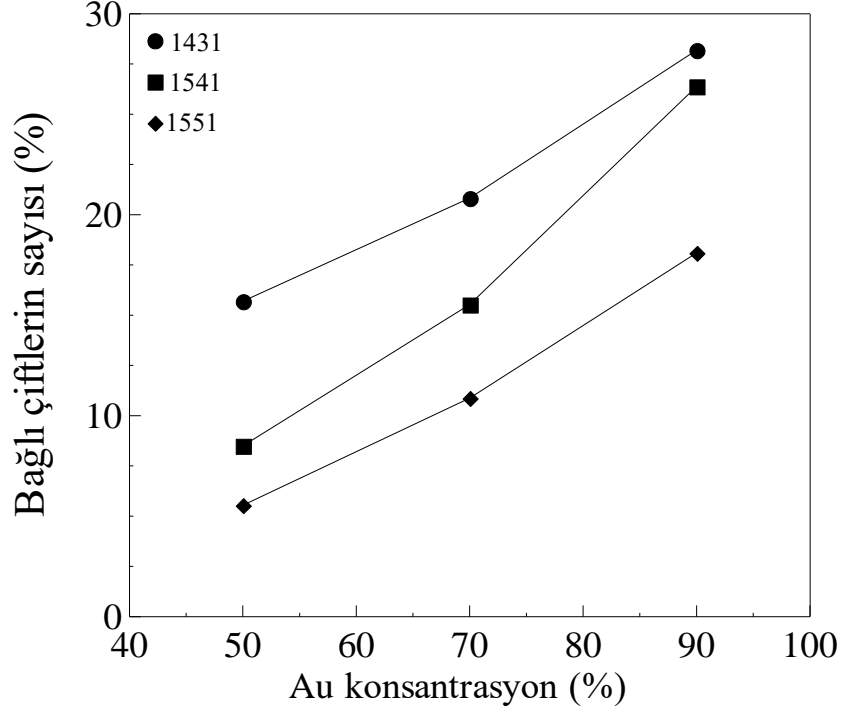


Şekil 3. Kristal yapıları temsil eden bağlı çiftlerin sayısının Au konsantrasyonuna göre değişimi

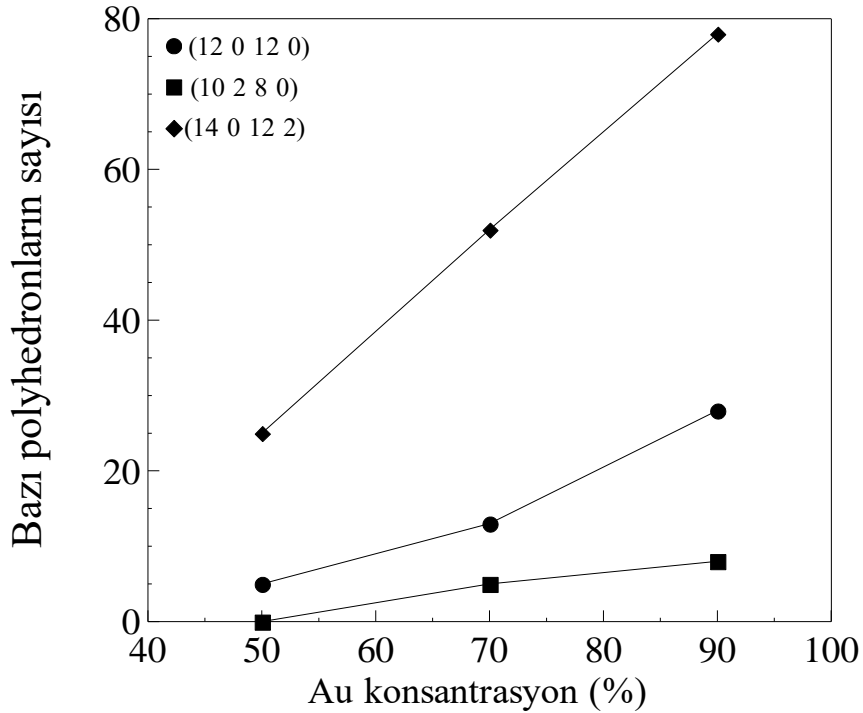
Şekil 4, 300K sıcaklıkta elde edilen ve amorf fazda görülen bazı bağlı çiftlerin sayısının (yüzdesel) Au atomunun konsantrasyon oranı ile değişimini göstermektedir. Bağlı çiftlerin sayısının değişimi incelendiğinde, Au atomunun sisteme eklenmesi ile tüm bağlı çiftlerin sayısında önemli derecede artış olduğu belirlenmiştir. İdeal icosahral (icos) yapıyı temsil eden 1551 bağlı çiftlerinin sayısının yapısal olarak kusurlu (defekte) icos yapıları temsil eden 1541 ve 1431 bağlı çiftlerin sayısından daha az olduğu görülmektedir. Bu durum hızlı soğutma sürecinde amorf fazda beklenen bir sonuçtur. Bununla birlikte, tüm bağlı çiftlerin sayıca en fazla olduğu yapı $Pd_{10}Au_{90}$ da elde edilmiştir. $Pd_{10}Au_{90}$ alaşım sisteminin icos türü topakların oluşumu bakımından en uygun yapı olduğu sonucuna varılabilir. Aynı zamanda, bu tür topakların sayısının fazla olması yapının amorf fazda kararlı kaldığının bir göstergesidir.

Şekil 5, 300K sıcaklıkta elde edilen ve amorf fazda görülen bazı polyhedron topakların sayısının Au atomunun konsantrasyon oranı ile değişimini göstermektedir. Grafik incelendiğinde, tüm polyhedron türü topaksı yapıların Au konsantrasyonu arttıkça arttığı tespit edilmiştir. Yapıya Au

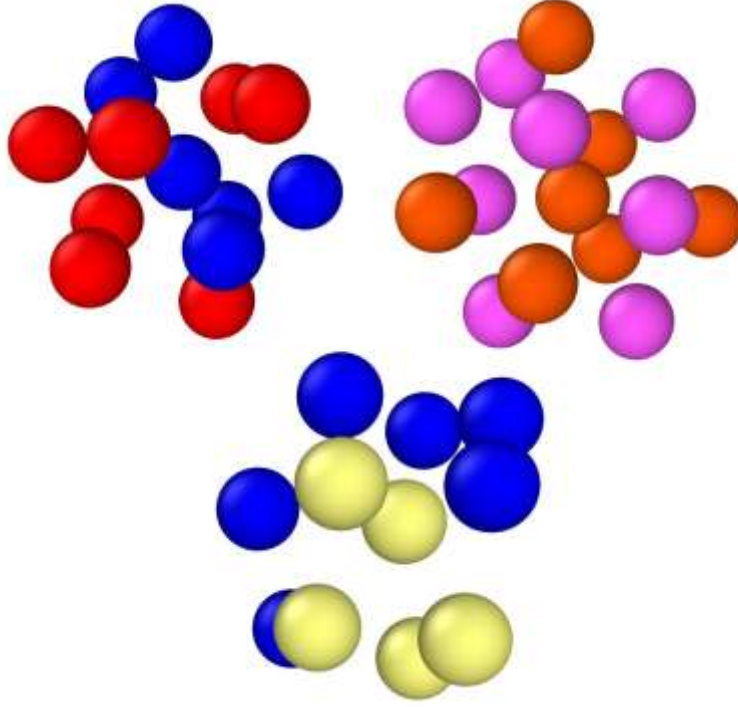
atomunun eklenmesi ile birlikte (12 0 12 0) türü polyhedron türü topağın oluşumu daha kolay olmaktadır. Bu durum Au atomu yapısal olarak düzenli ideal icos topağının oluşumu için ideal bir atom olarak yorumlanabilir. Bununla birlikte, (10 2 8 0) Bernal türü polyhedronunun amorf fazda fazla diğer polyhedron türleri göre daha az meydana geldiği söylenebilir. (14 0 12 2) FK türü polyhedron ise amorf faz içinde oldukça fazla olmak beraber Pd₁₀Au₉₀ yapısında sayı olarak en fazla değerini almaktadır. Şekil 6, OVITO [22] programı kullanılarak Pd₅₀Au₅₀ yapısı için 300K sıcaklık ve amorf fazda elde edilen polyhedronların atomik konfigürasyonlarının resimleri gösterilmektedir. Tüm polyhedronların gösterimi zor olacağından sadece atomik koordinatları belirlenen 4 tür polyhedron türünün resmi gösterilmiştir.



Şekil 4. Amorf fazda görülen bazı bağlı çiftlerin sayısının Au konsantrasyonuna göre değişimi



Şekil 5. Amorf fazda görülen bazı polyhedron topaklarının sayısının Au konsantrasyonuna göre değişimi



Şekil 6. 300K sıcaklıkta ve Pd₅₀Au₅₀ yapısında meydana gelen bazı polyhedron topaklarının üç boyutlu gösterimi (1- mavi-kırmızı renkli (12 0 12 0) polyhedronu mavi Pd, kırmızı Au atomlarını temsil etmektedir, 2- turuncu-pembe renkli (14 0 12 2) polyhedronu pembe Pd, turuncu Au atomlarını temsil etmektedir, 3- mavi-sarı renkli (10 2 8 0) polyhedronu sarı Pd, mavi Au atomunu temsil etmektedir).

4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada Pd-Au alaşımı atomlar arası etkileşimi için Sutton-Chen potansiyel enerji fonksiyonu kullanılarak MD simülasyon metodu ile modellenmiştir. Au atomunun konsantrasyon oranı değiştirilerek sıvı fazdan itibaren hızlı soğutularak oda sıcaklığındaki oluşan amorf fazda meydana gelen farklı türdeki polyhedron türü topaklanmalar incelenmiştir. Amorf fazda Pd₁₀Au₉₀ yapısının icos türü topakların oluşumu bakımından en uygun yapı olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca, Au atomunun yapısal olarak düzenli ideal icos topağının oluşumu için ideal bir atom olduğu sonucuna varılmıştır. Bununla birlikte, (10 2 8 0) Bernal türü polyhedronunun amorf fazda fazla oluşmamıştır. (14 0 12 2) FK türü polyhedron ise faz içinde oldukça fazla olmak beraber Pd₁₀Au₉₀ yapısında sayı olarak en fazla değerini almaktadır.

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] Luyten J., Schurmans M., Creemers C., Bunnik B.S., Kramer G.J. 2007. Surface segregation in Pt₂₅Rh₇₅ alloys studied by Monte Carlo simulations and the modified embedded atom method. Surface Science, 601: 1668-1676.

- [2] Garbacz H., Mizera J., Laskowski Z., Gierej M. 2011. Microstructure and mechanical properties of a Pt–Rh alloy. *Powder Technology*, 208: 488-490.
- [3] Luyten J., De Keyzer J., Wollants P., Creemers C. 2009. Construction of modified embedded atom method potentials for the study of the bulk phase behaviour in binary Pt–Rh, Pt–Pd, Pd–Rh and ternary Pt–Pd–Rh alloys. *CALPHAD: Computer Coupling of Phase Diagrams and Thermochemistry*, 33: 370-376.
- [4] Rdzawski Z.M., Stobrawa J.P. 2004. Microstructure and properties of the new Pt–Rh based alloys for high-temperature applications. *Journal of Materials Processing Technology*, 153: 681–687.
- [5] Ren D.M., Qin J.H., Wang J.B., Tsong T. 1993. Oscillatory compositional depth profiles in surface segregation of a Pt–Rh alloy. *Physical Review B*, 47: 3944-3946.
- [6] Yuge K., Seko A., Kuwabara A., Oba F., Tanaka I. 2006. First-principles study of bulk ordering and surface segregation in Pt–Rh binary alloys. *Physical Review B*, 74: 174202.
- [7] Qi L., Dong L.F., Zhang S.L., Cui Z.Q., Ma M.Z., Jing Q, Li G., Liu R.P. 2007. Glass formation and local structure evolution in rapidly cooled Pd₅₅Ni₄₅ alloy melt: Molecular dynamics simulation. *Comp. Mat. Sci.*, 42: 713-718.
- [8] Zadpoor A. A. 2020. Meta-biomaterials. *Biomaterials Science*, 8 (1): 18-38.
- [9] Lu K. 1996. Nanocrystalline metals crystallized from amorphous solids: nanocrystallization, structure, and properties. *Materials Science and Engineering*, R16: 161-221.
- [10] Sauvage F., Schymkowitz J., Rousseau F., Schmidt B.Z., Remaut K., Braeckmans K., De Smedt S.C. 2020. Nanomaterials to avoid and destroy protein aggregates. *Nano Today*, 100837.
- [11] Wang X., Dong S., Ashour A., Zhang W., Han B. 2020. Effect and mechanisms of nanomaterials on interface between aggregates and cement mortars. *Construction and Building Materials*, 240: 117942.
- [12] Jian Z.Y., Chen J., Chang F.E., Zeng Z., He T., Jie W. 2010. Simulation of molecular dynamics of silver subcritical nuclei and crystal clusters during solidification. *Sci China Tech Sci.*, 53: 3203-3208.
- [13] Özgen S. 1997. Sayısal hesaplama yöntemlerinin şekil hatırlamalı alaşımlarda difüzyonsuz faz dönüşümlerine uygulanması. Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [14] Parrinello M., Rahman A. 1980. Crystal structure and pair potentials: A molecular-dynamics study. *Physical Review Letters*, 45 (14): 1196.
- [15] Daw S., Baskes M.L. 1984. Embedded-atom method: derivation and application to impurities, surfaces and other defects in metals. *Physical Review B*, 29: 6443-6453.
- [16] Sutton A.P., Chen J. 1990. Long-range Finnis-Sinclair potentials. *Philosophical Magazine Letter*, 61: 139-146.
- [17] Honeycutt J.D., Andersen H.C. 1987. Molecular dynamics study of melting and freezing of small Lennard-Jones clusters. *Journal of Physical Chemistry*, 91 (19): 4950-4963.
- [18] Qi D.W., Wang S. 1991. Icosahedral order and defects in metallic liquids and glasses. *Phys. Rev. B*. 44: 884-889.
- [19] Dong K.J., Liu R.S., Yu A.B., Zou R.P., Li J.Y. 2003. Simulation study of the evolution mechanisms of clusters in a large-scale liquid Al system during rapid cooling processes. *Journal of Physics: Condensed Matter*, 15 (6): 743.
- [20] Celik F.A. 2014. Molecular dynamics simulation of polyhedron analysis of Cu–Ag alloy under rapid quenching conditions. *Physics Letters A*, 378 (30-31): 2151-2156.
- [21] Faruq M., Villesuzanne A., Shao G. 2018. Molecular-dynamics simulations of binary Pd–Si metal alloys: Glass formation, crystallisation and cluster properties. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 487: 72-86.
- [22] Stukowski A. 2009. Visualization and analysis of atomistic simulation data with OVITO—the Open Visualization Tool. *Model. Simul. Mater. Sci. Eng.*, 18: 15012.

Araştırma Makalesi / Research Article

The Effect of Zivzik Pomegranate Juice on the Physico-chemical and Sensorial Properties of Kefir Produced by Conventional Method

Bulent HALLAC¹, Hakan SANCAK^{2*}

¹Siirt University, Faculty of Engineering, Department of Food Engineering, Siirt, Turkey

²Bitlis Eren University, Tatvan Vocational School, Department of Food Processing, Tatvan, Bitlis, Turkey
(ORCID: 0000-0002-6948-1565) (ORCID: 0000-0002-2769-1855)

Abstract

This research was carried out to investigate the symbiotic effects of various concentrations of Siirt Zivzik pomegranate juicy kefir at different times. In this study, sterile cow's milk of 7 L (1.5% fatty), Zivzik pomegranate juice of 2 L and kefir grains of 100 g were used. Physio-chemical and sensorial analyses were conducted by conventional methods. The initial pH values of the samples were adjusted to 4.00 for the purpose of decontamination and increased slightly during the storage period. Depending on the storage period, the highest a_w value was determined as 6.25% (0.973) on the zeroth day; whereas, the lowest a_w value was determined in the sample in 50% concentration (0.949) on the 7th day. The highest dry matter amount in the samples was found in the kefir with 50% concentration (10.9%) and it was observed that the most important parameter affecting the dry matter amount was the fruit amount added as additive. It was determined that depending on the increase of the concentrations with Zivzik pomegranate juice, color measurement values (Red-Green-Blue; RGB) decreased. As a result of the sensorial analyses, the lowest general liking values according to hedonic scale of the ready-to-drink kefir was found in 6.25% concentration (10.12) and its highest general liking values according to hedonic scale were found in 50% concentration (15.94). A statistically significant negative correlation was determined between a_w ($p < 0.05$) and color ($p < 0.01$) with dry matter in the samples. As a result of this study, it was concluded that new products with high functional properties were obtained, the shelf life of kefir extended partly, and Zivzik pomegranate juice may have an effect increasing the consuming level of kefir. Furthermore, it was considered that Zivzik pomegranate juice would be a reference for the studies on development of the new products to be obtained by being adding into kefir and similar other products.

Keywords: Kefir, zivzik pomegranate, physio-chemical, sensorial, shelf life

Zivzik Narı Suyunun Geleneksel Yöntemle Üretilen Kefirin Fiziko-kimyasal ve Duyusal Özellikleri Üzerine Etkisi

Öz

Bu araştırma, Siirt Zivzik nar sulu kefirin çeşitli konsantrasyonlarının farklı zamanlardaki sinbiyotik etkilerini araştırmak için yapılmıştır. Araştırmada 7 L yarım yağlı (%1.5) steril inek sütü, 2 L Zivzik narı suyu ve 100 g kefir tanesi kullanılmıştır. Fiziko-kimyasal ve duyusal analizler konvansiyonel yöntemlerle gerçekleştirilmiştir. Örneklerin başlangıç pH değerleri dekontaminasyon amacıyla 4.00'a ayarlanmış ve depolama sürecince az da olsa artış göstermiştir. Depolama süresine bağlı olarak a_w değeri en yüksek 0. gün %6.25 (0.973), en düşük ise 7. gün %50 konsantrasyonlu örnekte (0.949) belirlenmiştir. Örneklerdeki en fazla kurumadde miktarı %50 konsantrasyonlu kefirde (%10.9) bulunmuş ve kurumadde miktarını etkileyen en önemli parametrenin katkı olarak ilave edilen meyve miktarı olduğu görülmüştür. Zivzik nar sulu konsantrasyonların artışına bağlı olarak, renk ölçüm değerlerinin (Red-Green-Blue; RGB) azaldığı saptanmıştır. Duyusal analizler sonucunda içime hazır kefirlerin genel beğeni değerleri hedonik skalaya göre en az %6.25 (10.12) ve en yüksek %50 konsantrasyonda (15.94) bulunmuştur. Örneklerde negatif yönlü olarak kurumadde ile a_w ($p < 0.05$) ve renk ($p < 0.01$) arasında istatistiksel olarak önemli bir ilişki belirlenmiştir. Bu araştırma sonucunda yeni ve fonksiyonel özellikleri yüksek ürün elde edildiği, kefirin raf ömrünün kısmen de olsa uzadığı ve Zivzik narı suyunun kefirin tüketim düzeyini artırıcı yönde etkisinin olabileceği kanaatine varılmıştır. Ayrıca Zivzik narı suyunun kefir ve benzeri diğer ürünlere katılarak elde edilecek yeni ürün geliştirme çalışmalarına referans niteliği taşıyacağı düşünülmektedir.

Anahtar kelimeler: Kefir, zivzik narı, fiziko-kimyasal, duyusal, raf ömrü

*Corresponding author: hsanacak@beu.edu.tr

Received:22.09.2020, Accepted: 15.01.2021

1. Introduction

The recognition of fermented foods dates back to the first periods of humanity [1] and these products are generally produced by conventional methods. The consumption rates of the fermented products with long storage periods and high nutritional values increase day by day. One of these products is kefir, the name of which is heard frequently recently and which has high nutritional value and functional properties.

Kefir is described in the Turkish Food Codex Communiqué on Fermented Milk Products [2] as “*Lactobacillus* kefir, different strains of *Leuconostoc*, *Lactococcus* and *Acetobacter* species (*Kluyveromyces marxianus*), starter cultures containing fermented and non-fermented yeasts (*Saccharomyces unisporus*, *Saccharomyces cerevisiae* and *Saccharomyces exiguus*) or fermented milk product using kefir grains are used specifically in fermentation”. Kefir, produced from sheep, goat and cow milk, had been produced in Russia and Southwest Asia at earlier times, it has been produced mostly from cow milk industrially in many locations of the world recently. The nutritional value of fermented milk products is high and they have a longer shelf life compared to the unfermented ones; therefore, the demand for kefir has increased [1, 3]. The microorganisms included in the natural flora of kefir have an antibiotic effect on many pathogens and it has more probiotics compared to yogurt. Additionally, it is rich in vitamins K and B and it is a beverage preventing lactose intolerance [1, 3, 4].

The conventional kefir is produced by directly adding kefir grains into milk. Raw milk is heated at 85-95°C for 5-20 min, cooled up to 20-25°C and kefir grains are added at the rate of 2-10%. Then, it is fermented for 14-24 h at fermentation temperature, milk is filtered, kefir grains are separated, and kefir is stored at 4-8°C [1, 5, 6].

The studies on the nutritional and functional properties of kefir have been ongoing [7-9]. Different innovative studies are conducted on fruit flavored kefir based on the tastes of consumers from many different parts of the world [10-14]. Pomegranate contains a significant amounts of acid, polysaccharide, vitamin and polyphenol, it is also rich in anthocyanins and is antioxidative [7, 10]. *Punicalagin* is the most important phenolic material with antioxidant capacity in pomegranate juice [15]. Depending on the bio-active characteristic of phenolic materials, pomegranate juice has been used in the conventional therapy methods for centuries and it has been found to have positive effects on human health due to its antioxidant and anti-tumor characteristics [15, 16]. In the recent years, the attention of the consumers and the businesses for kefir has increased in Turkey and kefir has started to be included among the important beverages, today. As a result of the literature review, no study on adding Zivzik pomegranate into kefir was found. The aim of this study is to examine the physico-chemical changes and the sensorial properties in the product that may form upon addition of Zivzik pomegranate juice in kefir. It is thought that Zivzik pomegranate juicy kefir can be used for healthy nutrition, companies may be willing to release to the market and provide added value to the regional economy.

2. Material and Methods

2.1. Kefir production and preparing samples

In this study, semi-skimmed (1.5%) sterile cow's milk for consumption of 7 L, fresh squeezed Zivzik pomegranate juice of 2 L and kefir grains obtained from producers in Eskisehir of 100 g were used. Kefir grains were added into sterile milk reaching approximately 25°C by being kept at ambient temperature in conventional kefir production and incubated for 24 h at 25°C. At the end of the incubation, after deciding that fermentation was completed, kefir grains were taken by being filtered [1, 6]. Then, fresh-squeezed Zivzik pomegranate juice at different rates (control, 6.25%, 12.5%, 25%, 50%) was added to the obtained kefir under aseptic conditions. Afterwards, the pH values of the kefir samples with pomegranate juice samples were adjusted to 4.00 by lactic acid against possible infection and intoxication [17, 18]. After this process, physico-chemical and sensorial analyses were performed on the zeroth, 7th, 14th, 21th and 28th days and all the samples 200 ml in sterile glass jars were kept at +4°C.

2.2. Physico-chemical analyses

pH values of the samples at pH-meter (Mettler Toledo SevenCompact™ S220, Switzerland) [19], water activity (a_w) values in a_w device (Novasina LabTouch® CH8863, Switzerland) [20], dry matter amounts in refractometer (Hanna® HI 96801, Romania) and color properties (R, G, B) in the color measurement device (Artoxy, Pencolor art 11, Turkey) were determined [19].

2.3. Sensorial analyses

General liking evaluation of taste, appearance, consistency and smell of the kefir obtained on the zeroth, 7th, 14th, 21th and 28th days was made by 10 panelists according to the hedonic scale. In the assessment; 0.00-3.99 (very bad); 4.00-7.99 (bad); 8.00-11.99 (moderate); 12.00-15.99 (good) and 16.00-20.00 (very good) scores were used [21].

2.4. Statistical analyses

In the statistical assessment of the results obtained, SPSS 23.0 statistical packaged software was used and correlation analyses were performed in determining the between-group difference [22].

3. Results and Discussion

The average pH values at Figure 1, a_w values at Figure 2, the dry matter amounts at Figure 3, RGB values at Figure 4, the general liking values based on time together with concentration at Figure 5, and the general liking values based on only concentration at Figure 6 of Zivzik pomegranate juice added samples (control, 6.25%, 12.5%, 25%, and 50%) obtained on the zeroth, 7th, 14th, 21th and 28th days are shown.

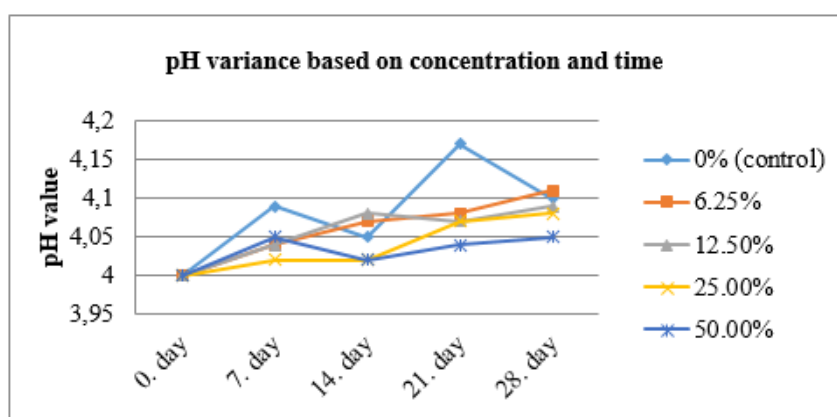


Figure 1. pH variance graph based on concentration and time

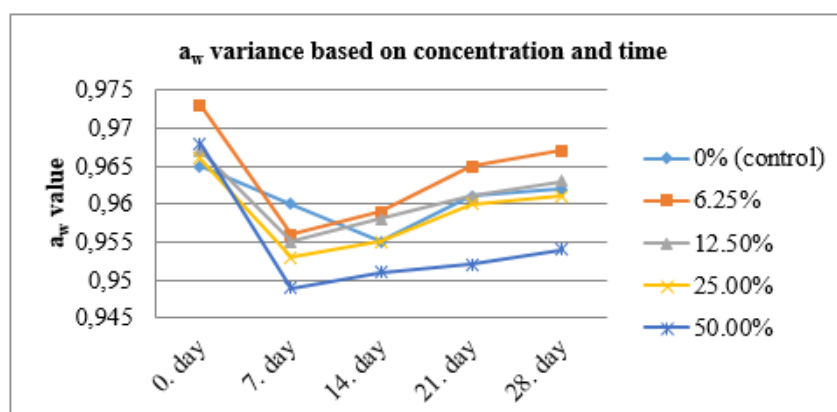


Figure 2. a_w variance graph based on concentration and time

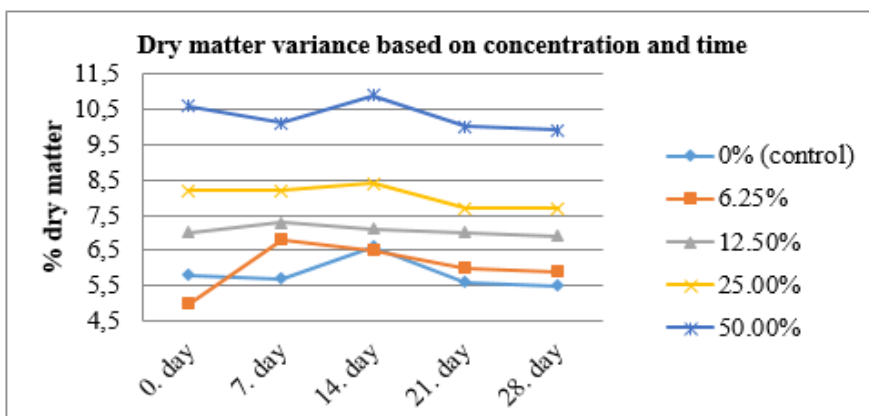


Figure 3. Dry matter variance graph based on concentration and time

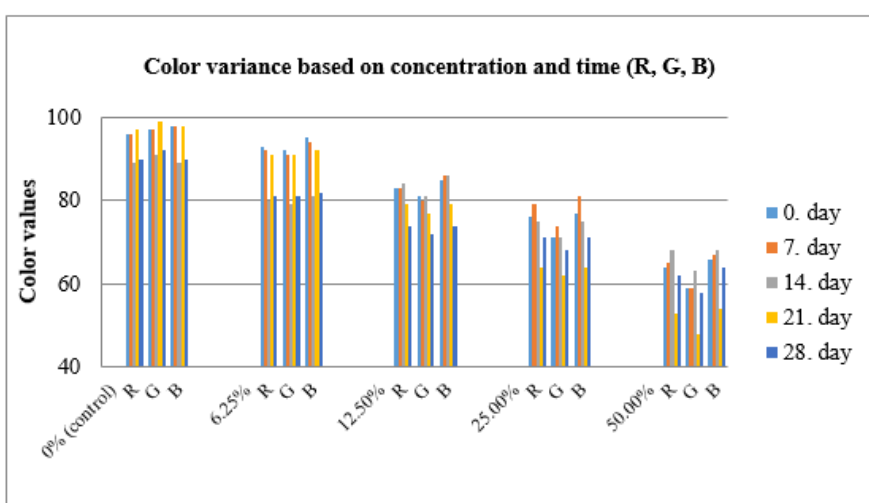


Figure 4. Color variance graph of the samples based on concentration and time (R: Red; G: Green; B: Blue)

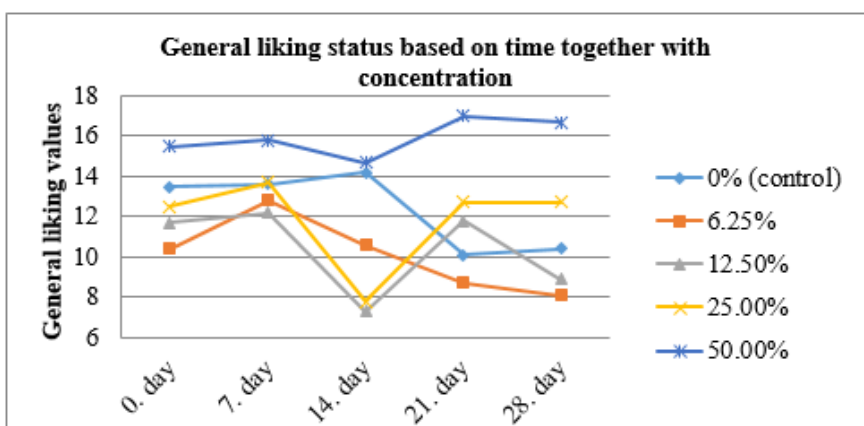


Figure 5. General liking variance graph of the samples based on concentration and time

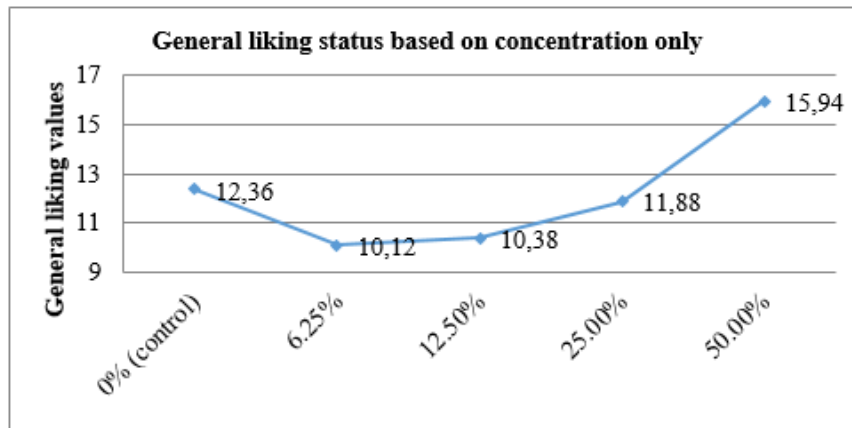


Figure 6. General liking variance graph of the samples based on concentration only

Determining pH value in foods indicates that the relevant food is acidic or basic [18]. In a previous study [7], it was stated that the fruit juice added to kefir decreased pH value depending on the storage time, the highest pH value was determined in the kefir without any additives, and the lowest pH value was determined in the grapefruit added kefir. In another study on kefir [10], pH value decreased depending on the storage period. It was stated that the highest pH value was obtained in kefir in the control group in the 1st storage day (4.33 ± 0.09) and the lowest pH value was obtained in the dried lemon peel added kefir on the 27th storage day (4.15 ± 0.03). Garrote et al. [23], stated that the pH values of the kefir produced by adding kefir grains of different types into milk varied between 3.50-4.00. Irigoyen et al. [5], stated that there was no significant change in the pH values and dry matter amounts until the 14th day of the storage in kefir they produced by adding kefir grains at the rates of 1% and 5% experimentally. In this study, no statistical difference was determined between groups and within group in terms of pH value. In a study conducted in Ankara on kefir produced commercially and conventionally [24], it was determined that while the pH value of the conventionally produced kefir varied between 4.00-6.00, the pH value of commercial ones varied between 5.35-5.80. It was reported that *Enterococcus* bacteria was determined in one of the commercial kefir samples; whereas, coliform bacteria has been determined in one of the conventionally produced kefir samples. In this study, the pH values increased slightly during the storage (Figure 1). Slight increase in the pH values was considered as an expected situation, this change was considered to be caused by the adjustment of the initial pH values and also the increase in the organic acid amounts forming in the fermentation. The differences in pH values among the studies are associated with the grains used in the production and the fact that their rates of being added to milk have affected acidity value, as stated by Garrote et al. [23] and Uslu [25]. Also, it is considered that the chemical compositions of the fruits used in the studies are effective in the variance of the pH values during the ripening process. As a matter of fact, Januário et al. [9] reported that the matters added to kefir in fruit and honey-flavored kefir ice-cream affected the acceptability level of the products.

The a_w value of foodstuff is among the important parameters used to determine shelf life [18]. In terms of its microorganisms, kefir should have the minimum a_w value required for these microorganisms to perform their vital activities. Lucey and Singh [26] reported that the process parameters affecting the structural characteristics of fermented milk products were fat rate and homogenization conditions, heat treatments applied on milk, the amount and nature of the starter cultures, incubation temperature, the last pH value in a product and the storage conditions. In this study, it was determined that depending on storage duration, the highest a_w value (0.973) was obtained on the zeroth day of the sample with 6.25% Zivzik pomegranate juice concentration; whereas, the lowest a_w value (0.949) was obtained on the 7th day of the sample with 50% concentration. High a_w value may be explained as the low osmotic pressure and high microbial activity. However, low a_w value may be associated with the increase of the antimicrobial activity of phenolic compounds and dry matter amount.

The total dry matter in milk and milk products is composed of fat, protein, lactose, vitamin and minerals and these nutrition components are important parameters in terms of determining the nutritional value of the product and processing the products. Determining amounts of the nutritional elements included in food is one of the criteria required to be applied in the determination of the possible tricks in the products [3, 26, 27]. Tonguç [4] reported that the dry matter amounts varied between 9.52-12.20%

in probiotic ayran, Kesenkaş et al. [28] reported that the dry matter amounts of the kefir produced using soy milk varied between 10.10-11.60%. It was reported in another study [7] conducted on adding citrus peel into kefir that total dry matter amount increased depending on the storage period and the maximum amount of fat-free dry matter was obtained at level of 13.88% on the 21st day. It was determined in this study that total dry matter amount decreased depending on the storage period and the minimum dry matter amount was determined in the control group on the 21th day (5.6%) and the maximum dry matter amount was determined in the 50% pomegranate juice concentration added kefir on the 14th day (10.9%). The most important parameter affecting the dry matter amount was the amount of fruit added as an additive. As a result of the between-group and within-group statistical tests were revealed that there was a difference in dry matter amounts. A general decrease was determined in dry matter as the vital activities of the nutritional elements in the composition of kefir are continued by bacteria during the storage period and they are used for the continuation of the reproduction. This was considered to be due to the fact that some microorganisms passed to death phase on the 21st day and there were the yeast and mold reproducing in the spoilage stage of the production.

The color of foodstuffs is among the important criteria for consumers while buying a product and are the distinctive characteristics in determining product quality. The color values of red and black mulberry samples of different varieties grown in Turkey were examined and it was found that L* (lightness-darkness), a* (greenness-redness), and b* (blueness-yellowness) values of black mulberries were higher compared to red mulberries [29]. In parallel with the results of Özgen et al. [29], in this study R (red), G (green) and B (blue) color measurement values which are the mathematical expression of color decreased depending on the increasing concentrations. The color measurement values increased again after a serious decrease on the 14th day during the storage in 6.25% concentration compared to the control group. The same situation occurred on the 21th day in the 50% Zivzik pomegranate juice added concentration (Figure 4). It may be asserted that this increase was due to the anthocyanin-flavonoids in the pomegranate juice and the coloring agents were reduced by the microorganisms based on time. Indeed, it was stated in the study by Jiménez-Aguilar et al. [30] that the high a* color value of the samples was directly proportional to the total anthocyanin capacity. Besides, it was reported that the samples with the lowest anthocyanin loss had also the lowest color loss, after the encapsulation process.

In the general sensorial analysis of the Zivzik pomegranate juice added kefir performed by the panelists, the kefir with 50% concentration has had the most liking (15.94) and the kefir with 6.25% concentration had the least liking (10.12) (Figure 6). This may be due to the fact that kefir is sweeter beyond its usual taste and panelists tend to consume kefir quite low. The fruited kefir was preferred more, which was similarly determined in the studies of Uslu [25] and Kök Taş et al. [11] conducted with different kefir samples. In other words, in the study by Uslu [25], plain kefir samples were scored by the panelists as maximum 7.38 (avg. 6.99) in terms of general liking status and the fruited kefir samples were scored as maximum 7.66 (avg. 7.42). In such a way that in the study by Kök Taş et al. [11], it was stated that the plum added kefir was preferred more by the panelists. In a different study, it was reported that 3% whey protein concentrate (WPC) added fermented goat milk was the most preferred product among the fermented milks produced by adding 3-5% WPC to goat milk and cow milk [31]. The reason of the differences between the studies may be associated with the fact that the sugar and coloring agents in pomegranate juice increase the appreciation of the product by consumers and whey affects consumers negatively in terms of taste due to salty matters included in its composition.

4. Conclusion and Recommendations

The parameter results of Zivzik pomegranate juice added kefir such as pH-a_w values and dry matter amount-color showed that this product was drinkable. As a result of the sensorial analyses, it was determined that the Zivzik pomegranate juice added kefir to be produced with the most liking was the one with 50% concentration and it was concluded that to produce for consumption in this concentration and putting it on the market would be more effective. It was found that the variances of the pH values among the samples was positive (p <0.05) and there was a negative correlation between a_w and dry matter (p <0.05) and between color and dry matter (p <0.01). It is thought that kefir with different concentrations of Zivzik pomegranate juice may have a positive effect on the shelf life in terms of the parameters examined.

Consequently, a new product was produced in this study that may be named as the kefir with pomegranate juice. The importance of kefir in terms of health and the characteristics of pomegranate juice such as having antioxidant activity should be taken into consideration and detailed studies should be conducted on the industrial production of the kefir with pomegranate juice and initiatives must be made in order to be placed on the market. Thus, providing that it is produced under hygienic conditions, it is thought that developing innovative products other than Zivzik pomegranate will make an economic contribution to the region and it would create a field providing employment opportunities for people of the region.

Acknowledgements

We would like to thank Siirt University Scientific Research Projects Coordinatorship (2018-SİÜMÜH-028), who provided financial support for the project.

Author's Contributions

All authors contributed equally to the study.

Statement of Conflicts of Interest

There is no conflict of interest among the authors.

Statement of Research and Publication Ethics

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

References

- [1] Lv J., Wang L.M. 2009. Bioactive components in kefir and koumiss. Chapter 10, In: Bioactive Components in Milk and Dairy Products, Edited by Park Y.W., Wiley-Blackwell, Singapore, 251-262.
- [2] Anonymous. 2009. Turkish Food Codex Communique on Fermented Milk Products. Official newspaper: 16.02.2009, 27143, Ankara, Turkey.
- [3] Walstra P., Wouters J.T.M., Geurts T.J. 2005. Dairy Science and Technology. 2nd Ed., CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, USA, 808p.
- [4] Tonguç İ.E. 2006. A Study on Ayran Production Using Probiotic Bacteria. MsC Thesis, University of Ege, Institute of Science, Izmir, Turkey.
- [5] Irigoyen A., Arana I., Castiella M., Torre P., Ibáñez F.C. 2005. Microbiological, physicochemical, and sensory characteristics of kefir during storage. Food Chemistry, 90 (4): 613-620.
- [6] Turantaş F. 2015. Fermente gıdalar. Bölüm 5.19., In: Gıda Mikrobiyolojisi, Edited by Ünlütürk A., Turantaş F., 4. Baskı, Meta Basım Matbaacılık Hizmetleri, Bornova, İzmir, Türkiye, 447-473.
- [7] Güngör Ö. 2007. Determination of the Characteristics of Fruit Juice Added Kefir in the Storage Period. MsC Thesis, University of Afyon Kocatepe, Institute of Science, Afyon, Turkey.
- [8] Kavas G. 2015. Kefirs manufactured from camel (*Camelus dromedarius*) milk and cow milk: comparison of some chemical and microbial properties. Italian Journal of Food Science, 27 (3): 357-365.
- [9] Januário J.G.B., Oliveira A.S., Dias S.S., Klososki S.J., Pimentel T.C. 2018. Kefir ice cream flavored with fruits and sweetened with honey: physical and chemical characteristics and acceptance. International Food Research Journal, 25 (1): 179-187.
- [10] Cesur H. 2014. The Effects of the Dried Citrus Peel on the Microbial, Chemical and Physical Properties of Kefir. MsC Thesis, University of Balıkesir, Institute of Science, Balıkesir, Turkey.

- [11] Kök Taş T., İlay E., Öker A. 2014. Determination of Some Quality Criteria of the Kefir Produced with Molasses and Plum. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 2 (2): 86-91.
- [12] Guevara S.P. 2015. Cultivo de gránulo de kéfir en zumo de uvas tintas. *Revista ECIPeru*, 12 (1): 39-46.
- [13] Goncu B., Celikel A., Guler-Akin M.B., Akin M.S. 2017. Some properties of kefir enriched with apple and lemon fiber. *Mljekarstvo*, 67 (3): 208-216.
- [14] Wulandari A.O., Purwadi P., Jaya F. 2017. Penambahan madu bunga kopi (*Coffea* sp.) terhadap kualitas kefir ditinjau dari karakteristik mikrobiologi. *Jurnal Ilmu Dan Teknologi Hasil Ternak*, 12 (2): 83-88.
- [15] Seeram N.P., Adams L.S., Henning S.M., Niu Y., Zhang Y., Nair M.G., Heber D. 2005. In vitro antiproliferative, apoptotic and antioxidant activities of punicalagin, ellagic acid and a total pomegranate tannin extract are enhanced in combination with other polyphenols as found in pomegranate juice. *The Journal of Nutritional Biochemistry*, 16 (6): 360-367.
- [16] Tamer C.E. 2006. Pomegranate: Composition and Effects on Human Health. *Journal of Food and Feed Science-Technology*, 9: 48-54.
- [17] Erol İ. 2007. Gıda Hijyeni ve Mikrobiyolojisi. Pozitif Matbaacılık Ltd. Şti., Ankara, Türkiye, 392s.
- [18] Temiz A. 2015. Mikroorganizmalar ve gıda, gıdalarda mikrobiyal gelişmeyi etkileyen faktörler. Bölüm 1.4., In: *Gıda Mikrobiyolojisi*, Edited by Ünlütürk A., Turantaş F., 4. Baskı, Meta Basım Matbaacılık Hizmetleri, Bornova, İzmir, Türkiye, 53-82.
- [19] Bhuyan M. 2007. *Measurement and Control in Food Processing*. CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, USA, 340p.
- [20] Anthony J.F.J. 2007. Measurement of water activity, moisture sorption isotherms, and moisture content of foods, Chapter 6, In: *Water Activity in Foods, Fundamentals and Applications*, Edited by Gustavo V.B.C, Anthony J.F.J, Shelly J.S., Theodore P.L., IFT Press, Blackwell Publishing, Iowa, USA, 155-172.
- [21] Altuğ Onoğur T., Elmacı Y. 2015. *Gıdalarda Duyusal Değerlendirme*. 3. Baskı, Sidas Medya Ltd Şti, İzmir, Türkiye, 134s.
- [22] Anonymous. 2015. *IBM SPSS Statistics for Windows, Version 23.0*. IBM Corp, Armonk, New York, USA.
- [23] Garrote G.L., Abraham A.G., De Antoni G.L. 2001. Chemical and microbiological characterisation of kefir grains. *Journal of Dairy Research*, 68 (4): 639-652.
- [24] Onaran B., Çufaoğlu G. 2017. Comparison of microbial population of household and commercial kefirs in Ankara, Turkey. *Journal of the Turkish Veterinary Medical Society*, 88 (1): 52-58.
- [25] Uslu G. 2010. *A Study on Microbiological, Physical, Chemical and Organoleptic Properties of Kefirs, Sold in Ankara Market*. MsC Thesis, University of Ankara, Institute of Science, Ankara, Turkey.
- [26] Lucey J.A., Singh H. 1998. Formation and physical properties of acid milk gels: a review. *Food Research International*, 30 (7): 529-542.
- [27] Üçüncü M. 2018. *Süt ve Mamülleri Teknolojisi*. 6. Baskı, Sidas Medya Ltd Şti, İzmir, Türkiye, 571s.
- [28] Kesenkaş H., Dinkçi N., Seçkin K., Kınık Ö., Gönç S., Ergönül P.G., Kavas G. 2011. Physicochemical, microbiological and sensory characteristics of soymilk kefir. *African Journal of Microbiology Research*, 5 (22): 3737-3746.
- [29] Özgen M., Serçe S., Kaya C. 2009. Phytochemical and antioxidant properties of anthocyanin-rich *Morus nigra* and *Morus rubra* fruits. *Scientia Horticulturae*, 119 (3): 275-279.
- [30] Jiménez-Aguilar D.M., Ortega-Regules A.E., Lozada-Ramírez J.D., Pérez-Pérez M.C.I., Vernon-Carter E.J., Welti-Chanes J. 2011. Color and chemical stability of spray-dried blueberry extract using mesquite gum as wall material. *Journal of Food Composition and Analysis*, 24 (6): 889-894.
- [31] Martin-Diana A.B., Janer C., Peláez C., Requena T. 2003. Development of a fermented goat's milk containing probiotic bacteria. *International Dairy Journal*, 13 (10): 827-833.

Araştırma Makalesi / Research Article

Kırıkkale ilinin korumada öncelikli bitki taksonları ve habitatları hakkında güncel değerlendirme

Okan URKER*

*Çankırı Karatekin Üniversitesi, Eldivan Sağlık Hizmetleri MYO, Tıbbi Hizmetler ve Teknikler Bölümü,
Çevre Sağlığı Programı, Çankırı
(ORCID: 0000-0002-5103-7757)*

Öz

Bu çalışmada, Kırıkkale ili damarlı bitki çeşitliliği açısından korumada öncelikli taksonları, hedef türlerce zengin habitatları, ekosistem ve habitat çeşitliliği, özellikle bitki toplulukları ve gösterge taksonları, tür, habitat, ekosistem ve bölgesel düzeyde izleme planları ile biyolojik çeşitliliğe ilişkin tehditler ve önerilere yer verilmiştir. Literatür taramalarından ve arazi çalışmalarından elde edilen verilere göre Kırıkkale il sınırları içerisinde yetişen bitki takson sayısı 1.326'dır. Kırıkkale florasını oluşturan taksonlardan 156'sı endemiktir. İlin endemizm oranı %11.7'dir. 5 tür ise nadir statüdedir. IUCN kriterlerine göre Kırıkkale florasını oluşturan taksonlardan 4'ü "EN" ve 10'u "VU" tehdit kategorisindedir. Ayrıca bu taksonlardan biri Bern Sözleşmesi Ek-I listesinde ve 30'u CITES sözleşmesi Ek-II listelerinde yer almaktadır. Bu çalışmayla, Kırıkkale ili biyolojik çeşitliliğinin etkin korunmasına ve sürdürülebilir kullanımının sağlanmasına önemli ölçüde katkı sağlanmıştır.

Anahtar kelimeler: Kırıkkale, Biyoçeşitlilik, Flora, Habitat, Koruma.

Up-to-date evaluation of the priority plant taxa and habitats of Kırıkkale province

Abstract

In this study, the target habitats rich with endemic species in the eyes of vascular plant diversity of Kırıkkale, endangered target taxa, the ecosystem and habitat diversities of the study area, the featured plant communities and indicator taxa, the monitoring plans at species, habitat, ecosystem and regional level, threats to biodiversity of research area and solutions are offered. When the data from the field studies are included on the literature scans, the number of plant taxa detected within Kırıkkale Province reached 1,326. According to the IUCN threat category, 4 of the plant species within Kırıkkale Province are in "EN" and 10 of them are in "VU" category. One of these species is included in Appendix-I of Bern Convention, while 30 species are included in Annex-II of CITES Convention. In addition, 156 of the plant species distributed in Kırıkkale Province are endemic. Also 5 plant species have rare status. Consequently, it is provided for considerable contribution to ensure effective conservation and sustainable use of biological diversity.

Keywords: Kırıkkale, Biodiversity, Flora, Habitat, Conservation.

1. Giriş

Flora ve/veya faunanın temelinde insanın çevresinde bulunan yaşayan objeleri tanıma ve tanımlama olgusu yatmaktadır. Parçası olduğu doğanın diğer bileşenlerinden faydalanma gerçeği, onları tanıma ve tanımlamaya yönlendirmiş ve geçen süreç içerisinde klasik taksonomi/sistemik bilimi ortaya çıkarmıştır. Alfa-taksonomi olarak bilinen klasik taksonomi; Uluslararası düzeyde doğru isimlendirilmiş ve tanımlanmış taksonlar ve biyoçeşitlilik çalışmalarında öncü dağılım haritalarının ortaya konmasını hedeflemektedir. Tüm biyoçeşitlilik çalışmalarının temelini oluşturur ve bugün geçerliliğini korur niteliktedir [1]. Bugün klasik taksonominin yanı sıra moleküler tekniklerinde dahil edilmesi ile konu moleküler sistemik boyutuna taşınmıştır. Ancak yukarıda da belirttiğimiz gibi taksonların tanımlanmasına dayalı klasik taksonomi hala geçerliliğini korumaktadır [2]. Bu bağlamda Türkiye'de de zengin biyolojik çeşitliliğinin ortaya konmasına yönelik büyük çaplı çalışmalar yapılmış ve bugüne

*Sorumlu yazar: okan.urker@gmail.com

Geliş Tarihi: 27.10.2020, Kabul Tarihi: 21.01.2021

gelmıştır. 1900'lerin 2. yarısında ise Türkiye florası altın çağını yaşamış ve "Flora of Turkey and the East Eagean Islands" Editörü Prof. P.H. Davis 20 yaşında iken 1938 yılında Batı Anadolu'ya gelmiş Bozdağ, Babadağ ve Honaz Dağı'nda gördüğü bitki çeşitliliği karşısında hayrete düşmüş ve Türkiye florasını yazmaya karar vermiştir. Bu amaçla 1938-1961 yılları arasında 11 defa Anadolu'ya gelmiş ve ülkemizden 28500 civarında bitki örneği toplamıştır. Sonuçta Davis'in editörlüğünde ilk cildi 1965, son cildi 1985, eki de 1988'de yazılan 10 ciltlik eser ortaya konmuştur [3, 4].

Türkiye'deki biyoçeşitliliğin sürdürülebilirliğinin sağlanmasına yönelik olan anayasa, kanunlar, yönetmelikler ve bunun yanında Bern ve CITES (Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora) gibi doğa korumayla ilgili uluslararası sözleşmeler, bu konudaki yasal çerçeveyi oluşturmaktadır [5, 6]. Biyolojik çeşitliliği korumak için uygulanan ex situ (gurbette) ve in situ (evinde) koruma stratejileri Biyolojik Çeşitlilik Sözleşmesi'nde tanımlanmaktadır [7]. Son 100 yıllık dönemde sanayileşmenin artması ile beraber, doğayla barışık insanoğlu parçası olduğu doğadan kopmuş ve doğanın en büyük tahripçisi konumuna gelmiştir. Özellikle 1900'lerin sonuna yakın dönemde ise doğada geri kazanma çabası başlamış ve yeni terimler ve bilim dalları ile konu desteklenmiş ve ön plana çıkarılmıştır. Bu terimlerden ve çalışma alanlarından biri de "Koruma Biyolojisi'dir". Özellikle bayrak türlerin ve bunların yaşadığı habitatların korunmasına dayanan bu terim giderek önemini arttırmış ve ekoloji çalışan bilim insanları tarafından verilen büyük projeler destek bulmuştur [8].

Öte yandan, bitki çeşitliliği bakımından bir hayli zengin olan ülkemizde gün geçtikçe bu çeşitlilik tehlike altına girmektedir. Bu zenginliğin korunması ve gelecek nesillere aktarılabilmesi için sahip olduğumuz biyolojik çeşitlilik envanterinin tamamlanması ve izleme çalışmalarının yapılmasını zorunlu kılmaktadır. Bu kapsamda Doğa Koruma ve Milli Parklar Genel Müdürlüğü tüm Türkiye'yi kapsayacak şekilde, "Ulusal Biyolojik Çeşitlilik Envanter ve İzleme Projesi"ni başlatmıştır. İlgili projenin bir alt bileşeni olarak Mart 2016 - Eylül 2017 arasında bitki, memeli, kuş, çift yaşar, sürüngen ve iç su balıkları uzmanları tarafından yapılan arazi çalışmalarıyla Kırıkkale ilinin biyolojik çeşitlilik envanteri ortaya konulmuştur. Bu araştırma makalesinin de konusunu oluşturan ilgili envanter tespit ve izleme projesinin damarlı bitkiler bölümüne yönelik olarak, Kırıkkale ilinin floristik bitki listesinin gerek arazi çalışmaları gerekse literatür çalışmalarıyla güncellenmesi, bu çalışma özelinde ise daha çok eldeki bulguların endemik ve nadir taksonları açısından popülasyon gözlemlerinin yapılarak tehlike kategorilerinin gözden geçirilmesi, araştırma alanının ekosistem çeşitliliği, özellikli bitki toplulukları, gösterge türler ile Avrupa Doğa Bilgi Sistemi [9] habitat kodlarına göre önem arz eden habitatlarının ortaya konulması amaçlanmıştır. Ayrıca, koruma öncelikli ve izlemeye alınacak taksonların ve habitatların belirlenmesi, araştırma alanında biyolojik çeşitliliğe ilişkin tehditlerin belirlenmesi hedeflenmiştir.

Davis'in yaptığı kareleme sistemine göre A4, A5, B4 ve B5 kareleri içerisinde yer alan Kırıkkale il sınırları içerisinde bazı floristik çalışmalar yapılmış olmakla birlikte Kırıkkale ilinin tamamı bütüncül biçimde henüz tam olarak çalışılmamıştır. Kırıkkale Karagüney Dağlarında yapılan floristik çalışmada 378 cinse ait 868 takson, Kırıkkale Üniversitesi kampüs alanında yapılan floristik çalışmada 238 cinse ait 371 takson, Kızılırmak Kapulukaya Baraj Gölü çevresinde yapılan floristik çalışmada 227 cinse ait 376 takson, Keskin ilçesi Böbrek Dağında yapılan floristik çalışmada 310 cinse ait 554 takson, Keskin ilçesi Yediler Tepesinde yapılan floristik çalışmada 177 cinse ait 310 takson, Delice Çayı'nın Ortakışla (Çorum) ve Salmanlı (Yozgat) arasındaki kısmında yapılan floristik çalışmada ise 231 cinse ait 407 takson ve Bahşılı ilçesi Karaahmetli Tabiat Parkı uzun devreli gelişme planı çalışmaları kapsamında yapılan floristik çalışmada 201 cinse ait 268 takson tespit etmiştir [10-18].

2. Materyal ve Metot

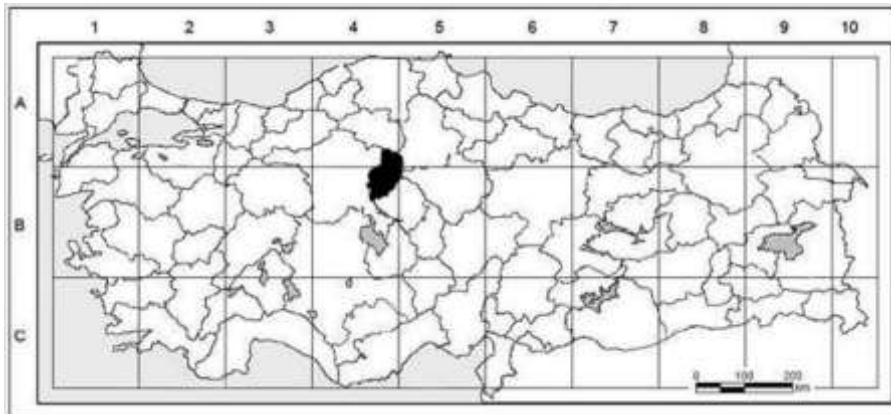
2.1. Literatür Çalışmaları

"Flora of Turkey and East Aegean Islands (1965-2000)" adlı 11 ciltlik eser ile bu esere ait bilgileri temel alan "Türkiye Bitkileri Veri Servisi [19]"nden yararlanılarak Kırıkkale İli için ilkin bir Bitki Listesi hazırlanmıştır. Daha sonra Kırıkkale ili ile ilgili yapılmış olan bilimsel çalışmalar taranarak tüm bitki kayıtları aynı listede bir araya getirilmiştir. Bitki kayıtlarının doğru ve güncel, bilimsel ve yerel isimlerinin belirlenebilmesi için "Türkiye Bitkileri Listesi [20]" ile "World Checklist of Selected Plant Families [21]", "International Plant Name Index [22]" ve "the Plant List [23]"ten yararlanılmıştır.

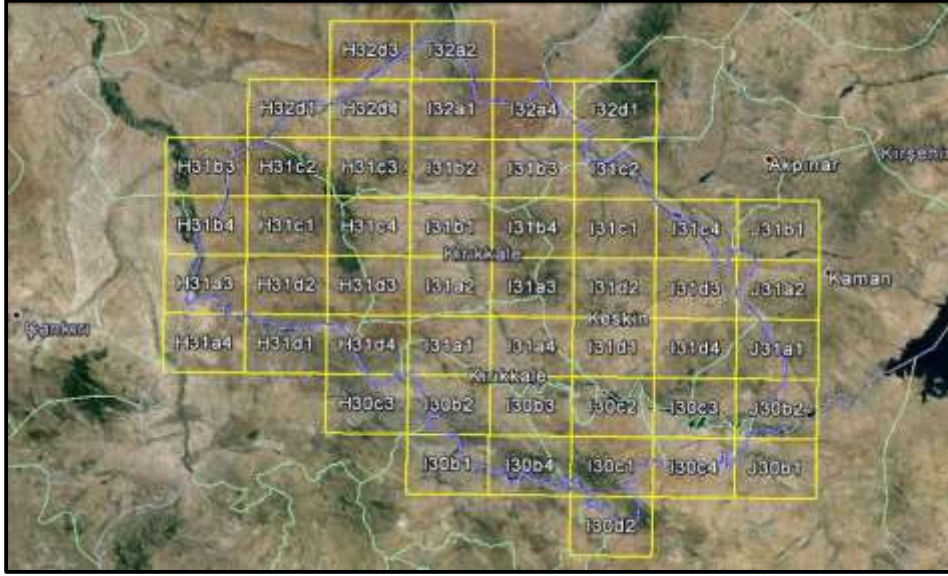
Ayrıca yapılan yeni yayınlar ile eklenen yeni takson kayıtlarında “Özhatay vd., [24-27]”nin hazırladığı derleme yayınlardan ve Türkiye’nin Önemli Bitki Alanları [25], Türkiye’nin Önemli Doğa Alanları [28] gibi eserlerden de yararlanılmıştır. Bunun yanı sıra tüm kayıtlar bir süzgeçten geçirilerek yanlış kayıtlar ayıklanmış ve listeye eklenenlerin geçerli bilimsel ismi ve otörü yazılmıştır. Bazı bitkilerin çevre ülkelerde de tespitiyle endemiklikten düştüğü ve bazı taksonların sistematik kategorilerinin değiştiği de göz önüne alınarak güncel değerlendirmeler yapılmıştır.

2.2. Arazi Çalışmaları

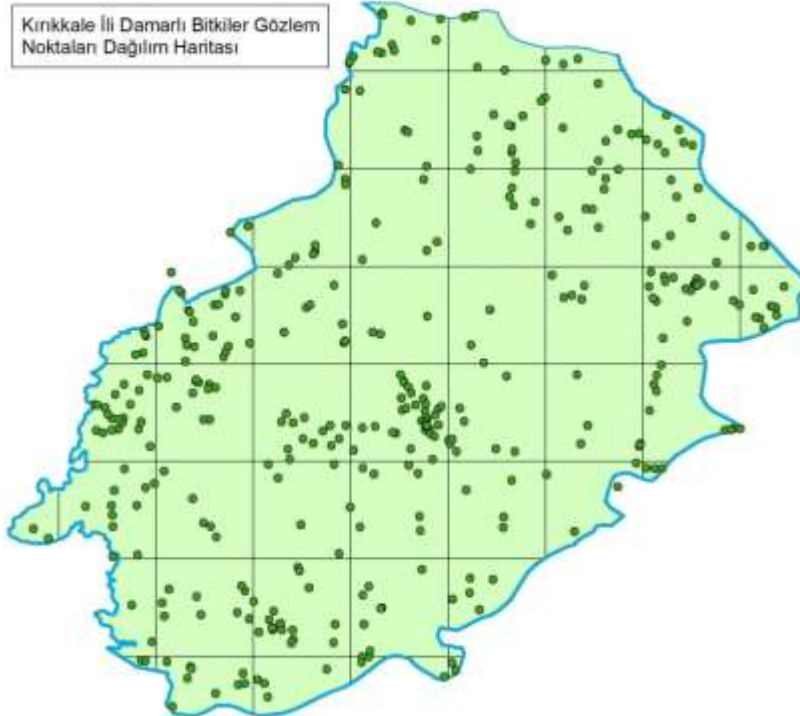
2016-2017 yılları arasında gerçekleştirilen arazi çalışmalarında mevsimlere ve bitkilerin çiçeklenme dönemlerine göre güzergâhlar belirlenerek, 4635 km² genişliğindeki Kırıkkale İli 10 km X 10 km kareler halindeki toplamda 50 pafta içerisinde değerlendirilmiş olup, arazi çalışmaları da bu paftaların her birinde %10’luk dilimi kapsayacak biçimde bitki örneklerinin toplanması ve kaydedilmesi, vejetasyon ve ekosistem özelliklerinin kaydedilmesi, arazi kullanım özellikleri ve alana ilişkin tehditlerin derlenmesi biçiminde gerçekleştirilmiştir. İl genelindeki 50 paftada toplamda 75 gün boyunca 542 noktada flora ve vejetasyon çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Bitki taksonlarından sahada teşhisi ve bilimsel isimleri önceden araştırmada yer alan uzmanlarca bilinenler ve kozmopolit taksonlar toplanmayıp, yalnızca kaydedilmiş ve fotoğraf kayıtları alınmıştır. Arazide doğrudan gözlem veya fotoğraftan teşhisler sırasında arazide daha fazla zaman kazanabilmek adına Türkiye Florası’nı yansıttıcı ve yönlendirici foto-rehberlerden de yararlanılmıştır [29]. Öte yandan, endemik ve nadir olanlar ile takson düzeyinde teşhisi yapılamayanlar ise tür ve popülasyonlarına zarar vermeyecek biçimde –botanik özellikleri de kaydedilerek- araziden toplanarak herbaryum materyali haline getirilmiş ve laboratuvarında teşhisleri yapılmıştır. Toplanan bütün bitkisel materyal Hacettepe Üniversitesi, Biyoloji Bölümü Herbaryumu’na (HUB) teslim edilmiştir. Endemik ve nadir bitkilerin Dünya Doğayı Koruma Birliği (IUCN) tehlike kategorileri belirlenirken “Türkiye Bitkileri Kırmızı Kitabı [30]”ndaki veriler kullanılmış; bunun yanısıra tarafımızdan son yıllarda yayınlanan makaleleri tarayarak elde ettiğimiz bilgiler ve arazi gözlemlerindeki veriler de dikkate alınarak güncellenmiştir. Böylece bazı taksonların tehlike kategorileri yeniden değerlendirilmiştir. Bitki türlerinin “IUCN Red Data Book” tehlike kategorilerinin tespitinde kullanılan kısaltmalar ve anlamları şöyledir: Tükenmiş (EX), Doğada tükenmiş (EW), Kritik tehlike altında (CR), Tehlikede (EN), zarar görebilir (VU), Tehlike altına girmeye aday (NT), Az tehdit altında (LC), Değerlendirilemeyen (NE), Veri yetersiz (DD) [31]. Başta bazı orkide türleri ve sütleğenler olmak üzere CITES Sözleşmesi’nin EK II nolu listesinde yer alan ve Kırıkkale İli’nde yayılışı olan bitkilerin listesi bu çalışmanın bulgular kısmında verilmiştir. Diğer taraftan, ülkemizin taraf olduğu Avrupa’nın Yaban Hayatı ve Yaşama Ortamlarının Korunması Sözleşmesi olarak bilinen BERN Sözleşmesi’nin EK I nolu listesinde varsa Kırıkkale İli’nden kaydedilen bitki taksonları bulgular kısmında verilmiştir. Arazi çalışmaları yapılırken örnekleme yapılan alanlarda alanın vejetasyon tipi ile ilgili bilgiler not edilmiş ve alandan bazı fotoğraflar çekilmiştir. Daha EUNIS EUNIS sonra habitat tipleri belirlenmiş ve harita üzerinde gösterilmiştir. Araştırma alanına ait yer bulduru haritası Şekil 1’de sunulmuştur. Araştırma alanındaki 50 adet paftanın topoğrafik haritadaki görünümü Şekil 2’de, bu paftalar içerisinde gerçekleştirilen arazi çalışmalarına ait noktaların dağılımı ise Şekil 3’de gösterilmiştir.



Şekil 1. Araştırma alanının coğrafi konumu



Şekil 2. Araştırma alanı içerisindeki paftaların topoğrafik gösterimi



Şekil 3. Araştırma alanı içerisindeki damarlı bitki çalışma noktalarının paftalara dağılımı

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Hedef türlerce zengin habitatlar ve koruma öncelikli taksonlar ile izleme planları

Literatür kayıtları ve arazi çalışmaları sonucunda Kırkkale İli'nde tespit edilen 1326 bitki taksonundan Türkiye Bitkileri Kırmızı Listesine göre 156'sı endemik olup, IUCN'in belirlemiş olduğu tehdit kategorileri ışığında VU, EN ve CR statülerine giren 14 bitki taksonunun 10'u VU ve 4'ü de EN kategorilerinde yer alırken, en yüksek tehdit kategorisi olan CR içerisinde herhangi bir takson yer almamaktadır. Öte yandan bu endemik taksonlardan 13'ü NT kategorisinde yer alırken, 2 tür ise DD yani değerlendirilmemiş kategoridedir. Geriye kalan bitki taksonlarının ise LC (118 tür) ve NE (8 tür) düzeyinde olduğu görülmektedir. Öte yandan endemik olmayıp da nadir statüde bulunan 5 bitki taksonu da mevcuttur (Tablo 1).

Tablo 1. Kırıkkale İli endemik, nadir, uluslararası koruma öncelikli bitki taksonları listesi

Familya	Tür Adı	Türkçe Adı	Tespit şekli	IUCN	BERN	CITES	Endemik
Amaryllidaceae	<i>Sternbergia colchiciflora</i> Waldst. & Kit.	tavukçiçeği	L	NE	Liste Dışı	EK-II	Endemik Değil
Amaryllidaceae	<i>Allium huber-morathii</i> Kollmann, Özhatay & Koyuncu	narin soğan	L	LC	Liste Dışı	Liste Dışı	Endemik
Apiaceae	<i>Bupleurum sulphureum</i> Boiss. & Balansa	ters şeytanayağı	A+L	LC	Liste Dışı	Liste Dışı	Endemik
Apiaceae	<i>Bupleurum turcicum</i> Snogerup	çorak şeytanayağı	L	NT	Liste Dışı	Liste Dışı	Endemik
Apiaceae	<i>Eryngium bithynicum</i> Boiss.	çakırotu	L	LC	Liste Dışı	Liste Dışı	Endemik
Apiaceae	<i>Ferulago pauciradiata</i> Boiss. & Heldr.	etekli kişniş	L	LC	Liste Dışı	Liste Dışı	Endemik
Apiaceae	<i>Ferulago platycarpa</i> Boiss. & Bal.	çebe kişnişi	L	LC	Liste Dışı	Liste Dışı	Endemik
Apiaceae	<i>Peucedanum palimbioides</i> Boiss.	bahar	A+L	NE	Liste Dışı	Liste Dışı	Endemik
Apiaceae	<i>Prangos meliocarpoides</i> Boiss. var. <i>meliocarpoides</i>	sultanteresi	A	LC	Liste Dışı	Liste Dışı	Endemik
Apiaceae	<i>Trinia scabra</i> Boiss. & Noë	kaba çatalotu	L	LC	Liste Dışı	Liste Dışı	Endemik
Apocynaceae	<i>Vincetoxicum parviflorum</i> Decne.	panzehir otu	A	NT	Liste Dışı	Liste Dışı	Endemik
Asparagaceae	<i>Bellevalia clusiana</i> Griseb.	kırsümbülü	L	LC	Liste Dışı	Liste Dışı	Endemik
Asparagaceae	<i>Hyacinthella micrantha</i> (Boiss.) Chouard	minik sümbül	A+L	NT	Liste Dışı	Liste Dışı	Endemik
Asparagaceae	<i>Muscari aucheri</i> (Boiss.) Baker	gök müşkürüm	L	LC	Liste Dışı	Liste Dışı	Endemik
Asparagaceae	<i>Muscari azureum</i> Fenzl	keşişbaşı	L	LC	Liste Dışı	Liste Dışı	Endemik
Asparagaceae	<i>Ornithogalum alpigenum</i> Stapf	akyıldız	A+L	NT	Liste Dışı	Liste Dışı	Endemik
Asteraceae	<i>Achillea aleppica</i> DC. subsp. <i>zederbaueri</i> (Hayek) Hub.-Mor	akbaşı	A+L	LC	Liste Dışı	Liste Dışı	Endemik
Asteraceae	<i>Achillea cappadocica</i> Hausskn. & Bornm.	gırtkesen	L	LC	Liste Dışı	Liste Dışı	Endemik
Asteraceae	<i>Achillea pseudoaleppica</i> Hausskn. ex Hub.-Mor.	harput perçemi	L	LC	Liste Dışı	Liste Dışı	Endemik
Asteraceae	<i>Centaurea consanguinea</i> DC.	tezdüğme	L	LC	Liste Dışı	Liste Dışı	Endemik
Asteraceae	<i>Cirsium pseudocreticum</i> (P.H.Davis & Parris) Yıldız, Dirmenci & Arabacı	afyon kangalı	L	LC	Liste Dışı	Liste Dışı	Endemik
Asteraceae	<i>Cirsium sintenisii</i> Freyn	kör kenger	L	NT	Liste Dışı	Liste Dışı	Endemik
Asteraceae	<i>Cousinia caesarea</i> Boiss. & Balansa	kayseri kızanı	L	LC	Liste Dışı	Liste Dışı	Endemik
Asteraceae	<i>Cousinia iconica</i> Hub.-Mor.	çatal kızan	L	LC	Liste Dışı	Liste Dışı	Endemik
Asteraceae	<i>Cousinia stapfiana</i> Freyn & Sint. Ex Freyn	küt kızan	A+L	LC	Liste Dışı	Liste Dışı	Endemik
Asteraceae	<i>Crepis macropus</i> Boiss. & Heldr.	ak kıskıs	L	LC	Liste Dışı	Liste Dışı	Endemik
Asteraceae	<i>Gundelia anatolica</i> Fırat	kenger	A	NE	Liste Dışı	Liste Dışı	Endemik
Asteraceae	<i>Helichrysum arenarium</i> (L.) Moench subsp. <i>aucheri</i> (Boiss.) P.H.Davis & Kupicha	yayla çiçeği	A+L	VU	Liste Dışı	Liste Dışı	Endemik

Asteraceae	<i>Ptilostemon afer</i> (Jacq.) Greuter subsp. <i>eburneus</i> Greuter	has bozlanotu	L	LC	Liste Dışı	Liste Dışı	Endemik
Asteraceae	<i>Scorzonera eriophora</i> DC.	köksakızı	A+L	LC	Liste Dışı	Liste Dışı	Endemik
Asteraceae	<i>Tragopogon aureus</i>	sarı yemlik	L	LC	Liste Dışı	Liste Dışı	Endemik
Asteraceae	<i>Tripleurospermum monticulum</i> (Boiss. & A.Huet) Bornm.	kır papatyası	L	LC	Liste Dışı	Liste Dışı	Endemik
Boraginaceae	<i>Alkanna cappadocica</i> Boiss. & Balansa	peri havacivaotu	L	LC	Liste Dışı	Liste Dışı	Endemik
Boraginaceae	<i>Alkanna pseudotinctoria</i> Hub.-Mor.	yoz havacivaotu	L	LC	Liste Dışı	Liste Dışı	Endemik
Boraginaceae	<i>Cynoglottis chetikiana</i> Vural & Kit Tan subsp. <i>chetikiana</i>	dağdarısı	L	VU	Liste Dışı	Liste Dışı	Endemik
Boraginaceae	<i>Moltkia aurea</i> Boiss.	sarı kesen	L	LC	Liste Dışı	Liste Dışı	Endemik
Boraginaceae	<i>Nonea macrosperma</i> Boiss. & Heldr.	eşek sormuğu	L	LC	Liste Dışı	Liste Dışı	Endemik
Boraginaceae	<i>Nonea stenosolen</i> Boiss. & Balansa	sormuk otu	L	LC	Liste Dışı	Liste Dışı	Endemik
Boraginaceae	<i>Onosma armena</i> DC.	hevajo	L	LC	Liste Dışı	Liste Dışı	Endemik
Boraginaceae	<i>Onosma bormmuelleri</i> Hausskn. & Bornm.	amasya şincarı	L	LC	Liste Dışı	Liste Dışı	Endemik
Boraginaceae	<i>Onosma briquetii</i> Czezcott	yıldız emziği	A+L	LC	Liste Dışı	Liste Dışı	Endemik
Boraginaceae	<i>Onosma bracteosa</i> Hausskn. & Bornm.	küpel emcek	A+L	LC	Liste Dışı	Liste Dışı	Endemik
Boraginaceae	<i>Onosma isaurica</i> Boiss. & Heldr.	kül emcek	L	LC	Liste Dışı	Liste Dışı	Endemik
Boraginaceae	<i>Onosma lycaonica</i> Hub.-Mor.	konya emceği	A	LC	Liste Dışı	Liste Dışı	Endemik
Boraginaceae	<i>Paracaryum paphlagonicum</i> (Bornm.) R.R.Mill	çankırı çarşağı	A+L	LC	Liste Dışı	Liste Dışı	Endemik
Brassicaceae	<i>Aethionema dumanii</i> Vural & Adigüzel	yörük taşçantası	L	LC	Liste Dışı	Liste Dışı	Endemik
Brassicaceae	<i>Alyssum huetii</i> Boiss.	tortum kuduzotu	L	LC	Liste Dışı	Liste Dışı	Endemik
Brassicaceae	<i>Alyssum lepidoto-stellatum</i> (Hausskn. & Bornm.) T.R.Dudley	yıldız kevkesi	A+L	LC	Liste Dışı	Liste Dışı	Endemik
Brassicaceae	<i>Alyssum pateri</i> Nyár subsp. <i>prostratum</i> (Nyár.) T.R.Dudley	yatıkkevke	L	LC	Liste Dışı	Liste Dışı	Endemik
Brassicaceae	<i>Isatis floribunda</i> Boiss. ex Bornm.	deliuzgün	A+L	LC	Liste Dışı	Liste Dışı	Endemik
Campanulaceae	<i>Campanula ajugifolia</i> Sest. ex Spreng.	erciyes çanı	L	LC	Liste Dışı	Liste Dışı	Endemik
Campanulaceae	<i>Campanula kirikkaleensis</i> Dönmez & Güne	kale çingrağı	A+L	NT	Liste Dışı	Liste Dışı	Endemik
Caprifoliaceae	<i>Scabiosa pseudograminifolia</i> Hub.-Mor.	çimen uyuzotu	L	LC	Liste Dışı	Liste Dışı	Endemik
Caryophyllaceae	<i>Bolanthus minuartioides</i> (Jaub. & Spach) Hub.-Mor.	havalotu	A	LC	Liste Dışı	Liste Dışı	Endemik
Caryophyllaceae	<i>Dianthus ancycensis</i> Hausskn. & Bornm.	ankara karanfili	L	VU	Liste Dışı	Liste Dışı	Endemik
Caryophyllaceae	<i>Dianthus balansae</i> Boiss.	aslan karanfili	L	LC	Liste Dışı	Liste Dışı	Endemik
Caryophyllaceae	<i>Dianthus cibrarius</i> Clementi	al karanfil	L	NT	Liste Dışı	Liste Dışı	Endemik
Caryophyllaceae	<i>Dianthus lydus</i> Boiss.	kan karanfili	L	LC	Liste Dışı	Liste Dışı	Endemik

Caryophyllaceae	<i>Dianthus zederbaueri</i> Vierh.	er karanfil	L	LC	Liste Dışı	Liste Dışı	Endemik
Caryophyllaceae	<i>Eremogone ledebouriana</i> (Fenzl) Ikonn.	İğne kumotu	A	LC	Liste Dışı	Liste Dışı	Endemik
Caryophyllaceae	<i>Gypsophila parva</i> Barkoudah	ak çöven	A+L	LC	Liste Dışı	Liste Dışı	Endemik
Caryophyllaceae	<i>Minuartia anatolica</i> (Boiss.) Woronow var. <i>anatolica</i>	tıstıs otu	A+L	LC	Liste Dışı	Liste Dışı	Endemik
Caryophyllaceae	<i>Minuartia corymbulosa</i> (Boiss. & Balansa) McNeill var. <i>breviflora</i> (Boiss.) McNeill	kırk tıstıs	A	LC	Liste Dışı	Liste Dışı	Endemik
Caryophyllaceae	<i>Paronychia angorensis</i> Chaudhri	ankara yaranı	A+L	VU	Liste Dışı	Liste Dışı	Endemik
Caryophyllaceae	<i>Saponaria prostrata</i> Willd. subsp. <i>calvertii</i> (Boiss.) Hedge	yatıksabunotu	A+L	LC	Liste Dışı	Liste Dışı	Endemik
Cistaceae	<i>Fumana paphlagonica</i> Bornm. & Janch.	has güneşotu	L	LC	Liste Dışı	Liste Dışı	Endemik
Convolvulaceae	<i>Convolvulus assyricus</i> Griseb.	yastıkçık	L	LC	Liste Dışı	Liste Dışı	Endemik
Euphorbiaceae	<i>Euphorbia apios</i> L.	fiçiotu	L	NE	Liste Dışı	EK-II	Endemik Değil
Euphorbiaceae	<i>Euphorbia anacampseros</i> Boiss. var. <i>anacampseros</i>	sütlüağı	A+L	LC	Liste Dışı	EK-II	Endemik
Euphorbiaceae	<i>Euphorbia arvalis</i> Boiss. & Heldr. subsp. <i>arvalis</i>	tarla sütleğeni	L	NE	Liste Dışı	EK-II	Endemik Değil
Euphorbiaceae	<i>Euphorbia condylocarpa</i> M.Bieb	gijeletri	A+L	NE	Liste Dışı	EK-II	Endemik Değil
Euphorbiaceae	<i>Euphorbia coniosperma</i> Boiss. & Buhse	teksütleğen	L	NE	Liste Dışı	EK-II	Endemik Değil
Euphorbiaceae	<i>Euphorbia eriophora</i> Boiss.	şiremara	L	NE	Liste Dışı	EK-II	Endemik Değil
Euphorbiaceae	<i>Euphorbia falcata</i> L. subsp. <i>macrostegia</i> (Bornm.) O. Schwartz	ılıca sütleğeni	A+L	NE	Liste Dışı	EK-II	Endemik Değil
Euphorbiaceae	<i>Euphorbia herniariifolia</i> Willd. var. <i>glaberrima</i> Halácsy	boncuk sütleğeni	L	NE	Liste Dışı	EK-II	Endemik Değil
Euphorbiaceae	<i>Euphorbia ledebourii</i> Boiss.	teknil sütleğeni	A+L	NE	Liste Dışı	EK-II	Endemik Değil
Euphorbiaceae	<i>Euphorbia macrocarpa</i> Boiss. & Buhse	meşe sütleğeni	A	NE	Liste Dışı	EK-II	Endemik Değil
Euphorbiaceae	<i>Euphorbia macroclada</i> Boiss.	neblul	L	NE	Liste Dışı	EK-II	Endemik Değil
Euphorbiaceae	<i>Euphorbia orientalis</i> L.	gezer sütleğen	L	NE	Liste Dışı	EK-II	Endemik Değil
Euphorbiaceae	<i>Euphorbia peplus</i> L. var. <i>minima</i> DC.	bahçe sütleğeni	L	NE	Liste Dışı	EK-II	Endemik Değil
Euphorbiaceae	<i>Euphorbia rhabdotosperma</i> Radcl.-Sm.	bodur sütleğen	A+L	NE	Liste Dışı	EK-II	Endemik Değil
Euphorbiaceae	<i>Euphorbia stricta</i> L.	katı sütleğen	L	NE	Liste Dışı	EK-II	Endemik Değil
Euphorbiaceae	<i>Euphorbia szovitsii</i> Fisch & C.A.Mey. var. <i>szovitsii</i>	urus sütleğeni	A+L	NE	Liste Dışı	EK-II	Endemik Değil
Euphorbiaceae	<i>Euphorbia taurinensis</i> All.	tilki sütleğeni	L	NE	Liste Dışı	EK-II	Endemik Değil
Fabaceae	<i>Astragalus albertshoferi</i> Podlech	karadağ geveni	L	VU	Liste Dışı	Liste Dışı	Endemik
Fabaceae	<i>Astragalus brachypterus</i> Fisch.	kuş geveni	A	LC	Liste Dışı	Liste Dışı	Endemik
Fabaceae	<i>Astragalus condensatus</i> Ledeb.	sıkgeven	A	LC	Liste Dışı	Liste Dışı	Endemik

Fabaceae	<i>Astragalus dipsaceus</i> Bunge	kıllı geven	L	LC	Liste Dışı	Liste Dışı	Endemik
Fabaceae	<i>Astragalus germanicopolitanus</i> Bornm.	çankırı geveni	L	DD	Liste Dışı	Liste Dışı	Endemik
Fabaceae	<i>Astragalus hirsutus</i> Vahl	tüylü geven	A	LC	Liste Dışı	Liste Dışı	Endemik
Fabaceae	<i>Astragalus karamasicus</i> Boiss. & Balansa	korumaz geveni	A	LC	Liste Dışı	Liste Dışı	Endemik
Fabaceae	<i>Astragalus lycius</i> Boiss.	bozkırmumu	L	LC	Liste Dışı	Liste Dışı	Endemik
Fabaceae	<i>Astragalus melanophrurius</i> Boiss.	bıyık geveni	L	NT	Liste Dışı	Liste Dışı	Endemik
Fabaceae	<i>Astragalus mesogitanus</i> Boiss.	aydın geveni	L	LC	Liste Dışı	Liste Dışı	Endemik
Fabaceae	<i>Astragalus micropterus</i> Fisch.	serçe geveni	A+L	LC	Liste Dışı	Liste Dışı	Endemik
Fabaceae	<i>Astragalus noaeanus</i> Boiss.	yeni geven	L	NE	Liste Dışı	Liste Dışı	Endemik
Fabaceae	<i>Astragalus panduratus</i> Bunge	yurt geveni	A+L	EN	Liste Dışı	Liste Dışı	Endemik
Fabaceae	<i>Astragalus physodes</i> L. subsp. <i>acikirensis</i> Ekim	acıkrır geveni	L	EN	Liste Dışı	Liste Dışı	Endemik
Fabaceae	<i>Astragalus polemoniicus</i> Bunge	bolaman geveni	A+L	DD	Liste Dışı	Liste Dışı	Endemik
Fabaceae	<i>Astragalus strictispinis</i> Boiss.	diri geven	L	NT	Liste Dışı	Liste Dışı	Endemik
Fabaceae	<i>Astragalus tmoleus</i> Boiss. var. <i>bounacanthus</i> (Boiss.) D.F.Chamb.	bozdağ geveni	L	LC	Liste Dışı	Liste Dışı	Endemik
Fabaceae	<i>Astragalus vulnerariae</i> DC.	civcivotu	A+L	LC	Liste Dışı	Liste Dışı	Endemik
Fabaceae	<i>Genista involucrata</i> Spach	top borcak	L	LC	Liste Dışı	Liste Dışı	Endemik
Fabaceae	<i>Lathyrus brachypterus</i>	yemelik	L	LC	Liste Dışı	Liste Dışı	Endemik
Fabaceae	<i>Onobrychis elata</i> Boiss. & Balansa	yer korungası	L	VU	Liste Dışı	Liste Dışı	Endemik
Fabaceae	<i>Onobrychis fallax</i> Freyn & Sint. ex Freyn var. <i>fallax</i>	yalancı korunga	L	LC	Liste Dışı	Liste Dışı	Endemik
Fabaceae	<i>Onobrychis ornata</i> (Willd.) Desv.	süslü korunga	A+L	LC	Liste Dışı	Liste Dışı	Endemik
Fabaceae	<i>Onobrychis stenostachya</i> Freyn subsp. <i>krausei</i> (Şirj.) Hedge	başak korunga	L	VU	Liste Dışı	Liste Dışı	Endemik
Fabaceae	<i>Oxytropis argyroleuca</i> Bornm.	ala gagageveni	A+L	LC	Liste Dışı	Liste Dışı	Endemik
Fabaceae	<i>Trifolium elongatum</i> Willd.	helva üçgülü	L	NE	Liste Dışı	Liste Dışı	Endemik
Fabaceae	<i>Trigonella kotschyi</i> Fenzl	akboyotu	L	LC	Liste Dışı	Liste Dışı	Endemik
Geraniaceae	<i>Erodium absinthoides</i> Willd. subsp. <i>absinthoides</i>	yavşan İğneliği	A+L	LC	Liste Dışı	Liste Dışı	Endemik
Hypericaceae	<i>Hypericum adenotrichum</i> Spach	kızılçıkotu	L	LC	Liste Dışı	Liste Dışı	Endemik
Hypericaceae	<i>Hypericum heterophyllum</i> Vent.	yarayaprağı	L	LC	Liste Dışı	Liste Dışı	Endemik
Iridaceae	<i>Crocus ancyrensis</i> (Herb.) Maw	ankara çiğdemi	A+L	LC	Liste Dışı	Liste Dışı	Endemik
Iridaceae	<i>Crocus danfordiae</i> Maw subsp. <i>danfordiae</i>	İnce çiğdem	A+L	LC	Liste Dışı	Liste Dışı	Endemik
Iridaceae	<i>Crocus olivieri</i> subsp. <i>olivieri</i> J.Gay	Hırçın çiğdem	A+L	LC	Liste Dışı	Liste Dışı	Nadir
Iridaceae	<i>Iris galatica</i> Siehe	kaba navruz	A+L	LC	Liste Dışı	Liste Dışı	Endemik

Iridaceae	<i>Iris kerneriana</i> Asch. & Sint. ex Baker	çalı süseni	A+L	LC	Liste Dışı	Liste Dışı	Endemik
Lamiaceae	<i>Ballota macrodonta</i> Boiss & Balansa	ala nemnem	L	VU	Liste Dışı	Liste Dışı	Endemik
Lamiaceae	<i>Ballota nigra</i> L. subsp. <i>foetida</i> Hayek	giripotü	L	LC	Liste Dışı	Liste Dışı	Endemik
Lamiaceae	<i>Lamium garganicum</i> L. subsp. <i>striatum</i> (Sm.) Hayek var. <i>microphyllum</i> (Boiss.) Mennema	tel balıcağ	L	NT	Liste Dışı	Liste Dışı	Endemik
Lamiaceae	<i>Marrubium cephalanthum</i> Boiss. & Noë	başlı bozot	L	NE	Liste Dışı	Liste Dışı	Endemik
Lamiaceae	<i>Marrubium globosum</i> Montbret & Aucher ex Benth. subsp. <i>globosum</i>	bozcaboğum	L	LC	Liste Dışı	Liste Dışı	Endemik
Lamiaceae	<i>Marrubium parviflorum</i> Fisch. & C.A.Mey subsp. <i>oligodon</i> (Boiss.) Seybold	küllü bozotu	A+L	LC	Liste Dışı	Liste Dışı	Endemik
Lamiaceae	<i>Salvia absconditiflora</i> (Montbret & Aucher ex Benth.) Greuter & Burdet	kara şalba	A+L	LC	Liste Dışı	Liste Dışı	Endemik
Lamiaceae	<i>Salvia caespitosa</i> Montbret & Aucher ex Benth.	kırk şalba	L	LC	Liste Dışı	Liste Dışı	Endemik
Lamiaceae	<i>Salvia cyanescens</i> Boiss. & Balansa	mor galabor	A+L	LC	Liste Dışı	Liste Dışı	Endemik
Lamiaceae	<i>Salvia heldreichiana</i> Boiss. ex Benth.	ayaklı şalba	L	VU	Liste Dışı	Liste Dışı	Endemik
Lamiaceae	<i>Salvia hypargeia</i> Fisch. & C.A.Mey.	siyahot	L	LC	Liste Dışı	Liste Dışı	Endemik
Lamiaceae	<i>Salvia tchihatcheffii</i> (Fisch. & C.A.Mey.) Boiss.	kekik şalbası	L	LC	Liste Dışı	Liste Dışı	Endemik
Lamiaceae	<i>Salvia wiedemannii</i> Boiss.	sultantacı	L	LC	Liste Dışı	Liste Dışı	Endemik
Lamiaceae	<i>Salvia yosgadensis</i> Freyn & Bornm.	bozok şalbası	L	LC	Liste Dışı	Liste Dışı	Endemik
Lamiaceae	<i>Scutellaria orientalis</i> L. subsp. <i>sosnowskyi</i> (Takht.) Fed.	erkekaside	L	LC	Liste Dışı	Liste Dışı	Endemik
Lamiaceae	<i>Scutellaria salviifolia</i> Benth.	has kaside	L	LC	Liste Dışı	Liste Dışı	Endemik
Lamiaceae	<i>Sideritis galatica</i> Bornm.	kırçayı	L	LC	Liste Dışı	Liste Dışı	Endemik
Lamiaceae	<i>Stachys cretica</i> L. subsp. <i>anatolica</i> Rech.f.	yağlıkara	A+L	LC	Liste Dışı	Liste Dışı	Endemik
Lamiaceae	<i>Stachys cretica</i> L. subsp. <i>vacillans</i> Rech.f.	dikdeliçay	L	LC	Liste Dışı	Liste Dışı	Endemik
Lamiaceae	<i>Stachys iberica</i> M.Bieb.subsp. <i>iberica</i> var. <i>iberica</i>	tok deliçay	L	LC	Liste Dışı	Liste Dışı	Endemik
Lamiaceae	<i>Stachys setifera</i> C.A.Mey. subsp. <i>setifera</i>	zarif deliçay	L	LC	Liste Dışı	Liste Dışı	Endemik
Lamiaceae	<i>Thymus leucostomus</i> Hausskn. & Velen.	ana kekik	L	LC	Liste Dışı	Liste Dışı	Endemik
Linaceae	<i>Linum hirsutum</i> L. subsp. <i>pseudoanatolicum</i> P.H.Davis	bozkır keteni	A+L	LC	Liste Dışı	Liste Dışı	Endemik
Orchidaceae	<i>Cephalanthera damasonium</i> (Mill.) Druce	ormankuşçuğu	A+L	NE	Liste Dışı	EK-II	Endemik Değil
Orchidaceae	<i>Cephalanthera rubra</i> (L.) Rich.	çamçiçeği	A+L	NE	Liste Dışı	EK-II	Endemik Değil
Orchidaceae	<i>Dactylorhiza iberica</i> (M.Bieb. ex Willd.) Soó	kırım salebi	L	NE	Liste Dışı	EK-II	Endemik Değil
Orchidaceae	<i>Epipactis condensata</i> Boiss. ex D.P.Young	dolubindallı	L	NE	Liste Dışı	EK-II	Endemik Değil
Orchidaceae	<i>Epipactis microphylla</i> (Ehrh.) Sw.	minikbindallı	L	NE	Liste Dışı	EK-II	Endemik Değil

Orchidaceae	<i>Orchis coriophora</i> L. subsp. <i>coriophora</i>	pirinç çiçeği	A	NE	Liste Dışı	EK-II	Endemik Değil
Orchidaceae	<i>Orchis morio</i> L. subsp. <i>morio</i>	gelincik salebi	A	NE	Liste Dışı	EK-II	Endemik Değil
Orchidaceae	<i>Orchis mascula</i> (L.) L. subsp. <i>pinetorum</i> (Boiss. & Kotschy) Schltr.	çam salebi	L	NE	Liste Dışı	EK-II	Endemik Değil
Orchidaceae	<i>Orchis pallens</i> L.	solgun salep	L	LC	Liste Dışı	EK-II	Nadir
Orchidaceae	<i>Orchis purpurea</i> Huds. subsp. <i>purpurea</i>	hasancık	L	LC	Liste Dışı	EK-II	Nadir
Orchidaceae	<i>Orchis tridentata</i> Scop.	katranalacası	A+L	LC	Liste Dışı	EK-II	Nadir
Orchidaceae	<i>Platanthera bifolia</i> (L.) Rich.	guguk salebi	L	LC	Liste Dışı	EK-II	Nadir
Papaveraceae	<i>Glaucium grandiflorum</i> Boiss. & A.Huet subsp. <i>refractum</i> (Nábělek) Mory var. <i>refractum</i>	al göğündürme	A	EN	Liste Dışı	Liste Dışı	Endemik
Plantaginaceae	<i>Digitalis lamarekii</i> Ivanina	yüksükotu	A+L	LC	Liste Dışı	Liste Dışı	Endemik
Plantaginaceae	<i>Linaria corifolia</i> Desf.	tarla nevrüzotu	A+L	LC	Liste Dışı	Liste Dışı	Endemik
Plantaginaceae	<i>Linaria genistifolia</i> (L.) Mill. subsp. <i>polyclada</i> (Fenzl) P.H.Davis	kırk nevrüzotu	A+L	NT	Liste Dışı	Liste Dışı	Endemik
Plantaginaceae	<i>Linaria iconia</i> Boiss. & Heldr.	konya nevrüzotu	L	NE	Liste Dışı	Liste Dışı	Endemik
Plantaginaceae	<i>Veronica cinerea</i> Boiss. & Balansa	gümüş maviş	L	LC	Liste Dışı	Liste Dışı	Endemik
Plantaginaceae	<i>Veronica erciyasdagi</i> (M.A.Fisch.) C.Vural	erciyes mavişi	L	VU	Liste Dışı	Liste Dışı	Endemik
Plantaginaceae	<i>Veronica multifida</i> L.	devesabunu	A+L	LC	Liste Dışı	Liste Dışı	Endemik
Plumbaginaceae	<i>Acantholimon caesareum</i> Boiss. & Balansa	köslü keveni	L	LC	Liste Dışı	Liste Dışı	Endemik
Plumbaginaceae	<i>Acantholimon lycaonicum</i> Boiss. & Heldr. subsp. <i>lycaonicum</i>	güdükkirpiotu	A+L	NT	Liste Dışı	Liste Dışı	Endemik
Plumbaginaceae	<i>Limonium iconicum</i> (Boiss. & Heldr.) Kuntze	konya kuduzotu	L	NE	Liste Dışı	Liste Dışı	Endemik
Plumbaginaceae	<i>Limonium lilacinum</i> (Boiss.) Wagenitz	çorak lavantası	L	LC	Liste Dışı	Liste Dışı	Endemik
Poaceae	<i>Festuca paphlagonica</i> (St.-Yves) Markgr.-Dann. subsp. <i>paphlagonica</i>	maden yumağı	L	LC	Liste Dışı	Liste Dışı	Endemik
Poaceae	<i>Puccinellia koeieana</i> Melderis subsp. <i>anatolica</i> Kit Tan	tuzçimi	L	LC	Liste Dışı	Liste Dışı	Endemik
Ranunculaceae	<i>Consolida glandulosa</i> (Boiss. & A.Huet) Bornm.	yağlı mahmuz	L	LC	Liste Dışı	Liste Dışı	Endemik
Ranunculaceae	<i>Consolida raveyi</i> (Boiss.) Schrödinger	topal mahmuz	A+L	LC	Liste Dışı	Liste Dışı	Endemik
Ranunculaceae	<i>Consolida stenocarpa</i> (P.H.Davis & M.Hossain) P.H.Davis	pala mahmuz	L	LC	Liste Dışı	Liste Dışı	Endemik
Ranunculaceae	<i>Consolida thirkeana</i> (Boiss.) Bornm.	boz mahmuz	A+L	LC	Liste Dışı	Liste Dışı	Endemik
Ranunculaceae	<i>Delphinium venulosum</i> Boiss.	hezaren	L	LC	Liste Dışı	Liste Dışı	Endemik
Ranunculaceae	<i>Ranunculus reuterianus</i> Boiss.	has düğünçiçeği	L	LC	Liste Dışı	Liste Dışı	Endemik
Rosaceae	<i>Crataegus tanacetifolia</i> (Poir.) Pers.	kotan alıcı	L	LC	Liste Dışı	Liste Dışı	Endemik
Rubiaceae	<i>Asperula lilaciflora</i> Boiss. subsp. <i>phrygia</i> (Bornm.) Schönb.-Tem.	sarmaş belum	L	LC	Liste Dışı	Liste Dışı	Endemik

Rubiaceae	<i>Asperula stricta</i> Boiss. subsp. <i>latibracteata</i> (Boiss.) Ehrend	berit belumotu	A+L	LC	Liste Dışı	Liste Dışı	Endemik
Rutaceae	<i>Haplophyllum telephioides</i> Boiss.	özge sedo	A+L	NT	Liste Dışı	Liste Dışı	Endemik
Scrophulariaceae	<i>Verbascum afyonense</i> Hub.-Mor.	afyon sığırkuyruğu	L	EN	EK-1	Liste Dışı	Endemik
Scrophulariaceae	<i>Verbascum caudatum</i> Freyn & Bornm.	keller sığırkuyruğu	L	LC	Liste Dışı	Liste Dışı	Endemik
Scrophulariaceae	<i>Verbascum cheiranthifolium</i> Boiss. var. <i>asperulum</i> (Boiss.) Murb.	bozkulak	A+L	LC	Liste Dışı	Liste Dışı	Endemik
Scrophulariaceae	<i>Verbascum heterobarbatum</i> Hub.-Mor.	sakallı sığırkuyruğu	A+L	LC	Liste Dışı	Liste Dışı	Endemik
Scrophulariaceae	<i>Verbascum tossiense</i> Freyn & Sint.	bağ sığırkuyruğu	L	LC	Liste Dışı	Liste Dışı	Endemik
Scrophulariaceae	<i>Verbascum wiedemannianum</i> Fisch. & C.A.Mey.	mor sığırkuyruğu	A+L	LC	Liste Dışı	Liste Dışı	Endemik
Solanaceae	<i>Lycium anatolicum</i> A.Baytop & R.R.Mill	tekedikeni	L	LC	Liste Dışı	Liste Dışı	Endemik

Tespit şekli: A. Arazi, L. Literatür

Referans kaynakların haricinde Türkiye Bitkileri Veri Servisi (TÜBİVES) Kırıkkale İli ölçeğinde taranmış olup yalnızca 20 bitki taksonu kaydıyla karşılaşılmıştır. TÜBİVES içerisinde bu kadar az sayıda bitki taksonu kaydı bulunmasının nedeni Türkiye Florası'nın yoğun olarak kayıtlarının girildiği 1960-80 dönem aralığında Kırıkkale'nin ilçe statüsünde olmasından dolayı bu bölgeden elde edilen kayıtların Ankara İli üzerinden kaydedilmiş olmasıdır. Bunun yanı sıra Kırıkkale'nin il olarak ilan edildiği 21 Haziran 1989 tarihinden sonra da Türkiye Florası'na bu ilden çok az sayıda bitki taksonunun kaydedilmiş olması sonucu TÜBİVES sistemi içerisinde Kırıkkale İli neredeyse yok gibi bir durumla karşı karşıya kalmıştır.

Yapılan arazi çalışmaları neticesinde elde edilen floristik liste incelendiğinde uluslararası koruma sözleşmelerinden Bern Sözleşmesi'nin Ek-1 Listesi'nde (*Verbascum afyonense* Hub.-Mor.; Afyon Sığırkuyruğu)'nun yer aldığı gözlenmekte ise de bu türe arazi çalışmalarında doğrudan rastlanılmamıştır. Öte yandan bitki türlerinin ticaretini düzenleyen ve bir diğer uluslararası sözleşme olan CITES kapsamında ise bu sözleşmenin Ek-2 listesinde Euphorbiaceae (Sütleğengiller) ve Orchidaceae (Orkidegiller) familyasında yer alan çeşitli bitki taksonları yer almaktadır (Tablo 1).

Öte yandan, hedef tür "yaban hayatı koruma ve yaban hayatı geliştirme sahalarda sahanın ayrılmasına gerekçe olan tür veya türleri" tanımlanmaktadır. Bu tanıma uygun olarak alanda yapılan çalışmalarda hedef tür olarak tespit edilen türler bölge ve ülke için, ayrıca biyoçeşitlilik ve ekolojik denge açısından önem arz eden türlerdir.

Kırıkkale ilinde endemik ve/veya nadir bitkilerin yayılış gösterdiği ve biyoçeşitliliğin yüksek olduğu hedef türlerce zengin habitatlar ve bölgeler şunlardır:

1. Denek Dağı
2. Behrek Dağı
3. Küre Dağı
4. Koçu Dağı
5. Çelebi Dağı
6. Tokuş Dağı
7. Delice Irmağı ve Çoğul Jipsli Bozkırları

Kırıkkale ili için belirlenen koruma öncelikli taksonlara yönelik izleme planı Tablo 2'de, hedef türlerce zengin habitatların florasının izleme planı ise Tablo 3'de verilmiştir. Alanlar arasındaki önceliklendirmede tablolardaki sıralama esas alınmalıdır.

Tablo 2. Kırıkkale İli için belirlenen koruma öncelikli taksonlara ait izleme planı

İzlenecek çalışma konusu	İzleme düzeyi	İzleme zamanı	İzlenecek alan	Başarı göstergesi
<i>Gundelia anatolica</i>	Tür	Mayıs-Haziran ayları arasında ayda 1 kez	Delice-Hacıobası-Alçılı-Çoğul arasında kalan bölge	
<i>Campanula kirikkaleensis</i>	Tür	Mayıs-Haziran-Temmuz ayları arasında ayda 1 kez	Delice-Hacıobası-Alçılı-Çoğul arasında kalan bölge	Doğal alanların tahribinin engellenmesi,
<i>Astragalus panduratus</i>	Tür	Mayıs-Haziran-Temmuz ayları arasında ayda 1 kez	Delice-Hacıobası-Alçılı-Çoğul arasında kalan bölge	popülasyon artışı, dağılımın genişlemesi ve
<i>Astragalus polemoniicus</i>	Tür	Mayıs-Haziran-Temmuz ayları arasında ayda 1 kez	Tokuş Dağı içerisinde Sarıyaka Köyünün güneydoğusu (Kırıkkale-Çorum-Yozgat il sınırları kesişimine kadar olan bölüm)	canlılık gelişimi
<i>Hyacinthella micrantha</i>	Tür	Mart-Nisan-Mayıs ayları arasında ayda 1 kez	Koçu Baba Türbesi ve çevresi	

Tablo 3. Kırıkkale ili için belirlenen hedef türlerce zengin habitatların florasının izleme planı.

İzlenecek çalışma konusu	İzleme düzeyi	İzleme zamanı	İzlenecek alan	Başarı göstergesi
Delice Irmağı ve Çoğul Jipsli Bozkırları	Habitat	Mayıs-Haziran-Temmuz aylarında, ayda 1 kez	Delice Irmağı'nın Çoğul bölümü, Tuz Ocakları ve çevresi	Doğal alanların tahribinin engellenmesi,
Koçu Dağı	Habitat	Mart-Nisan-Mayıs aylarında, ayda 1 kez	Koçubaba Türbesi ve çevresi	gençleşme ve rejenerasyon görülmesi,
Denek Dağı	Habitat	Nisan-Mayıs-Haziran aylarında, ayda 1 kez	Denek Dağı zirve bölümü	popülasyon artışı, dağılımın genişlemesi ve canlılık gelişimi
Behrek Dağı	Habitat	Mayıs-Haziran-Temmuz aylarında, ayda 1 kez	Müsellim-Kepirli-Tilkili-Köprüköy-Haydardede-Konur köyleri arasındaki bölüm	
Küre Dağı	Habitat	Mayıs-Haziran-Temmuz aylarında, ayda 1 kez	Küre Boğazı, Hodar, Bedesten, Sarıkaya bölümleri	
Çelebi Dağı	Habitat	Mayıs-Haziran-Temmuz aylarında, ayda 1 kez	Çelebi Dağı çevresi	
Tokuş Dağı	Habitat	Mayıs-Haziran-Temmuz aylarında, ayda 1 kez	Üç Dede Tepesi ve Sarıtepe çevresi.	

Arazi çalışmaları sonucunda tespit edilen endemik ve nadir türler içerisinde 2 tanesinin lokal endemik olduğu ve yalnızca Kırıkkale İli içerisindeki çok küçük alanlarda varlığını devam ettirdiği tespit edilmiştir. Bu iki lokal endemik bitki türü (*Gundelia anatolica* ve *Campanula kirikkaleensis*) Kırıkkale İli için korumada en öncelikli taksonlar olarak seçilmiştir.

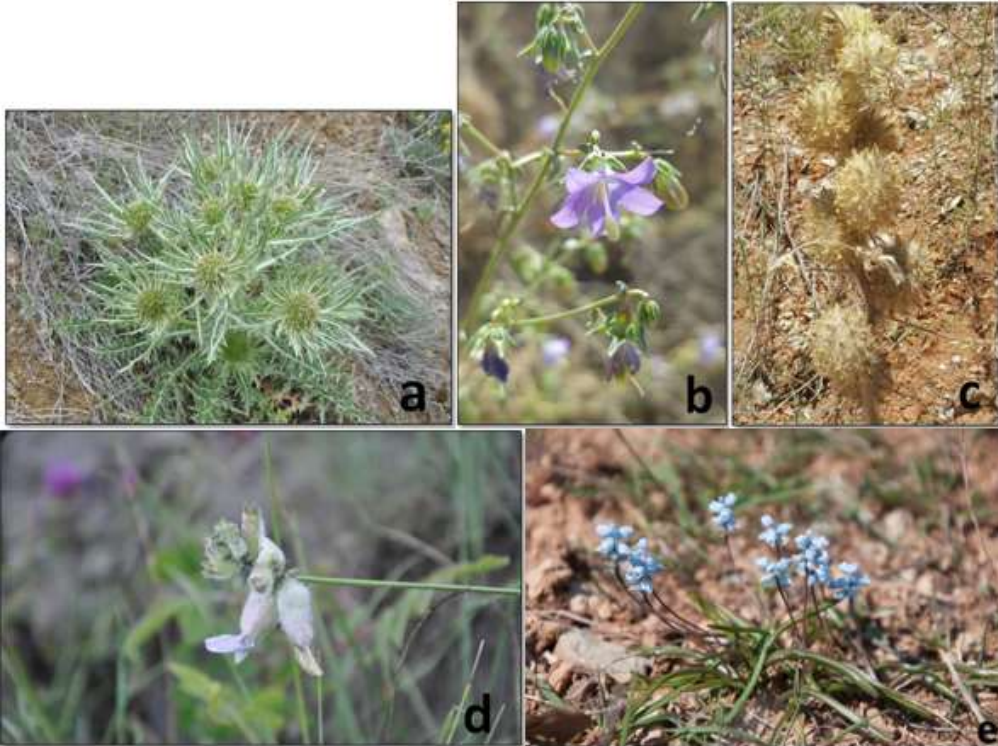
Öte yandan bu türlerden *Gundelia anatolica* aynı zamanda botanik dünyası için de yeni tanımlanmış bir tür olup, arazi çalışmalarımız sırasında tip lokalitesinden kaydı tarafımızca yapılmıştır.

Bununla birlikte ilgili tür kısa bir süre önce tanımlandığından herhangi bir koruma kategorisi ve Türkçe Adı dahi tanımlanmamış olup, mevcut durum itibarıyla NE (Not Evaluated) – Değerlendirilmemiş statüde bulunmaktadır. Bunun yanında (*Campanula kirikkaleensis*) türü ise NT (Near Threatened-Tehdide girmeye yakın) statüde yer almakla beraber çok lokal bir alan içerisindeki özellikli bir habitat içerisinde (tuzcul-jipsli bozkırlar) çeşitli tehditlere (tuz ocakları) maruz kalma riski yüksek olduğu için koruma öncelikli tür olarak seçilmiştir.

Önem arz eden bu iki lokal endemiğin haricinde, IUCN Kırmızı Liste Kategorileri'nin en yüksek basamaklarından biri olan EN (Endangered-Tehlike Altında) statüsünde yer alan bir başka endemik bitki türü (*Astragalus panduratus* – Yurt Geveni) de çok dar bir alan içerisinde yaşadığından, küçük çaplı dahi olsa olası etkilere karşı yok olma riski yüksek bulunduğu için koruma önceliği yüksek türlerden biri olarak seçilmiştir.

Bu 3 endemik bitki türünün haricinde, Baraklı Mevkii üzerinde Sarıyaka Köyünün güneydoğusunda (Kırıkkale-Çorum-Yozgat il sınırları kesişimine kadar olan bölüm) çok küçük bir alanda yaşadığı tespit edilen bir başka endemik bitki türü olan *Astragalus polemoniicus* (Bolaman Geveni) da Kırıkkale İli için koruma öncelikli türlerden biri olarak seçilmiştir. Bu türe ilişkin tehlike kategorisi yetersiz veriden dolayı DD (Data deficient -Yetersiz Veri) statüsünde bırakılmış olup, türe ilişkin yakın gelecekte çeşitli populasyon yoğunluğu, yayılış, tehdit durumları gibi konuların araştırılarak izlenmesi gerekmektedir.

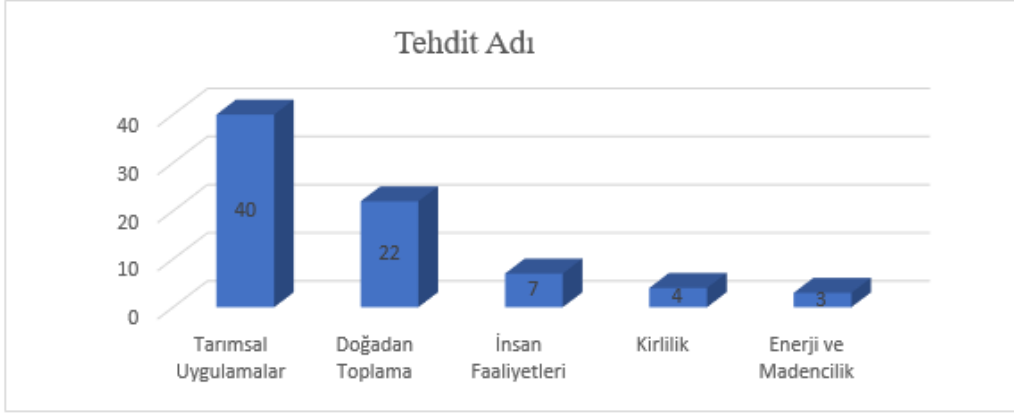
Koruma önceliği taşıyan bir başka endemik bitki taksonu ise Koçu Dağı içerisinde yer alan Koçu Baba Türbesi ve yakın çevresindeki tepelik alanda yaşadığı tespit edilen *Hyacinthella micrantha* (Minik Sümbül) türüdür. Bahsi geçen bu türün tehlike kategorisi ise NT (Near Threatened-Tehdide girmeye yakın) statüde yer almakla beraber çok lokal bir alan içerisinde çeşitli tehditlere (türbeye bağlı yoğun insan kullanımından dolayı habitat kaybı ve habitat kalitesinde bozulma) maruz kalma riski orta düzeyli olduğu için koruma öncelikli tür olarak seçilmiştir. Koruma önceliği taşıyan taksonlara ait fotoğraflar Şekil 4'de verilmiştir.



Şekil 4. Kırıkkale ili için belirlenmiş koruma öncelikli taksonlara ait bazı görünüşler (a- *Gundelia anatolica*, b- *Campanula kirikkaleensis*, c- *Astragalus panduratus*, d- *Astragalus polemoniicus*, e- *Hyacinthella micrantha*)

3.2. Araştırma alanında biyoçeşitliliğe yönelik tehditler ve öneriler

Söz konusu araştırma kapsamında gerçekleştirilen arazi çalışmaları doğrultusunda damarlı bitkilere ilişkin belirlenen tehditlere aşağıda özet olarak yer verilmiş ve bu tehditlerin taksonlar bazında dağılımı Şekil 5'de özetlenmiştir.



Şekil 5. Belirlenen tehditlere göre takson sayısı

Kırsal alanlarda, hızlı nüfus artışından kaynaklanan ekonomik baskı ve mevzuat boşlukları nedeniyle, tarım alanlarının parselasyonunda yaşanan sorunlar, çiftçilerin gelirlerinin düşmesine neden olmaktadır. Bu durum küçük çiftçileri, arazi kazanmak üzere orman açma, aşırı otlatma ile meraların tahribi ve bitkilerin aşırı toplanması gibi biyolojik çeşitliliği tahrip eden faaliyetlere yönelmektedir.

Kırıkkale İli'nin kırsal bölümlerindeki doğal ve antropojenik bozkırlar üzerindeki en ciddi tehdit olarak da aşırı otlatma faaliyetleri en ön sıralarda yer almaktadır.

Diğer yandan bugün sürdürülebilir ormancılık politikalarına geçişle değişim gösteren ormancılık politikalarındaki sürdürülemez uygulamalar biyolojik çeşitliliği olumsuz etkileyen faktörlerdendir. Her ne kadar il genelindeki orman varlığı baskın habitat tipi olan bozkır ile kıyaslanamayacak miktarlarda olsa bile mevcut orman varlığı içerisinde zaman zaman kontrolsüz ve kaçak ağaç kesimleri olduğu gözlenmiştir. Ormancılık faaliyetlerine ilişkin il genelinde yapılan hatalı uygulamalardan bir diğeri ve en önemlisi ise doğal bozkır alanları üzerinde yapılan yanlış ağaçlandırma faaliyetleri olarak gösterilebilir. Bu doğal bozkırlar üzerinde özellikle karaçam ve sedir ağaçlandırmaları yapılması sonucunda birçok nadir ve endemik türün habitat alanları kaybolma riski taşımaktadır. Bu tarz hatalı ağaçlandırmalara özellikle Denek Dağı çevresinde rastlanılmaktadır.

Step alanlarında; geleneksel ve sürdürülebilir olmayan tarım yöntemleri, verimli toprak elde etmek için meraların tahrip edilmesi biyolojik çeşitliliğe yönelik en büyük tehditler arasındadır. Anız yakma topraktaki mikro organizmaları yok etmekte, birçok küçük hayvanın ve böceklerin yok olmasına neden olarak, toprak yapısındaki verimliliği yok etmektedir. İlin genelinde gözlenmesine rağmen, özellikle Küre Dağı, Koçu Dağı, Baraklı Mevkii, Sulakyurt, Delice Çayı çevresi gibi önemli ekolojik bölgeler çevresinde yaşanan tarla açmalar doğrudan bozkır alanlarının yok olmasına yol açmaktadır. İl genelinde özellikle anız yakma doğal bitki varlığı üzerinde ciddi bir problem olarak gözlenmekte olup bu durum ilin bütününe dağılmış olan tarım alanlarında söz konusudur.

Özellikle kentsel alanlar çevresinde bu durum kırsal kesimden gelen göçlerle beraber, endüstriyel ve evsel yapıların kontrolsüz ve plansız yayılması sonucu katlanarak artmakta ve doğal habitatlar yok olmaktadır. Kırıkkale İli'nde bu durum daha çok ilin batısındaki doğal step alanları üzerinde gelişen Organize Sanayi Bölgesi ve Üniversite yerleşkeleri, ilin güneyinde yer alan Tüpraş Rafinerisi ve şehir merkezinin çevresinde gelişen Makine Kimya Fabrikası (MKEK)'na bağlı alanlarda gözlenmektedir.

Tarımsal sektörde, çevre olgusunu göz önünde bulundurmaksızın dağıtılan teşvikler, ağır kimyasal ve gübre kullanımı ile yanlış sulama projelerinin uygulanmasına neden olmuştur. Bölgede konu ile ilgili herhangi bir profesyonel denetimin söz konusu olmadığı görülmüş olup vatandaşlar su ve gübre kullanımında gelişigüzel hareket etmektedir. *Yarı-Kurak Akdeniz İkliminin Soğuk ile Çok soğuk Tiplerinin* yer aldığı Kırıkkale İli'nde esasen tarımsal ürün deseni özellikle kırsal kesimlerde iyi tarım tekniklerinin uygulanarak, su isteği az olan ve buna rağmen verimliliği daha yüksek olan türler lehinde planlanıp teşvik edildiği takdirde ciddi oranlarda habitat kaybı, su ve toprak kirliliği gibi olumsuzlukların da önüne geçilmiş olunacaktır.

Taş, mermer, kireçtaşı, kum, pomza, perlit, bakır, çinko, kurşun, demir, bentonit, florit vb. maden ocağı açmaları: Kırıkkale İli genelindeki doğal bitki varlığına yönelik en ciddi ve doğrudan tehdit olarak maden ocaklarının oluşturduğu habitat kaybı riskleri gösterilebilir. Bu tarz bir durumda türün yaşam alanı ortadan kalktığı için geri dönüşsüz bir yok oluşa sebebiyet verilmektedir. İl genelinde

özellikle Kızılırmak Nehri ve Delice Çayı kenarlarında şekillenmiş taş-kum ocakları ile ilin geneline düzensiz olarak dağılmış farklı nitelikteki çok sayıda maden ocağının da ilin bitki çeşitliliğini tehdit ettiği gözlenmiştir. Bu duruma önlem olarak ruhsat yenileme işlemleri sırasında sıkı denetimler yapılmalı ve yeni ruhsatlar verilirken bu çalışmanın sonuçları dikkate alınarak hareket edilmelidir.

Kızılırmak Nehri üzerinde yer alan baraj ve HES projelerinin yanı sıra bu nehir sistemine yönelik sanayi ve evsel nitelikli atıkların boşaltılması, zirai sulamanın deşarjı gibi süreçlerden dolayı nehrin aşırı kirlendiği gözlenmiştir. Bu duruma ek olarak nehirden özellikle yaz aylarında aşırı miktarlarda tarımsal sulama amaçlı su çekildiği de tespit edilmiştir. Benzer sorunların özellikle aşırı su çekilmesi bakımından Delice Çayı üzerinde de yaşandığı not edilmiştir.

İl genelindeki genel tarımsal ürün deseninin varlığı ve mevcut tarım politikalarının yapısına bağlı olarak, bölgede doğal olarak yetişen ve ekonomik öneme sahip olan birçok bitki türünden maalesef faydalanılmadığı tespit edilmiştir.

4. Sonuç ve Öneriler

Türkiye'nin sahip olduğu vasküler bitki potansiyeli halen tam olarak belirlenmiş değildir. Zira her yıl ortalama olarak 40 kadar yeni vasküler bitki, Türkiye Florası'na eklenmektedir [27]. İç Anadolu Bölgesi, bilhassa barındırmış olduğu bakir step alanları, jipsli kayalıklar ve tuzcul alanlar bakımından endemizm oranı yüksek olan önemli bitki alanları barındırmaktadır [30]. İç Anadolu, bilhassa araştırma alanımızın dahil olduğu ve Davis'in kareleme sistemine göre A4, A5, B4 ve B5 karelerine giren sahalarla ilgili Davis ve arkadaşlarının [32, 33] kapsamlı çalışmaları yanında yurt içi ve yurtdışından da çok sayıda araştırmacının da ziyaretleri olmuştur [1, 32, 33]. Bununla birlikte Kırıkkale İli'ne ait literatür verileri incelendiğinde esasen bu bölgenin uzun yıllar Ankara İli'ne bağlı bir yerleşim olmasından dolayı bitki araştırmaları sırasında gözden kaçırıldığı ve günümüzde bu ile ait botanik araştırmalarına ilişkin kısıtlı sayıda çalışma olduğu ortaya çıkmaktadır.

Güncel literatür verileri ve arazi çalışmalarına göre Kırıkkale İli'nde dağılışı gösteren flora unsurlarına ait 1326 takson tespit edilmiştir. Kırıkkale İli'nde dağılışı gösteren flora türleri arasında 156 endemik tür ve 5 nadir tür bulunmaktadır. IUCN'in belirlemiş olduğu tehdit kategorileri ışığında endemik bitki taksonlarının 4'ü EN, 10'u VU, 13'ü NT, 2'si DD, 120'si LC ve geriye kalan 6'sı ise NE kategorilerinde yer almaktadır. Bu türlerden 1 tanesi Bern Sözleşmesi Ek-I listesinde yer almaktadır. Ayrıca, 30 tür CITES Ek-II listelerinde yer almaktadır.

Bahsi geçen bu endemik ve nadir türler içerisinde 2 tanesinin lokal endemik olduğu ve yalnızca Kırıkkale İli içerisindeki çok küçük alanlarda varlığını devam ettirdiği tespit edilmiştir. Bu iki lokal endemik bitki türü (*Gundelia anatolica* ve *Campanula kirikkaleensis*) Kırıkkale İli için gösterge türler olarak seçilmiştir.

Öte yandan bu türlerden *Gundelia anatolica* aynı zamanda botanik dünyası için de yeni tanımlanmış [34] bir tür olup, arazi çalışmalarımız sırasında tip lokalitesinden kaydı tarafımızca yapılmıştır. Bununla birlikte ilgili tür henüz teşhis edildiğinden herhangi bir koruma kategorisi ve Türkçe Adı dahi tanımlanmamış olup, mevcut durum itibarıyla NE (Not Evaluated) – Değerlendirilmemiş statüde bulunmaktadır. Bunun yanında (*Campanula kirikkaleensis*) türü ise NT (Near Threatened-Tehdide girmeye yakın) statüde yer almakla beraber çok lokal bir alan içerisindeki özellikli bir habitat içerisinde (tuzcul-jipsli bozkırlar) çeşitli tehditlere (tuz ocakları) maruz kalma riski yüksek olduğu için gösterge tür olarak seçilmiştir.

Önem arz eden bu iki lokal endemiğin haricinde, IUCN Kırmızı Liste Kategorileri'nin en yüksek basamaklarından biri olan EN (Endangered-Tehlike Altında) statüsünde yer alan bir başka endemik bitki türü (*Astragalus panduratus* – Yurt Geveni) de çok dar bir alan içerisinde yaşadığından, küçük çaplı dahi olsa olası etkilere karşı yok olma riski yüksek bulunduğu için gösterge türlerden biri olarak seçilmiştir.

Bu 3 endemik bitki türünün haricinde, Baraklı Mevkii üzerinde Sarıyaka Köyünün güneydoğusunda (Kırıkkale-Çorum-Yozgat il sınırları kesişimine kadar olan bölüm) çok küçük bir alanda yaşadığı tespit edilen bir başka endemik bitki türü olan *Astragalus polemoniicus* (Bolaman Geveni) da Kırıkkale İli için gösterge türlerden biri olarak seçilmiştir. Bu türe ilişkin tehlike kategorisi yetersiz veriden dolayı DD (Data deficient -Yetersiz Veri) statüsünde bırakılmış olup, türe ilişkin yakın gelecekte çeşitli populasyon yoğunluğu, yayılışı, tehdit durumları gibi konuların araştırılarak izlenmesi gerekmektedir.

Gösterge tür olarak seçilen bir başka endemik bitki taksonu ise Koçu Dağı içerisinde yer alan Koçu Baba Türbesi ve yakın çevresindeki tepelik alanda yaşadığı tespit edilen *Hyacinthella micrantha* (Minik Sümbül) türüdür. Bahsi geçen bu türün tehlike kategorisi ise NT (Near Threatened-Tehdide girmeye yakın) statüde yer almakla beraber çok lokal bir alan içerisinde çeşitli tehditlere (türbeye bağlı yoğun insan kullanımından dolayı habitat kaybı ve habitat kalitesinde bozulma) maruz kalma riski orta düzeyli olduğu için gösterge tür olarak seçilmiştir.

İzlenmesi gereken türler kendi içlerinde önceliklendirildiğinde sıralama *Gundelia anatolica* (Kenger), *Campanula kirikkaleensis* (Kale Çingırağı), *Astragalus panduratus* (Yurt geveni), *Astragalus polemoniicus* (Bolaman Geveni) ve *Hyacinthella micrantha* (Minik Sümbül) şeklindedir.

Öte yandan 156 endemik bitki içerisinde EN (Endangered) ve VU (Vulnerable) kategorilerinde yer alan *Glaucium grandiflorum* ssp. *refractum* var. *torquatum*) EN (tehlikede), 2 tür (*Helichrysum arenarium* ssp. *aucheri* ve *Paronychia angorensis*) VU (zarar görebilir) taksonları her ne kadar bu tehdit kategorileri içerisinde değerlendirilmiş olsalar da mevcut dağılışı, popülasyon ve tehdit durumları itibarıyla geniş ölçekli yayılışı gösteren, popülasyon yoğunlukları iyi seviyelerde olan ve çok ciddi tehditlere maruz kalmadıklarından dolayı Kırıkkale İli Damarlı Bitkiler Gösterge Türleri içerisinde değerlendirmeye alınmamıştır.

Kırıkkale İli'nde gerçekleştirilen arazi çalışmaları sonucunda flora unsurlarına dahil 5 türe yönelik Tür / Popülasyon izleme önerilmiştir. Türlerin belirlenmesinde IUCN kategorileri, BERN ve CITES sözleşmeleri, Endemizm durumları ve türlerin konunun uzmanınca arazi çalışması sırasında yaptığı gözlemler etkili olmuştur.

Ayrıca hedef türlerce zengin habitatlar ve özellikle bitki toplulukları da belirlenerek yalnızca tür/popülasyon düzeyinde değil alan bazında da izleme önerilmiştir. Nesli tehdit altında ya da korumada öncelikli türlerin neslinin devamlılığı için tür bazında izlemeden ziyade alan bazlı izleme ve koruma tedbirlerinin geliştirilmesi önem arz etmektedir. Bu sebeple bakıldığında 7 hedef türlerce zengin habitat ve 9 özellikli bitki toplumu alanı belirlenmiştir. Buna ek olarak Kırıkkale İli'nin genelini içeren 1 bölgesel izleme önerilmiştir. Alan bazlı yapılan izleme çalışmalarında 5 yıllık yapılan karşılaştırmalarla habitatın gidişatı hakkında bilgi edinilebilir ve gerekli önlemler hızlı ve etkin bir şekilde alınabilir.

Teşekkür

Araştırmanın gerçekleşmesindeki katkılarından dolayı başta Tarım ve Orman Bakanlığı, Doğa Koruma ve Milli Parklar Genel Müdürlüğü, 9. Bölge Müdürlüğü'ne ve Kırıkkale Şube Müdürlüğü'ne ve Ekoplan Mühendislik Danışmanlık A.Ş.'ne teşekkür ederiz.

Yazarların Katkısı

Çalışmada tüm katkı sorumlu yazara aittir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Çalışmaya ait herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar

- [1] Davis P.H., Harper P.C., Hege I.C. (eds.) 1971. Plant Life of South-West Asia. The Botanical Society of Edinburgh.
- [2] Judd W.S., Campbell C.S., Kellogg E.A., Stevens P.F., Donoghue M.J. 2007. Plant Systematics: A Phylogenetic Approach. 3rd edition. Sinauer Associates, Sunderland, Mass.
- [3] Baytop A. 2003. Türkiye'de Botanik Tarihi Araştırmaları. Tübitak Yayınları Akademik Dizi, ISBN: 975-403-340-4, Ankara.

- [4] Güner A., Özhatay N., Ekim T., Başer K.H.C. 2000. Flora of Turkey and the East Aegean Islands. Vol: 11, Edinburgh University Press, Edinburg, 656 pp.
- [5] Council of Europe, 1999. Appendices to the Convention on the Conservation of European Wildlife and Natural Habitats. Secretariat Memorandum prepared by the Directorate of Environment and Local Authorities. Strasbourg, 26 pp.
- [6] Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora (CITES), 1979. Appendice-I (valid from 5 February 2015), Bonn.
- [7] Karagöz A., Zencirci N., Tan A., Taşkın T., Köksel H., Sürek M., Toker C., Özbek K. 2010. Bitki Genetik Kaynaklarının Korunması ve Kullanımı. Türkiye Ziraat Mühendisliği VII. Teknik Kongresi. Bildiriler (I), 11-15 Ocak, Ankara, 155-177.
- [8] Primack R.B. 2012. Koruma Biyolojisi. (Çev. Ed. Ali A. Dönmez, Emel O. Dönmez), Hacettepe Üniversitesi Yayınları, Ankara.
- [9] Avrupa Çevre Ajansı, 2022. <https://eunis.eea.europa.eu/habitats.jsp> (Erişim tarihi: 10.03.2020).
- [10] Dönmez A.A. 2002. Flora of Karagüney Mountain (Kırıkkale). Turkish Journal Of Botany. 26 (2002): 417-451.
- [11] Yıldız Ü., Ekim T. 2004. Böbrek Dağı'nın Florası (Keskin-Kırıkkale). Ot Sistematik Botanik Dergisi, 11 (1): 37-62.
- [12] Böke E. 2005. Delice (Kırıkkale), Ortakışla (Çorum) ve Salmanlı (Yozgat) Arasında Kalan Bölgenin Florası. Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırıkkale.
- [13] Nugay Ö.Z., Duran A., Doğan A. 2007. Kırıkkale Üniversitesi Kampüs Florası. Selçuk Üniversitesi Fen Ed. Fak. Fen Dergisi, 30 (2007): 79-92.
- [14] Bağcı Ö. 2009. Kızılırmak Kapulukaya (Kırıkkale) Baraj Gölü Çevresi Florası. Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırıkkale.
- [15] Bağcı Ö., Menemen Y., Elibol Z., 2011. Kızılırmak Kapulukaya (Kırıkkale) Baraj Gölü Çevresinin Florası. Ot Sistematik Botanik Dergisi, 18 (1): 89-116.
- [16] Örnek M., Vural M. 2014. Flora of Yediler Tepesi (Keskin/Turkey) and its environment. Biological Diversity and Conservation. 7/3 (2014): 5-19.
- [17] Vural M., Yaman M., Şahin B. 2007. Büyükhemit Deresi ve Civarının (Delice-Kırıkkale) Vegetasyonu. Ekoloji, 16 (64): 1-6.
- [18] T.C. Kırıkkale Valiliği, Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü, 2011. Kırıkkale İl Çevre Durum Raporu-2011, Kırıkkale, 44-87.
- [19] TÜBİVES (Türkiye Bitkileri Veri Servisi), 2020. <http://www.tubives.com/> (Erişim tarihi: 10.03.2020).
- [20] Güner A., Aslan S., Ekim T., Vural M., Babaç M.T. (edlr.). 2012. Türkiye Bitkileri Listesi (Damarlı Bitkiler). Nezahat Gökyiğit Botanik Bahçesi ve Flora Araştırmaları Derneği Yayını, İstanbul, 1-1290.
- [21] Govaerts R., Dransfield J., Zona S., Hodel D.R., Henderson A. 2014. World Checklist of Selected Plant Families. Facilitated by the Royal Botanic Gardens, Kew. Published on the Internet; <http://wcp.science.kew.org/> (Erişim tarihi: 10.03.2020).
- [22] IPNI, 2014. International Plant Name Index. <https://www.ipni.org/> (Erişim tarihi: 10.03.2020).
- [23] The Plant List, 2014. <http://www.theplantlist.org/> (Erişim tarihi: 10.03.2020).
- [24] Özhatay N., Kültür Ş., Aksoy N. 1999. Check-list of additional taxa to the Supplement Flora of Turkey II. Turkish Journal of Botany, 23:151-169.
- [25] Özhatay N., Byfield A., Atay S. 2003: Türkiye'nin Önemli Bitki Alanları. WWF Türkiye (Doğal Hayatı Koruma Vakfı), İstanbul.
- [26] Özhatay N., Kültür Ş., Gürdal M.B. 2011. Check-list of additional taxa to the supplement Flora of Turkey V. Turkish Journal of Botany, 35: 589-624.
- [27] Özhatay N., Kültür Ş. 2006. Check-list of additional taxa to the Supplement Flora of Turkey III. Turkish Journal of Botany, 30: 281-316.
- [28] Eken G., Bozdoğan M., İsfendiyaroğlu S., Kılıç D.T., Lise, Y. (eds.). 2006. Türkiye'nin Önemli Doğa Alanları. 2 Cilt, Doğa Derneği, Ankara.
- [29] Pils G. 2006. Flowers of Turkey, A Photo Guide. Friedrich VDV, Austria, 1-408.
- [30] Ekim T., Koyuncu M., Vural M., Duman H., Aytaz Z., Adıgüzel N. 2000. Türkiye Bitkileri Kırmızı Listesi, (Red Data Book of Turkish Plants (Pteridophyta and Angiospermae)). Türkiye Tabiatını Koruma Derneği ve Van 100. Yıl Üniversitesi Yayını, Ankara, 1-246.

- [31] International Union for Conservation of Nature-IUCN, 2001. Red List Categories and Criteria, Gland-Switzerland. IUCN, 2020. www.iucnredlist.org. IUCN Red List 2020.1, Gland-Switzerland (Erişim tarihi: 10.03.2020).
- [32] Davis P.H. 1965-1985. Flora of Turkey and the East Aegean Islands. Vol. 1-9, University Press, Edinburgh.
- [33] Davis P.H., Mill R.R., Tan K. 1988. Flora of Turkey and the East Aegean Islands. Vol. 10, University Press, Edinburgh.
- [34] Fırat M. 2016. Four new species of *Gundelia* L. (Asteraceae) from Anatolia: *G. komagenensis*, *G. colemerikensis*, *G. cilicica* and *G. anatolica*. Vamedia Ofset Press, Van, 1-32.

Araştırma Makalesi / Research Article

Molecular Typing with BOX-PCR of *Staphylococcus aureus* Isolated from Milk Samples

Elif GÜLBAHÇE MUTLU^{1*}, Emine ARSLAN²

¹KTO Karatay University, Faculty of Medicine, Department of Medical Biology, Konya, Turkey

²Selçuk University, Faculty of Science, Department of Biology, Konya, Turkey
(ORCID: 0000-0003-2391-2152) (ORCID: 0000-0002-0782-506X)

Abstract

The aim of this study is to characterize 98 *Staphylococcus aureus* isolated from bovine subclinical mastitis in Konya region with BOX primer. A total of 28 band profiles ranging from ~ 950-300 bp were generated by the BOX primer. This band profile was evaluated according to Nei homology and a dendrogram (UPGMA) was obtained. According to the data obtained, 95 isolates with genetic similarity varying between 50-100% were in the same group. This study demonstrates that the BOX-PCR technique provides a fast and reliable tool to investigate epidemiology in *S. aureus*.

Keywords: Molecular typing, bovine mastitis, repetitive DNA sequences, *Staphylococcus aureus*.

Süt Örneklerinden İzole Edilen *Staphylococcus aureus*'un BOX-PCR ile Moleküler Tiplendirilmesi

Öz

Bu çalışmanın amacı Konya bölgesindeki sığır subklinik mastitinden izole edilen 98 *Staphylococcus aureus*'u BOX primeri ile karakterize etmektir. BOX primeri tarafından ~ 950-300 bp arasında değişen toplam 28 bant profili oluştu. Bu bant profili Nei homolojisine göre değerlendirildi ve bir dendrogram (UPGMA) elde edildi. Elde edilen verilere göre % 50-100 arasında değişen oranlarda genetik benzerlik gösteren 95 izolat aynı grupta yer aldı. Bu çalışma, BOX-PCR tekniğinin *S. aureus*'ta epidemiyolojiyi araştırmak için hızlı ve güvenilir bir araç sağladığını göstermektedir.

Anahtar kelimeler: Moleküler tiplendirme, sığır mastitis, tekrar eden DNA dizileri, *Staphylococcus aureus*.

1. Introduction

Bovine mastitis caused by *Staphylococcus aureus* is an infectious disease that causing significant economic losses in the dairy industry [1, 2]. Therefore, *S. aureus* plays an important role in the fight against mastitis. Mastitis is treated and prevented by the use of antibiotics to cure diseases in dairy cattle herds [3-6]. However, the random use of antibiotics threatens public health due to drug multiresistance and risk of residual sprains in milk [7]. Furthermore, the source of this infection must be correctly identified for good treatment and protection against this infection [6]. DNA-based molecular typing methods have become more important because they are more efficient and have high sensitivity in uncovering the source of infection that concerns public health [8]. BOX-PCR methods have been found to be reliable in the identification of *Staphylococcus* strains [2, 9-11]. In these methods, which are based on the replication of repeating sequences placed at intergenic positions in the genome with specific primers, DNA fingerprints are extracted using 154 bp length BOX element [12, 13]. These genomic fingerprints from bacterial isolates distinguish species, subspecies and strain levels and are also

*Corresponding author: elifgulbahcemutlu@gmail.com

Received: 02.11.2020, Accepted: 18.02.2021

successfully applied in medical, agricultural, industrial and environmental studies to determine microbial diversity [2, 6, 13].

In the study, advanced typing was aimed in 98 *S. aureus* isolates isolated from mastitis cows in Konya region by BOX-PCR methods.

2. Materials and Methods

2.1. Bacterial strains

98 *S. aureus* strains were isolated from milk samples with mastitis in Konya Region. These strains were recognized as *S. aureus* by a standard procedure [14]. After, these strains confirmed with the VITEK 2 system (bioMerieux).

2.2. Bacteria Cultivation and DNA Extraction

All strains were planted in brain heart infusion (BHI) broth and cultivation for 18 h at 37 °C. Later, bacterial DNA was isolated as described Ausubel et al. [15] with some modifications.

2.3. PCR methods for Genotyping

Isolated DNA was amplified using the repetitive element sequence. The nucleotide sequence of primer used in this study is as follow; BOXA1R 5'- TACGGCAAGGCGACCCTGACG-3' [16].

Each 25µL of PCR mix contained 2.5mM dNTP mix, 10X PCR reaction buffer (50mM KCl, 10mM Tris-HCl, pH=9, %0.1 TritonX-100), 3 mM MgCl₂, 75 pmol of primer, 2.5 U of Taq polymerase (Fermentas), and 50ng of template DNA. PCR reactions was performed in a Mastercycler Gradient thermal cycler (Eppendorf, Hamburg, Almanya). Amplifications of mixtures were carried out following cycling conditions: an initial denaturation at 95 °C for 7 min was followed by 30 cycles of denaturation at 94 °C for 1 min, annealing at 53°C for 1 min, an extension at 72 °C for 1 min, and ending with a final extension at 65 °C for 16 min.

Amplified products were separated by electrophoresis in 2% agarose gel, stained with ethidium bromide (0.5 µg/mL), and visualized by UV-transilluminator. Gel image was recorded with DNA imaging system (Vilber Lourmat, Lamirault, Fransa).

2.4. Data Analysis

The genotypes of *S. aureus* isolates were assessed using Bio1D++ computer program. Band profiles were recored visibly as (1) or (0). Genetic similarity between strains was evaluated according to Nei homology. And then Cluster analysis was carried out with the UPGMA.

3. Results and Discussion

With BOXA1R primer, 98 *S. aureus* isolate totally generated 28 DNA fragments in lengths between ~950-300 bp. Although monomorphic bands are not observed in all isolates, the common bands in most isolates are the band patterns in sizes 900 bp, 800 bp, 500 bp, 475 bp, 410 bp, 350 bp and ~300 bp. Although monomorphic bands are not observed in all isolates, the common bands in most isolates are the band patterns in sizes 900 bp, 800 bp, 500 bp, 475 bp, 410 bp, 350 bp and ~300 bp (Figure 1).

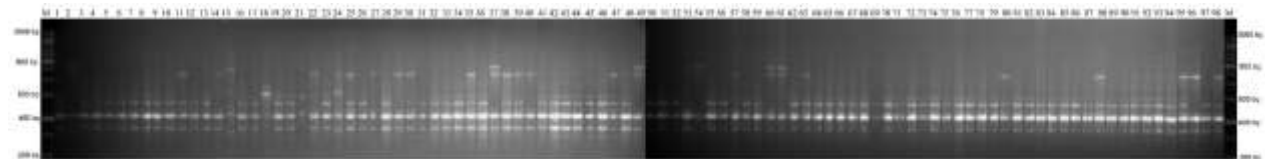


Figure 1. Agarose gel electrophoresis of BOX-PCR products (Line M; marker)

A dendrogram was obtained evaluating the presence or absence of total of 28 bands between ~950-300 bp in Figure 4. According to the dendrogram, while 95 isolates showing genetic similarity by rates ranging between 50-100% are located in the first group, three isolates (15,18,21) forming the second group were separated by 77% from the first group. In addition, the presence of many isolates which were 100% similar in the first group was noteworthy.

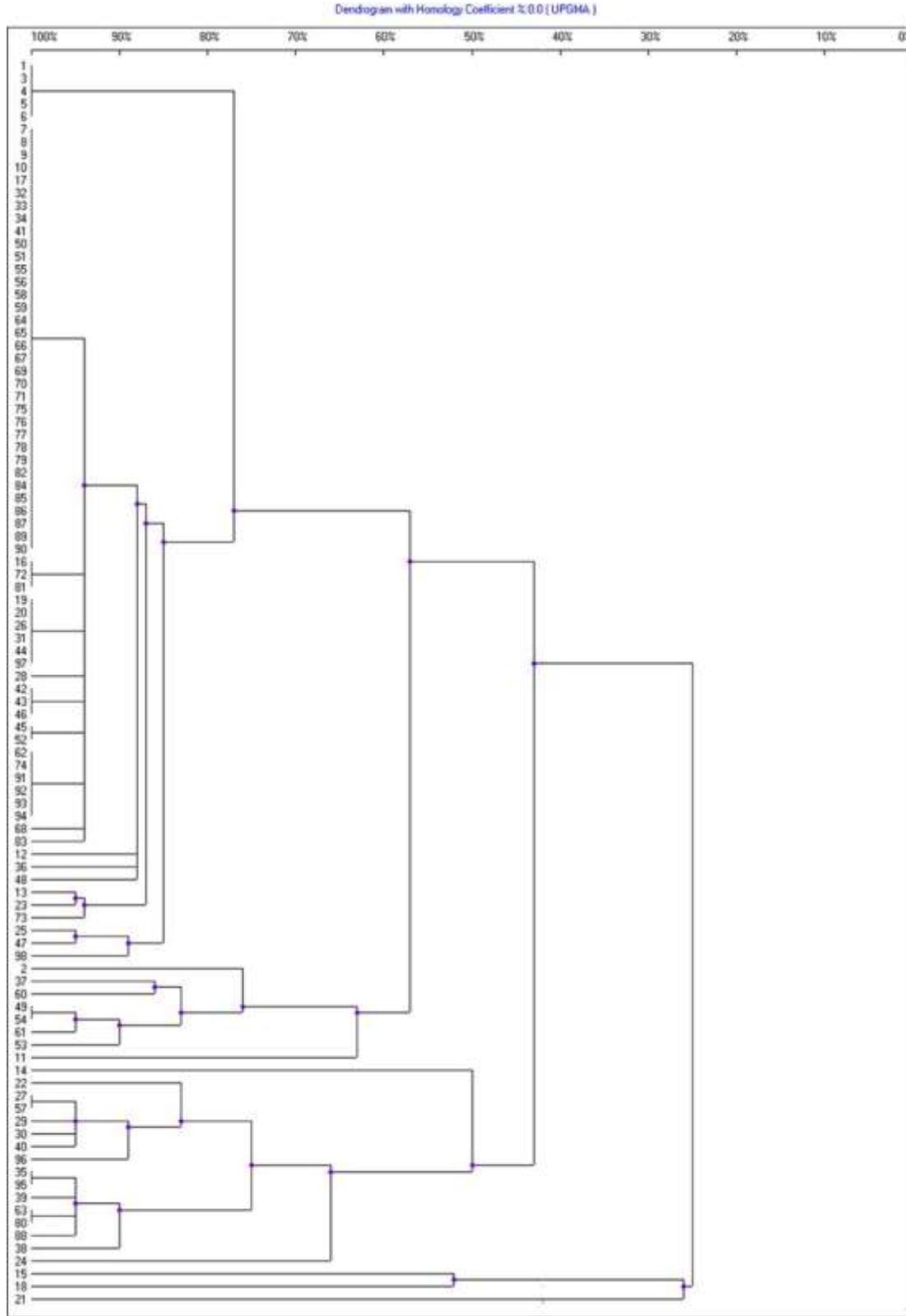


Figure 2. Dendrogram of genetic relationships of *S. aureus* strains by BOX-PCR

In recent years, molecular genotyping methods have become the gold standard for the definition of mastitis because they provide specific, rapid, qualitative, quantitative, economic and large-scale diagnosis [17]. Some of these may be exemplified by methods such as Restriction Fragment Length Polymorphism (RFLP) [18], PFGE [19, 20], AFLP [20], plasmid profiles [21-23], RAPD-PCR [24], REP-PCR [25] and ERIC-PCR [26].

REP-PCR typing was determined to be better at distinguishing compared to PCR methods based on repetitive elements such as amplifications of Tn916-16S rRNA gene spacer region [27] and inter 16S-23S rRNA gene spacer region [28]. It was showed that REP-PCR is a rapid screening procedure in classification of a large number of bacteria isolates and provides high distinction [29]. The repeatability of REP-PCR, which is extremely important when used for epidemiological purposes is discovered to be excellent contrary to repeatability of PCR (AP-PCR; Arbitrary Primers-Polymerase Chain Reaction) done using randomly selected PCR primers [30]. In addition, when compared with PFGE it was advocated that REP-PCR is as good as PFGE besides having easy and fast performance as an important advantage [8, 31].

REP- and ERIC- primers have been strongly used in identification of gram (-) [12, 32, 33] and gram (+) [26, 34-36] bacteria strains.

This study is the first study aimed to determine the genetic relationship between *S. aureus* obtained from the milk with mastitis by BOX primers. Although amplification of *S. aureus* strains by REP-PCR could not be performed by REP1R-I and REP2-I primers by some researchers [11], Wood et al [37], successful amplification of gram (+) bacteria such as *S. aureus* could be performed by primers REP1R-I and REP2-I. However very good products have been obtained which allow the identification of *S. aureus* strains as a result of amplification with another REP primer (RW3A) [2, 9, 30, 38, 39, 40]. In contrast to this study, BOX elements were screened in 10 *S. aureus* isolates, but no amplification was obtained [10]. Another study report confirms that BOXA1 primer was not hybridized in *S. aureus* genome.

Most isolates exhibit 100% similarity profiles, but few of them were determined to show similarity under 60% in all two methods in this study. While Alam et al [41] reported that only 2 *Streptococci* strains showed similarity more than 90%, most strains showed less than 90% (down to 40%) similarity; *Staphylococcus epidermidis* strains were extremely similar according to the findings REP, ERIC and BOX [11].

Wieser and Busse [11] obtained fragments of *S. epidermidis* strains > 1100-350 bp in BOX-PCR. BOX-PCR was not encountered in *S. aureus* strains and BOX-PCR (BOXA1) was applied to the *Streptococcus pneumoniae* [10] and *Burkholderia pseudomallei* strains [42] obtaining fragments between 300-1500 bp. In contrast to the previous study, up to 950 bp fragments were obtained in this study. The dendrogram obtained as a result of the combination was indicated by its similarity to the dendrogram as a result of the BOX-PCR. BOX-PCR (36 different profiles) showed that many strains had the same band profiles showing highly similar band patterns. We can explain so much similarity by the probability that the pathogen could be contaminated during milking in the herd and so the origin of most of the isolates are the same. Wieser and Busse [11] advocated that complementary sequences of REP primers are only in some *Staphylococcus* species and so the combination of REP- and BOX-PCR are not sufficient in the distinction of *Staphylococcus* species, but these methods provide an identification among *S. epidermidis* strains by forming specific bands to the strain.

4. Conclusion

It is possible to generate a fingerprint database with these fast and good molecular methods such as BOX PCR. Thus, it can be useful in finding the source of the disease outbreak, routine identification of the microorganism, and vaccine production studies. Thus, the duration of treatment against mastitis may be shortened by rapid prognosticate.

Acknowledgments

This research was supported by TUBITAK (108T290). Thanks to Prof. Dr. Uçkun Sait UÇAN for assistance in collecting milk and identifying bacteria. In addition, this study was presented as an oral presentation at the 24th National Biochemistry Congress and published as abstract in the congress book.

Authors' Contributions

E.G.M. and E.A. conceived the original idea and build. E.A. supervised the project. The experiments were performed by E.G.M. and E.A. All authors contributed to the writing of the manuscript. Some of the bacteria samples that Dr. Emine ARSLAN isolated in her doctoral thesis were used in this study.

Statement of Conflicts of Interest

There is no conflict of interest between the authors.

Statement of Research and Publication Ethics

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

References

- [1] Han H.R., Pak S.II., Kang S.W., Jong W.S., Youn C.J. 2000. Capsular polysaccharide typing of domestic mastitis causing *Staphylococcus aureus* strains and its potential exploration of bovine mastitis vaccine development, I. Capsular polysaccharide typing, isolation and purification of the strains. *Journal of Veterinary Science*, 1: 53-60.
- [2] Reinoso E., Bettera S., Odierno L., Bogni C. 2007. Rep-PCR of *Staphylococcus aureus* strains isolated from bovine mastitis in Argentina. *Brazilian Journal of Veterinary Research and Animal Science*, 44: 115-121.
- [3] Pellegrino M.S., Frola I.D., Odierno L.M., Bogni C.I. 2011. Mastitis bovina: resistencia a antibióticos de cepas de *Staphylococcus aureus* asiladas de leche. *Revista electrónica de Veterinaria*, 12: 1-14.
- [4] Silva E.R., Pereira A.M.G., Moraes W.S., Santoro K.R., Silva T.R.M. 2012. Perfil de sensibilidade antimicrobiana in vitro de *Staphylococcus aureus* isolado de mastite subclínica bovina. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*, 13: 701-711.
- [5] Teixeira J.P., Silva N., Fonseca L.M., Costa G.M. 2014. Uso de PCR Duplex para detecção dos genes femA e mecA e determinação da concentração inibitória mínima (CIM) em *Staphylococcus aureus* isolados de leite cru. *Revista do Instituto Adolfo Lutz*, 73: 272-279.
- [6] Xavier A.R.E.O., Almeida A.C, Souza C.N, Silva L.M.V., Ruas A.X.A., Sanglard D.A., Júnior A.F.M, Oliveira A.M.E., Xavier M.A.S. 2017. Phenotypic and genotypic characterization of *Staphylococcus aureus* isolates in milk from flocks diagnosed with subclinical mastitis. *Genetics and molecular research*, 29: 16 (2).
- [7] Ganda E.K., Bisinotto R.S., Decter D.H., Bicalho R.C. 2016. Evaluation of an on-farm culture system (accumast) for fast identification of milk pathogens associated with clinical mastitis in dairy cows. *PLoS One*, 13, 11 (5): e0155314.
- [8] Tenover F.C., Arbeit R., Archer G., Biddle,J., Byrne S., Goering R., Hancock G., Herbert G.A., Hill B., Hollis R., Jarvis W.R., Kreiswirth B., Eisner W., Maslow J., Mcdougal L.K., Miller J.M., Mulligan M., Pfaller M.A. 1994. Comparison of traditional and molecular methods of typing isolates of *Staphylococcus aureus*. *Journal of Clinical Microbiology*, 32: 407-415.
- [9] Del Vecchio V.G., Petroziello J.M., Gress M.J., Mcclesky F.K., Melcher G.P., Crouch H.K., Lupski J.R. 1995. Molecular genotyping of methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* via fluorophore enhanced repetitive sequence VCR. *Journal of Clinical Microbiology*, 33: 2141-2144.
- [10] van Belkum A., Sluijter M., de Groot R., Verbrugh H., Hermans P.W. 1996. Novel BOX repeats PCR assay for high-resolution typing of *Streptococcus pneumoniae* strains. *Journal of Clinical Microbiology*, 34: 1176-1179.
- [11] Wieser M., Busse H.J. 2000. Rapid identification of *Staphylococcus epidermidis*. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 50: 1087-1093.
- [12] Versalovic J., Koeuth T., Lupski J.R. 1991. Distribution of repetitive DNA sequences in eubacteria and application to fingerprinting of bacterial genomes. *Nucleic Acids Research*, 19: 6823-6831.

- [13] Versalovic J., Schneider M., de Bruijn F.J., Lupski J.R. 1994. Genomic fingerprinting of bacteria using repetitive sequence-based PCR (rep-PCR). *Methods in Molecular Biology*, 5: 25-40.
- [14] Holt J.G., Krieg N.R., Sneath P.H.A., Staley J.T. Willams S.T. 1994. *Bergey's manual of Determinative Bacteriology* (Ninth edition), Baltimore: Williams & Wilkins.
- [15] Ausubel F.M., Kingston R.E., Brent R., Moore D.D. Seidman J.G., Smith J.A., Struhl K. 1991. *Current protocols in molecular biology*. New York: Greene Publishing Associates & Wiley Interscience.
- [16] Louws F.J., Fulbright D.W., Stephens C.T., De Bruijn F.J. 1994. Specific genomic fingerprints of phytopathogenic *Xanthomonas* and *Pseudomonas pathovars* and strains, generated with repetitive sequences and PCR. *Applied and Environmental Microbiology*, 60: 2286-2295.
- [17] El-Sayed A., Awad W., Abdou N.E., Castañeda Vázquez H. 2017. Molecular biological tools applied for identification of mastitis causing pathogens. *International Journal of Veterinary Science*, 5 (2): 89-97.
- [18] Owen R.J. 1989. Chromosomal DNA fingerprinting-a new method of species and strain identification applicable to microbial pathogens. *Journal of Medical Microbiology*, 30: 89-99.
- [19] Murray B.E., Singh K.V., Heath J.D., Sharma B.R., Weinstock G.M. 1990. Comparison of genomic DNAs of different enterococcal isolates using restriction endonucleases with infrequent recognition sites. *Journal of Clinical Microbiology*, 28: 2059-2063.
- [20] Szaluś-Jordanow O., Chrobak D., Pyrgiel M., Lutyńska A., Kaba J., Czopowicz M., Witkowski L., Kizerwetter-Świda M., Binek M., Frymus T. 2013. PFGE and AFLP genotyping of *Staphylococcus aureus* subsp. *anaerobius* isolated from goats with Morel's disease. *Archives of Microbiology*, 195 (1): 37-41.
- [21] Litwin C.M., Storm A.L., Chipowsky S., Ryan K.J. 1991. Molecular epidemiology of *Shigella* infections: plasmid profiles, serotype correlation, and restriction endonuclease analysis. *Journal of Clinical Microbiology*, 29: 104-108.
- [22] Uçan U.S., Açık L., Çelebi A., Erganiş O., Arslan E. 2005. Plasmids and Protein Patterns of *Escherichia coli* Isolated from Bovine Mastitis in Konya, Turkey. *Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences*, 29: 475-480.
- [23] Arslan E., Çelebi A., Açık L., Uçan U.S. 2009. Characterization of Coagulase Positive *Staphylococcus* Species Isolated from Bovine Mastitis by Protein and Plasmid Patterns. *Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences*, 33 (6): 493-500.
- [24] Arslan E., Leyla A., Uçan U.S. 2005. Determination by RAPD-PCR of Relationship Degrees of *S. aureus* and *S. intermedius* Strains Isolated from Bovine Mastitis. *S. Ü. Veteriner Bilimleri Dergisi*, 21 (1-2): 65-69.
- [25] Arslan E., Ertuğrul K., Albayrak A. 2009. *Staphylococcus aureus* ve *Staphylococcus intermedius* Suşlarının REP-PZR Metodu ile Tiplendirilmesi. *Selçuk Üniversitesi Fen Fakültesi Fen Dergisi*, 2 (34): 85-92.
- [26] Arslan E., Gülbahçe Mutlu E. 2016. Genotyping of *Staphylococcus aureus* Strains Isolated from Bovine Mastitis in Turkey by using ERIC-PCR Method. *Pakistan Journal of Zoology*, 48 (6): 1747-1752.
- [27] Cuny C., Witte W. 1996. Typing of *Staphylococcus aureus* by PCR for DNA sequences flanked by transposon Tn916 target region and ribosomal binding site. *Journal of Clinical Microbiology*, 34: 1502-1505.
- [28] Gürtler V., Barrie H.D. 1995. Typing of *Staphylococcus aureus* strains by PCR-amplification of variable-length 16S-23S rDNA spacer regions: characterization of spacer sequences. *Microbiology*, 141: 1255-1265.
- [29] Deplano A., Schuermans A., Van Eldere J., Witte W., Meugnier H., Etienne J., Grundmann H., Jonas D., Noordhoek G.T., Dijkstra J., van Belkum A., van Leeuwen W., Tassios P.T., Legakis N.J., van der Zee A., Bergmans A., Blanc D.S. Tenover F.C., Cookson B.C., O'Neil G., Struelens M.J. 2000. Multicenter evaluation of epidemiological typing of methicillin resistant *Staphylococcus aureus* strains by repetitive element PCR analysis. The European Study Group on Epidemiological Markers of the ESCMID. *Journal of Clinical Microbiology*, 38: 3527-3533.
- [30] van Belkum A., Kluytamins J., van Leeuwen W., Bax R., Quint W., Peters E., Fluit A., Vandenbroucke-Grauls C., van den Brule A., Koelman H. 1995. Multicenter evaluation of

- arbitrarily primed PCR for typing of *Staphylococcus aureus* strains. *Journal of Clinical Microbiology*, 33: 1537-1547.
- [31] Ross T.L., Merz W.G., Farkosh M., Carroll C. 2005. Comparison of an automated repetitive sequence-based PCR microbial typing system to pulsed-field gel electrophoresis for analysis of outbreaks of methicillin-resistant *Staphylococcus aureus*. *Journal of Clinical Microbiology*, 43: 5642-5647.
- [32] Kerouanton A., Brisabois A., Grout J., Picard B. 1996. Molecular epidemiological tools for *Salmonella dublin* typing *FEMS Immunology and Medical Microbiology*, 14: 25-29.
- [33] Appuhamy S., Parton R., Coote J.G., Gibbs H.A. 1997. Genomic fingerprinting of *Haemophilus somnus* by a combination of PCR methods. *Journal of Clinical Microbiology*, 35: 288-291.
- [34] Rajashekara G., Koeuth T., Nevile S., Back A., Nagaraja K.V., Lupski J.R., Kapur V. 1998. SERE, a widely dispersed bacterial repetitive DNA element. *Journal of Medical Microbiology*, 47: 489-498.
- [35] Lessing M.P., Jordens J.Z., Bowler I.C. 1995. Molecular epidemiology of a multiple strain outbreak of methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* amongst patients and staff. *Journal of Hospital Infection*, 31: 253-260.
- [36] van Belkum A., Bax R., Peerbooms P., Goessens W.H.F., Van Leeuwen N., Quint W.G.V. 1992. Comparison of phage typing and DNA fingerprinting by polymerase chain reaction for discrimination of methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* strains. *Journal of Clinical Microbiology*, 31: 798-803.
- [37] Woods C.R., Versalovic J., Koeuth T., Lupski J.R. 1993. Whole-cell repetitive element sequence-based polymerase chain reaction allows rapid assessment of clonal relationship of bacterial isolates. *Journal of Clinical Microbiology*, 31: 1927-1931.
- [38] van der Zee A., Verbakel H., van Zon J.C., Frenay I., van Belkum A., Peeters M., Butting A., Bergmans A. 1999. Molecular genotyping of *Staphylococcus aureus* strains: comparison of repetitive element sequence-based PCR with various typing methods and isolation of a novel epidemicity marker. *Journal of Clinical Microbiology*, 37: 342-349.
- [39] Shutt C.K., Pounder J., Page S.R., Schaecher B.J., 2005. Clinical evaluation of the DiversiLab microbial typing system using repetitive-sequence-based PCR for Characterization of *Staphylococcus aureus* strains. *Journal of Clinical Microbiology*, 43: 1187-1192.
- [40] Reinoso E.B., El-Sayed A., Lammler C., Bogni C. Zschock M. 2006. Genotyping of *Staphylococcus aureus* isolated from humans, bovine subclinical mastitis and food samples in Argentina. *Microbiological Research*, 163: 314-322.
- [41] Alam S., Brailsford S.R., Whiley R.A., Beighton D. 1999. PCR-Based methods for genotyping viridans group *streptococci*. *Journal of Clinical Microbiology*, 37: 2772-2776.
- [42] Currie B.J., Gal D., Mayo M., Ward L., Godoy D., Spratt B.G., Lipuma J.J. 2007. Using BOX-PCR to exclude a clonal outbreak of melioidosis. *BMC Infectious Diseases*, 7: 68.

Araştırma Makalesi / Research Article

Heavy Metal Tolerance Potential of *Aspergillus alliaceus* Isolated from a Green Turtle Nesting Site

Esra Deniz CANDAN*

Giresun University, Vocational School of Health Services, Department of Medical Services and Techniques,
28100, Giresun, Turkey
(ORCID: 0000-0003-2515-9643)

Abstract

Heavy metals are naturally present in the environment. As a result of human activities and some natural events, mixing of these metals in water, air and soil is one of the most serious global problems. The toxicity of these metals is also a serious global problem due to their accumulation in living things and non-biodegradable characteristics. Increasing heavy metal pollution in aquatic and terrestrial environments requires improvement strategies such as bioremediation to remove these metals from the environment for human and environmental health. In this study, fungal isolation was performed to examine fungi with heavy metal remediation potential using sand samples from Sugözü Beaches where are subjected to intense environmental effects due to human activities including industrial facilities and marine traffic. This beach is also an important nesting area for the green turtle. *Aspergillus alliaceus* isolated from this beach was identified using primers of internal transcribed spacer 1 and 4. To determine the tolerance of *A. alliaceus* to iron, zinc, cobalt and copper, the fungus was inoculated into media containing metal at different concentrations (200, 400, 600, 800, and 1000 ppm). Daily mycelium growths were recorded during a ten day incubation at 30°C. *A. alliaceus* was found to tolerate Fe and Zn at all concentrations. Besides, it tolerated Co and Cu up to 400 and 600 ppm, respectively. In this study, the tolerance of *A. alliaceus* to Fe, Zn, and Co was determined for the first time and it is recommended that it can be used efficiently in bioremediation studies.

Keywords: *Aspergillus alliaceus*, *Chelonia mydas*, Heavy metal, Metal tolerance.

Yeşil Kaplumbağa Yuvalama Alanından İzole Edilen *Aspergillus alliaceus*'un Ağır Metal Tolerans Potansiyeli

Öz

Ağır metaller çevrede doğal olarak bulunmaktadır. Bu metallerin insan faaliyetleri ve bazı doğal olaylar sonucunda suya, havaya ve toprağa karışması en ciddi küresel sorunlardan biridir. Bu metallerin toksisitesi, canlılarda birikimi ve biyolojik olarak parçalanamama özellikleri nedeniyle de ciddi bir sorun teşkil etmektedir. Sucul ve karasal ortamlarda giderek artan ağır metal kirliliği; insan ve çevre sağlığı açısından bu metallerin ortamdaki uzaklaştırılması için biyoremediasyon gibi iyileştirme stratejilerini gerekli kılmaktadır. Bu çalışmada; ağır metal iyileştirme potansiyeline sahip fungusların araştırılması amacıyla endüstriyel tesisler, deniz trafiği gibi insan faaliyetleri nedeniyle yoğun çevresel etkilere maruz kalan Sugözü Kumsalları'ndan alınan toprak örneklerinden fungus izolasyonu gerçekleştirilmiştir. Bu kumsal aynı zamanda yeşil kaplumbağa için önemli bir yuvalama alanıdır. Bu alandan izole edilen *Aspergillus alliaceus*, internal transcribed spacer 1 ve 4 primerleri kullanılarak tanımlanmıştır. *A. alliaceus*'un demir, çinko, kobalt ve bakıra olan toleransının belirlenmesi için; fungus farklı konsantrasyonlarda (200, 400, 600, 800 ve 1000 ppm) metal içeren besiyerlerine inoküle edilmiştir. 30°C'de gerçekleştirilen on günlük inkübasyon süresince günlük olarak misel radyal büyümeleri kaydedilmiştir. Sonuç olarak; *A. alliaceus*'un Fe ve Zn'yi tüm test konsantrasyonlarında tolere ettiği saptanmıştır. Bunun yanında; kobaltı 600 ppm'e bakırı ise; 400 ppm konsantrasyona kadar tolere ettiği belirlenmiştir. Bu çalışmada; *A. alliaceus*'un demir, çinko ve kobalt metallerine olan toleransı ilk defa belirlenmiş olup; biyoremediasyon çalışmalarında verimli bir şekilde kullanılabilirliği önerilmektedir.

Anahtar kelimeler: Ağır metal, *Aspergillus alliaceus*, *Chelonia mydas*, Metal toleransı.

*Corresponding author: esradenizcandan@gmail.com

Received: 23.11.2020, Accepted: 13.02.2021

1. Introduction

Heavy metals are naturally occurring elements with high atomic weight and density at least five times higher than water [1]. These heavy metals are necessary for plants, animals, and humans to continue their vital activities, but can become toxic in the presence of slightly higher concentrations than recommended level. Industrial, domestic and agricultural wastes, insecticides, pesticides, mining, medical and technological applications, weather conditions, and erosion are important resources that facilitate their entry into the environment [2, 3].

Although some heavy metals (e.g., iron) are biologically important to plants and animals, other heavy metals such as lead and chromium without any importance to living organisms can be toxic to organisms when exposed in large amounts or present for a long period [4, 5]. These toxic effects are associated with various complications in both plants and animals. They can cause a variety of diseases such as mental disorders in children as well as dementia, depression, visual and emotional disorders, cancer, Alzheimer's, Parkinson's, and bone mineralization in adults [6].

Increasing heavy metal pollution in aquatic and terrestrial environments has required improvement strategies such as bioremediation to eradicate these heavy metals from the environment to protect the health of humans and the environment [7, 8]. Traditional methods used for the removal are high-priced and they cause the occurrence of certain secondary waste streams. On the other hand, the use of biological agents for heavy metal removal is both easy and environmental-friendly [8]. Regarding the use of fungi, the level of tolerance of fungi to these metals can be quite effective [9, 10]. Metal tolerance or resistance can be defined as the ability of an organism to endure metal toxicity through one or more mechanisms to the metal/metals involved [11]. Therefore, fungi that can tolerate high metal levels (e.g., *Aspergillus*, *Penicillium*, *Pleurotus*, and *Trichoderma*) have been used as biological tools in bioremediation studies [7, 8, 12-16].

Sugözü Beaches are located, in the north of Iskenderun Bay. This region hosts strategic pipelines (Kirkuk-Yumurtalık and Baku-Tbilisi-Ceyhan) and many organized industrial zones carrying the world's richest oil and gas reserves [17]. This region also contains large quantities of untreated industrial and household wastewater and has one of the most polluted coastal water in Turkey [18]. The fact that the bay is a semi-closed is one of the main reasons that pollutants settle in this area for a long time and the amount of these pollutants increases. One of the major threats to this region is metal pollution. Studies conducted in the region reported that high levels of various toxic metals are released into the marine ecosystem [18-22].

Sugözü Beaches are an important nesting area for *Chelonia mydas* (the green turtle) [23]. Globally, there is an increasing interest in this endangered (EN) species on the International Union for Conservation of Nature (IUCN) Red List [24]. Pelagic species such as the green turtle can be affected by heavy metal pollution in the surrounding area and accumulate higher levels of heavy metals compared to species nearby the coast [25, 26]. In addition to monitoring the pollution levels of marine organisms in the study area, it is important to identify potential biological agents for heavy metal remediation studies in the region. Therefore, this study aims to (I) isolate fungi from sand samples collected from Sugözü Beaches where industrial organizations, marine traffic, and human activities are concentrated; and (II) detect the tolerance of the isolated fungal strain to various heavy metals (i.e., Fe, Co, Cu, and Zn).

2. Materials and Methods

2.1. Sample collection

Sand samples were collected in 2018 from the nesting area of the green turtle on Sugözü Beaches in Adana, Turkey (36°48.677°N, 35°51.068°E, and 36°52.795°N, 35°56.017°E). The beaches consist of four subsections: Akkum, Sugözü, Botaş, and Hollanda. The total length of the beaches is 3.4 km. These subsections and surrounding areas are under the pressure of intense human activities, maritime traffic, industry, and agriculture. The area has been recognized as one of the most important nesting sites of the green turtle in the Mediterranean basin [23].

Sand samples were collected and mixed from three different points for each subsection along the nesting site mentioned in previous studies [27]. Sand samples were collected from the top layer of

the sand profile (0-30 cm) after the removal of the surface. Sand samples were collected in pre-cleaned, sterilized polyethylene bottles (2L), and plastic zipper bags. The samples were transported to a laboratory in ice bags (4°C).

2.2. Isolation and identification of fungal strains

Serial dilution and standard spreading techniques were applied to isolate fungi from the sand samples. Samples with different concentrations were added to the Sabouraud Dextrose Agar (SDA) (HiMedia, Mumbai) medium. After the cultivation, cultures were incubated at 30°C for one week. Pure cultures obtained by serial passaging were kept at 4°C and used as stock cultures.

Genomic DNA samples were extracted using the EurX Gene MATRIX Plant & Fungi DNA isolation kit (Poland) and DNA fragments containing internal transcribed spacers ITS 1 and ITS 4 (ITS1-5'TCCGTAGGTGAACCTGCGG3' and ITS4 5'TCCTCCGCTTATTGATATGC3') were amplified using Kyratec Thermal Cycler (Australia) [28]. Amplification reactions were performed in 35 µL of reaction that contained 4 µL of template DNA, 1.5 mM MgCl₂, 0.2 mM dNTP, 2 U FIREPol® DNA Polymerase (Solis BioDyne, Estonia), 1× PCR Buffer Solis BioDyne, and 0.3 µM of each primer. The following amplification program was applied: an initial denaturation step at 95°C for 5 minutes, followed by 40 cycles of denaturation at 95°C for 45 s, annealing at 57°C for 45 s, and extension at 72°C for 60 s. Amplification was terminated after a final extension of 72°C for 5 minutes.

Sequencing of samples was performed using ABI 3730XL automatic sequencer (Applied Biosystems, USA) by MacroGen, Inc. (Seoul, Korea). The sequences were assembled and edited using the Contig Assembly Program (CAP) option in the BioEdit software version 7.0.9.1. The sequences were compared to the GenBank database through the National Centre for Biotechnology Information (NCBI) nucleotide databases using BLAST.

2.3. Heavy metal tolerance assay

Different concentrations of metal solutions (i.e., 200, 400, 600, 800, and 1000 ppm) (FeCl₂, CoCl₂, CuCl₂.2H₂O, and ZnCl₂) were separately added to SDA medium to examine heavy metal tolerance. The medium was sterilized in an autoclave at 121°C for 15 minutes. After the sterilization, the medium was removed from the autoclave, allowed to cool to 50°C, and then poured into Petri dishes and allowed to solidify.

Mycelium growths of the fungal strain were subjected to a range of Cu, Co, Fe, and Zn concentrations (0–1000 ppm) incorporated to SDA in triplicates. Fungal radial growths were recorded every day over a 10-day-incubation period. Seven-day old pure fungal cultures were individually inoculated into an 8 mm well aseptically punched in the center of the control and test SDA plates. All plates were incubated at 30°C for 10 days when the mycelial radial growths were monitored and recorded daily.

3. Results and Discussion

The use of microorganisms in the remediation of heavy metal contaminated soils is an environmental-friendly approach [8, 15]. Moreover, the adsorption capacity of some fungal biomass in the removal of metal ions ensures the use of these fungi as biosorbents [8]. The level of heavy metal tolerance can be very effective in assessing the use of fungi as biosorbents [9, 10]. Therefore, in this study, the fungus sample was isolated from green turtle nesting beaches where industrial facilities, marine traffic, and human activities are intense; and the heavy metal tolerance of this fungus was assessed.

3.1. Identification of the fungal strain

Identification of the fungus isolated from sand samples in the nesting area was achieved based on the ITS 1 and ITS 4 regions. ITS region sequences homologous to other isolates have been identified using the GenBank database. The fungal strain identified in the study was closely related to the *Aspergillus alliaceus* MH279440.1 strain in the Eurotiomycetes class (ITS identity, 100%). Previous studies also reported that *Aspergillus* species are isolated in heavy metal contaminated areas [11, 16, 29]. The

presence of this type of fungi in polluted environments is based on their ability to survive in extreme conditions and metabolize various substrates as food source [14, 30, 31].

3.1.Radial growth of the fungal strain at various heavy metal concentrations

Mycelium growth in *A. alliaceus* strain in SDA medium containing different concentrations (0-1000 ppm) of Cu, Co, Fe, and Zn is presented in Figure 1. *A. alliaceus* tolerated Fe and Zn at all concentrations (0-1000 ppm). In addition, it can tolerate Co and Cu up to 600 and 400 ppm, respectively (Figure 1).

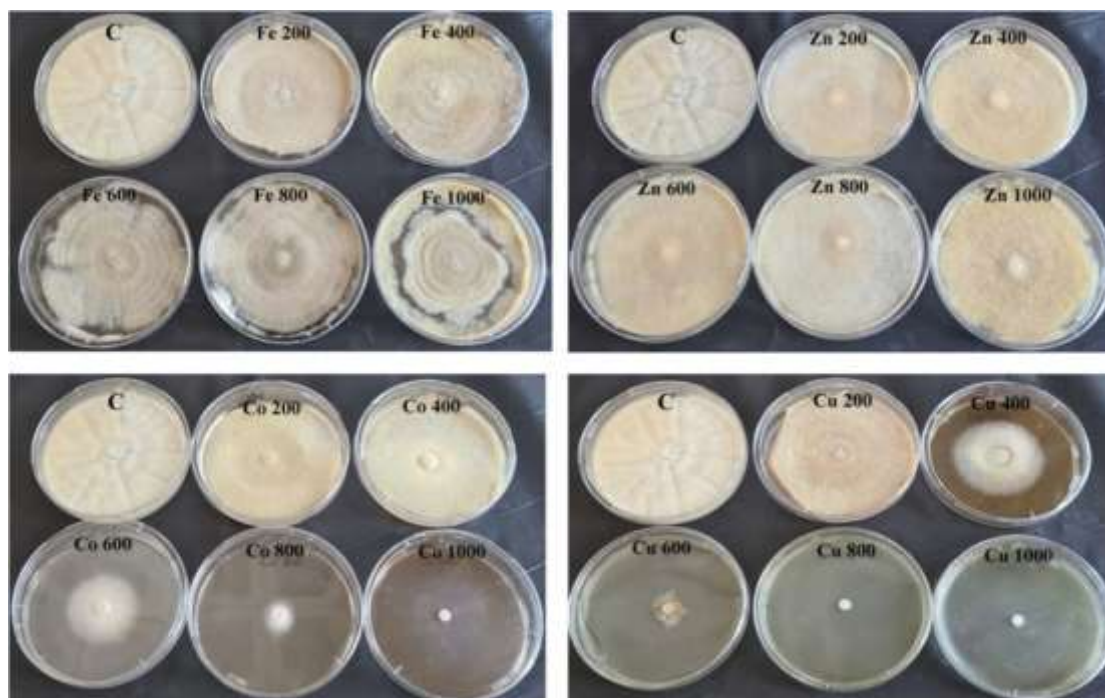


Figure 1. Growth of *A.alliaceus* at various concentrations (0-1000 ppm) of Fe, Zn, Co, and Cu for 10 days (C: Control).

Daily mycelium growth of *A. alliaceus* during the incubation period of Fe, Zn, Co, and Cu at different concentrations is presented in Figure 2. Although *A. alliaceus* expressed a high tolerance for Fe and Zn, it expressed a weaker tolerance for Co and Cu compared to other heavy metals.

Living organisms need to acquire heavy metals such as Fe, Co, and Cu in low quantities to survive. However, uptake of these metals in high concentrations can be harmful. Zinc is known as one of the heavy metals that pollute the environment and adversely affect public health [32, 33]. In this study, the high tolerance level of *A. alliaceus* to Fe and Zn is one of the most important indicators of the presence of Fe and Zn in the environment where the fungus was isolated. Moreover, Fe and Zn values were high in biota, seawater, and sediment samples in Iskenderun Bay, and strong positive relationships were also detected between these values [21]. These metals are highly accumulated in the muscles and liver of fish [21]. Also, many studies observed various toxic effects of these metals on aquatic and terrestrial ecosystems [34, 35].

In this study, *A. alliaceus* was found to have a certain tolerance to Cu and Co (Figure 1). In an analysis of Fe, Cu, Ni, Cr, and Zn in fish tissues (muscle, skin, and gonad) collected from different stations [18], heavy metal levels were higher at the station (Yumurtalık) close to Sugözü Beaches compared to other stations. Annual mean heavy metal accumulation levels in the stone samples taken from Iskenderun Bay were determined as Al> Fe> Zn>Pb> Cu> Cd>Mn> Ni> Co> Cr [22]. Based on these values, it is apparent that both terrestrial and aquatic ecosystems in the region have been exposed to heavy metals. In another study in the region conducted to evaluate negative consequences of excessive pollution caused by industrial and commercial activities, high concentrations of Hg, Cd, Zn, and Pb were detected in the surface sediment in water; Al, Cr, Fe, Li, Ni, Mn, Mg, Pb, and Zn were reported in the soil and therefore, heavy metal diversity in the region has been indicated [17].

Microbial bioremediation is a method in which microorganisms are used to decompose environmental pollutants and convert them into harmless forms by redox processes. The tolerance level of fungi to these pollutants is quite important to use fungi as biosorbents in this method [9, 10]. Particularly, fungi isolated from contaminated areas express higher tolerance than other fungi [7, 14, 36, 37].

Based on the heavy metal tolerance of *A. alliaceus* isolated and identified in this study, *A. alliaceus* could be suggested as a potential biological tool to improve the environmental quality. The tolerance of *A. alliaceus* isolated from Fe-Cu sulfur mines was 200 ppm, and there was no growth at 400 ppm [7]. In this study, the tolerance level for copper metal was found to be higher. Besides, the tolerance level of *A. alliaceus* to heavy metals (except for Cu) has been reported for the first time by this study.

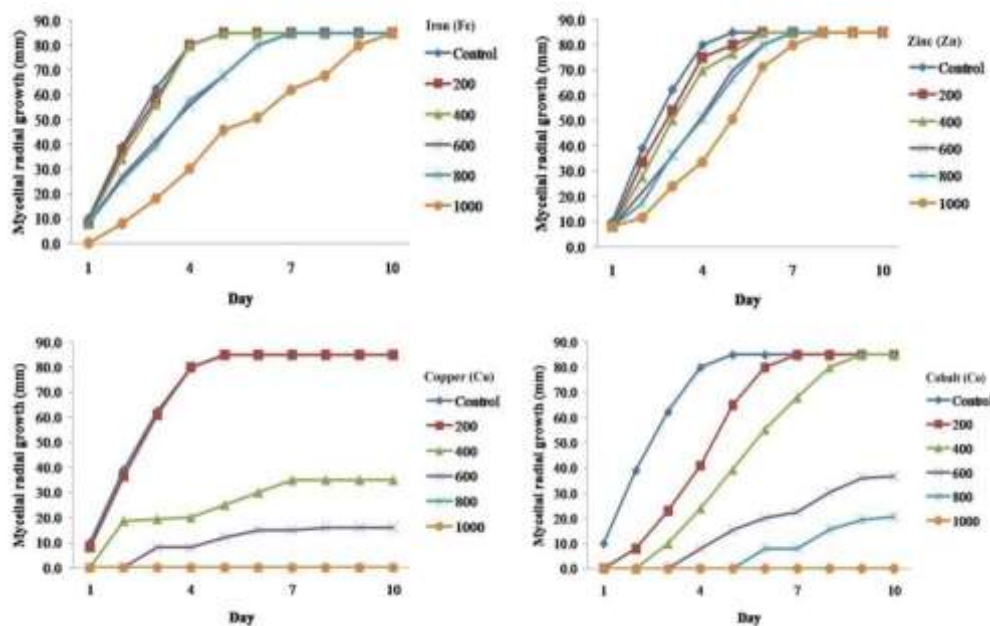


Figure 2. Radial growth of the mycelium (mm) in *A. alliaceus* at various concentrations of Fe, Zn, Co, and Cu for 10 days.

4. Conclusion

Metal pollutants in terrestrial and aquatic ecosystems dissolve either in the soil or water and subsequently accumulate on the seafloor. These metals can be taken by terrestrial or aquatic organisms while accumulation continues. Gradual and irreversible accumulation of these metals in various organs of marine organisms and their toxicity cause metal-related diseases in the long term, threatening both other organisms and aquatic ecosystems. The study area is exposed to intense environmental impacts due to agricultural activities, industrial facilities, local settlements, river discharges, transportation, and directly affected by marine pollution. Fungus-based bioremediation is a cheaper and more environmentally friendly method than existing traditional methods to remove heavy metal wastes from the field. Therefore, the high resistance of *A. alliaceus* to Fe, Zn, Co, and Cu has been determined in this study. Additionally, the tolerance of *A. alliaceus* to Fe, Zn, Co was determined for the first time with this study, and it was suggested to be used efficiently in bioremediation studies. This study can also make a significant contribution to the development of bioremediation studies to remove heavy metals that threaten both Sugözü Beaches and the green turtle using the area as a nesting beach.

Acknowledgements

In this study; "identification of fungal strain" was funded by Giresun University Scientific Researches Project Coordination Department (FEN-BAP-A-150219-11). I thank Onur CANDAN, PhD., for

comments on the earlier version of this manuscript and Fatih FAZLIOĞLU, PhD. for linguistic advice and criticism.

Author's Contributions

All contributions belong to the author in this paper.

Statement of Conflicts of Interest

There is no conflict of interest among the authors.

Statement of Research and Publication Ethics

The author declares that this study complies with Research and Publication Ethics. None of the experiments involved here sacrifice animals and therefore, approval from an institutional animal research ethics committee is not required.

References

- [1] Järup L. 2003. Hazards of Heavy Metal Contamination. *British Medical Bulletin*, 68 (1): 167-182.
- [2] Morais S., Costa F.G., Pereira M.D.L. 2012. Heavy Metals and Human Health. *Environmental Health—Emerging Issues and Practice*, 10: 227-246.
- [3] Tchounwou P.B., Yedjou C.G., Patlolla A.K., Sutton D.J. 2012. Heavy Metal Toxicity and the Environment. In: *Molecular, Clinical and Environmental Toxicology*, Edited by Luch A., Vol: 5, *Experientia Supplementum*, Springer, Basel, 133-164.
- [4] Duruibe J.O., Ogwuegbu M.O.C., Egwurugwu J.N. 2007. Heavy Metal Pollution and Human Biotoxic Effects. *International Journal of Physical Sciences*, 2 (5): 112-118.
- [5] Rehman A.U., Nazir S., Irshad R., Tahir K., urRehman K., Islam R.U., Wahab Z. 2020. Toxicity of Heavy Metals in Plants and Animals and Their Uptake by Magnetic Iron Oxide Nanoparticles. *Journal of Molecular Liquids*, 114455.
- [6] Jan A.T., Azam M., Siddiqui K., Ali A., Choi I., Haq Q.M. 2015. Heavy Metals and Human Health: Mechanistic Insight into Toxicity and Counter Defense System of Antioxidants. *International Journal of Molecular Sciences*, 16 (12): 29592-29630.
- [7] Zotti M., Di Piazza S., Roccotiello E., Lucchetti G., Mariotti M.G., Marescotti P. 2014. Microfungi in Highly Copper-Contaminated Soils from an Abandoned Fe–Cu Sulphide Mine: Growth Responses, Tolerance and Bioaccumulation. *Chemosphere*, 117: 471-476.
- [8] Jacob J.M., Karthik C., Saratale R.G., Kumar S.S., Prabakar D., Kadirvelu K., Pugazhendhi A. 2018. Biological Approaches to Tackle Heavy Metal Pollution: A Survey of Literature. *Journal of Environmental Management*, 217: 56-70.
- [9] Carrillo-González R., González-Chávez M.D.C.A. 2012. Tolerance to and Accumulation of Cadmium by the Mycelium of the Fungi *Sclerotinia citrinum* and *Pisolithus tinctorius*. *Biological Trace Element Research*, 146 (3): 388-395.
- [10] Ceci A., Maggi O., Pinzari F., Persiani A.M. 2012. Growth Responses to and Accumulation of Vanadium in Agricultural Soil Fungi. *Applied Soil Ecology*, 58: 1-11.
- [11] Zafar S., Aqil F., Ahmad I. 2007. Metal Tolerance and Biosorption Potential of Filamentous Fungi Isolated from Metal Contaminated Agricultural Soil. *Bioresource Technology*, 98 (13): 2557-2561.
- [12] Valix M., Tang J.Y., Malik R. 2001. Heavy Metal Tolerance of Fungi. *Minerals Engineering*, 14 (5): 499-505.
- [13] Anahid S., Yaghmaei S., Ghobadinejad Z. 2011. Heavy Metal Tolerance of Fungi. *ScientiaIranica*, 18 (3): 502-508.
- [14] Iskandar N.L., Zainudin N.A.I.M., Tan S.G. 2011. Tolerance and Biosorption of Copper (Cu) and Lead (Pb) by Filamentous Fungi Isolated from a Freshwater Ecosystem. *Journal of Environmental Sciences*, 23 (5): 824-830.

- [15] Ojuederie O.B., Babalola O.O. 2017. Microbial and Plant-Assisted Bioremediation of Heavy Metal Polluted Environments: A Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 14 (12): 1504.
- [16] Rose P.K., Devi R. 2018. Heavy Metal Tolerance and Adaptability Assessment of Indigenous Filamentous Fungi Isolated from Industrial Wastewater and Sludge Samples. *Beni-Suef University Journal of Basic and Applied Sciences*, 7 (4): 688-694.
- [17] Doygun H., Alphan H. 2006. Monitoring Urbanization of Iskenderun, Turkey, and Its Negative Implications. *Environmental Monitoring and Assessment*, 114 (1-3): 145-155.
- [18] Yilmaz A.B. 2003. Levels of Heavy Metals (Fe, Cu, Ni, Cr, Pb, And Zn) in Tissue of *Mugil cephalus* and *Trachurus mediterraneus* from Iskenderun Bay, Turkey. *Environmental Research*, 92 (3): 277-281.
- [19] Cevik U., Koz B., Makarovska Y. 2010. Heavy Metal Analysis Around Iskenderun Bay in Turkey. *X-Ray Spectrometry: An International Journal*, 39 (3): 202-207.
- [20] Yılmaz A.B., Sangün M.K., Yağlıoğlu D., Turan C. 2010. Metals (Major, Essential to Non-Essential) Composition of The Different Tissues of Three Demersal Fish Species from Iskenderun Bay, Turkey. *Food Chemistry*, 123 (2): 410-415.
- [21] Çiftçi N., Ayas D., Bakan M. 2020. The Comparison of Heavy Metal Level in Surface Water, Sediment and Biota Sampled from the Polluted and Unpolluted Sites in the Northeastern Mediterranean Sea. *Thalassas: An International Journal of Marine Sciences*, 1-12.
- [22] Duysak Ö., Uğurlu E. 2020. Trace Metal Concentrations in the Seston of the Gulf of İskenderun (Turkey, North-Eastern Mediterranean). *Thalassas: An International Journal of Marine Sciences*, 36 (1): 125-132.
- [23] Canbolat A.F., Atatunç K., Candan O., Barcak D. 2005. A New Green Turtle (*Chelonia mydas*) Nesting Site in The Mediterranean: Sugözü Beaches, Adana (Turkey). *The Second Mediterranean Conference on Sea Turtles, Book of Abstracts*, 4-7 May, Antalya, 65.
- [24] Seminoff J.A. 2004. *Chelonia mydas*. *The IUCN Red List of Threatened Species 2004*: e. T4615A11037468.
- [25] Anan Y., Kunito T., Sakai H., Tanabe S. 2002. Subcellular Distribution of Trace Elements in The Liver of Sea Turtles. *Marine Pollution Bulletin*, 45 (1-12): 224-229.
- [26] Sinaei M., Bolouki M. 2017. Metals in Blood and Eggs of Green Sea Turtles (*Chelonia mydas*) from Nesting Colonies of the Northern Coast of the Sea of Oman. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 73 (4): 552-561.
- [27] Candan O., Candan E.D. 2020. Bacterial Diversity of the Green Turtle (*Chelonia mydas*) Nest Environment. *Science of The Total Environment*, 720: 137717.
- [28] White T.J., Bruns T., Lee S.J.W.T., Taylor J. 1990. Amplification and Direct Sequencing of Fungal Ribosomal RNA Genes for Phylogenetics. *PCR protocols: A guide to methods and Applications*, 18 (1): 315-322.
- [29] Oladipo O.G., Awotoye O.O., Olayinka A., Ezeokoli O.T., Maboeta M.S., Bezuidenhout C.C. 2016. Heavy Metal Tolerance Potential of *Aspergillus* Strains Isolated from Mining Sites. *Bioremediation Journal*, 20 (4): 287-297.
- [30] Gavrilescu M. 2004. Removal of Heavy Metals from the Environment by Biosorption. *Engineering in Life Sciences*, 4 (3): 219-232.
- [31] Mukherjee A., Das D., Mondal S.K., Biswas R., Das T.K., Boujedaini N., Khuda-Bukhsh A.R. 2010. Tolerance of Arsenate-Induced Stress in *Aspergillus niger*, A Possible Candidate for Bioremediation. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 73 (2): 172-182.
- [32] Tchounwou P.B., Newsome C., Williams J., Glass K. 2008. Copper-induced cytotoxicity and transcriptional activation of stress genes in human liver carcinoma (HepG2) cells. *Metal Ions in Biology and Medicine*, 10: 285-290.
- [33] Kushwaha A., Rani R., Kumar S., Gautam A. 2015. Heavy Metal Detoxification and Tolerance Mechanisms in Plants: Implications for Phytoremediation. *Environmental Reviews*, 24 (1): 39-51.
- [34] Vuori K.M. 1995. Direct and indirect effects of iron on river ecosystems. In *Annales Zoologici Fennici*, 32: 317-329.

- [35] McKinley K., McLellan I., Gagné F., Quinn B. 2019. The Toxicity of Potentially Toxic Elements (Cu, Fe, Mn, Zn and Ni) to the Cnidarian *Hydra attenuata* at Environmentally Relevant Concentrations. *Science of the Total Environment*, 665: 848-854.
- [36] Muñoz A.J., Ruiz E., Abriouel H., Gálvez A., Ezzouhri L., Lairini K., Espínola F. 2012. Heavy Metal Tolerance of Microorganisms Isolated from Wastewaters: Identification and Evaluation of Its Potential for Biosorption. *Chemical Engineering Journal*, 210: 325-332.
- [37] Iram S., Zaman A., Iqbal Z., Shabbir R. 2013. Heavy Metal Tolerance of Fungus Isolated from Soil Contaminated with Sewage and Industrial Wastewater. *Polish Journal of Environmental Studies*, 22: 3.

Araştırma Makalesi / Research Article

Numerical bifurcation analysis for a prey-predator type interactions with a time lag and habitat complexity

Aytül GÖKÇE*

*Ordu University, Faculty of Science and Arts, Department of Mathematics, Ordu, Turkey
(ORCID: 0000-0003-1421-3966)*

Abstract

In this paper, a two-component generic prey-predator system incorporated with habitat complexity in predator functional response, and with constant time delay in predator gestation is considered. Although the role of time delay on the system dynamics is widely studied in the literature, only a few researchers have addressed the effect of habitat complexity in the prey-predator type interactions. In the first part of the paper the equilibria and stability analysis of the mathematical model is mentioned. In the second part, particular attention is paid on the numerical bifurcation analysis of the prey and predator densities based on two system parameters:(i) the strength of homogeneous habitat complexity and (ii) predator attack rate with and without time delay. It is found that dynamics with time delay in predator gestation are found to be much richer compared to that without time delay. The system stability may change from stable to unstable through a Hopf bifurcation and the solution branches emanating from these Hopf points are usually stable and supercritical. However, delay driven system may lead unstable orbits arising from Hopf bifurcations. It is also found that increasing the strength of habitat complexity may lead the stability change from unstable to stable.

Keywords: Habitat complexity, delay differential equations, numerical bifurcation analysis.

Gecikme ve yaşam alanı karmaşıklığı eklenmiş av-avcı tipindeki etkileşimler için nümerik çatalanma analizi

Öz

Bu makalede avcı türü reaksiyonuna yaşam alanı karmaşıklığı ve olgunlaşma evresine sabit bir gecikme eklenerek elde edilen genel bir iki bileşenli av-avcı sistemi dikkate alınmıştır. Zaman gecikmesinin sistem dinamiklerine etkisi geniş bir şekilde literatürde çalışılmış olmasına rağmen, sadece birkaç araştırmacı av-avcı tipinde etkileşimlerde yaşam alanı karmaşıklığının etkilerini ele almıştır. Makalenin ilk bölümünde denge noktaları ve matematiksel modelin kararlılık analizinden bahsedilmiştir. İkinci kısımda av ve avcı türlerinin yoğunluklarının gecikmeli ve gecikmesiz durumlarda yapılan nümerik çatalanma analizine iki parametreye bağlı olarak dikkat çekilmiştir:(i) homojen yaşam alanı karmaşıklığının etkinlik parametresi ve (ii) avcı saldırı oranı parametresi. Gecikmesiz sistemde dinamiklerin kararlılığının Hopf çatalanması ile kararlı durumdan kararsız duruma değiştiği ve bu Hopf noktalarından yayılan dalların genelde kararlı ve süper kritik olduğu gözlemlenmiştir. Buna rağmen, gecikme kaynaklı sistem ise Hopf çatalanmadan çıkan kararsız yörüngelere sebep olabilir. Aynı zamanda yaşam alanı karmaşıklığının etkinliğini artırmanın sistem dinamiklerinin kararsız durumdan kararlı duruma geçmesine sebep olduğu bulunmuştur.

Anahtar kelimeler: Yaşam alanı karmaşıklığı, gecikmeli diferansiyel denklemler, nümerik çatalanma analizi.

1. Introduction

The term habitat usually refers to an environment where particular species of organisms survive. As a place, a habitat has principle components such as water, food, shelter and space, with which species can reproduce and survive [1-3]. The influence of habitat complexity is usually studied in ecological models and has taken a great role in the prey-predator dynamics. Predation is one of the key factors for

*Corresponding author: aytulgokce@odu.edu.tr

Received:13.12.2020, Accepted:18.02.2021

structuring a community and predator functional response, that can be introduced as the amount of prey catch by predator per unit time, is influenced by complexity of the habitat [1]. Habitat complexity has a great impact on the distribution of prey-predator interactions, thus it is also one of the useful mechanisms for the structure of a population [1-3]. Incorporating habitat complexity in the population, the particular objective is to reduce the encounter rates between prey and predator, i.e. decrease the predation rates in the system. Therefore, structural complexity of the habitat may have a substantial effect on the predator functional response [4,5]. Lower foraging behaviour or increase in the strength of habitat complexity may effectively stabilise the dynamics for predator-prey interactions by reducing the encounter rates between these species [1]. In fact, understanding population behaviour with a decreasing probability of prey capture due to lower foraging efficiency of predator is a significant direction for prey-predator interactions and has been mostly overlooked by the scientific community.

Time delay occurs in almost all biological situations and usually considered in the growth rates of prey and predator species. In fact, an organism does not instantly digest its food and some conversion processes, e.g. reproduction rate and gestation, from one state (prey biomass) to another state (predator biomass) occur in such systems [6]. Thus it is already documented that more realistic and complex dynamical behaviour may be obtained in the presence of constant time delay between interacting species [6-10]. Since time delay is already recognised to have an essential impact on the stability results of population dynamics, differential equations with time delay have attracted a great attention over several decades to develop many realistic mathematical models in ecology and biology [6, 11-13]. Some of the papers published recently has resulted in extremely rich repertoire of dynamical patterns, considering local and non-local time delays in the maturation and gestation period of prey and predator species [6, 14, 15]. In order to understand the realistic mechanism of prey-predator interactions, taking dynamical analysis with additional contribution of time delay into consideration is therefore required.

In this paper, a two-component non-linear model of prey-predator interactions with habitat complexity and time delay is analysed in terms of model dynamics and numerical bifurcation. The model is based on the paper [1], where the role of time delay is analysed through Hopf bifurcation analysis without delving into bifurcation analysis. For this purpose, the system behaviour can be investigated more succinctly and the role of habitat complexity and predator attack rate should be comprehensively studied in the absence and presence of predator gestation delay. Thus, the large spectrum of limit cycle dynamics and periodic oscillations can be obtained by considering these additional mechanisms for prey-predator interactions.

This paper is organised as follows. In the next section, the mathematical model considered in this paper is described. Section 3 is devoted to analyse numerical bifurcations of the densities of prey and predator species with respect to two main parameters of the model: the strength of habitat complexity and predator attack rate. These analyses are performed for varying degree of time delay in the gestation period and rich dynamical activity with Hopf bifurcations (HB), transcritical bifurcations (TCB) and period doubling bifurcations (PD) are observed. Lastly, in Section 4, the results of this paper are summarised and potential future directions are presented.

2. Mathematical Model Formulation

The general prey-predator type model analysed with habitat complexity and constant time delay in this paper is based on the system presented in [1]:

$$\frac{d z(t)}{d t} = r z(t) \left(1 - \frac{z(t)}{\kappa} \right) - \frac{\alpha (1 - c) z(t) v(t)}{1 + \alpha (1 - c) h z(t)} \quad (1)$$

$$\frac{d v(t)}{d t} = \frac{\theta \alpha (1 - c) z(t - \eta) v(t - \eta)}{1 + \alpha (1 - c) h z(t - \eta)} \quad (2)$$

$$z(\varphi) = \psi_1(\varphi), \quad v(\varphi) = \psi_2(\varphi), \quad \varphi \in (-\eta, 0],$$

where parameter r represents the prey population growth rate and κ stands for the environmental carrying capacity. The θ gives the conversion efficiency rate for which the number of new-born

predators is measured for each captured prey [3]. The delay rate η is the constant time that is needed for predator maturation. Holling type II functional response is used for the given prey-predator model, where α represents the predator attack rate and h stands for the handling time needed for prey [3]. In order to incorporate the habitat complexity, that decrease foraging or search activity of predator, the predator attack rate (α) is replaced with $\alpha (1 - c)$. Therefore, larger c leads to a decrease in the predator attack rate. Here $c \in (0,1)$ is a non-dimensional parameter to measure the strength of habitat complexity, see [1, 3, 16] for further details.

2.1. Equilibria:

The model given by equations (1) -(2) has three possible steady states:

- the trivial state exist for all parameters, i.e. $S_{00} = (0,0)$,
- the predator free steady state, i.e. $S_{+0} = (\kappa, 0)$,
- the coexisting state, i.e. $S_{++} = (z_+, v_+)$,

where

$$z_+ = \frac{d}{\alpha (\theta - h d)(1 - c)}$$

and

$$v_+ = \frac{1}{\kappa} \left(\frac{r (\kappa - z_+)}{(1 - c)\alpha} + r h (\kappa - z_+)z_+ \right).$$

For their biological meaning, z_+ and v_+ values should be positive, thus must satisfy the constrains $h d + d/\alpha\kappa < \theta < 1$ and $c < 1 - d/\alpha\kappa (\theta - h d)$. In the rest of the paper, the numerical bifurcation results of the two-component prey-predator type model with habitat complexity presented in equations (1) -(2) are shown. Since the main interest is to understand the role of habitat complexity on the dynamics, particular objective will be to explore the bifurcation diagrams of prey and predator components based on two parameters, i.e. c and α . Here c represents the strength of habitat complexity and α represents the predator's attack rate. One of the most obvious signs of delay driven differential equations is the existence of Hopf bifurcation, where a pair eigenvalues with purely imaginary part exists and all other remaining eigenvalues are found with a negative real part [6]. Crossing the Hopf point, instability is observed through a limit cycle. One should note that the model has two eigenvalues in the absence of delay, whereas delay driven model may lead to infinitely many eigenvalues. A particular focus will be on the stability of the system around the positive coexisting state, that is $S_{++} = (z_+, v_+)$. Parameters used here are based on the paper [1], and fixed to $r = 3.3$, $\kappa = 898$, $\alpha = 0.045$, $c = 0.8$, $h = 0.0437$, $d = 1.06$, $\theta = 0.215$.

In Figure 1, time simulations of prey and predator densities are shown for different delay parameters η . When there is no delay in the system ($\eta = 0$), stable dynamics with damping oscillations are observed and densities of prey and predator species are found to be stable, as in Figure 1(a). For a chosen parameter space, the critical threshold for delay is found to be $\eta \simeq 0.461$, where the system becomes unstable through a Hopf bifurcation. The model presents unstable dynamics when time delay is above this threshold, e.g. $\eta = 0.6$ as given in Figure 1(b). Higher amplitude periodic oscillations with a larger limit cycle can be seen with $\eta = 3.5$ in Figure 1(c). Interestingly, chaotic behaviour can be observed further away from Hopf bifurcation with a further increase in delay, as in Figure 1(d), where random oscillations can be obtained at the initial stages of the time dependent prey (z) and predator (v) densities.

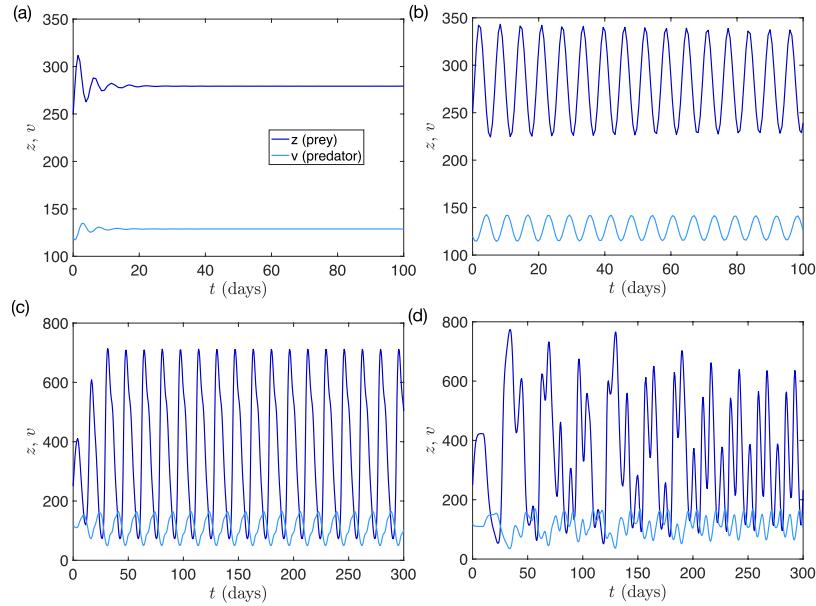


Figure 1. Time evolutions of two-component prey-predator model given by (1) -(2) based on different values of time delay $\eta = 0$ (a), $\eta = 0.6$ (b), $\eta = 3.5$ (c) and $\eta = 9.5$ (d) with initial conditions $(z_0, v_0) = (250, 120)$.

The system dynamics can be alternatively shown using corresponding phase trajectories in time, see Figure 2. Here the red star stands for the initial condition and green star represents the end point of the trajectories. When the system is stable, see Figure 2(a), trajectories approaches to a positive steady state, and that is unstable as trajectory gets away from this steady state, see Figure 2(b,c,d).

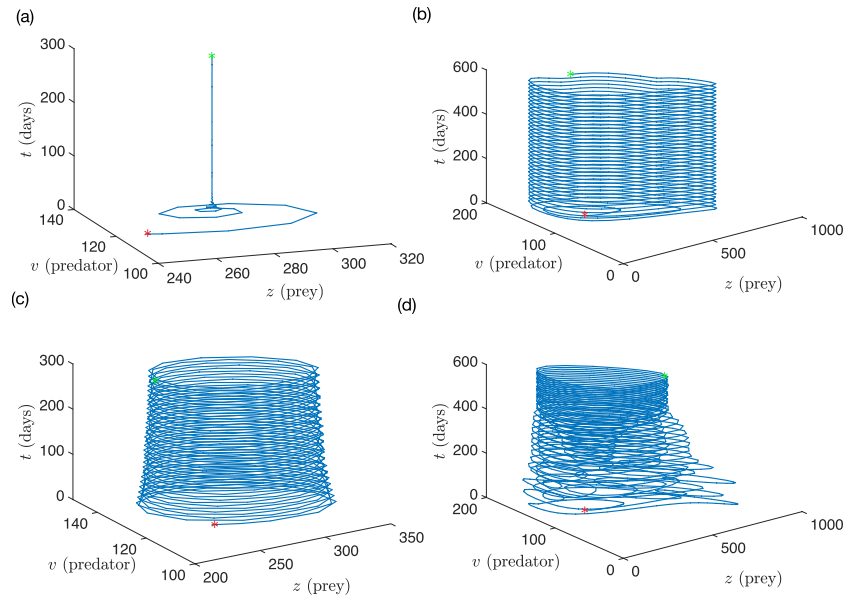


Figure 2. The phase portraits corresponding to time simulations presented in Figure 1 for $\eta = 0$ (a), $\eta = 0.6$ (b), $\eta = 3.5$ (c) and $\eta = 9.5$ (d).

In Figure 3, the densities of prey and predator species are plotted with respect to time for sufficiently long time. As seen, dynamics with chaotic behaviour that is observed for $t < 400$ eventually switches to periodic oscillations when $t > 400$. This confirms the results given in Figure 1(d), where random oscillations are initially obtained before the system settles down to a regular behaviour. Therefore, much higher time delay in the system may induce irregular population dynamics.

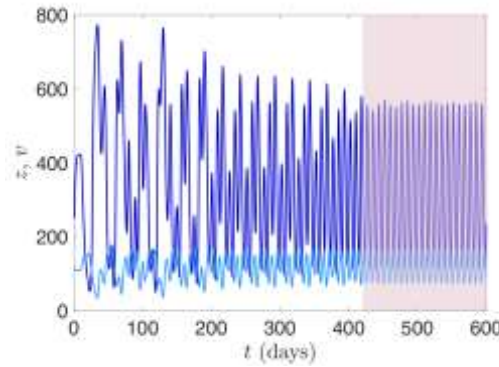


Figure 3. Time evolution of two component model presented in Figure 1(d) is simulated for $t \in [0,600]$ for $\eta = 9.5$.

Now the local stability of the system around the positive coexisting state will be discussed and the instability induced by constant time delay will be analysed. Here the periodic dynamical oscillations occur through Hopf bifurcation, for which a critical time delay crosses a critical threshold and only a pair of imaginary eigenvalues appear. In this context, the local stability of the model can be investigated by constructing the Jacobian matrix at the equilibria. For this purpose, linearization method is used for the main model. Following the linearization of the system, characteristic matrix for the non-delayed part of the model is given by

$$M = \begin{pmatrix} r \left(1 - \frac{2}{\kappa} z_+\right) - \frac{\alpha(1-c)v_+}{(1 + \alpha(1-c)h z_+)^2} & \frac{\alpha(1-c)z_+}{1 + \alpha(1-c)h z_+} \\ 0 & -d \end{pmatrix}, \quad (3)$$

and that for the delayed part of the model is

$$M^\eta = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ \frac{\theta\alpha(1-c)v_+}{(1 + \alpha(1-c)h z_+)^2} & \frac{\theta\alpha(1-c)z_+}{(1 + \alpha(1-c)h z_+)} \end{pmatrix}, \quad (4)$$

Therefore the model presented in equations (1) -(2) can be rewritten in a closed form of

$$\frac{d}{dt} \Xi(t) = M \Xi(t) + M^\eta \Xi(t - \eta), \quad (5)$$

where $\Xi = (z, v)$.

The corresponding characteristic equation is then given as

$$|M + M^\eta e^{-\zeta\eta} - \zeta I_2| = 0, \quad (6)$$

where $|\cdot|$ represents the determinant and ζ stands for the eigenvalue around the positive coexisting state.

In the absence of time delay, characteristic matrix for the trivial steady state becomes

$$M_{00} = \begin{pmatrix} r & 0 \\ 0 & -d \end{pmatrix}, \quad (7)$$

and corresponding eigenvalues are easily found as $\zeta_1 = -r$ and $\zeta_2 = d$. Thus trivial state $\mathbf{S}_{00} = (0,0)$ is always a saddle point.

Characteristic matrix for predator-free state $S_{+0} = (\kappa, 0)$ can be similarly given as

$$M_{+0} = \begin{pmatrix} r \left(1 - \frac{2z_+}{\kappa}\right) & -\frac{\alpha(1-c)z_+}{1 + \alpha(1-c)hz_+} \\ 0 & -d + \frac{\theta\alpha(1-c)z_+}{(1 + \alpha(1-c)hz_+)} \end{pmatrix}, \tag{8}$$

with corresponding eigenvalues

$$\zeta_1 = r \left(1 - \frac{2z_+}{\kappa}\right)$$

and

$$\zeta_2 = -d + \frac{\theta\alpha(1-c)z_+}{(1 + \alpha(1-c)hz_+)}$$

The stability of the predator-free system depends on the choice of parameters. Considering the eigenvalues at a form:

$$\zeta(\eta) = \xi(\eta) + i \omega(\eta) \tag{9}$$

where ξ and ω are real numbers and η is the delay rate. When $\eta = 0$ (no delay), the coexisting state $S_{++} = (z_+, v_+)$ is stable if $\xi(0) < 0$ and unstable if $\xi(0) > 0$. When $\eta > 0$ but chosen sufficiently small, $S_{++} = (z_+, v_+)$ becomes still stable. Here the stability change occur at a critical value of η for which

$$\xi(\eta) = 0 \quad \text{and} \quad \omega(\eta) \neq 0$$

thus $\zeta(\eta)$ in equation (9) becomes purely imaginary. When $i\omega(\eta)$ is a root of the equation (6), critical threshold for delay η_c can be found by replacing $\zeta = i\omega$ in the characteristic equation and solving it for η . For this purpose, the result of the characteristic equation given in equation (6) is found as

$$\zeta^2 - \text{Trace}(M)\zeta + \text{Det}(M) + K_1 e^{-\zeta\eta} - K_2 \zeta e^{-\zeta\eta} = 0, \tag{10}$$

where M is given in equation (3). Here K_1 and K_2 are described as

$$K_1 = M_{11}M^{\eta}_{22} - M^{\eta}_{21}M_{12},$$

$$K_2 = M^{\eta}_{22}.$$

Substituting $\zeta = i\omega$ in equation (10) the following pair of equations are obtained:

$$K_1 \cos \omega\eta - K_2 \omega \sin \omega\eta = \omega^2 - \text{Det}(M),$$

$$K_2 \omega \cos \omega\eta + K_1 \sin \omega\eta = -\omega \text{Trace}(M),$$

from which one obtains

$$(K_1^2 + (K_2\omega)^2) \cos \omega\eta = K_1(\omega^2 - \text{Det}(M)) - K_2\omega^2 \text{Trace}(M).$$

The solution of these equations leads to a fourth order polynomial of ω , that can be reduced to a second order by replacing $V = \omega^2$. As a result a critical threshold for the Hopf bifurcation can be found as

$$\eta = \frac{1}{\omega} \arccos \frac{K_1(\omega^2 - \text{Det}(M)) - K_2 \omega^2 \text{Trace}(M)}{K_1^2 + (K_2 \omega)^2} \tag{11}$$

As mentioned above, periodic oscillations occur when discrete time delay crosses this critical value. In the next section, we the analytical formulations above will be validated using numerical simulations for single parameter continuation.

3. Numerical Bifurcation Analysis

To validate the theoretical study given in the previous section, some numerical bifurcation analysis of the prey-predator system (1)-(2) is performed in this section. With the exception of the strength of habitat complexity (c) and the predator's attack rate (α), all parameters are fixed to their biologically meaningful values given in the previous section. Since habitat complexity plays an essential role of prey-predator interactions in ecology, this paper mainly concentrates on the model analysis based on the degree of habitat complexity. Figure 4 represents bifurcation diagrams of prey dynamics with respect to habitat complexity strength (c) with $\eta = 0$ and $\eta = 0.6$. The number of unstable eigenvalues (λ_s) is associated with solid, dashed and dotted lines. Two positive critical values, which can be stable or unstable depending on the parameter (c) for prey, are shown in the absence ($\eta = 0$) and presence ($\eta = 0.6$) time delay. In Figure 4(a), Hopf bifurcation (HB) is surrounded with a stable limit cycle around the coexisting state at a critical value of $c = 0.1227$. On the other hand, the predator-free steady state is unstable when $c < 0.8445$. Two steady states move to each other and transcritical bifurcation (TCB) occurs at $c = 0.8445$. Further away from this point, predator free state is stable with $\lambda_s = 0$ and coexisting state is unstable with $\lambda_s = 1$. The delayed prey-predator system with habitat complexity, see Figure 4(b), still has a transcritical bifurcation, implying that transcritical bifurcation is independent of time delay. An additional Hopf bifurcation is detected at $c = 1.229$ in the presence of delay. One may also analyse the branches emanating from Hopf bifurcations. In the non-delayed case, see Figure 4(a), the branches emanating from Hopf bifurcations around coexisting state is stable, whereas a branch of Hopf bifurcation with respectively stable and unstable dynamics can be observed around predator-free state for delayed case at $c = 0.5568$ and $c = 1.229$ in Figure 4(b). In these orbits, stable and unstable dynamics collide in a period doubling bifurcation (PD).

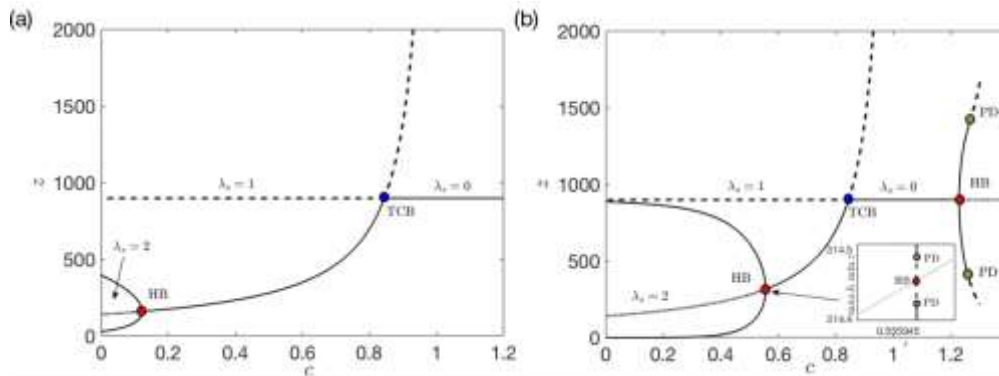


Figure 4. Numerical bifurcation plot of prey z with respect to parameter c without (a) and with (b) time delay for $\eta = 0.6$. The unstable eigenvalues are given by solid ($\lambda_s = 0$), dashed ($\lambda_s = 1$) and dotted ($\lambda_s = 2$) lines. Inset in (b) represent the orbit emanating from Hopf bifurcations.

In Figure 5, an analysis of the predator in the system (1)-(2) with and without the impact of time delay is determined using the stability of the equilibria under the variation of parameter c . The system shows various dynamics including Hopf bifurcation, transcritical bifurcation and periodic doubling bifurcation. For the non-delayed case, the stability of the predator species is visualised in Figure 5(a), where one transcritical ($c = 0.8445$) and one supercritical Hopf bifurcation ($c > 0.1227$) surrounded with a stable limit cycle are detected. Note that there is only trivial steady state that is stable when ($c > 0.8445$) Switching from non-delayed case to delayed case in Figure 5(b), numerical bifurcation analysis of the positive equilibrium is shown under the change of parameter c and one more Hopf bifurcation

appears, that is a similar behaviour to the prey dynamics, shown in Figure 4(b). One should note that the maximum value for λ_s is found to be 2. Furthermore, transcritical bifurcation is observed as the strength of habitat complexity (c) crosses a critical value, where predator population goes to extinction at $c=0.8445$.

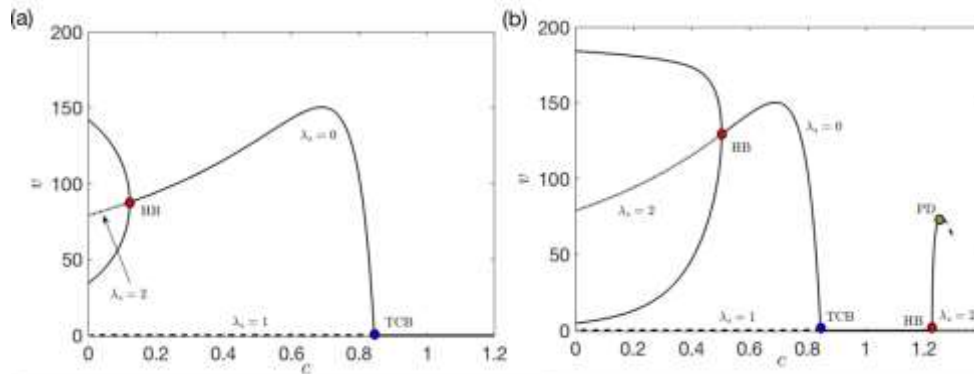


Figure 5. Bifurcation diagram of predator v as a function of the habitat complexity strength c in the absence (a) and presence (b) of time delay with $\eta = 1.4$. The unstable eigenvalues are given by solid ($\lambda_s = 0$), dashed ($\lambda_s = 1$) and dotted ($\lambda_s = 2$) lines.

A further numerical analysis of the prey and predator densities with respect to predator's attack rate (α) are presented in Figure 6 and Figure 7. As seen, no interesting dynamics can be observed for $\alpha < 0.014$ for both delayed and non-delayed cases. Predator-free state is always unstable for varying values of α ($\alpha > 0.014$) with $\lambda_s = 1$, whereas the coexisting state is stable for $\alpha < 0.07896$ and instability occurs through a Hopf bifurcation away from $\alpha = 0.07896$. Incorporating time delay as in Figure 6(b), an additional Hopf bifurcation is detected on a predator-free state, where the number of unstable eigenvalues change from 1 to 3. In addition, different from other cases, the solution branches emanating from this Hopf bifurcation at $\alpha = 0.159$ are unstable.

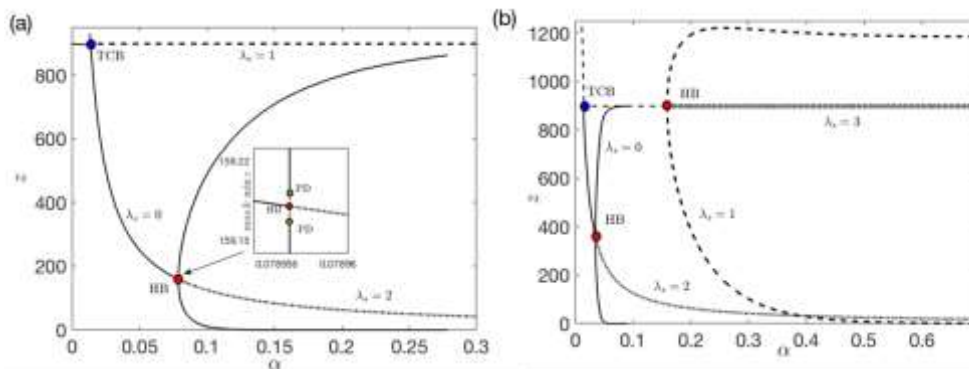


Figure 6. Numerical bifurcation of prey z as a function of predator's attack rate α without (a) and with time delay ($\eta = 1.4$) (b). Solid line ($\lambda_s = 0$), dashed line ($\lambda_s = 1$), dotted line ($\lambda_s = 2$) and the line with a square marker ($\lambda_s = 3$) correspond to the number of eigenvalues with positive real part (unstable) determined on the branches. In both (a) and (b), branches of periodic orbits of the Hopf points are shown. The inset in (a) represents the zoomed plot for branch emanating from Hopf bifurcation.

In Figure 7, the behaviour of the predator v under different attack rate α is shown. Compared to the predator dynamics with respect to the habitat complexity strength (c) presented in Figure 5, simpler dynamics can be observed considering a variation of α . One obvious result of Figure 6 and Figure 7 would be that the solution branches emanating from delay driven Hopf bifurcations show unstable dynamics, whereas delay induced Hopf bifurcations in Figure 4 and Figure 5 represent the combination of stable and unstable branches with a periodic doubling bifurcation. Namely, following the branches arising from Hopf points, the stability can be lost or gained via a periodic doubling bifurcation. Furthermore, the maximum number of unstable eigenvalues are increased for numerical bifurcation in terms of α . It is also worth mentioning that, for all cases, the richer bifurcation dynamics can be observed

increasing the values of time delay. In summary, the increase in the strength of habitat complexity (c) induce stability in general, whereas the increase in time delay in predator gestation lead instability in the population densities around the equilibria.

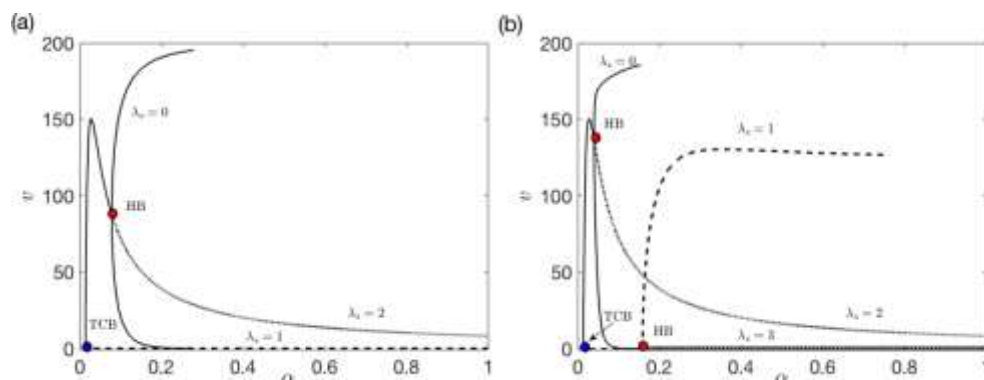


Figure 7. Numerical bifurcation of predator v density with respect to the predator's attack rate α without (a) and with time delay ($\eta = 1.4$) (b). Solid line ($\lambda_s = 0$), dashed line ($\lambda_s = 1$), dotted line ($\lambda_s = 2$) and the line with a square marker ($\lambda_s = 3$) correspond to the number of eigenvalues with positive real part (unstable) determined along the branches.

4. Conclusion

This paper demonstrates that incorporating habitat complexity and constant time delay in a generic pre-predator type model can have a substantial impact on the stability and numerical bifurcation of the dynamics. Here, time delay is already recognised somewhat more realistic by the scientific community [6, 13, 14]. Thus, adding delay term in the model provides an opportunity for analysing the properties of delay derived Hopf bifurcations, where stability usually changes from stable to unstable. In fact, increasing the delay rate, much richer dynamics may be observed and further analysis of the branches arising from Hopf bifurcations may lead very complex behaviour. In particular, it is possible to observe multiple Hopf points in the presence of predator gestation delay, where solution orbits arising from additional Hopf bifurcation, which appears with time delay, can display other type of bifurcations including period doubling bifurcation. Here, time simulations and phase trajectories of the model presented in equations (1) -(2) are simulated using MATLAB 2017 and parameter continuation and numerical bifurcation with and without delay are studied using DDE-BIFTOOL software [16, 17]. Numerical simulations for delay differential equations require the history function for time, and that is chosen as a constant vector $(z_0, v_0) = (250, 120)$. The analysis of the prey and predator dynamics is performed in a single parameter for (i) habitat complexity and (ii) predator attack rate. DDE-BIFTOOL is a collection of MATLAB routines that provides the numerical continuation based on specific parameters and allows the computation for local stability of the steady states.

A further investigation of the model presented here would be to use of brownian motion to explore the stochastic effects in the system with habitat complexity and time delay [2, 18]. Another extension of this work would be to make a qualitative study for the effect of delay not only in time but also in space, implying that a nonlocal delay in the maturation of predator response [20]. These topics are deferred to future work.

Author's Contributions

The author developed the theoretical formulations and performed the numerical simulations using MATLAB and DDE-BIFTOOL software. The author has also written the original manuscript and made substantial contributions to conception. Finally, the author gave final approval of the current version and any revised version to be submitted to the journal.

Statement of Conflicts of Interest

No potential conflict of interest was reported by the author.

Statement of Research and Publication Ethics

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

References

- [1] Bairagi N., Jana D. 2011. On the stability and Hopf bifurcation of a delay-induced predator-prey system with habitat complexity. *Applied Mathematical Modeling*, 35 (7): 3255-3267.
- [2] Dubey B.K., Maiti A.P. 2019. Global stability and Hopf-bifurcation of prey-predator system with two discrete delays including habitat complexity and prey refuge. *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*, 67: 528-554.
- [3] Bairagi N., Jana D. 2012. Age-structured predator-prey model with habitat complexity: oscillations and control. *Dynamical Systems*, 27 (4): 475-499.
- [4] Ghorai S., Poria S. 2016. Turing patterns induced by cross-diffusion in a predator-prey system in presence of habitat complexity. *Chaos, Solitons & Fractals*, 91: 421-429.
- [5] Din Q. 2017. Complexity and chaos control in a discrete-time prey-predator model. *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*, 49: 113-134.
- [6] Gökçe A., Yazar S., Sekerci Y. 2020. Delay induced nonlinear dynamics of oxygen-plankton interactions. *Chaos, Solitons & Fractals*, 141: 110327.
- [7] Chakraborty K., Chakraborty M., Kar T.K. 2011. Bifurcation and control of a bioeconomic model of a prey-predator system with a time delay. *Nonlinear Analysis Hybrid Systems*, 5 (4): 613-625.
- [8] Liao T., Yu H., Zhao M. 2017. Dynamics of a delayed phytoplankton-zooplankton system with Crowley-Martin functional response. *Advances in Difference Equations*, 2017 (1): 1-30.
- [9] Tang Y., Zhou L. 2007. Stability switch and Hopf bifurcation for a diffusive prey-predator system with delay. *Journal of Mathematical Analysis and Applications*, 334 (2): 1290-1307.
- [10] Yu H., Zhao M., Agarwal R.P. 2014. Stability and dynamics analysis of time delayed eutrophication ecological model based upon the Zeya reservoir. *Mathematics and Computers in Simulations*, 97: 53-67.
- [11] Chattopadhyay J., Sarkar R.R., El Abdllaoui A. 2002. A delay differential equation model on harmful algal blooms in the presence of toxic substances. *Mathematical Medicine and Biology: A Journal of IMA*, 19 (2): 137-161.
- [12] Jiang Z., Wang L. 2017. Global Hopf bifurcation for a predator-prey system with three delays. *International Journal of Bifurcation and Chaos*, 27 (7): 1750108.
- [13] Misra A.K., Chandra P., Raghavendra V. 2011. Modeling the depletion of dissolved oxygen in a lake due to algal bloom: Effect of time delay. *Advances in Water Resources*, 34 (10): 1232-1238.
- [14] Rehim M., Imran M. 2012. Dynamical analysis of a delay model of phytoplankton--zooplankton interaction. *Applied Mathematical Modeling*, 36 (2): 638-647.
- [15] Sharma A., Sharma A.K., Agnihotri K. 2015. Analysis of a toxin producing phytoplankton-zooplankton interaction with Holling IV type scheme and time delay. *Nonlinear Dynamics*, 81 (1-2): 13-25.
- [16] Jana D., Bairagi N. 2014. Habitat complexity, dispersal and metapopulations: Macroscopic study of a predator--prey system. *Ecological Complexity*, 17: 131-139.
- [17] Engelborghs K., Luzyanina T., Roose D. 2002. Numerical bifurcation analysis of delay differential equations using DDE-BIFTOOL. *ACM Transactions on Mathematical Software*, 28 (1): 1-21.
- [18] Engelborghs K., Luzyanina T., Samaey G. 2000. DDE-BIFTOOL: a Matlab package for bifurcation analysis of delay differential equations. *TW Report*, 305: 1-36.
- [19] Ji C., Jiang D., Li X. 2011. Qualitative analysis of a stochastic ratio-dependent predator-prey system. *Journal of Computational and Applied Mathematics*, 235 (5): 1326-1341.
- [20] Han B.S., Wang Z.C. 2018. Turing patterns of a Lotka-Volterra competitive system with nonlocal delay. *International Journal of Bifurcation and Chaos*, 28 (7): 1830021.

Araştırma Makalesi / Research Article

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

Asiye ARKAÇ TOYRAN¹, Gamze ÇAKMAK^{2*}

¹Bitlis Devlet Hastanesi, Bitlis, Türkiye

²Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Anatomi Bölümü, Van, Türkiye
(ORCID: 0000-0002-1827-7169) (ORCID: 0000-0002-3970-3040)

Öz

Bu çalışmanın amacı ratlarda medulla spinalis'in torakal bölümünün substantia alba ve substantia grisea ile tüm dokunun hacim değerlerini stereolojik yöntem ile hesaplamaktır. Çalışmamızda materyal olarak 1 ve 5 aylık olmak üzere iki farklı yaş grubundan altışar adet erkek Wistar Albino ırkı ratlar kullanıldı. Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tıp Fakültesi Deneysel Hayvanları Yetiştirme ve Araştırma Merkezi'nden farklı zaman dilimlerinde herhangi bir hastalığa ya da sebebe bağlı olmadan kendiliğinden ölen ratlar % 10'luk formaldehitte bir hafta bekletilerek fikse edildi. Daha sonra ratlar diseksiyon edilerek medulla spinalis'leri ortaya çıkarıldı. Çalışmada 1 ve 5 aylık ratların medulla spinalis'lerinin torakal bölümlerinden segmentler elde edildi. Kesitler alınırken ilk 15 kesit arasından rastgele bir tanesi seçildi. Onu takip eden her 50.kesit sistematik rasgele örnekleme yöntemiyle belirlendi. Böylelikle bir hayvanın medulla spinalis'inin torakal segmentinden 5µm kalınlığında 12 adet kesit alındı. Bu kesitler hematoksylen eozin boyama tekniği ile boyanarak mikroskop altında fotoğraflandı. Cavalieri Prensipli ile Shtereom 1.5 programı kullanılarak noktalı alan cetveli sayesinde medulla spinalis'in torakal bölümünün her bir segmentinde tüm dokunun, substantia alba ve substantia grisea kısımlarının hacim yoğunlukları hesaplandı. Ayrıca araştırmada torakal segmentin tüm hacminin, substantia alba ve substantia grisea hacim değerleri ve bu hacim değerlerinin birbirlerine oranları hesaplanarak değerlendirildi.

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

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

Abstract

In this study volume density of gray and white matter of thoracal 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 and 5 months. Rats that died spontaneously in different time periods without any disease or cause obtained from Van Yuzuncu Yil University of Faculty of Medicine Experimental Animal Breeding and Research Center were fixed in 10% formaldehyde for a week. Rats were dissected and spinal cords of rats were removed. In the study thoracal 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, 12 sections of 5µm thickness were obtained from thoracal segments of each animal's spinal cord. These sections were stained by hematoxylin eosin and they were photographed at microscope. Densities of volumes of all tissue of thoracal segments of whole spinal cord and white and gray matters were calculated using point counting scala by Cavalieri Principle. Shtereom 1.5 package programme was used for counting dotted area. In addition, the volume vales of total thoracal 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, stereology, thoracal segment.

*Sorumlu yazar: vetgamze@hotmail.com

Geliş Tarihi: 28.12.2020, Kabul Tarihi: 01.03.2021

1. Giriş

Axial iskelet sisteminin bir parçası olan columna vertebralis; destek ve hareketi sağlamak, içinde seyreden medulla spinalis ve medulla spinalis'ten köken alan spinal sinir köklerini koruma gibi birçok görevi olan bir organdır [1-3]. Baş, göğüs ve karın organlarına ait olan ağırlıkların taşınmasında da destek sağlayıcı görevi mevcuttur [2]. Gövdenin temelini yapılandıran omurga, vertebra olarak bilinen kemiklerin art arda dizilerek birbirleriyle eklemleşmelerinden oluşmaktadır [2, 4]. İlk boyun omuru olan atlas ile başlayan columna vertebralis ve kuyruğun sonuncu omuruna doğru devam ederek ilerler. Columna vertebralis, sırasıyla servikal, torakal, lumbal, sakral ve kaudal olmak üzere beş ayrı bölümde incelenir. Her hayvan türünde columna vertebralis'i şekillendiren vertebra sayıları farklılık göstermektedir [5-7].

Sinir sistemi embriyonik dönemde nöral plaktan gelişir. Paraksiyal mezoderm ile notokord nöral plağa dönüşebilmek için ektodermi uyarırlar. Nöral tüp, nöral katlantılar ve nöral krista nöral plaktan farklılaşarak meydana gelir. Nöral tüp, MSS'ni oluşturan hücreleri, nöral krest ise PSS ve OSS'nin büyük bölümünü teşkil eden hücreleri meydana getirir [8].

Medulla spinalis merkezi sinir sistemine ait olan ve canalis vertebralis içerisinde varlık gösteren bir yapıdır [9]. Medulla spinalis, medulla oblongata'dan foramen magnum seviyesinde herhangi bir sınır göstermeden başlar ve conus medullaris'i şekillendirerek sonlanır [7]. Her ne kadar silindirik şeklinde olsa da medulla spinalis tüm uzunluğu seyri boyunca silindirik yapı bu halini koruyamaz. Bu nedenle lumbal ve servikal bölgelerde olmak üzere iki farklı kısımda iki farklı genişleme bölgesi meydana gelir [2, 6]). Medulla spinalis dorsal'den basık olup iki yüze sahiptir. Bu yüzlerde ilerleyen olukları bulunmaktadır. Fissura mediana ventralis adı verilen oluk medulla spinalis'in altta kalan yüzünün tam orta kısmında uzunlamasına yer alan bir oluşumdur. Sulcus lateralis ventralis olarak bilinen oluklar ise mevcut oluğun her iki tarafında yer almaktadır. Spinal sinirlere ait olan ventral dallar bu oluklardan çıkar. Dorsal yüzde tam ortada longitudinal olarak seyreden oluk ise sulcus medianus dorsalis'tir. Sulcus lateralis dorsalis olarak tanımlanan oluklar ise sulcus medianus dorsalis'in her iki yanında sığ olarak bulunmaktadır [2]. Medulla spinalis'in transversal kesit yüzlerinde gri ve beyaz cevher olmak üzere iki bölge bulunmaktadır. Medulla spinalis'in orta kısmını oluşturan bölge kelebek şeklini almıştır. Bu bölgeyi substantia grisea şekillendirmektedir. Bu kısım H harfini de andırmaktadır. H harfini oluşturan substantia grisea'dan oluşan alanın dışında kalan ve gri maddeyi çevreleyen, rengi daha açık olan bölgeyi ise substantia alba oluşturmaktadır [2, 10].

Stereoloji, üç boyutlu nesnelerin iki boyutlu kesitlerinden elde edilen görüntüleri ya da izdüşümleri vasıtasıyla elde edilmiş olan veri değerler yardımıyla onların gerçekteki üç boyutlu özelliklerine ait bilgiler ve verilerle karşılaştırılarak (hacim, uzunluk, alan, partikül sayısı, vb) yorumlar yapılmasını sağlayan bir bilim dalıdır [11, 12]. Cruz-Orive [12] göre stereoloji bir objenin ya da nesnenin geometrik yapısı ve istatistiksel olarak nicel bilgileri belirlemek için objeden elde edilmiş kesitlerin ve izdüşümlerin kullanılmasıyla sonuç elde edilen bir yöntemdir. Yunan kökenli olan bu terim stereos (üç boyutlu olan cisim, üç boyutluluk) teriminden köken almıştır. İlk defa 1960 yılından önce kullanılmıştır. Biyologlar, jeologlar ve tıp alanında çalışan bilim adamları Almanya'da 1961 yılında Black Forest olarak bilinen yerde toplanıp maddelerin üç boyutluluk tanımı ve özelliği hakkındaki problemleri ve sıkıntıları değerlendirerek tartışmışlardır. Objelerin iki boyutlu olan kesitlerinden üç boyutlu yapılarını anlayabilmek için Alman anatomist Profesör Hans Elias, stereoloji kelimesinin kullanılmasını önermiş ve böylece bilim dünyası ilk defa stereoloji terimi ile tanışmıştır [13]. Tıp, biyoloji ve özellikle veteriner alanında bilimsel çalışmalarda son dönemlere ait önem arz eden değişimler gözlenmiştir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Materyal

Bu çalışmada ağırlıkları 50-60 gr olan 1 aylık Wistar Albino ırkı yavru erkek ratlar ile ağırlıkları 150-200 gr kadar olan 5 aylık Wistar Albino ırkı erişkin erkek ratlar kullanıldı. Ratlar Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tıp Fakültesi Deney Hayvanları Yetiştirme ve Araştırma Merkezi'ne başvurularak elde edildi. Çalışmanın izni 26/10/2017 tarih ve 2017/10 sayılı kurul kararı ile Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Hayvan Deneyleri Yerel Etik Kurulu'ndan alınmıştır.

2.2. Yöntem

2.2.1. Hayvan temini

Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tıp Fakültesi Deney Hayvanları Yetiştirme ve Araştırma Merkezi'nden farklı zaman dilimlerinde herhangi bir hastalığa ya da sebebe bağlı olmadan kendiliğinden ölen 1 aylık ve 5 aylık erkek ratlar elde edildi (Şekil 1).



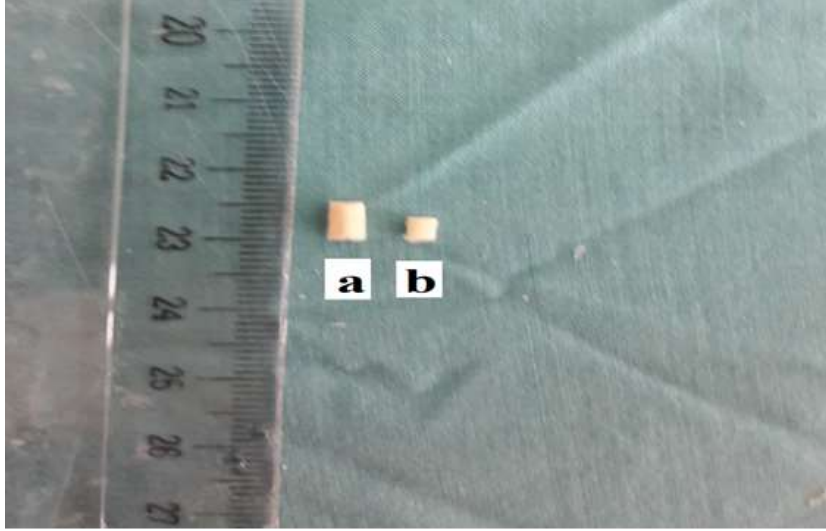
Şekil 1. Formaldehit ile fikse edilen 1 aylık erkek rat

2.2.2. Diseksiyon ve medulla spinalis'in çıkarılması

Bir hafta süreyle tespit solüsyonunda bekletilen ratların medulla spinalis'lerini çıkarmak için columna vertebralis'in etrafındaki yumuşak dokular, pens, bisturi, cerrahi makas ve mikromakas yardımıyla temizlendi. Daha sonra columna vertebralis'i şekillendiren ilgili bölgedeki vertebra'ların arcus vertebra'ları laminektomi ile uzaklaştırıldı. Kemik yapı ayrıldıktan sonra medulla spinalis'e ulaşıldı. Torakal spinal segmentler açığa çıkarıldı. Her bir hayvana ait olan medulla spinalis'lerin segment'lerinin her birinden ayrı ayrı dokular elde edildi (Şekil 2, 3). Daha sonra bu dokulara doku takibi işlemi uygulandı [14].



Şekil 2. Medulla spinalis'in torakal segmentinin diseksiyonu (5 aylık erkek rat)



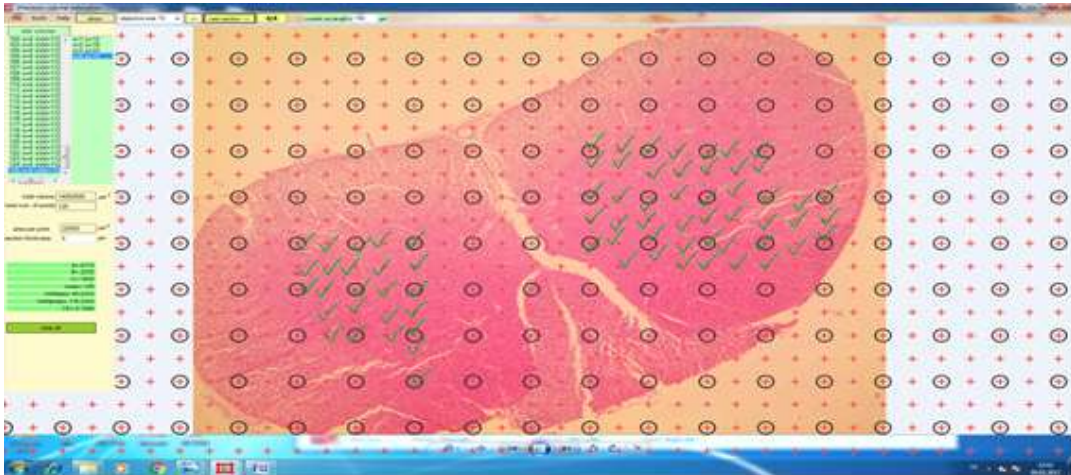
Şekil 3. 5 (a) ve 1 (b) aylık ratlarda medulla spinalis'in torakal segmentine ait doku örnekleri

2.2.3. Örnekleme şekli

Örnek sayısı, kesit sayısı ve örneklemenin belirlenmesi amacıyla çalışma öncesi pilot bir çalışma gerçekleştirildi. Literatürde yapılacak olan stereolojik çalışmalarda yaklaşık olarak 0,05'lik hata katsayısını elde edebilmek için her bir grubun en az 5 adet hayvandan oluşması gerekliliği rapor edilmiştir [15]. Pilot çalışma ile örnek sayısının, kesit adedinin ve örnekleme şeklinin uygun olduğu tespit edildi. Ön çalışmada tespit edilen sayıdaki kesitlerin elde edilebilmesi için parafine gömülerek bloklanan torakal spinal segmentlerin her birinden ayrı ayrı kesitler alındı. Koronal düzlemde bloklardan, Rotary mikrotom aracılığıyla (Leica RM, 2135, Leica Instruments, Nussloch, Germany) çelik tek kullanımlık mikrotom bıçakları kullanılarak 5µm kalınlığında kesitler elde edildi. Dokulardan elde edilen kesitler hematoxilen-eozin boyama tekniği ile boyandı.

2.2.4. Görüntü analizi

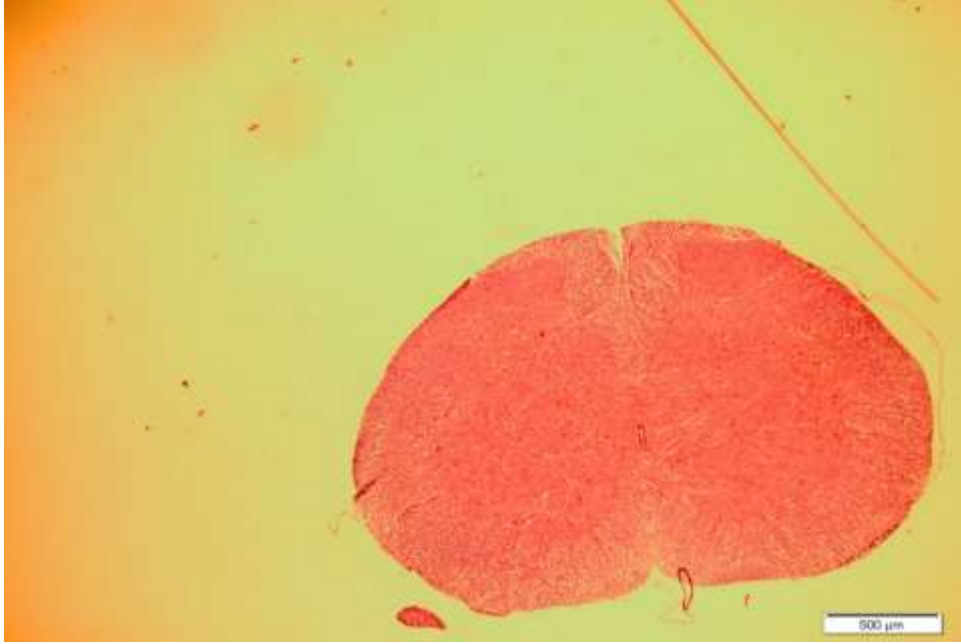
Medulla spinalis oldukça küçük bir yapı olduğu için stereolojik adımlamaya gerek duyulmadı. Numerik açıklık (NA)=0,25, objektif x 10 büyütme ile noktalı alan ve ardından da hacim hesaplaması gerçekleştirildi. Bunun için Shtereom 1.5 paket programı seçildi (Şekil 4). Programdaki hesaplama için Cavalieri Prensipli kullanıldı. Kesitleri fotoğraflama işleminden sonra medulla spinalis'lerin torakal kısmını oluşturan 13 segmentin; toplam torakal spinal segment hacmi, toplam substantia grisea hacmi ve substantia alba hacmi ve hata katsayısı (HK) hesaplandı.



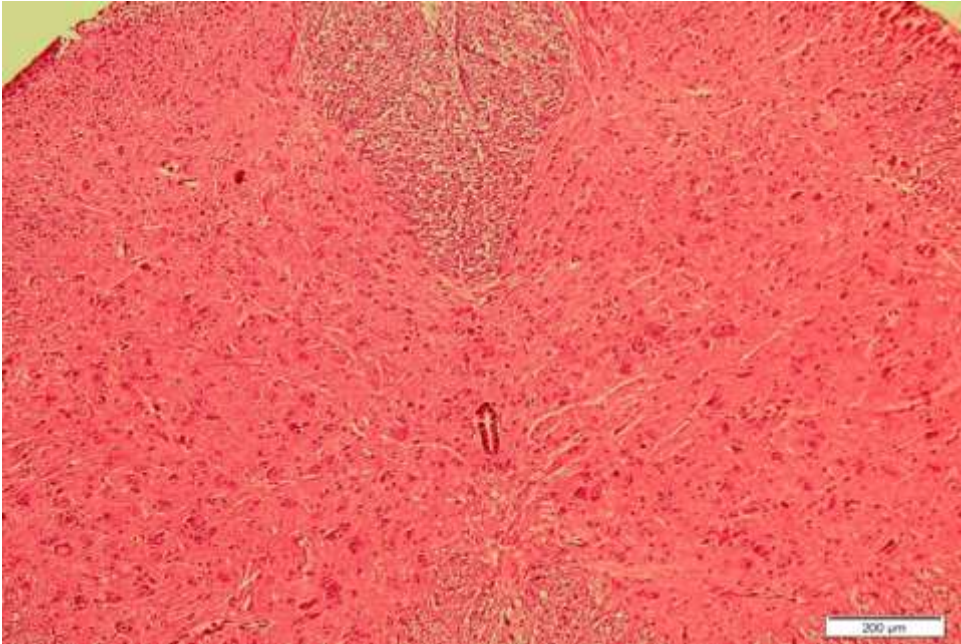
Şekil 4. Shtereom programında noktalı alan cetvelinin görünümü

3. Bulgular ve Tartışma

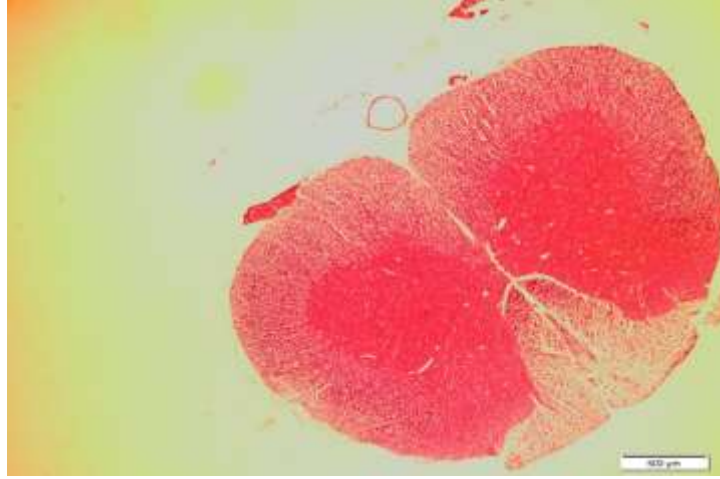
Yapılan bu çalışmada altı adet 1 aylık (Şekil 5, Şekil 6), altı adet de 5 aylık (Şekil 7, Şekil 8) erkek ratların medulla spinalis'lerinin diseksiyonu yapılarak medulla spinalis torakal segmentlerine ayrıldı. Torakal segmentlerde tüm dokuya ait olan hacim, substantia alba ve substantia grisea hacim değerleri ayrı ayrı hesap edildi. Ayrıca torakal segmentlere ait olan substantia grisea hacim değerlerinin substantia alba hacim değerlerine oranları, SA hacim değerlerinin tüm torakal segmentin hacim değerlerine ve SG hacim değerlerinin tüm torakal segmente ait olan hacim değerlerine olan oranları hesap edilerek ayrı ayrı değerlendirildi. Hata katsayısına (HK) hesaplanarak bu değerlerin %5'den küçük olduğu saptandı.



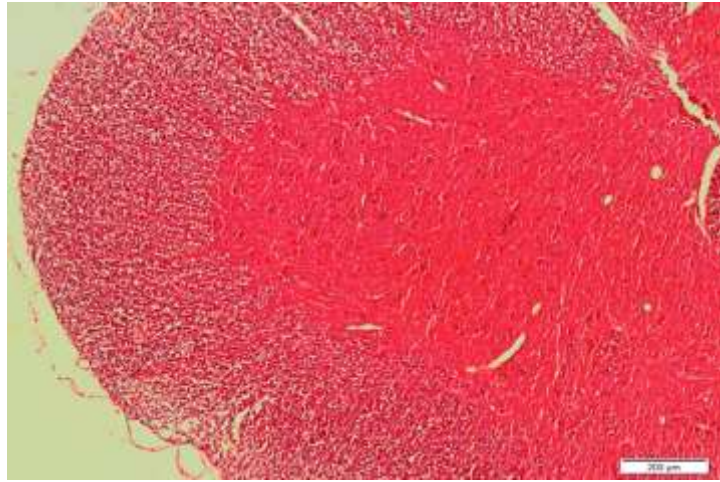
Şekil 5. 1 aylık ratta T7 segment'i (Hematoksilen-eozin) (x 4'lük objektif)



Şekil 6. 1 aylık ratta T7 segment'i (Hematoksilen-eozin) (x 10'luk objektif)



Şekil 7. 5 aylık ratta T11 segment'i (Hematoksilen-eozin) (x 4'lük objektif)



Şekil 8. 5 aylık ratta T11 segment'i (Hematoksilen-eozin) (x 10'lük objektif)

Bu çalışmada altı adet 1 aylık erkek ratlardan diseke edilen medulla spinalis'in torakal segmentlerinin doku örneklerine ait olan tüm hacim değerleri hesaplandı. Hesaplamalar sonucunda yapılan değerlendirmede 1 aylık erkek ratlarda tüm hacim bakımından T1'den T13'e kadar olan torakal segmentlerin hacim değerlerinin farklılık gösterdiği tespit edildi. En düşük torakal segment tüm hacim değerinin ise 0.239 mm³ olarak T13 segment'ine ait olduğu hesaplandı (Tablo 1).

Tablo 1. 1 aylık ratlarda (R) medulla spinalis'in torakal (T) segmentinin tüm hacim değerleri (mm³)

Segment Sayısı	Torakal Spinal Segment Tüm Hacim (mm ³)	Hayvan Sayısı						Ortalama
		R1	R2	R3	R4	R5	R6	
T1		0.301	0.342	0.569	0.600	0.240	0.546	0.433
T2		0.225	0.357	0.569	0.820	0.242	0.556	0.461
T3		0.385	0.383	0.626	0.541	0.389	0.617	0.490
T4		0.443	0.533	0.629	0.396	0.391	0.859	0.541
T5		0.436	0.398	0.741	0.393	0.726	0.830	0.587
T6		0.591	0.794	0.331	0.351	0.401	0.848	0.552
T7		0.594	0.852	0.860	0.760	0.966	0.549	0.763
T8		0.797	0.488	0.711	0.797	0.666	0.460	0.653
T9		0.783	0.439	0.735	0.473	0.470	0.398	0.549
T10		0.614	0.428	0.708	0.668	0.454	0.321	0.532
T11		0.433	0.209	0.403	0.669	0.258	0.322	0.382
T12		0.361	0.208	0.263	0.233	0.252	0.316	0.272
T13		0.170	0.198	0.271	0.233	0.256	0.311	0.239

Tablo 2'de verilen 1 aylık erkek ratların torakal segmentlerine ait olan substantia alba değerlerinden en yüksek ortalama hacim değeri 0.358 mm³ olup, T7 segment'ine aittir. Substantia alba'ya ait olan en düşük hacim değerinin 0.102 mm³ olarak T3 segment'ine ait olduğu belirlendi.

Tablo 2. 1 aylık ratlarda (R) medulla spinalis'in torakal (T) segment'inde substantia alba'nın (SA) hacim değerleri (mm³)

Segment Sayısı	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	Hayvan Sayısı						Ortalama	
														R1	R2	R3	R4	R5	R6		
															0.189	0.167	0.337	0.317	0.151	0.274	0.239
															0.132	0.218	0.333	0.564	0.142	0.304	0.282
															0.210	0.230	0.362	0.306	0.210	0.325	0.273
															0.263	0.283	0.350	0.218	0.206	0.374	0.282
															0.273	0.217	0.375	0.224	0.313	0.392	0.299
															0.298	0.346	0.175	0.190	0.196	0.390	0.265
															0.304	0.412	0.369	0.365	0.377	0.325	0.358
															0.372	0.214	0.248	0.292	0.284	0.176	0.264
															0.344	0.189	0.280	0.167	0.170	0.104	0.209
															0.277	0.190	0.261	0.231	0.166	0.118	0.207
															0.139	0.157	0.136	0.230	0.086	0.094	0.140
															0.115	0.176	0.096	0.084	0.072	0.082	0.104
															0.083	0.192	0.096	0.084	0.074	0.084	0.102

Bir aylık erkek ratlarda torakal segmentlere ait olan substantia grisea değerleri incelendiğinde T7 segment'ine ait olan hacim değerinin 0.378 mm³ olduğu ve bu değer de en yüksek değer olduğu tespit edildi. En düşük SG hacim değerinin ise 0.133 mm³ olduğu ve bu değer de T13 segment'ine ait olduğu saptandı (Tablo 3).

Tablo 3. 1 aylık ratlarda (R) medulla spinalis'in torakal (T) segmentinde substantia grisea'nın (SG) hacim değerleri (mm³)

Segment Sayısı	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	Hayvan Sayısı						Ortalama	
														R1	R2	R3	R4	R5	R6		
															0.095	0.132	0.254	0.182	0.257	0.197	0.186
															0.081	0.128	0.238	0.175	0.079	0.201	0.150
															0.107	0.120	0.253	0.208	0.135	0.240	0.177
															0.142	0.246	0.263	0.145	0.137	0.432	0.227
															0.141	0.149	0.375	0.142	0.340	0.420	0.261
															0.267	0.420	0.150	0.131	0.167	0.439	0.262
															0.279	0.476	0.468	0.310	0.523	0.215	0.378
															0.403	0.285	0.475	0.410	0.352	0.220	0.357
															0.398	0.180	0.485	0.442	0.255	0.184	0.324
															0.243	0.126	0.506	0.238	0.264	0.196	0.262
															0.243	0.128	0.241	0.373	0.131	0.209	0.220
															0.199	0.121	0.168	0.111	0.131	0.215	0.157
															0.079	0.120	0.164	0.096	0.136	0.208	0.133

Tablo 4'da bir aylık erkek ratlarda torakal segmentlere ait olan substantia grisea'nın hacim değerinin substantia alba hacim değerine oranları değerlendirildiğinde en yüksek ortalamanın 1.648 ile T12 segment'inde olduğu saptandı

Tablo 4. 1 aylık ratlarda torakal spinal segmentlerde substantia grisea hacim/substantia alba hacim (SG/SA) oranları

Segment Sayısı	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	Hayvan Sayısı						Ortalama	
														R1	R2	R3	R4	R5	R6		
															0.502	0.790	0.753	0.574	1.701	0.718	0.839
															0.613	0.587	0.714	0.310	0.556	0.661	0.573
															0.509	0.521	0.698	0.679	0.642	0.738	0.631
															0.539	0.869	0.751	0.665	0.665	1.155	0.774
															0.516	0.686	1.000	0.663	1.086	1.071	0.837
															0.895	1.213	0.857	0.689	0.852	1.125	0.938
															0.917	1.155	1.268	1.123	1.387	0.661	1.085
															1.083	1.331	1.915	1.445	1.239	1.250	1.377
															1.156	0.952	1.732	1.425	1.500	1.769	1.422
															0.877	0.663	1.938	1.614	1.590	1.661	1.390
															1.748	0.815	1.772	0.482	1.523	2.223	1.427
															1.730	0.687	1.750	1.285	1.819	2.621	1.648
															0.951	0.625	1.708	1.142	1.837	2.476	1.456

En düşük substantia alba hacmi/tüm hacim oranının 0.370 değeriyle T9 segment'ine ait olduğu saptanırken bu değerin T13 segment'ine kadar da arttığı belirlendi. T13 segment'inde bu değer 0.455 olarak hesaplandı (Tablo 5).

Tablo 5. 1 aylık ratlarda (R) torakal (T) spinal segmentlerde substantia alba hacim/torakal segment hacim (SA/TS) oranları

		Hayvan Sayısı						Ortalama	
		R1	R2	R3	R4	R5	R6		
Segment Sayısı	T1	substantia alba hacim/torakal segment hacim (SA/TS)	0.627	0.488	0.592	0.528	0.629	0.501	0.560
	T2		0.586	0.610	0.585	0.687	0.586	0.546	0.600
	T3		0.545	0.600	0.578	0.565	0.589	0.526	0.567
	T4		0.593	0.530	0.556	0.550	0.526	0.435	0.531
	T5		0.626	0.545	0.506	0.569	0.431	0.472	0.524
	T6		0.504	0.435	0.528	0.541	0.488	0.459	0.492
	T7		0.511	0.483	0.429	0.480	0.390	0.591	0.480
	T8		0.466	0.438	0.348	0.366	0.426	0.382	0.404
	T9		0.439	0.430	0.380	0.353	0.361	0.261	0.370
	T10		0.451	0.443	0.368	0.345	0.365	0.367	0.389
	T11		0.321	0.751	0.337	0.343	0.333	0.291	0.396
	T12		0.318	0.846	0.365	0.360	0.285	0.259	0.405
	T13		0.488	0.969	0.354	0.360	0.289	0.270	0.455

T1 segment'ine ait olan bu değerin yüksek olduğu fakat T2 segment'inde bu değerin düştüğü tespit edildi (Tablo 6).

Tablo 6. 1 aylık ratlarda (R) torakal (T) spinal segmentlerde substantia grisea hacim/torakal spinal segment hacim (SG/TS) oranları

		Hayvan Sayısı						Ortalama	
		R1	R2	R3	R4	R5	R6		
Segment Sayısı	T1	substantia grisea hacim/torakal spinal segment hacim (SG/TS)	0.315	0.385	0.446	0.303	1.070	0.360	0.479
	T2		0.360	0.358	0.418	0.213	0.326	0.361	0.339
	T3		0.277	0.313	0.404	0.384	0.347	0.388	0.352
	T4		0.320	0.461	0.418	0.366	0.350	0.502	0.402
	T5		0.323	0.374	0.506	0.361	0.468	0.506	0.423
	T6		0.451	0.528	0.453	0.373	0.416	0.517	0.456
	T7		0.469	0.558	0.544	0.539	0.541	0.391	0.507
	T8		0.505	0.584	0.668	0.554	0.528	0.478	0.552
	T9		0.508	0.410	0.659	0.503	0.542	0.462	0.514
	T10		0.395	0.294	0.714	0.558	0.581	0.610	0.525
	T11		0.561	0.615	0.598	0.165	0.519	0.649	0.517
	T12		0.551	0.581	0.638	0.463	0.519	0.680	0.572
	T13		0.464	0.606	0.605	0.412	0.531	0.660	0.546

Beş aylık erkek ratların torakal segmentlerinin ortalama tüm torakal spinal segmente ait hacim değerleri incelendiğinde en yüksek değerin 0.873 mm³ ile T9 segment'ine ait olduğu tespit edildi (Tablo 7).

Tablo 7. 5 aylık ratlarda (R) medulla spinalis'in torakal (T) segmentinin hacim değerleri (mm³)

		Hayvan Sayısı						Ortalama	
		R1	R2	R3	R4	R5	R6		
Segment Sayısı	T1	Torakal Spinal Segment Tüm Hacim (mm ³)	0.541	0.855	0.786	0.788	0.814	0.610	0.732
	T2		0.868	0.821	0.710	0.614	0.723	0.659	0.732
	T3		0.591	0.795	0.761	0.872	0.745	0.654	0.736
	T4		0.987	0.493	0.711	0.880	0.548	0.672	0.715
	T5		0.491	0.756	0.606	0.574	0.846	0.738	0.668
	T6		0.909	0.641	0.819	1.067	0.919	0.868	0.870
	T7		0.958	0.969	0.627	0.785	1.000	0.669	0.834
	T8		0.701	0.666	0.975	0.899	0.901	0.790	0.822
	T9		1.058	1.069	0.745	0.454	0.954	0.959	0.873
	T10		1.023	0.943	0.683	0.451	0.726	0.833	0.776
	T11		1.184	0.639	0.964	0.442	1.008	0.348	0.764
	T12		0.888	0.636	0.590	0.390	0.750	0.327	0.596
	T13		0.550	0.435	0.607	1.428	0.733	0.175	0.654

Tablo 8’de verilen 5 aylık erkek ratların torakal segmentlerine ait olan substantia alba değerleri incelendiğinde en yüksek ortalama hacim değerinin 0.536 mm^3 olduğu tespit edildi.

Tablo 8. 5 aylık ratlarda (R) medulla spinalis’in torakal (T) segmentinde substantia alba’nın (SA) hacim değerleri (mm^3)

Segment Sayısı	T	Substantia alba Hacim (mm^3)	Hayvan Sayısı						Ortalama
			R1	R2	R3	R4	R5	R6	
	T1		0.384	0.641	0.572	0.564	0.561	0.410	0.522
	T2		0.509	0.630	0.523	0.430	0.447	0.468	0.501
	T3		0.498	0.606	0.532	0.661	0.474	0.449	0.536
	T4		0.568	0.370	0.346	0.615	0.397	0.429	0.454
	T5		0.263	0.616	0.397	0.391	0.591	0.434	0.448
	T6		0.539	0.420	0.561	0.669	0.572	0.451	0.535
	T7		0.513	0.612	0.404	0.532	0.669	0.372	0.517
	T8		0.434	0.402	0.582	0.496	0.558	0.349	0.470
	T9		0.621	0.653	0.422	0.214	0.611	0.471	0.498
	T10		0.647	0.557	0.440	0.217	0.474	0.393	0.454
	T11		0.639	0.382	0.522	0.210	0.629	0.158	0.423
	T12		0.396	0.266	0.297	0.160	0.401	0.168	0.281
	T13		0.267	0.152	0.300	0.160	0.367	0.088	0.222

En yüksek ortalama substantia grisea hacim değerinin 0.341 mm^3 ile T9 ve T11 segment’lerine ait olduğu saptandı. En düşük substantia grisea hacim değerinin ise 0.165 mm^3 olup T2 segment’ine ait olduğu tespit edildi (Tablo 9).

Tablo 9. 5 aylık ratlarda (R) medulla spinalis’in torakal (T) segmentinde substantia grisea’nın (SG) hacim değerleri (mm^3)

Segment Sayısı	T	Substantia grisea Hacim (mm^3)	Hayvan Sayısı						Ortalama
			R1	R2	R3	R4	R5	R6	
	T1		0.124	0.170	0.197	0.195	0.161	0.156	0.167
	T2		0.218	0.177	0.192	0.105	0.147	0.153	0.165
	T3		0.113	0.181	0.179	0.228	0.162	0.172	0.172
	T4		0.239	0.111	0.290	0.292	0.150	0.177	0.209
	T5		0.191	0.170	0.161	0.171	0.153	0.172	0.169
	T6		0.213	0.138	0.256	0.401	0.184	0.270	0.243
	T7		0.308	0.247	0.171	0.302	0.244	0.239	0.251
	T8		0.172	0.230	0.360	0.363	0.204	0.297	0.271
	T9		0.442	0.419	0.319	0.217	0.280	0.374	0.341
	T10		0.452	0.429	0.203	0.175	0.214	0.341	0.302
	T11		0.539	0.303	0.541	0.180	0.358	0.127	0.341
	T12		0.504	0.332	0.310	0.178	0.270	0.124	0.286
	T13		0.325	0.226	0.319	0.165	0.313	0.057	0.234

En yüksek hacim oran değerinin 1.058 ile T13 segment’ine ait olduğu saptanırken en düşük SG/SA hacim oran değerinin ise 0.321 ile T3 segment’ine ait olduğu hesaplandı (Tablo 10).

Tablo 10. 5 aylık ratlarda (R) torakal (T) spinal segmentlerde substantia grisea hacim/substantia alba hacim (SG/SA) oranları

Segment Sayısı	T	Substantia grisea hacim/substantia alba hacim (SG/SA)	Hayvan Sayısı						Ortalama
			R1	R2	R3	R4	R5	R6	
	T1		0.322	0.265	0.344	0.345	0.286	0.410	0.328
	T2		0.428	0.280	0.367	0.244	0.328	0.326	0.328
	T3		0.226	0.298	0.336	0.344	0.341	0.383	0.321
	T4		0.420	0.300	0.838	0.474	0.239	0.412	0.447
	T5		0.726	0.275	0.405	0.437	0.258	0.396	0.416
	T6		0.395	0.328	0.456	0.599	0.321	0.598	0.447
	T7		0.600	0.403	0.423	0.567	0.364	0.642	0.499
	T8		0.396	0.572	0.618	0.731	0.365	0.851	0.588
	T9		0.711	0.641	0.755	1.014	0.458	0.794	0.728
	T10		0.698	0.770	0.461	0.806	0.451	0.867	0.675
	T11		0.843	0.793	1.036	0.857	0.569	0.803	0.816
	T12		1.272	1.248	1.043	1.112	0.673	0.738	1.014
	T13		1.217	1.486	1.063	1.083	0.852	0.647	1.058

Tablo 11'deki SA/MS hacim oran değerleri incelendiğinde en yüksek ortalama SA/MS değerinin 0.735 ile T3 segment'ine ait olduğu ve en düşük SA/MS değerinin ise 0.407 ile T13 segment'ine ait olduğu belirlendi.

Tablo 11. 5 aylık ratlarda (R) torakal (T) spinal segmentlerde substantia alba hacim/torakal segment hacim (SA/MS) oranları

Segment Sayısı	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	Hayvan Sayısı						Ortalama	
														R1	R2	R3	R4	R5	R6		
															0.709	0.749	0.727	0.722	0.689	0.672	0.711
															0.586	0.767	0.736	0.700	0.618	0.710	0.686
															0.842	0.792	0.699	0.758	0.636	0.686	0.735
															0.575	0.750	0.486	0.698	0.724	0.638	0.645
															0.535	0.814	0.655	0.681	0.698	0.588	0.661
															0.592	0.655	0.684	0.626	0.622	0.519	0.616
															0.535	0.631	0.644	0.675	0.669	0.556	0.618
															0.619	0.603	0.596	0.551	0.619	0.441	0.571
															0.586	0.610	0.566	0.471	0.640	0.491	0.560
															0.632	0.590	0.644	0.481	0.652	0.471	0.578
															0.539	0.597	0.683	0.475	0.624	0.454	0.562
															0.445	0.418	0.503	0.410	0.534	0.513	0.470
															0.485	0.349	0.494	0.112	0.500	0.502	0.407

En düşük SG/MS hacim oran değerinin ise 0.223 ile T2 segment'ine ait olduğu belirlendi (Tablo 12).

Tablo 12. 5 aylık ratlarda (R) torakal (T) spinal segmentlerde substantia grisea hacim/torakal segment hacim (SG/MS) oranları

Segment Sayısı	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	Hayvan Sayısı						Ortalama	
														R1	R2	R3	R4	R5	R6		
															0.229	0.198	0.250	0.247	0.197	0.255	0.229
															0.251	0.215	0.270	0.171	0.203	0.232	0.223
															0.191	0.227	0.235	0.261	0.217	0.262	0.232
															0.242	0.225	0.407	0.331	0.273	0.263	0.290
															0.389	0.224	0.265	0.297	0.180	0.233	0.264
															0.234	0.215	0.312	0.375	0.200	0.311	0.274
															0.321	0.254	0.272	0.384	0.244	0.357	0.305
															0.245	0.345	0.369	0.403	0.226	0.375	0.327
															0.417	0.391	0.428	0.477	0.293	0.389	0.399
															0.441	0.454	0.297	0.388	0.294	0.409	0.380
															0.455	0.474	0.708	0.407	0.355	0.364	0.460
															0.567	0.522	0.525	0.456	0.360	0.379	0.468
															0.590	0.519	0.525	0.115	0.427	0.325	0.416

3.1. İstatistiksel değerlendirme

Tablo 13. Tüm torakal segment (TS) hacminin erkek ratlarda 1. ve 5. aydaki istatistiksel değerleri

Segmentler	Hacim TS 1 aylık	Hacim TS 5 aylık	1-5 aylık karşılaştırma P-değeri
T1	0.433±0.064 ^{bcd}	0.732±0.051	*
T2	0.462±0.094 ^{bcd}	0.733±0.039	Ns
T3	0.490±0.048 ^{bc}	0.736±0.041	**
T4	0.542±0.073 ^{bc}	0.715±0.078	Ns
T5	0.587±0.081 ^{abc}	0.669±0.054	Ns
T6	0.553±0.093 ^{bc}	0.871±0.057	Ns
T7	0.764±0.067 ^a	0.835±0.067	Ns
T8	0.653±0.060 ^{ab}	0.822±0.050	*
T9	0.550±0.067 ^{bc}	0.873±0.096	*
T10	0.532±0.063 ^{bc}	0.777±0.083	Ns
T11	0.382±0.067 ^{cde}	0.764±0.138	Ns
T12	0.272±0.023 ^{de}	0.597±0.087	*
T13	0.240±0.021 ^e	0.655±0.173	Ns
P-Value	***	Ns	

Ns: Not significant (Önemli değil), *: P<0.05, **: P<0.01

a, b, c, d, e: Aynı sütunda farklı harfle ifade edilen ortalamalar arasında fark önemlidir.

Tablo 14. SA hacminin erkek ratların torakal segmentlerinde 1. ve 5. aydaki istatistiksel değerleri

Segmentler	Substantia alba 1 aylık	Substantia alba 5 aylık	1-5 aylık karşılaştırma P-değeri
T1	0.239±0.033 ^b	0.522±0.041 ^a	**
T2	0.282±0.066 ^{ab}	0.501±0.030 ^a	*
T3	0.274±0.027 ^{ab}	0.537±0.033 ^a	**
T4	0.282±0.028 ^{ab}	0.454±0.045 ^a	*
T5	0.299±0.030 ^{ab}	0.449±0.054 ^a	Ns
T6	0.266±0.037 ^{ab}	0.535±0.037 ^a	*
T7	0.359±0.016 ^a	0.517±0.047 ^a	*
T8	0.264±0.028 ^{ab}	0.470±0.037 ^a	**
T9	0.209±0.036 ^{bc}	0.499±0.068 ^a	**
T10	0.207±0.025 ^{bc}	0.455±0.060 ^a	**
T11	0.140±0.021 ^{dc}	0.423±0.085 ^a	*
T12	0.104±0.016 ^d	0.281±0.043 ^b	*
T13	0.102±0.018 ^d	0.222±0.043 ^b	Ns
P-Value	***	***	

Ns: önemli değil; *: P<0.05; **: P<0.01; ***: P<0.001

a, b, c, d: Aynı sütunda farklı harfle ifade edilen ortalamalar arasında fark önemlidir.

Tablo 15. SG hacminin erkek ratların torakal segmentlerinde 1. ve 5. aydaki istatistiksel değerleri

Segmentler	Substantia grisea 1 aylık	Substantia grisea 5 aylık	1-5 aylık karşılaştırma P-değeri
T1	0.186±0.026 ^d	0.167±0.011 ^c	Ns
T2	0.150±0.027 ^d	0.165±0.016 ^c	Ns
T3	0.177±0.026 ^d	0.173±0.015 ^c	Ns
T4	0.228±0.047 ^{bcd}	0.210±0.031 ^{bc}	Ns
T5	0.261±0.053 ^{abcd}	0.170±0.005 ^c	Ns
T6	0.262±0.056 ^{abcd}	0.244±0.037 ^{abc}	Ns
T7	0.379±0.052 ^a	0.252±0.020 ^{abc}	Ns
T8	0.358±0.038 ^{ab}	0.271±0.033 ^{abc}	Ns
T9	0.324±0.055 ^{abc}	0.342±0.035 ^a	Ns
T10	0.262±0.053 ^{abcd}	0.302±0.050 ^{ab}	Ns
T11	0.221±0.037 ^{cd}	0.341±0.071 ^a	Ns
T12	0.158±0.018 ^d	0.286±0.054 ^{abc}	Ns
T13	0.134±0.019 ^d	0.234±0.044 ^{abc}	Ns
P-Value	***	**	

Ns: önemli değil; **: P<0.01; ***: P<0.001

a, b, c, d: Aynı sütunda farklı harfle ifade edilen ortalamalar arasında fark önemlidir.

Tablo 16. SG/TS oranlarının erkek ratlarda 1. ve 5. aydaki istatistiksel değerleri

Segmentler	SG/TS 1 aylık	SG/TS 5 aylık	1-5 aylık karşılaştırma P-değeri
T1	0.480±0.120 ^{abcd}	0.229±0.011 ^e	Ns
T2	0.339±0.028 ^d	0.224±0.014 ^e	**
T3	0.352±0.020 ^{cd}	0.232±0.011 ^e	***
T4	0.403±0.029 ^{bcd}	0.290±0.028 ^{de}	*
T5	0.423±0.033 ^{abcd}	0.265±0.030 ^e	*
T6	0.456±0.024 ^{abcd}	0.275±0.028 ^{de}	**
T7	0.507±0.026 ^{abc}	0.305±0.024 ^{cd}	**
T8	0.553±0.028 ^{ab}	0.327±0.030 ^{bcde}	**
T9	0.514±0.034 ^{ab}	0.399±0.025 ^{abc}	*
T10	0.525±0.063 ^{ab}	0.381±0.029 ^{abcd}	Ns
T11	0.518±0.073 ^{ab}	0.461±0.053 ^a	Ns
T12	0.572±0.032 ^a	0.468±0.034 ^a	Ns
T13	0.546±0.039 ^{ab}	0.417±0.071 ^{ab}	Ns
P-Value	*	***	

Ns: önemli değil; *: P<0.05; **: P<0.01; ***: P<0.001

a, b, c, d, e: Aynı sütunda farklı harfle ifade edilen ortalamalar arasında fark önemlidir.

Tablo 17. SA/TS oranlarının erkek ratlarda 1. ve 5. aydaki istatistiksel değerleri

Segmentler	SA/TS 1 aylık	SA/TS 5 aylık	1-5 aylık karşılaştırma P-değeri
T1	0.561±0.026 ^a	0.711±0.011 ^{ab}	**
T2	0.600±0.019 ^a	0.686±0.029 ^{ab}	*
T3	0.567±0.011 ^a	0.736±0.031 ^a	**
T4	0.532±0.022 ^{ab}	0.645±0.041 ^{abc}	Ns
T5	0.525±0.029 ^{abc}	0.662±0.039 ^{abc}	Ns
T6	0.493±0.017 ^{abc}	0.616±0.023 ^{bc}	**
T7	0.481±0.028 ^{abc}	0.618±0.024 ^{bc}	*
T8	0.404±0.019 ^{bc}	0.572±0.028 ^{cd}	**
T9	0.371±0.026 ^c	0.561±0.027 ^{cd}	***
T10	0.390±0.018 ^{bc}	0.578±0.034 ^c	**
T11	0.396±0.071 ^{bc}	0.562±0.036 ^{cd}	Ns
T12	0.406±0.090 ^{bc}	0.471±0.022 ^{de}	Ns
T13	0.455±0.107 ^{abc}	0.407±0.064 ^e	Ns
P-Value	**	***	

Ns: önemli değil; *: P<0.05; **: P<0.01; ***: P<0.001

a, b, c, d, e: Aynı sütunda farklı harfle ifade edilen ortalamalar arasında fark önemlidir.

Tablo 18. SG/SA oranlarının erkek ratlarda 1. ve 5. aydaki istatistiksel değerleri

Segmentler	SG/SA 1 aylık	SG/SA 5 aylık	1-5 aylık karşılaştırma P-değeri
T1	0.840±0.178 ^c	0.329±0.021 ^g	*
T2	0.574±0.057 ^c	0.329±0.026 ^g	**
T3	0.631±0.039 ^c	0.321±0.022 ^g	***
T4	0.774±0.088 ^c	0.447±0.086 ^{fg}	*
T5	0.837±0.100 ^c	0.416±0.069 ^{fg}	*
T6	0.939±0.079 ^{bc}	0.450±0.051 ^{fg}	**
T7	1.085±0.106 ^{bc}	0.500±0.048 ^{efg}	*
T8	1.377±0.118 ^{ab}	0.589±0.077 ^{def}	**
T9	1.422±0.131 ^{ab}	0.729±0.075 ^{cd}	**
T10	1.391±0.205 ^{ab}	0.676±0.073 ^{cde}	*
T11	1.427±0.267 ^{ab}	0.817±0.061 ^{bc}	Ns
T12	1.649±0.261 ^a	1.014±0.104 ^{ab}	Ns
T13	1.457±0.276 ^{ab}	1.058±0.118 ^a	Ns
P-Value	***	***	

Ns: önemli değil; *: P<0.05; **: P<0.01; ***: P<0.001

a, b, c, d, e, f, g: Aynı sütunda farklı harfle ifade edilen ortalamalar arasında fark önemlidir.

Tüm torakal segment hacim değerleri ele alındığında 1 aylık ve 5 aylık erkek ratlar arasında incelenen tüm segmentler bakımından T2, T4, T5, T6, T7, T10, T11, T13 segment'lerinde istatistiki olarak bir fark bulunmadığı gözlemlendi. 1 aylık ratların torakal segmentleri incelendiğinde en yüksek değer T7 segment'ine ait olduğu ve T6 segment'ine kadar segment sayısı arttıkça segment değerinin de arttığı tespit edildi. 1 aylık erkek ratlarda T3, T4, T6, T9, T10 segment'leri arasındaki farkın önemli olmadığı fakat T1, T2, T5, T7, T8, T11, T12 ve T13 segment'leri arasında fark olduğu ve bu farkın da önemli olduğu belirtildi. 5 aylık erkek ratlarda ise segmentler arası karşılaştırmada fark önemsiz bulundu. Tüm torakal segment hacmi açısından 1 aylık ve 5 aylık ratlar arasında yapılan karşılaştırmada T1, T8, T9, T12 segment'leri açısından fark önemli bulundu (p<0.05). Ayrıca T3 segment'i için de farkın önemli olduğu gözlemlendi (p<0.01). Oysaki yapılan bu karşılaştırmada T1, T4, T5, T6, T7, T10, T11 ve T13 için ise segmentler arası farkın istatistiksel açıdan önemli olmadığı saptandı.

Bu çalışmada medulla spinalis'in torakal segmentleri diseke edilirken medulla spinalis bir bütün halinde columna vertebralis'ten ayırt edilmemiştir. Çünkü columna vertebralis'in torakal vertebraları torakal segmentlerin isimlendirilmesinde yardımcı oldu. Begum ve ark. [16] medulla spinalis'i columna vertebralis ile birlikte segmentlerine ayırmışlardır. Bizim çalışmanın diseksiyon aşaması, Begum ve ark. [16] tarafından yapılan çalışma ile benzerlik göstermektedir.

Ratta 13 adet torakal vertebranın olduğu bildirilmiştir [17, 18]. Yapılan farklı çalışmalarda ratların torakal segment sayısının torakal vertebra sayısı ile eşit olduğu, 13 adet torakal segment şeklinde tespit edilmiştir [5, 19-21]. Yapılan bu çalışmada da torakal vertebra ve torakal segment sayısının birbirine eşit olup bu sayının da 13 olduğu saptanmıştır.

Rahım ve ark., [22] yapmış oldukları çalışmada fiziksel disektör kullanarak, Cavalieri Prensibi yöntemi ile streptozosine uygulanan ratların torakal segmentlerinde motor nöron sayısını belirlemişlerdir. Bizim çalışmamızda da fiziksel disektör kullanılarak, Cavalieri Prensibi ile torakal segment hacimleri tespit edildi.

Leghorn ırkı tavuklarda intumescentia cervicalis'in C13, C14, C15, T1, T2 tarafından oluşturulduğu tespit edilmiştir [23]. Baumel [24], Hazıroğlu ve ark. [25] kanatlılarda intumescentia cervicalis'in son üç servikal ve ilk iki torakal segment tarafından meydana getirildiğini rapor etmişlerdir. Nickel ve ark. [26] ise son iki cervical ile T1, T2, bazen de T3 tarafından meydana getirildiğini ifade etmiştir. Ratların servikal segmentlerinde hacim değerlendirilmesi üzerine yapılan stereolojik bir çalışmada en yüksek hacim değerinin C2 ve C4 segment'lerine ait olduğu fakat bu yükselmelerin C3 ve C5 segment'lerinde de var olduğu saptanmıştır [27]. Yapılan bu çalışmada her ne kadar T1, T2, T3 segment'lerine ait olan hacim değerleri hesaplanmış olsa da hacim bakımından medulla spinalis bir bütün olarak değerlendirilmediğinden net ifade kullanılmadı.

Leghorn ırkı tavukların medulla spinalis'lerinin transversal kesitleri üzerinde gerçekleştirilen araştırmalarda hacim hesaplamaları sonucunda substantia alba'nın toplam hacmi dişilerde 1007 ± 127 mm³, erkeklerde ise 1400.7 ± 94.1 mm³ olarak saptanmıştır. Substantia grisea'nın toplam hacmi ise dişilerde 241.4 ± 26.8 mm³ ve erkeklerde ise 311.4 ± 23.4 mm³ olarak saptanmıştır. Bununla birlikte substantia grisea'nın toplam hacminin medulla spinalis'in toplam hacmine oranı dişilerde $\%19.36 \pm 0.882$, erkeklerde ise $\%18.19 \pm 0.706$ olarak hesaplanmıştır [23].

Yapılan bu çalışmada, 1 aylık erkek ratlarda substantia alba'nın toplam hacmi 0.861 mm³ olarak hesaplanır iken 5 aylık erkek ratlarda substantia alba'nın toplam hacmi 1.081 mm³ olarak hesaplanmıştır. Bununla birlikte 1 aylık erkek ratlarda substantia grisea'nın toplam hacim değeri 0.662 mm³, 5 aylık erkek ratlarda ise substantia grisea'nın hacim değeri 0.591 mm³ olarak tespit edilmiştir. Bu değerler göz önüne alındığında substantia grisea'nın toplam hacim değerinin 5 aylık erkek ratlarda azaldığı gözlenmiştir. Ayrıca 1 aylık erkek ratlarda substantia grisea'nın hacim değerinin 5 aylık erkek ratların substantia grisea hacim değerinden daha yüksek olduğu kaydedilmiştir.

Rahmanifar ve ark. [28] ergin deve kuşunda pars thoracalis'in en az substantia grisea'ya sahip olduğunu pars cervicalis'in ise pars thoracalis'e göre nispeten daha fazla substantia grisea içerdiğini bildirmişlerdir. Mevcut çalışmada ise substantia grisea hacim değerinin substantia alba hacim değerinden düşük olduğu dikkati çekerken, elde edilen bulguların deve kuşundaki bulgulara benzerlik gösterdiği görüldü.

Leghorn ırkı tavuklarda gerçekleştirilen çalışmada [23] dişilerde substantia grisea hacim oranının pars caudalis'te ve pars lumbosacralis'te yüksek olduğu gözlenirken, erkeklerde bu oranın en fazla pars caudalis'te yüksek olduğu kaydedilmiştir. Rahmanifar ve ark. [28] devekuşunda yaptıkları çalışmada substantia grisea'nın pars lumbalis'te en yoğun olduğunu tespit etmişlerdir. Bolat ve Tıprıdamaz [23] Leghorn ırkı tavuklarda dişi ve erkek bireylerde substantia grisea'nın tüm medulla spinalis'e olan oranının en az olduğu bölümün pars cervicalis olduğunu, en yüksek oranın ise pars thoracalis'te olduğunu saptamıştır.

Yapılan bu çalışmada ise 1 aylık erkek ratlarda substantia grisea hacmi'nin tüm torakal spinal segmentin hacmine oran ortalaması 0.475 olarak hesaplandı. 5 aylık erkek ratlarda ise bu oran 0.328 olarak kaydedildi. 1 aylık erkek ratlara ait olan bu oranın 5 aylık erkek ratlara ait olan orandan yüksek olduğu, ergin ratlarda bu oranın düştüğü ve bunun yanı sıra substantia grisea hacim değerinin 5 aylık erkek ratlar ile 1 aylık erkek ratların arasında çok az farkın olduğu saptandı. Ayrıca yapılan bu çalışmada sadece ratta torakal segment hacim değerleri ortaya konulduğundan hacim değerleri açısından diğer bölüm segmentleriyle karşılaştırma fırsatı bulunamadı.

Leghorn ırkı tavukların medulla spinalis'i üzerine optik disektör ile yapılan stereolojik çalışmada bireyler arası varyasyon Coefficient of Variation (CV) değerleri hesaplanmış ve 0.5 'in altında bulunmuştur. Aynı çalışmada Coefficient of Error (CE) değerleri de 0.05 'in altında tespit edilmiştir. Böylelikle çalışmada kullanılan hayvan sayısı ve kesit sayısının yeterli olduğu ortaya konulmuştur. Rağbetli ve ark. [29]'nın düşük dozdaki diklofenak sodyumun doğum öncesi ratların T13 segment'indeki nöronlar üzerine etkisinin araştırılması üzerine yapmış oldukları çalışmada motonöron

sayısının değişmediğini ortaya koymuşlardır. Aynı zamanda bu çalışmada CE ve CV değerlerini hesaplamışlardır. CE değerlerinin 0.05'in altında CV değerlerinin ise 0.5'in altında olduğunu bulmuşlardır. Yapılan bu çalışmada ise CV değerleri hesaplanarak 0.5'in altında tespit edildi. CE değerleri de 0.05'in altında hesaplandı. Böylece yapılan çalışmada hayvan sayısı ve kesit sayısının yeterli olduğu ve çalışmanın hesaplamalar açısından güvenilir olduğu ortaya konulmuştur.

Medulla spinalis'in lumbal segmentlerinde kesit, substantia alba ve substantia grisea alanları ve alan oranları at, maymun, merkep, insan ve rat üzerinde yapılan morfometrik çalışmalarda birer değişken olarak sunulmuştur [30-34].

4. Sonuç ve Öneriler

Hacim değerlerinin hesaplanmasında birçok çalışmada stereoloji yöntemi kullanılmıştır. Stereoloji biyolojik objelerin üç boyutlu yapılarını, iki boyutlu kesitlerden elde edilmiş olan verilerden gerçekte var olan üç boyutlu özellikler hakkında yorumların yapılmasına imkân tanımış olan bir metottur. Kesitler, herhangi bir yapının içinden geçen ve o yapının bileşenleri ile kesişmiş olan düzlemler olarak düşünüldüğünde incelenen yapıya ait olan bileşenleri, bu kesitlerde kapsamış olduğu uzunluğun sayısı, büyüklük, alan ayrıca hacim oranıyla ilişkili bir şekilde iz düşümler meydana getirmektedir. Yapıyı oluşturan bileşenler ile ilgili bilgi bu iz düşümler vasıtasıyla elde edilmektedir. Stereoloji yöntemi ile yapılan çalışmalarda gerçeğe yakın verilere ulaşabilmek ve hata payını bertaraf edebilmek mümkündür.

Sonuç olarak bu çalışmada morfolojik ve stereolojik yöntemler kullanılarak, 1 aylık ve 5 aylık erkek ratların medulla spinalis'lerinin torakal segmentlerinin tamamına ait olan ve substantia alba ve substantia grisea hacim ve hacim oranlarına ait değerler hesaplanmış ve elde edilen veriler tablolar halinde verilmiştir. Yapılan bu çalışmanın sonuçları ile mevcut literatüre katkıda bulunulabileceği düşünülmektedir. Ayrıca ileride yapılacak olan çalışmalara öncülük edeceği kanaatindeyiz.

Teşekkür

Bu çalışma Asiye ARKAÇ TOYRAN'ın Yüksek Lisans Tezi'nden özetlenmiş olup, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından TYL-2018-7350 numaralı proje ile 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] Rudolf H. 1986. Anatomy and embriology of laboratory rat. BioMed Verlag, Wörthsee, 1-17.
- [2] Dursun N. 2000. Veteriner Anatomi III. Medisan Yayınevi, Ankara, 15-23.
- [3] Arıncı K., Elhan A. 2001. Anatomi. 3. Basım, Güneş Kitapevi, Ankara, 59-65.
- [4] Yıldırım M., Temel Nöroanatomi. 1. Basım, Nobel Tıp Kitapevi, İstanbul, 39-52.
- [5] Zeman W., Maitland J.M. 1963. Cragie's Neuroanatomy of the Rat (Revised and expanded). Innes, Academic Press Inc., New York, 230.
- [6] Bahadır A., Yıldız H. 2010. Veteriner Anatomi Hareket Sistemi ve İç Organlar. 3. Basım, Ezgi Kitapevi, İstanbul, 37-56.
- [7] Dursun N. 2008. Evcil Kuşların Anatomisi. Medisan Yayınevi, Ankara, 97-98.

- [8] Moore K.L., Persaud T.V.N. 2009. Embriyoloji ve doğum defektlerinin temelleri. (Çeviri: Müftüoğlu S., Atilla P., Kaymaz F.) 7. Basım, Güneş Tıp Kitabevi, Ankara.
- [9] Unur E., Ülger H., Ekinci N. 2002. Anatomi. Ufuk Kitabevi, Kayseri.
- [10] Schoenen J., Faull R.L.M. 2004. Spinal cord cyto and chemoarchitecture. In: George Paxinos JKM, editör, The human nervous system. 2 ed., Elsevier academic press, London, 190-228.
- [11] Baddeley A.J. 1991. Stereology. In: Spatial statistics and digital image analysis. Washington DC, Nat. Res. Co., 181-216.
- [12] Cruz-Orive L.M. 1993. Systematic sampling in stereology. Bull. Int. Statistic Institu, 451-468.
- [13] Mouton P.R. 2002. Principles and practices of unbiased stereology. John Hopkins University Press, 5-6.
- [14] Bancroft J.D, Stivens A., Turner D.R. 1996 Theory and Practice of Histological Technique. Fourth edition, Churchill Livingstone, 15: 76-81.
- [15] Cruz-Orive LM., Weibel E.R. 1990. Recent stereological methods for cell biology: a brief survey. Am J Physiol. Lung Cellular and Molecular Physiology, 258: 148-156.
- [16] Begum F., Zhu W., Namaka M.P., Frost E.E. 2010. A novel decalcification method for adult rodent bone for histological analysis of peripheral-central nervous system connections, 187 (1): 59-66.
- [17] Chiasson R.B. 1994. Laboratory anatomy of the white rat. 5th ed., WCB McGraw-Hill, Boston.
- [18] Ekim O., Oto Ç. 2015. Ratta Toraks Anatomisi. J Clic and Anal Med., 17-21.
- [19] Waibl H. 1973. Zur Topographie der Medulla spinalis der Albinoratte (*Rattus norvegicus*). Adv. Anat. Embryol. Cel., 47: 5-42.
- [20] Fitzgerald M.J.T. 1987. Anatomy and embriology of the laboratory rat. J Anat., 153: 256.
- [21] Paxinos G. 2004. The Rat Nervous System. 3. Basım, Prince of Wales Medical Research Institute, The University of New South Wales Sydney, Australia.
- [22] Rahım O.O., Çölçimen N., Rağbetli M.Ç. 2019. The effects of streptozotocin on spinal cord motor neurons count in rat: a stereological study. East J Med., 24 (2): 141-145.
- [23] Bolat D., Tıprıdamaz S. 2011. Leghorn ırkı kanatlılarda medulla spinalis'in stereolojik metodlar ile incelenmesi. Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- [24] Baumel E. 1966. Evcil hayvanların komparatif nörolojisi. A.Ü Vet. Fak Yayınları, 203-289.
- [25] Hazıroğlu R.M., Orhan I.O., Yıldız D., Gultiken M.E. 2001. Morphology of the spinal cord in the chicken, duck and pigeon. Turk J Vet Anim Sci., 25 (6): 913-920.
- [26] Nickel R., Schummer A., Seiferle E., Siller W., Wight P. 1977. Anatomy of the domestic birds. Parey New york, Springer-Verlag, Berlin.
- [27] Candan M., Çakmak G. 2017. Bir aylık ve beş aylık erkek ratlarda medulla spinalis'in servikal segmenti üzerine yapılan morfolojik ve stereolojik bir çalışma. Yüksek Lisans Tezi, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Van.
- [28] Rahmanifar F., Mansouri S., Ghazi S. 2008. Histomorphometric study of the spinal cord segments in the chick and adult male ostrich (*Struthio camelus*). Iranian J Vet Res IJVR. 25 (9): 336-340.
- [29] Rağbetli M.Ç., Kara M., Çölçimen N., Koyun N., Çakmak G., Akyol V., Deniz O.G., Yurt K.K. 2018. Prenatal exposure to low-dose diclofenac sodium does not affect total neuron numbers in spinal segment T13 in rats. J Chem Neuroanat., 87: 49-53.
- [30] Braun A. 1950. Der segmentale feibau des rückenmarks des pferdes. Acta Anat Basel, 10: 1-76.
- [31] Thomas C., Combs C.M. 1965. Spinal cord segments. B. Gross structure in the adult monkey. Am J Anat., 116 (1): 205-216.
- [32] Öcal M., Hazıroğlu R.M. 1988. Merkebin (*Equus asinus* L.) medulla spinalis'i üzerinde komparatif morfolojik araştırmalar. I Segmentlerin transversal kesitlerinin incelenmesi. Ankara Üniv. Vet. Fak. Derg., 35: 55-68.
- [33] Ko H., Park J.H., Shin Y.B., Beak S.Y. 2004. Gross quantitative measurements of spinal cord in human. Spinal Cord, 42: 35-40.
- [34] Pontiansky L., Barbeito C.G., Goya R.G., Gimeno E.J., Zuccolilli G.O. 2004. Morphometry of cervical segments grey matter in the male rat spinal cord. J Neu Meth., 139: 217-229.

Araştırma Makalesi / Research Article

IBM-1 Model ile çift-çift Fe İzotoplarının Nükleer Özelliklerinin İncelenmesi

Gül ÇAKIR ORUÇ^{1*}, Mahmut BÖYÜKATA²

¹Kırıkkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı, TR-71450, Kırıkkale

²Kırıkkale Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Fizik Anabilim Dalı, TR-71450, Kırıkkale
(ORCID: 0000-0001-5355-0899) (ORCID: 0000-0002-8065-9993)

Öz

Bu çalışmada, A~60 bölgesinde bulunan bazı çift-çift Fe izotoplarının nükleer yapı özellikleri etkileşen bozon modeli-1 (IBM-1) ile incelenmiştir. Bu incelemede, çift-çift Fe izotoplarının enerji seviyeleri ve elektromanyetik geçiş oranları hesaplanmıştır. Hesaplamalar, temel banttaki ilk 4_1^+ ve 2_1^+ seviyelerinin oranlarını ($R_{4_1^+/2_1^+}$), deneysel verileri bilinen diğer enerji seviyelerini, B(E2) geçiş değerlerini ve bunların oranlarını içermektedir. Öncelikle, incelenen izotopların deneysel enerji oranlarına bakılarak uygun model Hamiltonyeni oluşturulmuş ve sonra bu Hamiltonyenin parametreleri deneysel verilerden yola çıkılarak türetilmiştir. Daha sonra, bu izotopların enerji seviyeleri ve B(E2) geçiş değerleri hesaplanmış ve deneysel veriler ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca, yapısal davranışları hakkında fikir sahibi olmak için ^{50,52,56,58,60,62,64,66,68,70}Fe izotoplarının $R_{4_1^+/2_1^+} = E(4_1^+)/E(2_1^+)$, $R_{0_2^+/2_1^+} = E(0_2^+)/E(2_1^+)$, $R_1(E2) = B(E2: 4_1^+ \rightarrow 2_1^+)/B(E2: 2_1^+ \rightarrow 0_1^+)$ ve $R_2(E2) = B(E2: 0_2^+ \rightarrow 2_1^+)/B(E2: 2_1^+ \rightarrow 0_1^+)$ oranlarının nötron sayılarına göre değişimi incelenmiştir.

Anahtar kelimeler: Enerji seviyeleri, Elektromanyetik geçişler, Etkileşen bozon modeli-1 (IBM-1), Fe izotopları.

Investigation of Nuclear Properties of even-even Fe Isotopes within the IBM-1 Model

Abstract

In this study, the nuclear structure properties of some even-even Fe isotopes in the A~60 region were investigated within the interacting boson model-1 (IBM-1). The energy levels and electromagnetic transmission rates of even-even Fe isotopes were calculated in this investigation. The calculations include the ratios of the first 4_1^+ and 2_1^+ energy levels ($R_{4_1^+/2_1^+}$), the other experimentally known energy levels, the B(E2) values and their ratios. First of all, a suitable model Hamiltonian was constructed and later the parameters of this Hamiltonian derived from the experimental data. Afterwards, the energy levels and B(E2) values of these isotopes were calculated and then compared with experimental data. Furthermore, changing of $R_{4_1^+/2_1^+} = E(4_1^+)/E(2_1^+)$, $R_{0_2^+/2_1^+} = E(0_2^+)/E(2_1^+)$, $R_1(E2) = B(E2: 4_1^+ \rightarrow 2_1^+)/B(E2: 2_1^+ \rightarrow 0_1^+)$ and $R_2(E2) = B(E2: 0_2^+ \rightarrow 2_1^+)/B(E2: 2_1^+ \rightarrow 0_1^+)$ ratios of ^{50,52,56,58,60,62,64,66,68,70}Fe isotopes were investigated according to the neutron numbers to have an idea their structural behavior.

Keywords: Electromagnetic transitions, Energy levels, Interacting Boson Model, Fe isotopes.

1. Giriş

Kararlılık eğrisi boyunca, atom çekirdekleri birbirinden farklı davranışlar ve özellikler sergilemektedir. Deneysel sonuçlar [1] incelendiğinde, bu farklılıklar kararlılık eğrisinde bölgelere göre ve izotop, izoton, izobar çizgileri boyunca gözlenebilmektedir. Son yıllarda, A~50 bölgesinde yer alan orta kütleli çift-çift Fe izotopları için yapılan deneysel çalışmalar yanında, kabuk modeli, QRPN, etkileşen bozon modeli (IBM) gibi bazı modeller ile çalışmalar gerçekleştirilmiştir [2-9]. Çift-çift ^{50,52,54,56,58,60}Fe izotoplarının kuantum şekil faz geçişleri teorik olarak incelenmiştir [2]. ⁵²Fe ve ^{62,64,66}Fe izotoplarının 2^+

*Sorumlu yazar: guluskr19@gmail.com

Geliş Tarihi: 28.12.2020, Kabul Tarihi: 01.03.2021

seviyeleri ile B(E2) geçişleri kabuk model ile hesaplanmıştır [3] ve ilerleyen yıllarda $^{50,52}\text{Fe}$ ve $^{62-68}\text{Fe}$ izotopları için bu hesaplamalar tekrarlanmıştır [4]. Fe çekirdeğinin, $N=28-50$ sihirli sayıları arasında yer alan bütün çift-çift izotoplarının 2^+ enerjileri ve $B(E2; 2^+ \rightarrow 0^+)$ değerleri kabuk modeli ile incelenmiştir [5,6]. Bu Fe izotoplarının ve komşu Cr izotoplarının kolektif özellikleri etkileşen kabuk model ve etkileşen bozon modeli-2 (IBM-2) ile incelenmiştir [7]. Ortalama alan yaklaşım modelleri ile $^{56-68}\text{Fe}$ izotoplarının uyarılmış enerji durumları, E2 geçişlerinin yanında deformasyonları da incelenmiştir [8]. Kabuk modelinin Hilbert uzayı çerçevesinde ^{52}Fe izotopunun uyarılmış enerji seviyeleri ve enerji oranları Hamiltonyen parametreleri değiştirilerek nükleer şekil geçişleri incelenmiştir [9]. Son yıllarda Fe izotopları üzerine yapılan teorik çalışmalara bakıldığında, ağırlıklı olarak kabuk model ile yapıldığı görülmektedir. Bu çalışmada, $A \sim 60$ bölgesinde bulunan demir çekirdeğinin bilenen bütün çift-çift Fe izotopları etkileşen bozon modeli-1 (IBM-1) ile incelenmiştir. IBM-1 ile yapılan bu çalışma, temel banttaki uyarılmış 4_1^+ ve 2_1^+ seviyelerinin oranları yani $E(4_1^+)/E(2_1^+)$, diğer uyarılmış enerji seviyelerinin ve B(E2) geçiş değerlerinin hesaplamalarını içermektedir. Ayrıca, $E(0_2^+)/E(2_1^+)$, $B(E2: 4_1^+ \rightarrow 2_1^+)/B(E2: 2_1^+ \rightarrow 0_1^+)$ ve $B(E2: 0_2^+ \rightarrow 2_1^+)/B(E2: 2_1^+ \rightarrow 0_1^+)$ oranlarının nötron sayısına göre şekilsel değişimi analiz edilmiştir.

Makale içeriği şu şekilde düzenlenmiştir; giriş bölümünde, incelenen çekirdekler üzerine son yıllarda yapılan çalışmalar hakkında kısaca bilgi verilmiştir ve bu çalışmanın düzeni özetlenmiştir. İkinci bölümde, materyal ve yöntem açıklanmıştır, burada kullanılan Hamiltonyen ve diğer formülasyonlar alt başlıklar halinde sunulmuştur. Üçüncü bölümde, elde edilen sonuçlar tablo ve grafikler ile verilmiştir. $A \sim 60$ bölgesindeki incelenen çift-çift Fe izotopları için oluşturulan Hamiltonyen ve elde edilen parametreler verilmiştir. Hesaplanan uyarılmış enerji seviyeleri ve B(E2) değerleri grafikler ile verilmiş ve deneysel veriler ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca enerji oranları ve E2 geçiş oranlarının nötron sayısına göre değişimi şekiller ile verilmiştir. Bu izotopların yapısal davranışları dinamik simetrisi ve kritik noktaları dikkate alınarak tartışılmıştır. Son bölümde, sonuçların yorumları özetlenmiştir. Elde edilen hesaplamalar ile deneysel sonuçların uyumlu olduğu görülmüştür.

2. Materyal ve Metot

Nükleer çekirdeklerin sergiledikleri yapısal özellikleri açıklamak için çeşitli yaklaşımlar ortaya konmuştur [10]. Bu yaklaşımlardan bir tanesi de Lie cebri üzerine kurulmuş olan yani grup teoriksel bir yaklaşım olan etkileşen bozon model (IBM)'dir [11]. U(6) grubu üzerine kurulmuş olan bu model, orta ve ağır kütleli çift-çift çekirdeklere oldukça başarılı sonuçlar vermektedir. Günümüzde, çekirdeklerin yapısal özelliklerini açıklamak için aktif olarak farklı modeller ile birlikte kullanılmakta ve gelişimini devam ettirmektedir [12-15]. Günümüzde hala kullanılan ve sihirli sayıya sahip olmayan çift proton-çift nötron sayısına sahip çekirdeklerin açıklanmasında oldukça başarılıdır. Bu cebirsel modelde, incelenen çekirdek için sihirli sayılar arasındaki bozonların etkileşmesi dikkate alınır. Bozon sayısı yakın kapalı kabuklar dikkate alınarak hesaplanmaktadır.

2.1. Etkileşen Bozon Modeli-1 (IBM-1)

Etkileşen bozon yaklaşımı olarak adlandırılan IBM modeli, ilk olarak Feshbach ve Iachello tarafından ortaya konmuş ve çift-çift ^{16}O çekirdeğine uygulanmıştır [16,17]. İlerleyen yıllarda, Arima ve Iachello tarafından geliştirilmiştir [12]. Çift-çift çekirdeklerin düşük kolektif durumlarının açıklanması için kurulan bu yaklaşımda, proton ve nötronlar nükleon olarak ele alınır ve IBM-1 model olarak adlandırılır. En temel versiyon olan IBM-1 modeli, $L = 0$ ve $L = 2$ açılal momentumları dikkate alınır ve bu açılal momentumlara karşılık gelen s ve d bozonlarının etkileşimi üzerine kurulmuştur. sd-IBM olarak da adlandırılan bu modelde, $L = 0$ ($\mu = 0$)'dan kaynaklanan bir tane monopole s^+ bozon işlemcisi ve $L = 2$ ($\mu = -2, -1, 0, +1, +2$)'den kaynaklanan beş tane kuadrupole d_μ^+ bozon işlemcisi olmak üzere toplam altı işlemci mevcuttur. Bu altı işlemci, U(6) grubuna karşılık gelmektedir ve bundan dolayı IBM modeli U(6) grubu üzerine kurulmuştur. Bu grubun mümkün olan üç tane U(5), SU(3), O(6) alt grubu vardır ve bunlar dinamik simetrisi olarak adlandırılır. İncelenen çekirdeğin geometrisiyle de alakalı olan bu U(5)-titreşim, SU(3)-rotasyon (dönme) ve O(6)- γ -kararsız limitleri sırasıyla küresel, aksel deformasyon (prolate/oblate) ve γ -kararsız çekirdeklere karşılık gelmektedir. Küreselden deformasyon geçiş bölgesi arasında bulunan çekirdekleri model çerçevesinde incelemek mümkündür. IBM'in karakteristik

özellikleri grup teori ile üretildiği için bahsedilen U(5), SU(3), O(6) limitler için analitik çözümler ayrı ayrı ortaya konmuştur [11,12]. Ayrıca bu limitler arasında meydana gelen E(5) ve X(5) kritik nokta simetrisi Iachello tarafından ortaya konmuştur [18,19].

En yaygın kullanılan IBM-1 Hamiltonyeninin genel formu [12]

$$H = \varepsilon'' \hat{n}_d + a_0 \hat{P}^\dagger \hat{P} + a_1 \hat{L}^2 + a_2 \hat{Q}^2 + a_3 \hat{T}_3^2 + a_4 \hat{T}_4^2 \quad (1)$$

ile verilmektedir. Burada, \hat{n}_d bozon işlemcisi olup diğer \hat{P} , \hat{L} , \hat{Q} , \hat{T}_3 ve \hat{T}_4 terimleri sırasıyla çiftlenim, açısal momentum, kuadropol, oktipol ve hegzadepol işlemcileridir. Hamiltonyende ki katsayılar ise serbest parametreleri ifade etmektedir.

IBM-1'de E2 elektromanyetik geçiş operatörünün genel formu [11],

$$\hat{T}^{(E2)} = \alpha_2 [\hat{d}^\dagger \times \tilde{s} + \hat{s}^\dagger \times \tilde{d}]^{(2)} + \beta_2 [\hat{d}^\dagger \times \tilde{d}]^{(2)} \quad (2)$$

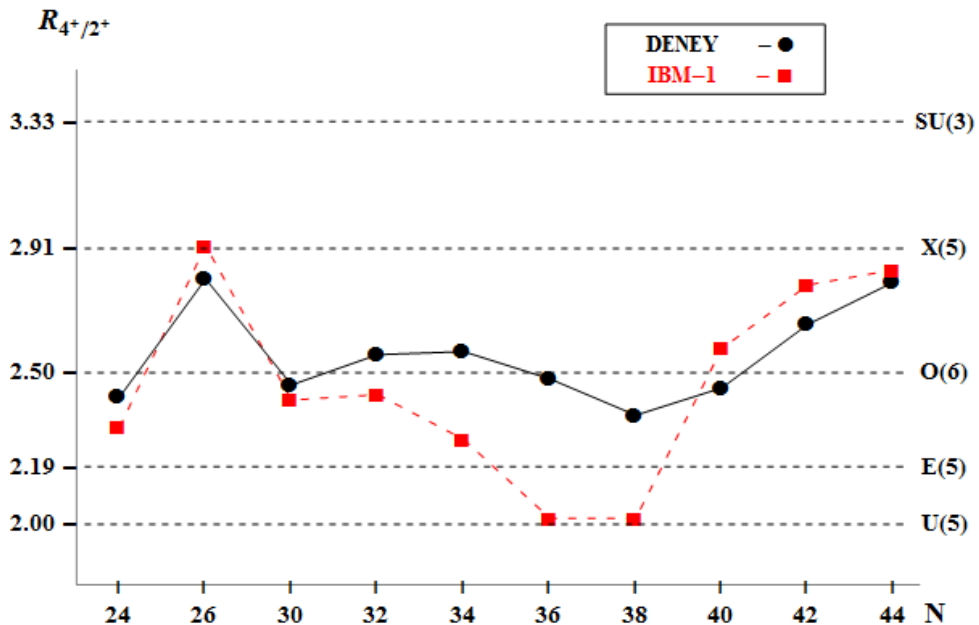
şeklinde. Burada, \hat{d} ve \hat{s} bozon işlemcileridir, α_2 ve β_2 ise serbest parametrelerdir. Uyarılmış seviyeler arasındaki elektriksel geçiş olasılıklarının yani B(E2)'nin değerleri

$$B(E2; L_i \rightarrow L_s) = \frac{1}{2L_i+1} |(\langle L_s || \hat{T}^{(E2)} || L_i \rangle)|^2 (eb)^2 \quad (3)$$

ile azaltılmış matris elemanlarına bağlı olarak verilmektedir.

3. Bulgular ve Tartışma

IBM-1 modeli ile incelenen $^{50,52,56,58,60,62,64,66,68,70}\text{Fe}$ izotopları karalılık eğrisinin A~50 bölgesinde bulunmaktadır. ^{54}Fe izotopunun nötron sayısı 28'dir ve bu sihirli sayı olduğu için nötron bozon sayısı sıfır. Bundan dolayı toplan bozon sayısı hesaplanamayacağı için hesaplara dâhil edilmemiştir. $^{50,52,56,58,60,62,64,66,68,70}\text{Fe}$ izotoplarının nötron sayıları sırasıyla 24, 26, 30, 32, 34, 36, 38, 40, 42, 44'dür. Model çerçevesinde incelenen çekirdeğin bozon sayıları en yakın sihirli sayı dikkate alınarak hesaplanır. Her bir nükleon çifti bir bozona karşılık gelir ve bu şekilde bütün Fe izotoplarının hesaplanan bozon sayıları Tablo 1'de sunulmuştur. İncelenen çekirdeğin nükleer yapısal davranışlarını anlamak için öncelikle, temel bantta yer alan ilk iki uyarılmış 4_1^+ ve 2_1^+ seviyelerinin enerji oranlarına ($R_{4^+/2^+}$) bakılabilir. Bu izotopların deneysel $R_{4^+/2^+}$ oranlarının nötron sayılarına göre değişimi Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Çift-çift Fe izotoplarının deneysel [1] ve hesaplanan $R_{4^+/2^+}$ oranlarının nötron sayılarına göre değişimi

Görüldüğü gibi, Şekil 1, modelin dinamik simetrilerinin yani U(5), SU(3), O(6) limitlerinin ve X(5), E(5) kritik noktalarının tipik enerji oranları değerlerini de içermektedir. Şekil incelendiğinde, $^{50,52,56,58,60,62,66}\text{Fe}$ izotoplarının deneysel enerji oranları O(6) limitine yakın olup γ –kararsız şekil sergileyebileceği öngörülebilir. $^{52,68,70}\text{Fe}$ izotoplarının enerji oranı X(5) kritik noktasına yakın olup geçiş bölgesindedir. ^{64}Fe izotopu ise O(6) ile E(5) kritik noktası arasında yer almaktadır.

Bu izotopların, uyarılmış enerji seviyelerini hesaplamak için IBM-1 modeli çerçevesinde yazılan PHINT kodu kullanılmıştır. Hesaplamalarda kullanılan model Hamiltonyeni ise aşağıdaki şekildedir;

$$H = (eps)\hat{n}_d + (pair)\hat{P}^+\hat{P} + (ell)\hat{f}^2 + (qq)\hat{Q}^2 + (oct)\hat{T}_3^2 + (hex)\hat{T}_4^2 \quad (4)$$

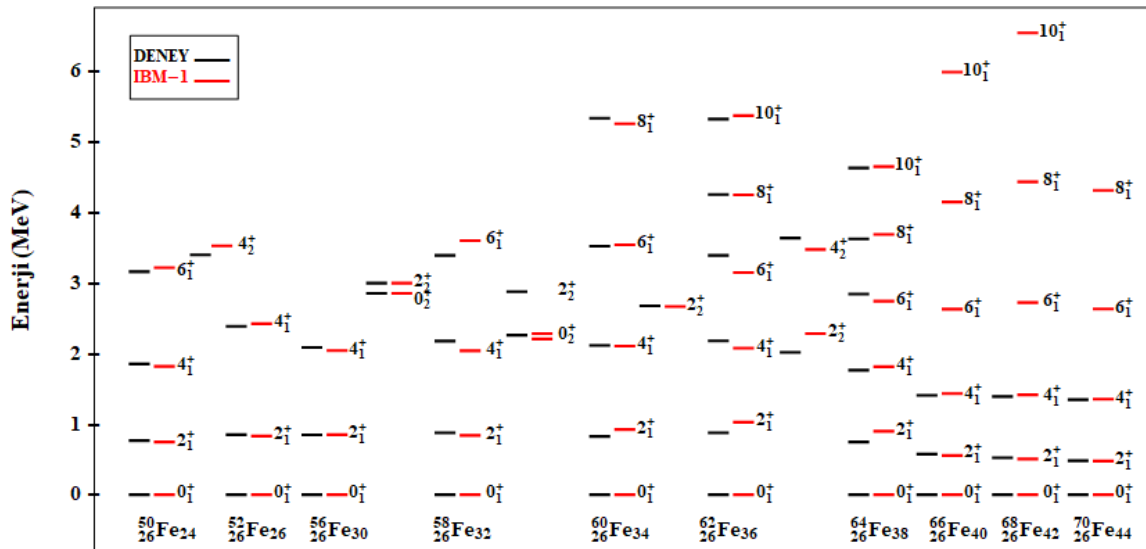
burada verilen katsayılar denklem (1)'de verilen Hamiltonyenin katsayıları olup serbest parametreleri temsil etmektedir ve PHINT kodunun [20] giriş parametreleri formatında yazılmıştır. Bu çalışma çerçevesinde, incelenen $^{50,52,56,58,60,62,64,66,68,70}\text{Fe}$ izotopları için üretilen serbest Hamiltonyen parametreleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. $^{50,52,56,58}\text{Fe}$ izotoplarının bozon sayıları (N*) ve IBM-1'de kullanılan Hamiltonyen parametreleri

PHINT	^{50}Fe	^{52}Fe	^{56}Fe	^{58}Fe	^{60}Fe	^{62}Fe	^{64}Fe	^{66}Fe	^{68}Fe	^{70}Fe
N	3	2	2	3	4	5	6	6	5	4
eps	0.1	0.26	0.72	-	0.03	0.828	0.94	0.32	0.21	0.179
pair	-	-	-	0.285	0.9	-	-	-	0.001	0.001
oct	0.08	-	-	0.091	0.115	0.0285	-	-	-	-
qq	-	-	-0.4	-	-	-	-0.01	-	-	-
ell	0.0425	0.19	-0.085	0.0672	0.035	-0.001	-	0.08	0.1	0.1
chq	-	-	-2.1	-	-	-	-3.07	-	-	-

* N bozon sayısıdır (nötron sayısı değil)

Tablo 1 incelendiğinde, $^{50,58,62,64,68,70}\text{Fe}$ izotopları için üç parametre, $^{52,66}\text{Fe}$ izotopları için iki parametre ve $^{56,60}\text{Fe}$ izotopları için dört parametre kullanılmıştır. Bu parametreler ile hesaplanan sonuçlar Şekil 2'de verilmiştir.

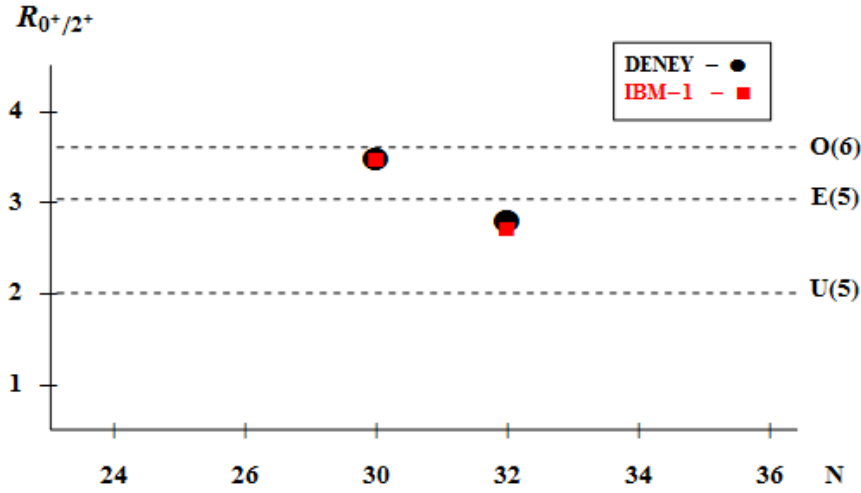


Şekil 2. $^{50,52,56,58,60,62,64,66,68,70}\text{Fe}$ izotoplarının deneysel [1] ve hesaplanan uyarılmış enerji spektrumları

Şekil 2 incelenen $^{50,52,56,58,60,62,64,66,68,70}\text{Fe}$ izotoplarının hesaplanan ve deneysel [1] uyarılmış enerji seviyelerini içermektedir. Şekil incelendiğinde, hesaplanan sonuçların deneysel veriler ile genelde uyumlu olduğu görülmektedir. IBM-1 modeli ile bozon sayının iki katına kadar olan seviyeler hesaplanabilmektedir. Örneğin, ^{50}Fe izotopunun bozon sayısı N=3 olduğundan, temel bantta 6_1^+

seviyesine kadar olan seviyeler hesaplanabilmiştir. Aynı nedenden dolayı, ^{58}Fe izotopunun da 6_1^+ seviyesine kadar olan uyarılmış durumların hesabı yapılmıştır. Diğer ^{52}Fe ve ^{56}Fe izotoplarının bozon sayısı iki olduğu için uyarılmış 4_1^+ seviyesine kadar hesap gerçekleştirilmiştir. Diğer izotoplarında enerji seviyeleri bozon sayılarına göre hesaplanmıştır. $^{50,56,58,60,62}\text{Fe}$ izotoplarının diğer bantlarda yer alan ve deneysel olarak bilinen uyarılmış seviyeleri de hesaba dâhil edilmiştir. ^{52}Fe izotopunun, sadece 2_1^+ ve 4_1^+ uyarılmış seviyelerinin hesabı gerçekleştiği için Tablo 1’de görüldüğü üzere az sayıda parametre kullanılmıştır. Diğer izotoplarda ise temel bant dışında ki uyarılmış seviyeler de hesaba dâhil edilmiştir ve bundan dolayı daha fazla parametreye ihtiyaç duyulmuştur.

Hesaplanan $R_{4^+/2^+}$ oranları Şekil 1’e de eklenmiştir, görüldüğü üzere, bunların da deneysel veriler ile uyumlu olduğu görülmekte ve birbirini desteklemektedir. Dolayısıyla bu uyum, Hamiltonyen parametrelerinin uygun olduğunu göstermektedir. Şekil 1’de verilen, hesaplanan enerji oranları incelendiğinde $^{56,58,66}\text{Fe}$ izotoplarının O(6) limitine yakınken $^{62,64}\text{Fe}$ izotoplarının U(5) limitine yakın olduğu görülmektedir. $^{50,60}\text{Fe}$ izotopları O(6) limiti ile E(5) kritik noktası arasında yer alırken, $^{52,68,70}\text{Fe}$ izotopları ise X(5) kritik noktasına yakındır, dolayısıyla IBM-1 ile hesaplanan enerji oranlarına göre bu izotopların geçiş bölgesinde yer aldığına işaret etmektedir. Sadece $R_{4^+/2^+}$ oranına bakmak, incelenen Fe izotoplarının yapısal davranışını anlamak için yeterli değildir, bunun dışında, $R_{0^+/2^+}$ oranlarının nötron sayısına göre değişimi Şekil 3’de sunulmuştur.



Şekil 3. $^{56,58}\text{Fe}$ izotoplarının deneysel [1] ve hesaplanan $R_{0^+/2^+}$ oranlarının nötron sayılarına göre değişimi.

Şekil 3, U(5)-O(6) limitleri ve E(5) kritik noktasının $R_{0^+/2^+}$ oranlarının tipik değerleri ve deneysel sonuçları bilinen $^{56,58}\text{Fe}$ izotoplarının enerji oranlarını içermektedir. Şekilden de anlaşılacağı üzere bu iki izotop E(5) kritik noktasına yakındır. Hesaplanan sonuçlarda deneysel verileri doğrulamaktadır. Buna göre bu izotoplar, U(5)-O(6) arasında yer alan E(5) kritik noktası civarındadır.

Uyarılmış enerji seviyeleri kadar elektromanyetik geçiş oranları da nükleer yapıyı anlamak için önemlidir. IBM-1 model çerçevesinde, B(E2) geçişlerinin hesaplanmasında, (2) numaralı denklemde verilen serbest parametrelerin elde edilmesi için incelenen izotopların her biri için deneysel $B(E2: 2_1^+ \rightarrow 0_1^+)$ geçiş değerleri referans alınmıştır. (2) numaralı eşitlikte verilen E2 elektromanyetik geçiş operatörü,

$$\hat{T}^{(E2)} = E2SD[\hat{d}^\dagger \times \tilde{s} + \hat{s}^\dagger \times \tilde{d}]^{(2)} + E2DD[\hat{d}^\dagger \times \tilde{d}]^{(2)} \quad (5)$$

şeklinde tekrar yazılabilir. Buradaki katsayılar, PHINT-PBEM kodunda yer alan serbest parametrelere karşılık gelmektedir. Her izotop için üretilen parametreler Tablo 2’de sunulmuştur.

Tablo 2. $^{50,52,56,58}\text{Fe}$ izotoplarının B(E2) değerleri için kullanılan parametreler

	^{50}Fe	^{52}Fe	^{56}Fe	^{58}Fe	^{60}Fe	^{62}Fe
E2SD	0.098	0.0906	0.099	0.0768	0.0546	0.0642
E2DD	-0.0317	-0.0317	-0.0317	-0.0317	-0.0317	-0.0317

Tablo 2'deki parametreler her bir izotopun diğer B(E2) geçiş değerlerinin hesabı içinde kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 3'de sunulmuştur.

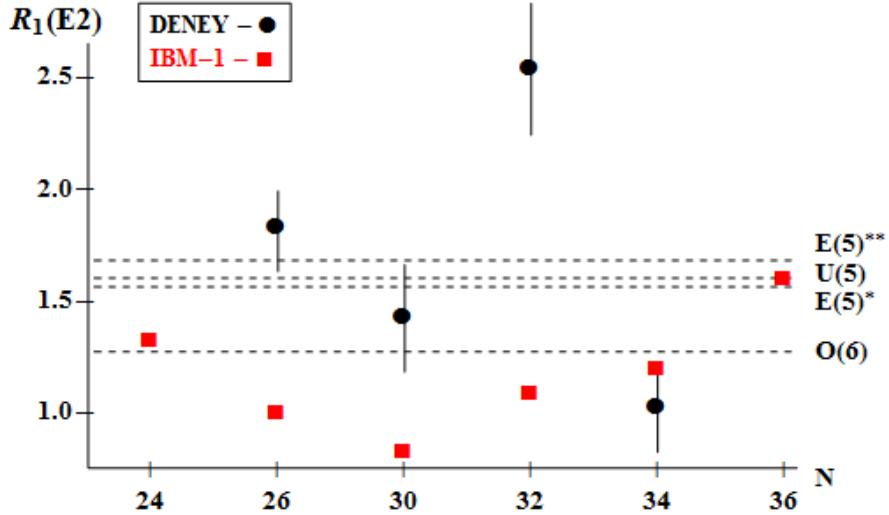
Tablo 3. Deneysel [1] ve hesaplanan B(E2) değerleri ($\times 10^{-2}e^2b^2$).

Çekirdek	$J_i \rightarrow J_s$	Deney	Hesap
^{50}Fe	$2_1^+ \rightarrow 0_1^+$	2,845 (0,657)	2,88
	$4_1^+ \rightarrow 2_1^+$		3,84
	$6_1^+ \rightarrow 4_1^+$		2,88
^{52}Fe	$2_1^+ \rightarrow 0_1^+$	1,637 (0,219)	1,64
	$4_1^+ \rightarrow 2_1^+$	2,998 (0,692)	1,64
^{56}Fe	$2_1^+ \rightarrow 0_1^+$	2,138 (0,089)	2,14
	$4_1^+ \rightarrow 2_1^+$	3,054 (0,636)	1,77
^{58}Fe	$2_1^+ \rightarrow 0_1^+$	2,467 (0,080)	2,48
	$4_1^+ \rightarrow 2_1^+$	6,268 (0,934)	2,70
	$6_1^+ \rightarrow 4_1^+$	3,467 (1,333)	1,77
^{60}Fe	$2_1^+ \rightarrow 0_1^+$	1,898 (0,195)	1,91
	$4_1^+ \rightarrow 2_1^+$	1,953 (0,558)	2,30
	$6_1^+ \rightarrow 4_1^+$		1,99
	$8_1^+ \rightarrow 6_1^+$		1,19
^{62}Fe	$2_1^+ \rightarrow 0_1^+$	2,055 (0,233)	2,06
	$4_1^+ \rightarrow 2_1^+$		3,30
	$6_1^+ \rightarrow 4_1^+$		3,71
	$8_1^+ \rightarrow 6_1^+$		3,30
	$10_1^+ \rightarrow 8_1^+$		2,06

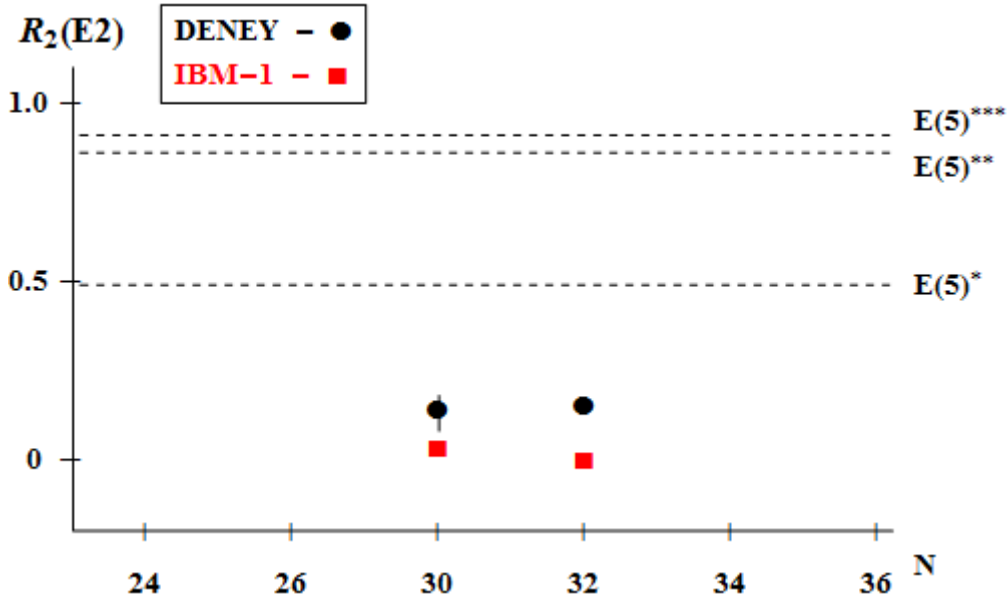
Tablo 3 incelendiğinde ve deneylerdeki hata paylarını da göz önünde tutulduğunda hesaplanan sonuçlar, özellikle $B(E2: 2_1^+ \rightarrow 0_1^+)$ değerleri için, deneysel veriler ile oldukça uyumlu olduğu görülmektedir. Henüz deneysel olarak bilinmeyen B(E2) geçiş değerleri için tahmini olarak hesaplanan sonuçlarda tabloya eklenmiştir. B(E) geçişlerinin bazı oranlarının nötron sayısına göre değişimi Şekil 4 ve Şekil 5'de verilmiştir.

Şekil 4'de, temel bantta meydana gelen $B(E2: 4_1^+ \rightarrow 2_1^+)$ geçişinin $B(E2: 2_1^+ \rightarrow 0_1^+)$ geçişine oranının nötron sayısına göre değişim grafiği verilmiştir. Grafik incelendiğinde, deneysel verileri bilinen $^{52,56,58,60}\text{Fe}$ izotoplarının oranları ve bunların hata payları mevcuttur. Bu izotopların $R_1(E2)$ oranları, IBM-1 model ile hesaplanmış olup, deneysel verisi bilinmeyen $^{50,62}\text{Fe}$ izotopları için de tahmin yapılmıştır. Ayrıca, Şekil 4 küresel şekilden deforme γ -kararsız şekle yani $U(5) \rightarrow O(6)$ 'ya geçişi ve bu iki şekil arasında bulunan aynı zamanda E(5) kritik noktanın [18,21,22] ve ilgili dinamik simetrilerin tipik $R_1(E2)$ oranı değerlerini içermektedir. Şekilden görüldüğü gibi ^{52}Fe ve ^{56}Fe izotopları E(5) kritik noktasının yakınında yer almakta ve $^{58,60}\text{Fe}$ izotoplarının oranı bu bölgenin uzağındadır ancak ^{60}Fe izotopu O(6) limitine yakındır.

Şekil 5'de, $B(E2: 0_2^+ \rightarrow 2_1^+)$ geçişinin $B(E2: 2_1^+ \rightarrow 0_1^+)$ geçişine oranının nötron sayısına göre değişim grafiği verilmiştir. Deneysel veri olarak sadece $^{56,58}\text{Fe}$ izotoplarının değerleri vardır. Bu oranda da E(5) kritik noktasının tipik $R_2(E2)$ oranı için farklı iki kaynaktan elde edilen değeri verilmiştir. Şekil 5 incelenen $^{56,58}\text{Fe}$ izotoplarının, farklı kaynaklardan [18,21,22] alınan üç farklı E(5) kritik nokta değerlerine göre davranışını göstermektedir. Grafik incelendiğinde, bu izotopların $R_2(E2)$ oranları bakımından E(5) kritik noktası etrafında yer aldığını söylemek mümkündür.



Şekil 4. $^{50,52,56,58,60,62}\text{Fe}$ izotoplarının $R_1(E2) = B(E2: 4_1^+ \rightarrow 2_1^+)/B(E2: 2_1^+ \rightarrow 0_1^+)$ oranlarının nötron sayısına göre değişimi (*[18,22], **[21])



Şekil 5. $^{56,58}\text{Fe}$ izotoplarının $R_2(E2) = B(E2: 0_2^+ \rightarrow 2_1^+)/B(E2: 2_1^+ \rightarrow 0_1^+)$ oranlarının nötron sayısına göre değişimi (*[21], **[18], ***[22])

4. Sonuç

Bu çalışmada, $A \sim 60$ bölgesinde yer çift-çift $^{50,52,56,58,60,62,64,66,68,70}\text{Fe}$ izotoplarının nükleer yapı özellikleri IBM-1 modeli ile incelenmiştir. ^{54}Fe izotopunun, nötron sayısı sihirli sayı ve nötron bozon sayısı sıfır olduğu için bu çalışmaya dâhil edilmemiştir. İnceleme çerçevesinde, öncelikle model Hamiltonyeni oluşturularak, bu izotopların enerji seviyeleri hesaplanarak, deneysel veriler ile karşılaştırılarak parametrelerin uyumlu olduğu gözlemlenmiştir. Sonrasında, bu izotopların deneysel olarak $B(E2)$ geçiş olasılıkları hesaplanmış ve henüz deneysel verileri bilinmeyen $B(E2)$ değerleri IBM-1 modeli ile tahmin edilmiştir. Ayrıca, bu izotopların $R_{4+2^+} = E(4_1^+)/E(2_1^+)$ ve $R_{0+2^+} = E(0_2^+)/E(2_1^+)$ oranları hesaplanarak, nötron sayısına göre değişimi ve U(5), SU(3), O(6) dinamik simetrilere ve de X(5), E(5) kritik noktalarına göre şekilsel davranışı ele alınmıştır. R_{4+2^+} oranlarının değişimine göre bakıldığında, ^{50}Fe , ^{56}Fe , ^{58}Fe , ^{60}Fe , ^{62}Fe , ^{64}Fe ve ^{66}Fe izotoplarının O(6) limitine yakın olup γ -kararsız şekil sergilerlerken, ^{52}Fe , ^{68}Fe ve ^{70}Fe izotoplarının X(5) kritik noktasına yakın olup geçiş bölgesine yer aldığı görülmüştür. R_{0+2^+} enerji oranlarına göre $^{56,58}\text{Fe}$ izotopları E(5) kritik noktası civarında yer almaktadır. Enerji oranlarının yanında $B(E2)$ geçiş olasılık değerlerinin $R_1(E2) = B(E2: 4_1^+ \rightarrow 2_1^+)/B(E2: 2_1^+ \rightarrow 0_1^+)$

0_1^+) ve $R_2(E2) = B(E2: 0_2^+ \rightarrow 2_1^+)/B(E2: 2_1^+ \rightarrow 0_1^+)$ oranlarının nötron sayılarına göre değişimi incelenmiştir. $R_1(E2)$ oranına göre; ^{52}Fe ve ^{56}Fe izotopları E(5) kritik noktasına yakın yer alırken $^{58,60}\text{Fe}$ izotopları bu noktanın uzağındadır. Çalışmanın son kısmında ise deneysel $B(E2: 0_2^+ \rightarrow 2_1^+)$ değerleri bilinen ^{56}Fe ve ^{58}Fe izotopların $R_2(E2)$ oranının E(5) kritik noktasına göre durumu incelenmiştir. Sonuçlar genel olarak değerlendirildiğinde, 28 nötron sihirli sayısının yakınında bulunan $^{56,58}\text{Fe}$ izotoplarının U(5)-O(6) geçiş bölgesinde yer aldığı görülmektedir. $R_{4^+/2^+}$ ve $R_{0^+/2^+}$ enerji oranlarına göre ve $R_1(E2)$ ve $R_2(E2)$ geçiş oranlarına göre bu izotopların nötron sayısına göre değişimine bakıldığında, özellikle ^{56}Fe ve ^{58}Fe izotoplarının E(5) civarında yer alabileceği görülmektedir.

A~60 bölgesinde bulunan ve egzotik çekirdekleri de içeren bütün Fe izotopları bu çalışmada IBM-1 çerçevesinde incelenmiştir. Bu çekirdek ile aynı bölgede yer alan, Cr çekirdeğinin bütün çift-çift izotoplarının nükleer yapısal özellikleri QRPN ve IBM-1 ile çalışılmıştır [23,24]. Hartree-Fock-Bogoliubov (HFB) yaklaşımı ile SLy4 ve SLy5 Skyrme kuvvetlerini hesaba dahil edilerek $^{38-66}\text{Ti}$ izotoplarını incelenmiş ve bu izotopların küreselden γ -kararsız şekle geçiş sergilediği ortaya konmuştur [25]. Ayrıca, çift-çift $^{44-48,52-60}\text{Ti}$ izotoplarının yapısal özellikleri IBM-1 modeli incelenmiş ve sonuçların deneysel veriler ile uyumlu olduğu gösterilmiştir [26]. Son yıllarda yapılan çalışmalar genel olarak değerlendirildiğinde [23-26], A~60 bölgesinde bulunan çekirdeklerin izotop zinciri boyunca kendi aralarında farklı yapısal özellikler sergilediği görülmektedir. Fe çekirdeği ve komşu çekirdeklerinin izotopları için kabuk modeli, IBM-2, QRPN, RMF gibi diğer nükleer modeller ile çalışmalar yapılmalı ve elde edilen sonuçlar kendi aralarında karşılaştırılmalıdır. Ayrıca, yapılacak olan güncel deneysel çalışmalara paralel olarak, bu ve benzer teorik hesaplamaların tekrar yapılması bu izotopların yapılarını daha iyi anlamak için önem arz etmektedir.

Teşekkür

Bu çalışma 119F127 numaralı Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) projesi ile desteklenmiştir.

Yazarların Katkısı

Çalışmaya tüm yazarlar eşit oranda katkı sunmuştur.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar

- [1] National Nuclear Data Center (NNDC).2020. <https://nndc.bnl.gov> (Erişim Tarihi: 15.06.2020).
- [2] Bai H.B., Li X.W. 2011. Shape phase transition in neutron-rich even-even light nuclei with $Z=20-28$. Chinese Physics C, 35: 925-929.
- [3] Pritychenko B., Choquette J., Horoi M., Karamy B., Singh B. 2012. An update of the B(E2) evaluation for $0_1^+ \rightarrow 2_1^+$ transitions in even-even nuclei near $N \sim Z \sim 28$. Atomic Data and Nuclear Data Tables, 98: 798-811.
- [4] Pritychenko B., Birch M., Singh B., Horoi M. 2016. Tables of E2 transition probabilities from the first 2^+ states in even-even nuclei. Atomic Data and Nuclear Data Tables, 107: 1-139.
- [5] Kaneko K., Mizusaki T., Sun Y., Tazaki S. 2014. Toward a unified realistic shell-model Hamiltonian with the monopole-based universal force. Physical Review C 89, 011302 (R): 1-5.
- [6] Coraggio L., Covello A., Gargano A., Itaco N. 2014. Realistic shell-model calculations for isotopic chains “north-east” of ^{48}Ca in the (N,Z) plane. Physical Review C 89, 024319: 1-12.

- [7] Kotila J., Lenzi S.M. 2014. Collective features of Cr and Fe isotopes, *Physical Review C* 89, 064304: 1-8.
- [8] Jiao C.F., Pei J.C., Xu F.R. 2014. Beyond-mean-field calculations of collectivities of neutron-rich Fe and Cr isotopes. *Physical Review C* 90, 054314: 1-6.
- [9] Karampagia S., Zelevinsky V. 2016. Nuclear shape transitions, level density, and underlying interactions. *Physical Review C* 94, 014321: 1-10.
- [10] Heyde K. 2004. *Basic Ideas and Concepts in Nuclear Physics: An Introductory Approach*. Third Edition, Institute of Physics Publishers, Bristol and Philadelphia, 1-638.
- [11] Iachello F., Arima A. 1987. *The Interacting Boson Model*. Cambridge University Press, 1-250.
- [12] Casten R.F., Warner D.D. 1988. The interacting boson approximation. *Reviews of Modern Physics*, 60: 389-469.
- [13] Casten R.F. 2006. Shape phase transitions and critical-point phenomena in atomic nuclei. *Nature Physics*, 2: 811-820.
- [14] Cejnar P., Jolie J. 2009. Quantum phase transitions in the interacting boson model. *Progress in Particle and Nuclear Physics*, 62: 210-256.
- [15] Cejnar P., Jolie J., Casten R.F. 2010. Quantum phase transitions in the shapes of atomic nuclei. *Reviews of Modern Physics*, 82: 2155-2212.
- [16] Feshbach H., Iachello F. 1973. The interacting boson model structure of ^{16}O . *Physics Letters*, 45B: 7-11.
- [17] Feshbach H., Iachello F. 1974. The interacting boson model. *Annals of Physics*, 84: 211-231.
- [18] Iachello F. 2000. Dynamic Symmetries at the Critical Point. *Phys. Rev. Lett.*, 85: 3580-3583.
- [19] Iachello F. 2001. Analytic description of critical point nuclei in a spherical-axially deformed shape phase transition. *Physical Review Letters* 87, 052502: 1-4.
- [20] Scholten O. 1979. The program package PHINT.
- [21] Arias J.M. 2001. E2 transitions and quadrupole moments in the E(5) symmetry. *Phys. Rev. C* 63, 034308: 1-5.
- [22] Caprio M.A. 2002. Finite well solution for the E(5) Hamiltonian. *Physical Review C* 65, 031304(R): 1-4.
- [23] Nabi J.U., Büyükata M., Ullah A., Riaz M. 2020. Nuclear structure properties of even-even chromium isotopes and the effect of deformation on calculated electron capture cross sections. *Nuclear Physics A* 1002, 121985: 1-19.
- [24] Ullah A., Riaz M., Nabi J.U., Büyükata M., Çakmak N. 2020. Effect of deformation on gamow-teller strength and electron capture cross-section for isotopes of chromium. *Bitlis Eren University Journal of Science and Technology*, 10: 25-29.
- [25] Bayram T. 2012. An investigation on shape evolution of Ti isotopes with Hartree-Fock-Bogoliubov theory, *Modern Physics Letter A* 27(28), 1250162 1-13.
- [26] Şahin Y., Büyükata M. 2021. Description of even-even Ti isotopes within IBM-1 model. *Cumhuriyet Science Journal*, 42 (1).

Araştırma Makalesi / Research Article

Analysis of Linear Consecutive-2-out-of-n: F Repairable System with Different Failure Rate

Fahrettin ÖZBEY^{1*}, Gökhan GÖKDERE²

¹Bitlis Eren University, Faculty of Science and Arts, Department of Statistics, Bitlis

²Firat University, Faculty of Science, Department of Statistics, Elazığ
(ORCID: 0000-0002-7847-739X) (ORCID: 0000-0001-7004-7670)

Abstract

In the reliability analysis, when the reliability of a repairable consecutive-k-out-of-n system is considered, the components are generally supposed to have an equal failure rate. In practice, this assumption may fail. Therefore, in this paper it is adopted that the lifetime of each component are random variables, exponentially distributed, with different failure rates. The time required to repair is an exponential random variable and each component after repair is as durable as new. In this paper, we proposed a model for the state transition probability of this repairable system when components have unequal failure rates. The system mean time to first failure was also studied.

Keywords: Repairable consecutive system, Markov process, Mean time to first failure.

Farklı Hata Oranlı Doğrusal Ardışık n-den 2 Çıkışlı Tamir Edilebilir F Sistemin Analizi

Öz

Güvenilirlik analizinde, tamir edilebilir ardışık n-den k-çıkışlı sistemin güvenilirliği elde edilirken genellikle bileşenlerin eşit hata oranlarına sahip olduğu varsayılır. Uygulamada bu varsayım hatalı olabilir. Bu nedenden dolayı bu çalışmada her bir bileşenin ömrü farklı hata oranlarına sahip üstel tesadüfi değişken olarak ele alınmıştır. Tamir için gerekli süre üstel tesadüfi değişken olarak tanımlanmıştır ve tamirden sonra her bir bileşen yeni bir bileşen kadar iyi durumdadır. Bu çalışmada, bileşenlerin eşit olamayan hata olasılıklarına sahip olduklarında bu tamir edilebilir sistemin durum geçiş olasılıkları için bir model önerilmiştir. Ayrıca sistemin ilk ortalama arızalanma süresi de incelenmiştir.

Anahtar kelimeler: Tamir edilebilir ardışık sistem, Markov süreci, İlk ortalama arızalanma süresi.

1. Introduction

As the technology develops it becomes more complicated to deal with the reliability analysis of systems consisting of the mixture of series and parallel connected components. To overcome this problem, more convenient and more reliable consecutive k -out-of- n (Con- k - n) and related systems are proposed. These systems are called linear and circular taking into account the connection structures of the components in the system. In addition, if the system is designed on the functioning, it is called G system, and if the system is designed on the principle of failure, it is called F system. A Con- k - n : F system consists of n components, and this system fails if at least k consecutive components fail [1]. This system was presented by Kontoleon [1] in 1980. On the other hand, a Con- k - n : G system works if at least k consecutive components work. Both of them can be either linear or circular. In the literature, there are many studies on such system structures mentioned above. For further reference, see [2-8], among others. However, in most of these studies, the system is designed as a non-repairable system. There is limited

*Corresponding author: fozbe2023@gmail.com

Received: 30.12.2020, Accepted: 01.03.2021

number of studies on repairable consecutive- k -out-of- n systems (Rep-Con- k - n) in the literature. A linear Rep-Con- $2/n$: F system considering generalized transition probability (GTP) is studied by [9]. A linear Rep-Con- $(n-1)/n$: G system is analyzed by [10]. Later on, Rep-Con- k - n : G system with $k > n/2$ is considered by [11]. Assigning different priorities to the failed components, a circular Rep-Con- $2-n$: F system is studied by [12]. The work [9] is generalized by [13]. In literature, the components are generally supposed to have an equal failure rate. But this assumption is not justified in many situations. For example, components of the same brand that were made in different factories or times show varying life spans. Also because components may have been used in different systems and they may have worn out differently. Some recent works on k -out-of- n systems are in Navas et al. [14], Wang et al. [15], Gökdere and Güral [16], Gökdere et al. [17].

A Rep-Con- $2-n$: F system with Markov dependence was investigated by [18]. Then, a system with 1-step Markov dependence was analyzed by [19]. Later on, a system with $(k-1)$ -step Markov dependence was considered by [20].

In this paper, a linear Rep-Con- $2-n$: F system is analyzed under the assumption that components do not have equal failure rates. A new model is developed for the state transition probabilities (STP) in the system. The mean time to first failure (MTTFF) of this system is obtained.

The organization of this paper is as follows. In Section 2, at first the preliminary assumptions are given and then the concept of STP is defined. In Section 3, a general methodology is presented for MTTFF of the repairable system and dynamic performance probabilities of the irreparable system, respectively. In Section 4, the numerical results are given for a special linear Rep-Con- $2-n$: F system with five components. In the last section, we summarize what we have done in the article.

2. Material and Method

For the linear Rep-Con- $2-n$: F system, first, we suggest the following model assumptions. Then, the state of the system at time t , $N(t)$, is given. Finally, we obtain some mathematical formulations for the STP. To start with, we give the following definition.

Let $\{N(t), t \geq 0\}$ be a continuous-time homogeneous Markov process with state space Ω . Also let $\rho_{\xi(m)}$ be the probability that the process starts in the m th case of state ξ under the condition that the state of the system at time t is equal to ξ and defined as

$$\rho_{\xi(m)} = P\{\text{It is in case } m \text{ of state } \xi | N(t) = \xi\} \tag{1}$$

where $\xi = 1, 2, \dots, M_{\xi}$ and M_{ξ} is the number of all cases for given state $\xi \in \Omega$. Let $\rho_{\xi(m)j}(\Delta t)$ be the probability that the process starting in the m th case of state ξ will be in state j in time Δt and defined as

$$\rho_{\xi(m)j}(\Delta t) = P\{N(t + \Delta t) = j | \text{It is in case } m \text{ of state } \xi \text{ at time } t\}. \tag{2}$$

Then, the GTP from ξ to j in time Δt is defined as

$$\rho_{\xi j}(\Delta t) = P\{N(t + \Delta t) = j | N(t) = \xi\} = \sum_{m=1}^{M_{\xi}} \rho_{\xi(m)} \rho_{\xi(m)j}(\Delta t), \tag{3}$$

where

$$\sum_{m=1}^{M_{\xi}} \rho_{\xi(m)} = 1. \tag{4}$$

2.1. Model Assumptions

Assumption 1. In the system all components are new at the beginning.

Assumption 2. The lifetimes of component ξ ($\xi = 1, 2, \dots, n$) have an exponential distribution $\text{Exp}(\lambda_\xi)$ whose probability density function is as follow

$$f_\xi(t) = \begin{cases} \lambda_\xi e^{-\lambda_\xi t} & t > 0 \\ 0 & t \leq 0 \end{cases} \quad (5)$$

Assumption 3. There is only one repairman. Because of this, at the same time, only one component can be repaired.

Assumption 4. The repair discipline is first in first out. Moreover, repair completely restores all properties of failed components.

Assumption 5. The probability of failure of two or more components at the same time is zero.

Assumption 6. The repair time of the failed components has a constant failure rate μ ;

$$g_\xi(t) = \begin{cases} \mu e^{-\mu t} & t > 0 \\ 0 & t \leq 0 \end{cases} \quad (6)$$

where $\xi = 1, 2, \dots, n$.

Assumption 7. The components will not fail after the system fails.

2.2. Model Analysis

According to the assumptions, we have

$$N(t) = \begin{cases} 0, & \text{The system works when all components work at time } t \\ -1, & \text{The system works when one component fails at time } t \\ -2, & \text{The system works when two components fail at time } t \\ \vdots & \vdots \\ -d, & \text{The system still works when } d \text{ components fail at time } t \\ 2, & \text{The system fails when two components fail at time } t \\ 3, & \text{The system fails when three components fail at time } t \\ \vdots & \vdots \\ d + 1, & \text{The system fails when } d + 1 \text{ components fail at time } t \end{cases} \quad (7)$$

where $d = [(n + 1)/2]$ is the greatest integer function. When the lifetimes of every component and the time required to repair are exponentially distributed, then $\{N(t), t \geq 0\}$ is a continuous-time homogeneous Markov process with finite state space $\Omega = \{0, -1, -2, -3, \dots, -d, 2, 3, \dots, d + 1\}$. Obviously, $W = \{0, -1, -2, -3, \dots, -d\}$ is the set of working state, while $F = \{2, 3, 4, \dots, d + 1\}$ is the set of failed state.

Example 1. Consider a linear consecutive-2-out-of-3: F repairable system with different failure rate, then the state of the system at time t can be wrote down in the form

$$N(t) = \begin{cases} 0, & \text{The system works when all components work at time } t \\ -1, & \text{The system works when one component fails at time } t \\ -2, & \text{The system works when two components fail at time } t \\ 2, & \text{The system fails when two components fail at time } t \\ 3, & \text{The system fails when three components fail at time } t \end{cases}$$

Based on the results presented above, the state space $\Omega = \{0, -1, -2, 2, 3\}$, the set of working state is $W = \{0, -1, -2\}$ and the set of failed state is $F = \{2, 3\}$.

By using the definition and the model assumptions, we have:

$$\rho_{0j}(\Delta t) = \begin{cases} \sum_{k=1}^n \lambda_k \Delta t + O(\Delta t), & j = -1 \\ 1 - \sum_{k=1}^n \lambda_k \Delta t + O(\Delta t), & j = 0 \\ O(\Delta t), & \text{for all other } j \text{ values} \end{cases} \quad (8)$$

where $j \in \Omega$.

$$\rho_{-\xi-(\xi-1)}(\Delta t) = \mu \Delta t + O(\Delta t), \quad (9)$$

where $\xi = 1, 2, \dots, d$.

$$\rho_{-\xi-(\xi+1)}(\Delta t) = \left[\left((\xi + 1) \sum_{Pa(\xi+1)} \prod_{l=1}^{\xi+1} \lambda_{u_l} \right) / \sum_{Pa(\xi)} \prod_{l=1}^{\xi} \lambda_{u_l} \right] \Delta t + O(\Delta t), \quad (10)$$

where $\sum_{Pa(\xi)}$ denotes the summation over (u_1, u_2, \dots, u_ξ) of $(1, 2, \dots, n)$ under the conditions $u_2 - u_1 \geq 2, u_3 - u_2 \geq 2, \dots, u_\xi - u_{\xi-1} \geq 2$ and $\xi = 1, 2, \dots, d - 1$. When $\xi = 1$, then

$$\sum_{Pa(i)} \prod_{l=1}^{\xi} \lambda_{u_l} = \sum_{u=1}^n \lambda_u. \quad (11)$$

$$\rho_{-\xi(\xi+1)}(\Delta t) = \left[\left(2 \sum_{m=1}^{\xi} \sum_{Pb(m)} \prod_{l=1}^{\xi+1} \lambda_{u_l} + \sum_{m=1}^{\xi-1} \sum_{Pc(m)} \prod_{l=1}^{\xi+1} \lambda_{u_l} \right) / \sum_{Pa(\xi)} \prod_{l=1}^{\xi} \lambda_{u_l} \right] \Delta t + O(\Delta t), \quad (12)$$

where $\sum_{Pb(m)}$ and $\sum_{Pc(m)}$ denote the summation over $(u_1, u_2, \dots, u_{\xi+1})$ of $(1, 2, \dots, n)$ under the conditions $u_2 - u_1 \geq 2, u_3 - u_2 \geq 2, \dots, u_m - u_{m-1} \geq 2, u_{m+1} - u_m = 1, u_{m+2} - u_{m+1} \geq 2, \dots, u_{\xi+1} - u_\xi \geq 2$ and $u_2 - u_1 \geq 2, u_3 - u_2 \geq 2, \dots, u_m - u_{m-1} \geq 2, u_{m+1} - u_m = 1, u_{m+2} - u_{m+1} = 1, u_{m+3} - u_{m+2} \geq 2, \dots, u_{\xi+1} - u_\xi \geq 2$ respectively. Also where, $\xi = 1, 2, \dots, d$.

$$\rho_{-\xi-\xi}(\Delta t) = 1 - (\rho_{-\xi-(\xi+1)}(\Delta t) + \rho_{-\xi(\xi+1)}(\Delta t) + \mu) \Delta t + O(\Delta t), \quad (13)$$

where $\xi = 1, 2, \dots, d$.

$$\rho_{-\xi j}(\Delta t) = O(\Delta t), j \neq -(\xi - 1), -(\xi + 1), \xi + 1, -\xi \quad (14)$$

where $\xi, j \in \Omega$.

$$\rho_{\xi j}(\Delta t) = \begin{cases} a\mu \Delta t + O(\Delta t), & j = \xi - 1 \\ b\mu \Delta t + O(\Delta t), & j = -(\xi - 1) \\ 1 - \mu \Delta t + O(\Delta t), & j = \xi \\ O(\Delta t), & \text{for all other } j \text{ values} \end{cases} \quad (15)$$

where

$$a = \frac{2 \sum_{m=1}^{\xi-1} \sum_{Pb(m)} \prod_{l=1}^{\xi} \lambda_{u_l}}{(\xi - 1) \left(\sum_{m=1}^{\xi-2} \sum_{Pc(m)} \prod_{l=1}^{\xi} \lambda_{u_l} + 2 \sum_{m=1}^{\xi-1} \sum_{Pb(m)} \prod_{l=1}^{\xi} \lambda_{u_l} \right)} \quad (16)$$

and

$$b = \frac{2(\xi - 2) \sum_{m=1}^{\xi-1} \sum_{Pb(m)} \prod_{l=1}^{\xi} \lambda_{u_l} + (\xi - 1) \sum_{m=1}^{\xi-2} \sum_{Pc(m)} \prod_{l=1}^{\xi} \lambda_{u_l}}{2 \sum_{m=1}^{\xi-1} \sum_{Pb(m)} \prod_{l=1}^{\xi} \lambda_{u_l} + (\xi - 1) \left(\sum_{m=1}^{\xi-2} \sum_{Pc(m)} \prod_{l=1}^{\xi} \lambda_{u_l} \right)}. \quad (17)$$

And also where $\xi = 3, 4, \dots, d$.

Using the equations listed above for the STP in the system, we can obtain Ψ as follows:

$$\Psi = (\psi_{\xi j}), \tag{18}$$

where Ψ is the transition rate matrix,

$$\psi_{\xi j} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\rho_{\xi j}(\Delta t)}{\Delta t}, \tag{19}$$

and

$$\psi_j = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{1 - \rho_{jj}(\Delta t)}{\Delta t}, \tag{20}$$

for $i, j \in \Omega$ and $i \neq j$.

3. MTTF of the Repairable System

In the following, by using matrix Ψ , we shall obtain the MTTF of the linear Rep-Con-2- n : F system with independent and identically distributed components under the condition that components have different life spans.

For $j \in \Omega$,

$$\rho_j(t) = P\{N(t) = j\}. \tag{21}$$

Then, we can obtain as follows [17]:

$$\rho'_j(t) = \sum_{k \in \Omega} \rho_k(t) \psi_{kj}, \tag{22}$$

for $\rho_0(0) = 1, \rho_j(0) = 0, j \neq 0$ and $j \in \Omega$. Let $P(t) = (\rho_0(t), \rho_{-1}(t), \dots, \rho_{-d}(t), \rho_2(t), \dots, \rho_{d+1}(t))$.

Then, using matrix Ψ , we can rewrite the above expression in the matrix form as follows:

$$P'(t) = P(t)\Psi, \tag{23}$$

with the initial condition $P(0) = (1, 0, \dots, 0)$.

To obtain the MTTF of the system by using the Laplace transform of the system's reliability $R(t)$, we consider $\{N(t), t \geq 0\}$ as a $\{\tilde{N}(t), t \geq 0\}$ with finite state space $\tilde{\Omega} = \{0, -1, -2, \dots, -d\}$.

Now let

$$\tilde{\rho}_j(t) = P\{\tilde{N}(t) = j\}, \tag{24}$$

for $j \in \tilde{\Omega}$. Then, the system reliability is

$$R(t) = \sum_{j \in \tilde{\Omega}} \tilde{\rho}_j(t). \tag{25}$$

For $R(t)$, the matrix Ψ is redefined as follows:

$$\tilde{\Psi} = (\psi_{\xi j}), \tag{26}$$

for $\xi, j \in \tilde{\Omega}$ and $\xi \neq j$.

Let $\tilde{P}(t) = (\tilde{\rho}_0(t), \tilde{\rho}_{-1}(t), \dots, \tilde{\rho}_{-d}(t))$. Then, it is easy to derive the following systems of differential equations

$$\tilde{P}'(t) = \tilde{P}(t)\tilde{\Psi}, \tag{27}$$

with the initial condition $\tilde{P}(0) = (1, 0, \dots, 0)$.

Now, using the Laplace transform in (27), with the help of the initial condition $\tilde{P}(0)$ we have the Laplace transform of $R(t)$ as follows

$$R^*(s) = \sum_{j \in \tilde{\Omega}} \tilde{\rho}_j^*(s). \tag{28}$$

Thus the MTTF of the system is as follow

$$\text{MTTF} = \log_{s \rightarrow 0} R^*(s). \tag{29}$$

4. Special Model: The Linear Rep-Con-2-5: F System

Based on previous definitions, we know $\Omega = \{-3, -2, -1, 0, 2, 3, 4\}$, $W = \{-3, -2, -1, 0\}$ and $F = \{2, 3, 4\}$ of the linear Rep-Con-2- n : F system.

The matrix Ψ is:

$$\Psi = (\psi_{\xi j}) = \begin{bmatrix} \psi_{(0,0)} & \psi_{(0,-1)} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \mu & \psi_{(-1,-1)} & \psi_{(-1,-2)} & 0 & \psi_{(-1,2)} & 0 & 0 \\ 0 & \mu & \psi_{(-2,-2)} & \psi_{(-2,-3)} & 0 & \psi_{(-2,3)} & 0 \\ 0 & 0 & \mu & \psi_{(-3,-3)} & 0 & 0 & \psi_{(-3,4)} \\ 0 & \mu & 0 & 0 & -\mu & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \psi_{(3,-2)} & 0 & \psi_{(3,2)} & -\mu & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \mu & -\mu \end{bmatrix} \tag{30}$$

where

$$\psi_{(0,0)} = -(\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_4 + \lambda_5),$$

$$\psi_{(0,-1)} = \lambda_5 + \lambda_4 + \lambda_3 + \lambda_2 + \lambda_1,$$

$$\psi_{(-1,-1)} = -\frac{2(\lambda_1\lambda_2 + \lambda_1\lambda_3 + \lambda_1\lambda_4 + \lambda_1\lambda_5 + \lambda_2\lambda_3 + \lambda_2\lambda_4 + \lambda_2\lambda_5 + \lambda_3\lambda_4 + \lambda_3\lambda_5 + \lambda_4\lambda_5)}{\lambda_5 + \lambda_4 + \lambda_3 + \lambda_2 + \lambda_1} - \mu,$$

$$\psi_{(-1,-2)} = \frac{2(\lambda_1\lambda_3 + \lambda_1\lambda_4 + \lambda_1\lambda_5 + \lambda_2\lambda_4 + \lambda_2\lambda_5 + \lambda_3\lambda_5)}{\lambda_5 + \lambda_4 + \lambda_3 + \lambda_2 + \lambda_1},$$

$$\psi_{(-2,-2)} = -\mu - \frac{\lambda_1\lambda_2\lambda_3 + \lambda_2\lambda_3\lambda_4 + \lambda_3\lambda_4\lambda_5 + 2(\lambda_1\lambda_2\lambda_4 + \lambda_1\lambda_2\lambda_5 + \lambda_1\lambda_3\lambda_4 + \lambda_1\lambda_4\lambda_5 + \lambda_2\lambda_3\lambda_5 + \lambda_2\lambda_4\lambda_5) + 3\lambda_1\lambda_3\lambda_5}{\lambda_1\lambda_3 + \lambda_1\lambda_4 + \lambda_1\lambda_5 + \lambda_2\lambda_4 + \lambda_2\lambda_5 + \lambda_3\lambda_5},$$

$$\psi_{(-2,-3)} = \frac{3\lambda_1\lambda_3\lambda_5}{\lambda_1\lambda_3 + \lambda_1\lambda_4 + \lambda_1\lambda_5 + \lambda_2\lambda_4 + \lambda_2\lambda_5 + \lambda_3\lambda_5},$$

$$\psi_{(-3,-3)} = -(\lambda_2 + \lambda_4) - \mu,$$

$$\psi_{(-1,2)} = \frac{2(\lambda_1\lambda_2 + \lambda_2\lambda_3 + \lambda_3\lambda_4 + \lambda_4\lambda_5)}{\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_4 + \lambda_5},$$

$$\psi_{(-2,3)} = \frac{\lambda_1\lambda_2\lambda_3 + \lambda_2\lambda_3\lambda_4 + \lambda_3\lambda_4\lambda_5 + 2(\lambda_1\lambda_2\lambda_4 + \lambda_1\lambda_2\lambda_5 + \lambda_1\lambda_3\lambda_4 + \lambda_1\lambda_4\lambda_5 + \lambda_2\lambda_3\lambda_5 + \lambda_2\lambda_4\lambda_5)}{\lambda_1\lambda_3 + \lambda_1\lambda_4 + \lambda_1\lambda_5 + \lambda_2\lambda_4 + \lambda_2\lambda_5 + \lambda_3\lambda_5},$$

$$\psi_{(-3,4)} = \lambda_2 + \lambda_4 ,$$

$$\psi_{(3,-2)} = \frac{\lambda_1\lambda_2\lambda_4 + \lambda_1\lambda_2\lambda_5 + \lambda_2\lambda_3\lambda_5 + \lambda_1\lambda_3\lambda_4 + \lambda_1\lambda_4\lambda_5 + \lambda_2\lambda_4\lambda_5}{\lambda_1\lambda_2\lambda_3 + \lambda_2\lambda_3\lambda_4 + \lambda_3\lambda_4\lambda_5 + 2(\lambda_1\lambda_2\lambda_4 + \lambda_1\lambda_2\lambda_5 + \lambda_2\lambda_3\lambda_5 + \lambda_1\lambda_3\lambda_4 + \lambda_1\lambda_4\lambda_5 + \lambda_2\lambda_4\lambda_5)} \mu$$

and

$$\psi_{(3,2)} = \frac{\lambda_1\lambda_2\lambda_3 + \lambda_2\lambda_3\lambda_4 + \lambda_3\lambda_4\lambda_5 + \lambda_1\lambda_2\lambda_4 + \lambda_1\lambda_2\lambda_5 + \lambda_2\lambda_3\lambda_5 + \lambda_1\lambda_3\lambda_4 + \lambda_1\lambda_4\lambda_5 + \lambda_2\lambda_4\lambda_5}{\lambda_1\lambda_2\lambda_3 + \lambda_2\lambda_3\lambda_4 + \lambda_3\lambda_4\lambda_5 + 2(\lambda_1\lambda_2\lambda_4 + \lambda_1\lambda_2\lambda_5 + \lambda_2\lambda_3\lambda_5 + \lambda_1\lambda_3\lambda_4 + \lambda_1\lambda_4\lambda_5 + \lambda_2\lambda_4\lambda_5)} \mu.$$

In the following, we study MTTFF of the linear Rep-Con-2-5: F system consisting of components with unequal failure rates.

4.1. The Repairable System’s MTTFF

Let $\tilde{P}(t) = (\tilde{\rho}_0(t), \tilde{\rho}_{-1}(t), \tilde{\rho}_{-2}(t), \tilde{\rho}_{-3}(t))$. Then the Laplace transform on both sides of (27) is given by

$$-1 + s\rho_0^*(s) = \psi_{(0,0)}\rho_0^*(s) + \mu\rho_{-1}^*(s),$$

$$s\rho_{-1}^*(s) = \psi_{(0,-1)}\rho_0^*(s) + \psi_{(-1,-1)}\rho_{-1}^*(s) + \mu\rho_{-2}^*(s),$$

$$s\rho_{-2}^*(s) = \psi_{(-1,-2)}\rho_{-1}^*(s) + \psi_{(-2,-2)}\rho_{-2}^*(s) + \mu\rho_{-3}^*(s),$$

$$s\rho_{-3}^*(s) = \psi_{(-2,-3)}\rho_{-2}^*(s) + \psi_{(-3,-3)}\rho_{-3}^*(s).$$

With the initial condition $\tilde{P}(0) = (1,0,0,0)$. The solutions are

$$\rho_{-3}^*(s) = \frac{\psi_{(-2,-3)}}{s - \psi_{(-3,-3)}} \rho_{-2}^*(s),$$

$$\rho_{-1}^*(s) = \left(\frac{s - \psi_{(-2,-2)}}{\psi_{(-1,-2)}} - \frac{\psi_{(-2,-3)}\mu}{\psi_{(-1,-2)}(s - \psi_{(-3,-3)})} \right) \rho_{-2}^*(s),$$

$$\rho_0^*(s) = \left(\frac{(s - \psi_{(-1,-1)})(s - \psi_{(-2,-2)})}{\psi_{(0,-1)}\psi_{(-1,-2)}} - \frac{(s - \psi_{(-1,-1)})\psi_{(-2,-3)}\mu}{\psi_{(0,-1)}\psi_{(-1,-2)}(s - \psi_{(-3,-3)})} - \frac{\mu}{\psi_{(0,-1)}} \right) \rho_{-2}^*(s),$$

$$\rho_{-2}^*(s) = \left(\frac{(s - \psi_{(0,0)})(s - \psi_{(-1,-1)})(s - \psi_{(-2,-2)})}{\psi_{(0,-1)}\psi_{(-1,-2)}} - \frac{(s - \psi_{(0,0)})(s - \psi_{(-1,-1)})\psi_{(-2,-3)}\mu}{\psi_{(0,-1)}\psi_{(-1,-2)}(s - \psi_{(-3,-3)})} \right.$$

$$\left. - \frac{(s - \psi_{(0,0)})\mu}{\psi_{(0,-1)}} - \frac{(s - \psi_{(-2,-2)})\mu}{\psi_{(-1,-2)}} + \frac{\psi_{(-2,-3)}\mu^2}{\psi_{(-1,-2)}(s - \psi_{(-3,-3)})} \right)^{-1}.$$

Thus, for the linear Rep-Con-2-5: F system, from (28) and (29), the MTTFF is given by

$$\begin{aligned} \text{MTTFF} = & \left[\psi_{(0,-1)}\psi_{(-1,-2)}(\psi_{(-2,-3)} - \psi_{(-3,-3)}) + \psi_{(-2,-2)}\psi_{(-3,-3)}(\psi_{(0,-1)} - \psi_{(-1,-1)}) \right. \\ & + (\psi_{(-1,-1)}\psi_{(-2,-3)} + \psi_{(-1,-2)}\psi_{(-3,-3)} \\ & \left. - \psi_{(0,-1)}\psi_{(-2,-3)})\mu \right] \left[\psi_{(0,0)}\psi_{(-1,-1)}\psi_{(-2,-2)}\psi_{(-3,-3)} \right. \\ & - (\psi_{(0,-1)}\psi_{(-2,-2)}\psi_{(-3,-3)} + \psi_{(0,0)}\psi_{(-1,-1)}\psi_{(-2,-3)} \\ & \left. + \psi_{(0,0)}\psi_{(-1,-2)}\psi_{(-3,-3)})\mu + \psi_{(0,-1)}\psi_{(-2,-3)}\mu^2 \right]^{-1} \end{aligned} \tag{31}$$

Note that, if $\mu = 0$ and in the system, all components have equal failure probability, λ , we find the MTTFF to be $\frac{7}{10\lambda}$. This result is equal to equation (13) in [9]. The MTTFF under different values of μ and the parameters λ are shown in Table 1.

Table 1. MTTFF under different values of μ and the parameters λ

λ_1	λ_2	λ_3	λ_4	λ_5	μ	MTTFF
1	1	1	1	1	0	0.7000
					1	0.7722
					2	0.8585
					3	0.9538
					4	1.0555
2	2	2	2	2	5	1.1615
						0.4526
						0.2762
						0.1982
						0.1544
					5	0.7506
					1	0.5808
					1	0.6170
					1	0.5808
					1	0.7506
5	4	3	2	1	6	0.2712
					7	0.2808
					8	0.2907
					9	0.3009
					10	0.3112
					10	0.3217

5. Conclusions

In this paper, we have studied linear Rep-Con-2- n : F system. In the system, the components are assumed to have unequal failure rates. In particular, we have introduced mathematical formulations for the STP in the system. In [9, p.606], a clear formula of the coefficients a and b were not given. It was stated that only these coefficients should meet the following two conditions:

$$0 \leq a, b \leq 1 \text{ and } a + b = 1 \tag{32}$$

In this paper, the explicit formulas of the coefficients a and b were obtained for the case that the components in the system have independent but non-identical exponential distributions. Equation for one performance characteristic for the system which is the MTTFF is developed when $n = 5$.

Author’ Contributions

Authors contributed equally.

Statement of Conflicts of Interest

No potential conflict of interest was reported by the authors.

Statement of Research and Publication Ethics

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

References

- [1] Kontoleon J.M. 1980. Reliability determination of a r -successive-out-of- n : F system. IEEE Trans Reliability, 29: 437.
- [2] Chiang D.T., Niu S.C. 1981. Reliability of consecutive- k -out-of- n : F system. IEEE Trans Reliability, 30: 87-89.
- [3] Bollinger R.C., Salvia A.A. 1982. Consecutive- k -out-of- n : F networks. IEEE Trans Reliability, 31: 53-56.
- [4] Derman C., Lieberman G.J., Ross S.M. 1982. On the consecutive- k -out-of- n : F system. IEEE Trans Reliability, 31: 57-63.
- [5] Zuo M.J., Kuo W. 1990. Design and performance analysis of consecutive- k -out-of- n structure. Naval Research Logistics; 37: 203-230.
- [6] Chang G.J., Cui L., Hwang F.K. 2000. Reliabilities of consecutive- k systems. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 1-208.
- [7] Kuo W., Zuo M.J. 2003. Optimal Reliability Modeling: Principles and Applications. John Wiley & Sons, New Jersey, 1-544.
- [8] Eryilmaz S. 2010. Review of recent advances in reliability of consecutive k -out-of- n and related systems. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part O: Journal of Risk and Reliability, 224: 225-237.
- [9] Zhang Y.L., Wang T.P. 1996. Repairable consecutive-2-out-of- n : F system. Microelectronic Reliability, 36: 605-608.
- [10] Zhang Y.L., Wang T.P., Jia J.S. 1998. Reliability analysis of consecutive- $(n-1)$ -out-of- n : G repairable system. Chinese Journal of Automation, 10: 181-186.
- [11] Zhang Y.L., Lam Y. 1998. Reliability of consecutive- k -out-of- n : G repairable system. International Journal of Systems Science, 29: 1375-1379.
- [12] Zhang Y.L., Zuo M.J., Yam R.C.M. 2000. Reliability analysis for a circular consecutive-2-out-of- n : F repairable system with priority in repair. Reliability Engineering and System Safety, 68: 113-120.
- [13] Cheng K., Zhang Y.L. 2001. Analysis for a consecutive- k -out-of- n : F repairable system with priority in repair. International Journal of Systems Science, 32: 591-598.
- [14] Navas Á. M. Á., Ibáñez J. C., Sancho M. C. 2021. Reliability assessment of repairable systems using simple regression models. International Journal of Mathematical, Engineering and Management Sciences, 6: 180-192.
- [15] Wang J., Xie N., Yang N. 2021. Reliability analysis of a two-dissimilar-unit warm standby repairable system with priority in use. Communications in Statistics - Theory and Methods, 50: 792-814.
- [16] Gökdere G., Gural Y. 2018. Birnbaum önem tabanlı genetik algoritma ve doğrusal ardışık n -den k -çıkışlı sistemlerin optimizasyonunda uygulaması. Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 7: 276-283.
- [17] Gökdere G., Gürcan M., Kılıç M. B. 2016. A new method for computing the reliability of consecutive k -out-of- n :F systems. Open Physics, 14: 166-170.
- [18] Lam Y., Zhang Y.L. 1999. Analysis of repairable consecutive-2-out-of- n : F repairable systems with Markov dependence. International Journal of Systems Science, 30: 799-809.
- [19] Lam Y., Zhang Y.L. 2000. Repairable consecutive- k -out-of- n : F system with Markov dependence. Naval Research Logistics, 47: 18-39.
- [20] Lam Y., Ng H.K.T. 2001. A general model for consecutive- k -out-of- n : F repairable system with exponential distribution and $(k-1)$ -step Markov dependence. European Journal of Operational Research, 129: 663-682.

On the Distribution and Host-Plant of *Aristotelia subericinella* (Duponchel, 1843) (Lepidoptera: Gelechiidae)

Kesran AKIN^{1*}, Erdem SEVEN²

¹Bitlis Eren University, Faculty of Arts and Sciences, Department of Biology, 13000, Bitlis, Turkey.

²School of Tourism and Hotel Management, Batman University, 72060 Batman, Turkey.
(ORCID: 0000-0003-2921-948X) (ORCID: 0000-0002-7587-5341)

Abstract

Aristotelia subericinella (Duponchel, 1843), previously known from Ankara, Kahramanmaraş, Siirt, Van, Amasya and Bursa, is recorded for the first time in Bitlis province. *Astragalus* sp. (Leguminosae) is suggested as new larval host-plant of the species. Pupa, adult, male and female genitalia and habitat pictures are illustrated.

Keywords: *Aristotelia subericinella*, Gelechiidae, Lepidoptera, *Astragalus*, Bitlis.

Aristotelia subericinella (Duponchel, 1843)'nın (Lepidoptera: Gelechiidae) Yayılışı ve Konukçu Bitkisi Hakkında

Öz

Daha önce Ankara, Kahramanmaraş, Siirt, Van, Amasya ve Bursa'dan bilinen *Aristotelia subericinella* (Duponchel, 1843) türü Bitlis ilinden ilk kez tespit edilmiştir. Türün yeni larva besin bitkisi olarak *Astragalus* sp. (Leguminosae) önerilmiştir. Pupa, ergin birey, erkek ve dişi genital ile habitat resimleri verilmiştir.

Anahtar kelimeler: *Aristotelia subericinella*, Gelechiidae, Lepidoptera, *Astragalus*, Bitlis.

1. Introduction

The Gelechiidae family, in the order Lepidoptera, are small and medium sized moths and represented by 4600 species in approximately 500 genera. Specimens belonging to this family are known to have a scaly proboscis and a strongly curved labial palpus [1]. Karsholt et al., [2] divided the family into 7 subfamilies with their molecular studies. However, 6 subfamilies: Anacampsinae, Anomologinae, Apatetrinae, Dichomeridinae, Gelechiinae, Thiotrichinae were analyzed, but Physoptilinae subfamily was not included in the study. The Gelechiidae family is represented by 283 species in Turkey. Of these, 13 species belong to the genus *Aristotelia* Hübner, [1825]: *A. baltica* A. Šulcs & I. Šulcs, 1983, *A. cupreella* Zerny, 1934, *A. decoratella* (Staudinger, 1880), *A. decurtella* (Hübner, [1813]), *A. euprepella* Zerny, 1934, *A. fervidella* Mann, 1864, *A. jactatrix* Meyrick, 1926, *A. mirabilis* (Christoph, 1888), *A. pancaliella* (Staudinger, 1871), *A. parvula* (Staudinger, 1879), *A. punctatella* (Staudinger, 1879), *A. retusella* Rebel, 1891 and *A. subericinella* (Duponchel, 1843) [3]. The genus *Aristotelia* Hübner, [1825] is represented around the world by about 165 species, including about 30 species from Palearctic. Larvae of the genus have been determined so far on the plant families of Apiaceae, Ericaceae, Empetraceae, Lythraceae, Lamiaceae, Scrophulariaceae, Fabaceae, Plumbaginaceae [4].

Junnilainen et al., [5] stated that *A. subericinella* spread widely from Central and Southern Europe to the South Ural Region and, appears to be a species complex because of it is three different forms based on the material from the South Ural Region. In addition, it shows distribution in Turkey, the Caucasus, Central Asia and South Siberia eastwards to Mongolia. In Turkey, *A. subericinella* is known from Ankara, Kahramanmaraş, Siirt, Van [3], Amasya [6] and Bursa provinces [7].

*Corresponding author: kesran@gmail.com

Received: 04.01.2021, Accepted: 13.03.2021

The known food plants of *A. subericinella* include: *Coronilla*, *Genista*, *G. germanica*, *G. pilosa*, *Medicago*, *M. falcata* and *M. sativa* (Leguminosae) [8, 9].

Nemrut Mountain located in the west of Tatvan and Ahlat (Bitlis) districts, and Sivri Hill is the highest point with 3050 meters. Mount Nemrut contains a total of 450 plant species that constitute the Iran-Turanian and Europe-Siberian elements. In addition, due to the microclimate formed in the caldera, it also hosts plant species such as *Betula pendula*, *Populus tremula* and *Juniperus communis* subsp. *nana* [10]. Besides, Caldera was declared a Natural Monument in 2003 [11].

In this paper, the known larval food plants of *Aristotelia subericinella* (Duponchel, 1843) is given and, a new larval host plant is proposed. Pictures of the species and its habitat are provided. The distribution of the species is mentioned and, is discovered for the first time in Bitlis province.

2. Materials and Methods

During the field studies conducted by the authors to determine the biology of Lepidoptera species in the Nemrut Caldera on 7 July 2018, a pupa was found on *Astragalus* sp. (Leguminosae) (Figure 1). The pupa was placed and preserved in a transparent plastic box and examined in Bitlis Eren University, Faculty of Arts and Sciences, Zoology Research Laboratory. A female adult emerged from the pupa on July 13, 2018 (Figure 2a). After the specimen was pinned and labelled, it was softened and stretched into standard museum material. In addition, 2 males and 1 female samples, which are in the collection of Bitlis Eren University, Faculty of Arts and Sciences, Zoology Research Laboratory and collected on 07.07.2015 from Bitlis Eren University Campus, which is very close to the Nemrut Caldera, were also evaluated (Figure 2b). The genital preparations used in the study were prepared according to Robinson [12] (Figure 3).



Figure 1. a) Study locality (Nemrut Caldera), b) *Astragalus* sp. (Leguminosae (Host-plant)), c) Pupa of *A. subericinella*.



Figure 2. Adults of *A. subericinella* (13 mm), **a.** Female specimen emerging from the pupa, **b.** Male specimen, Bitlis Eren University Campus (Bitlis), 07.07.2015 leg. K. Akın.

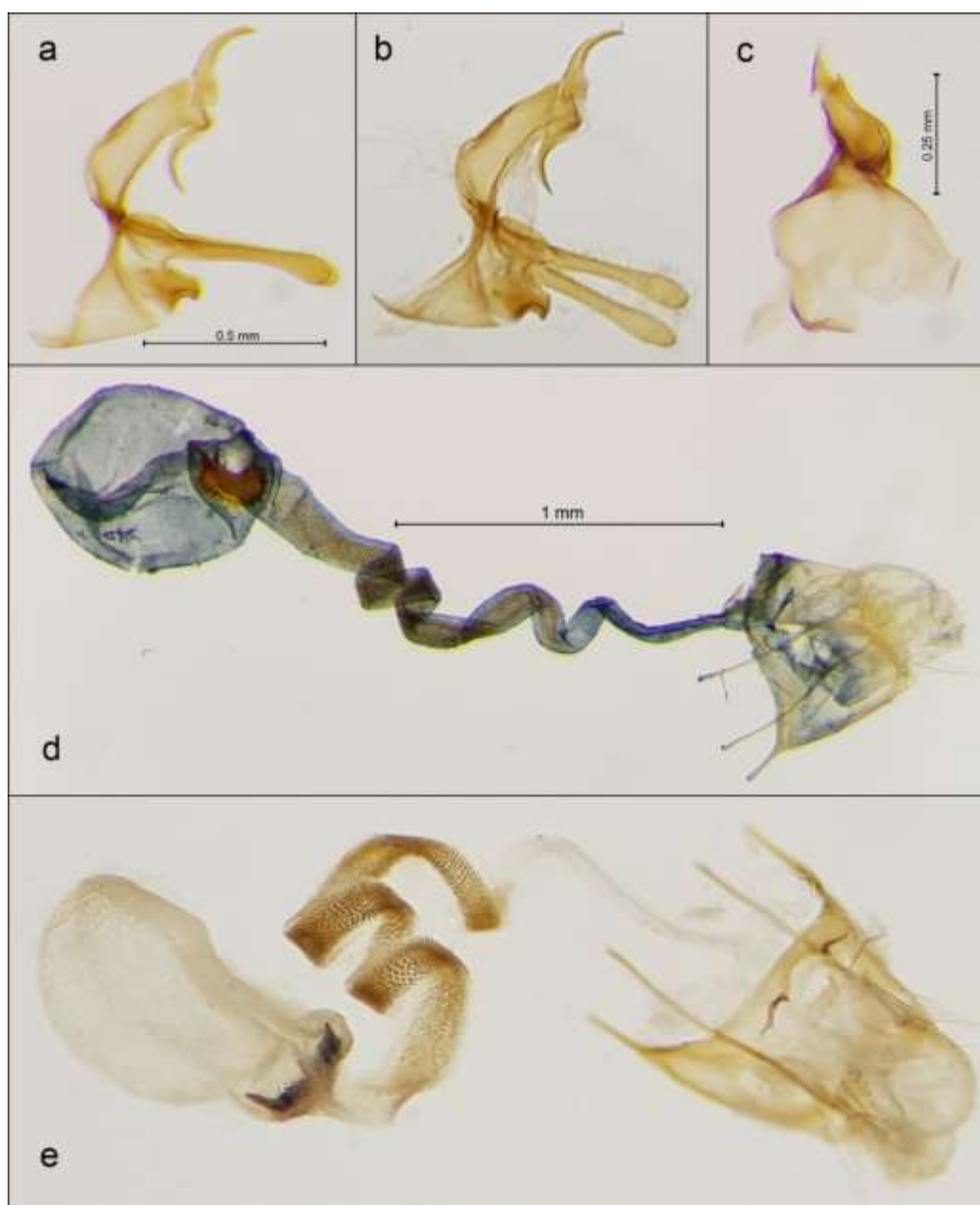


Figure 3. Genitalia of *A. subericinella*, **a-c.** Male genitalia (GP. 369 K. Akın), **a.** Total, **b.** Total (during preparation), **c.** Aedeagus, **d-e.** Female genitalia (GP. 367 K. Akın), **d.** Closed preparation after staining, **e.** Different view during preparation before staining.

In literature searches on the female genitalia of *A. subericinella*, only one photo was found on a website called Artemisiae [13], which is a dynamic portal that aims to develop data on Lepidoptera species found in France by the association “oreina, butterflies of France”. This website has been used to compare the female genitalia. Varenne and Nel [14], Kemal and Koçak [15] studies were utilized for matching the male genitalia. In the checking of adult specimens, Lepiforum e. V. [16] and Artemisiae [13] websites were also followed.

3. Results and Discussion

In Turkey, *Aristotelia subericinella* (Duponchel, 1843) was known from Amasya, Ankara, Bursa, Izmir, Siirt and Van provinces so far, as a result of this study, it is new discovered in Bitlis province and contributed to the determination of the distribution area. In addition to the known larval food plants of the species reported by Requena [8] and Robinson et al., [9], *Astragalus* sp. (Leguminosae) is thought to be a new larval food plant for *A. subericinella*. As the Lepidoptera larvae pupate mostly on the plant they feed and *A. subericinella*'s known preference of Leguminosae species supports this idea.

Aristotelia Hübner, [1825] is a large genus and has not been revised yet. Therefore, there is difficulties in diagnosis of the species. In this study, the first identification was made according to the adult and genital of the female specimen by comparing with the available literature (see Materials and Methods). It was thought that a comparison should be made in terms of male genitalia in order to clarify the diagnosis further. However, there was only one specimen in this study and it was the female specimen. For this reason, the specimens in the collection of the Zoology Research Laboratory of Bitlis Eren University were examined and the male and female genitals of these specimens were dissected. The diagnosis of the species was confirmed after comparing the male genitalia with the male genitals in the Varenne and Nel [14] and Kemal and Koçak [15] studies. *A. subericinella* is similar to *A. billii* Varenne and Nel, 2013 and *A. ericinella* (Zeller, 1839) in terms of adult morphology. However, male and female genital aspects are different from these two species [14, 16,17].

The female genitalia of *A. subericinella* from Turkey, compared to the sample from France in Artemisiae website [14], the signum resembles a bean shape and is not as concave as in the French specimen. The thorns on both ends of the signum are more prominent and larger in the sample collected from Turkey. Junnilainen et al., [5] stated that *A. subericinella* appears to be a species complex. This study may contribute to detailed studies to be carried out on this complex in the future.

Acknowledgements

We thank Dr. Murat KÜRŞAT (Bitlis Eren University) for the identification of larval food plant of the species. We also thank Ole KARSHOLT (Denmark) for his comments on the identification of the species.

Author's Contributions

All authors contributed equally to the study.

Statement of Conflicts of Interest

No potential conflict of interest was reported by the authors.

Statement of Research and Publication Ethics

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

References

- [1] Huemer P., Karsholt O. 1999. Gelechiidae I (Gelechiinae: Teleiodini, Gelechiini). In P. Huemer, O. Karsholt and L. Lyneborg (eds): Microlepidoptera of Europe, 3: 1-356.

- [2] Karsholt O., Mutanen M., Lee S., Kaila L. 2013. A molecular analysis of the Gelechiidae (Lepidoptera, Gelechioidea) with an interpretative grouping of its taxa. *Systematic Entomology*, 38: 334-348.
- [3] Koçak A.Ö., Kemal M. 2018. A synonymous and distributional list of the species of the Lepidoptera of Turkey. *Cent. ent. Stud., Memoirs*, 8: 1-487.
- [4] Bidzilya O.V., Budashkin Y.I. 2015. New species of Gelechiidae (Lepidoptera) from Ukraine. *Zootaxa*, 3974 (2): 217-230.
- [5] Junnilainen J., Karsholt O., Nupponen K., Kaitila J.P., Nupponen T., Olschwang V. 2010. The gelechiid fauna of the southern Ural Mountains, part II: list of recorded species with taxonomic notes (Lepidoptera: Gelechiidae). *Zootaxa*, 2367: 1-68.
- [6] Mann J.J. 1861. Zur Lepidopteren-Fauna von Amasia. *Wiener Entomologische Monatsschrift*, 5: 183-193.
- [7] Mann J.J. 1862. Verzeichniss der im Jahre 1851 bei Brussa in Kleinasien gesammelten Schmetterlinge. Tafel 3. *Wiener Entomologische Monatsschrift*, 6: 373-409.
- [8] Requena E. 2009. Aproximació a la fauna dels gelèquids de Catalunya i Balears (Lepidoptera: Gelechiidae). *Treb. Soc. Cat. Lep.*, 16: 5-77.
- [9] Robinson G.S., Ackery P.R., Kitching I.J., Beccaloni G.W., Hernández L.M. 2010. HOSTS - A Database of the World's Lepidopteran Hostplants. Natural History Museum, London. <http://www.nhm.ac.uk/hosts>. (Access Date: 07.11.2019).
- [10] Tatlı A. 1982. Nemrut Dağının Bitki Sosyolojisi ve Bitki Ekolojisi Yönünden İncelenmesi. *Atatürk Üniv. Fen Fak. Der.*, 1 (1): 537-549.
- [11] National Parks, 2018. Tabiat Anıtları. Doğa Koruma ve Milli Parklar Genel Müdürlüğü. <http://www.milliparklar.gov.tr/korunanalanlar/ta.htm> (Access Date: 07.11.2019).
- [12] Robinson G.S. 1976. The Preparation of slides of Lepidoptera genitalia with special reference to the Microlepidoptera. *Entomologist's Gazette*, 27: 127-132.
- [13] Artemisiae, 2020. *Aristotelia subericinella*. <https://oreina.org/artemisiae/observatoire/index.php?module=fiche&action=fiche&d=micro&id=246759> (Access Date: 29.12.2020).
- [14] Varenne T., Nel J. 2013. *Aristotelia billii* sp. n. découverte dans le Midi de la France (Lepidoptera, Gelechiidae). *Revue de l'Association Roussillonnaise d'Entomologie*, 22 (1): 17-19.
- [15] Kemal M., Koçak A.Ö. 2017. On some Microlepidoptera of Bahçesaray district (Van Province, East Turkey). *Priamus*, 15 (3): 125-164.
- [16] Lepiforum e.V. 2019. Bestimmung von Schmetterlingen (Lepidoptera) und ihren Präimaginalstadien. <http://www.lepiforum.de/> (Access Date: 07.11.2019).
- [17] Wheeler J., et al. 2021. Moth Dissection UK - <http://mothdissection.co.uk> - V.5.1 - (Access Date: 10.03.2021).

Araştırma Makalesi / Research Article

Modellenen Bir Jet Türbin Pervanesine Uygulanan Kaplamaların Simülasyon Tabanlı Statik Analizi

Serkan ÖZEL^{1*}, Azeb ÖZCAN²

¹Bitlis Eren Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Bitlis

²Özcan Mühendislik, Tatvan, Bitlis

(ORCID: 0000-0003-0700-1295) (ORCID: 0000-0002-5603-6622)

Öz

Jet motorlarının statik davranışını belirlemek için bilgisayar destekli tasarım programlarından yararlanılması hem zamandan hem de maddi açıdan tasarruf sağlayabilmektedir. Bu çalışmada, model uçaklarda kullanılabilecek bir jet motor türbin pervanesinin tasarımı SolidWorks programında gerçekleştirilmiştir. Tasarlanan jet motor kanatçık kısımları oksit ve karbür malzemelerle (Al₂O₃, SiC ve WC) SolidWorks programında kaplanmıştır. Kaplama işlemi uygulanmış kanatçıkların program üzerinde statik analizleri gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde, en iyi statik analiz sonuçlarının SiC ile kaplanan numunede olduğu görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Model uçak, türbin, kaplama, statik analiz.

Simulation-Based Static Analysis of Coatings Applied to a Modeled Jet Turbine Propeller

Abstract

The use of computer-aided design programs to determine the static behavior of jet engines can save both time and money. In this study, the design of a jet engine turbine propeller that can be used in model air planes was realized in SolidWorks program. Designed jet engine fins are coated with oxide and carbide materials (Al₂O₃, SiC and WC) in SolidWorks program. Static analysis of the fins with coating process was performed on the program. When the results were examined, the best static analysis results were found in SiC coated sample.

Keywords: Model aircraft, turbine, coating, static analysis.

1. Giriş

Son yıllarda havacılık alanında, işçilikteki ve yakıttaki maliyet artışı, tasarruflu hareket etmedeki en önemli etkenlerden biridir. Bu maliyet artışının azaltılması amacıyla hava araçlarında optimum olacak şekildeki aerodinamik ve tasarlama üzerine birden fazla araştırma yapılarak çeşitli modeller geliştirilmektedir. Hava araçlarının tasarımları yapılırken farklı tasarım ve mühendislik yazılımları kullanılmaktadır. Bu yazılımların kullanılması ile çok zaman ve maliyet alacak işlemler daha kısa ve düşük maliyette, güvenliği yüksek olarak yapılmaktadır. Üretimin farklı safhalarında bilgisayarın tasarımda kullanılıyor olması, imal edilecek ürünlerde yüksek kalite elde edilebileceğini göstermektedir [1-2].

Makine parçalarının üretimine geçmeden, imal edilmesi planlanan parçanın bilgisayar destekli tasarımının yapılması, bu tasarım üzerinde boyutlandırma, malzemenin cinsinin tespiti, bağlantı yerlerindeki statik durumun analizi gibi kontrollerin gerçekleştirilmesini sağlamaktadır. Bilgisayar programlarıyla gerçekleştirilebilen bu analizler, imalat öncesinde tasarlanan sistemin sorunsuz çalışması ve kullanılacak malzemelerin doğru seçimi gibi faktörlerde dikkat edilmesi açısından yol

*Sorumlu yazar: sozel@beu.edu.tr

Geliş Tarihi: 27.12.2019, Kabul Tarihi: 10.05.2020

göstermektedir. Bilgisayar destekli tasarımlardan olan parametrik tasarım, modellemenin zamanı, ölçüdeki meydana gelebilecek değişiklikler, müşteri taleplerindeki farklılıklar ile birbirine benzer olup fakat geometrilerinde bazı farklılıklar olan parçaların tasarımlarında ve analizlerinde kullanışlı bir yöntemdir [3]. Yeni nesil mühendis ve tasarımcılar, iki ve üç boyutlu tasarımları gerçekleştirirken SolidWorks programından yararlanmaktadırlar. SolidWorks, bilgisayar destekli bir tasarım programıdır. Kaydedilen veriler incelendiğinde dünya çapında en geniş kullanılan bilgisayar destekli programların başında gelmektedir. Bu programda, ayrıntıları verilen parçaların model olarak çizimleri gerçekleştirilebilmekte, bu modellerin montajları yapılabilmekte ve montaj parçalarının simülasyon analizleri gerçekleştirilebilmektedir [4].

Dinamik karmaşık yapıya sahip Jet motoru birden çok parçadan oluşmaktadır. Yüksek devirli jet motorunun hatalı tasarımı feci sonuçlara yol açabilmektedir. Bu tür kazalara mahal vermemek için jet motorunun dinamik yapısının dikkatle incelenmesi büyük önem arz etmektedir. Srikrishnanivas, çalışmasında rotor dinamiğinin, mekaniğin altındaki bir alan olduğunu ve esas olarak dönen yapıların titreşimi ile ilgilendiğini belirtmiştir. Tasarım aşamasında bu tür özelliklerin dikkate alınması jet motorunun ciddi arızalarından korunmasını sağlamaktadır. Bu rotordinamik özellikler çok güvenilir sonlu elemanlar yöntemi ile belirlenebilmektedir. Bu çalışmada ANSYS programında bir RM12 Jet motor rotor modeli oluşturmuş ve rotordinamik yeteneklerini özel rotordinamik aracı DyRoBeS ile değerlendirmiştir. Ansys programında campbell diyagramları oluşturularak modlar sıralanmıştır. Her mod farklı renkte belirtilmiştir [5]. Dadlani ve Joshi, yaptıkları çalışmada, 3D aksel simetrik model olan bir test diskinin termik gerilim dağılımını ve deformasyonunu belirlemek ve kritik bölgeler alanını gözlemlemek için ANSYS 16.0 kullanılarak sonlu elemanlar analizini yapmışlardır. Analizde, süper alaşım A286, inconel 718 ve Udimet 720 malzemelerini kullanarak, türbin diskinin yüksek basınç ve düşük basınç yanma aşamaları olarak kullanılması için en iyi malzemenin hangisi olduğunu tespit etmişlerdir. Grafiklere ve sonuçlara dayanarak, Udimet 720 ve Inconel 718 malzemelerinin Süper alaşım A286'ya göre, yanmanın ilk aşamasında kullanılmak üzere yüksek basınçlı türbin olarak en uygun olan malzeme olduğunu ve ayrıca Inconel 718 ve Süper alaşım A286'nın türbin disk malzemesinin yanmanın sonraki aşamalarında kullanılması için uygun olduğunu tespit etmişlerdir [6]. Akbari ve Müller, gaz türbini uygulamalarında dört bağlantı noktalı ters akışlı dalga rotorları için bir ön tasarımı, çeşitli dalga-rotor tepesi çevrimleri uygulayarak, 30 kW'lık bir mikro türbin performans gelişimini değerlendirmişlerdir. İnceleme sonucunda, yapılan çalışmalarda dalga-rotor tepesinden faydalandığını, ancak tepesinde bulunan motorun temel motorla aynı türbin giriş sıcaklığı ve kompresör basınç oranıyla çalıştığı durumda en yüksek kazancın elde edildiğini tespit etmişlerdir [7]. Hollkamp ve Gordon, jet motor kanatçıklarındaki aşırı titreşimlerin, kanatçıklarda yorulmalara ve sistem işlevsizliğine neden olduğunu, kanatlı pervane sisteminin dinamik davranışının anlaşılmasının, titreşim seviyelerinin belirlenmesinde önemli olduğunu belirtmişlerdir. Bench modal testlerini basitleştirilmiş fan modellerinde başarıyla gerçekleştirerek modal parametrelerini doğru bir şekilde çıkaran bir yaklaşım geliştirmişlerdir [8].

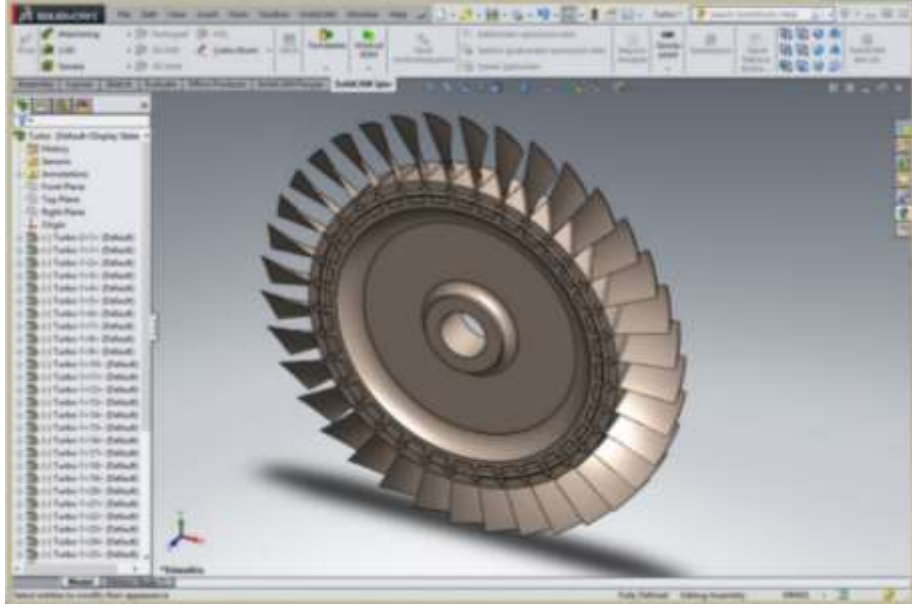
Motorlarda parçaların karakteristik özelliklerini ve türbinde statik davranışın matematiksel olarak incelenmesi, kararlı halin tespit edilmesinde önemli bir yol göstermektedir. Statik özellikler, bazı hesaplama ve ölçüm değerlerinin sonucunda geliştirilebilmiş polinomlar aracılığıyla tanımlanırlar. Kararlı hal, doğrusal olmayan ayrıntılı model aracılığıyla turbo jet motora ait bir işlem anındaki dinamik durumu hakkında bize bilgi verebilmektedir [9]. Jet motor kanatlarının tasarımı ve yapısal analizini oluştururken aynı zamanda mevcut kanat yapılarının geliştirilmesi için çeşitli simülasyonlardan yardım alınmaktadır [10].

Bu çalışmada, model uçaklarda kullanılabilecek bir jet motor türbin pervanesinin tasarımı, modellemesi ve statik analizi SolidWorks programında gerçekleştirilmiştir. Tasarlanan jet motor kanatçık kısımları Al₂O₃, SiC ve WC malzemeleri ile SolidWorks programında kaplanmıştır. Kaplamaların maliyeti düşürmesi amaçlanmaktadır. Kaplama işlemiyle elde edilen farklı tabakaların, statik analiz sonuçlarına etkisi araştırılmıştır.

2. Materyal ve Metot

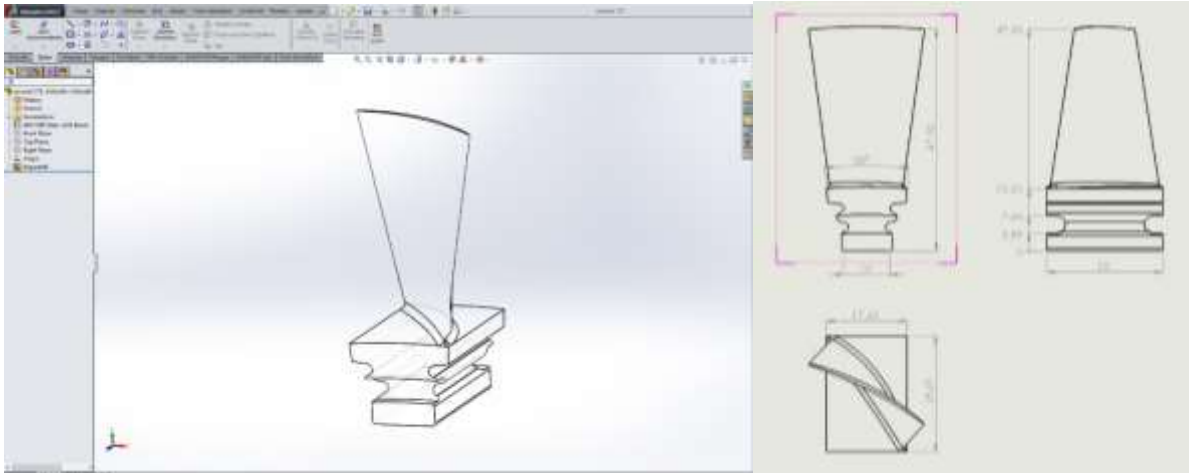
2.1. Model Jet Türbin Pervane Tasarımı

Model jet motorlarında genelde türbin pervane malzemesi olarak süper alaşımlar kullanılmaktadır. Bu çalışmada, maliyeti yüksek olan süper alaşım malzemelerin daha kolay ve düşük maliyette olan alternatif bir şekilde farklı malzeme ile işlevlerinin yerine getirilmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla, bilgisayar ortamında SolidWorks programı kullanılarak farklı altlık malzeme ve çeşitli kaplama malzemeleri ile modelleme işlemleri gerçekleştirilmiştir. SolidWorks programına ait model jet türbin pervane tasarımı Şekil 1’de verilmiştir.



Şekil 1. Model uçak jet türbin pervane tasarımı.

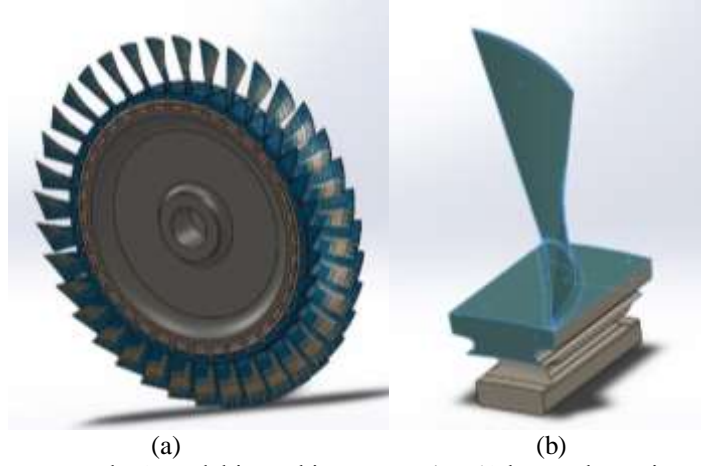
SolidWorks programında modellenen jet türbin pervanesinin tek kanatçığına ait tasarım resmi Şekil 2’de gösterilmiştir.



Şekil 2. Model Jet Türbin Pervane Kanatçık Tasarımı

SolidWorks programında tasarımı gerçekleştirilen pervane malzemesi olarak orta karbonlu çelik sınıfına giren AISI 1045 çeliği seçilmiştir. Seçilen bu malzeme üzerine yüksek sıcaklığa dayanıklı oksit ve karbür bileşik malzemeleri kaplanacaktır. Kaplama işleminde kalınlıkları 250 µm olan Al_2O_3 , SiC ve

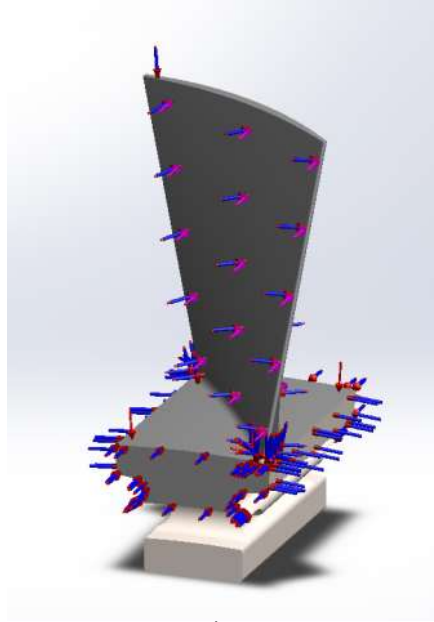
WC olarak üç farklı kaplama malzemesi seçilmiştir. Program üzerindeki kaplama işleminin görüntüsü Şekil 3’te verilmiştir.



Şekil 3. SolidWorks programında a) model jet türbin pervanesi ve b) kanatçık üzerine gerçekleştirilen kaplama görüntüsü

2.2. SolidWorks programı ile Statik Analiz

Statik analizlerde kullanılan kanatçığa ait resim Şekil 4’te verilmiştir. Statik analizler tasarlanan türbin kanatçıklarına uygulanmıştır. Literatür ışığında [11, 12, 13], analizde 20°C sıcaklığa sahip olan türbin pervanesi kanatçık tasarımı, 1200°C sıcaklığa sahip sıcak havaya, 103190 Pa basınca ve 196,2 N kuvvete aynı anda maruz bırakılmıştır. Kanatçığın bıçak ve üst tepe kısmına 1200°C, kanatçığın orta gövde kısmına ise 20°C sıcaklık uygulanmıştır. Analiz sonrasında malzeme yüzeyinde oluşan deformasyonlara incelenmiştir.



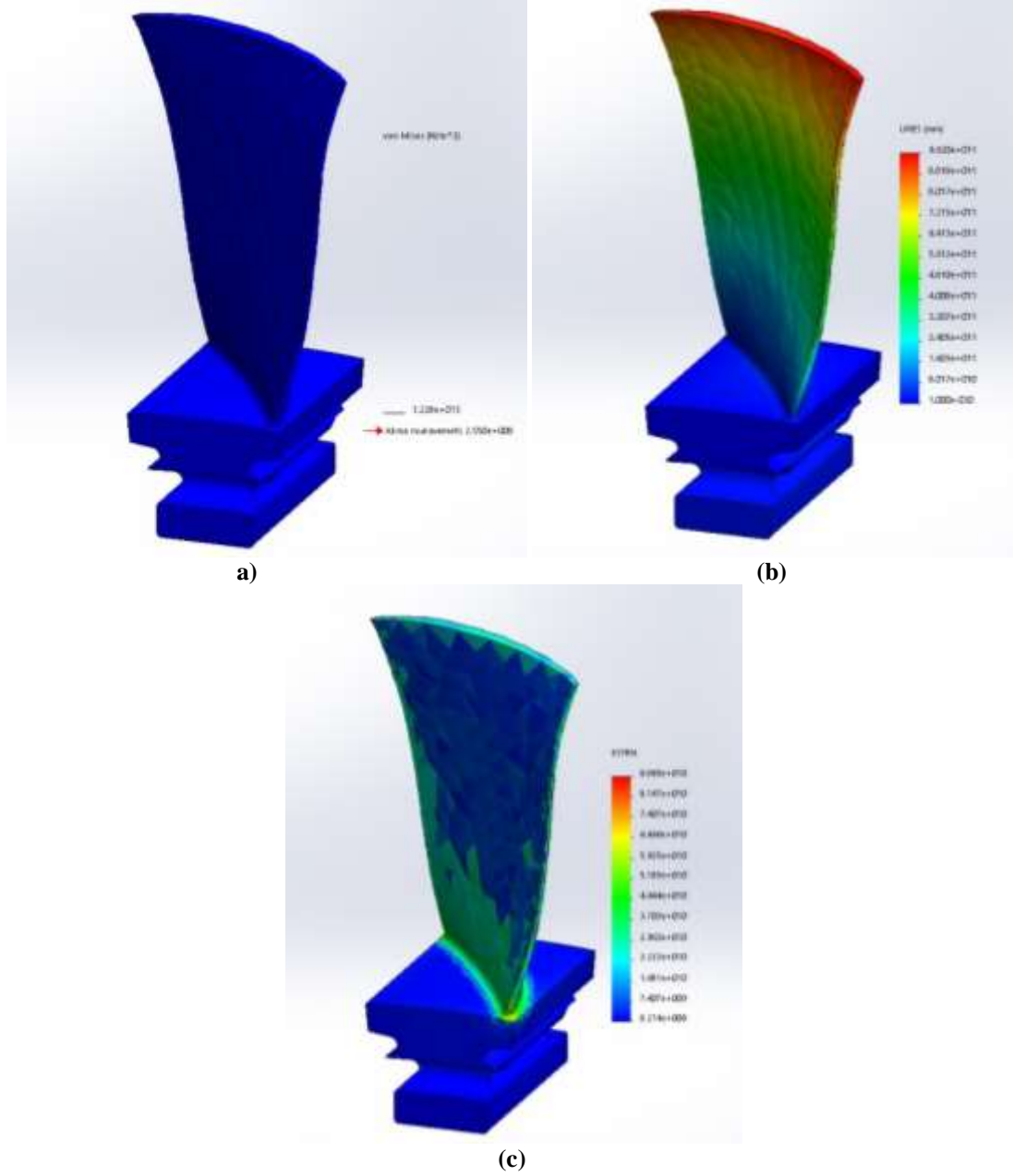
Şekil 4. Statik Analiz İçin Kullanılan Kanatçık

3. Bulgular

3.1. Al₂O₃ ile Kaplanan Kanatçığın Statik Analizi

AISI 1045 çeliği kullanılarak tasarlanan ve Al₂O₃ malzemesi ile kaplanmış olan kanatçığa ait statik analizler Şekil 5’te verilmiştir. Statik analizde parça üzerinde stres, yer değiştirme ve gerinim etkileri incelenmiştir. Şekil 5-a’da görüldüğü gibi parça üzerinde herhangi bir stresin oluşmadığı görülmüştür. Şekil 5-b’de görülen parça üzerindeki yer değiştirmede, kanatçık geometrisine nazaran uygulanan büyük

yüklerin kanatçık bıçağının üst kısmını etkileyen bir yer değiştirmeye sebep olduğu gözlemlenmiştir. Fakat bu yer değiştirmenin, kanatçıklara uygulanan yüklerin kaldırılmasıyla, kanatçığın eski formuna gelmesinde olumsuz bir etki yapmadığı görülmüştür. Şekil 5-c’de ise parça üzerinde gerininin kanatçık bıçağının alt kısmına doğru çok az olduğu görülmüştür. Bu oluşan gerininin, çalışan makine parçalarında görülebilen bir gerinim miktarı olduğu düşünülmektedir.

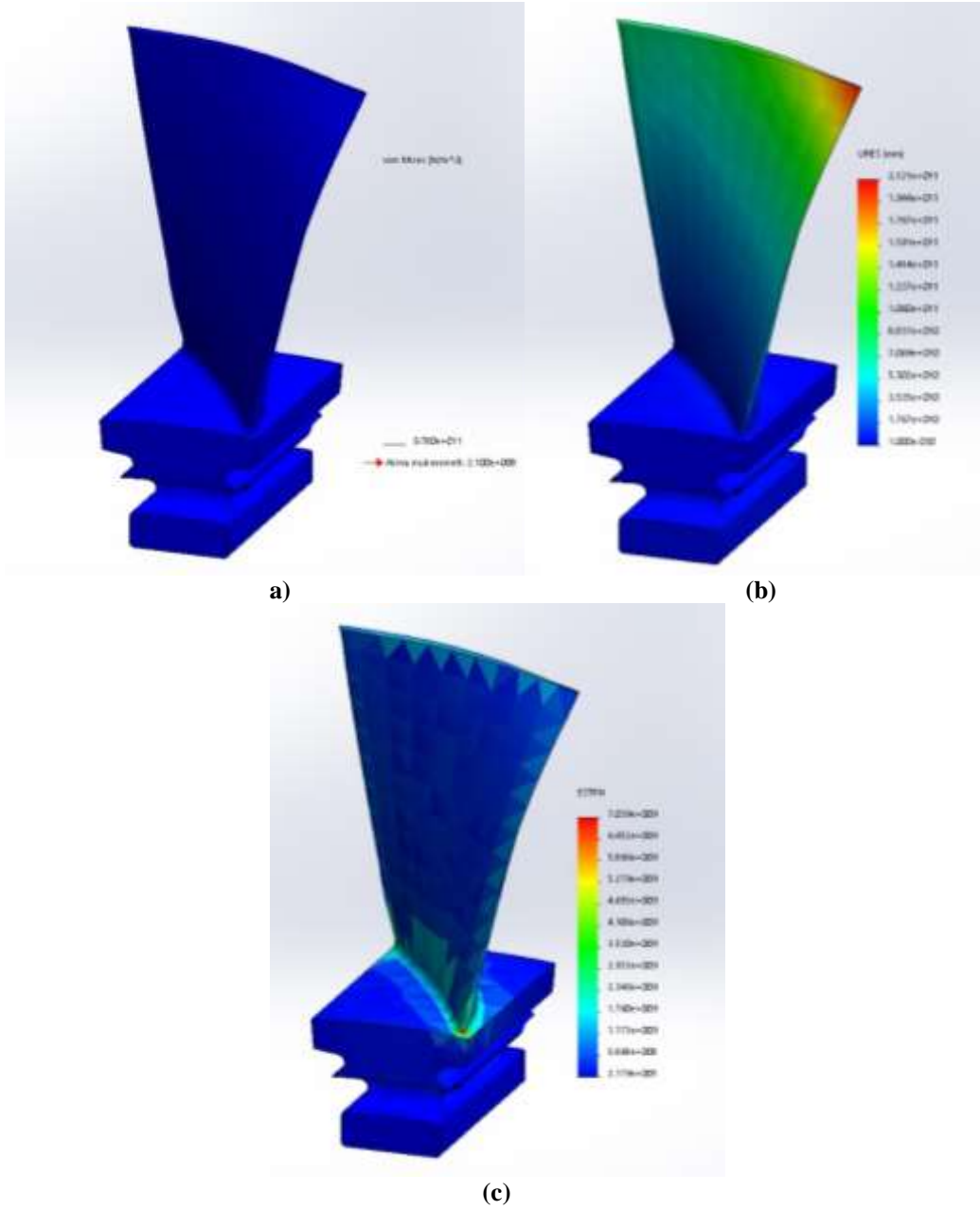


Şekil 5. Al_2O_3 ile kaplama yapılmış kanatçığın statik analiz sonucu
a) Stres analizi, b) Yer değiştirme analizi, c) Gerinim analizi

3.2. SiC ile Kaplanan Kanatçığın Statik Analizi

AISI 1045 çeliği kullanılarak tasarlanan ve SiC malzemesi ile kaplanmış olan kanatçığa ait statik analizler Şekil 6’da verilmiştir. Şekil 6-a’da parça üzerinde herhangi bir stresin oluşmadığı görülmüştür. Şekil 6-b’de görülen parça üzerindeki yer değiştirmede, kanatçık geometrisine nazaran uygulanan büyük yüklerin kanatçık bıçağının üst sağ kısmında kısmi etkileyen bir yer değiştirmeye sebep olduğu görülmektedir. Şekil 6-c’de ise parça üzerinde gerininin kanatçık bıçağının alt kısmına doğru çok az

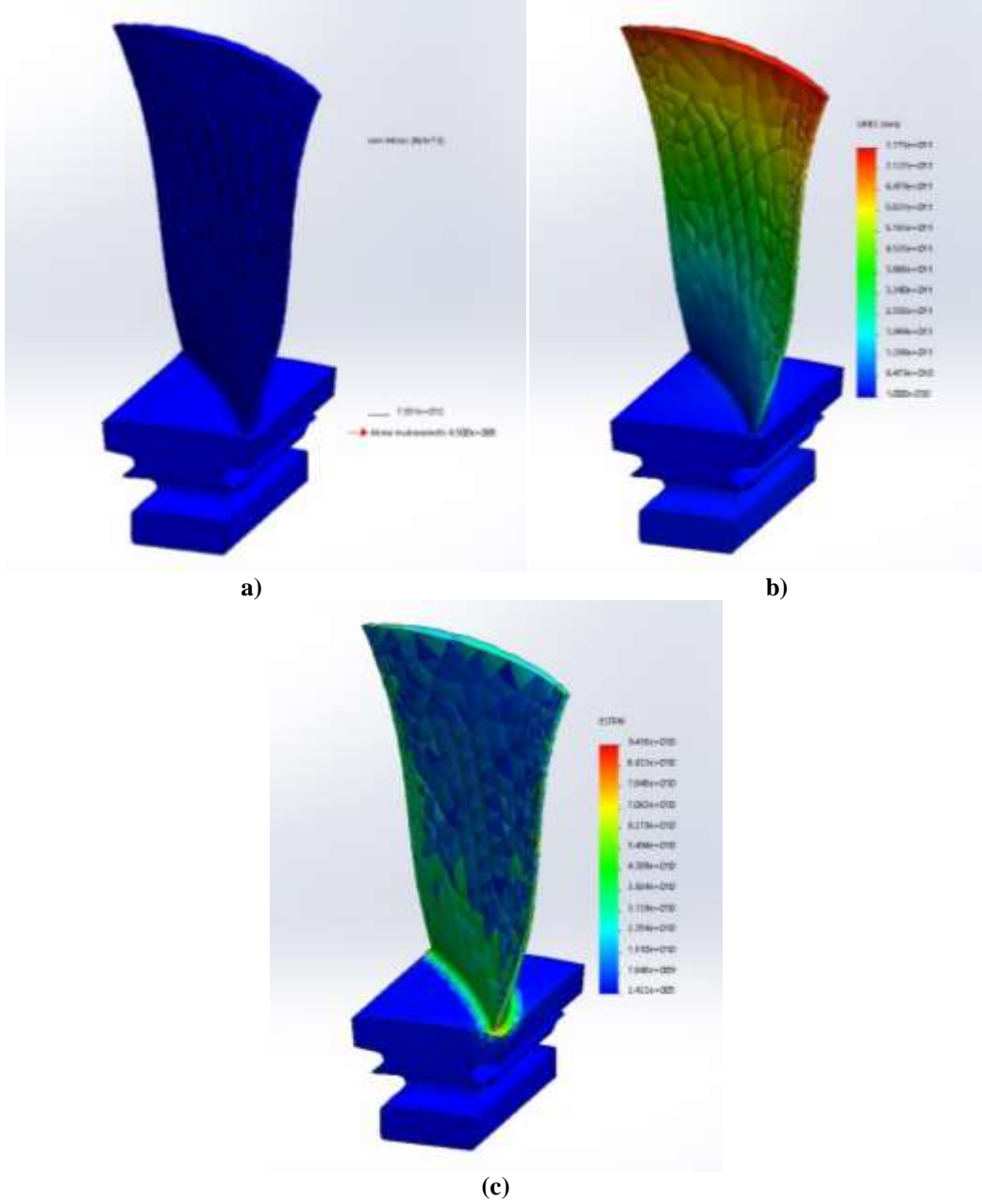
olduğu görülmüştür. AISI 1045 çeliğinden imal edilen ve SiC kaplama malzemesi ile kaplanmış olan kanatçığın statik analizde en iyi sonucu verdiği görülmüştür.



Şekil 6. SiC ile kaplama yapılmış kanatçığın statik analiz sonucu
a) Stres analizi, b) Yer değiştirme analizi, c) Gerinim analizi

3.3. WC ile Kaplanan Kanatçığın Statik Analizi

AISI 1045 çeliği kullanılarak tasarlanan ve WC malzemesi ile kaplanmış olan kanatçığa ait statik analizler Şekil 7'de verilmiştir. Şekil 7-a'da parça üzerinde herhangi bir stresin oluşmadığı görülmüştür. Şekil 7-b'de görülen parça üzerindeki yer değiştirmede, kanatçık geometrisine nazaran uygulanan büyük yüklerin kanatçık bıçağının üst kısmını etkileyen bir yer değiştirmeye sebep olduğu gözlemlenmiştir. Şekil 7-c'de ise parça üzerinde gerinimin kanatçık bıçağının alt kısmına doğru çok az olduğu görülmüştür. AISI 1045 çeliğinden imal edilen ve WC kaplama malzemesi ile kaplanmış olan kanatçığın statik analizde en olumsuz sonucu verdiği görülmüştür.



Şekil 7. WC ile kaplama yapılmış kanatçıĝın statik analiz sonucu
a) Stres analizi, b) Yer deĝiřtirme analizi, c) Gerinim analizi

4. Sonuç ve Öneriler

AISI 1045 çeliĝi kullanılarak SolidWorks programı ile Model Jet Türbin Pervanesi tasarlanmıştır. Kaplama işlemi uygulanmış Model Jet Türbin kanatçıklarına statik analiz uygulanmıştır. Analizde stres, yer deĝiřtirme ve gerinim deĝerleri incelenmiştir. Analiz sonunda elde edilen sonuçlar ařaĝıda verilmiştir.

- Tasarlanan Model Jet Türbin Pervane üzerine yine bu program kullanılarak Al_2O_3 , SiC ve WC malzemeleri kaplanabilmiřtir.
- Statik olarak tüm numunelerin stres analizinde, stresin oluřmadıĝı tespit edilmiştir. Yer deĝiřtirmenin ise yükün kaldırılması ile numuneye herhangi bir etki yapmadıĝı görülmüştür.
- Statik analizde en iyi sonuç, SiC malzemesi ile kaplanan numunede, en olumsuz sonuç ise WC malzemesi ile kaplanan numunede tespit edilmiştir.

Yazarların Katkısı

Bu çalışma Prof. Dr. Serkan ÖZEL'in danışmanlığında yürütülen, lisansüstü eğitim öğrencisi Azeb ÖZCAN'ın yüksek lisans tezinden üretilmiştir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar

- [1] Regh J.A., Kraebber H.W. 2005. Computer Integrated Manufacturing. 3rd. Edition. Pearson Education Co. Inc., Prentice Hall Publisher, New Jersey, USA.
- [2] Cicek A., Gülesin M. 2007. A part recognition-based computer aided assembly system. Computers in Industry, 58: 733-746.
- [3] Külekci M.K., Demirel M. 2006. Perçin Sistemlerinin Parametrik Tasarım Programları Yardımı ile Bilgisayar Ortamına Tanımlanması ve Kuvvet Analizi Yapılması. Türk CAD/CAM, 1: 81-83.
- [4] Er M., Kayır Y. 2019. The Effect of the CAD Data Exchange on the Motion Analysis in the Solidworks CAD Program. Aksaray University Journal of Science and Engineering, 3 (1): 51-60.
- [5] Srikrishnanivas D. 2012. Rotor Dynamics Analysis of RM12 Jet Engine Rotor using ANSYS. Master Degree Thesis, Bilekinge Institute of Technology, Karlskrona, Sweden.
- [6] Dadlani M., Joshi U.K. 2018. Design and Analysis of Aero Turbine Disc by FEA. International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology (IJRASET), 6 (6): 1955-1968.
- [7] Akbari P., Müller N. 2003. Preliminary Design Procedure for Gas Turbine Topping Reverse-Flow Wave Rotors. Proceedings of the International Gas Turbine Congress, Tokyo.
- [8] Hollkamp J.J., Gordon R.W. 2001. Modal test experiences with a jet engine fan model. Journal of Sound and Vibration, 248 (1): 151-165.
- [9] Mutlu Ö. 2015. Küçük Ölçekli Turbo Jet Motor Modellemesi ve Kontrolü. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [10] Amoo L.M. 2013. On the design and structural analysis of jet engine fan blade structures. Progress in Aerospace Sciences, 60: 1-11.
- [11] Polat C. 2009. An Electronic Control Unit Design for a Miniature Jet Engine. Master Thesis, Middle East Technical University, Ankara.
- [12] Wessley G.J.J. 2019. Design and Modeling of a Micro Turbojet Engine for UAV propulsion. International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT), 8 (3): 722-726.
- [13] <http://aeromodelbasic.blogspot.com/2011/12/airflow-systems.html> (Erişim tarihi: 15.01.2019).

Araştırma Makalesi / Research Article

Çarpma yükü etkisinde sandviç plakların şekil optimizasyonu

Sedat SAVAŞ, Dursun BAKIR*

*Fırat Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Elazığ
(ORCID: 0000-0003-2466-3514) (ORCID: 0000-0001-6398-0497)*

Öz

Çarpma yükü altındaki plakların davranışı statik yüklemelerin aksine farklılık göstermektedir. Cismin plağa çarpma anında ve cismin plaktan teması kestikten sonrada plaktaki gerilme dağılımları değişmektedir. Yaptığımız çalışmada bu gerilme değişimlerini hesaba katarak iki plak levhası arasına konulan çekirdek malzemesi geometrisinin şekil optimizasyonu amaçlanmıştır. Bu amaçla önce mekanik özellikleri bilinen polipropilen sandviç levha üzerinde çarpma deneyi yapılmıştır. Deney sonucunda plakta oluşan çökme değeri sınırlayıcı olarak seçilerek plaklar arasındaki şeklin geometrisinin optimizasyonu yapılmıştır. Yapılan optimizasyon hesaplamaları ANSYS LS-DYNA paket programına ait APDL programlama dilinde yazılmıştır.

Anahtar kelimeler: Kompozit plak, Sandviç plak, Şekil optimizasyonu, LS-DYNA, Çarpma yükü.

Shape optimization of sandwich plates under impact load

Abstract

The behavior of plaques under impact loading differs from that of static loads. As soon as the object is impacted and the object is removed from the object, the strain distribution in the plate changes. In our work we aimed to optimize the geometry of the core material geometry placed between two plate plates by adding these stress changes to the calculations. For this purpose, the impact test was carried out on a polypropylene sandwich plate with mechanical properties. As a result of the experiment, the geometry of the shape between the plates was optimized by choosing the value of the collapse occurring in the plate. The optimization calculations made are written in APDL programming language of ANSYS LS-DYNA package program.

Keywords: Composite plate, sandwich plate, shape optimization, LS-DYNA, impact load.

1. Giriş

Sandviç malzemeler gibi mukavemeti yüksek olan malzemeler, klasik malzemelere kıyasla sahip oldukları yüksek ses izolasyonu, enerji absorbe eğilimi, hafiflik, darbelere karşı dayanım ve “eğilme rijitliği/ağırlık” oranı gibi önemli avantajlarından dolayı birçok alanda kullanılmaktadır. Ayrıca günümüzde bu malzemeler, hafif, sağlam, korozyona dayanaklı ve yüksek sıcaklıklarda işlenebilir özellikleri sayesinde geniş bir kullanım alanına sahiptir [1].

Sandviç malzemeler, rijit bir alt ve üst tabaka arasına kalın ancak oldukça hafif çekirdek malzemesinin yerleştirilmesiyle üretilirler. Malzeme teknolojisindeki gelişmeler, sandviç malzemelerin de birçok sektörde gittikçe artan oranlarda kullanılmalarını sağlamıştır [2]. Sandviç malzemeler; havacılık ve uzay sanayiinde, savunma sanayiinde, mermer sanayiinde, ambalaj sanayiinde; denizcilikte, endüstriyel yapılarda, otomotiv sektöründe, yalıtım sistemlerinde, mobilyacılık sektöründe ve çoğu spor aletlerinde oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. İnşaat sektöründe ise bu malzemeler raylı ulaşım sistemlerinde, yapı mantolamalarında, duvar panellerinde, kapılarda, mimari dekorasyonlarda dekoratif profillerde, enerji absorbe edilebilen tampon tasarımlarında, viyadüklerde, virajı keskin olan yollarda kaza riskini azaltmak amacıyla kullanılan bariyerlerde yaygın kullanım alanlarına sahiptir. Mühendislik

*Sorumlu yazar: dbakir@firat.edu.tr

Geliş Tarihi: 08.01.2020, Kabul Tarihi: 27.11.2020

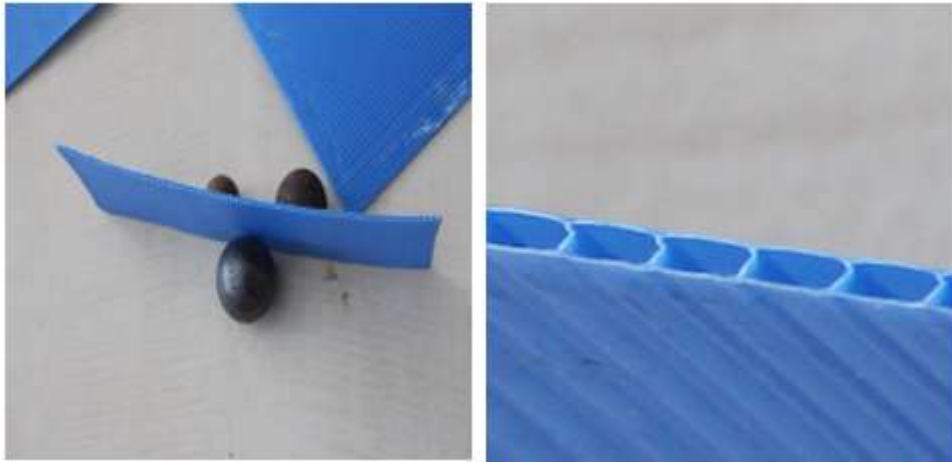
yapılarında imalattan itibaren kullanım esnasında dışarıdan gelebilecek herhangi bir etkiye karşı istenmeyen sonuçların önüne geçmek için malzemenin bu tarz etkiler karşısında mekanik davranışının bilinmesi gerekir. Yapılacak darbe testleri ile malzemenin vereceği tepkiler görülebilir. Darbe testleri sonucu petek yapıları kompozitlerin, deformasyon, dayanım ve kırılma değerleri ile enerji absorbe özellikleri darbe yükleri altında elde edilebilir [3]. Çeşitli malzemeler, yapıştırıcılar ve farklı hücre boyutunun seçimi ile darbe direncinin optimumu elde edilebilir. Darbeyi yüzeye yayabilmek için daha kuvvetli bir yapıştırıcı ihtiyacı sandviç yapılarda birleştirimin önemini göstermektedir [4]. Darbe testlerinde meydana gelen hasarların darbe alınan bölgenin etrafında toplandığı, yüzeye yayılmadığı bilinmektedir [5]. Darbe ucu, panelin geometrisi, yapışma özelliği ve çekirdek yapısı darbe direncine bağlı özelliklerdir[6]. Bu çalışmada bir birine paralel ince levhalardan elde edilen sandviç panelin oluşturduğu çekirdek yapının deplasmanı, çelik bir kürenin 1 m yükseklikten yerçekimi ivmesi ile panelin üzerine düşürülmesi ile ölçülmüştür. Ölçülen deplasman değeri sınırlayıcı kabul edilerek farklı şekil ve kalınlıklar için optimum plak ağırlığı belirlenmiştir.

2. Materyal ve Metot

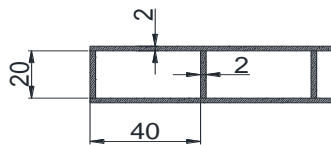
Deneyde çapları, 47.5 mm, 40.3 mm ve 30.7 mm olan üç farklı çelik küre ve Şekil 1’de görüleceği gibi sandviç plak olarak polipropilen malzeme içerikli çekirdeği ince yapılardan oluşan levha kullanıldı. Plak, 0.2 mm kalınlığında alt ve üst plaklardan fabrikasyon olarak imal edilen 200mm x 200 mm kullanılmıştır. Çekirdek ise Şekil 2’de görüldüğü gibi kalınlığı 0.1 mm ve genişliği 2 mm olan birbirine paralel levhalar ve levhalar arası mesafe 4mm geometrisine sahiptir. Malzemenin ve kürenin mekanik özellikleri ise Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Plak ve çelik kürenin mekanik özellikleri

Elastisite Modülü (Plak)	Poisson Oranı (Plak)	Yoğunluğu (Plak)
152192 gr/mm ²	0.34	0.00184 gr/mm ³
Elastisite Modülü (Çelik Küre)	Poisson Oranı (Çelik Küre)	Yoğunluğu (Çelik Küre)
0.0078 gr/mm ²	0.30	2.1x10 ⁷ gr/mm ³



Şekil 1. Polipropilen levha kesiti ve çelik küreler



Şekil 2. Polipropilen sandviç levha en kesiti

Sandviç levha Şekil 3’de görüldüğü gibi iki ayrı ahşap çerçeve ile mesnetlemek için kayma mukavemeti 10 kg/mm²’lik yapıştırıcı ile sabitlendi.



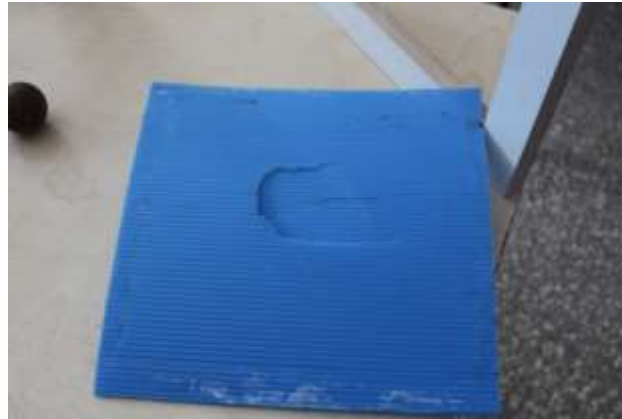
Şekil 3. Polipropilen sandviç levha en kesiti

Şekil 4’de görüldüğü gibi 1 m mesafeden 3 kürede düşürülerek sandviç plakta çarpma sonucu oluşan maksimum deplasman ölçüldü.



Şekil 4. Çarpma deneyi

Kürelerin darbe etkisi bilgisayar simülasyonu ile karşılaştırması yapılarak hesapların doğrulaması yapılmıştır. 1 cm ve 3 cm çaplarındaki kürelerin çarpması sonucunda levhada deplasman oluşmuştur. En büyük kürenin çarpmasından sonra plak yırtıldığı için şekil 5’de görüldüğü gibi deplasman ölçülemedi.



Şekil 5. 4 cm çapındaki kürenin çarpması sonucu plakta oluşan yırtılma

3 cm’lik kürenin yaptığı çarpma darbesi sonucunda plakta 3 mm deplasman oluşmuştur. Yaptığımız optimizasyon hesaplamasında bu değer aşılmaması gereken sınır olarak belirlenmiştir.

2.1. Kesikli hareket denklemlerinin açık zaman entegrasyonu

Bu çalışma, yerçekimi etkisi altında düşürülen çelik kürenin sandviç plakta oluşturduğu zamana bağlı deformasyon ve gerilmeleri belirleyerek plak hacmini optimize etmeyi amaçlamıştır. Bu zamana bağlı deformasyon denklemleri ile denge denklemleri birleştirilerek dinamik uygulama gerçekleştirilmiştir. Bu entegrasyon kapalı veya açık yöntemler kullanılarak yapılabilir. Kapalı yöntemlerde, dinamik denklemler zaman entegrasyon operatörü ile birleştirilir ve deplasmanlar doğrudan bulunur. Öte yandan, açık yöntemlerde, ivme, dinamik denklemlerden belirlenir ve sonra yer değiştirmelerin elde edilmesi için entegre edilir. Newmark'ın sabit hızlandırma yöntemi gibi en yaygın örtülü entegrasyon yöntemleri koşulsuz olarak kararlıdır [7]. Bu zaman adımlarının yalnızca yakınsamalı bir doğrulukla sınırlı olduğunu gösterir. Ancak, örtük yöntemler her zaman doğrusal olmayan bir dizi cebirsel denklem gerektirir. Ayrıca, örtülü entegrasyon için, hataları kontrol etmek ve farklılaşmayı önlemek için adımları tekrarlamak gereklidir. Bu nedenle, adım başına sayısal işlem sayısı her zaman açık entegrasyondan üç kat daha büyüktür [8]. Açık FEM analizi, yük (veya yer değiştirme) için aşamalı prosedürü uygular ve her bir artışın sonunda, geometrik ve malzeme değişikliklerine (varsa) dayanarak rijitlik matrisini günceller. Daha sonra, yeni bir rijitlik matrisi oluşturulur ve sisteme bir sonraki yük artışı (veya yer değiştirme) uygulanır. Bu metot, harici olarak uygulanan yüklerle içyapı kuvvetlerinin dengesini bozmaz.

Merkezi fark yöntemi gibi açık yöntemlerde, doğrusal olmayan davranışların oldukça belirgin bir çözümü vardır ve tekrarlamaya gerek yoktur. Her zaman adımında çözülecek olan ayrık hareket denklemleri sistemi aşağıdaki gibidir.

Dinamik denklem formül 1 de verildiği gibidir;

$$M \ddot{U} + C \dot{U} + KU = F \quad (1)$$

Burada, M yapının kütle matrisi, C sönümleme matrisi, K rijitlik matrisi, F dış kuvvet vektörü, nodal ivme vektörü, nodal hız vektörü, ve U yapının deplasman vektörüdür.

0, t₁, t₂, ..., t_n zamanında yapının hızı ve ivmesi bilinirse, t_{n+1}(t+Δt) anında yapının deplasmanı belirlenebilir. Merkezi fark, hız türevinin merkezi farkını değiştirmek için kullanılırsa;

$$\dot{U}_t = \frac{1}{2\Delta t} (-U_{t-\Delta t} + U_{t+\Delta t}) \quad (2)$$

Denklem 1, denklem 2 ile yer değiştirilse aşağıdaki durum elde edilir.

$$\widehat{M} U_{t+\Delta t} = \widehat{R}_t \quad (3)$$

$$\widehat{M} = \frac{1}{\Delta t^2} M + \frac{1}{2\Delta t} C \quad (4)$$

$$\widehat{R}_t = F_t - \left(K - \frac{2}{\Delta t^2} M \right) U_t - \left(\frac{1}{\Delta t^2} M - \frac{1}{2\Delta t} C \right) U_{t-\Delta t} \quad (5)$$

Burada, \widehat{R}_t yük vektörü, \widehat{M} etkili kütle matrisi, F_t yapısal yük vektörüdür.

(4) nolu lineer denklem t+Δt zamanındaki U_(t+Δt) deplasman vektörünü verir. U_(t+Δt), elastodinamik denge denkleminde (6) ve (7) ikame ederek, t+Δt zamanında hücre stresini ve zorlanmalarını alabiliriz.

Geometrik denklemler:

$$\varepsilon_{ij} = \frac{1}{2} (u_{ij} + u_{ji}) \quad (6)$$

Fiziksel denklemler:

$$\begin{aligned}\delta_{ij} &= \lambda \varepsilon_{kk} \delta_{ij} + 2\mu \varepsilon_{ij} \\ \sigma_{kk} &= (3\lambda + 2\mu) \varepsilon_{kk} = 3K \varepsilon_{kk}\end{aligned}\quad (7)$$

Karşılıklı çözüme göre, denklemlerin merkezi fark yöntemi ile çözümü, hesaplama kapanış koşulları altında gerçekleşene kadar devam eder [9]. Merkezi fark yöntemi açık bir algoritmadır ve stabildir. Başka bir deyişle problemleri çözmek için bu yöntemi kullanırken, zaman adımlarının büyüklüğü problem çözüm denkleminin işleyişi tarafından belirlenen bir adımın altında olmalıdır[10].

2.2. Modelleme ve optimizasyon algoritmasının uygulanması

Optimizasyon, birçok bilim ve mühendislik alanında önemli bir araçtır. Birçok modelleme, tasarım, kontrol ve karar verme problemleri matematiksel optimizasyona dayanarak formüle edilebilir. Başka bir deyişle en iyi olarak kastedilen kriteri hedef olarak belirleyip, matematiksel fonksiyonla temsil ettirilip, belirtilen sınırlar ölçüsünde fonksiyonun minimum bazen de maksimum değerinin bulunmasıdır [11]. Optimizasyonun diğer bir amacı, yapıyı tam gerilmeye zorlamaktır. Tam gerilmeye zorlanma sonucu yapı optimum şeklini belirler. Mühendislik problemlerinin çoğu, genellikle sınırlayıcı minimumizasyonu içerir. Sınırlandırılmış bir yapının minimum ağırlık tasarımının, gerilme ve deplasman üzerinde bulunması, bu tür kısıtlı minimumizasyon probleminin bir örneğidir. Optimum ağırlık-mukavemet oranı elde etmek amacıyla kullanılan optimizasyon metotları, seviye ayar metodu, malzeme bulut metodu, genetik algoritma, evrimsel metot ve eleman silme metodu gibi metotlar kullanılarak uygulanmaktadır[12].

Optimum bir tasarım için çalışırken, tasarım sürecini karakterize eden üç tip değişken vardır; tasarım değişkenleri, durum değişkenleri ve amaç fonksiyonu. Bu değişkenler, APDL'de (ANSYS Parametric Design Language) skaler parametrelerle temsil edilir. APDL'de bağımsız değişkenler tasarım değişkenleridir. Tasarım değişkeni kısıtlamaları, yan sınırlar olarak adlandırılır ve genel olarak uygulanabilir tasarım alanı olarak tanımlanır.

$$\text{Minimize} \quad f = f(x) \quad (8)$$

$$\text{sınırlayıcılar} \quad g_i(x) \leq g_i \quad i = 1, \dots, m_1 \quad (9)$$

$$h_i \leq h_j(x) \leq 0 \quad i = 1, \dots, m_2 \quad (10)$$

$$\underline{w}_i \leq w_i(x) \leq \bar{w}_i \quad i = 1, \dots, m_3 \quad (11)$$

Burada: f = amaç fonksiyonu
 g_i, h_i, w_i = durum değişkenleri
 m_1, m_2, m_3 = durum değişkeni sayısı

ANSYS paket programında sayısız optimizasyon yöntemi kullanılmıştır (first-order, sub-problem approximation, random design generation, the sweep tool, gradient evaluation tool). Bu çalışmada, optimizasyon algoritması olarak birinci dereceden optimizasyon yöntemi (first-order) kullanılmıştır.

Birinci mertebeden yöntemde, amaç fonksiyona ceza fonksiyonları ekleyerek soruyu sınırsız bir hale dönüştürür. Birinci mertebeden yöntem, tasarım değişkenlerine göre bağımlı değişkenlerin gradyanlarını kullanır. Her bir iterasyon için, bir arama yönünü belirlemek amacıyla gradyan hesaplamaları (en dik iniş ya da eşlenik yön metodu kullanılarak) gerçekleştirilir ve kısıtlanmamış problemi en aza indirmek için bir çizgi arama stratejisi benimsenir. Böylece, her yineleme, arama yönünü ve gradient hesaplamaları içeren birkaç alt yinelemeden oluşur. Bu nedenle, bir optimizasyon yinelemesi first order yöntemi için birkaç analiz döngüsü gerçekleştirir [13].

Kısıtsız bir problem aşağıdaki gibi formüle edilir.

$$Q(x, q) = \frac{f}{f_0} + \sum_{i=1}^n P_x(x_i) + q \left\{ \sum_{i=1}^{m_1} P_g(g_i) + \sum_{i=1}^{m_2} P_h(h_i) + \sum_{i=1}^{m_3} P_w(w_i) \right\} \quad (12)$$

Burada;

Q : boyutsuz ve sınırlandırıcısı olmayan amaç fonksiyonu

P_x, P_g, P_h, ve P_w: kısıtlı tasarıma ve durum değişkenlerine uygulanan cezalar,

Kısıtların uygunluğu q, yanıt yüzeyi parametreleri tarafından kontrol edilir.

Harici ceza fonksiyonu (P_x) tasarım değişkenlerine uygulanır. Durum değişken kısıtlamaları genişletilmiş iç ceza fonksiyonları (P_g, P_h, P_w) ile ifade edilir.

$$Q_f(x) = \frac{f}{f_0} \quad (13)$$

$$Q_p(x, q) = \sum_{i=1}^n P_x(x_i) + q \left\{ \sum_{i=1}^{m_1} P_g(g_i) + \sum_{i=1}^{m_2} P_h(h_i) + \sum_{i=1}^{m_3} P_w(w_i) \right\} \quad (14)$$

Sonra denklem (8) aşağıdaki formu alır,

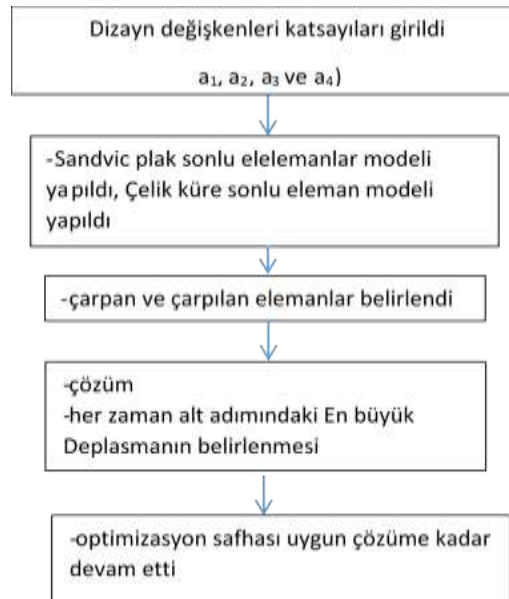
$$Q(x, q) = Q_f(x) + Q_p(x, q) \quad (15)$$

Q_f ve Q_p fonksiyonları sırasıyla amaç fonksiyonu ve ceza kısıtlayıcılarıyla ilişkilidir.

2.3. Uygulanan algoritma

Programın algoritması Şekil 6'da verilen akış diyagramına göre yapılarak simülasyon programı hazırlanmıştır. Hazırlanan simülasyon programı aşağıdaki adımlarla gerçekleştirildi.

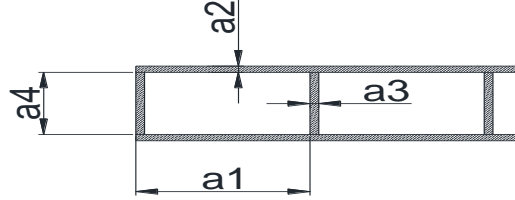
- Üç tip çekirdek yapısına göre modelleme yapıldı.
- Plak elemanlarını toplamının hacmi hesaplandı.
- Küre modellemesi yapıldı ve 1 m yükseklikten kürenin plağa çarpma anındaki hızı hesaplanarak çelik küre plağa yakın konuma getirildi.
- Çarpma anının başlangıcından plakta çarpmadan dolayı oluşan titreşimlerin sönümlendiği zamana kadarki maksimum plak ortası deplasman hafızaya alındı.
- Optimizasyon için plak üst ve alt tabakalarına ait kalınlıklar, çekirdek geometrisi ve plak ortası deplasmanı sınırlayıcı olarak tanımlandı. Amaç fonksiyonu ise sandviç plak toplam hacmi alındı.
- First order metodu uygulanarak minimum hacim elde edilene kadar döngü devam etti.



Şekil 6. Optimizasyon veri akış diyagramı

2.4. Deneyin similasyonu ve optimum çekirdek şeklinin elde edilmesi

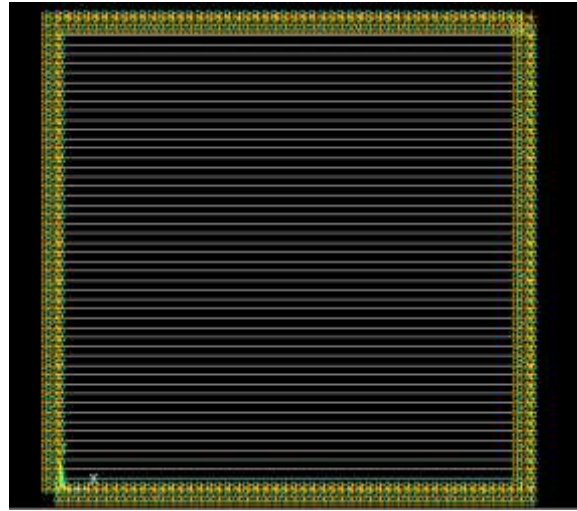
Laboratuvar şartlarında yaptığımız deneyde sadece çekirdeği birbirine paralel levhalardan oluşan sandviç panel kullanılmıştır. Aşağıdaki Şekil 7 ve 8’de görüldüğü gibi hem deneyinin ve hem de simülasyonu yapılan sandviç panel görülmektedir. 200x200 mm boyutlarında olan bu plak dört kenarından X, Y, Z yönünde deplasman yapması önlenmiştir. Sonraki analiz safhasında üç farklı şekle sahip çekirdekli levha üzerinde yapılmıştır. Optimizasyon kısmı bu şekillere uygulanarak en ekonomik şekil belirlenmiştir. Çözüm için deneyde kullanılan sandviç plağın boyutları ve değişkenleri Şekil 7 ve Tablo 2’de verilmiştir.



Şekil 7. Sandviç plağın geometrik değişkenleri

Tablo 2. Sandviç Plağın boyutları

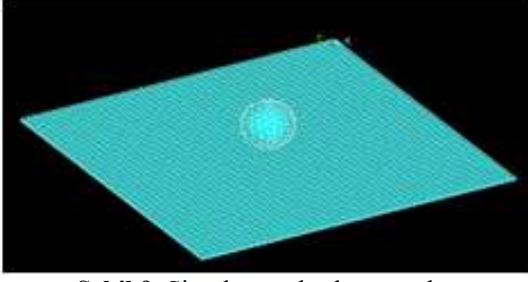
a1	a2	a3	a4	Hacim
4.00 mm	0.20 mm	0.20 mm	2.00 mm	24000 mm ³



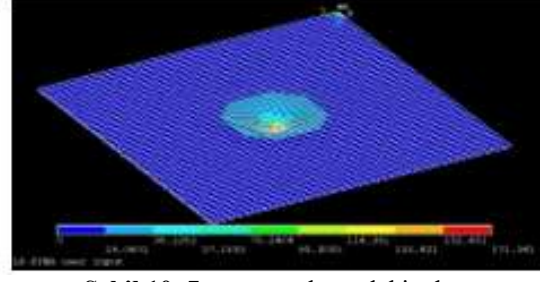
Şekil 8. Birbirine paralel dikdörtgen çekirdekli sandviç panel

2.5. Deney Sonuçları ile Simülasyonun ile Karşılaştırılması

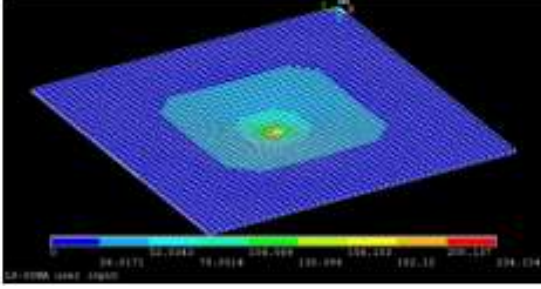
Simülasyon, yapılan deney şartlarına birebir uygunluğu 3 küre içinde yapıldı (Şekil 9). Yapılan deneyde küre 1 m’den düşürülmesine rağmen bu mesafe analiz süresini uzatacağı için hesaplamada çarpan küre çarpılan levhaya 2 mm mesafeye getirildi. Buna karşılık kürenin başlangıç hızı yerçekimi ivmesi göz önünde bulundurularak 4.5 m/sn olarak alındı. Çarpma süresinin ayarlanmasında kürenin plağa temasının başlaması ve teması kestikten sonra plaktaki titreşimlerin bitme anına kadar geçen süre 3 sn alınmıştır. Bu 3 sn’lik süre 50 Kısıma bölünerek 150 defada sistemde meydana gelen deplasman ve gerilmeler hafızaya kaydedilmiştir. Bu değerlerin maksimumu hafızaya alınarak yapılan deneyle karşılaştırma yapılarak modellenmenin doğruluğu belirlenmiştir. Aşağıda simülasyonun çeşitli anlarındaki gerilme dağılımları ve deformasyonlu şekiller görülmektedir. İlk şekil deforme 7. Zaman aralığında olmuştur (Şekil 10). Sonra büyük fark görünen zaman aralıklarındaki şekiller verilmiştir (Şekil 11-18).



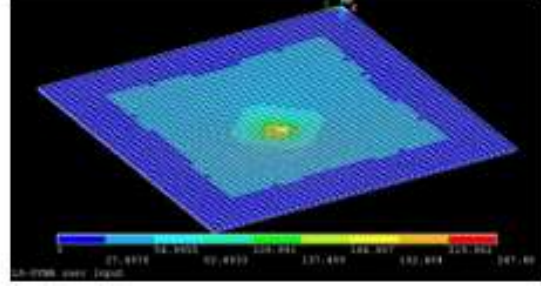
Şekil 9. Simülasyon başlangıcında cisimlerin konumu



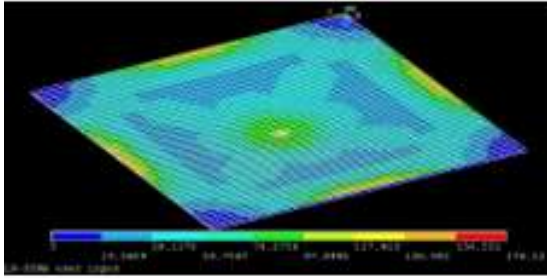
Şekil 10. 7. zaman adımındaki adım



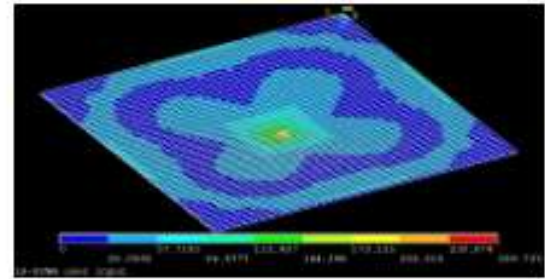
Şekil 11. 8. adım (8. Step)



Şekil 12. 9. Adım (9.step)

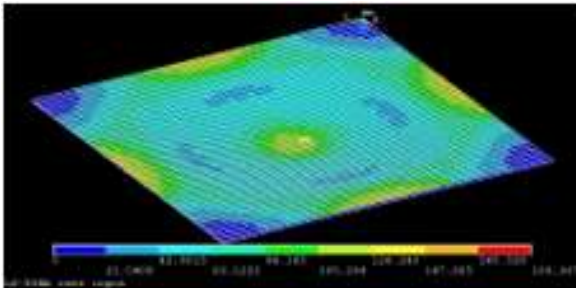


Şekil 13. 10. Adım (10.step)

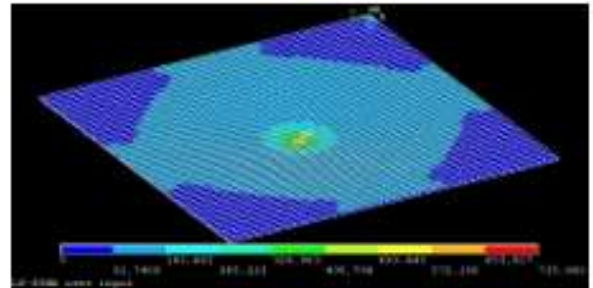


Şekil 14. 11. Adım (11.step)

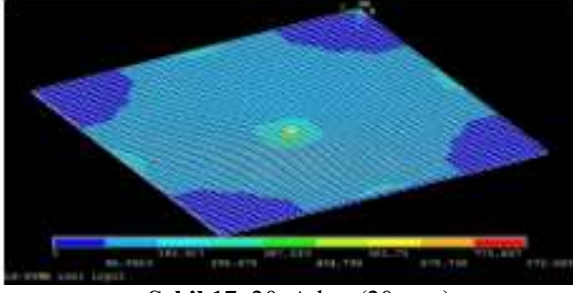
Bu deney sonucunda elde ettiğimiz dataları daha ekonomik bir şekil elde etmek için önce deneydeki malzemenin simülasyonu yapan programa optimizasyon kodları yazarak aynı çarpma yük altında daha ekonomik sonucu elde edecek programı yazarak aşağıda yapılan modelleme ve çarpma sonucunda oluşan zamana göre gerilme dağılımı gösteren şekiller sunulmuştur. 35. zaman aralığından sonra plak yukarı doğru ters yönde hareket etmeye başlamıştır (Şekil 19-20). Bu aralıkta kürenin teması kesilmiş olup çarpma işlemi bitmiş ancak gerilme değişimleri devam etmektedir (Şekil 21).



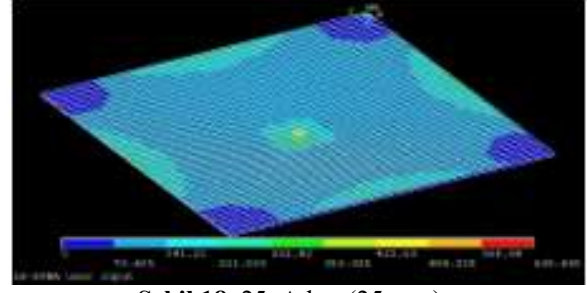
Şekil 15. 12. Adım (12.step)



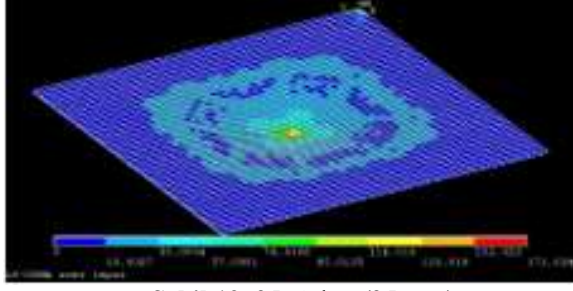
Şekil 16. 15. Adım (15.step)



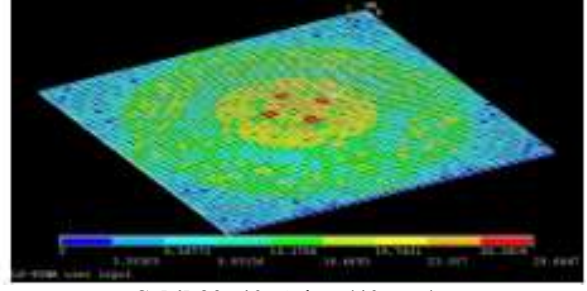
Şekil 17. 20. Adım (20.step)



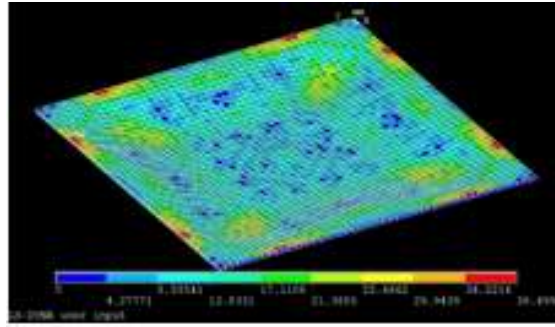
Şekil 18. 25. Adım (25.step)



Şekil 19. 35. Adım (35.step)



Şekil 20. 40. Adım (40.step)



Şekil 21. 45. Adım (45.step)

2.6. Optimizasyon sonucunda ekonomik şeklin belirlenmesi

Optimizasyon probleminde levhanın toplam hacmini minimize etmek için amaç fonksiyonu levha hacmi alınmıştır. Sınırlayıcılar ise deney sonucunda elde edilen maksimum deplasman sınırlayıcısı, levhanın alt ve üst plaklarının kalınlığı, çekirdek kısmı oluşturan plaklar arasındaki mesafe, bu plakların yüksekliği ve kalınlığı sınırlayıcı olarak alınmıştır. Problemden kullanılan üç farklı çekirdek tipi şekil 8, 22, 23 te görülmektedir. Çekirdekleri oluşturan başlangıç nodlama dizilimi üç problemde de aynı olup başlangıç nod koordinatları aynıdır. Optimizasyon safhasında verilen sınırlayıcıların alt ve üst sınır değerleri;

$$1,00 \text{ mm} < \text{deplasman} < 3,00 \text{ mm}$$

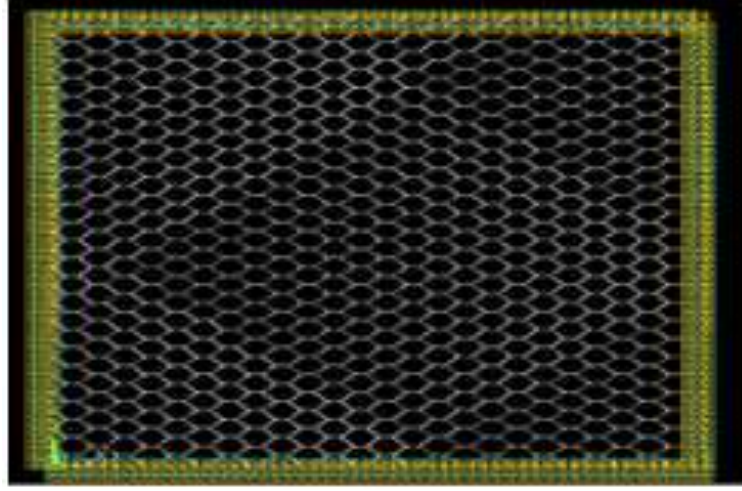
$$3,10 \text{ mm} < a_1 < 5,10 \text{ mm},$$

$$0,01 \text{ mm} < a_2 < 0,50 \text{ mm},$$

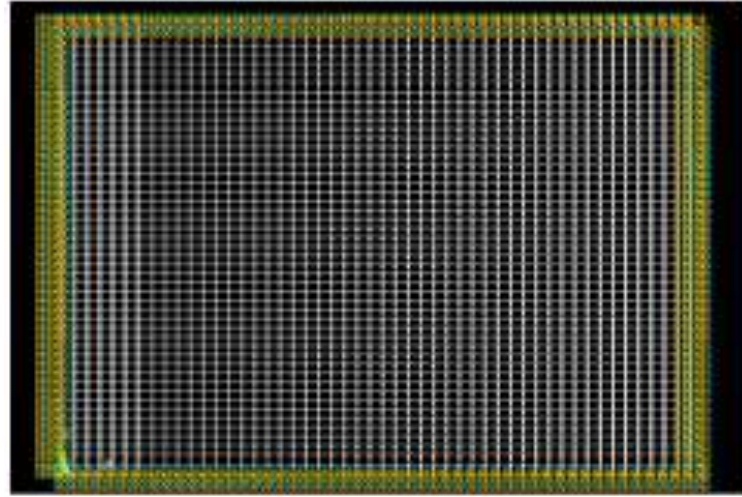
$$0,01 \text{ mm} < a_3 < 0,50 \text{ mm},$$

$$1,10 \text{ mm} < a_4 < 4,90 \text{ mm}' \text{ dir.}$$

Toplam hacim birinci modelde 20,080.00 mm³, ikinci modelde 24,000.00 mm³ ve üçüncü altıgen geometriye sahip çekirdek modelinin hacmi 24,000.00 mm³ tür. Yapılan optimizasyon iterasyon sayısı sırasıyla, 7, 17 ve 11'dir.



Şekil 22. Birbirini kesen dikdörtgen çekirdekli sandviç panel



Şekil 23. Altıgen çekirdekli sandviç panel

3. Bulgular ve Tartışma

Optimizasyon sonrası her hesap adımına göre değişkenlerin ve toplam hacmin değerleri aşağıdaki Tablo 2, 3 ve 4'te verilmiştir. Paralel dikdörtgen levha şeklindeki çekirdek şeklindeki olan plakta toplam hacmi $13,023.05 \text{ mm}^3$, bir birini kesen dikdörtgen levha şekilli çekirdekte toplam hacim $11,848.68 \text{ mm}^3$ ve altıgen şekilli çekirdeğe sahip sandviç panelin toplam hacmi ise $10,630.13 \text{ mm}^3$ 'e inmiştir.

Tablo 3. Paralel levhalı çekirdek

Döngü No	Deplasman (mm)	a1 (mm)	a1 (mm)	a1 (mm)	a1 (mm)	Hacim (mm^3)
1	2,440061	4,000000	0,200000	0,200000	2,000000	20080.00
2	2,925030	4,000000	0,139903	0,184675	1,907834	14785.97
3	2,913922	3,998965	0,138628	0,184292	1,905670	14672.51
4	2,934868	3,998033	0,138229	0,184198	1,905130	14637.72
5	2,983362	3,967828	0,131083	0,182079	1,894201	14004.57
6	3,008791	3,957932	0,124392	0,172552	1,900298	13295.94
7	3,042558	3,947040	0,121797	0,168913	1,903345	13023.05

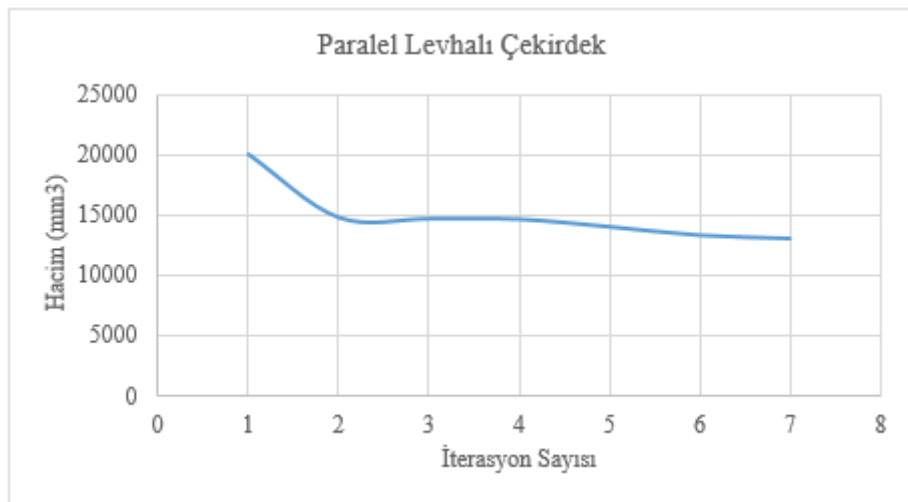
Tablo 4. Kesişen levhalı çekirdek

Döngü No	Deplasman (mm)	a1 (mm)	a2 (mm)	a3 (mm)	a4 (mm)	Hacim (mm ³)
1	2,440061	4,000000	0,200000	0,200000	2,000000	24160.00
2	2,914534	4,000000	0,151590	0,175311	1,851517	18748.90
3	2,891556	3,997015	0,149722	0,174301	1,846084	18541.93
4	2,929814	3,995846	0,147975	0,173419	1,841365	18352.32
5	2,975424	3,994908	0,145038	0,172219	1,826603	18020.42
6	2,988531	3,993059	0,143352	0,170858	1,817044	17801.46
7	2,998638	3,942392	0,138766	0,165877	1,792599	17167.21
8	3,049480	3,921418	0,137516	0,164979	1,768745	16954.08
9	3,068703	3,920480	0,137478	0,164936	1,768302	16948.06
10	3,050190	3,920385	0,137481	0,164935	1,768179	16947.82
11	2,852022	3,764482	0,134348	0,167249	1,877372	17153.21
12	3,015786	3,764214	0,120447	0,160581	1,841776	15669.17
13	3,024252	3,763879	0,119794	0,160160	1,842488	15603.38
14	3,061283	3,100000	0,119314	0,088953	1,526118	12314.50
15	3,002627	3,101547	0,118451	0,087914	1,525138	12211.32
16	3,001723	3,101547	0,114966	0,089334	1,535295	11995.20
17	3,017010	3,101547	0,113669	0,088108	1,532864	11848.68

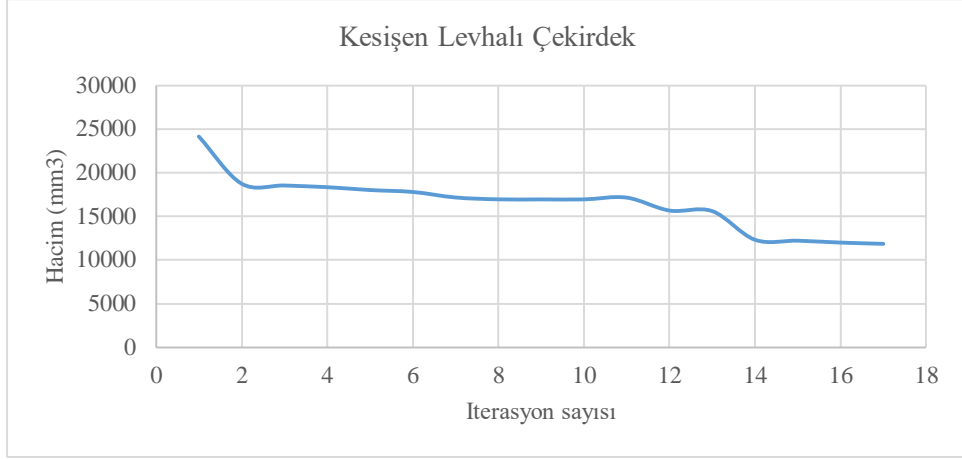
Tablo 5. Altıgen çekirdek

Döngü No	Deplasman (mm)	a1 (mm)	a2 (mm)	a3 (mm)	a4 (mm)	Hacim (mm ³)
1	2,593171	4,000000	0,200000	0,200000	2,000000	24160.00
2	2,835099	4,000000	0,170983	0,185202	1,911000	20898.64
3	2,942958	3,995550	0,162012	0,180748	1,885696	19914.03
4	3,016450	3,442070	0,114897	0,164048	1,895377	15534.82
5	2,722764	3,100000	0,106758	0,163699	2,049982	15386.52
6	2,925307	3,100001	0,084567	0,152099	1,994271	12953.25
7	2,990352	3,100001	0,080422	0,149606	1,985354	12492.96
8	3,031577	3,100001	0,078536	0,148493	1,979321	12278.80
9	3,032808	3,100001	0,078154	0,148224	1,977735	12232.53
10	3,043525	3,100001	0,078197	0,147172	1,974354	12183.37
11	2,869269	3,100001	0,111124	0,042382	2,012789	10630.13

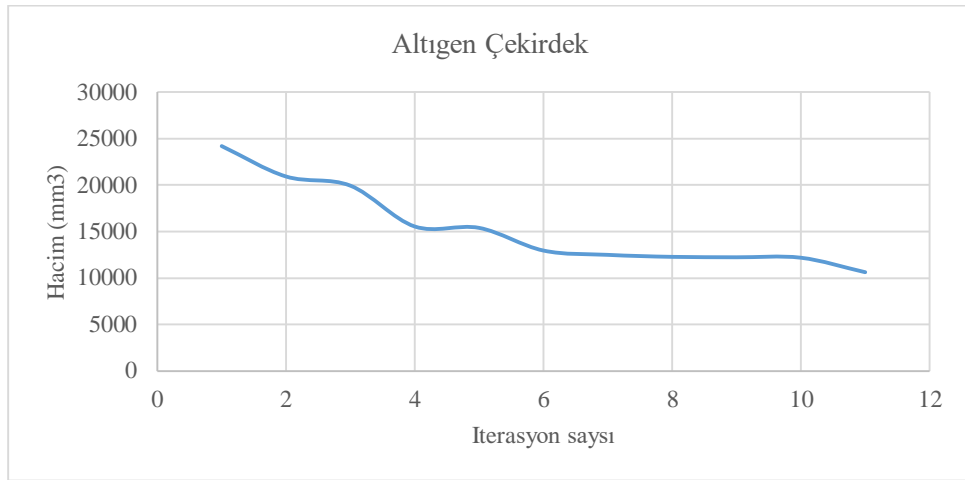
Her çekirdek şekli için optimizasyon adımına göre hacim değişimleri ise;



Şekil 24. Birbirine paralel dikdörtgen çekirdekli sandviç panelin hacim-döngü sayısı grafiği



Şekil 25. Birbirini kesen dikdörtgen çekirdekli sandviç panelin hacim-döngü sayısı grafiği



Şekil 26. Çekirdek şekli altıgen geometriye sahip sandviç panelin hacim-döngü sayısı grafiği

4. Sonuç ve Öneriler

Yapılan çalışma sandviç plakların optimum hacminin belirlenmesi için iki kısımdan oluşmuştur. İlk kısımda mekanik ve geometrik özellikleri bilinen bir sandviç plağa çarpma testi yapılmıştır. Deney sonucunda elde edilen plağın maksimum deplasmanı maksimum deplasman sınırı olarak belirlenmiştir. İkinci aşamada ise deney modelleriyle bilgisayar simülasyonu yapılmış ve yapılan deney ile simülasyonun doğrulaması yapılmıştır. Sonra bu simülasyon üç farklı çekirdek şekli için uygulanarak optimizasyon algoritması ile optimize edilmiştir.

Yukardaki tablo ve grafiklerden de görüleceği gibi çarpma etkisi altında, altıgen şekle sahip çekirdekli sandviç plak en ekonomik bulunmuştur. Ancak fabrikasyon olarak üretim kolaylığı dikkate alındığında 1 no'lu çekirdek şeklinin optimizasyon sonucu hacminde ki azalma %35 olmuştur. Buda fabrikasyon imalatta daha ekonomik bir sonucu göstermektedir. Diğer çekirdek şekillerinde %51 ve %56 daha ekonomik sonuç elde edilmiştir. Bu sonuçlara göre sandviç panellerin çekirdek şekli altıgen yapıldığı zaman çarpma yüküne karşı daha az malzeme kullanılmasının mümkün olacağı anlaşılmıştır.

Yazarların Katkısı

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamıştır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar

- [1] Poyraz B. 2018. Kompozit malzeme üretiminde kullanılan poliesterlerin mekanik, termal ve kimyasal özelliklerine başlatıcı etkisinin incelenmesi. Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, DOI: 10.17341/gazimmfd.416435.
- [2] Kara Y., Akbulut H. 2017. Karbon elyaf takviyeli karbon nanotüp katkılı epoksi kompozit helisel yayların mekanik davranışları. Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 32 (2): 417-427.
- [3] Asadi M., Vollaire A.C., Ashmead M., Shirvani H. 2007. Experimental test and finite element modelling of pedestrian headform impact on honeycomb sandwich panel. 18th Engineering Mechanics Division Conference (EMD2007).
- [4] Kılıçaslan C., Güden M., Odacı İ.K., Taşdemirci A. 2013. The impact responses and the finite element modeling of layered trapezoidal corrugated aluminum core and aluminum sheet interlayer sandwich structures. Materials & Design, 46: 121-133.
- [5] Zhou G., Hill M.D. 2009. Impact damage and energy absorbing characteristics and residual in-plane compressive strength of honeycomb sandwich panels. Journal of Sandwich Structures and Materials, 11: 329-356.
- [6] Miller K., Joldes G., Lance D., Wittek A. 2007. Total Lagrangian explicit Dynamics finite element algorithm for computations of tissue deformation. Communications In Numerical Methods In Engineering Commun. Numer. Meth. Engng, 23: 121-134.
- [7] Belytschko T. 1976. A survey of numerical methods and computer programs for dynamic structural analysis. Nuclear Engineering and Design, 37: 23-34.
- [8] Qiao H., Zhonglong L., Xueju S. 2007. Strain sensor-based wireless measurement system for bridge. 10: 1322-1325.
- [9] Tao M.Y.W. 2012. Finite Element Analysis of Cylinder Piston Impact Based on ANSYS/LS-DYNA. Proceedings of 2012 International Conference on Mechanical Engineering and Material Science (MEMS 2012).
- [10] Yüksel E.S.E.N., Ülker M. 2008. Malzeme ve geometrik özellikler bakımından lineer olmayan çok katlı çelik uzay çerçevelerin optimizasyonu. Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 23 (2): 485-494.
- [11] Doğru M.H. 2017. Tsai-wu kriteri kullanarak kompozit plakaların optimizasyonu için geliştirilen algoritma. Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 32 (3): 821-829.
- [12] Hallquist J.O. 2006. LS-DYNA Theory Manual. Livermore Software Technology Corporation, Livermore, California.

Araştırma Makalesi / Research Article

Görünür Işık Haberleşme Sistemleri için SC-PPM Tekniği Kullanılarak Alıcı-Verici Tasarımı

Mehmet SÖNMEZ*

*Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Osmaniye
(ORCID: 0000-0002-6025-3734)*

Öz

Alt Taşıyıcılı Darbe Konum Modülasyonu (SC-PPM: Subcarrier Pulse Position Modulation) Görünür Işık Haberleşme (VLC: Visible Light Communication) sistemleri için kullanılan iletim tekniklerinden birisidir. GIH sistemleri için daha önce yapılan çalışmalar incelendiğinde uygulanabilir bir FPGA (Field Programmable Gate Arrays: Alanda Programlanabilir Kapı Dizileri) tabanlı sistem eksikliği gözlemlenmiştir. Bu nedenle yapılan çalışmada SC-4PPM için uygulanabilir bir sayısal mimari önerilmiştir. Önerilen mimari FPGA kartı üzerinde gerçek zamanlı olarak uygulanmıştır. Ayrıca bilgi bitlerinin alıcı tarafta algılanabilmesi için geleneksel sistemde modülasyonlu sinyal, bir bant geçiren filtre ve bir alçak geçiren filtreden geçirilmesinden sonra karar devresine uygulanmaktadır. Bu çalışmada bant geçiren filtre alıcı taraftan kaldırılarak bir türev alıcı benzeri yapı ile bilgi bitlerinin tahmini gerçekleştirilmiştir. Hem verici hem de alıcı için önerilen mimariler FPGA kartı üzerinde uygulanarak osiloskop üzerinden gerçek zamanlı sonuçlar incelenmiştir. Osiloskop çıktıklarına göre önerilen verici ve alıcı mimariler başarılı bir şekilde çalışmaktadır.

Anahtar kelimeler: Alıcı-verici tasarımı, alt taşıyıcılı darbe konum modülasyonu, görünür ışık haberleşmesi.

Transceiver Design for Visible Light Communication Systems by using SC-PPM Technique

Abstract

Subcarrier Pulse Position Modulation (SC-PPM) is one of the transmission techniques used in the Visible Light Communication (VLC) systems. It is shown that there is a lack about implementation of SC-PPM on FPGA (Field Programmable Gate Arrays) when the literature related to VLC systems is analyzed. Therefore, a practicable digital architecture is proposed for SC-4PPM in the paper. The proposed architecture is implemented on FPGA board for real time applications. In order to detect data bits at the receiver side, moreover, it is applied on decision stage in the traditional system after modulated signal is passed through a band pass filter and low pass filter. In this study, by removing band pass filter from receiver, data bits are estimated via a structure as a differentiator circuit. The architectures proposed for both transmitter and receiver is implemented on FPGA and the real-time results is observed via oscilloscope. According to oscilloscope measurements, the proposed transmitter and receiver structures successfully operate.

Keywords: Design of transceiver, subcarrier pulse position modulation, visible light communication.

1. Giriş

Görünür Işık Haberleşmesi (GIH) son zamanlarda kapalı ortamlar için birçok çalışmada ilgi odağı olmuştur. GIH, bir LED (Light Emitted Diode: Işık Yayan Diyot) ve bir foto alıcı kullanılarak ışığın algılanması şeklinde verinin iletilmesini sağlayan yeni bir yöntemdir [1]. GIH için literatürde birçok alıcı-verici şeması önerilmiştir [2-3]. Önerilen şemaların amaçları arasında, bant genişliği verimliliğini artırmak, titreme (Flickering) etkisini azaltmak, parlaklık (brightness) kontrolü sağlamak ve konum

*Sorumlu yazar: mehmetsonmez@osmaniye.edu.tr
Geliş Tarihi: 30.01.2020, Kabul Tarihi: 18.05.2020

belirleme gibi konular yer almaktadır [4]. SC-PPM şeması ise karartma ve parlaklık kontrolünü sağlamak için önerilen bir tekniktir [5].

Literatürde, GIH sistemleri için birçok modülasyon yöntemi geliştirilmiştir. Bu teknikler arasından yaygın olarak kullanılan yöntemlerden birisi Aç-Kapa Anahtarlama (OOK: On-Off Keying) yöntemidir [6]. OOK tekniği geliştirilerek karartma seviyesi değiştirilebilir yeni bir modülasyon tekniği önerilmiştir. Önerilen teknik Değişken OOK (VOOK: Variable OOK) olarak tanımlanmıştır [7]. Karartma seviyesi kontrolü PPM teknikleri için de geliştirilmiş olup, geliştirilen yöntem Değişken PPM (VPPM: Variable PPM) olarak adlandırılmıştır [8]. Ayrıca kablosuz optik haberleşme sistemleri için önerilmiş olan Ofset PPM (Offset-PPM) [9], Sayısal Darbe Aralık Modülasyonu (DPIM: Digital Pulse Interval Modulation) [10] ve Çakışan PPM (Overlapping PPM) [11] gibi yöntemler de GIH sistemlerine entegre edilmiştir. GIH sistemleri için önerilen tekniklerin teorik analizleri ile birlikte, kullanılan modülasyon tekniklerinin donanımsal tasarımları ve gerçek zamanlı uygulamaları da son zamanlarda ilgi görmeye başlamıştır [12, 13]. Ancak çalışmalar incelendiğinde SC-PPM ile ilgili gerçek zamanlı veri iletimi ve donanımsal tasarım konuları çalışmalar arasında yer almamaktadır. Literatürdeki çalışmalar genellikle SC-PPM tekniğinin enerji verimliliğine katkısı ile ilgilidir. Yapılan bir çalışmada enerji verimliliğini sağlayabilmek için SC-4PPM kullanan bir sistemde yeni bir matematiksel yapı oluşturularak LED parlaklığı problemin optimize edilmesiyle ayarlanmıştır [14]. LED'in Sinyal gürültü oranını (SNR: Signal to Noise Ratio) geliştirmek ve karartma kontrolünü sağlamak için geliştirilen yeni bir yöntem için kullanılan SC-4PPM tekniği parlaklık kontrolünü sağlamak için kullanılmıştır. Önerilen optimizasyonda alt taşıyıcı frekansı bilgi biti frekansının dört katı olarak seçilmiştir [15]. Bu çalışmayı gerçekleştiren yazarlar farklı bir çalışmada yine enerji tasarrufu sağlayan bir sistem için SC-4PPM tekniğini kullanmışlardır [16]. Modülasyon tekniklerinin güç tüketimleri açısından karşılaştırmalar yapan bir çalışmada SC-4PPM tekniğinin, geleneksel PPM tekniğine göre daha verimli çalıştığı görülmüştür [17].

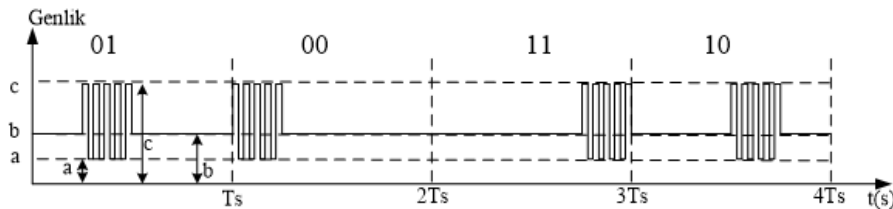
GIH sistemleri için kullanılan modülasyon tekniklerinin donanımsal tasarımı üzerine bazı çalışmalar gerçekleştirilmesine rağmen [12,13], SC-4PPM tekniğinin uygulanmasına yönelik yaklaşımlar mevcut değildir. Bu çalışmada SC-4PPM tekniğinin FPGA kullanılarak uygulanması için yeni bir modülatör mimarisi önerilmiştir. Önerilen modülatör mimarisi gerçek zamanlı olarak FPGA kartı üzerinde çalıştırılıp osiloskop sonuçları incelenmiştir. Ayrıca modülasyonlu sinyalin pratik uygulamalarda demodüle edilebilmesi için türev tabanlı bir demodülatör mimarisi tasarlanmıştır.

2. Materyal ve Metot

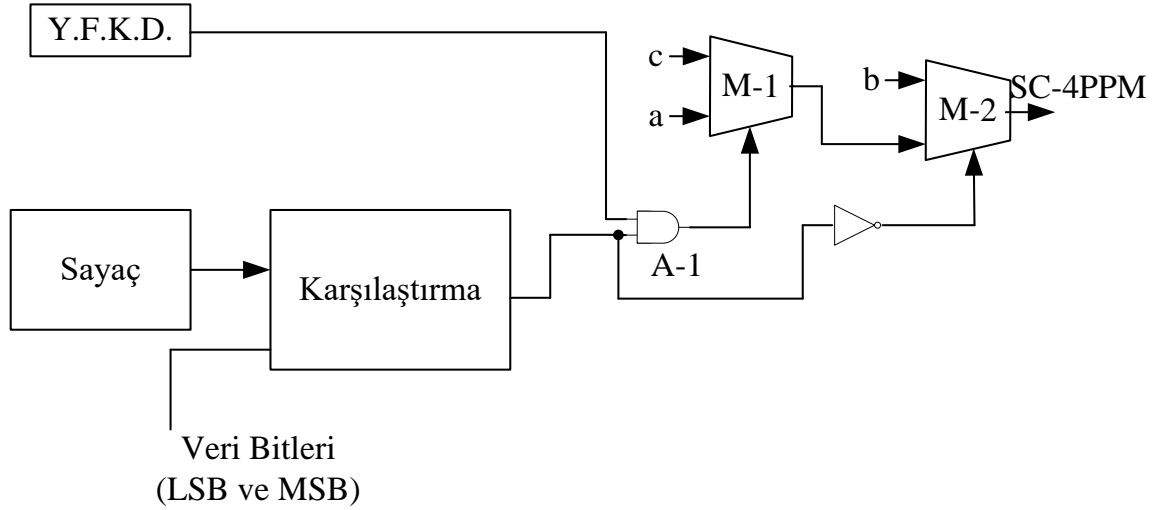
2.1. SC-4PPM Tekniği

PPM tekniği iletilecek olan bilgi bitinin durumuna göre darbenin konumunu değiştiren bir tekniktir. SC-4PPM tekniği de PPM şemasının türlerinden birisidir. SC-4PPM şemasında bir bit iletim süresinde DC bir gerilim vardır. Ancak bilgi bitinin durumuna göre slotlardan birisinde DC gerilim bir kare dalganın üzerine bindirilmiştir.

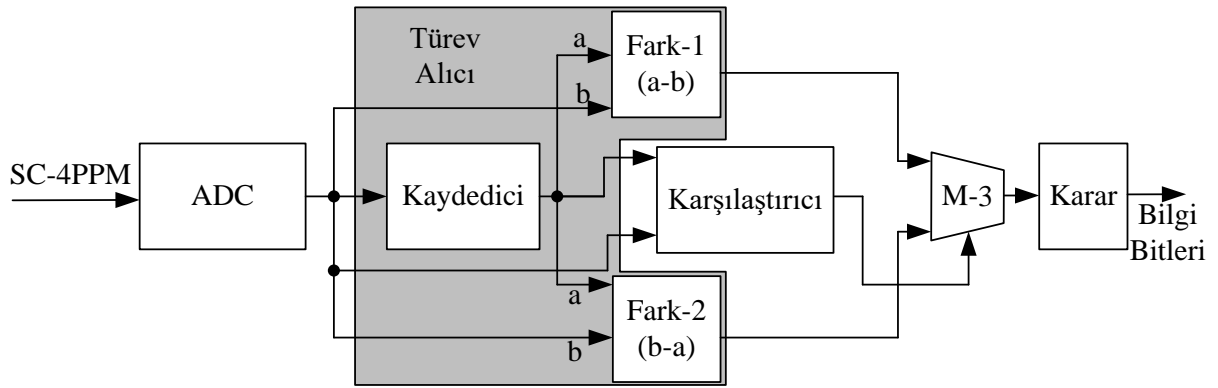
DC gerilim seviyesi değiştirilerek modülasyonlu sinyalin ortalama değeri değişir ve LED parlaklığı değiştirilmektedir. Bu şekilde çalışan bir sistem ile hem modülasyon gerçekleştiriliyorken hem de LED parlaklığı ve karartma seviyesi değiştirilmektedir. SC-4PPM tekniğine ilişkin modülasyonlu sinyalin zamana göre değişimi Şekil 1'de verildiği gibidir. Şekil 1'de görüldüğü gibi SC-4PPM sinyali bilgi bitinin durumuna göre belirli bir konumda yüksek frekanslı bir sinyal üretmektedir. Bu nedenle modülasyon tekniğine alt taşıyıcılı modülasyon tekniği denilmektedir. Ayrıca frekans kaydırmalı anahtarlama modülasyon tekniğinden farkı taşıyıcı sinyale DC bir sinyal bindirilmesidir. Şekilde T_s sembol periyodunu ifade etmektedir. Şekil 2'de ise SC-4PPM sinyalinin modülatör şeması verilmiştir.



Şekil 1. SC-4PPM sinyalinin bilgi bitlerine göre değişimi



Şekil 2. SC-4PPM modülünün blok diyagramı



Şekil 3. Önerilen SC-4PPM demodülünün blok diyagramı

Literatürde PPM ve I-PPM teknikleri için sayısal tasarımlar mevcut olmasına karşın, SC-PPM tekniğinin uygulanmasına yönelik bir çalışma gerçekleştirilmemiştir. Verilen diyagramda Y.F.K.D. bloğu yüksek frekanslı kare dalga üreticidir. Şekilde sayaç ve karşılaştırma blokları alt taşıyıcı sinyalin konumun belirlenmesi için kullanılmıştır. Veri bitleri LSB (Least Significant Bit: En düşük Anlamli Bit) ve MSB (Most Significant Bit: En Anlamli Bit) nin on tabanındaki sayı karşılığı sayaç çıkışındaki değer ile eşleştiği anda karşılaştırıcı çıkışı '1' sinyali üretiyorken diğer durumlarda '0' sinyalini üretmektedir.

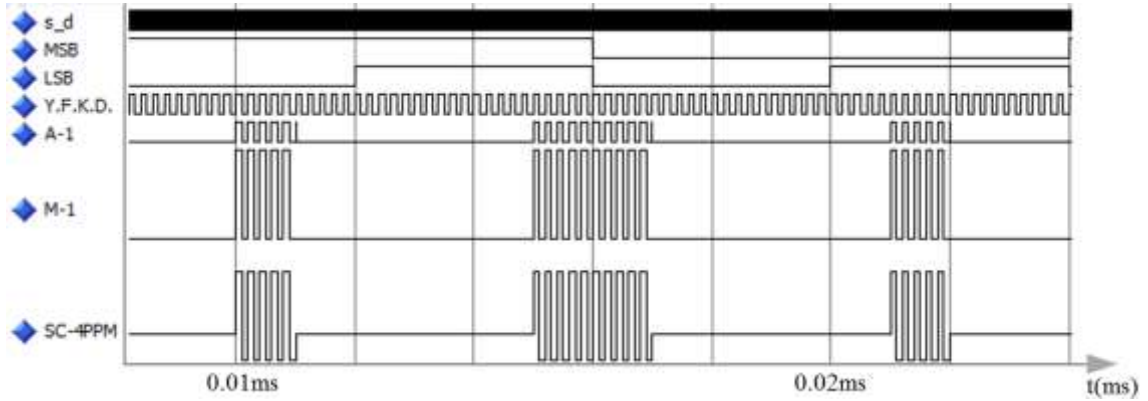
AND (A-1) kapısı çıkışındaki sinyalin çeyrek periyodunda 0 ile 1 lojik seviyesi arasında değişen bir kare dalga (alt taşıyıcı sinyali), diğer çeyrek periyotluk dilimlerde lojik 0 seviyesinde bir sinyal görülmektedir. M-1 mux bloğu, Şekil 1'de görülen modülasyonlu sinyalin a ve c değerlerini belirlemek için kullanılmıştır. M-1 bloğunun seçici girişine uygulanan sinyal lojik olarak '1' seviyesinde ise mux çıkışında c genliğinde bir sinyal görülüyorken '0' lojik seviyeli giriş için a genlik seviyesine sahip bir sinyal üretilir. M-2 bloğu elde edilen sinyale DC bir genlik eklemek için oluşturulmuştur. Gerçekte, önerilen mimaride alt taşıyıcı sinyali için DC gerilim ekleme işlemi bir önceki mux bloğu (M-1) yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Son aşamada kullanılan M-2 bloğu sıfır genlik seviyesindeki sinyaller için bir DC gerilim atama işlemi gerçekler. Bu nedenle alt taşıyıcı sinyali ile zaman diliminin de çakışmaması için AND kapısı çıkışı not işleminden geçirilmiştir. M-2 bloğu çıkışında SC-4PPM sinyali üretilmiş olur.

Yapılan çalışmada SC-4PPM bir demodülör tasarımı da önerilmiştir. Önerilen demodülör karşılaştırıcı tabanlı bir karar bloğu kullanılarak tasarlanmıştır. Önerilen tasarımda kare dalga sayısına bağlı olarak sinyalin konumun tespit edilmesi amaçlanmıştır. Önerilen demodülör mimarisi Şekil 3'te verildiği gibidir. SC-4PPM modülasyonlu sinyal FPGA kartı tarafından Analog Sayısal Dönüştürücü (ADC: Analog to Digital Converter) üzerinden alındıktan sonra bir türev alıcı devresinden geçirilmektedir. Türev alıcı devresi bir önceki ve bir sonraki örneklerin farkını almaktadır. Türev alma işleminden sonra karar bloğu içerisinde integral işlemi gerçekleştirilerek sinyalin konumunun tespit

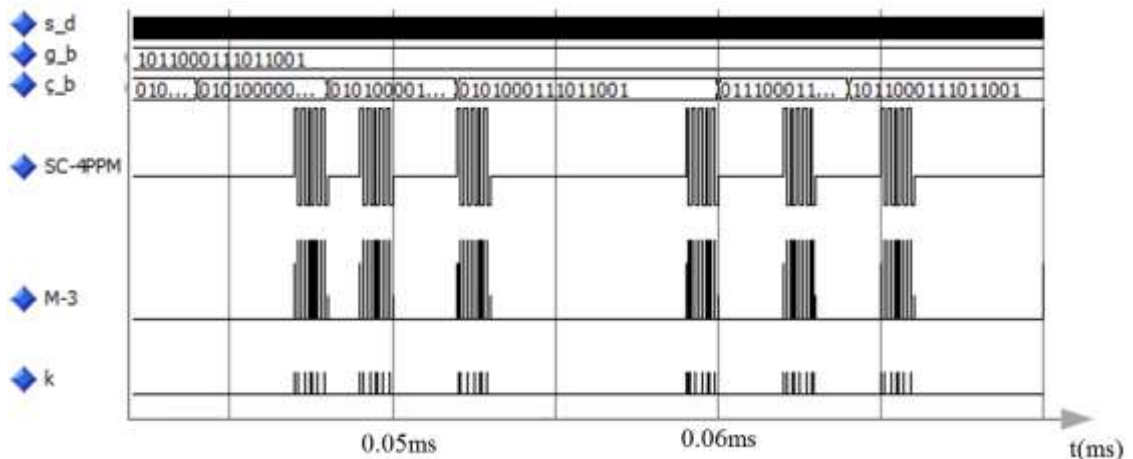
edilmesi sağlanır. Önerilen tasarımdaki problem integral alıcı çıkışının sıfır olmasıdır. Eğer kare dalga sinyal bir türev alıcıdan geçirilirse kare dalganın yükselme anında pozitif bir genlik değeri elde ediliyorken, düşme anında aynı büyüklükte bir negatif değer elde edilecektir. Elde edilen değerler bir integral alıcı girişine uygulandığında integral alıcı çıkışında sıfır değeri görülecektir. Bunu engellemek için her defasında örneklerin büyük değerli olanından küçük değerli olanının farkı alınmaktadır. Bu nedenle iki fark devresi (Fark-1 ve Fark-2) kullanılmıştır. Fark devreleri çıkışındaki pozitif değerli sayıyı karar devresine alabilmek için karşılaştırıcı çıkışındaki sinyal, girişine fark devrelerinin çıkışı bağlanmış bir mux bloğunun seçici pin görevini görmektedir. Mux bloğu çıkışında pozitif değerli sayı elde edilecektir. Mux ve karşılaştırıcı bir mutlak değer görevi görmektedir.

3. Bulgular

Modelsim Altera programı kullanılarak mimarinin girişlerinin ve çıkışlarının zamana göre değişimleri incelenmiştir. Önerilen modülatör mimarisi FPGA derleyicisi Quartus programı kullanılarak oluşturulmuştur. Şekil 4'te önerilen mimari için elde edilen modelsim simülasyon programı çıktıları verilmektedir. Şekilde LSB ve MSB, bilgi bitlerini göstermektedir. Şekilden de görüldüğü gibi A-1 sinyali PPM sinyal özelliği göstermektedir. PPM sinyal ile yüksek frekanslı kare dalga sinyali AND kapısından geçirilerek A-2 sinyali elde edilmiştir. Elde edilen A-2 sinyali lojik '1' ve lojik '0' seviyelerini göstermektedir. SC-4PPM sinyalinin elde edilebilmesi için yüksek frekanslı taşıyıcı için a ve c değerlerinin belirtilmesi gerekmektedir. Bir (a-c) sabit değeri belirlenip, M-1 bloğunun giriş-1 pininden uygulansaydı ve giriş-0 pininden de gerilim değeri 0 olan bir sinyal uygulansaydı; M-1 bloğu çıkışında (a-c) ve 0 arasında değişen bir kare dalga elde edilecekti. M-1 bloğu çıkışına bir DC gerilim (b) eklenerek M-2 bloğu çıkışındaki sinyal elde edilebilirdi. Bizim önerdiğimiz tasarımda a, b ve c değerleri doğrudan değiştirilebilir olduğundan LED parlaklık ayarı daha rahat gerçekleştirilebilmektedir.



Şekil 4. SC-4PPM modülatörü için simülasyon sonuçları



Şekil 5. SC-4PPM sinyali için demodülasyon süreci

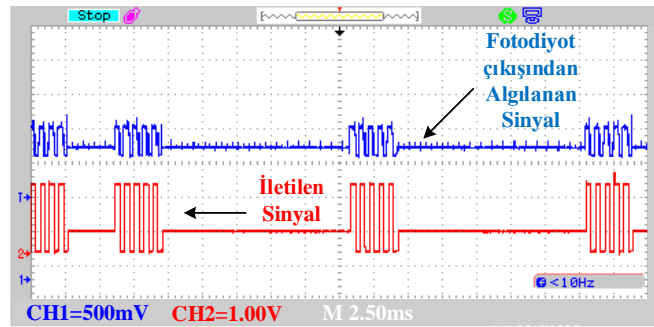
Şekil 5'te SC-4PPM sinyalin demodülasyon sürecini gösteren simülasyon sonuçları verilmektedir. Şekilde g_b ve ç_b sırasıyla gönderilen ve demodüle edilen bitleri göstermektedir. Ayrıca k sinyali, Şekil 3'te görülen karşılaştırıcı bloğunun çıkışındaki sinyali vermektedir. Şekilden de görüldüğü gibi eğer kaydedici çıkışı ADC çıkışındaki sinyalden büyükse k sinyali lojik '1' seviyesinde olup diğer durumlarda lojik '0' seviyesindedir. Karşılaştırıcı bloğu çıkışındaki sinyal sayesinde M-3 mux bloğu çıkışındaki sinyal devamlı olarak pozitif değerdedir. Çünkü mux bloğu hep sıfırdan büyük veya sıfıra eşit olan sayıların iletimini sağlamaktadır. Ayrıca simülasyon sonuçlarından görüldüğü gibi demodülasyon süreci sonunda bilgi bitleri başarılı bir şekilde elde edilmiştir.

3.1. Deneysel Bulgular

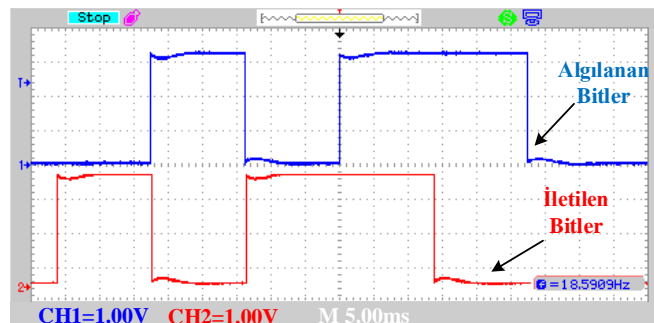
Önerilen alıcı-verici mimarisi (Şekil 2 ve Şekil 3'te verilen tasarımlar) Altera DE-0 Nano kart üzerinde gerçekleştirilmiştir. Altera DE-0 üzerinde dâhili bir analog-sayısal dönüştürücü bulunmaktadır. Ayrıca verici tarafta modülasyonlu sinyalin LED'e uygulanabilmesi için harici bir sayısal analog dönüştürücü kullanılmıştır. Ölçüm sonuçlarına göre önerilen mimarinin uygulanabilir olduğu görülmektedir. Ayrıca alıcı-verici mimarilerinin hızını sınırlandıran çevre birimlerden (özellikle kullanılan sayısal-analog dönüştürücü) dolayı bir bit iletim süresi yaklaşık olarak 14ms civarındadır. SC-4PPM modülasyonlu sinyalin algılanabilmesi için basit bir demodülatör mimarisi kullanılmıştır.

Demodülatör mimarisi SC-4PPM sinyalinden DC seviyeyi kaldırarak yüksek frekanslı sinyalden iletilen bilgi bitlerini tahmin etmektedir. SC-4PPM vericisi bir DAC üzerinden LED sürücüsüne bağlanmıştır. Alıcı tarafta ise bir ADC kullanılarak foto alıcı üzerinden alınan sinyalin sayısal karta aktarımı sağlanmıştır. Ayrıca gerçekleştirilen deneysel kurulumda LED ve foto alıcı mesafesi değiştirilerek alınan sinyalin kalitesinin değişimi incelenmiştir.

Şekil 6'da SC-4PPM sinyalin değişimi görülmektedir. Kırmızı renkli olan sinyal LED'li devreye uygulanan sinyal olup mavi renkli sinyal ise foto alıcı çıkışından alınan sinyaldir. Gürültüden dolayı alıcı tarafta alınan sinyalde bozulmaların olduğu görülmektedir. Şekil 6'da görülen mavi renkli sinyal bir ADC üzerinden geçirilerek, alıcı tarafta bir türev alıcı devresinden geçirilmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi mavi sinyal üzerinde gürültü kaynaklı istenmeyen sinyaller yer almaktadır. Şekil 7'de ise verici taraftan iletilen (kırmızı renkli sinyal) ve alıcı çıkışında algılanan (mavi renkli sinyal) bitler görülmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi bilgi bitleri başarılı bir şekilde elde edilmiştir. Şekil 6 ve 7'den görüldüğü gibi önerilen modülatör mimarisi gerçek zamanlı olarak uygulanmış olup bilgi bitlerinin iletimi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 6. SC-4PPM modülasyonlu sinyaller



Şekil 7. İletilen ve algılanan bitler

4. Sonuç ve Öneriler

Çalışmada, görünür ışık haberleşme sistemlerinde kullanılan modülasyon tekniklerinden SC-4PPM için yeni bir modülatör mimarisi önerilmiştir. Önerilen mimari Altera programında sayısal olarak tasarlanmış olup gerçek zamanlı olarak FPGA kartı üzerinde uygulanmıştır. Ayrıca SC-4PPM için yeni bir demodülatör mimarisi teorik olarak önerilmiş olup, önerilen mimari de gerçek zamanlı olarak FPGA kartı üzerinde uygulanmıştır. Haberleşme sistemlerinde veri iletim hızının önemli bir parametre olduğu göz önünde bulundurulursa, ileride yapılacak olan çalışmalarda SC-4PPM tekniği için yüksek hızlı modülatör-demodülatör tasarımları gerçekleştirilebilir. Ancak görünür ışık haberleşme sistemlerinde kullanılan diğer birimlerin (fotodiyot gibi) de hız konusunda sınırlandırıcı bir faktör olduğu düşünülmelidir. Çünkü fotodiyot, bir alçak geçiren filtre görevi görmekte olup belirli bir frekans cevabı mevcuttur. Ayrıca frekans cevabı fotodiyodun malzemesine göre farklılık göstermektedir.

Yazarların Katkısı

Makalede tüm katkı yazara aittir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar

- [1] Le N.T., Jang Y.M. 2015. Smart color channel allocation for visible light communication. *Optical Switching and Networking*, 15: 75-86.
- [2] Khan L.U. 2017. Visible light communication: applications, architecture, standardization and research challenges. *Digital Communications and Networks*, 3 (2): 78-88.
- [3] Kadirvelu S., Vijayalakshmi B. 2018. Visible light communication using LED as receiver with the effect of ambient light. *Opt. and Quant. Electronics*, 50 (15): 1-11.
- [4] Ndjongue A.R., Telex M.N.N., Octavia A.D. Ana G.A. 2020. VLC-Based Networking: Feasibility and Challenges. *IEEE Network*, Early Access Article, 1-8.
- [5] Sugiyama H., Haruyama S., Nakagawa M. 2007. Brightness Control Methods for Illumination and Visible-Light Communication Systems. *Proceedings of the Third International Conference on Wireless and Mobile Communications Physical Communication*, 4-9 March, Guadeloupe, pp: 1-6.
- [6] Yeh C.H., Chow C.W., Wei L.Y. 2019. 1250 Mbit/s OOK Wireless White-Light VLC Transmission Based on Phosphor Laser Diode. *IEEE Photonics Journal*, 11 (3): 1-6.
- [7] Lee K., Park H. 2011. Modulations for Visible Light Communications With Dimming Control. *IEEE Photonics Technology Letters*, 23 (16): 1136-1138.
- [8] Yoo J.H., Jung S.Y. 2013. Modeling and analysis of variable PPM for visible light communications. *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, 134 (1): 1-6.
- [9] Ahfayd M.H., Sibley M.J.N., Mather P.J., Lazaridis P.I. 2017. Visible light communication based on offset pulse position modulation (Offset-PPM) using high power LED. *General Assembly and Scientific Symposium of the International Union of Radio Science (URSI GASS)*, 16-26 August, Gent, pp: 1-4.
- [10] Liu Y., Zhang G. 2014. A new modulation scheme of visible light communication. *Optoelectronics Letters*, 10 (4): 273-276.
- [11] Gancarzy J.E., Elgala H., Little T.D.C. 2015. Overlapping PPM for band-limited visible light communication and dimming. *Journal of Solid State Lighting*, 3 (2): 1-9.
- [12] Jeong J.D., Lim S.K., Jang S., Kim M.S., Kang T.G., Chong J.W. 2014. Novel Architecture for Efficient Implementation of Dimmable VPPM in VLC Lightings. *ETRI Journal*, 36 (6): 905-912.

- [13] Lee S., Ahn B.G., Ju M.C., Park Y. 2016. A modified VPPM algorithm of VLC systems suitable for fast dimming environment. *Optics Communications*, 365: 43-48.
- [14] Din I., Kim H. 2014. Energy-Efficient Brightness Control and Data Transmission for Visible Light Communication. *IEEE Photonics Technology Letters*, 26 (8): 781-784.
- [15] Li F., Wu K., Zou W., Chen J. 2015. Optimization of LED's SAHPs to simultaneously enhance SNR uniformity and support dimming control for visible light communication. *Optics Communications*, 341: 218-227.
- [16] Li F., Wu K., Zou W., Chen J. 2016. Analysis of energy saving ability in dimming VLC systems using LEDs with optimized SAHP. *Optics Communications*, 361: 86-96.
- [17] Lin C., Zhu Y., Zhang Y. 2016. An Appropriate Modulation Scheme for High Density Visible Light Communication System. 4th International Conference on Machinery, Materials and Computing Technology, 23-24 January, Hangzhou, pp: 1108-1112.

Araştırma Makalesi / Research Article

Analysis of Book-borrowing Network using Complex Network Analysis

Volkan TUNALI^{1*}, Candan TÜMER²

¹Maltepe University, Department of Software Engineering, Istanbul
²Ardahan University, Department of Computer Technologies, Ardahan
(ORCID: 0000-0002-2735-7996) (ORCID: 0000-0002-9592-7110)

Abstract

In this study, we analyzed the book-borrowing network that we constructed from the database of the libraries of Ardahan University by using complex network analysis techniques. After the construction of the bipartite reader-book relationship network, we constructed reader-reader and book-book networks via one-mode projection. We performed an exploratory complex network analysis on these networks. We found that both networks revealed scale-free and small-world network properties like most real-world networks from diverse origins and of diverse sizes. In addition, we identified the most central books in the book-book network using several centrality measures. These were generally the works from both Turkish and world literature that were in the reading lists of many readers. We also performed community analysis and identified the communities embedded in the networks visually. We identified and presented the essential genres of the books inside the communities of the book-book network.

Keywords: Network Science, Complex Network Analysis, Bipartite Network, Library.

Karmaşık Ağ Analizi Kullanılarak Kitap Ödünç Alma Ağının Analizi

Öz

Bu çalışmada, karmaşık ağ analizi teknikleri kullanarak, Ardahan Üniversitesi kütüphanelerinin veritabanından oluşturduğumuz kitap ödünç alma ağını analiz ettik. İki parçalı okuyucu-kitap ilişkisi ağını oluşturduktan sonra, tek modlu projeksiyon ile okuyucu-okuyucu ve kitap-kitap ağlarını oluşturduk. Bu ağlar üzerinde keşif türünden bir karmaşık ağ analizi gerçekleştirdik. Farklı kökenlerden ve farklı büyüklüklerde çoğu gerçek-hayat ağı gibi, her iki ağın ölçekten-bağımsız ve küçük-dünya ağı özellikleri sergilediğini gösterdik. Ek olarak, çeşitli merkezilik ölçütleri kullanarak, kitap-kitap ağındaki en merkezi kitapları tespit ettik. Bunlar genellikle pek çok okuyucunun okuma listesinde yer alan hem Türk hem de dünya edebiyatından eserlerdi. Ayrıca, topluluk analizi gerçekleştirdik ve ağda yerleşik toplulukları görsel olarak tespit ettik. Kitap-kitap ağındaki topluluklarda yer alan kitapların temel türlerini belirledik ve sunduk.

Anahtar kelimeler: Ağ Bilimi, Karmaşık Ağ Analizi, İki Parçalı Ağ, Kütüphane.

1. Introduction

University libraries are an important source of knowledge for university students and academics. Although there has been a rapid digital transformation in publications like e-books and other types of digital publications, physical book lending is still the most important service that university libraries provide to readers.

The book lending process generates very special kind of data where each book lending transaction links a specific reader to a specific book. Using these transactions, it is possible to create a book-borrowing network, which is a bipartite network. In this type of network, a reader is linked to one or more books that s/he has borrowed from the library, but s/he is not linked to any other reader. Similarly, a book is linked to one or more readers that have borrowed it, but it is not linked to any other

*Corresponding author: volkan.tunali@gmail.com

Received: 03.02.2020, Accepted: 13.07.2020

book. Analysis of this kind of reader-book relationship requires special techniques, and can provide very precious insights about the readers and books in a macro scale.

Complex networks have been an active subject studied for more than two decades by network researchers from diverse fields including mathematics, physics, statistics, biology, computer science, and sociology [1]. Since the discovery of the small-world phenomenon by Watts et al. [2] and the proposal of the scale-free network model by Barabasi et al. [3] in the late 1990s, lots of empirical research have been conducted on networks in many domains, such as social [4, 5], economical [6, 7], technological [8, 9], and biological networks [10, 11]. These studies generally suggest that most real-world networks independent of their origin are complex networks with small-world and scale-free properties.

There are only a few studies in the literature that analyzed book lending process from a complex network analysis perspective. Li and Zhang topologically analyzed the bipartite book-borrowing network of library in Shanghai, and they proposed a personal book recommendation system using the network data [12]. Yan et al. analyzed the factors that affected the book borrowing behaviors of readers using both network analysis and data mining techniques, using the book loan history of the library of Peking University [13]. In a very recent work, Han et al. studied the online reading behavior in university digital libraries via complex network analysis [14]. They showed that the degree distribution of their book-borrowing networks followed the exponential distribution, and that the small-world phenomenon was also observed in the networks.

In this study, we used complex network analysis tools and techniques to explore and analyze the book-borrowing network constructed from the database of the libraries of Ardahan University, a public university in Ardahan, Turkey. Complex network analysis renders possible the analysis of the data in terms of the global structure of linked entities as well as in terms of local individual entities. In addition, network visualization techniques allow us to analyze the data and perceive the patterns visually. We took an exploratory approach in this study to answer the following research questions:

RQ1: What are the statistical characteristics of the reader-reader and book-book networks constructed from the book-borrowing network?

RQ2: Do these networks exhibit scale-free property?

RQ3: Is small-world phenomenon observed in these networks?

RQ4: Can we identify the most important book titles in book-book network?

This paper is organized as follows. In Section 2, we give the details of the material and the method we used for our study. In Section 3, we present and discuss our findings. Finally, we conclude the paper and give some directions for future research in Section 4.

2. Material and Method

Our research methodology consists of three distinct phases: data collection, network modeling and construction, and complex network analysis. Details of each phase are given under their respective subsections in this section.

2.1. Data Collection

The data used in this study were obtained as a single Microsoft Excel file from the library database of Ardahan University, a public university in Ardahan, Turkey. The data file contained 48,806 book lending records of six different libraries of the university from February 2010 to November 2018. Each record contained fields like Library ID, Reader ID, Book ID, Borrow Date, Return Date, Book Title and Author Info, and some other fields related to the lending process. In the data, there were 4,588 unique Reader IDs and 17,183 unique Book IDs. This means that a reader borrowed 10.64 books on the average, and a book was borrowed 2.84 times on the average. From these data, we extracted only Reader ID and Book ID fields, which were the only data pieces to construct a bipartite network structure.

2.2. Network Modeling and Construction

The book borrowing relationship between readers and books can be modeled as a bipartite network (R-B network) where the network has two types of nodes rather than one. Here, for example, the network

has reader nodes and book nodes, and readers are linked to books that they have borrowed. However, in this type of network, no reader is linked to any other reader, and similarly, no book is linked to any other book. Such networks are also called two-mode networks [15]. Most complex network analysis techniques are not directly applicable to two-mode networks, and therefore, a two-mode network is usually projected onto two one-mode networks by a process called one-mode projection [16]. Then, the one-mode networks are analyzed separately.

In a one-mode network, all nodes are of the same type. For example, from a book-borrowing bipartite reader-book (R-B) network, we can create a reader-reader (R-R) network containing only the reader nodes, where two reader nodes are linked by an edge if they have read at least one same book. Similarly, we can create a book-book (B-B) network containing only the book nodes, where two book nodes are linked by an edge if they both have been read at least by one same reader.

First, we created the bipartite R-B network from the extracted Reader ID and Book ID pairs. Then, we created the R-R and B-B networks using one-mode projection. Both R-R and B-B networks had 284 connected components most of which had only 1 to 2 nodes. The existence of these singletons in the projected R-R network indicates that there are some readers who have borrowed some books that nobody else has ever borrowed from the library, and therefore these readers are not connected to any other reader over a book. Similarly, the existence of very small components indicates that there are a few readers who have borrowed only some specific books that have not ever been borrowed by the rest of the readers, and therefore these readers form the isolated and disconnected components of the whole network. A similar inference can be made for the singletons and very small components in the B-B network as well. For example, there are some books that have been borrowed by readers who have never borrowed any other book from the library, and therefore these books are not connected to any other book over a reader. Following the common approach in network analysis, we simply ignored the small components and extracted only the giant components of the networks for further analysis. Therefore, after this filtering, the R-R network had 4,244 nodes instead of 4,588, and the B-B network had 16,731 nodes instead of 17,183.

2.3. Complex Network Analysis

Complex Network Analysis is a set of techniques that explore the statistics, the structure and the function of large and complex networks [16]. It uses theories and methods from several disciplines such as mathematics, physics, statistics, computer science, and sociology. A complex network analysis study usually comprises the following steps once a network representation of the complex phenomenon of interest is produced. First, the network is visualized and patterns are sought out visually. Then, the topological analysis is carried out to understand the general characteristics of the network as a whole. For instance, structural measures like node degree distribution, clustering coefficient, average path length, and diameter provide us with important information about the network. Third, centrality analysis is performed, where structurally the most central and important nodes are identified. Finally, community analysis is applied to reveal the transitive relationships between nodes to detect the clusters in the network [17].

3. Results and Discussion

Using the above mentioned network analysis tools, we analyzed the R-R and B-B networks in four distinct phases. First, we visualized the networks to see their general structure and layout. Then, we performed topological network analysis on the networks. Next, centralities of the nodes were analyzed. Finally, we tried to reveal the communities embedded in the networks.

3.1. Visual Analysis

In complex network analysis, the network is visualized using an appropriate layout algorithm that enables one to see the organization of the nodes and their relationships with each other as clearly as possible. Accordingly, we visualized the R-R and B-B networks using Yifan Hu layout algorithm, which is a fast and effective force-directed layout algorithm that usually produces a clear view of the network. The visualizations of the networks are shown in Figure 1. The nodes were colored according to the

community they belonged to. Details of the community analysis is given in Section 3.2.5. Additionally, the nodes were resized proportionally to their degrees.

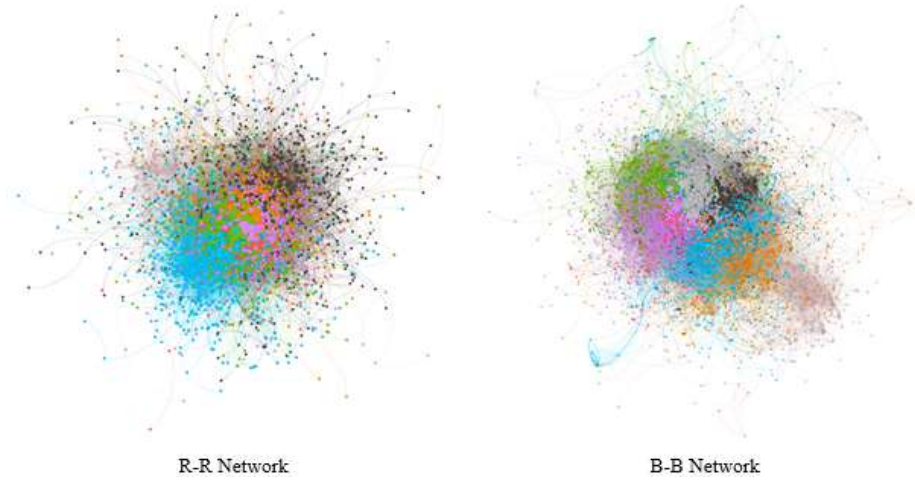


Figure 1. Visualizations of R-R and B-B Networks

3.2. Topological Analysis

3.2.1. General Topological Measures

We obtained the general topological measures of the R-R and B-B networks, such as clustering coefficient, characteristic path length, density, and diameter. These measures are presented in Table 1.

Table 1. Topological measures of the R-R and B-B networks

Measure Name	R-R	B-B
Nodes	4,244	16,731
Edges	103,562	790,210
Clustering coefficient	0.45	0.734
Characteristic path length	2.872	2.923
Density	0.012	0.006
Avg. num. of neighbors	48.804	94.461
Diameter	9	9

Clustering coefficient is the measure of the degree to which nodes in a network show tendency to form dense groups together called clusters [2]. It takes a value between 0 and 1, and a higher value indicates that the high density of links is due to the clusters rather than being established randomly. Characteristic path length is the average of the shortest path lengths for all possible pairs of nodes in the network [17]. Clustering coefficient and Characteristic path length values in Table 1 are interpreted in Section 3.2.3 with respect to small-world phenomenon.

Density of a network is the ratio of the number of existing edges (links) in a network to the number of possible edges considering all pairs of nodes [17]. The density values in Table 1 show that both R-R and B-B networks are highly sparse. This is the indication that readers on the average have only borrowed a very small subset of all the books that the rest of the readers have borrowed. Therefore, readers are connected to only a small number of other readers. Similarly, books on the average have only been borrowed by a very small subset of all the readers that have borrowed the rest of the books. Thus, books are connected to only a small number of other books. The values of Average number of neighbors per node given in Table 1 support these findings.

Diameter of a network is defined as the shortest distance between two most distant nodes in the network [17]. It usually gives a general idea about the connectedness of the network. In general, as a network becomes larger and denser, its diameter becomes smaller due to the construction of shorter paths as new edges are added between nodes. Both R-R and B-B networks have a relatively small

diameter value of 9, which means that any two readers or any two books can be linked to each other over 9 edges at most.

3.2.2. Scale-free Analysis

We created the degree distribution charts of the networks shown in Figure 2 and fit the distributions with Power Law distribution [17, 18]. According to Power Law, the probability of a node that has degree k (p_k) is defined by the relation $p_k = ak^{-b}$, where b is the Power Law Scaling Factor, and a is the Power Law Intercept. In network analysis, for a network to have scale-free property, it is usually expected to have a scaling factor in the range $1 \leq b \leq 3$ [19]. Scaling factors for Power Law distributions of the R-R and B-B networks are found 1.220 and 1.426, respectively.

Visual inspection of the degree distribution charts and the values of scaling factors suggest that the networks exhibited Power Law degree distribution. This distribution is usually observed in most real-world networks regardless of the type and size of the network [17]. It also indicates that most of the nodes have a relatively low degree (number of neighbors) while a few nodes have a very high degree. We showed that the R-R and B-B networks had the scale-free property [3].

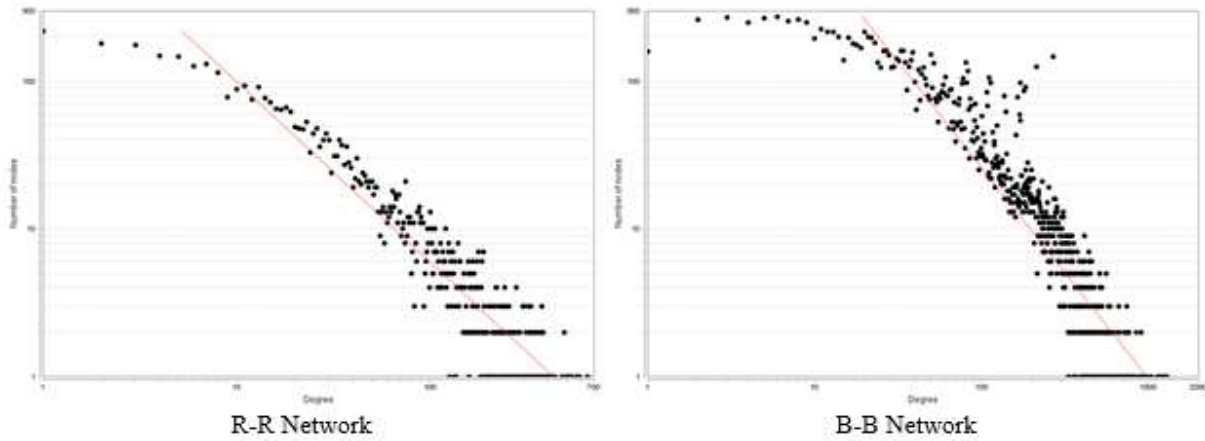


Figure 2. Degree distribution charts of R-R and B-B networks

3.2.3. Small-world Analysis

Besides being scale-free, most real-world networks are known to be small-world, which means that they show a higher clustering than random networks and they have a very short average path length independent of their size [2]. In order to check the existence of small-world characteristics in the R-R and B-B networks, we artificially generated 10 different Erdős-Rényi [20] random graphs for each network with the same number of nodes and edges as each one. The steps to generate a corresponding Erdős-Rényi random graph for a network with N nodes and M edges are as follows. First, the graph with N nodes without any edges is created. Then, an edge is created between a pair of nodes (that are not already connected by an edge) picked at random, until the graph has M edges in total. As a result of this process, a random graph with N nodes and M edges is obtained. After generating the random graphs, we compared the mean values of the topological analysis results of these corresponding random graphs to the results of our original networks. Table 2 shows the comparisons.

Table 2. Clustering coefficient and characteristic path length comparison

Network	Clustering coefficient		Characteristic path length	
	R-R	B-B	R-R	B-B
Original	0.450	0.734	2.872	2.923
Random	0.012	0.006	2.553	2.578

For both networks, corresponding random graphs had much lower clustering coefficient values as expected. Moreover, characteristic path lengths of the corresponding random graphs were very close considering the size of the graphs. These findings were consistent with the general expectation as it is a

well-known fact that random networks do not exhibit the high clustering of real-world networks but short characteristic path length is a common behavior of both real-world and random networks. As a result, we showed that the R-R and B-B networks presented small-world characteristics.

Additionally, the degree distributions of the random graphs were far from Power Law; they were Poisson actually as expected as a result of random edge addition between nodes. When compared to the random graphs in terms of these three characteristic properties, we finally inferred that the R-R and B-B networks under study were far from randomness. This is not surprising because readers do not borrow books from libraries at random. Instead, they decide to borrow books depending on their study needs and reading tastes.

3.2.4. Centrality Analysis

In this stage of the network analysis, we obtained degree, closeness, and betweenness centralities of the nodes in the B-B network only because reader names were not available in the book lending Excel file, most central Reader IDs would not make sense to find. Thus, we limited our centrality analysis to the B-B network as we could match Book IDs with book titles. Degree, closeness, and betweenness centralities are the most commonly used ones that usually give useful insights about the relative importance of nodes in the network [17]. Degree Centrality of a node is simply the number of neighbors of that node. A node with high number of neighbors or connections can be considered important. Closeness Centrality determines how close a node is to all other nodes in a network by measuring the sum of the shortest paths between that node and all others. According to this definition, a node with a high closeness centrality value is important and valuable because it can reach the whole network more quickly than the others. Betweenness Centrality calculates the relative importance of a node by measuring the amount of shortest path traffic that flows through that node to other nodes in the network. A node with a high betweenness centrality value is considered important because its position in the network gives it a relatively higher power to control the information flow in the network. To sum up, the higher the centrality value, the more central a node is. Top 20 book titles are ranked by their degree, closeness, and betweenness centralities in Tables 3, 4, and 5 respectively.

Whereas different centrality measures calculate the importance of nodes from different perspectives, we usually see that their results support each other. The same thing also proves to be true in our analysis. We see that 13 books appear in all centrality tables. These books are emphasized in the tables with boldface font. We also see that classicals from both Turkish and world literature have appeared in the reading list of many readers consistently.

Table 3. Top 20 books by their degree centralities

Rank	Book Title	Degree
1	Kürk Mantolu Madonna, Sabahattin Ali	1,294
2	Şiir tahlilleri 2, Mehmet Kaplan	1,260
3	Sevme sanatı, Erich Fromm, çev. Özden Saatçi-Karadana	1,257
4	Tutunamayanlar, Oğuz Atay	1,202
5	Hayvan çiftliği: bir peri masalı, George Orwell, çev. Celal Üster	1,164
6	Simyacı, Paulo Coelho, çev. Özdemir İnce	1,136
7	Bin dokuz yüz seksen dört, George Orwell, çev. Celal Üster	1,048
8	Türk mitolojisi, Bahaeddin Ögel	977
9	Aşk, Elif Şafak, çev. K. Yiğit Us	975
10	Türk mitolojisinin anahatları, Yaşar Çoruhlu	969
11	20. Yüzyıl siyasi tarihi: 1914 - 1995, Fahir Armaoğlu	963
12	Benim adım kırmızı, Orhan Pamuk	944
13	Keşfedilmemiş benlik, C. G. Jung, çev. Barış İlhan, Canan Ener Sılay	917
14	Dede Korkut Kitabı, Muharrem Ergin	914
15	Batı edebiyatında edebi akımlar, İsmail Çetişli	906
16	Şah ve Sultan, İskender Pala	895
17	Yeni Türk Edebiyatı: 1839-2000 : El Kitabı, Ed. Ramazan Korkmaz	882
18	Beyaz gemi, Cengiz Aytmatov, çev. Refik Özdek	848
19	Şiir tahlilleri 1, Mehmet Kaplan	848
20	Bozkurtlar : Birinci Kitap Bozkurtların ölümü	831

Table 4. Top 20 books by their closeness centralities

Rank	Book Title	Closeness
1	Kürk Mantolu Madonna, Sabahattin Ali	0.47470
2	Sevme sanatı, Erich Fromm, çev. Özden Saatçi-Karadana	0.47017
3	Simyacı, Paulo Coelho, çev. Özdemir İnce	0.46994
4	Hayvan çiftliği: bir peri masalı, George Orwell, çev. Celal Üster	0.46744
5	Tutunamayanlar, Oğuz Atay	0.46741
6	Aşk, Elif Şafak, çev. K. Yiğit Us	0.46643
7	Bin dokuz yüz seksen dört, George Orwell, çev. Celal Üster	0.46505
8	Şiir tahlilleri 2, Mehmet Kaplan	0.46295
9	Şah ve Sultan, İskender Pala	0.45858
10	Beyaz gemi, Cengiz Aytmatov, çev. Refik Özdek	0.45803
11	Benim adım kırmızı, Orhan Pamuk	0.45725
12	Bozkurtlar : Birinci Kitap Bozkurtların ölümü	0.45672
13	Dede Korkut Kitabı, Muharrem Ergin	0.45651
14	Batı edebiyatında edebi akımlar, İsmail Çetişli	0.45629
15	Türk mitolojisinin anahatları, Yaşar Çoruhlu	0.45627
16	Anayurt oteli, Yusuf Atılgan	0.45536
17	Şeker Portakalı, J. Mauro de Vasconcelos, çev. Aydın Emeç	0.45472
18	Ruh adam, Hüseyin Nihal Atsız	0.45448
19	Keşfedilmemiş benlik, C. G. Jung, çev. Barış İlhan, Canan Ener Silay	0.45442
20	İçimizdeki Şeytan, Sabahattin Ali	0.45418

Table 5. Top 20 books by their betweenness centralities

Rank	Book Title	Betweenness
1	Simyacı, Paulo Coelho, çev. Özdemir İnce	0.00905
2	Tutunamayanlar, Oğuz Atay	0.00877
3	Kürk Mantolu Madonna, Sabahattin Ali	0.00853
4	Aşk, Elif Şafak, çev. K. Yiğit Us	0.00799
5	Dede Korkut Kitabı, Muharrem Ergin	0.00681
6	Şiir tahlilleri 2, Mehmet Kaplan	0.00674
7	Sevme sanatı, Erich Fromm, çev. Özden Saatçi-Karadana	0.00643
8	Hayvan çiftliği: bir peri masalı, George Orwell, çev. Celal Üster	0.00640
9	Aşkın gözyaşları I, Tebrizli Şems, Sinan Yağmur	0.00615
10	Soğuk kahve, Ahmet Batman	0.00544
11	Şeker Portakalı, J. Mauro de Vasconcelos, çev. Aydın Emeç	0.00541
12	Türk mitolojisi, Bahaeddin Ögel	0.00519
13	Bin dokuz yüz seksen dört, George Orwell, çev. Celal Üster	0.00517
14	Türk mitolojisinin anahatları, Yaşar Çoruhlu	0.00450
15	20. Yüzyıl siyasi tarihi: 1914 - 1995, Fahir Armaoğlu	0.00430
16	Şah ve Sultan, İskender Pala	0.00405
17	Bozkurtlar : Birinci Kitap Bozkurtların ölümü	0.00400
18	Uçurtma Avcısı, Khaled Hosseini, çev. Püren Özgören	0.00396
19	Benim adım kırmızı, Orhan Pamuk	0.00382
20	Dönüşüm, Franz Kafka, çev. Ahmet Cemal	0.00374

3.2.5. Community Analysis

In this final stage of the complex network analysis, we simply identified the dense groups of nodes called communities (or clusters) in the R-R and B-B networks using the Louvain algorithm, which employs a technique called Modularity Optimization [21]. We applied this operation with its only parameter resolution set to its default value of 1.0. Identified communities can be seen with distinct colors of nodes in the network visualizations in Figure 1. There are 13 and 22 communities in R-R and B-B networks, respectively. Clusters of readers may be interpreted as groups of readers with similar study needs or reading tastes as readers were linked together if they have borrowed at least one same book. Likewise, clusters of books may be interpreted as groups of books with similar and/or related genre as books were linked together if they have been borrowed by at least one same reader. For the

same reason in centrality analysis, we limited our community analysis to the B-B network. Properties of the identified communities in the B-B network are given in Table 6.

Table 6. Communities in the B-B network

Community		
Id	Size	Apparent Genres
1	4,618	Mixed, predominantly Turkish and world literature, poetry
2	1,991	Ottoman and Turkish history
3	1,955	Management, law, education
4	1,047	Management, law, education
5	982	Mixed, history, education, Turkish and world literature
6	772	Highly mixed, no apparent genre
7	733	Turkish literature, poetry
8	589	Science, medicine, Turkish and world literature
9	512	Turkish and world literature, mythology
10	500	Poetry
11	410	Technology, predominantly Turkish and world literature
12	356	Ottoman and Turkish history
13	330	Social sciences, philosophy, psychology, education
14	325	Ottoman and Turkish literature, poetry
15	290	Social sciences, history
16	284	Ottoman literature, history, mythology
17	237	Mixed, predominantly Turkish and world literature, poetry
18	228	Social sciences, management
19	218	Mixed, predominantly Turkish and world literature
20	129	Science, mathematics
21	128	Ottoman history
22	97	Ottoman literature, history

Because the identified communities were mostly dominated by books of Turkish and world literature, it was very difficult to assign specific genres to them. Despite this, some of the communities had books from apparently specific genres like science and maths, social sciences and history, and so on.

4. Conclusion and Future Directions

In this study, we analyzed the book-borrowing network constructed from the database of the libraries of Ardahan University by using complex network analysis techniques. After the construction of the bipartite reader-book relationship network (R-B), we constructed reader-reader (R-R) and book-book (B-B) networks via one-mode projection technique. Once the R-R and B-B networks were available, we explored and analyzed them both visually and topologically.

When we investigated the degree distributions of the networks both visually and analytically, we observed Power Law distribution in both of them, as observed in many real-world networks regardless of their origins and sizes. It could be said that R-R and B-B networks were scale-free networks.

We also examined the existence of small-world property in the networks by comparing some topological features of them with those of the corresponding random graphs that we artificially generated. Consequently, we showed that the R-R and B-B networks were small-world networks.

In a further analysis, we identified the most central (or important) books in the B-B network by calculating degree, closeness, and betweenness centralities of the nodes. According to centrality rankings, 13 books appear in all top 20 lists. These books are highly popular works from both Turkish and world literature, which were in the reading list of many readers.

For the analysis of communities embedded in the networks, we used the Louvain algorithm and identified the community of readers and community of books visually. Besides, we analyzed the genres of books inside the communities of the B-B network.

Among the studies presented in the introduction, the one by Han et al. was the closest study to ours in terms of the study objectives and the applied methodology [14]. Dividing the book borrowing data into school years, they constructed and analyzed five different R-R and B-B networks. They showed that the degree distributions of their networks followed the exponential distribution rather than the Power Law distribution, and that the small-world phenomenon was also observed in the networks. From this point of view, our findings are similar to theirs. Their work, on the other hand, did not present a detailed centrality and community analysis.

Analysis of book lending processes of libraries from several different perspectives like business intelligence, data mining, and complex network analysis has the potential to provide significant insights to improve these processes for service quality and reader satisfaction. For example, number of printed books per title or per genre could be optimized depending on the reader expectations and reading tastes. In addition, library services could be extended to recommend books to readers using the identified reader communities with similar reading tastes or some other advanced recommendation techniques as many online e-commerce systems do.

In this research, only the Reader IDs and Book IDs were available for constructing the reader-book relationship bipartite network. It would be possible to create several different projected networks if there were more data about the readers like their faculties/schools, departments/programmes, degrees, etc., and about the books like their categories, sub-categories, genres, etc. Analyzing these networks, it would be possible to bring to light several important patterns and relationships regarding the reading behaviors of the readers.

Acknowledgments

The authors are thankful to Ardahan University Rectorate for providing the dataset of this research.

Author's Contributions

All authors contributed equally to the study.

Statement of Conflicts of Interest

There is no conflict of interest among the authors.

Statement of Research and Publication Ethics

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

References

- [1] Barabási A.-L., Pósfai M. 2016. *Network Science*. Cambridge University Press, Cambridge, 1-475.
- [2] Watts D.J., Strogatz S.H. 1998. Collective Dynamics of Small-world Networks. *Nature*, 393 (6684): 440-442.
- [3] Barabási A.-L., Albert R. 1999. Emergence of Scaling in Random Networks. *Science*, 286 (5439): 509-512.
- [4] Newman M.E.J. 2010. *Networks: An Introduction*. Oxford University Press, New York, US, 1-772.
- [5] Kadushin C. 2012. *Understanding Social Networks: Theories, Concepts, and Findings*. Oxford University Press, New York, 1-264.
- [6] Easley D., Kleinberg J. 2010. *Networks, Crowds, and Markets: Reasoning About a Highly Connected World*. Cambridge University Press, Cambridge, 1-833.
- [7] Bramoullé Y., Galeotti A., Rogers B. 2016. *The Oxford Handbook of the Economics of Networks*. Oxford University Press, New York, US, 1-841.
- [8] Dorogovtsev S.N., Mendes J.F.F. 2003. *Evolution of Networks: From Biological Nets to the Internet and WWW*. Oxford University Press, Oxford, 1-280.

- [9] Albert R., Jeong H., Barabási A.-L. 1999. Diameter of the World-Wide Web. *Nature*, 401 (6749): 130-131.
- [10] Girvan M., Newman M.E.J. 2002. Community Structure in Social and Biological Networks. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 99 (12): 7821-7826.
- [11] Barabási A.-L., Gulbahce N., Loscalzo J. 2011. Network medicine: a network-based approach to human disease. *Nature Reviews Genetics*, 12 (1): 56-68.
- [12] Li N.-N., Zhang N. 2009. The Bipartite Network Study of the Library Book Lending System. *First International Conference of Complex Sciences, Complex 2009*, February 23-25, Shanghai, China, 773-782.
- [13] Yan F., Zhang M., Tang J., Sun T., Deng Z., Xiao L. 2010. Users' Book-Loan Behaviors Analysis and Knowledge Dependency Mining. *11th International Conference of Web-Age Information Management, WAIM 2010*, July 15-17, Jiuzhaigou, China, 206-217.
- [14] Han L., Zhang G., Yong B., He Q., Feng F., Zhou Q. 2019. Statistical study of characteristics of online reading behavior networks in university digital library. *World Wide Web*, 22 (3): 1175-1187.
- [15] Holme P., Liljeros F., Edling C.R., Kim B.J. 2003. Network bipartivity. *Physical Review E*, 68 (5): 056107.
- [16] Zweig K.A. 2016. *Network Analysis Literacy: A Practical Approach to the Analysis of Networks*. Springer-Verlag, Austria, 1-535.
- [17] Tunalı V. 2016. Sosyal Ağ Analizine Giriş. Nobel Akademik Yayıncılık, Ankara, Türkiye, 1-200.
- [18] Assenov Y.R.F., Schelhorn S., Lengauer T., Albrecht M. 2008. Computing topological parameters of biological networks. *Bioinformatics*, 24 (2): 282-284.
- [19] West B.J., Grigolini P. 2011. *Complex Webs: Anticipating the Improbable*. Cambridge University Press, New York, US.
- [20] Erdős P., Rényi A. 1959. On Random Graphs. *Publicationes Mathematicae Debrecen*, 6: 290-297.
- [21] Blondel V.D., Guillaume J.-L., Lambiotte R., Lefebvre E. 2008. Fast unfolding of communities in large networks. *Journal of statistical mechanics: theory and experiment*, 2008 (10): P10008.

Araştırma Makalesi / Research Article

Alüvyon Özelliklerinin Homojen Dolgu Barajların Stabilitesine ve Kazı Derinliklerine Etkisinin Araştırılması

Uğur Şafak ÇAVUŞ*

*Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Isparta
(ORCID:0000-0003-4804-8735)*

Öz

Bu çalışma da, sert ve yumuşak alüvyon temeller üzerine oturan 30m yükseklikteki homojen kil dolgu bir barajın, memba ve mansap şevlerinin stabilitesine, şev eğimlerine ve temel kazılarının derinliğine alüvyon özelliklerinin etkisi araştırılmıştır. Analiz sonuçları baraj güvenliği ve kazı-dolgu maliyetleri açılarından değerlendirilmiştir. Çalışma neticesinde, alüvyonun sertliği azaldıkça, kayma yüzeylerinin alüvyona kadar nüfuz ettiği ve minimum güvenli kayma yüzeylerinin daha derin ve büyük olduğu görülmüştür. Bu nedenle, bu tür alüvyonlarda baraj altında kazılarının daha derin yapılmasının daha sağlıklı olacağı ve ayrıca dolgu şevlerinin de daha yatık yapılmasının uygun olacağı sonucuna varılmıştır. Alüvyonun sertliği arttıkça şev kayma yüzeyleri sığ kalarak alüvyon zemine nüfuz etmemekte, alüvyon temelin yüzeyine yakın ve baraj dolgusunun içerisinde kalmaktadır. Bu nedenle, sert alüvyon temeller üzerine oturan baraj dolgularında temelde az bir alüvyon kazısı yapmanın yeterli olacağı sonucuna varılmıştır. Ayrıca, baraj dolgusunun memba mansap şev güvenliğinin, yumuşak alüvyon zeminlerde olduğunun tersine, sıkı alüvyon zeminler üzerine oturan homojen kil dolgu barajlarda daha fazla olduğu görülmüştür.

Anahtar kelimeler: 1. Homojen kil dolgu baraj, 2. alüvyon, 3. nümerik sızma analizi, 4. şev stabilitesi.

Investigating Effects of Alluvium Properties on the Stability and Excavation Depths of Homogeneous Embankment Dams

Abstract

In this study, effects of alluvium properties on the upstream and downstream slope gradients, stability and depths of foundation excavation of a 30m high homogeneous embankment dam located on the two different alluvium types as soft and stiff is analyzed. Analyses results are evaluated in terms of safety of the dam and excavation-embankment fill costs. As a result of this study, it was determined that slide surfaces of the embankment slopes become larger, cause smaller safety factors and penetrate into the alluvium when alluvium is softer. Therefore, it is concluded that foundation excavation depth should be more and embankment slopes should be designed gentler for soft alluvium conditions. When alluvium is denser, then, slope sliding surfaces become shallower, stay in the embankment and do not penetrate into dense alluvium. Therefore, in such case, it is concluded that less excavation of alluvium foundation will be sufficient for homogeneous embankment dams located on dense alluvium. In addition it was found that upstream and downstream slope safety values of homogeneous embankment dams become larger in case of hard alluvium conditions when compared with those in case of soft alluvium soils.

Keywords: 1. Homogeneous embankment dam, 2. alluvium, 3. numerical seepage analyses, 4. limit equilibrium methods, 5. slope stability.

1. Giriş

Homojen kil dolgu barajlar 30 m yüksekliklere kadar inşa edilen ve doğrudan alüvyon zeminler üzerine oturtulabilen baraj tiplerindedir [1-3]. Bu barajların memba şev stabilitesinde en kritik durum, rezervuarın tamamen dolu olması veya aniden boşaltılması halleridir. Mansap şevi için ise en kritik durum rezervuarın tamamen dolu olması hali olmaktadır [4]. Bu barajlar inşa edilebilmeleri açısından

*Sorumlu yazar: ugurcavus@isparta.edu.tr

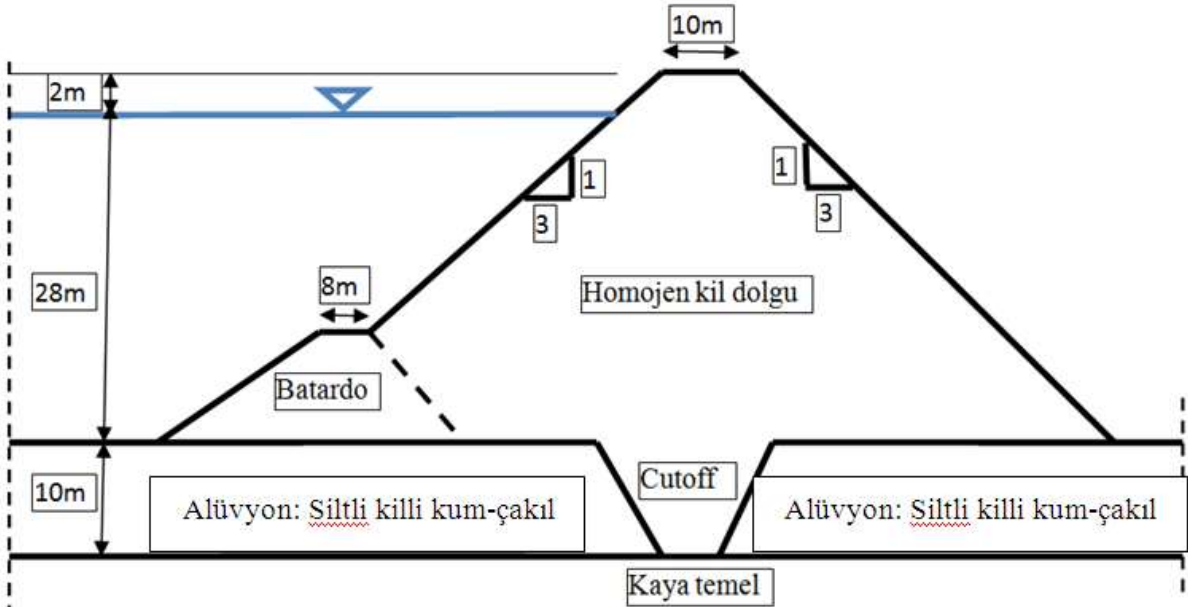
Geliş Tarihi:04.02.2020, Kabul Tarihi: 11.01.2021

ayrıca sağlam zemin veya kaya temel istemezler. Her türlü zemine veya kaya temeller üzerine inşa edilebilirler çünkü yükseklikleri maksimum 30m civarında olup fazla değildir. Ayrıca dolgu şevleri stabilite güvenliği için genelde yatıktır (3 yatay 1 düşey veya 2.5 yatay 1 düşey gibi tasarlanırlar) [3-5]. Şevlerin yatık olması ve genelde 30m'nin üzerinde tasarlanmamaları nedenleriyle, temele aktarılan yüklerin baraj temelinde oluşturduğu gerilmeler düşük olmaktadır. Homojen kil dolgu barajlarda, dolgu şevlerinin eğimini ve temel sıyırma kazıları derinliğini, barajın ve rezervuarının yüksekliği, dolgu malzemesinin mukavemet özellikleri ve filtre tasarımı ile ayrıca barajın üzerine oturacağı alüvyonun sıklık derecesi ve mukavemet özellikleri etkili olmaktadır.

Bu çalışmada 10 m kalınlıktaki alüvyon temel üzerine oturan 30 m yükseklikteki homojen kil dolgu bir barajın, dolgu şev eğimlerine ve temel sıyırma kazılarının derinliğine, alüvyonun mukavemet özelliklerinin etkisi incelenmiştir.

2. Materyal ve Metot

Çalışmada 10 m kalınlıkta bir alüvyon temel üzerine oturan maksimum seviyede su ile dolu ve memba-mansap şev eğimleri 3 yatay 1 düşey olan, 30 m yükseklikteki homojen kil barajın gövde kesiti analiz edilmiştir. Sonlu elemanlar yöntemi ile sızma analizleri yapılmış ve daha sonra limit denge şev stabilitesi analizleri gerçekleştirilmiştir (Şekil 1). Bu amaçla, sert ve yumuşak olmak üzere iki farklı alüvyon temel özelliği ve bunlara dayalı alüvyon temelin yoğunlukları ve mukavemet parametreleri dikkate alınmıştır. Baraj rezervuarının tamamen dolu olması durumuna karşılık gelen nümerik sızma analizleri SLIDE programı ile yapılmıştır [6]. Analiz tipleri, senaryoları ve baraj dolgusu ile alüvyonun malzeme özellikleri Tablo 1 ve 2'de verilmiştir. Nümerik modelleme neticesinde, baraj dolgusu içerisinde sızmaya bağlı olarak oluşacak boşluk suyu basınç değerleri hesaplanmıştır. Daha sonra bu boşluk suyu basınçları, SLIDE şev stabilitesi analiz programında, kayma yüzeylerine etki ettirilerek, her bir kayma yüzeyinin güvenlik faktörleri hesaplanmıştır. Ayrıca, kritik kayma yüzeyi ve geometrisi bulunmuştur. Böylece, baraj şevlerinin tasarımına ve kayma güvenliğine alüvyonun sert veya yumuşak olmasının etkisi belirlenmiştir. Ayrıca, kayma yüzeylerinin gövde içerisinde veya alüvyon temelde gelişme ve derinliklerine bağlı olarak, alüvyon özelliklerinin kazı derinliklerine olan etkileri kazı-dolgu maliyetleri açısından değerlendirilmiştir.



Şekil 1. Homojen kil dolgu baraj tip kesiti ve geometrisi

Tablo 1. Analiz senaryoları

Senaryo	Analizler	
Alüvyon temel: Yumuşak	Nümerik sızma (dolu hazne hali)	Nümerik sızma (dolu hazne hali)
Alüvyon temel: Sert	Memba şev stabilitesi	Mansap şev stabilitesi

Tablo 2. Baraj gövde dolgusu ve alüvyon temel malzeme özellikleri

Malzeme	Baraj kil dolgu	Alüvyon (yumuşak)	Alüvyon (sert)
Kohezyon, c (kN/m ²)	15	10	30
İçsel sürtünme açısı, ϕ (derece)	20	23	37
Yoğunluk, γ (kN/m ³)	20	16.5	19
Permabilite, k (cm/s)	1×10^{-7}	1×10^{-3}	5×10^{-3}

2.1. Nümerik sızma ve şev stabilite analizleri

Baraj rezervuarının dolu olması hali için dolgunun memba mansap şev stabilite analizleri iki farklı alüvyon temel özelliği dikkate alınarak yapılmıştır. Bunun için öncelikle, Darcy akım sızma formülü kullanılarak, sonlu elemanlar ile modellenen baraj gövdesindeki rezervuar suyunun sızma bölgesine ait Laplace denklem çözümleri, nümerik olarak yapılmış ve baraj gövdesi ve alüvyon temel içerisindeki boşluk suyu basınçları elde edilmiştir (1). Homojen kil dolgu barajlarda gözlemlenen şev kaymaları dairesel yakındır. Barajın memba ve mansap şevlerin stabilitesi dairesel kayma yüzeyleri teşkil edilerek pratikte çok kullanılan Bishop metodu ile analiz edilmiştir. Memba ve mansap şevlerinin güvenlik değerleri yumuşak ve sert alüvyon şartlarına bağlı olarak, SLIDE programı ile ayrı ayrı hesaplanmıştır. (2) [7].

$$k_{wx} \frac{\partial^2 h_w}{\partial x^2} + k_{wy} \frac{\partial^2 h_w}{\partial y^2} = 0 \quad (1)$$

Burada, k_{wx} ve k_{wy} yatay ve düşey dolgu ve alüvyonun permabilite değerleridir. Çözüm yaptığımız baraj homojen kil dolgu olduğu için analizlerde düşey ve yatay permabilite eşit olarak alınmıştır. h_w ise toplam su yüksekliği olup, SLIDE programı ile baraj gövde dolgusu ve alüvyona ait sızma durumundaki boşluk suyu basınçları hesaplanmıştır.

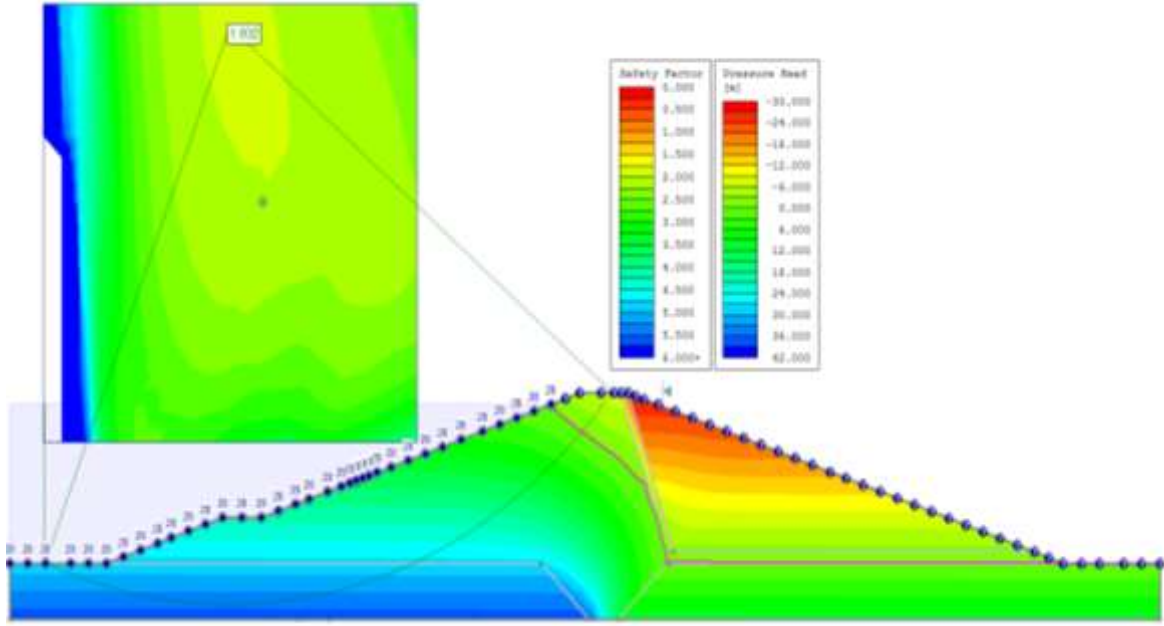
$$FS = \frac{\{c'l + (W \cos \alpha - ul) \tan \phi \left[\cos \alpha + \frac{\sin \alpha \tan \phi}{FS} \right]\}}{\sum W \sin \alpha} \quad (2)$$

Burada;

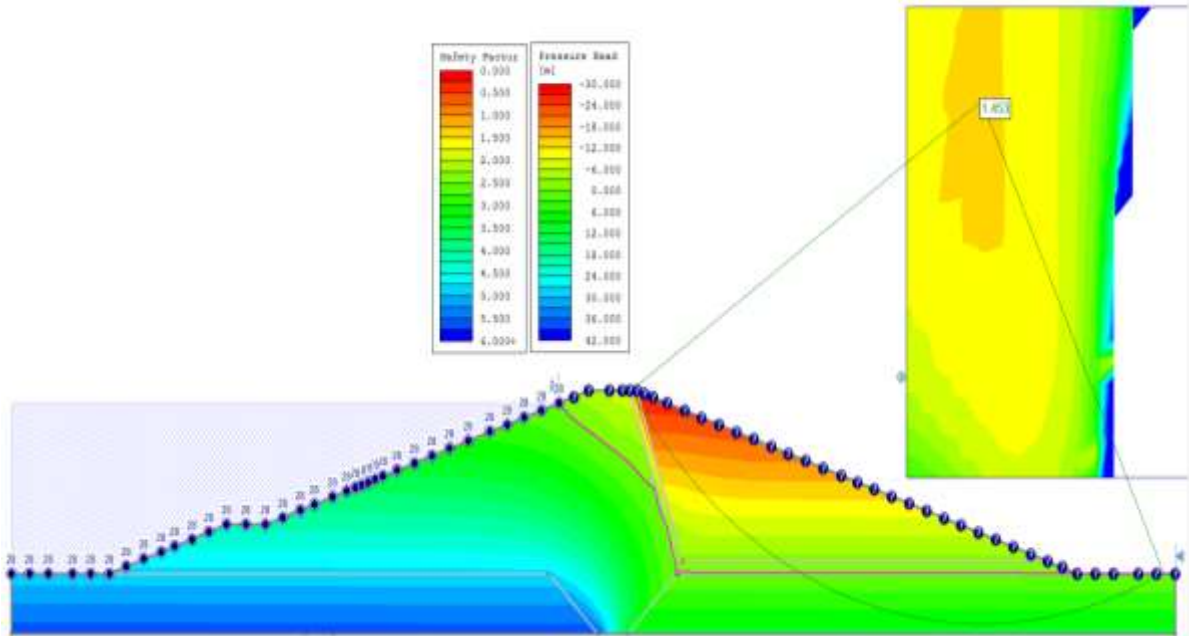
c : zemin kohezyon değeri; ϕ : zemin içsel sürtünme açısı; β : kayma yüzeyi dilimlerinin genişliği; α : Her bir kayma diliminin yatayla yaptığı açı; W : Dilimlerin ağırlığı; FS ise Güvenlik faktörüdür. Denklemin her iki tarafında FS olduğu için çözümde iterasyon yapmak gerekir.

Şekil 2 ve 4, Şekil 3 ve 5 beraber değerlendirildiğinde barajın memba ve mansap şev stabilitesi güvenlik değerleri yumuşak alüvyon temel durumunda daha düşük olmakta ve kayma yüzeyleri daha geniş olarak gelişerek alüvyona kadar dalmaktadır. Sert (mukavemeti yüksek) alüvyon durumunda ise kayma yüzeyleri sadece gövde içerisinde kalmakta olup alüvyon temele penetrasyonları olmamaktadır. Bu nedenle özellikle deprem durumunda gerekli emniyeti sağlamak için yumuşak alüvyonda temel altı sıyırma kazılarını cutoff un memba ve mansabında daha fazla yapmak baraj şev güvenliği açısından uygun olacaktır. Şekil 2 ve 3 ile Şekil 4 ile 5 beraber değerlendirildiğinde ise, her iki farklı alüvyon şartı

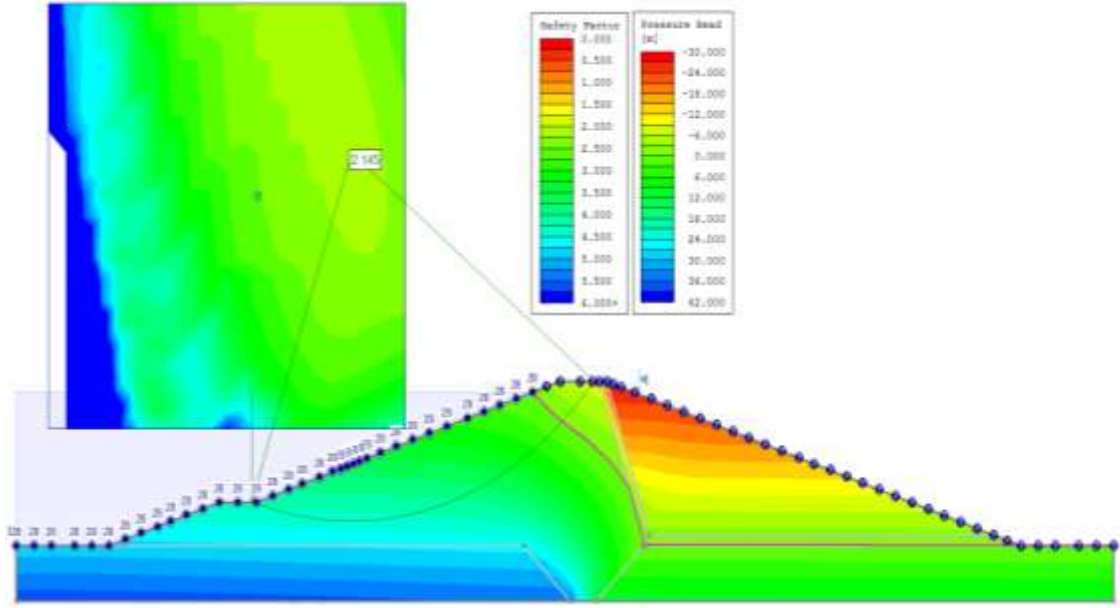
için, dolu hazne halindeki sızma durumunda, barajın memba şevleri rezervuar suyunun basınç etkisi ile mansap şevine göre daha güvenli olmaktadır.



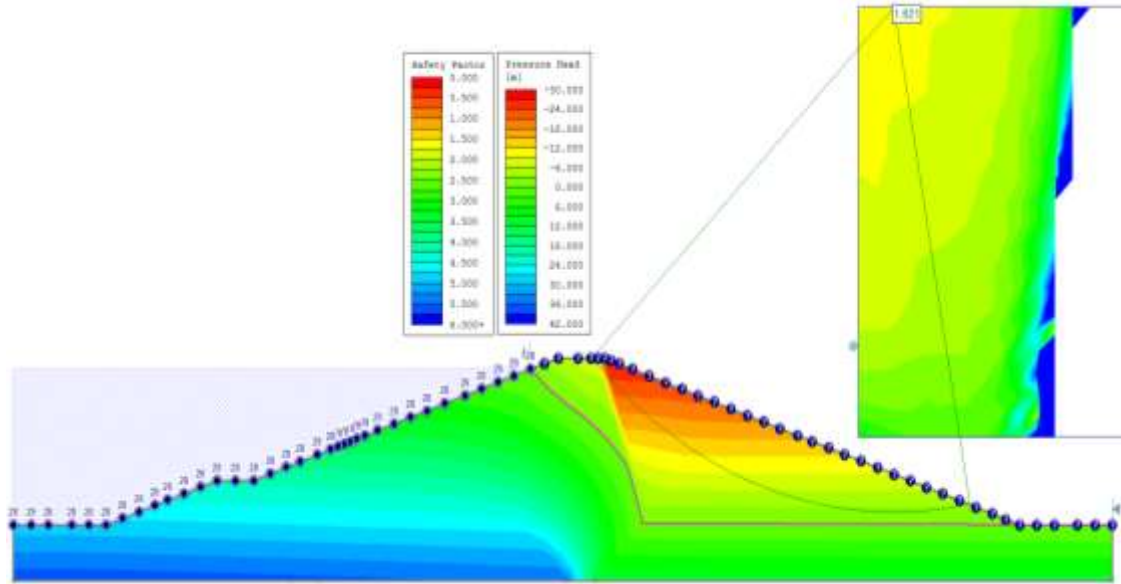
Şekil 2. Yumuşak alüvyon temel durumunda rezervuar dolu iken nümerik sızma analizi, boşluk suyu basınçları ve memba şevi stabilitesi en kritik kayma yüzeyi ve güvenlik değeri



Şekil 3. Yumuşak alüvyon temel durumunda rezervuar dolu iken nümerik sızma analizi, boşluk suyu basınçları ve mansap şevi stabilitesi en kritik kayma yüzeyi ve güvenlik değeri



Şekil 4. Sert alüvyon temel durumunda rezervuar dolu iken nümerik sızma analizi, boşluk suyu basınçları ve mamba sevi stabilitesi en kritik kayma yüzeyi ve güvenlik değeri



Şekil 5. Sert alüvyon temel durumunda rezervuar dolu iken nümerik sızma analizi, boşluk suyu basınçları ve mansap sevi stabilitesi en kritik kayma yüzeyi ve güvenlik değeri

3. Bulgular ve Tartışma

Çalışma neticesinde, alüvyonun sertlik derecesi düştükçe, alüvyon yumuşak oldukça, kayma yüzeylerinin alüvyona kadar nüfuz ettiği ve minimum güvenli kayma yüzeylerinin daha derin ve büyük olduğu görülmüştür. Bu nedenle, bu tür alüvyonlarda baraj altında yapılacak temel kazılarının daha derin yapılmasının daha sağlıklı olacağı ve ayrıca dolgu şevlerinin de daha yatık yapılmasının uygun olacağı sonucuna varılmıştır. Yapılacak kazı derinliği proje özellikleri ve proje yerine, topoğrafya ve alüvyon karakteristiklerine göre her projede aynı değildir. Fakat alüvyondan geçen kritik olan ve dolgu şevlerinin güvenliğini en düşük veren kayma yüzeyinin derinliğine yakın bir derinlikte yapılması uygun olacaktır. Yumuşak alüvyon temel söz konusu olduğunda, eğer baraj dolgusu altındaki alüvyon derinliği ve alüvyon genişliği fazla değilse, yumuşak temel alüvyonunun tamamen kazılarak kaldırılması ve baraj dolgusunun doğrudan ana kaya üzerine oturtulması baraj dolgusunun oturmasını azaltacağından ayrıca tavsiye edilir. Ayrıca, bu sayede, baraj dolgusunun şev stabilize güvenliği artacaktır. Kazı maliyetleri de fazla olmayacaktır. Sığ derinlikteki siltli kumlu suya doymuş gevşek bir

alüvyonun kazılarak atılması ise, ayrıca deprem etkisiyle olası sıvılaşma riskini kaldıracaktır. Bu durumda alüvyon kazısı dolayısıyla ve bunun yerine yapılan ilave baraj dolgusu nedeniyle bir miktar maliyet artışı olsa dahi, stabilite güvenlik değerlerindeki iyileşme dolayısıyla, baraj dolgusunun şevlerini daha dik yapmak mümkün olabilecektir. Bu ise, dolgu miktarında azalma ve maliyette düşmeye neden olacaktır. Böylece, alüvyon kazısından oluşacak maliyet artışları kısmen telafi edilebilecektir.

Alüvyonun sertliği ve sıklığı arttıkça ve kayma mukavemet değerleri yükseldikçe, şev kayma yüzeyleri sığ kalarak alüvyon zemine nüfuz etmemekte, temel zemininin yüzeyine yakın ve baraj dolgusunun içerisinde kalmaktadır. Bu nedenle, sıkı ve sert alüvyon temeller üzerine oturan baraj dolgularında temelde az bir alüvyon sıyırma kazısı yapmak yeterli olacaktır. Ayrıca analiz sonuçları göstermiştir ki; baraj dolgusunun memba mansap şev güvenliği de yumuşak alüvyon zeminlerde olduğunun aksine daha fazla olmaktadır. Özellikle memba dolgu şevleri mansap şevlerine göre, membada etki eden rezervuar su basıncının olumlu etkisi sebebiyle daha güvenli değerlere ulaşmaktadır. Netice olarak sıkı- sert alüvyon zeminler üzerine oturan dolgu barajlarda, dolgu şevleri daha stabil olmaktadır. Bu nedenle daha dik şev tasarımı yapmak mümkündür.

4. Sonuç

Yumuşak alüvyon zeminler üzerine inşa edilecek dolgu barajlarda, temel sıyırma kazılarını daha fazla yapmak şev stabilite güvenlik değerlerini artıracığından daha uygundur. Eğer alüvyon derinliği fazla değilse, alüvyonun tamamen kazılarak atılması ve baraj dolgusunun doğrudan ana kaya üzerine oturtulması daha uygundur. Çünkü alüvyona kadar giren derin kayma yüzeylerinin oluşması söz konusu olmayacaktır. İlave olarak baraj dolgusu oturmaları azalacaktır. Ayrıca suya doymun siltli kumlu gevşek alüvyonlarda, deprem etkisiyle sıvılaşma riski de ortadan kalkacaktır. Bununla beraber, kazı ve dolgu miktarları da kısmen artacaktır. Bu sebeple, sıkı alüvyon zeminlere göre, yumuşak alüvyonun tamamen kazılarak kaldırılıp kaldırılmaması kararı, proje yeri özelliklerine, maliyetlere, şev stabilite değerlerinde iyileşme miktarlarına ve proje risklerine bağlı olarak proje yeri özelliklerine göre değerlendirilmelidir.

Yazarların Katkısı

Makalede tüm katkı yazara aittir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar

- [1] Ağırlioğlu N. 2007. Baraj planlama ve Tasarımı. Cilt 1, Su Vakfı Yayınları, İstanbul, 1-262.
- [2] United States Department of the Interior Bureau of Reclamation, 1987. Design of Small Dams. Third edition, A water Resources Technical Publication, 1-827.
- [3] US Bureau of Reclamation, 2012. Embankment Dams-Embankment Dam Design. Design standards, 13: 100.
- [4] French Committee on Large Dams, 2002. Small Dams Guidelines for Design, Construction and Monitoring. Coordination: Gérard Degoutte. Translation: Links, Le Bourget du Lac (France) and Robert Chadwick (UK), 1-173.
- [5] Devlet Su işleri, DSİ, 2000. Baraj Projesi Yapımı Teknik Şartnamesi. <http://www.dsi.gov.tr/docs/proje-teknik-sartnameler/baraj-projesi-yapim-teknik-sartnamesi> (Erişim tarihi: 21.02.2014).
- [6] Rocscience 2011. Slide 6.009-2D limit equilibrium slope stability analysis.
- [7] Bishop A.W. 1955. The Use of the Slip Circle in the Stability Analysis of Slopes. Geotechnique, 5: 7-17.

Araştırma Makalesi / Research Article

Türkiye'de Çevik ve Klasik Yazılım Geliştirme Metodolojilerine Dair Kapsamlı Bir Değerlendirme

Duygu ÇALIŞKAN¹, Ahmet Faruk YAVUZ¹, Buket DOĞAN^{1*}, Banu ÇALIŞ USLU²

¹Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, 34722, Kadıköy, İstanbul

²Marmara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Endüstri Mühendisliği, 34722, Kadıköy, İstanbul

(ORCID: 0000-0003-4523-2967) (ORCID: 0000-0001-6161-1778)

(ORCID: 0000-0003-1062-2439) (ORCID: 0000-0001-8214-825X)

Öz

Hızla gelişen teknoloji dünyasında; özellikle yazılım sektöründe geliştirilen ürünlerin, pazara hızlı sunulması ve değişen gereksinimlere çabuk yanıt vermeleri gerekmektedir. Değişen şartlara uyum sağlayabilmek için, dünyadaki yazılım endüstrisinde klasik ve çevik yaklaşım metodolojileri kullanılmaktadır. Bu çalışma kapsamında, Türkiye yazılım endüstrisindeki organizasyonlarda çevik ve geleneksel yaklaşımların hangi düzeyde kullanıldığı ve yazılım geliştiricilerin bu yaklaşımlarla ilgili görüşlerinin nasıl olduğunu belirlemeye yönelik bir anket hazırlanarak uygulanması sağlanmıştır. Hazırlanan anket, <https://www.onlineanketler.com/> çevrimiçi anket sağlama hizmeti kullanılarak, 2019 Kasım ayı boyunca katılımcıların erişimine açılmıştır. Katılımcılar çeşitli sosyal ağlar ve e-posta grupları kullanılarak anket bağlantısına davet edilmişlerdir. Yazılım sektöründe yer alan birçok farklı firmadaki çalışana ulaşılarak, 193 kişinin anketi tamamlaması sağlanmıştır. Katılımcılardan alınan anket sonuçlarına göre, çevik yöntemlerin uygulanma oranının geleneksel yöntemlere göre daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Çevik yaklaşımları kullanan katılımcıların bu yöntemin verimliliği, kaliteyi ve müşteri memnuniyetini arttırdığı görüşünde olduğu görülürken, klasik yaklaşım kullanan katılımcıların bu konularda kararsız olduğu belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Yazılım geliştirme metodolojileri, çevik yaklaşım, çevik yazılım geliştirme, geleneksel yazılım geliştirme, yazılım sektörü.

A Comprehensive Assessment of Agile and Classic Software Development Methodologies in Turkey

Abstract

In the rapidly evolving technology world, especially in the software industry, it requires that the developed products be presented to the market quickly and react quickly to changing needs. In order to adapt to changing conditions, classical and agile approach methodologies are used in the software industry in the world. In this study, a questionnaire was prepared and implemented to determine at which level agile and traditional approaches are used and how the developers' views on these approaches at organizations in the software industry in Turkey. The prepared questionnaire was made available to the participants throughout November 2019 using the online questionnaire service <https://www.onlineanketler.com/>. Participants were invited to the survey link using various social networks and e-mail groups. By reaching employees in many different companies in the software industry, 193 people participated in the survey. According to the survey results obtained from the participants, it has been determined that the rate of application of agile methods is higher than that of traditional methods. While it was seen that the participants using agile approaches think that this method increases the efficiency, quality and customer satisfaction, the participants using the classical approach are determined to be neutral on these issues.

Keywords: Software development methodologies, agile approach, agile software development, traditional software development, software industry.

1. Giriş

Günümüzde gelişen teknoloji yapısı ile birlikte yazılım hayatımızın vazgeçilmez bir parçası olmuştur. Teknoloji gerek ev ve iş yerlerimizde kullandığımız cihazlarda gömülü sistem şeklinde, gerekse sosyal

*Sorumlu yazar: buketb@marmara.edu.tr

Geliş Tarihi: 13.02.2020, Kabul Tarihi: 04.06.2020

ağlar/uygulamalar aracılığı ile cep telefonları, tabletler ve bilgisayar ile doğrudan günlük hayatımıza girerek hayatımızın vazgeçilmez bir parçası olmuştur. Teknoloji, yazılımlar ile birlikte, her geçen gün hızla gelişmekle birlikte organizasyonlar iş süreçlerini kısa sürede başarı ile tamamlayabilmek için etkin yazılım sistemlerine ihtiyaç duymaktadırlar. Bu yazılımı bilgi sistem birimleri kendi içinde (inhouse) üretir ya da hizmet alımı şeklinde (outsourc) de geliştirebilmektedirler.

Yazılım projelerinin hayata geçirilmesinde kullanılan yaklaşımlar önemli bir rol oynamaktadır. Projenin başarısında geliştirilen ürünlerin etkin ve verimli olması etkili olmakla birlikte pazara sunulan ürünün geliştirilmesinde kullanılacak yaklaşıma karar verilmesi de etkilidir [1,2]. Bu çalışmanın amacı, yazılım mühendisliğinin ortaya çıkması ile birlikte klasik ve çevik (agile) yaklaşım metodolojilerinin Türkiye’de pratikte kullanımına ilişkin mevcut durumun sektör çalışanlarının görüşleri ile birlikte karşılaştırmalı olarak sunulmasıdır.

1.1. Yazılım Proje Yönetimi

Proje yönetimi, proje hedeflerine ulaşmak için zaman, maliyet ve kalite fonksiyonları göz önünde tutularak, mühendislik aktivitelerinin doğru olarak planlanması, organize edilmesi, kontrol edilmesi ve denetlenmesi ile projeye liderlik edilmesidir [3]. Bilgi teknolojilerinin hızlı gelişimi ve müşteri isteklerindeki değişimler, mevcut proje içerisinde değişikliğe sebep olabilmekte ve önceki projeler uygulanırken kazanılmış deneyimler ise genellikle yeterli gelmemektedir. Yazılım proje yönetimi metodolojisinin amacı; bir bilişim faaliyeti olan yazılımın (projenin) standart bir yöntemle, disiplinli, iyi yönetilen, ürünlerin ya da sonuçların kaliteli teslimini güvence altına alarak, belirli bir zaman ve bütçe kısıtı altında gerçekleştirmektir [4].

1.2. Yazılım Geliştirme Metodolojileri

Yazılım Geliştirme Metodolojileri, bir bilgi sisteminin geliştirme sürecinin yapısını, planlamasını ve kontrolünü sağlayan bir altyapıdır. Her farklı altyapı (framework) zayıf ve güçlü yanlarıyla bir arada zaman içerisinde olgunlaşır, bu sebeple de teknik, organizasyonel ve takım unsurlarına göre farklı özellik gösterir [5]. Özellikle karmaşık ve büyük bir sistem geliştirmek, birçok görevin yapılmak zorunda olduğu uzun ve karmaşık bir süreçtir. Bu durumda, geliştiricilerin birbirleriyle daha koordineli çalışması gerekmektedir. Metodoloji, süreçleri küçük görevlere ayırarak, ne yapılması gerektiğini belirterek proje yönetimine, planlamaya, çizelgelere, ilerlemeyi izlemeye yardım etmektedir [6]. Metodoloji; müşterinin isteklerine göre, projenin başarısızlığa uğramaması adına geliştiricilerin başlanacak yeni projede ya da mevcut projenin geliştirilmesinde izleyeceği yol haritasıdır. Bu sebeple, bir sistem geliştirme metodolojisi her proje için uygun olmayabilir. Yazılım geliştirme metodolojilerinin tarihsel gelişimi Tablo 1’de özetlenmiştir [6,7].

Tablo 1. Metodolojilerin Tarihsel Gelişimi

Yıl	Yazılım Geliştirme Metodolojileri
1970	1969'dan beri yapısal programlama
1980	1980'den itibaren yapısal sistem analizi ve tasarım yöntemi (SSADM) Bilgi İhtiyaç Analizi / Yazılım sistemleri metodolojisi
1990	“Nesne yönelimli programlama (Object Oriented Programming- OOP)” 1960'ların başlarında geliştirildi ve 1990'ların ortalarında baskın bir programlama yaklaşımı haline geldi. 1991'den beri hızlı uygulama geliştirme (Rapid Application Design-RAD) Dinamik sistem geliştirme yöntemi (DSDM), 1994'ten beri Scrum , 1995'ten beri kullanılmaktadır. 1998'den beri takım yazılımı süreci (Team software process) 1998'den beri IBM tarafından sürdürülen Rational Unified Process (RUP) Uç Programlama (Extreme programming)
2000	Çevik Birleştirilmiş Süreç (Agile Unified Process , AUP), 2005'ten bu yana Scott Ambler tarafından sürdürüldü. Disiplinli çevik teslimat (Disciplined agile delivery- DAD)
2010	Ölçekli Çevik Çerçeve (Scaled agile framework- SAFe) Büyük Ölçekli Scrum (Large-Scale Scrum -LeSS)

Bu çalışma kapsamında yazılım geliştirme metodolojileri temel olarak; Klasik ve Çevik yaklaşımlar olmak üzere iki temel başlık altında incelenmiştir.

1.2.1. Klasik (Traditional) Yaklaşımlar

1950'li yıllarda ilk yazılım geliştirme yöntemi olarak kullanılmakta olan yaklaşım, “kodla ve düzelt” diğer bir adıyla “ad hoc veya kovboy programlama”dır. Herhangi bir tasarım veya planlama aşaması olmadan ihtiyaçların kodlanması ve süreç içi veya elde edilen ürün teslimi sonrası ortaya çıkan hataların düzeltilmesi prensibine dayanmaktadır. Zaman içinde yazılım projelerinin büyüyerek bir proje yönetim metodolojisine ihtiyaç duyması, kritik sistemlerde hatalara tolerans gösterilemeyecek olması, teknolojinin ilerlemesiyle bilgisayar kapasitelerinin hızla büyüyüp, artması ve kaliteli yazılım geliştirilememesi gibi sebeplerden ötürü 1960'lı yıllarda yaşanan yazılım krizi sonucu NATO Bilim Komitesi tarafından 1968 yılında Almanya’da yeniden ele alınmıştır. 1970 yılında Dr. Winston Royce tarafından yayınlanan bir bildiriye Şelale Modeli tanımlanmıştır ve yazılım geliştirme metodolojilerinin temeli haline gelmiştir [8].

Klasik yaklaşım ile proje yönetimi; yöneticinin faaliyetlerin ilerlemesini, analiz yapmasını ve sorgulamasını sağlayacak veriler sunmaması, iş dağılım düzenini sistemin tamamlayıcı bir yapısı olarak sunmaması, proje faaliyetlerinin birbiri ile olan ilişkisini tanımlayamaması gibi yönleriyle yetersiz kalmaktadır [7,8].

1.2.2. Çevik (Agile) yaklaşımlar

1990'lı yıllarda ortaya çıkan çevik (agile) yaklaşımlar; yazılım süreçlerini kısaltmak, daha esnek ve güçlü kılmak için kullanılan aşamalı olarak (iteratif ve artımlı) yazılım geliştirmeyi esas alan bir dizi yöntem olarak adlandırılmaktadır [9]. Çevik metotlar sayesinde, piyasaya çok hızlı şekilde ürün çıkarabilme ve değişen isteklere hızlı yanıt verme amaçlanmaktadır [9]. Geç ortaya çıkan değişim isteklerinin yönetilebilmesi, kendi kendini yöneten bir ekip, müşteri ile koordineli bir şekilde çalışılması, ekip içi iletişimin artırılması vb. özellikler çevik süreçlerin genel karakteristik özellikleri arasında sayılabilmektedir. Geleneksel yazılım geliştirme yöntemlerinin, yeni teknoloji yazılım geliştirme faaliyetlerinin ihtiyaçlarını karşılamada yetersiz kalması nedeniyle, çevik yazılım geliştirme metotları daha popüler hale gelmiştir [10].

Geleneksel yazılım geliştirme yöntemlerinde analiz ve planlama, proje başlamadan önce proaktif bir şekilde yapılmaktadır. Çevik yaklaşımlar ile organizasyona değişikliklere kolay adapte olabilmeyi sağlayan daha esnek bir yapı sağlanmaktadır. Proje gereksinimlerindeki, teknolojideki ve organizasyon yapısındaki değişiklikler çevik yaklaşımlar ile daha iyi tahmin edilebilmekte ve yönetilebilmektedir [11]. Çevik yaklaşımlar, anahtar tedarikçiler ve anahtar müşteriler ile bilgi paylaşımına giderek, sanal bir ağ oluşturmalarıdır. Web destekli bu sanal ağ aracılığıyla etkin biçimde bilgi paylaşımı oluşturularak hem müşterilerin ihtiyaçları hem de değişimler çok daha çabuk ve doğru şekilde teşhis edilebilmektedir [12].

Çevik yaklaşımlarda kısa süreli geliştirme evreleri sayesinde ortaya erken ve sık sürüm çıkartıldığı için, prototip halinde dahi olsa kısa sürede çalışan bir ürün görmek mümkün hale gelmiştir. Bu durum, organizasyonlar için projede çıkacak sıkıntılara karşı, sapmalara erken müdahale şansı vermesi açısından organizasyonlara avantaj sağlamaktadır[13]. Tablo 2’de yazılım geliştirme metodolojilerinin farklı açılardan değerlendirilmesine ilişkin detaylar ve değerlendirme yaklaşımları görülmektedir [14].

2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada; Türkiye’deki yazılım organizasyonlarındaki çalışanların, çevik ve geleneksel yazılım geliştirme yöntemlerini ne düzeyde kullandıklarının ve yazılım geliştiricilerin çevik yaklaşımlarla ilgili görüşlerinin belirlenmesi amacıyla bir anket hazırlanmış ve uygulanması sağlanmıştır.

Tanımlayıcı incelemede amaç, değişkenler arası ilişkilerin tespit edilmesinden çok örneklemin ne kadarının belirli bir fikirde olduğu veya çeşitli olayların ne aralıkla olduğunun belirlenmesidir [15]. Bu çalışmada, örneklemin yaklaşımlara karşı düşüncesinin ne olduğu, hangi yaklaşımın seçilmesi durumunda katılımcıların durumu nasıl değerlendirildiği incelenmiştir.

Tablo 2. Metodolojilerin Değerlendirilmesi

Açıklama	Klasik Metodolojiler					Çevik Metodolojiler			
	Şelale	Spiral Model	V Model	Artımlı Model	Prototipleme	Geliştirme Evrimsel	Scrum	Kanban	RUP
Gereksinimlerin Belirlenmesi	Başlangıç	Belirli Sıklıkla	Başlangıç	Belirli Sıklıkla	Belirli Sıklıkla	Başlangıç	Belirli Sıklıkla	Belirli Sıklıkla	Belirli Sıklıkla
Dokümantasyon ve Eğitim Gerekliliği	Yüksek	Orta	Orta	Orta	Orta	Orta	Yüksek	Yüksek	Yüksek
Maliyet	Yüksek	Yüksek	Yüksek	Orta	Düşük	Düşük	Yüksek	Yüksek	Yüksek
Risk Duyarlılığı	Yüksek	Düşük	Orta	Düşük	Düşük	Yüksek	Düşük	Düşük	Düşük
Başarı Garantisi	Düşük	Yüksek	Düşük	Yüksek	Orta	Yüksek	Yüksek	Yüksek	Yüksek
Esneklik	Düşük	Yüksek	Düşük	Yüksek	Yüksek	Düşük	Yüksek	Yüksek	Yüksek
Uzmanlık Gerekliliği	Orta	Yüksek	Orta	Orta	Orta	Orta	Yüksek	Yüksek	Yüksek
Zaman Uzunluğu	Yüksek	Yüksek	Yüksek	Yüksek	Yüksek	Yüksek	Düşük	Orta	Orta
Bakım	Orta	Yüksek	Orta	Yüksek	Yüksek	Düşük	Yüksek	Yüksek	Yüksek
Yönetilebilirlik/Basitlik	Yüksek	Düşük	Orta	Orta	Orta	Düşük	Düşük	Düşük	Düşük
Uygulama Derecesi	Yüksek	Orta	Yüksek	Yüksek	Yüksek	Yüksek	Yüksek	Yüksek	Yüksek

Araştırmada, yazılım geliştirme yöntemleri ile ilgili 35 maddelik beşli Likert türünde bir anket hazırlanmıştır. Anket üç temel kısımdan oluşmaktadır. İlk kısım katılımcılardan demografik verilerini elde etmek amacıyla hazırlanmıştır. Bu bölüm sonunda katılımcılara organizasyonlarında kullandıkları yazılım geliştirme yöntemi sorularak, çevik yöntemleri seçenlerin ikinci kısımda bulunan çevik yazılım geliştirme odaklı soruları cevaplamaları sağlanırken, geleneksel yöntemi seçenlerin ise üçüncü kısımda yer alan geleneksel yöntemle yönelik soruları yanıtlamaları sağlanmıştır.

Anket soruları ve cevap seçenekleri araştırmacılar ve iki alan uzmanı ile birlikte hazırlanmıştır. Anket soruları beş kişilik pilot grup ile test edilmiş ve sonrasında yayına hazır hale getirilmiştir.

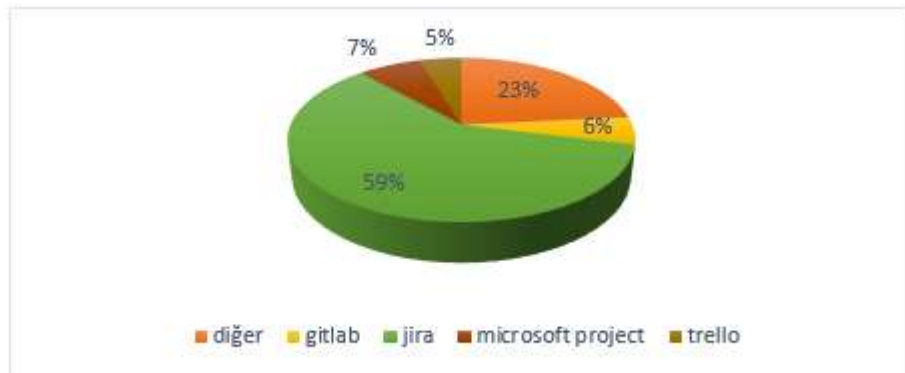
Hazırlanan anket, <https://www.onlineanketler.com/> çevrimiçi anket sağlama hizmeti kullanılarak, 2019 Kasım ayında uygulamaya alınmış ve bir ay boyunca katılımcıların erişimine sunulmuştur. Katılımcılar çeşitli sosyal ağlar, e-posta grupları faydalanılarak davet edilmişlerdir. Bilişim sektöründe yer alan birçok farklı firmadaki çalışana ulaşılmıştır. Ankete 276 kişinin katıldığı, ancak anketin tamamında yer alan soruları 193 kişi tamamladığı belirlenmiştir. Kesinlikle Katılmıyorum ile Kesinlikle Katılmıyorum aralığındaki Beşli Likert tipi soruların değerlendirilmesine ilişkin değer aralıkları aşağıdaki şekildedir; 1,00-1,80 aralığı “Kesinlikle Katılmıyorum”, 1,81-2,60 aralığı “Katılmıyorum”, 2,61-3,40 aralığı “Kararsızım”, 3,41-4,20 aralığı “Katılıyorum”, 4,21-5,00 aralığı ise “Kesinlikle Katılıyorum”.

2.1. Verilerin Analizi

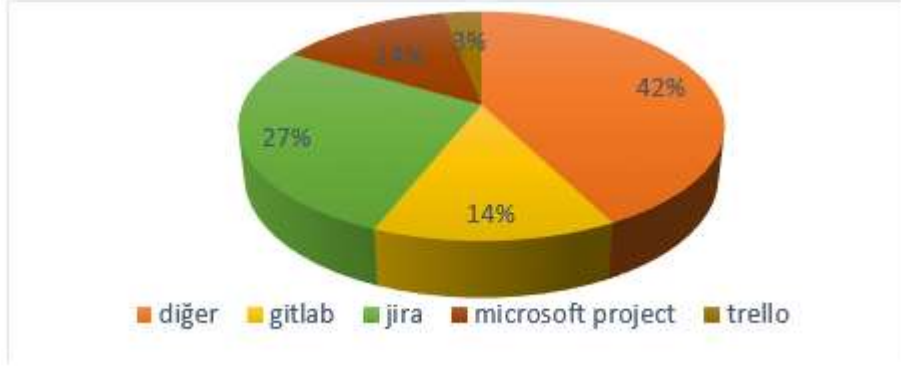
Anket çalışmasından elde edilen demografik bilgiler aşağıdaki şekilde özetlenmiştir. Yüzde değerlerin yanında parantez içerisinde yer alan değerler katılımcı sayısını ifade etmektedir.

1. Ankete katılanların %70'i anketi tamamlamıştır (193 kişi) ve ankete katılanların %72'sinin (139) erkek, %28'inin(54) kadın olduğu görülmüştür.
2. Ankete katılanların %69'u (133) lisans mezunu, %23'ü (44) yüksek lisans mezunu, %4'ü (8) yüksek okul mezunu, %3'ü (6) lise mezunu, %1'i (2) doktora mezunudur.

3. Ankete katılanların %50'si (97) Bilgi Teknolojileri alanında, %18'i (35) telekomünikasyon alanında, %14'ü (27) finans alanında, %1'i (2) sağlık alanında, %17'si (33) diğer alanlarda çalışmaktadır.
4. Ankete katılanların yazılım sürecindeki görevleri ise %45'i (87) yazılım uzmanı, %11'i (21) proje yöneticisi, %9'u (17) IT yöneticisi, %8'i (15) iş analisti, %6'sı (12) ürün sahibi, %5'i (10) test uzmanı, %5'i (10) operasyonel destek, %3'ü (6) takım üyesi ve %8'i (15) diğer görevlerde bulunmaktadır.
5. Anketi tamamlamış olan katılımcıların %26'sı (50) 2-5 yıl, %22'si (42) 1-2 yıl , %18'i (35) 0-6 ay, %15'i (29) 6-12 ay, %10'u (19) 10 yıl ve üzeri, %9'u (17) 5-10 yıl arasında bulunduğu kurumda görev yapmaktadır.
6. Katılımcıların %66'sı (127) yazılım süreç modeli olarak çevik yöntemi, %34'ü (66) klasik yaklaşımı kullanmaktadır.
7. Katılımcıların, kurumlarında çevik yaklaşım araçlarıyla proje yürütme süreleri ise; %15'i(29) 1 yıldan az, %34'ü (66) 1-2 yıl, %26'sı (50) 3-4 yıl, %22'si (42) 5-10 yıl, %3'ü (6) 10 yıldan fazla şeklinde dağılım göstermektedir.
8. Katılımcıların, kurumlarında klasik yaklaşım araçlarıyla proje yürütme süreleri ise; %11'i (21) 1 yıldan az, %8'i (15) 1-2 yıl, %9'u (17) 3-4 yıl, %18'i (35) 5-10 yıl, %54'ü (104) 10 yıldan fazla şeklinde dağılım göstermektedir.
9. Kurumlarında çevik yaklaşımı kullanan katılımcıların, çevik yaklaşım araçlarıyla tamamladığı toplam proje adetleri; %41'i (52) 31 adet ve üzeri, %25'i (32) 1-5 adet, %14'ü (18) 6-10 adet, %12'si (15) 11-15 adet ve %8'i (10) 16-30 adet olarak dağılım göstermektedir.
10. Kurumlarında klasik yaklaşımı kullanan katılımcıların, çevik yaklaşım araçlarıyla tamamladığı toplam proje adetleri; %15'i (10) 31 adet ve üzeri, %9'u (6) 1-5 adet, %47'si (31) 6-10 adet, %8'i (5) 11-15 adet, %21'i (14) 16-30 adet olarak dağılım göstermektedir.
11. Kurumlarında çevik yaklaşımı kullanan katılımcılardan %86'sı (109) süreç yönetimi için özel bir araç kullanmakta, %14'ü (18) ise kullanmamaktadır.
12. Kurumlarında klasik yaklaşımı kullanan katılımcılardan %70'i (46) süreç yönetimi için özel bir araç kullanmakta iken, %30'u (20) kullanmamaktadır.
13. Şekil 1'de görüldüğü gibi, süreç yönetimi için kullanılan özel araç olarak, kurumlarında çevik yaklaşımı kullanan katılımcılardan %59'u (75) Jira, %7'si (9) Microsoft Project, %5'i (6) Trello, %6'sı (8) Gitlab, %23'ü(29) diğer kategorisindeki araçları kullanmaktadır.
14. Şekil 2'de görüldüğü gibi, süreç yönetimi için özel araç kullanan kurumlarda klasik yaklaşımı kullanan katılımcılardan %27'si (18) Jira, %14'ü (9), Microsoft Project, %3'ü (2) Trello, %14'ü (9) Gitlab, %42'si (28) diğer kategorisindeki araçları kullanmaktadır.



Şekil 1. Çevik yazılım süreç yönetimi için kullanılan özel araçların dağılımı



Şekil 2. Klasik yazılım süreç yönetimi için kullanılan özel araçların dağılımı

3. Bulgular ve Tartışma

Bu bölümde katılımcıların değerlendirmeleri doğrultusunda araştırmadan elde edilen sonuçlar, verilen cevaplara göre ortalama ve frekans değerleri kullanılarak sunulmaktadır.

Tablo 3'te katılımcıların kurumlarında kullanılan yaklaşıma göre projelerin büyüklükleri göz önüne alarak yaptıkları başarı değerlendirmesi sonuçları görülmektedir. Çevik yaklaşımı kullanan katılımcıların sayısı 127, klasik yaklaşımı kullanan katılımcıların sayısı ise 66'dır. Katılımcı cevaplarına göre, Tablo 3'te görüldüğü gibi büyük projelerde çevik yaklaşımda başarı oranı %58 iken, klasik yaklaşımda bu değer %42'ye düşmektedir. En yüksek proje başarısızlığının %11 ile büyük projelerde klasik yöntem kullanıldığında ortaya çıktığı görülmektedir. Orta ve küçük projelerde de çevik yaklaşımın klasik yaklaşımdan daha fazla başarılı proje ortaya çıkmasını sağladığı görülmektedir. Küçük projelerde, en düşük proje başarısızlığı, %1 değeri ile çevik yöntem kullanıldığında görülmektedir.

Tablo 3. Kurumun başarı değerlendirmelerinin yaklaşımlara göre karşılaştırmalı analizi

Proje Büyüklüğü	Yaklaşım	Başarılı	Sorunlu (Tamamlanmayan, maliyet ve süreyi aşan)	
			Başarısız	Başarısız
Büyük projeler	Çevik yaklaşım	58%	%37	%5
	Klasik yaklaşım	42%	%47	%11
Orta projeler	Çevik yaklaşım	77%	%23	-
	Klasik yaklaşım	62%	%32	%6
Küçük projeler	Çevik yaklaşım	86%	%13	%1
	Klasik yaklaşım	77%	%18	%5

Gerçekleştirilen çalışmada; farklı büyüklükte projelerde çevik veya klasik yaklaşımları kullanan katılımcıların verdikleri cevaplara göre, tüm proje büyüklüklerinde çevik yaklaşımın klasik yöntemle göre daha fazla başarılı proje ortaya çıkarılmasını sağladığı belirtilmektedir. Bu sonuçların, Standish Group tarafından açıklanan Chaos Report 2015 sonuçları ile paralellik gösterdiği görülmektedir [16]. Chaos Report'ta çevik yaklaşımın, sırasıyla büyük, orta, küçük projelerdeki başarı oranları, %18, %27, %58 iken, gerçekleştirilen ankette bu değerler %58, %77, %86 olarak ölçülmüştür. Ayrıca, klasik yaklaşımın büyük, orta ve küçük projeler için başarısızlık oranları, Chaos Report'ta %42, %25, %11 iken, uygulanan anket sonuçlarında, %11, %6, %5 olarak görülmüştür. Sonuçlardaki farklar, aradan geçen yıllar içinde proje başarı değerlerinin değişmesinden kaynaklanabileceği gibi, araştırmanın Türkiye özelinde yapılmış olması nedeniyle bu bölgeye ait durumu yansıtması nedeniyle de ortaya çıkmış olabilir.

Tablo 4'te görüldüğü gibi, anket sorularına verilen cevapların yaklaşımlara göre yüzdelik sonuçları elde edilmiştir. Örneğin; kurumlarında çevik yaklaşım kullanan katılımcıların %59,1'i yaklaşımı kullanmanın, verimliliklerini arttırdığına katılmaktayken, kurumlarında klasik yaklaşım

kullanan katılımcıların %28,8'i yaklaşımı kullanmanın, verimliliklerini arttırdığına katılmaktadır. Kurumlarında klasik yaklaşım kullanan katılımcıların %33,3'ü ise yaklaşımı kullanmanın, verimliliklerini arttırdığına katılmamaktadır. Anket çalışmasından elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde sunulmaktadır.

1. Çevik yaklaşımı kullanan katılımcıların %84'ü yaklaşımı kullanmanın verimliliklerini arttırdığını düşünürken, %6'sı artırmadığını düşünmektedir. Aynı soruya klasik yaklaşımı kullanılan katılımcıların %30'unun katıldığı, %44'ünün ise katılmadığı görülmektedir.
2. Çevik yaklaşımı kullanan katılımcılar, %76 oranında üretilen sistemlerin kalitesini arttırdığını, %9 oranında ise artırmadığını düşünürken, klasik yaklaşımı kullananlarda bu oranlar sırasıyla %29 ve %45 şeklindedir.
3. Çevik yaklaşımı kullanan katılımcılar, bu yöntemin geliştirme maliyetini azalttığına %58 oranında katılırken, %12 oranında katılmamaktadır. Klasik yaklaşımda ise aynı soruya katılımcıların %29'unun katıldığı, %49'unun ise katılmadığı görülmektedir.
4. Çevik yazılım kullanan katılımcıların %76'sı, yöntemin paydaşların memnuniyetini arttırdığını belirtirken, %6'sının bu görüşe katılmadığı görülmektedir. Aynı soruya klasik yaklaşım kullanan katılımcıların %18 oranında katıldığı, %35 oranında ise katılmadığı belirlenmiştir.
5. Çevik yaklaşımı kullanan kişiler, yeterli dokümantasyon hazırlanmadığına %50 oranında katılırken, yeterli doküman hazırlandığını düşünenlerin oranı %33 olmuştur. Klasik yaklaşımda aynı soru için katılımcılardan katılanların oranı %39, katılmayanların oranı ise %41 olarak gözlemlenmiştir.
6. Çevik yaklaşımı kullanan katılımcılar, yeterli analiz yapılmadığını %32 oranında, yapıldığını ise %47 oranında belirtirken, klasik yaklaşımda analizlerin yetersizliği %39, yeterliliği ise yine yüzde %39 oranında, eşit bir dağılım göstererek vurgulanmıştır.
7. Çevik yaklaşımı kullanan kişiler, planlama için yeterli zaman ayrılmadığını %24 oranında katılırken, %58 oranında katılmamaktadırlar. Klasik yaklaşım kullanan katılımcılarda ise, planlama için yeterli zaman ayrılmadığına katılanların oranı %35 iken, katılmayanların oranı %39 olarak gözlemlenmiştir.
8. Çevik yaklaşımı kullanan katılımcılar, bu yazılım geliştirme yaklaşımının, periyodik bir disipline uymadığına %16 oranında katılırken, %68 oranında katılmamaktadır. Klasik yaklaşımı kullanan katılımcılarda ise, bu yaklaşımın periyodik bir disipline uymadığına katılanların oranı %26, katılmayanların oranı ise %53 olarak hesaplanmıştır.
9. Çevik yaklaşımı kullanan katılımcılar, bu yazılım geliştirme yaklaşımının, sadece bir arada (aynı ofis içerisinde) çalışan takımlara uygun olduğunu görüşünü %35 oranında desteklerken, %49 oranında bu görüşe katılmadıklarını belirtmişlerdir. Klasik yaklaşım kullanan katılımcılarda ise; katılanlar %35, katılmayanlar %38 olarak gözlemlenmiştir.
10. Çevik yaklaşımı kullanan katılımcılar, yazılım geliştirme yaklaşımının, sadece küçük takımlar için uygun olduğunu fikrine %32 oranında katılırken, katılmayanların oranı %57 olmuştur. Klasik yaklaşımı kullanan katılımcılarda aynı görüşe katılanlar %36, katılmayanlar ise %39 olmuştur.
11. Çevik yaklaşımı kullanan katılımcılar, yazılım geliştirme yaklaşımı ile geliştirilen projelerin düşük kalitede olduğu fikrini %7 oranında desteklerken, kaliteyi düşürmediği fikrini savunanların oranı %83 olarak ortaya çıkmıştır. Klasik yaklaşımı kullanan katılımcılar da ise %21'i kaliteyi düşürdüğü yönünde, %53'ü ise kaliteyi düşürmediği yönünde görüş bildirmiştir.
12. Çevik yaklaşımı kullanan katılımcılar, yazılım geliştirme projelerini yönetmenin zor olduğunu %21 oranında desteklerken, %64'ü bu görüşe katılmadığını beyan etmiştir. Klasik yaklaşımı kullanan katılımcılarda görüşe destek verenlerin oranı %42 iken, katılmayanların oranı %35 olmuştur.
13. Çevik yaklaşımı kullanan katılımcılar, proje büyüklüğü arttıkça, projenin başarılı olma ihtimalinin azaldığını görüşünü %30 oranında desteklerken, azalmadığını düşünenlerin oranı %50 olmuştur. Klasik yaklaşım kullanan katılımcılarda ise bu görüşü destekleyenlerin oranı %52, desteklemeyenlerin oranı ise %20 olarak gözlemlenmiştir.

Tablo 4. Anket sorularına verilen cevapların yaklaşımlara göre karşılaştırmalı analizi

İfade	Çevik yaklaşım						Klasik yaklaşım					
	Kesinlikle Katılıyorum	Katılıyorum	Kararsızım	Katılmıyorum	Kesinlikle Katılmıyorum	Ort.	Kesinlikle Katılıyorum	Katılıyorum	Kararsızım	Katılmıyorum	Kesinlikle Katılmıyorum	Ort.
	%	%	%	%	%		%	%	%	%	%	
1. Yaklaşımı kullanmanın, verimliliğimizi arttırdığını düşünüyorum.	24,4	59,1	10,2	3,9	2,4	3,99	1,5	28,8	25,8	33,3	10,6	2,77
2. Üretilen sistemlerin kalitesini arttırdığını düşünüyorum.	26	49,6	15,7	6,3	2,4	3,91	4,5	24,2	25,8	34,8	10,6	2,77
3. Geliştirme maliyetini azalttığını düşünüyorum.	14,2	44,1	29,9	7,9	3,9	3,57	3	25,8	22,7	39,4	9,1	2,74
4. Paydaşların memnuniyetini arttırdığını düşünüyorum.	21,3	55,1	18,1	3,9	1,6	3,91	1,5	16,7	47	27,3	7,6	2,77
5. Yeterli dokümantasyon hazırlanmadığını düşünüyorum.	10,2	39,4	17,3	26	7,1	3,20	18,2	21,2	19,7	34,8	6,1	3,11
6. Yeterli analiz yapılmadığını düşünüyorum.	8,7	22,8	21,3	35,4	11,8	2,81	13,6	25,8	21,2	33,3	6,1	3,08
7. Planlama için yeterli zaman ayrılmadığını düşünüyorum.	4,7	18,9	18,1	43,3	15	2,55	10,6	24,2	25,8	34,8	4,5	3,02
8. Yazılım geliştirme yaklaşımının, periyodik bir disipline uymadığını düşünüyorum.	3,9	11,8	16,5	44,1	23,6	2,28	6,1	19,7	21,2	37,9	15,2	2,64
9. Yazılım geliştirme yaklaşımının, sadece bir arada (aynı ofis içerisinde) çalışan takımlara uygun olduğunu düşünüyorum.	11	23,6	16,5	33,9	15	2,82	4,5	30,3	27,3	31,8	6,1	2,95
10. Yazılım geliştirme yaklaşımının, sadece küçük takımlar için uygun olduğunu düşünüyorum.	5,5	26,8	11	40,9	15,7	2,65	3	33,3	24,2	30,3	9,1	2,91
11. Yazılım geliştirme yaklaşımı ile geliştirilen projelerin düşük kalitede olduğunu düşünüyorum.	0,8	6,3	9,4	55,1	28,3	1,96	3	18,2	25,8	43,9	9,1	2,62
12. Yazılım geliştirme projelerini yönetmenin zor olduğunu düşünüyorum.	3,9	17,3	15	46,5	17,3	2,44	4,5	37,9	22,7	33,3	1,5	3,11
13. Proje büyüklüğü arttıkça, projenin başarılı olma ihtimalinin azaldığını düşünüyorum.	8,7	21,3	20,5	37,8	11,8	2,77	9,1	42,4	28,8	18,2	1,5	3,39

Katılımcılardan alınan cevapların ortalama değerlerinin karşılık geldiği ifadeler Tablo 5'te görülmektedir. Bu sonuçlara göre, Çevik yaklaşım kullanan katılımcıların bu yaklaşımın verimliliği ve kaliteyi arttırdığına katıldıkları, klasik yaklaşım kullanan katılımcıların ise kararsızım görüşünde oldukları görülmektedir. Maliyetlerin azaltılması ile ilgili üçüncü soruda ise, çevik yaklaşım kullanan katılımcılar bu yöntemin geliştirme maliyetlerini azalttığına katılırken, klasik yaklaşım kullanan katılımcıların kararsız olduğu görülmektedir. Yeterli doküman hazırlandığı ve analiz yapıldığı konusunda ise her iki katılımcı grubunun da kararsız olduğu görülmektedir. Kullanılan yöntemle proje yönetmenin zor olduğu konusunda ise; çevik yaklaşım kullanan katılımcılar katılmıyorum görüşünde iken, klasik yaklaşım kullananların kararsız olduğu görülmektedir. Kullanılan yazılım geliştirme yönteminin sadece aynı ofis içerisindeki çalışan takımlara ve küçük takımlara uygun olduğu konusunda ise, her iki katılımcı grubunun kararsız görüşünde olduğu görülmektedir. Çevik yazılım geliştirme yaklaşımı kullanan katılımcı grubu, projelerin düşük kalitede olduğuna katılmazken, klasik yaklaşım

kullanan katılımcı grubunun kararsız olduğu görülmektedir. Proje büyüklüğü arttıkça başarılı olma ihtimalinin azaldığı konusunda ise her iki katılımcı grubunun da kararsız olduğu görülmektedir.

Tablo 5. Anket sorularına verilen cevapların yaklaşımlara göre ortalaması

İfade	Çevik yaklaşım (ort.)	Klasik yaklaşım (ort.)
1. Yaklaşımı kullanmanın, verimliliğimizi arttırdığını düşünüyorum.	3,99 Katılıyorum	2,77 Kararsızım
2. Üretilen sistemlerin kalitesini arttırdığını düşünüyorum.	3,91 Katılıyorum	2,77 Kararsızım
3. Geliştirme maliyetini azalttığını düşünüyorum.	3,57 Katılıyorum	2,74 Kararsızım
4. Paydaşların memnuniyetini arttırdığını düşünüyorum.	3,91 Katılıyorum	2,77 Kararsızım
5. Yeterli dokümantasyon hazırlamadığını düşünüyorum.	3,2 Kararsızım	3,11 Kararsızım
6. Yeterli analiz yapmadığını düşünüyorum.	2,81 Kararsızım	3,08 Kararsızım
7. Planlama için yeterli zaman ayrılmadığını düşünüyorum.	2,55 Katılmıyorum	3,02 Kararsızım
8. Yazılım geliştirme yaklaşımının, periyodik bir disipline uymadığını düşünüyorum.	2,28 Katılmıyorum	2,64 Kararsızım
9. Yazılım geliştirme yaklaşımının, sadece bir arada (aynı ofis içerisinde) çalışan takımlara uygun olduğunu düşünüyorum.	2,82 Kararsızım	2,95 Kararsızım
10. Yazılım geliştirme yaklaşımının, sadece küçük takımlar için uygun olduğunu düşünüyorum.	2,65 Kararsızım	2,91 Kararsızım
11. Yazılım geliştirme yaklaşımı ile geliştirilen projelerin düşük kalitede olduğunu düşünüyorum.	1,96 Katılmıyorum	2,62 Kararsızım
12. Yazılım geliştirme projelerini yönetmenin zor olduğunu düşünüyorum.	2,44 Katılmıyorum	3,11 Kararsızım
13. Proje büyüklüğü arttıkça, projenin başarılı olma ihtimalinin azaldığını düşünüyorum.	2,77 Kararsızım	3,39 Kararsızım

4. Sonuç ve Öneriler

Bu araştırmada kapsamında, yazılım geliştirme sürecini birçok yönden önemli ölçüde geliştiren geleneksel yaklaşımla, dinamik iş ihtiyaçları ile başa çıkmayı kolaylaştırıcı çevik yaklaşımlar incelenmiştir. Her iki yaklaşımın, farklı kriterler üzerindeki etkinliklerinin değerlendirilmesi için, 35 maddelik beşli Likert türünde bir anket hazırlanmış, hazırlanan anket, yazılım sektöründe aktif rol alan 276 kişi ile paylaşılmıştır. Anketi tamamlayan 193 aktif kullanıcının görüşleri doğrultusunda, elde edilen bulgular değerlendirilmiştir.

Araştırmadan elde edilen bulgulara ilişkin olarak, küçük, orta ve büyük projelerde çevik yaklaşımın klasik yaklaşımdan daha başarılı bir proje yönetimi sağladığı katılımcı görüşleri ile de ortaya konmuştur. Klasik metodolojilere ilişkin olarak, metodolojiyi kullanan katılımcıların aktarmış oldukları bilgiler doğrultusunda, yazılım geliştirme sürecinde, belirsizlikler ve sürecin sonucuna ulaşmasında çeşitli güçlükler ortaya koyduğu yorumuna varılmıştır. Bu çalışmadaki katılımcı görüşlerine göre; çevik yaklaşım kullanan katılımcılar bu yaklaşımın verimliliği ve kaliteyi artırdığı görüşünderken, klasik yaklaşım kullanan katılımcılar bu konularda kararsızdır. Yeterli doküman hazırlandığı ve analiz yapıldığı konusunda ise her iki katılımcı grubunun da kararsız olduğu görülmektedir. Bu durum, belgeleme ve analiz konusunda daha fazla hassasiyet gösterilmesi gerektiğini de göstermektedir.

Özellikle başarısız projelerdeki en büyük problemlerden birisi yazılım projelerindeki yetersiz analiz ve belgeleme olduğu için, yöntemlerin doğru ele alınması açısından bu sorunun çözülmesi önem arz etmektedir [17]. Kullanılan yöntemle proje yönetiminin zor olduğu konusunda ise; çevik yaklaşım kullanan katılımcılar çoğunlukla katılmıyorum görüşünde iken, klasik yaklaşım kullananların kararsız olduğu görülmektedir. Bu durum Çevik yöntem kullanan katılımcıların, çevik yöntemin gücünü doğru kullanabildiklerini ve proje yönetimini daha kolay yapabildiklerini göstermektedir.

Değişen dünyaya ayak uydurmak adına, klasik yöntemlerden çevik yöntemlere doğru olan geçiş döneminde, dönüşümü gerçekleştirmeyen şirketlerin veya konunun özelinde yazılım birimlerinin zamanla süreçlerinde kayıplar yaşayacağı görülmektedir.

Türkiye'deki organizasyonların yazılım geliştirme konusunda uluslararası düzeyde rekabet edebilmesi için kullandıkları yaklaşımlara proje başarısına etki eden faktörleri de ekleyerek projeleri hayata geçirmesi, sonuçların adapte edilebilir olması katma değeri yüksek sonuçlar doğurabilecektir. İlerideki çalışmalarda, yapılan ankete proje başarısına etki eden faktörlerin kategorize edilerek eklenmesi planlanmaktadır. Sonuçların, Türkiye pazarındaki birçok organizasyonun yazılım süreçlerinin iyileştirilmesinde alacağı kararlara yardımcı olması beklenmektedir.

Yazarların Katkısı

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamıştır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar

- [1] Williams L. 2010. Agile software development methodologies and practices. *Advances in Computers*, 80: 1-44.
- [2] Flora H.K., Chande S.V. 2014. A systematic study on agile software development methodologies and practices. *International Journal of Computer Science and Information Technologies*, 5 (3): 3626-3637.
- [3] El Bajta M., Idri A., Ros J.N., Fernández-Alemán J.L., de Gea J.M.C., García F., Toval A. 2018. Software project management approaches for global software development: a systematic mapping study. *Tsinghua Science and Technology*, 23 (6): 690-714.
- [4] Ruhe G., Wohlin C. 2014. *Software project management in a changing World*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1-477.
- [5] Erdem O.A., Younis A. 2014. Yazılım Projelerinin Geliştirme Sürecinde Yönetim. *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, 7 (1): 1-8.
- [6] Britton C., Doake J. 1993. *Software Systems Development: A Gentle Introduction*. McGraw-Hill, 1-214.
- [7] Sommerville I. 2011. *Software Engineering*. 9th Edition, Pearson, 1-773.
- [8] Gencer C., Kayacan A. 2017. Yazılım Proje Yönetimi: Şelale Modeli ve Çevik Yöntemlerin Karşılaştırılması. *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, 10 (3): 335-352.
- [9] Boehm B., Turner R. 2003. Using risk to balance agile and plan-driven methods. *Computer*, 36 (6): 57-66.
- [10] Karlidere T., Kalıpsız O. 2003. Yazılım Mühendisliği Projelerinde Çevik Yaklaşımların Yeri. *Ulusal Yazılım Mühendisliği Sempozyumu*, 23-25 Ekim 2003, İzmir.
- [11] Marchesi M., Mannaro K., Uras S., Locci M. 2007. Distributed Scrum in research project management. In: *International Conference on Extreme Programming and Agile Processes in Software Engineering*, Springer, Berlin, Heidelberg, 240-244.

- [12] Erol A.H. 2010. A heuristic solution algorithm for the quadratic assignment problems. Master thesis, Marmara University, Institute for Graduate Studies in Pure And Applied Science, İstanbul.
- [13] Çamoğlu K., Akbayır D., Yücalar F., Bayraklı S. 2010. Bir Çevik Yazılım Geliştirme Sürecinin Uyarlanması ve Uygulanması. Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi, 4 (3): 57-67.
- [14] Dhani H. 2016. Comparative Study and Analysis of Software Process Models on Various Merits. International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering, 6 (9).
- [15] Büyüköztürk Ş., Kılıç-Çakmak E., Akgün Ö., Karadeniz Ş., Demirel F. 2008. Bilimsel araştırma yöntemleri. Pegem Yayınları, Ankara.
- [16] International S.G. 2015. The chaos report. United States of America. https://www.standishgroup.com/sample_research_files/CHAOSReport2015-Final.pdf (Erişim tarihi: 02.01.2020).
- [17] Kappelman L.A., McKeeman R., Zhang L. 2006. Early warning signs of IT project failure: The dominant dozen. Information Systems Management, 23 (4): 31-36.

Araştırma Makalesi / Research Article

CNC Takım Tezgahlarında Ayna ve Punta Basıncının Talaşlı İmalat Parametrelerine Etkisinin YüzeY Yanıt Yöntemiyle Değerlendirilmesi

Hüseyin GÜRBÜZ^{1*}, Şehmus BADAY², Fikret SÖNMEZ³

¹Batman Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Batman

²Batman Üniversitesi, Makine ve İmalat Mühendisliği Bölümü, Batman

³Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölüm, Manisa

(ORCID: 0000-0003-1391-172X) (ORCID: 0000-0003-4208-8779) (ORCID: 0000-0003-1718-892X)

Öz

Bu çalışmada silindirik parçaların CNC torna tezgâhına bağlanmasında kullanılan ayna ve punta bağlama mekanizmalarının sıkma basıncı değişimini incelenmiştir. Bu amaçla, sabit kesme parametrelerinde üç farklı ayna ve punta basıncı ile iş parçası yüzeyinden talaş kaldırılmıştır. Bu işlemin ardından titreşim genliği incelenmiş ve yüzey pürüzlülük değerleri ölçülmüştür. Yapılan ölçümlerin değerlendirilmesinde yüzey yanıt yöntemi kullanılmıştır. Bu istatistiksel yöntem ile yüzey pürüzlülüğü değerlendirilmiş, deney setinin en etkin parametresinin ayna basıncı olduğu görülmüştür. Ayrıca model ile deney sonuçlarının tahmin yeteneği araştırılmıştır. Tüm yüzey pürüzlülük değerleri sırası ile sisteme girilmeden tahmin edilmiş ve deneysel sonuçların tahmin sonuçları ile ortalama %94,2 oranında benzeştiği görülmüştür. Titreşim genliğinin araştırılması için de yüzey yanıt yöntemi ile model oluşturulmuştur. Bununla birlikte titreşim genliği bu yöntem ile çözümlenememiştir.

Anahtar kelimeler: Ayna ve Punta Basıncı, Yüzey Pürüzlülük, Titreşim, Yüzey Yanıt Yöntemi, CNC Torna.

Evaluation of the Effect of Chuck and Tailstock Pressure on Machining Parameters in CNC Lathe by Response Surface Method

Abstract

In this study, the clamping pressure change of chuck and tailstock clamping mechanisms used to connect cylindrical workpiece to the CNC lathe was investigated. For this purpose, the chip was removed from the workpiece surface with three different chuck and tailstock pressure in constant cutting parameters. After this process, the vibration amplitude was examined and the surface roughness values were measured. Response Surface Method was used to evaluate the measurements. With this statistical method, surface roughness was evaluated and it was found that the most effective parameter of the experimental set was the chuck pressure. In addition, the prediction ability of experimental results was investigated with the model. All surface roughness values were estimated without entering the system, respectively, and it was seen that the experimental results were similar to the estimated results with an average of 94.2%. In the investigation of vibration amplitude, a model was created by the response surface method. However, the vibration amplitude could not be resolved by this method.

Keywords: Chuck and Tailstock Pressure, Surface Roughness, Vibration, Response Surface Method, CNC lathe.

1. Giriş

Talaşlı imalat işlemi, makine parçalarının üretilmesinde kullanılan temel üretim metotlarından biridir. Talaşlı imalatın yüksek standartlarda gerçekleştirilmesi, iş parçalarının uygun bir ayna ve punta basıncıyla bağlanmasıyla mümkün olabilir. Çünkü iş parçasının tezgâha düzgün bağlanması yüzey pürüzlülüğünü iyileştirmekte, titreşimleri azaltmakta ve talaşlı imalat verimini arttırmaktadır. Günümüzde geleneksel ve geleneksel olmayan bir imalat yöntemi ile üretilmek istenilen iş parçalarından gereksinim duyulan ihtiyaçların en başında düşük yüzey pürüzlülük değerleri yer almaktadır. Talaş

*Sorumlu yazar: huseyin.gurbuz@batman.edu.tr

Geliş Tarihi: 14.08.2020, Kabul Tarihi: 04.01.2021

kaldırma işleminin amacı, sadece iş parçalarına şekil vermek değil aynı zamanda geometri, boyut bakımından da belirli bir tolerans ve doğruluk derecesine göre ideal bir yüzey kalitesinde imal etmektir [1-2]. Bir iş parçasının yüzey kalitesinin yüksek olması daha uzun ömürlü çalışmasına katkı sağlayarak iş parçası imalatına ayrılmış olan üretim maliyetlerinin azaltılmasına yardımcı olacaktır. Aynı zamanda kaliteli işlenmiş bir yüzey; yorulma ömrünü, korozyon ve aşınma direncini önemli derecede iyileştirecektir. Fakat işleme şartları veya imalat sürecindeki diğer problemlerden kaynaklanan yüzey düzensizlikleri istenmeyen yüzey pürüzlülüklerine sebep olmaktadır. Bu problemlerden biri de titreşim (tırlama) olayıdır. Titreşim olayı, kesici takım iş parçasını işlerken oluşan anlık değişimlerden dolayı oluşur [3-5]. İş parçaları işlenirken istenmeyen yüksek yüzey pürüzlülük değerlerinin ve titreşimlerin giderilmesinin ilk adımı iş parçalarının tezgâha doğru bir şekilde bağlanmasıyla sağlanmaktadır. Bir iş parçasının ideal punta ve ayna basıncında bağlanması, iş parçası işlenirken oluşacak salgıları, esnemeyi ve titreşim olayını azaltarak iş parçalarından istenen ideal yüzey kalitesinin elde edilmesine yardımcı olacaktır.

Literatür çalışması doğrultusunda, geleneksel ve geleneksel olmayan işleme yöntemleriyle işlenmiş olan iş parçalarının yüzey pürüzlülüğü, titreşim, kesme kuvvetleri, talaş kaldırma oranı gibi çıkış parametrelerinin değerlendirilmesinde Yüzey Yanıt Yöntemi (YYY) kullanılarak yapılan çalışmalar aşağıda özetlenmiştir [6-17]. Chabbi ve ark. [6] Polyoxymethylene polimer iş parçası malzemesinin sementit karbür uçlar ile tornalanmasında optimum kesme şartlarına göre minimum yüzey pürüzlülüğü değerlerini optimize etmek için YYY kullanmışlardır. Ayrıca işleme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerinde istatistiksel olarak anlamlılığı için de ANOVA (Varyans analizi) kullanmışlardır. Yüzey pürüzlülüğü üzerinde en önemli parametrenin ilerleme olduğunu daha sonra kesme derinliğinin etkili olduğunu ancak kesme hızının bir etkisinin olmadığını belirtmişlerdir. Yadav [7] çalışmasında AISI 1040 çeliğinin tornalanmasında kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliği gibi parametrelere bağlı olarak ortalama yüzey pürüzlülüğü değerlerinin optimizasyonunda, Taguchi tabanlı YYY'li hibrit bir model oluşturmuştur. Oluşturmuş olduğu hibrit modelle elde edilen optimum değerler ile Taguchi metodu ile elde edilen değerleri karşılaştırmıştır. Yazar, geliştirmiş olduğu hibrit modelin daha iyi ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri verdiği sonucuna varmıştır. Selaimia ve ark. [8] X2CrNi18-9 paslanmaz çeliğin düzlem yüzey frezelenmesinde yüzey pürüzlülüğü, kesme kuvvetleri, kesme gücü ve talaş kaldırma oranını YYY ile optimize ederek modellemişlerdir. Çalışmalarında deney tasarımı için L27 full faktöriyel ve kesme parametrelerinin etkilerini belirlemek için ANOVA kullanmışlardır. Yaptıkları çalışma neticesinde yüzey pürüzlülüğü üzerinde en etkili parametrenin ilerleme, kesme kuvveti ve gücün üzerinde en etkili parametrenin kesme derinliği, talaş kaldırma oranı üzerinde ise hem ilerleme hem de kesme derinliğinin etkili olduğunu belirtmişlerdir. Mia [9] çalışmasında AISI 1060 çeliğinin frezelenmesinde kesme hızı, ilerleme ve kesme şartlarına bağlı olarak yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetleri değerlerini YYY ile optimize etmiştir. Deney tasarımı L27 full faktöriyel tasarımı ve giriş parametrelerin etkilerini incelemek için ANOVA kullanmıştır. Deney sonuçları kriyojenik soğutmanın kuru ve geleneksel soğutma yöntemlerine göre daha iyi sonuçlar verdiğini göstermiştir. Mia [10] bir diğer çalışmasında AISI 4140 çeliğinin frezelenmesinde YYY ve Taguchi yöntemi kullanarak ortalama yüzey pürüzlülüğü değerlerini optimize etmiştir. Yüzey pürüzlülüğü üzerinde kesme hızı, ilerleme ve soğutma akış hızının etkisinin tespit etmek için full faktöriyel tasarımı kullanmıştır. Optimum parametreleri: İlerleme 46 mm/dev, kesme hızı 32 m/dak ve akışkanın akış hızı ise 150 mL/sa. olarak elde etmiştir. Ananthakumar ve ark. [11] Monel 400 süper alaşım malzemesinin geleneksel olmayan plazma ark kesim yöntemi ile işlenmesinde yüzey pürüzlülüğü değerlerini optimize etmek için YYY kullanmışlardır. Deneyler sonucunda meydana gelen yüzey pürüzlülüğü değerlerinin matematiksel olarak ifade edilmesi için Box-Behnken tasarım yaklaşımını kullanmışlardır. Bu doğrultuda ikinci dereceden (kuadratic) matematiksel modeller elde etmişlerdir. Sonuç olarak optimum şartları 2400 m/dak kesme hızında, 3 bar gaz basıncında, 45 A ark akımında ve iş parçasından 2 mm uzaklıkta durma mesafesinde bulmuşlardır. Parida ve Maity [12] Monel 400 süper alaşımının sıcak (hot) tornalanması sonucu oluşan yüzey pürüzlülüğü değerlerini ve takım aşınmasını YYY ile optimize etmişlerdir. Kesme hızı, ilerleme, kesme derinliği ve iş parçası sıcaklığı parametrelerinin etkinliğini araştırmak için de ANOVA analizi yapmışlardır. Sonuç olarak YYY ile elde etmiş oldukları ikinci dereceden denklemlerin deney sonuçlarını tahmin etmede iyi sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir. Demir ve ark. [13] AISI 1050 çeliğinin delinmesinde elde edilen tepki kuvvetlerini YYY ile analiz etmişlerdir. Bu doğrultuda matematiksel modellerin elde edilmesinde üç seviyeli ve üç faktörlü Box-Behnken tasarım yöntemini kullanmışlardır. Birinci ve ikinci dereceden olmak üzere iki adet

matematiksel model oluşturmuşlardır. İşleme parametrelerinin etkinliğini de ANOVA testi yaparak ortaya koymuşlardır. İlerleme miktarının deneyler üzerinde en etkili parametre olduğunu ortaya koymuşlardır. Singh ve ark. [14] AISI 4340 çeliğinin tornalanması sonucu oluşan yüzey pürüzlülüğü değerlerini optimize etmek için YYY'ni tercih etmişlerdir. Ayrıca işleme parametrelerinin etkinliğini araştırmak için ANOVA testi yapmışlardır. Sonuç olarak çalışmalarında optimum yüzey pürüzlülüğü değerlerini 250 m/dak kesme hızı, 0,20 mm/dev ilerleme ve 0,5 mm kesme derinliğinde elde ettiklerini belirtmişlerdir. Manikanda ve ark. [15] EN31 çeliğinin tornalanmasında elde edilen yüzey pürüzlülüğü değerlerini optimize etmek için YYY uygulamışlardır. Ayrıca yüzey pürüzlülüğü değerleri tahmini için de matematiksel model oluşturmuşlardır. Yazarlar, yüzey pürüzlülüğü üzerinde en etkili parametrenin kesme hızı olduğu sonucuna varmışlardır. Aslan [16] AISI 5140 çeliğinin tornalamasında titreşim, kesme kuvvetleri ve takım aşınması üzerinde işleme parametrelerinin etkisini belirlemek için YYY ve ANOVA kullanmıştır. ANOVA sonuçları; ölçülen titreşim (% 81,3), kesme kuvvetleri (% 92,5) ve takım aşınması (% 91,4) değerlerinin güvenilir bir aralıkta olduğunu göstermiştir. Yazar, aynı zamanda YYY ile yaptığı optimizasyonda yüksek başarı oranı (% 87,5) elde ettiğini ifade etmiştir. Prasad ve Babu [17] tornalama işlemlerinde takım aşınması ve titreşim arasındaki ilişkiyi ANOVA ve YYY ile araştırmışlardır. Numerik ve deneysel sonuçlara bağlı olarak yapmış oldukları matematiksel modeller ile deney sonuçlarını sırasıyla 98,6 ve 97,8 yüksek R² değerleri elde etmişlerdir. YYY ile tahmin edilen sonuçlar ile deney sonuçları yüksek oranda tutarlı olduğunu ifade etmişlerdir.

Literatür incelenmesi sonucunda, çeşitli malzemelerin geleneksel ve geleneksel olmayan işleme sonucu meydana gelen yüzey pürüzlülüğü, titreşim kesme kuvvetleri, talaş kaldırma oranı gibi çıkış parametrelerinin üzerinde işleme parametrelerinin etkilerini belirlemek için analizlere ve deney tasarım metodlarına dayanan çeşitli deneysel ve istatistiksel çalışmalar yapılmıştır [6-17]. Fakat CNC tornalama işleminde ayna ve punta basıncının titreşim ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisini belirlemek için YYY ile optimizasyon yapan her hangi bir deneysel ve istatistiksel çalışma yapılmadığı tespit edilmiştir. Yapılan bu deneysel ve istatistiksel çalışmayla, CNC torna tezgâhlarında iş parçası malzemesinin uygun bir şekilde punta ve ayna basınçta bağlanmasını sağlamak ve bu sayede iş parçasında oluşabilecek yüksek değerlerdeki titreşim ve yüzey pürüzlülük değerleri gibi olumsuz etkilerin giderilmesi amaçlanmıştır.

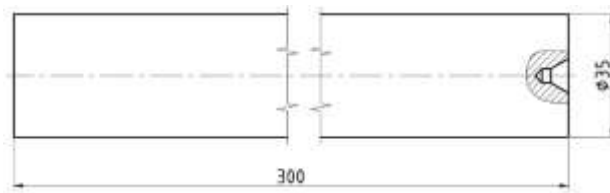
2. Materyal ve Metot

Bu deneysel çalışmada, makine parçalarının üretiminde sıklıkla kullanılan AISI 304 paslanmaz çelik malzeme kullanılmıştır. Bu malzeme içerisinde bulundurduğu yüksek miktarda krom oranından dolayı iyi bir korozyon direncine sahiptir. Ayrıca bu malzeme kaynak yapılabilirliği ile öne çıkmaktadır. Malzemeye ait kimyasal bileşim Tablo 1'de görülmektedir.

Tablo 1. AISI 304 malzemeye ait kimyasal bileşimi

% Cr	% Ni	% Mn	% Si	% C	% Fe
17,50-19,50	8,00-10,50	1,45-2,0	0,39-1,00	0,024-0,070	Kalan

İş parçalarının yüzeyindeki dış olumsuzlukları gidermek için 36 mm çapta temin edilen AISI 304 iş parçaları Şekil 1'de görüldüğü gibi 35 mm çapa düşürülmüştür. Daha sonra her bir iş parçası eşit deney şartlarında işlenebilmesi için 300 mm boy ölçülerinde hazırlanmıştır. İş parçaları ilk olarak alın yüzeyinden tornalanmış sonrasında ise punta delikleri delinerek boyuna tornalama işlemi için hazırlanmıştır.



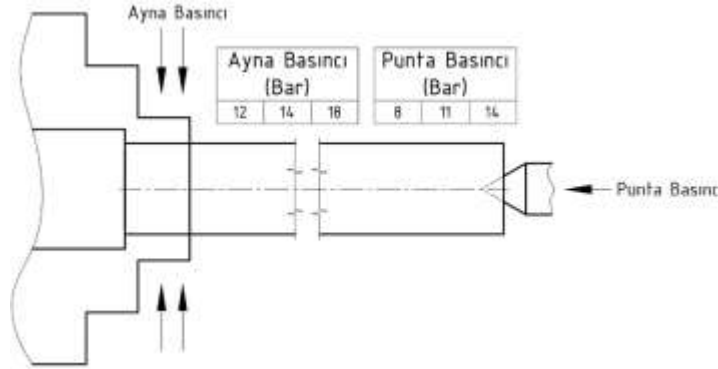
Şekil 1. AISI 304 İş parçası

CNC torna tezgâhında, kesme parametrelerine bağlı olarak yapılacak işleme deneylerinde kullanılacak olan kesici uç ve takım tutucusu Şekil 2’de verilmiştir. Kesici uç seçiminde çift taraflı, pozitif talaş açısına sahip WNMG 080408-OMM form yapısına sahip PVD kaplamalı kesici uç seçilmiştir. Bu kesici uç, orta kaba talaş kaldırmaya uygun başta karbon çelikleri olmak üzere paslanmaz çelikler içinde kullanılan çok amaçlı bir kesicidir. Seçilen bu kesici uç, geometrik yapısına uygun olan PWLNR 2525M08 takım tutucu ile birlikte kullanılmıştır.



Şekil 2. (a) WNMG kesici uç, (b) PWLNR 2525M08 takım tutucu

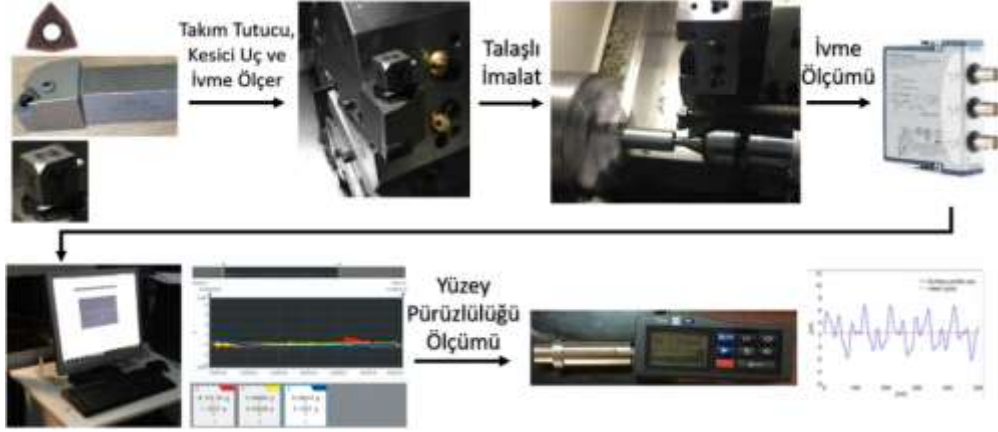
İşleme deneyleri TAKISAWA EX-310 marka CNC torna tezgâhında gerçekleştirilmiştir. İşleme deneylerinde kullanılan işleme parametrelerinin seçiminde kesici uç katalog değerleri ve ISO 3685 standartları göz önüne alınarak deney seti oluşturulmuştur. Deneylerde kesme hızı 250 m/dak, ilerleme 2 mm/dev ve kesme derinliği 2 mm olarak belirlenmiştir. Gerçekleştirilen tüm işleme deneylerinde bu işleme parametreleri sabit tutulmuştur. Yüzey pürüzlülüğü ve titreşim üzerinde etkisi olduğu düşünülen ayna basıncı ve punta basıncı ise değişken parametreler olarak belirlenmiştir. Deneylerde kullanılan parametreler ve bu parametrelerin sayısal değerleri Şekil 3’te görülmektedir.



Şekil 3. Deneylerde kullanılan parametreler

İşleme deneyleri esnasında ölçülen titreşim değerleri ve işleme deneyleri sonucunda iş parçasının yüzeyinden ölçülen yüzey pürüzlülük ölçümlerini Şekil 4’te uygulanan sistematik yaklaşıma göre elde edilmiştir. İş parçası için değişken parametreler olan ayna ve punta basınç değerleri tezgâh üzerinde ayarlandıktan sonra talaşlı imalat işlemleri yapılmıştır. İşleme deneyleri esnasında takım tutucuya bağlanan X,Y ve Z koordinatlarında ölçüm yapabilen NI-9230 ivmeölçer ölçüm cihazı ile veriler bilgisayar ortamına aktarılmıştır. İşleme deneyleri sonucunda iş parçasının yüzeyinde oluşan yüzey pürüzlülüğü taşınabilir TR 200 ölçüm cihazı kullanılarak ölçülmüştür. Yüzey pürüzlülük değerlerinin tespitinde iş parçası yüzeyinden beş ayrı ölçüm bölgesi belirlenmiştir. Her ölçüm bölgesinden 5 mm ölçme boyu ile ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri tespit edilmiştir. Tespit edilen 5 yüzey pürüzlülüğü değerinin aritmetik ortalaması alınarak iş parçasına ait ortalama yüzey pürüzlülüğü belirlenmiştir.

AISI 304 çeliğinin tornalanması sonucunda elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü ve titreşim genliği değerleri Tablo 2’de verilmiştir.



Şekil 4. Deneilerin uygulama sistematığı

Tablo 2. Deney Sonuçları

Ayna Basıncı (Bar)	Punta Basıncı (Bar)	Yüze Pürüzlülüğü, Ra (μm)	Titreşim Genliği (g)
14	11	1,22433	3,66
14	14	1,199	3,85
14	17	1,31667	2,72
16	11	1,365	3,48
16	14	1,48333	3,75
16	17	1,37233	5,69
18	11	1,20067	2,16
18	14	1,274	2,37
18	17	1,23667	1,6

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Deney Sonuçlarının YYY ile Değerlendirilmesi

İşleme esnasında elde edilen titreşim genliği ve işleme sonucunda elde edilen yüze pürüzlülüğü değerlerinin değerlendirilmesinde YYY kullanılmıştır. YYY deney sisteminde yanıtın, farklı parametrelere ait değerlerin değişimini optimize etmek için kullanılan bir yöntemdir [6,7,9]. Bu yöntem, sistemi modellerken matematiksel formüllerden yararlanır. Tablo 3'te görüldüğü gibi kullanılan matematiksel denklemler temel olarak lineer ve ikinci derece (kuadratik) denklemlerden oluşur.

Tablo 3. YYY ile kullanılan denklemler

Lineer	İkinci derece-Linear (kuadratik)	İkinci derece-Nonlinear
$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3$	$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_1 X_2$	$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_{11} X_1^2 + \beta_{22} X_2^2 + \beta_{12} X_1 X_2$

İşleme deneyleri sonucunda elde edilen deneysel sonuçlar YYY yöntemi kullanılarak değerlendirilmiştir. Yapılan değerlendirmede yüze pürüzlülük değerleri ve titreşim genliği değerleri için farklı YYY modelleri oluşturulmuştur. YYY modellerinde Tablo 4'te görülen parametreler giriş parametresi olarak belirlenmiştir.

Tablo 4. Kullanılan parametreler ve seviyeler

Sembol	Parametre	Birim	Seviye -1	Seviye 0	Seviye 1
a	Ayna Basıncı	Bar	14	16	18
p	Punta Basıncı	Bar	11	14	17

Oluşturulan modelde Merkezi Kompozit (Central Composite) tasarım kullanılmıştır. Tablo 4'te verilen değerler kullanılarak 14 deneyden oluşan bir veri seti oluşturulmuştur. Bu veri setinde YYY de kilit rol alan alfa değeri 1 alınmıştır (Face Centered). Oluşturulan model tarafından üretilen deney seti Tablo 5'te görülmektedir.

Tablo 5. Veri seti

Deney No	Blok No	Ayna Basıncı Kodlanmış	Ayna Basıncı (Bar)	Punta Basıncı Kodlanmış	Punta Basıncı (Bar)
1	1	-1	14	-1	11
2	1	1	18	-1	11
3	1	-1	14	1	17
4	1	1	18	1	17
5	1	0	16	0	14
6	1	0	16	0	14
7	1	0	16	0	14
8	2	-1	14	0	14
9	2	1	18	0	14
10	2	0	16	-1	11
11	2	0	16	1	17
12	2	0	16	0	14
13	2	0	16	0	14
14	2	0	16	0	14

3.2. Yüzey Pürüzlülüğünün Analizi

Yüzey pürüzlülüğü değerinin değerlendirilmesi için oluşturulan modelde R^2 değeri %96,8 değerine ulaşmıştır. Bu yüksek R^2 değeri modelin uygun olabileceğini göstermektedir. Modelin ANOVA analizi (Tablo 6) ile modelde kullanılan değişkenlerin etkinlik düzeyleri tespit edilebilir.

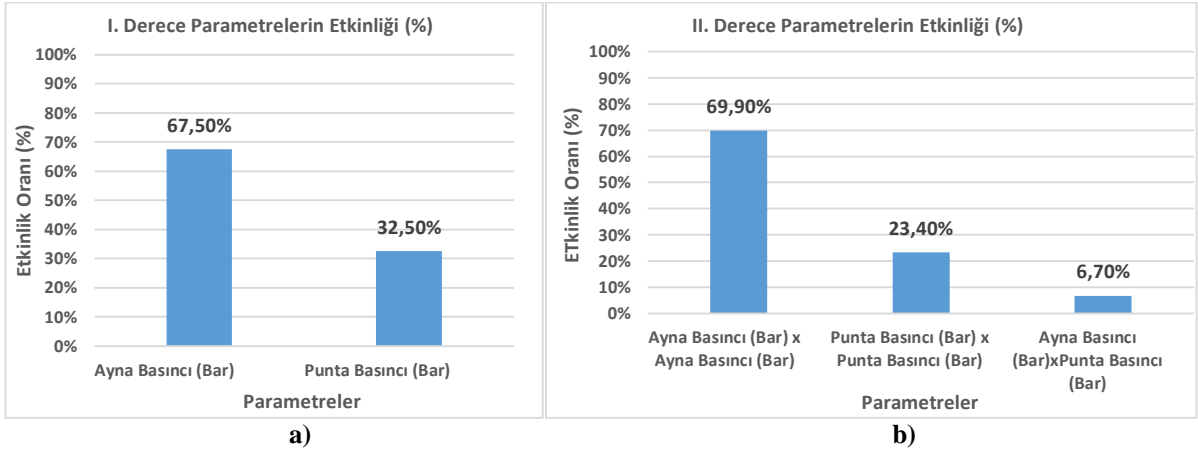
Tablo 6. Yüzey Pürüzlülüğü için oluşturulan ANOVA tablosu

Kaynak	DF	Adj SS	Adj MS	F-Değeri	P-Değeri
Model	6	0,167329	0,027888	35,33	0,000
Bloklar	1	0,004801	0,004801	6,08	0,043
Birinci Derece (Linear) Model	2	0,021089	0,010544	13,36	0,004
Ayna Basıncı (Bar)	1	0,006845	0,006845	8,67	0,022
Punta Basıncı (Bar)	1	0,014244	0,014244	18,04	0,004
Kare	2	0,105070	0,052535	66,55	0,000
Ayna Basıncı (Bar) x Ayna Basıncı (Bar)	1	0,051941	0,051941	65,79	0,000
Punta Basıncı (Bar) x Punta Basıncı (Bar)	1	0,017382	0,017382	22,02	0,002
2-Way Interaction	1	0,004994	0,004994	6,33	0,040
Ayna Basıncı (Bar)*Punta Basıncı (Bar)	1	0,004994	0,004994	6,33	0,040
Hata	7	0,005526	0,000789		
Uyum Eksikliği	3	0,005526	0,001842		
Saf Hata	4	0,000000	0,000000		
Toplam	13	0,172855			

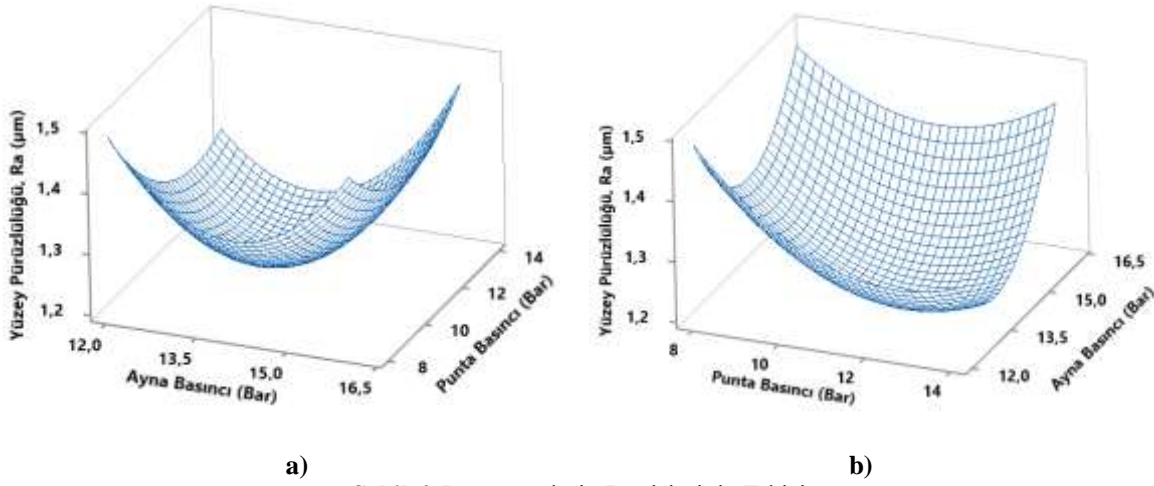
ANOVA analizi sonucunda elde edilen parametre verilerinin değerlendirildiğinde Şekil 5'te görülen grafikler elde edilmektedir. Yüzey Pürüzlülüğünün YYY ile modellenmesi birinci ve ikinci derece denklemler kullanılmıştır. Problemin çözümünde bu denklemlerin çözüm oluşturamadığı bölümler hata oranlarını oluşturmaktadır. ANOVA analizindeki veriler incelendiğinde ve parametreler toplam parametre toplamlarına bölüldüğünde hata miktarının yaklaşık %3 olduğu anlaşılmaktadır. Şekil 5'te sadece birinci ve ikinci derece denklemlerde kullanılan parametrelerin etkinliği ortaya çıkarılmıştır. Böylelikle en etkin parametrenin analizi daha kolay yapılabilir.

Şekil 5'te verilen grafikler incelendiğinde hem birinci derece ifadelerde hem de ikinci derece ifadelerde ayna basıncı parametresinin etkinliği daha fazla olmaktadır. Birinci derece ifadelerde ayna basıncı %67,5 etkinliğe sahiptir. Bununla birlikte punta basıncının etkinliği %32,5 olarak şekillenmektedir. İkinci derece ifadeler incelendiğinde ise birinci derece ifadelerle benzer şekilde, ayna basıncının kendisi ile çarpımı yani ayna basıncının karesi ana etkiyi oluşturmaktadır. %70'e yakın etkiyi tek başına oluşturan bu parametreden sonra %23,4 etkinlik ile punta basıncının karesi gelmektedir. Bu iki faktörün birbiri ile etkileşimi (ayna basıncı x punta basıncı) %6,7 etki oluşturmaktadır. Parametrelerin değişiminin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisini analizi için iki parametre birlikte

değerlendirilmiştir (Şekil 6.). Her iki parametre de farklı eksenlerde oluşturularak etkisinin daha iyi anlaşılabilmesi hedeflenmiştir.



Şekil 5. Parametrelerin etkinliği



Şekil 6. Parametrelerin Değişiminin Etkisi

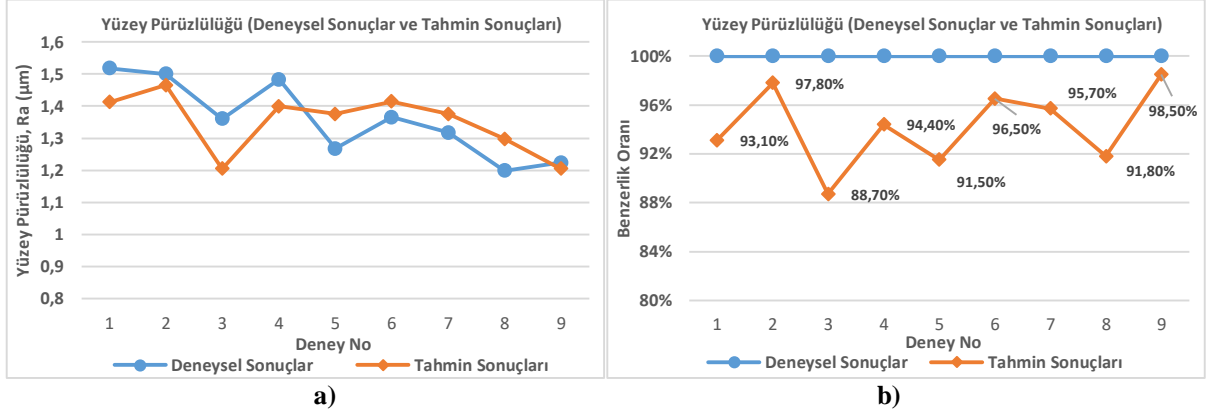
Genel olarak yüzey pürüzlülüğü değerlerinin düşük olması makine parçalarında tercih edilen bir durumdur. Şekil 6a'da görülen grafikte artan ayna basıncının önce yüzey pürüzlülüğünde iyileşme sağladığı sonrasında ise yüzey pürüzlülüğünde bozulma gözlemlenmektedir. Punta basıncı ise belirgin bir değişim oluşturmamaktadır. Aynı verileri içeren Şekil 6.b incelendiğinde ise punta basıncının etkisi daha belirgin olduğu görülmektedir. Genel olarak punta basıncının artışı yüzey pürüzlülüğünü iyileştirmektedir. Bu etki punta basıncının en yüksek olduğu değerde belli bir miktar bozulma olsa da genel olarak iyileşmektedir. Bununla birlikte yüksek ayna basıncı ile birlikte uygulanan punta basıncı belirgin etki oluşturmamaktadır fakat punta basıncının ortalama değerlerinde en iyi yüzey pürüzlülüğünü oluşturmaktadır. YYY ile modellenen deneylerin değerlendirilmesinde modelin tahmin yeteneğinin araştırılması büyük önem taşır. Modelin mevcut veriler dışında yeni parametreler kullanarak sonuçları tahmin etme yeteneği modelin geçerliliğini göstermektedir. YYY ile oluşturulan bu modelin problemleri çözmeye kullandığı formül hesaplatılmıştır. Bu formül Eşitlik 1'de görülmektedir.

$$\text{Yüzey Pürüzlülüğü, Ra } (\mu\text{m}) = 9,902 - 1,014a - 0,2938p + 0,03450a^2 + 0,00887p^2 + 0,00589a \times p \quad (1)$$

$$\text{Ayna Basıncı} = a, \text{ Punta Basıncı} = p$$

Eşitlik 1, modelde tüm veriler kullanıldığında elde edilen formüldür. Her oluşturulan yeni model yeni bir tahmin formülü (fonksiyon) üretmektedir. Çalışmanın bu kısmında modelin tahmin yeteneği araştırılmıştır. Bu amaçla oluşturulan modelde yer alan 9 deney verisi birer birer silinerek model eksik veriler ile oluşturulmuştur. Toplamda her verinin çıkarılması ile 9 adet yeni model oluşturulmuş ve

oluşturulan modellere ait formüller eksik verinin tahmini için kullanılmıştır. Oluşturulan formüller ile oluşturulan grafik Şekil 7’de görülmektedir. Şekil 7’de görülen grafiğin daha iyi anlaşılabilmesi için deney sonuçları ile tahmin sonuçlarının yüzde benzerlik oranları oluşturulmuş ve bu durum Şekil 7’de sunulmuştur.



Şekil 7. Modelin Tahmin Yeteneği

Şekil 7(a)’da bulunan grafikte tahmin sonuçlarının büyük oranda deneysel sonuçlarla örtüştüğü görülmektedir. Bununla birlikte tahmin sonuçlarının daha iyi anlaşılabilmesi için Şekil 7(b) incelendiğinde deney sonuçlarının neredeyse tamamı %90 değerinden daha fazla benzerlikle sonuçları tahmin edebilmektedir. Sadece bir sonuç %88 başarımlı göstermektedir. Tahmin setinin ortalama başarımlı ise %94,2 olarak şekillenmiştir. Her iki grafikte incelendiğinde YYY bu problemin yüzey pürüzlülüğü değerlerinin çözümlenmesinde kullanılabileceğini göstermektedir.

3.3. Titreşim Genliğinin Analizi

Titreşim genliği değerinin değerlendirilmesi için Tablo 7’de görülen ANOVA analizi gerçekleştirilmiştir. YYY ile oluşturulan modelde R^2 değeri yüzey pürüzlülüğü değerinden oldukça farklı olarak %40,7 olmuştur. Bu değer, modelin değerlendirilmesinde yeterli doğruluğu sunmaktan uzaktır. ANOVA analizi sonucunda elde edilen parametre verileri incelendiğinde hata oranlarının kareler toplamı (Adj SS) sütununda en büyük değere sahip olduğu görülmektedir. Bu durumda parametrelerin titreşim genliği değerini hesaplamayacağı görülmektedir. ANOVA analizine göre sistemin hata oranı %59 olarak şekillenmektedir. YYY ile yapılan hem yüzey pürüzlülüğü hem de titreşim modellemelerinde farklı sonuçlar elde edilmiştir. Yüzey pürüzlülüğünde oldukça iyi değerlendirmeler yapabilen YYY modeli, titreşim genliğinin hesaplanmasında başarısız olmaktadır. Bu durum titreşim genliğinin çok daha fazla parametreden etkilenmesi ile açıklanabilir. Mevcut parametreler kullanılarak sistemin çözüm üretmesi mümkün değildir.

Tablo 7. Titreşim Genliği için oluşturulan ANOVA tablosu

Kaynak	DF	Adj SS	Adj MS	F-Değeri	P-Değeri
Model	6	5,9015	0,98359	0,80	0,598
Bloklar	1	0,5448	0,54476	0,44	0,526
Birinci Derece (Lineer) Model	2	0,7824	0,39121	0,32	0,737
Ayna Basıncı (Bar)	1	0,5581	0,55815	0,46	0,521
Punta Basıncı (Bar)	1	0,2243	0,22427	0,18	0,682
Kare	2	4,2879	2,14393	1,75	0,242
Ayna Basıncı (Bar) x Ayna Basıncı (Bar)	1	3,2106	3,21061	2,62	0,150
Punta Basıncı (Bar) x Punta Basıncı (Bar)	1	2,6193	2,61927	2,14	0,187
2-Way Interaction	1	0,1225	0,12250	0,10	0,761
Ayna Basıncı (Bar)*Punta Basıncı (Bar)	1	0,1225	0,12250	0,10	0,761
Hata	7	8,5818	1,22598		
Uyum Eksikliği	3	8,5818	2,86061		
Saf Hata	4	0,0000	0,00000		
Toplam	13	14,4833			

4. Sonuç ve Öneriler

Yapılan bu çalışmada AISI 304 paslanmaz çelik iş parçalarının sabit kesme parametrelerinde farklı ayna ve punta basıncında tornalanması sonucu oluşan titreşim ve yüzey pürüzlülüğü değerlerinin değişimi araştırılmıştır. İş parçasının bağlanması kullanılan ayna ve punta basınçlarının etkileri değerlendirilmiş ve YYY ile yüzey pürüzlülüğü ve titreşim genliği değerleri analiz edilmiştir.

- YYY, yüzey pürüzlülüğü işlemini yüksek R^2 (96,8%) değeri ile değerlendirebilmektedir.
- Yüzey pürüzlülüğü değerlerinin tahmin edilmesinde YYY etkin olarak kullanılabilir. Ortalama tahmin yeteneği %94,2 olarak şekillenmiştir.
- Yüzey pürüzlülüğü değerlerinin modellenmesinde kullanılan parametrelerin birinci ve ikinci derece terimlerinde de en etkin faktör ayna basıncı faktörüdür. Bu faktör %70'e yakın oranda sonuçları etkilemektedir.
- Ayna basıncındaki artış yüzey pürüzlülüğünü iyileştirmekte ancak bu parametrenin artışı yüzeyi bozmaya başlamaktadır. Benzer şekilde punta basıncındaki artışta yüzey pürüzlülüğünü iyileştirmekte ancak en yüksek punta değeri yüzey pürüzlülüğünü belirli bir miktar geriye çekmektedir.
- Yüzey pürüzlülüğünü başarıyla değerlendiren bu model, titreşim genliğinin değerlendirilmesinde ise oldukça kötü sonuçlar üretmektedir. YYY ile oluşturulan titreşim genliği modeli yaklaşık %40 R^2 değeri üretmektedir. Bu durum mevcut veri setinin ve parametrelerin titreşimi çözümleyemediğini ortaya koymaktadır.

Teşekkür

2209/B sanayi odaklı lisans bitirme tezi destekleme programı kapsamında bizleri finansman noktasında destekleyen TÜBİTAK'a, deneyler sırasında her türlü desteği veren Yavuzlar Kardeşler Makine'ya ve ayrıca ölçüm cihazları için de Batman Üniversitesi Makine Mühendisliği'ne teşekkür ederiz.

Yazarların Katkısı

Bu makaledeki deneysel çalışma kısmı ve deneysel sonuçların yorumlanması Hüseyin GÜRBÜZ ve Şehmus BADAY tarafından, deneysel sonuçların YYY ile değerlendirilmesi ise Fikret SÖNMEZ 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] Gürbüz H., Baday Ş. 2019. CNC torna tezgâhlarında ayna ve punta basıncının yüzey pürüzlülüğü ve titreşim üzerine etkisinin Taguchi metodu ile optimizasyonu. Bilecik Şeyh Edebalı Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 6 (2): 119-134.
- [2] Nas E., Samtaş G., Demir H. 2012. CNC Frezelemede yüzey pürüzlülüğüne etki eden parametrelerin matematiksel olarak modellenmesi. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 18 (1): 47-59.
- [3] Venkata Rao K., Murthy B.S.N., Mohan Rao N. 2014. Prediction of cutting tool wear, surface roughness and vibration of work piece in boring of AISI 316 steel with artificial neural network. Measurement, 51: 63-70.
- [4] Zhang S.J., To S., Zhang G.Q., Zhu Z.W. 2015. A review of machine-tool vibration and its influence upon surface generation in ultra-precision machining. International Journal of Machine Tools & Manufacture, 91: 34-42.

- [5] Neşeli S., Yıldız S. 2007. Tornalamada yaklaşma açısı ve talaş açısına bağlı tırlama titreşimlerinin yüzey pürüzlülüğüne etkileri. *Politeknik Dergisi*, 10 (4): 383-389.
- [6] Chabbi A., Yaltese M.A., Meddour I., Nouioua M., Mabrouki T., Girardin F. 2017. Predictive modeling and multi-response optimization of technological parameters in turning of Polyoxymethylene polymer (POM C) using RSM and desirability function. *Measurement*, 95: 99-115.
- [7] Yadav R.N. 2017. A hybrid approach of Taguchi-Response surface methodology for modeling and optimization of duplex turning process. *Measurement*, 100: 131-138.
- [8] Selaimia A.A., Yaltese M.A., Bensouilah H., Meddour I., Khattabi R., Mabrouki T. 2017. Modeling and optimization in dry face milling of X2CrNi18-9 austenitic stainless steel using RMS and desirability approach. *Measurement*, 107: 53-67.
- [9] Mia M. 2017. Multi-response optimization of end milling parameters under through-tool cryogenic cooling condition. *Measurement*, 111: 134-145.
- [10] Mia M. 2018. Mathematical modeling and optimization of MQL assisted end milling characteristics based on RSM and Taguchi method. *Measurement*, 121: 249-260.
- [11] Ananthakumar K., Rajamani D., Balasubramanian E., Davim J.P. 2019. Measurement and optimization of multi-response characteristics in plasma arc cutting of Monel 400™ using RSM and TOPSIS. *Measurement*, 135: 725-737.
- [12] Parida A.K., Maity K. 2019. Modeling of machining parameters affecting flank wear and surface roughness in hot turning of Monel-400 using response surface methodology (RSM). *Measurement*, 137: 375-381.
- [13] Demir Z., Baday Ş., Sönmez F. 2020. AISI 1050 Çelik malzemenin delinmesinde tepki kuvvetini etkileyen parametrelerin yüzey yanıt yöntemi ile analizi. *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 32 (1): 75-85.
- [14] Singh B.K., Roy H, Mondal B, Roy S.S., Mandal N. 2019. Measurement of chip morphology and multi criteria optimization of turning parameters for machining of AISI 4340 steel using Y-ZTA cutting insert. *Measurement*, 142: 181-194.
- [15] Manikanda P.K., Pradheep T., Suresh S. 2017. Application of Taguchi and Response Surface Methodology (RSM) in steel turning process to improve surface roughness and material removal rate. *Materials Today: Proceedings*, 5: 24622-24631.
- [16] Aslan A. 2020. Optimization and analysis of process parameters for flank wear, cutting forces and vibration in turning of AISI 5140: A comprehensive study. *Measurement*, 163: 107959.
- [17] Prasad B.S., Babu M.P. 2017. Correlation between vibration amplitude and tool wear in turning: Numerical and experimental analysis. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 20 (1): 197-211.

Araştırma Makalesi / Research Article

Properties investigation of polyester yarns with different cross-sections

Yasin TOYDEMİR¹, Derman VATANSEVER BAYRAMOL^{2*}

¹*Polyteks Tekstil San. Araş. ve Eğt. A.Ş., Bursa*

²*Department of Metallurgy and Material Engineering, Alanya Alaaddin Keykubat University, Antalya
(ORCID: 0000-0001-8221-9476) (ORCID: 0000-0002-6319-2690)*

Abstract

In this work, the properties of polyester filaments with different cross-sectional shapes were investigated. Trilobal, flat and hollow shaped polyester filaments, having the same count, were produced by following the same route and production parameters. Properties, such as tensile strength, elongation, breaking load, unevenness etc., were investigated. Comparative evaluations of the test results with regard to the cross-sectional shapes were carried out. The results showed that cross-sectional shape of the filaments directly affected the yarn properties and trilobal filament containing polyester yarns showed better properties as compared to yarns containing filaments with a cross-sectional shape of hollow and flat.

Keywords: Polyester, Cross-sectional shape, Melt extrusion, Fully drawn yarn.

Farklı enine kesitlere sahip polyester ipliklerin özelliklerinin incelenmesi

Öz

Bu çalışmada, farklı enine kesit şekillerine sahip polyester filamentlerin özellikleri araştırılmıştır. Aynı numaraya sahip olan trilobal, yassı ve hollow (içi boş) polyester filamentler, aynı yol ve üretim parametreleri izlenerek üretilmiştir. Çekme mukavemeti, uzama, kopma yükü, düzgünsüzlük vb. özellikler incelenmiştir. Enine kesit şekillerine göre test sonuçlarının karşılaştırmalı değerlendirmeleri yapılmıştır. Sonuçlar, filamentlerin enine kesit şeklinin iplik özelliklerini doğrudan etkilediğini ve trilobal filament içeren polyester ipliğin, içi boş ve yassı enine kesitli filamentleri içeren ipliklere kıyasla daha iyi özellikler gösterdiğini göstermiştir.

Anahtar kelimeler: Poliester, Enine kesit şekli, Eriyikten çekim, Tam çekilmiş iplik.

1. Introduction

The cross-section of the textile fibers is one of the most significant morphological features. In other words, it is possible to modify the various properties of the yarn and fabric by changing the shape of the fiber cross-section [1]. In the early stages of fiber extrusion from molten polymers, produced fibers mostly had circular cross-section. After 1960's, attempts to produce fibers with various types of non-circular cross-sections increased to impart aesthetic and functional properties to the fibers. Nakajima et al. [2] tried to mimic the gloss of silk fiber by producing synthetic fibers with a triangle-like cross-section. Producing hollow fibers was another attempt of synthetic fibers with non-circular cross-sections [3].

Polyester fibers with different cross-sectional shapes are obtained by changing the shape of the holes in the nozzle in a melt extruder. The cross-sectional shapes of the synthetic fibers produced according to the melt-extrusion process can easily be varied by changing the nozzle. The fibers having different cross-sectional shapes obtained in this manner are also referred in the literature as “profiled fibers”, “non-circular fibers” or “modified cross-section fibers” [4-5].

*Corresponding author: derman.bayramol@alanya.edu.tr

Received: 11.09.2020, Accepted: 13.12.2020

Tyagi and Madhusoodhanan investigated the effect of circular and trilobal cross-sectional polyester filaments on handle properties of fabrics produced from polyester/viscose and polyester/cotton blend yarns. Blended yarns were produced via a ring and a Murata air-jet spinners. The polyester content in the yarn structure was either 48% or 65%. They produced twelve plain woven fabrics and the properties of produced fabrics were tested. They stated that the trilobal polyester fiber containing fabric showed higher formability and shear rigidity as compared to circular polyester fiber containing structures fabric [6].

The effects of cross-sectional shape on tensile, thermal, and thermo-mechanical properties of polyester filaments were investigated by Hasan et al. [4]. Two different cross-sectional shapes of the polyester filaments that they produced via spin winding process were in round and plus shaped. They found that both tenacity and elongation values measured for polyester yarn having filaments with plus-shaped cross-section were lower than that of yarn having filaments with round-shaped cross-section. When they compared the crystallinity degrees of these two yarns, they stated that polyester yarn having filaments with plus-shaped cross-section had slightly higher degree of crystallinity while the maximum crystallinities were very similar. Their concluded as that the effect of the shape of cross-sections on the crystallinity degree of undrawn PET filament yarn was not significant.

Omeroglu et al. studied the effect of yarn twist on the tensile strength and elongation of FDY polyester yarns [7]. They used 167/48 dtex polyester produced in four different cross-sectional shapes; round, trilobal, round-hollow and trilobal-hollow. They applied six different amount of twist; 300, 600, 900, 1200, 1500 and 1800 tpm. The overall view of the study was that twist had an effect on the tensile properties of the yarn. However, they also concluded that a similar study could be done to examine the effect of the amount of twist less than 300 tpm. Karaca and Ozcelik investigated the effect of cross-sectional shape of polyester filaments on the physical properties of the produced yarns [8]. They produced and investigated the physical properties of polyester yarns with four different cross-sectional shapes (round, trilobal, round-hollow and trilobal-hollow). It was stated that maximum strain values of yarns consisting of hollow filaments were lower as compared to yarns consisting of full filaments. On the other hand, some other properties, such as the modulus, yield stress, take-up stress, and shrinkage in boiling water of hollow filament containing yarns were higher than that of full filaments containing yarns. The highest unevenness was observed on round-hollow filaments containing yarns. Dhamija et al. [9] investigated the physical characteristics of the yarns with different cross-sectional shapes (circular, trilobal, scalloped oval and tetrakelion) and fiber fineness. Their general conclusion was supportive to the literature that the cross-sectional shape had an effect on the properties.

This work focuses on the effects of cross-sectional shape of the filaments on the yarn properties. Polyester yarns (167/48 dtex) consisting of trilobal, flat or hollow filaments were produced by a melt extrusion process. In order to have comparable materials, polyester chips were melt extruded through three different nozzles (trilobal, flat and round-hollow), and the process conditions were kept the same for each production. Although there have been studies in the literature examining the effects of filaments with different cross-sectional shapes on yarn properties, no comparative study of these three cross-sections were found.

2. Materials and Methods

2.1. Materials

Polyester granules used in this study were obtained from Thailand and Adana. These granules were turned into yarn by using melt-extrusion machines in the real production environment of a mill.

2.2. Production parameters for FDY

Moisture is one of the undesirable factors in polyester yarn production. Therefore, the moisture in the polyester granules that come to production is tried to be reduced to the range of 0.3-0.4% by means of dryers until it reaches the extruder. The purpose of the drying process is to dry polyester granules until the moisture is between 15 and 25 ppm, which means 15-25 g water in 1 tone polyester granules. To achieve this moisture content, polyester granules are dried at 170°C for about 5 hours. The feeding of the polymer was 1.8% while the pump worked with 21.60 l/dk. The granules were heated up gradually

through the heating zone, and the temperature at the die was around 285°C. The filaments went through the cooling zone where the temperature falls dramatically to 30-35°C. The filaments then came to the lubrication zone. The main objectives of lubrication is to keep the filaments together, to help cooling, to reduce static electricity, and to reduce friction. Take up speed was 4600 m/min.

2.3. Test Methods

Yarn properties, such as tensile strength, elongation, breaking load, unevenness, and shrinkage in boiling water, were studied. In order to be able to investigate the effect of cross-sectional shape on yarn parameters, all three samples (trilobal, flat and hollow) had the same yarn count which was 167/48 dtex.

The cross-sectional shapes of the yarns were analyzed under microscope. In order to examine the effect of different cross-sections on the yarn properties, we produced and examined the yarns having the same count but the different cross-sections. To assess the yarn count, a spinning-wheel with a diameter of 1 m was used to calculate the yarn count according to BS EN ISO 2060. This was repeated 10 times and the average value was taken as the count of related yarn.

Some of the physical properties, such as yarn strength, elongation and breaking load of polyester yarns were obtained from a Statimat Me Tensile Test Equipment, according to DIN 2062 test standard. Measurements were repeated 10 times and the average values were recorded. Unevenness of the yarns was measured by using Uster Tester 3 according to DIN 53817-1 test standard. Shrinkage of the produced polyester yarns with different cross-sections were measured by using a Texturmat Me. The shrinkage test was performed according to DIN 53840 test standard. Two samples were used for each measurement. The initial length of the yarn was measured automatically by the equipment. Second measurement is done after the samples were subjected to 190°C for 15 mins. in a drying oven.

3. Results and Discussion

Microscopic view of cross-sectional shapes of the yarns are given in Figure 1. Images are taken from the same device but there are colour differences due to the brightness of the filaments. The results obtained are collected and given in Table 1 while the effect of cross-sectional shape on each studied yarn property is discussed individually.



Figure 1. Cross-sectional view of produced polyester fibers: (a) trilobal, (b) flat, and (c) hollow captured with a magnification of 1000X

Table 1. Properties of produced polyester yarns

Cross-section	Tensile strength (cN/dtex)	Elongation (%)	Breaking load (cN)	Unevenness (%)	Shrinkage in boiling water (%)	Lubricant (%)
Trilobal	3.87	36.79	622.80	1.11	10.10	1.34
Flat	2.70	39.40	451.40	3.96	34.10	1.00
Hollow	2.80	55.10	467.80	0.93	5.30	0.68

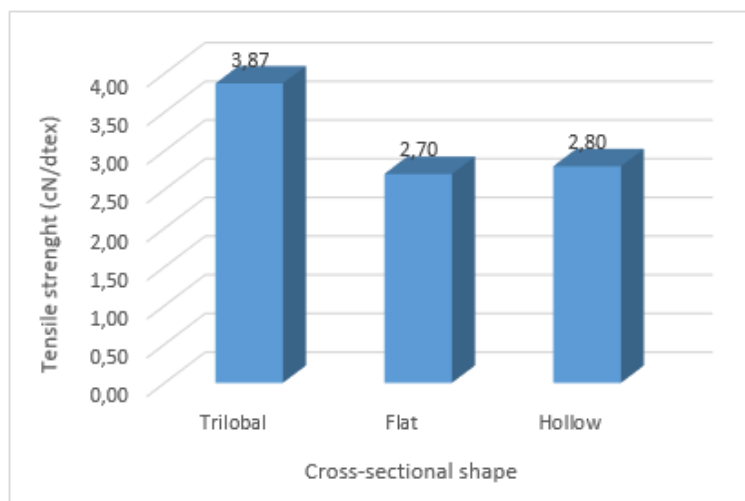


Figure 2. Tensile strength (cN/dtex) of produced polyester yarns

The tensile strengths of trilobal, flat, and hollow polyester filaments are given in Figure 2. It was observed that polyester yarn having a-trilobal cross-section showed the highest tensile strength among polyesters yarns studied. It is possible to say that trilobal cross-section has a positive effect on the yarn strength. This can be explained as that the ability of trilobal cross-sectional filaments to cling together is better than that of flat and hollow filaments.

Babaarslan et al. [10] investigated the effects of cross-sectional shape polyester yarn properties. They worked on five different cross-sectional shapes: round, trilobal, tetra, hexsa and octolobal, and studied their effects on tenacity-elongation. It was stated that the yarns with cross-sections of round, tetra and octolobal influenced tensile strengths and breaking elongation while other two yarns with trilobal and hexsa cross-sections had low tensile strengths. Varshney et al. [11] were another research group worked on the effect of cross-sectional shape. They stated that individual fibers, taken from two yarns with different cross-sections, having the same length and linear density showed different tensile strengths values. This was concluded as the effect of the individual fiber tensile strength and cross-section on the tensile strength of the yarns.

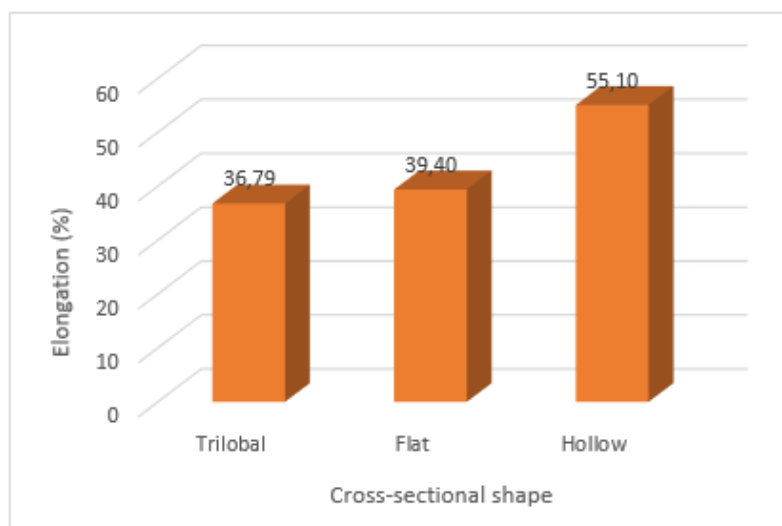


Figure 3. Elongation (%) of produced polyester yarns

Elongation of produced polyester yarns are given in Figure 3. In contrast to tensile strength values, the highest elongation value of 55.10% was observed on hollow filament containing yarn. The elongation values of yarns with trilobal and flat cross-sections were close to each other, 36.79% and 39.40%, respectively. If we consider the inverse proportionality with the elongation in normal conditions, we can clearly see how important the different sections are on the yarn. Babaarslan et al.

argued the effect of cross-sectional shape on elongation of the yarns with five different cross-sections [10]. Flat shaped cross-sectional yarn was not in these 5 yarns. However, their study included trilobal and round shaped cross-sections. It was found that the elongation (%) of the yarns with a round cross-sectional shape was higher as compared to the yarns with a trilobal cross-sectional shape. Their general conclusion was that yarns with multi-channelled cross-sectional shapes showed low elongation (%) values while the yarn having a round shaped cross-section had the higher elongation (%) before broken. This supports our elongation (%) test results.

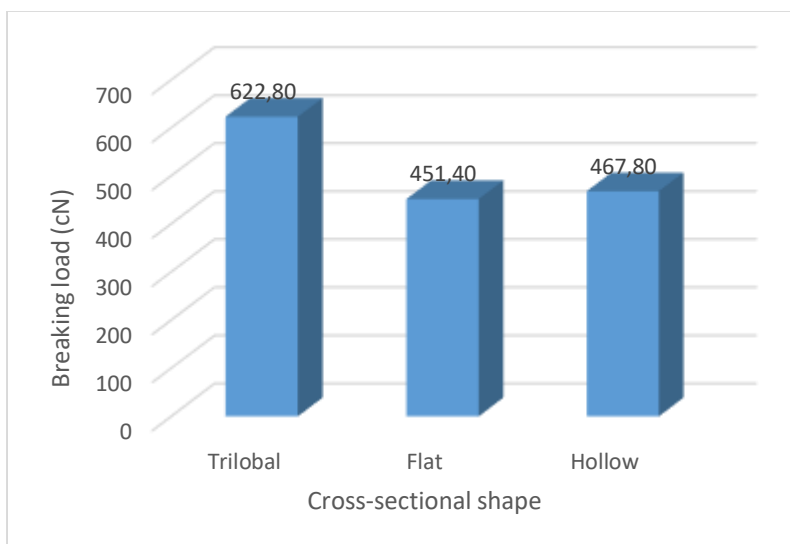


Figure 4. Breaking Load (cN) of produced polyester yarns with different cross-sectional shapes

The information on the breaking loads of the produced polyester yarns are given in Figure 4. As can be seen, the load needed to break the yarn having a trilobal cross-section is higher than the others. This can be explained as that filaments with a trilobal cross-section are easier to have a good contact to each other in the yarn structure, and constitute a more robust structure. Breaking load of polyester yarns consisting of flat or hollow filaments were lower since the ability of filaments to hold each other in the yarn structure is less than the filaments having a trilobal cross-section. Therefore, it is possible to say that the cross-sectional shapes of the filaments, forming the yarn, affect the tensile properties of the yarn. This is an agreement with Karaca and Ozcelik, who drew a similar conclusion for their experiments conducted on polyester yarns with 4 different cross-sectional shapes [8].

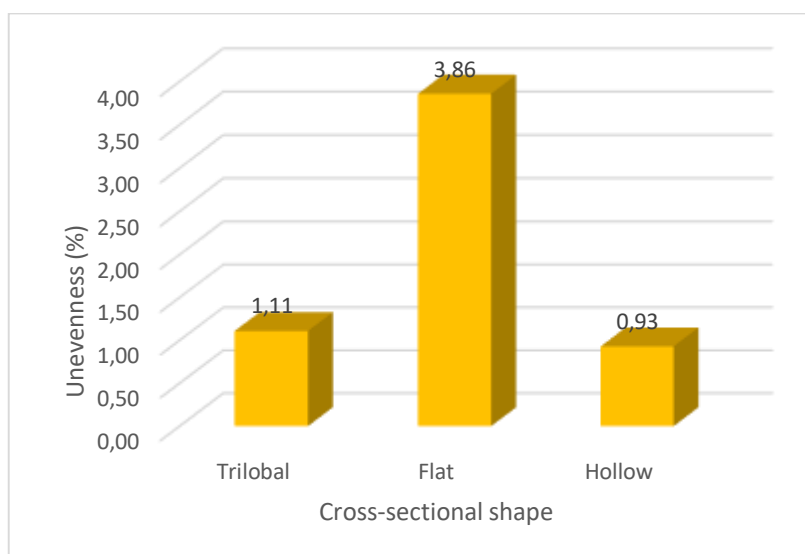


Figure 5. Unevenness (%) of produced polyester yarns with different cross-sectional shapes

Unevenness percentage of studied yarns are given in Figure 5. The highest unevenness (3.86%) was observed on yarn having flat-shaped cross-sectional filaments. While unevenness values of yarns having filaments with trilobal cross-sectional shape, and hollow filaments were similar; 1.11% and 0.93% respectively. In the work of Karaca and Ozcelik, the unevenness values of trilobal cross-sectional polyester and round-hollow cross-sectional polyester were vice versa [8]. Their hollow polyester filaments had slightly higher unevenness value as compared to trilobal polyester filaments. This may be an effect of process parameters. The reason for the unevenness in the yarn with a flat cross-section may be that the air-friction forces applied on the filament surface may probably be differs according to the different cross-sections that also affects the cooling behavior of filaments.

It is believed that the air friction forces in contact with the surface of the filament during cooling of the filaments may differ in different cross-sections, which is also influenced by the cooling behavior of the filaments. Therefore, the yarn with a flat cross-section may not fully take up the air after it has come out that may lead unevenness. This remark is an agreement with literature [8, 12].

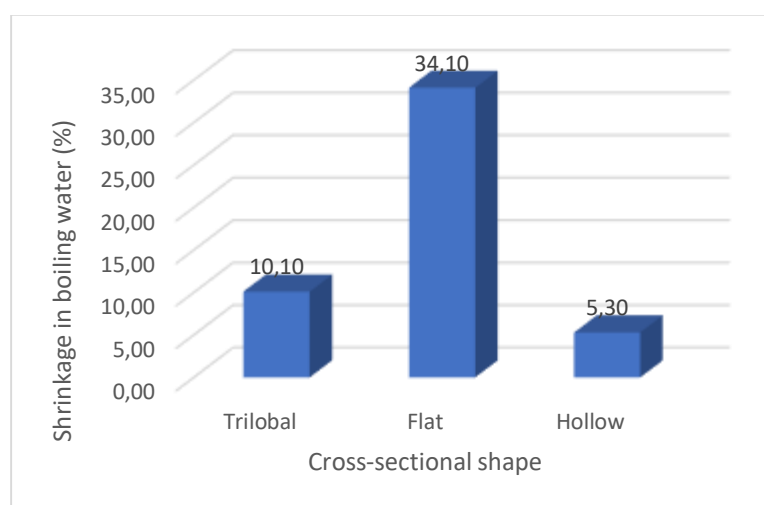


Figure 6. Shrinkage (%) of produced polyester yarns with different cross-sectional shapes

The shrinkage in boiling water properties according to the cross-sectional shape of the filaments were also investigated and the results are presented in Figure 6. As can be seen that the filaments with flat-shaped cross-section had greater shrinkage values in boiling water as compared to trilobal and hollow shaped filaments. Therefore, it is possible to say that the shape of the cross-section of the filaments had an effect on the yarn properties. Hacıoğulları et al. [13] studied the shrinkage of polyester yarns with different cross-sectional shapes along with other properties. They stated that yarns having round cross-sectional filaments showed lower shrinkage than the yarns with -lobal cross-sections: trilobal, tetra and octolobal. This is an agreement with our shrinkage test results for hollow and trilobal yarns as seen in Figure 6. On the other hand, the yarn with a flat cross-sectional shape showed highest shrinkage and this was associated to its high unevenness.

4. Conclusions

Properties of polyester yarns with different cross-sectional shapes were investigated in this study. The yarn with trilobal cross-sectional shape showed the highest tensile strength therefore needed higher load before breaking and this was associated to better clinging ability of trilobal cross-sectional filaments in the yarn structure than that flat and hollow filaments. Elongation values were in agreement with the literature. The yarn with flat cross-sectional shape showed highest unevenness and shrinkage as compared to other two. The unevenness was related to the air-friction forces applied on the filament surface which also affects the cooling behavior of filaments. The high shrinkage of the yarns consisting of filaments with flat cross-sections was associated to high unevenness.

Acknowledgement

The authors would like to thank “Polyteks Tekstil San. Araş. ve Eğt. A.Ş.” for the production of polyester filaments used in this study.

Author’s Contributions

Yasin TOYDEMİR performed all filament productions and tests. Derman VATANSEVER BAYRAMOL supervised the work; prepared the draft and final version of the manuscript.

Statement of Conflicts of Interest

No potential conflict of interest was reported by the authors.

Statement of Research and Publication Ethics

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

References

- [1] Bueno M.A., Aneja A.P., Renner M. 2004. Influence of the shape of fiber cross section on fabric surface characteristics. *Journal of Materials Science*, 39: 557-564.
- [2] Nakajima T., Kajiwara K., McIntyre J.E. 1994. *Advanced Fiber Spinning Technology*. Woodhead Publishing Ltd., Cambridge, 1-258.
- [3] Zuo D.-Y., Zhu B.-K., Wang S.-H., Xu Y.-Y. 2005. Membrane extraction for separation of copper cations from acid solution using polypropylene hollow fibre membrane. *Polymers for Advanced Technologies*, 16: 738-743.
- [4] Hasan M.M.B., Dutschk V., Brünig H., Mäder E., Häussler L., Hässler R., Cherif Ch., Heinrich G. 2009. Comparison of Tensile, Thermal, and Thermo-Mechanical Properties of Polyester Filaments Having Different Cross-Sectional Shape. *Journal of Applied Polymer Science*, 111: 805-812.
- [5] Shin K.I., Kim S.H., Kim J.J. 2005. Image Analysis of the Luster of Fabrics with Modified Cross-section Fibers. *Fibers and Polymers*, 6 (1): 82-88.
- [6] Tyagi G.K., Madhusoodhanan P. 2006. Effect of fiber cross-sectional shape on handle characteristics of polyester-viscose and polyester-cotton ring and MSJ yarn fabrics. *Indian Journal of Fiber & Textile Research*, 31: 496-500.
- [7] Omeroglu S., Karaca E., Becerir B., Akbas E. B. 2011. Effect of Twist on Strength for Polyester Yarns Produced from Filaments Having Different Cross Sectional Shapes. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 16 (2): 45-54.
- [8] Karaca E., Ozcelik F. 2007. Influence of the Cross-Sectional Shape on the Structure and Properties of Polyester Fibers. *Journal of Applied Polymer Science*, 103: 2615-2621.
- [9] Dhamija S., Kothari V.K., Varshney R.K. 2011. Effect of polyester fibre fineness and cross-sectional shape on physical characteristics of yarns. *The Journal of the Textile Institute*, 102 (4): 293-307.
- [10] Babaarslan O., Hacıoğulları S.Ö. 2013. Effect of Fibre Cross-sectional Shape on the Properties of POY Continuous Filaments Yarns. *Fibers and Polymer*, 14 (1): 146-151.
- [11] Varshney R.K., Kothari V.K., Dhamija S. 2011. Influence of polyester fibre fineness and cross-sectional shape on low-stress characteristics of fabrics. *The Journal of the Textile Institute*, 102 (1): 31-40.
- [12] Takarada W., Ito H., Kikutani T., Okui N. 2001. Studies on high-speed melt spinning of noncircular cross-section fibers. I. Structural analysis of as-spun fibers. *Journal of Applied Polymer Science*, 80 (9): 1575-1581.
- [13] Hacıoğulları S.Ö., Babaarslan O. 2018. An investigation on the properties of polyester textured yarns produced with different fiber cross-sectional shapes. *Industria Textila*, 69 (4): 270-276.

Araştırma Makalesi / Research Article

Harran Ovası Yaygın Toprak Serilerinin Fiziksel, Kimyasal ve Morfolojik Özellikleri

Ali Rıza ÖZTÜRKMEN*, Emrah RAMAZANOĞLU, Murat ÇAKMAKLI,
Eda ÇAKMAKLI

Harran Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Şanlıurfa
(ORCID: 0000-0001-5575-3278)(ORCID: 0000-0002-7921-5703)
(ORCID: 0000-0002-9998-5094) (ORCID: 0000-0002-6842-2344)

Öz

Toplam 225 000 hektarlık Harran Ovası büyük bir tarımsal potansiyele sahiptir. Bu topraklar üzerinde bazı çalışmalar yapılmış olmasına rağmen, önemi dolayısıyla ayrıntılı çalışmalara büyük bir ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışma, Harran ovasında yaygın toprak serilerinin (Harran, İkizce, Bellitaş, Çekçek) fiziksel, kimyasal ve morfolojik özelliklerinin belirlenmesi amacı ile yapılmıştır. Harran ovasında koordinatları alınan 4 farklı noktada toprak profilleri açılarak horizon esasına göre toprak örnekleri alınmıştır. Çalışma elde edilen sonuçlara göre incelenen toprak profillerinin kireç içerikleri bakımından yüksek, organik madde bakımında toprakların çoğunda az olduğu belirlenmiştir. Toprakların kation değişim kapasiteleri ise toprakların kil içeriklerine göre değişim göstermekte olup genellikle 22-50 cmol kg⁻¹ arasında değiştiği belirlenmiştir. Toprak reaksiyonu (pH) açısından 7,1-8,5 arasında değerler alan topraklar nötr ve hafif alkali olarak bulunmuştur.

Anahtar Kelime: Harran Ovası, Toprak Serileri, İkizce, Bellitaş, Çekçek.

Physical, Chemical, and Morphological Properties of Harran Plain Common Soil Series

Abstract

The Harran Plain, with a total area of 225000 hectares, has great agricultural potential. Although some studies have been done on these lands, detailed studies are needed due to their importance. This study was conducted to determine the physical, chemical, and morphological characteristics of common soil series (Harran, İkizce, Bellitas, Cekcek) in the Harran plain. Soil samples were taken based on the horizon by opening soil profiles at 4 different points in the Harran plain. According to the results of the study, it was determined that the analyzed soil profiles were high in lime content and low in organic matter in most soils. The cation exchange capacities of the soils vary according to the clay content of the soils, and it has been determined that it generally varies between 22-50 cmol kg⁻¹. Soils with values between 7,1 and 8,5 in terms of soil reaction (pH) were found to be neutral and slightly alkaline.

Keywords: Harran Plain, Soil Series, İkizce, Bellitas, Cekcek.

1. Giriş

Toprak genel olarak canlılar için gıda teminini sağlayan bitkisel üretimin yoğun olarak yapıldığı, yeryüzünde yaşayan bütün canlılar için barınma ve yaşamını ikame ettiği doğal bir ortamdır [1]. Nüfus artışındaki hız ile birlikte arazi kullanımındaki değişim de kaçınılmaz sonuç olarak karşımıza çıkmakta olup, profesyonel planlama yapılmadığında bu durum büyük ekonomik sorunlara neden olmaktadır [2]. Mevcut tarım arazilerinin verimlilik durumlarının tespiti ve toprak kalitesinin yükseltilmesi yeryüzünde yaşayan canlılar için önemli olup, sürdürülebilir tarımsal üretim için toprakların yönetilmesi ise zorunlu bir durum olmaktadır [3]. Toprak verimliliği toprakların birim alandan yüksek verimin alınmasını sağlayan önemli bir parametredir [4]. Bitkisel üretimde hedeflenen kalite ve miktarda ürünün alınması

*Sorumlu yazar: arozturkmen@harran.edu.tr

Geliş Tarihi: 28.09.2020, Kabul Tarihi: 11.01.2021

için toprakta bitkiler için gerekli olan yarayışlı bitki besin elementlerinin yeterli olması gerekmektedir. Bu amaçla da toprakların verimlilik durumlarını belirlemeye yönelik ülkemizde birçok çalışma yapılmıştır. Güzel vd. [5] Harran ovasında farklı serilerdeki topraklarda bitkiler için yarayışlı mikro besin elementlerin kapsamlarının belirlendiği çalışmada; çinko miktarının 0,16-1,20 mg/kg, demirin 2,68-6,40 mg/kg, bakırın 0,65-8,18 mg/kg ve manganın 2,62-13,05 mg/kg arasında değiştini belirlemiş ve bu mikro elementlerin ortalama olarak sırasıyla 0,43, 4,72, 1,60 ve 6,67 mg/kg olarak belirlenmiştir. Çalışma sonucunda toprak serilerinde çinkonun %80, demirin ise %40 yeter seviyesinin altında olduğunu bildirmişlerdir [5]. Güneydoğu Anadolu Projesi (GAP) tarımda sulanabilir alanlar ile yüksek verim elde etme ve toplumun kalkınmasını hedef alan bir proje olarak hayata geçirilmiştir. Projenin tüm etapları tamamlanmamış olup, arazilerin bir kısmı sulanabilir duruma gelmiştir. Sulama ile birlikte bitkisel ürün deseni değişmiş, verim artmış ve çiftçilerin gelir düzeylerinde yükselmeler görülmüştür. Bölgede ise tarıma dayalı sanayi sektöründe olumlu gelişmeler yaşanmıştır. Bu olumlu gelişmelerin sağlanmasına karşın ürün deseninin farklılaşması ile birlikte tarımda su, gübre ve çeşitli kimyasalların kullanımında artmalar meydana gelmiş bu da beraberinde birçok sorunu tetiklemiştir [6]. Tektonik olaylar sonucunda Güneydoğu Anadolu'da irili ufaklı birçok horst ve grabenler oluşmuştur. Harran Ovası da bölgede birçok horst ve grabenlerin oluştuğu önemli alanlardan biridir [7]. Ergene [8], Fırat Nehri ile Amonos Dağları Arasındaki Bölgede Ova topraklarının baskın kil minerallerinin belirlenmesi çalışmasında açılan dört toprak profilinde yapılan analizler sonucunda illit miktarının %40 üzerinde, kaolinitin %10-40 arasında; kuvars, klorit, vermikülit ve amorf maddeyi %10'un altında olduğunu belirlemişlerdir. Dinç ve Ark. [9], Harran Ovasında toprakların fiziksel, kimyasal, minerolojik ve mikromorfolojik özelliklerinin belirlenmesi için açılan 25 toprak profilinde toprakların killi tekstürde ve kireç içeriklerinin yüksek olduğu belirlenmiş, toprakta makro bitki besin elementlerinden potasyum miktarının yeterli, fosforun ise yetersiz olduğu belirlemişlerdir. Harran Ovası'nda toplam fosfor kapsamlarını 0-20 cm toprak derinliğinde 343-894 mg/kg, 20-40 cm'de 313-881 mg/kg ve 40-60 cm'de ise 298-551 mg/kg aralığında olduğunu, topraklarının kil ve kireç içeriğinin yüksek olmasından dolayı fosforun toprakta suda çözünmez halde bulunduğunu belirtmiştir [10].

Harran ovasının kuzeyinde yapılan bir çalışmada farklı meyve bahçelerinden alınan toprak örneklerinde yapılan analizler sonucunda toprakların yüksek kireç içeriğe sahip oldukları ve makro besin elementlerinden yarayışlı potasyumun tüm meyve bahçelerinde yüksek olduğunu bildirmiştir [11]. Bu çalışmada Harran Ovasında yaygın toprak serilerinin (Harran, Bellitaş, İkizce, Çekçek) fiziksel ve kimyasal özelliklerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

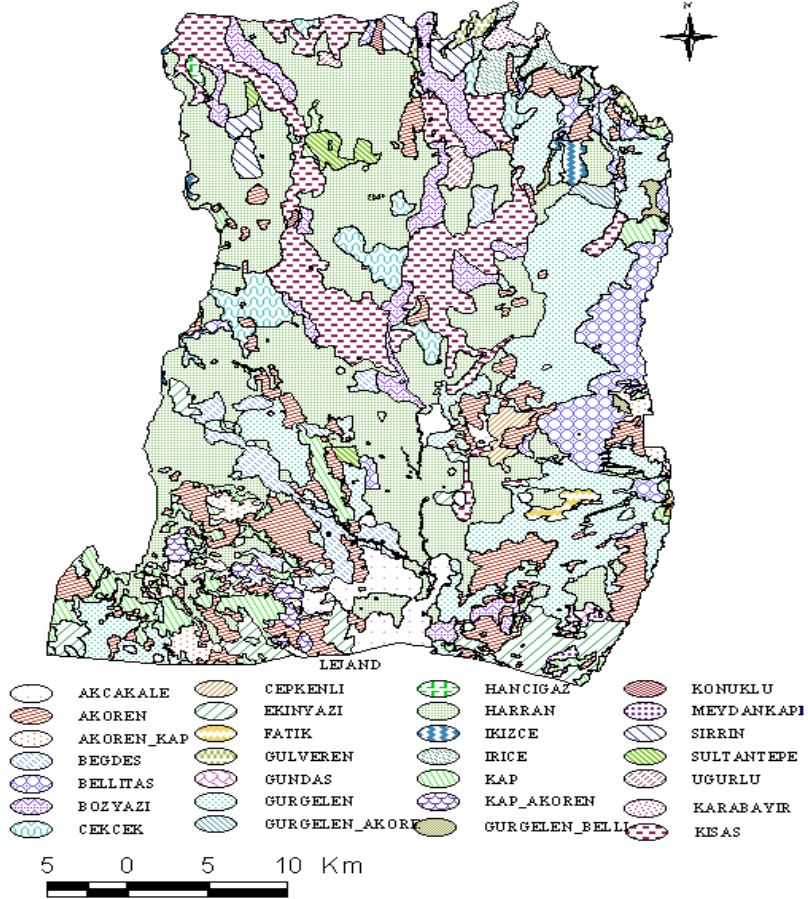
2. Materyal ve Metot

2.1. Çalışma Alanları

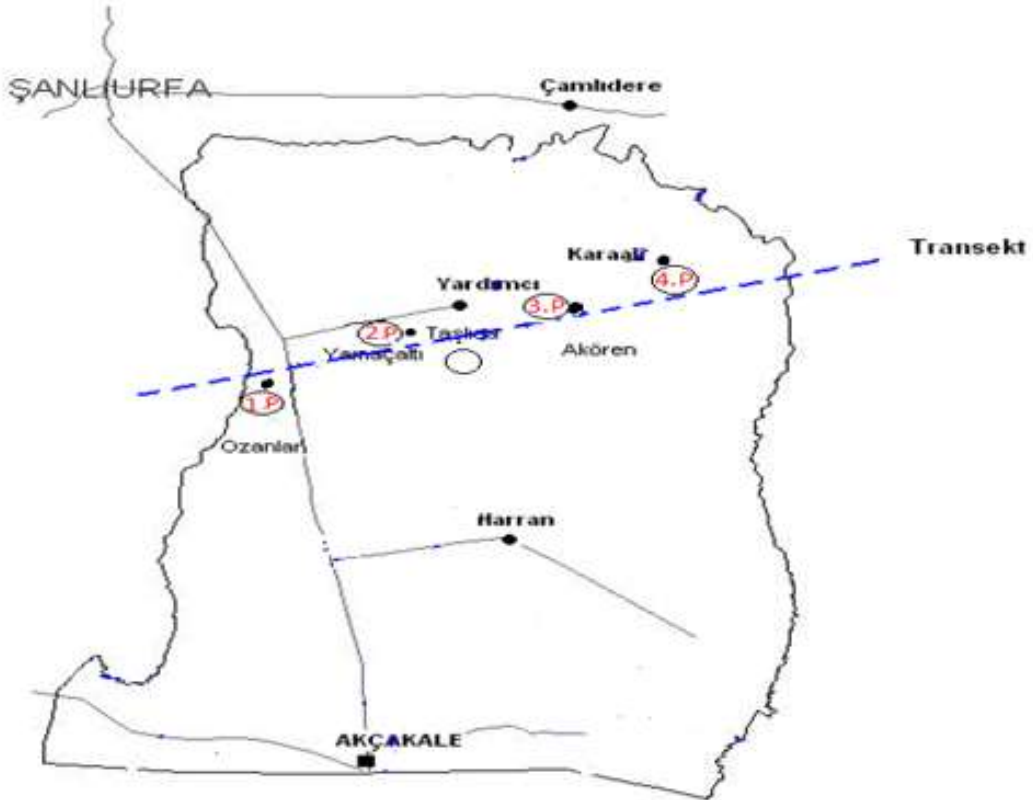
Çalışmada incelenen toprak serileri Harran Ovası Güneydoğu Anadolu Bölgesinde 36° 47' ve 39° 15' doğu boylamları, 36° 40' ve 37° 41' kuzey enlemleri arasında güneyde Suriye sınırı, kuzeyde Germuş ve Şanlıurfa dağları, batısında Fatik dağları doğusunda ise Tektek dağları bulunmaktadır. Toplam 225 000 hektar olan Harran Ovasında yapılan detaylı çalışmalar sonucu 25 toprak serisi (Şekil 1) belirlemişlerdir [9].

2.2. Metot

2006 yılında seri esasına göre tanımlanmış profillerden 2017 yılında, batı-doğu yaygın olan serileri üzerinde bulunduran ve ovayı ikiye bölerek, tüm ovayı temsil eden 4 farklı profilden alınmış olan toprak örnekleri, horizon esaslı itibarıyla [12] göre sınıflandırılarak tanımlanmıştır [19]. Analizler için hazır hale getirilen toprak örneklerinde bazı fiziksel ve kimyasal analizler yapılmıştır. Saturasyon (%) miktarı [13] metoduna göre, toprak reaksiyonu (pH) saturasyon çamurunda [14], toprak bünye tayini (Hidrometre metoduyla), kalsiyum Karbonat (%) Scheibler kalsimetresiyle ile [15], toplam tuz (%) miktarı toprak örneklerinin elektriki iletkenlik aletinin çamur hücresine yerleştirilmesiyle belirlenmiştir [16]. Organik Madde (%) yaş yakma metodu kullanılarak belirlenmiştir [17]. Katyon değişim kapasitesi 1.0 N NaOAc çözeltisi kullanılarak yapılmıştır [18].



Şekil 1. Harran Ovasının toprak serileri haritası [9]



Şekil 2. Toprak profili açılan noktalar

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Çekçek toprak serisi

Toprak reaksiyonu (pH) 8,08-8,38 arasında, EC (dS/m) 0,46- 1,06 arasında, CaCO₃ içerikleri %19,48-31,96 arasında, organik Madde içerikleri %0,21-1,19 arasında, KDK değerleri (Cmol/kg) 29,65-48,54 arasında, Kum %20,36-31,91, Silt %30,24-41,56 ve Kil içeriği %26,53-44,62 arasında değerlerde belirlenmiştir (Tablo 5). Toprak profili Ozanlar köyünün yaklaşık 500 m kuzey doğusunda 2,50 m derinliğinde açılmış (Şekil 3), profilin temsil ettiği Çekçek serisi topraklarının strüktür yapısının çok iyi geliştiği, altta ve üstte 2 horizon mevcut olup, horizonların tekstür bakımından birbirinden çok farklı olduğu gözlenmiştir. Üst horizonların alt horizonlara göre genellikle granüler bir yapıda ve kolayca dağılmakta ve tüm profilin çok kuru olduğu gözlenmiştir. Profil yaklaşık 100 cm'ye kadar olan horizon strüktürü gevşek bir kıvamdadır. En alt toprak yani profilin 120 cm'den sonraki kısmında kayma yüzeyleri ve kireç benekleri gözlenmiştir. Yukarıdan aşağıya inildikçe 120 cm'den sonra kireç miktarı artmaktadır. Bu profilde çok miktarda ve iç içe girmiş durumda bitki kökü varlığı gözlenmiştir. Profil genel olarak siltli kil tekstürlüdür (Tablo 1). Sonuçlar alanda başka araştırmacıların yaptığı çalışmalarla benzerlik göstermektedir [9, 19, 20].



Şekil 3. Çekçek serisi toprak profili

Tablo 1. Çekçek serisi profili horizonlarına ait morfolojik özellikler

Derinlik (cm)	Horizon	Tekstür**	Renk (Nemli)		Strüktür *	Yoğunluk	Geçiş sınırı
ÇEKÇEK SERİSİ							
0-15	Ap	SiC	10 YR	4/4	Grn	Zayıf sertlikte	Düz, az belirgin
15-33	A ₁	SiC	10 YR	4/4	Z kç yrkş blst	Zayıf sertlikte	Düz, az belirgin
33-55	Bw ₁	SiC	10 YR	4/4	Kv oby yrkş blst	Zayıf sertlikte	Düz, az belirgin
55-76	Bw ₂	SiC	10 YR	4/4	O ve by okv kş blst	Orta kuvvetli	Dalgalı, az belirgin
76-120	Bw ₃	SiC	10 YR	4/4	O ve by kv kş blst	Orta kuvvetli	Dalgalı, az belirgin
120-182	Bkb ₁	SiC	7.5YR	4/6	By kv kş blst/mn	Orta kuvvetli	Dalgalı, az belirgin
182- +	Bkb _{2ss}	SiC	7.5 YR	4/4	By kv kş blst/ss/mn	Orta kuvvetli	Dalgalı, az belirgin

***Kısaltmalar:** kç-küçük, yrkş-yarı köşeli, blst-blok strüktür, okv-orta kuvvette, oby-orta büyüklükte, z-zayıf, ss-slicken side, kş-köşeli, kv-kuvvetli, yr-yarı, by-büyük, o-orta, mn-mangan birikintileri.

****Kısaltmalar:** SiC-siltli kil

3.2. Harran toprak serisi

Toprak reaksiyonu (pH) 7,92 – 8,44 arasında, EC (dS/m) 0,24 – 1,05 arasında, CaCO₃ içerikleri %18,71 – 31,96 arasında, Organik Madde içerikleri %0,39 – 1,69 arasında, KDK değerleri (Cmol/kg) 31,24 – 46,01 arasında, Kum %11,28 – 21,03, Silt %23,45 – 29,53 ve Kil %49,91 – 61,36 arasında değişmiştir (Tablo 5). Taşlıca köyünde açılmış olan profilin (Şekil 4) temsil ettiği Harran serisi toprakları düze yakın hafif eğimli ve oldukça derin topraklardır. Kırmızı renkli horizonları ile killi tekstürlüdür. Üst toprak oldukça iri ve sert, köşeli blok strüktür yapısındadır. Alt toprak iri sayılabilecek orta sertlikte köşeli blok strüktür yapısındadır. Alt toprakta derinlik artması ile sekonder kireç miktarının arttığı tespit edilmiştir. Tüm profil oldukça kireçlidir. A, B ve C horizonlu topraklardır ve toprak profilinde çakıllar bulunmaktadır (Tablo 2). Sonuçlar alanda başka araştırmacıların yaptığı çalışmalarla benzerlik göstermektedir [9, 19, 20].



Şekil 4. Harran serisi toprak profili

Tablo 2. Harran serisi profili horizonlarına ait morfolojik özellikler

Derinlik (cm)	Horizon	Tekstür **	Renk (Nemli)		Strüktür*	Yoğunluk	Geçiş sınırı
HARRAN SERİSİ							
0-12	Ap	C	7,5 YR	4/4	Çby okv yrkş blst	Orta kuvvetli	Dalgalı, az belirgin
12-30	A ₁	C	7,5 YR	4/4	By okv yrkş blst	Orta kuvvetli	Dalgalı, az belirgin
30-66	Bwk ₁	C	7,5 YR	3/4	By okv yrkş blst	Orta kuvvetli	Dalgalı, az belirgin
66-112	Bwk _{2SS}	C	7,5 YR	4/4	By kv kş blst	Kuvvetli	Dalgalı, belirgin
112-140	Bwk ₃	C	7,5 YR	4/4	By okv kş blst	Orta kuvvetli	Dalgalı, az belirgin

* Kısaltmalar: yrkş-yarı köşeli, blst-blok strüktür, okv-orta kuvvette, kş-köşeli, kv-kuvvetli, by-büyük, çby-çok büyük.

**Kısaltmalar: C-kil

3.3. İkizce toprak serisi

Toprak reaksiyonu (pH) 7,4 – 7,89 arasında, EC (dS/m) 0,42 – 0,92 arasında, CaCO₃ içerikleri % 14,03 – 28,84 arasında, Organik Madde içerikleri % 0,13 – 1,43 arasında, KDK değerleri (Cmol/kg) 30,49 – 49,57 arasında, Kum % 16,56 – 31,32, Silt % 26,14 – 41,14 ve Kil % 29,74 – 52,50 arasında değerler almıştır (Tablo 5). Karaali ve Akören köylerinin arasında açılmış olan İkizce serisi profillerinin (Şekil 5) temsil ettiği topraklar etek arazilerde düze yakın az eğimli orta derin ve derindir. Profilin üst kısmı kil tekstürlü fakat aşağılara doğru siltli kil tekstürlüdür. En alt horizonlarda kum miktarı artmaktadır. Orta kısımlarda azda olsa kayma yüzeyleri tespit edilmiştir; alt kısımlarda yer yer mangan benekleri de görülmüştür. Yaklaşık 190 cm’ de bir çakıl tabakası bulunmaktadır. Profilin üst kısımlarında strüktür orta kuvvette, kaba, yarı köşeli yapıda olduğu alt kısımların ise orta kuvvette, orta kaba, köşeli blok yapıdadır (Tablo 3). Horizonlar arası sınırlar belirgindir. Sonuçlar alanda başka araştırmacıların yaptığı çalışmalarla benzerlik göstermektedir [9, 19, 20].



Şekil 5. İkizce serisi toprak profili

Tablo 3. İkizce serisi profili horizonlarına ait morfolojik özellikler

Derinlik (cm)	Horizon	Tekstür**	Renk (Nemli)		Strüktür *	Yoğunluk	Geçiş sınırı
İKİZCE SERİSİ							
0-14	Ap	C	7,5 YR	4/4	Grn	Orta kuvvetli	Dalgalı, belirgin
14-30	A ₁	C	7,5 YR	4/6	By okv kş blst	Orta kuvvetli	Dalgalı, belirgin
30-60	Bwk ₁	C	7,5 YR	4/4	Oby z kş blst	Orta kuvvetli	Dalgalı, belirgin
60-103	Bwk ₂	C	7,5 YR	4/4	Oby okv kş blst	Orta kuvvetli	Dalgalı, belirgin
103-130	Bwk ₃	GC	7,5 YR	4/4	By okv kş blst	Kuvvetli	Düz, belirgin
130-168	Bwk _{ss}	SiC	5 YR	3/4	By okv kş blst	Zayıf sertlikte	Düz, belirgin
168-190	Bk ₁	SiC	7,5 YR	3/4	By okv kş blst	Zayıf sertlikte	Düz, belirgin
190-249	BC	GSiC	5 YR	4/4	Çby okv kş blst	Orta kuvvetli	Düz, belirgin
249- +	C	GC	7,5 YR	4/4	By okv yr kş blst	Orta kuvvetli	Dalgalı, belirgin

*Kısaltmalar- 1: yrkş-yarı köşeli, blst-blok strüktür, okv-orta kuvvette, z-zayıf, kş-köşeli, yr-yarı, by-büyük, çby-çok büyük,

**Kısaltmalar: C-kil, SiC-siltli kil, GC-çakıllı kil, GSiC-çakıllı siltli kil,

3.4. Bellitaş toprak serisi

Toprak reaksiyonu (pH) 7,65 – 8,45 arasında, EC (dS/m) 0,53 – 1,25 arasında, CaCO₃ içerikleri % 26,50 – 41,31 arasında, Organik Madde içerikleri % 0,47 – 1,26 arasında, KDK değerleri (C mol/kg) 29,19 – 41,94 arasında, Kum % 13,46 – 24,11, Silt % 22,79 – 36,15 ve Kil % 39,74 – 59,24 arasında değerler almıştır (Tablo 5). Karaali köyünün yaklaşık 1 km kuzeyinde açılmış olan profilin temsil ettiği Bellitaş serisi (Şekil 6) toprakları koluviyal ana materyalli düşük eğimli derin topraklardır. Yaklaşık 250 cm'de (altta) çakıl birikimi ile birlikte 120 cm'de bir çakıl tabakası daha var olduğu görülmüştür. Bu çakılların sellerle tepelerden ovaya doğru taşındığı düşünülmektedir. Ovanın kenarında açılan profillerde rastlanan taş katları bölgenin zaman zaman taşkınlarla karşı karşıya geldiğini göstermektedir. Taban suyu 286 cm'de görülmüştür. Yüzey toprağı ince granüler yarı köşeli blok strüktürlü, alt horizonlar ise orta büyüklükte orta kuvvette yarı köşeli blok strüktüre sahiptir. Bu toprak derin profilli ve iyi strüktürel yapısından dolayı kalitelidir ve bu bölgenin en verimli toprağı olduğu düşünülmektedir. Toprak killi ve organik madde miktarı zayıftır (Tablo 4). Sonuçlar alanda başka araştırmacıların yaptığı çalışmalarla benzerlik göstermektedir [9, 19, 20].



Şekil 5. Bellitaş serisi toprak profili

Tablo 4. Bellitaş serisi profili horizonlarına ait morfolojik özellikler

Derinlik (cm)	Horizon	Tekstür **	Renk (Nemli)	Strüktür *	Yoğunluk	Geçiş sınırı
BELLİTAŞ SERİSİ						
0-10	Ap	C	7,5 YR	3/4	Grn	Orta kuvvetli
10-28	A ₁	C	7,5 YR	3/4	Kç okv yrkş blst	Orta kuvvetli
28-60	Bw	C	7,5 YR	3/4	Oby z yrkş blst	Zayıf sertlikte
60-94	2Bw	C	7,5 YR	3/4	Oby okv yrkş blst	Orta kuvvetli
94-125	2BC	GC	7,5 YR	3/4	Oby okv yrkş blst	Kuvvetli
125-187	3Bw	C	7,5 YR	3/4	Oby okv yrkş blst	Orta kuvvetli
187-236	3BC	C	7,5 YR	4/4	Oby okv yrkş blst	Orta kuvvetli

* **Kısaltmalar- 1:** kç-küçük, yrkş-yarı köşeli, blst-blok strüktür, okv-orta kuvvette, oby-orta büyüklükte, z-zayıf,

****Kısaltmalar:** C-kil, GC-çakıllı kil

Tablo 5. Profil örneklerinin kimyasal analiz sonuçları

Profil	Derinlik (cm)	pH	EC (dS/m)	CaCO ₃ (%)	Org. Madde (%)	Kasyon Değ. Kap. (Cmol/kg)	Tekstür		
							Kum (%)	Silt (%)	Kil (%)
Çekçek Serisi	0-15	8,22	1,06	29,62	1,11	44,51	31,61	38,62	29,77
	15-33	8,23	0,75	28,84	1,16	33,49	31,91	41,56	26,53
	33-55	8,14	0,68	24,94	1,19	35,05	28,47	39,34	32,19
	55-76	8,20	0,71	25,72	0,96	32,96	23,94	39,03	37,03
	76-100	8,38	0,61	31,18	0,33	33,26	28,15	30,24	41,61
Harran Serisi	0-12	8,40	0,94	26,50	1,14	40,69	10,12	36,13	53,75
	12-30	8,20	1,11	24,94	1,26	33,65	8,32	36,46	55,22
	30-66	7,77	0,56	31,18	0,83	46,94	6,03	38,32	55,65
	66-112	8,05	0,94	29,62	0,81	35,62	4,16	37,16	58,68
	112-140	8,10	1,02	30,40	0,63	42,31	3,76	39,26	56,98
İkizce Serisi	0-14	7,62	0,74	27,28	1,31	49,57	18,16	36,25	45,59
	14-30	7,62	0,45	27,28	1,33	47,15	16,56	34,12	49,32
	30-60	7,40	0,42	28,84	1,27	44,28	17,52	32,45	50,03
	60-103	7,82	0,92	28,84	0,29	32,85	31,32	30,49	38,19
Bellitaş Serisi	0-10	8,35	1,25	34,29	1,26	34,89	24,11	36,15	39,74
	10-28	8,45	0,73	32,73	1,09	41,94	20,46	32,75	46,79
	28-60	8,22	0,79	36,63	1,11	37,62	18,64	31,15	50,21
	60-94	8,10	1,16	29,62	1,16	38,33	13,46	32,06	54,48
	94-125	7,97	0,53	26,50	0,61	30,97	15,34	27,19	57,47

Araştırma alanında çalışılan toprak serilerinde yapılan kimyasal analizler sonucunda: profillerde pH değerleri 7,40 ile 8,45 arasında, EC değerleri 0,42 – 1,25 arasında, CaCO₃ değerleri 24,94 -34,29 arasında, organik Madde değerleri 0,29 – 1,33 arasında, Kasyon değişim kapasitesi değerleri 30,97 – 49,57 arasında ve tekstür ise killi, killi tın sınıflarında bulunmuştur.

4. Sonuç

Harran Ovasındaki yaygın toprak serileri Harran, Bellitaş, İkizce, Çekçek Serilerinden örnekleme yapılmıştır. Araştırmaya konu olan yaygın toprak serileri Harran, Bellitaş, İkizce, Çekçek Serilerinde pH nötr ve hafif alkali, EC değerleri düşük, CaCO₃ içerikleri yüksek, Organik Madde içerikleri yetersiz, Kasyon değişim kapasitesi yüksek ve tekstür sınıfları ise killi olarak bulunmuştur. Topraklar genellikle yer eğimli alanların olduğu belirlenmiştir.

Harran Ovasının sulamaya açılması ile beraber bitkisel üretimde verim artışları görülmüştür. Toprak özelliklerinin tanımlanması ile beraber, ekilecek ürünün seçimi, gübreleme ve sulamada büyük kolaylıklar sağlanacaktır. Sulamada eğimli alanlar için su birikimine dikkat edilmesi ve fazla suyun arazilerden tahliye edilmesi gereken yerlerin olduğu görülmüştür. Harran Ovasında çok geniş tarım arazilerinin olduğu bu nedenle daha fazla toprak profilleri açılarak daha detaylı çalışmaların yapılması gerekmektedir.

Yazarların Katkısı

Çalışmaya tüm yazarlar eşit oranda katkı sunmuştur.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada, araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar

- [1] Alabi A.A., Adewale A.O., Adebo B., Ogungbe A.S., Coker J. O., Akinboro F.G., Bolaji G. 2019. Effects of different land uses on soil physical and chemical properties in Odeda LGA, Ogun State, Nigeria. *Environ Earth Sci*, 78: 207.
- [2] Nassar M., Levy R., Noel Keough N., Nassar N.N. 2017. Agricultural Land Use Change and its Drivers in the Palestinian Landscape Under Political Instability, the Case of Tulkarm City. *Journal of Borderlands Studies*, 34 (3): 377-394.
- [3] Kabir B.E., Bashari H., Bassiri M., Mosaddeghi, R.M. 2020. Effects of land-use/cover change on soil hydraulic properties and pore characteristics in a semi-arid region of central Iran. *Soil & Tillage Research*, 197: 104478.
- [4] Nath J.A., Lal R. 2017. Effects of Tillage Practices and Land Use Management on Soil Aggregates and Soil Organic Carbon in the North Appalachian Region, USA. *Pedosphere*, 27 (1): 172-176.
- [5] Güzel N., Ortaş İ., İbrikçi H. 1991. Harran Ovası Toprak Serilerinde Yararlı Mikroelement Düzeyleri ve Çinko Uygulamasına Karşı Bitkinin Yanıtı. *Çukurova Üniv. Zir. Fak. Dergisi*, 6 (1): 15-30.
- [6] Mermut A.R., Öztürk İ. 2010. Türkiye'nin Tarımsal Gücü ve Geleceği. MÜSİAD Araştırma Raporları, İstanbul, ISBN: 978-605-4383-05-4.
- [7] D.S.İ. 1972. Harran Ovası Hidrojeolojik Etüdü. DSİ Printing Office, Ankara, 1-49.
- [8] Ergene A. 1963. Fırat Nehri ile Amonos Dağları Arasındaki Bölgede Teşekkül Eden Kızıl Topraklar Üzerinde Bir Araştırma (Doktora Tezi). Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları No: 2, Ankara.
- [9] Dinç U., Şenol S., Sayın M., Kapur S., Güzel N., Derici R., Yeşilsoy M.Ş., Yegingil İ., Sarı M., Kaya Z., Aydın M., Kettaş F., Berkman A., Çolak A.K., Yılmaz K., Tunçgöğüs B., Çavuşgil V., Özbek H., Gülüt K.Y., Karaman C., Dinç O., Öztürk N., Kara E.E. 1988. Güneydoğu Anadolu Bölgesi Toprakları (Gat) 1. Harran Ovası Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu Tarım ve Ormancılık Grubu Proje no: TOAG-504, Adana, 475s.
- [10] Saygan P.E. 2007. Harran Ovasındaki Bazı Toprak Serilerinin Fosfor Fraksiyonları. Yüksek Lisans Tezi, Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Şanlıurfa.
- [11] Ramazanoğlu E. 2019. Determination and Mapping of the Relationship between Potassium and Ammonium of Calcareous Soils with Different Moisture Content. *International Journal of Scientific and Technological Research*, 5 (7):17-26.
- [12] U.S.Salinity Laboratory Staff. 1954. Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils (moisture retention curve). Dept. of Agri. Handbook 60, USA.
- [13] Richards L.A. 1954. Diagnosis and Improvement Saline and Alkaline Soils. U.S. Dep. Agr. Handbook 60, USA.
- [14] Black C.A. 1965. Methods of Analysis Agron. No: 9, Ame. Soc. Agr, Madison Wisconsin, USA.
- [15] Gülçur F. 1974. Toprağın Fiziksel ve Kimyasal Analiz Metodları. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları, Yayın no: 1970: 201, Kutulmuş Matbaası, İstanbul.
- [16] Jackson M.C. 1962. Soil chemical analysis. Prentice Hall. Inc. Eng. Cliff. USA.
- [17] Walkley A., Black I.A. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining organic carbon in soils: Effect of variations in digestion conditions and of inorganic soil constituents. *Soil Sci.*, 63: 251-263.
- [18] Norman A.G., Chapman H.D. 1965. Cation-Exchange Capacity. *Agronomy Monograph*. doi:10.2134/agronmonogr9.2.c6.
- [19] Çakmaklı M. 2008. Harran Ovası topraklarının kökeni ve oluşum mekanizmaları (jeoloji ve toprak ilişkileri). Doktora Tezi, Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Şanlıurfa.
- [20] Çakmaklı E. 2018. Harran Ovası yaygın toprak serilerinde su tutma eğrilerinin belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Şanlıurfa.

Araştırma Makalesi / Research Article

Bitlis İli Şartlarında Merkezi Isıtma Sisteminde Kullanılan Farklı Yakıt Türlerinin Ekonomik ve Çevresel Etkilerinin İncelenmesi

Faruk ORAL^{1*}, Ali ELHUYEYDİ²

¹Bitlis Eren Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Makine Müh. Bölümü, Bitlis

²Makine Mühendisi, Rasmus Chemistry Cleaning and Cosmetics, Küşet Sanayi Sitesi, Gaziantep
(ORCID: 0000-0003-0607-3350) (ORCID: 0000-0002-4114-0785)

Öz

Günümüzde artan enerji maliyetleri ve binaların ısıtılması sonucu ortaya çıkan zararlı gaz emisyonları, binalarda enerjinin verimli, tasarruflu ve çevresel kirliliği azaltacak biçimde kullanılmasını gerektirmektedir. Bu çalışmada, Bitlis il merkezinin de içerisinde bulunduğu Rahva yerleşkesinde kurulmuş bulunan Bitlis Eren Üniversitesi personel lojmanlarından bir binanın ısıtılmasında kullanılan farklı yakıt türlerinin enerji tasarrufu, ısıtma maliyeti ve oluşan karbondioksit emisyonları incelenmiştir. İzolasyon olarak, binada mevcut olan izolasyonda dahil edilerek toplamda üç farklı izolasyon tipi seçilmiştir. Isı kaybının ve ısıtma enerjisi ihtiyacının belirlenmesinde, TS 825'te belirtilen standartları kapsayan ısı yalıtım programı kullanılmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucunda; hâlihazır binada ısıtma sezonları için kullanılan yakıtlar dikkate alındığında hem teorik hem de gerçek yakıt tüketim maliyeti ile CO₂ emisyonunun en düşük değeri doğalgaz yakıtında meydana geldiği tespit edilmiştir. Bu binada fueloil yakıtı yerine doğalgaz kullanılması durumunda yakıt tüketim maliyeti oranlarının teorik olarak %46 gerçekte ise %64 düştüğü ve CO₂ emisyonu oranlarının ise teorik olarak %63, gerçekte ise %61 düştüğü tespit edilmiştir. Sonuçta; binada ısı yalıtımının ısı kayıplarını dolayısıyla gerekli ısı ihtiyacını önemli oranda azalttığı, gerçek yakıt tüketiminin teorik yakıt tüketiminden fazla olduğu, en düşük maliyetli, en tasarruflu ve en çevre dostu yakıtın doğalgaz yakıtı olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Merkezi ısıtma sistemi, yakıt tüketimi, maliyet analizi, enerji tasarrufu.

Investigation of Economic Effects of Different Fuel Types Used in Central Heating System in Bitlis Province Conditions

Abstract

Today, increasing energy costs and harmful gas emissions resulting from the heating of buildings require the use of energy in buildings in an efficient, economical and environmentally friendly manner. In this study, energy savings, heating costs and carbon dioxide emissions of different fuel types used in the heating of a building from Bitlis Eren University staff lodgings, located in Rahva campus where Bitlis city center is located, were examined. As insulation, three different insulation types have been selected, including the existing insulation in the building. In determining the heat loss and heating energy need, a thermal insulation program covering the standards specified in TS 825 (Turkish Standards) was used. As a result of the experiments made, considering the fuels used in the current building for heating seasons, it has been determined that the lowest value of CO₂ emission occurs in natural gas fuel, with both theoretical and actual fuel consumption costs. It has been demonstrated that if natural gas is used instead of fuel oil in this building, the fuel consumption cost rates drop by 46% theoretically and 64% actually, and the CO₂ emission rates decrease by 63% theoretically and 61% actually. After all; it has been determined that the use of thermal insulation in the building significantly reduces the heat losses and therefore the required energy for heating, the actual fuel consumption is higher than the theoretical fuel consumption, the lowest cost, the most economical and the most environmentally friendly fuel is natural gas.

Keywords: Central heating system, fuel consumption, cost analysis, energy saving.

*Sorumlu yazar: foral@beu.edu.tr

Geliş Tarihi: 05.10.2020, Kabul Tarihi: 11.01.2021

1. Giriş

Enerji, yeryüzünde yaşamın vazgeçilmez bir unsuru olup teknolojinin gelişmesinde ve ilerlemesinde en önemli kaynaklardan biridir. Tüm dünyada enerjiye olan ihtiyacın gittikçe artması ve kullanımında artan çevre sağlığı problemleri, enerjinin etkin ve verimli kullanımını önemli hale getirmiştir. Fosil enerji kaynakları bakımından dışa bağımlı olan Türkiye’de son yıllarda giderek artan enerji talebi karşısında enerjinin verimli kullanımına ilişkin çalışmaları zorunlu hale getirmiştir. Türkiye’nin iç ve doğu bölgelerinde kış ayları oldukça soğuk geçmesi binaların ısıtılması için harcanan enerji miktarını artırmaktadır.

Yapılan araştırmalar, binalarda tüketilen enerjinin yaklaşık olarak %82’sinin ısıtma amacıyla kullanıldığını göstermektedir. Binalarda ve ısıtma sistemlerinde uygulanacak çeşitli teknikler ile önemli oranda enerji tasarrufunun sağlanması mümkündür. Bu nedenle konutlarda kullanılan ısıtma sistemlerinin tasarımı, kullanılacak yakıtın türü ve maliyetleri, enerjinin verimli kullanılması açısından son derece önemlidir [1, 2].

Binalarda enerji tasarrufu bakımından yapılan uygulamaların en başında ısı yalıtımı gelmektedir. Binalarda kış aylarında ısı kayıplarını yaz aylarında ise ısı kazançlarını azaltmak için en etkili yol ısı yalıtımıdır. Bilindiği gibi yalıtımın kalınlığının artması ısı kazanç ve kayıpları önemli ölçüde azaltırken yalıtım maliyetinde de artışa neden olmaktadır. İkinci aşamada ise, ısıtma maliyetini düşürmek, baca gazı emisyonunu azaltarak çevre sağlığı konusunda yaşanacak olumsuzlukları azaltmak için kullanılacak en uygun yakıt türünü ve ısıtma sistemini belirlemektir. Soğuk iklim bölgelerinde binaların ısıtılmasında daha fazla ısı enerjisi ihtiyacı oluşacağından bu durum yakıt tüketimi ile beraber baca gazı emisyonlarında artışa neden olmaktadır. Bunun sonucunda ısıtma maliyetlerinin artmasına, daha fazla zararlı gazların çevreye atılmasına neden olmaktadır. Baca gazı emisyonlarından karbondioksit (CO₂) ve kötü yanma sonucu oluşan karbon monoksit (CO) çevre ve insan sağlığını olumsuz biçimde etkileyen gazlardır. Bu nedenle binaların ısıtılmasında enerjiyi etkin ve verimli kullanmak çok önem arz etmektedir. Yakıtların yanması sonucu oluşan CO₂ emisyonu bu çalışmada temel parametre olarak kullanılmıştır.

Türkiye’de, Enerji Bakanlığının yaptığı araştırmaya göre, bina sektöründe %30, sanayi sektöründe %20 ve ulaşım sektöründe %15 olmak üzere önemli düzeyde enerji tasarruf potansiyeli olduğu tespit edilmiştir [3]. Ülkemizde bina sektöründe görülen tasarruf potansiyeli enerjinin etkin ve verimli kullanılmasının önemini vurgulamaktadır.

Isı yalıtımı, enerji tasarrufu ve enerji verimliliği ile ilgili literatürde yapılmış olan birçok çalışma bulunmaktadır. Konu ile ilgili Gürel ve Daşdemir [4], yaptıkları çalışmada Türkiye’nin farklı iklim bölgelerinden seçilen Aydın, Edirne, Malatya ve Sivas illerinin ısıtma ve soğutma yüklerine göre optimum yalıtım kalınlığı, enerji tasarrufu ile geri ödeme süresini incelemişlerdir. Yalıtım kalınlığı ile enerji tasarrufu en fazla Sivas en düşük Aydın ilinde, geri ödeme süresinin en büyük değeri Aydın en küçük değeri ise Sivas ilinde gerçekleştiğini belirlemişlerdir. Yılmaz [5], çalışmasında 3. ve 4. iklim bölgelerinde bulunan Konya ve Erzincan illerinden 10 farklı apartmanın ısı yalıtım analizini yapmıştır. Seçilen binaların ısı yalıtımı yapıldıktan sonra tasarruf oranının %62 civarı olduğu sonucuna varmıştır. Oğuz ve Kırmacı [6], çalışmalarında Bartın İlinde kullanılan kömürlü merkezi, fueloil merkezi, doğal gazlı bireysel ve doğal gazlı merkezi olmak üzere 4 farklı ısıtma sisteminin ekonomik ve çevresel etkilerini incelemişlerdir. İlgili çalışmada 4 farklı bina modelini kullanarak ısı kayıpları hesaplanmıştır. Yaptıkları çalışmada en çevreci ve en ekonomik ısıtma sisteminin doğal gazlı merkezi ısıtma sistemi olduğu sonucuna varmışlardır. Kaya ve ark. [7], Erzincan ilindeki binalarda ısı yalıtımının enerji tasarrufuna etkisini incelemişlerdir. Yalıtımsız binalarda 4, 5 ve 8 cm kalınlıklarında yalıtımın olması durumunda, enerji tasarrufunun verilen değerlere göre sırasıyla, %56.20, %58.51 ve %61.19 değerinde gerçekleştiğini hesaplamışlardır. Canpolat ve ark. [8], yaptıkları çalışmada iki farklı iklimsel bölgede bulunan Bursa ve Bayburt illeri için, ısıtma, soğutma ve yıllık enerji ihtiyaçlarına göre güneş radyasyonu etkisini göz önüne alarak optimum yalıtım kalınlığını hesaplamışlardır. Bayburt ilinin optimum kalınlığı daha fazla, yatırımın geri ödeme süresinin daha kısa olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Rüşen ve ark. [2], tarafından yapılan çalışmada Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesinin enerji açısından mevcut durumu ve enerji verimlilik potansiyeli incelemiş 2016 yılı için %18’e varan enerji tasarruf potansiyelinin olduğu tespit edilmiştir.

Bitlis ili 4.derece iklim bölgesinde bulunmaktadır. İlde karasal iklim hüküm sürmekte olup kış aylarının uzun ve soğuk geçmesi nedeniyle binaların ısıtılması amacıyla tüketilen enerji fazla

olmaktadır. Dolayısıyla burada binaların ısıtılması yüksek maliyet gerektirmektedir. Bu nedenle, binaların yıllık ısıtma ihtiyaçlarının maliyet analizinin yapılması önemlidir. Bitlis il merkezi yerleşiminin, Bitlis Eren Üniversitesi Kampüs yerleşkesinin de bulunduğu Rahva bölgesine doğru kayması ve bu bölgenin İlin en soğuk yerlerinden biri olması nedeniyle bölge bu çalışma için inceleme sahası olarak seçilmiştir.

Bu çalışmanın amacı; bu güne kadar binaların ısıtılmasında kullanılan yakıtların verimliliği konusunda henüz daha araştırılmayan Bitlis ilinin ısıtma sistemlerinde kullanılan farklı yakıt türlerinin ekonomisini belirlemektir. Bu amaca yönelik olarak Bitlis ili Rahva yerleşkesinde kurulan Bitlis Eren Üniversitesi kampüs alanında bulunan bir binanın ısıtma maliyeti ve enerji verimliliği incelenmiştir.

2. Materyal ve Metot

TS 825 “Binalarda Isı Yalıtım Kuralları” standardına göre Türkiye 5 sıcaklık bölgesine ayrılmıştır. Bitlis ili, soğuk bölgelerden biri olan dördüncü bölgede yer almaktadır. Isıtma maliyeti ve enerji verimliliğinin belirlenmesi amacı ile Bitlis-Rahva yerleşkesinde kurulu buluna Bitlis Eren Üniversitesi’ne ait personel lojmanlarından R3 blok numaralı bina seçilmiştir. Bu bina, 22 daireden müteşekkil, bir bodrum, 1 zemin ve 4 normal kattan oluşmaktadır. Binanın toplam ısıtılan alanı 3477 m² ve brüt hacmi 10866 m³ tür.

2017-2019 yılları arasında belirtilen binanın ısı kaybı ve yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı, Makina Mühendisleri Odası (MMO) tarafından geliştirilen ısı yalıtım programı kullanılarak hesaplanmıştır. Bu program, TS 825’te belirtilen binaların ısı kayıp miktarının belirlenmesinde kullanılan denklem ve kurallara uymaktadır. Hesaplanan bu ısı kayıp miktarlarına göre mevcut binanın ısıtılması için gerekli olan teorik kömür, fueloil ve doğalgaz miktarı belirlenmiştir. Ayrıca mevcut binanın ısıtılması amacıyla kullanılan gerçek kömür, fueloil ve doğalgaz miktarları da ilgili birimden resmi olarak temin edilmiştir. Sonraki aşamada hesaplanan değerlerle gerçek değerlerin karşılaştırılması yapılmıştır. Binada kullanılan çeşitli yakıtların günümüzdeki birim fiyatları tespit edilmiş ve fiyatlara dayanarak binada farklı yıllarda kullanılan yakıtlara göre yıllık ısıtma maliyeti belirlenmiştir.

Isıtılacak mahallerde enerji harcamalarını azaltmanın önemli bir yolu da ısıtma sistemi için uygun işletme yönetiminin seçimidir [9]. Bununla ilgili olarak, ısıtma sistemi işletilirken çalışma aralığına göre genellikle 3 tür işletme yönetimi belirlenmiştir. Birincisinde, genellikle yaşamsal konutlar, hastaneler vb. yerlerin tesisatı devamlı çalışırken sadece geceleri sıcaklık azaltılır. İkinci türde, iş yerleri, okullar vb. yerlerde ısıtma sisteminin kazanına düzenli olarak günlük 10 saat çalışmaya tamamen ara verdirilir. Üçüncü türde ise, spor salonları, sergi merkezleri vb. yerlerde kullanılan kazanların 14 saat ya da daha uzun süreyle çalışması durdurulur [10]. Bu amaçla incelenen lojman binası, birinci işletme tipi temel alınarak değerlendirilmiştir.

Bu çalışmada incelenen binanın ısı kaybı miktarı, gerekli ısı enerjisi ihtiyacı ve yanma işleminden kaynaklanan karbondioksit emisyonlarının miktarı, üç farklı durum için hesaplanmıştır. İlk durumda (I), bina duvarlarının ısı yalıtımlı olmadığı ve pencerelerinin ise binanın mimari projesine göre kaplamasız 4 mm çift cam ve ara boşluk 12 mm, ısı geçirgenlik katsayısı 2.9 (W/m²K) oldukları durumlar için ısı enerjisi hesaplamaları yapılmıştır. Gerçek durum olan ikinci durumda (II), incelenen binanın mimari projelerinde gösterilen yalıtım malzemelerine göre hesaplamaları yapılmıştır. Seçilen binanın duvarlarda, ısı iletim katsayısı 0.035 (W/mK) ve kalınlığı 5 cm olan XPS yalıtım malzemesi kullanılmıştır. Pencerelerde, birinci durumla aynı olan malzeme kullanılmıştır. Üçüncü durumda ise (III), TS825 standardında tavsiye edilen, pencere ısı geçirgenlik katsayısı 1.8 (W/m²K) (çift camlı, kaplamalı, 12 mm ara boşluklu pencere) ve duvarlarda ikinci durumdaki yalıtım özellikleri kullanıldı. Sonuç olarak, bu üç durum kapsamında gerekli tüm hesaplamalar yapıldığında, binanın yıllık yakıt tüketim miktarı, tüketim maliyeti; kömür, fueloil ve doğalgaz kullanan ısıtma sistemleri için ayrı ayrı hesaplanmıştır.

2.1. Isı Kaybı Hesabı

Binalarda ısı, yüksek sıcaklık ortamından düşük sıcaklık ortama doğru geçerek ısı kaybı meydana getirir. Binanın ısı kaybı dış duvarlar, tavanlar, zeminler, pencereler ve kapılarda meydana gelmektedir. Isıtılmış ortamlar arasındaki fark 4 °C’yi geçmiyorsa, bina bir bütün olarak ele alınır ve her ortamın sıcaklığı aynı kabul edilerek ısı kaybı hesabı yapılabilir. Binanın toplam ısı kaybı, iletim ve taşınım

yoluyla gerçekleşen ısı kaybı ve havalandırma yoluyla gerçekleşen ısı kaybının toplanması ile bulunur [11].

$$H = H_t - H_v \quad (1)$$

Bu eşitlikte yer alan H , bir hacmin toplam ısı kaybını; H_t , yapı bileşeninden olan artırılmış ısı kaybını; H_v , hava sızıntısı ısı kaybını ifade etmektedir.

2.2. Yıllık Isıtma Enerjisi ve Yakıt Tüketimi Hesabı

Bir mahallin yıllık ihtiyacı olan ısıtma enerjisi; aylık net ısı ihtiyaçlarının toplanması sonucu bulunur. Aylık net ısı ihtiyacı, iç ortamında belli bir konfor sıcaklığını sağlamak için gereken ısı enerjisi olup, aylık iç ve güneş enerjisi kazançları toplamı, ortamın aylık toplam ısı kayıplarından çıkarılarak hesaplanır. Yıllık ve aylık ısıtma enerjisi ihtiyacı aşağıdaki eşitlikler ile ifade edilebilir [11].

$$Q_{yil} = \sum Q_{ay} \quad (2)$$

$$Q_{ay} = \left[H(T_i - T_d) - \eta_{ay} (\phi_{iay} + \phi_{say}) \right] t \quad (3)$$

(2) ve (3) eşitliklerinde yer alan Q_{yil} , yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı; Q_{ay} , aylık ısıtma enerjisi ihtiyacı; H , binanın iletim ve havalandırma ile kaybedilen özgül ısı kaybını; T_i , aylık ortalama iç sıcaklığını; T_d , aylık ortalama dış sıcaklığını; η_{ay} , kazançlar için aylık ortalama kullanım faktörünü; ϕ_{iay} , aylık ortalama iç kazançları (sabit alınabilir); ϕ_{say} , aylık ortalama güneş enerjisi kazancını; t , zamanı, (saniye olarak bir ay = 86400 x 30) ifade etmektedir.

Bir mahal için belirlenen ısıtma enerjisi ihtiyacına göre tüketilen yıllık yakıt miktarı aşağıda verilen eşitlik ile belirlenebilir.

$$B_y = Q_{yil} / (H_u \eta_k) \quad (4)$$

Burada B_y , yıllık tüketilen yakıt miktarı (kg veya m³); H_u , kullanılan yakıtın alt ısıl değeri (kJ/kg veya kJ/m³); η_k , kazanın verimi (%) şeklinde tanımlanmaktadır. Yakıtların alt ısıl değeri ve kazan verimi Tablo 1'de verilmiştir.

Binanın yıllık yakıt tüketim maliyeti ise, tüketilen yakıt miktarına ve yakıt birimi fiyatına dayanarak, aşağıdaki eşitlik ile hesaplanabilir [6].

$$M_y = B_y C_{fyak} \quad (5)$$

Burada M_y , yıllık yakıt giderlerini; B_y , yıllık yakıt tüketim miktarını; C_{fyak} , yakıtın birim fiyatını ifade etmektedir. Bu çalışmada kullanılan yakıtların birim fiyatları 2019-2020 yılı dikkate alınarak düzenlenmiş ve Tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1. Yakıtların alt ısıl değeri, kazan verimi [10] ve yakıt birim fiyatı (KDV dâhil)

Yakıt türü	Yakıtın Alt Isıl Değeri (H_u)	Kazan Verimi (η_k) %	Birim	Yakıt Birim Fiyatı (C_{fyak}) TL/Birim
Fueloil	41860 kJ/kg	0.75-0.80	kg	4.3390 [12]
Linyit kömür	23020 kJ/kg	0.60-0.65	kg	1.6520 [13]
Doğalgaz	34535 kJ/m ³	0.85-0.92	m ³	1.8526 [14]

2.3. Karbondioksit Emisyonu Hesabı

Isıtma tesisatında kullanılan yakıtların yanması sonucu açığa çıkan atık gazların %85' ini CO₂, %15'lik kısmını ise yanma sonucu kalan diğer emisyon ürünleri oluşturmaktadır. Bu nedenle, karbondioksit emisyonlarının yüzdesi, yanma ürünleri emisyonlarının büyük çoğunluğunu temsil ettiğinden genellikle göz önünde bulundurulur. 5 Aralık 2008 tarih ve 27075 sayılı Resmî Gazetede yayınlanan Binalarda

Enerji Performansı Yönetmeliği'nde (BEPY), binaların yıllık CO₂ emisyonu sınırlandırılmış ve kullanılan enerji kaynağına (yakıt türüne) bağlı olarak, nihai enerji tüketimi sonucu açığa çıkan CO₂ miktarının belirlenmesi için dönüşüm katsayıları (DK) verilmiştir. Binanın net enerji tüketimine bağlı olarak kullanılan yakıt cinsine göre yıllık CO₂ emisyon miktarı aşağıda verilen denklem ile hesaplanabilmektedir [6].

$$EM_y = 0,278 \cdot 10^{-3} B_y H_u DK \quad (6)$$

Bu eşitlikte yer alan EM_y , yıllık CO₂ emisyon miktarı (kg); DK, yakıt cinsine göre CO₂ emisyonu dönüşüm katsayısını ifade etmektedir. Çalışmada kullanılan ve Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliğinde yer alan yakıt türlerinin DK (CO₂) dönüşüm katsayıları Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Yakıt türlerinin DK (CO₂) dönüşüm katsayıları [6]

Yakıt Türü	DK (CO ₂) dönüşüm katsayısı (kg eşd.CO ₂ /kWh)
İthal Kömürü	0.433
Doğalgaz	0.234
Fueloil	0.330

3. Bulgular ve Tartışma

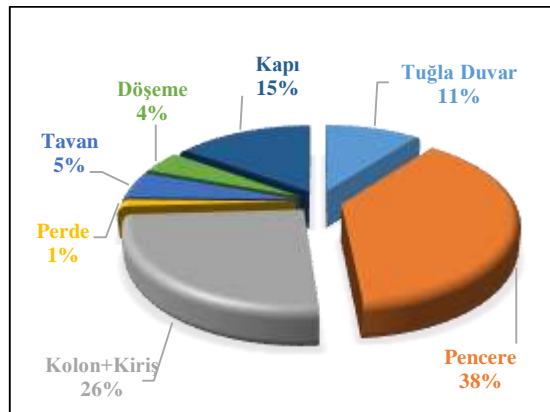
Çalışma kapsamında seçilmiş binanın izolasyon durumlarına göre özgül ısı kaybı hesaplanmış ve elde edilen değerler Tablo 3'te, binanın ısıtılması için gerekli olan enerjisi ihtiyacı ise Tablo 4'te verilmiştir. Bu sonuçlar, ısı yalıtım malzemelerinin kullanımı sırasında, toplam özgül ısı kaybı ve dolayısıyla ısıtma enerjisi ihtiyacında önemli bir azalma olduğunu göstermektedir.

Tablo 3. Bina durumuna göre toplam özgül ısı kaybı (W/°C)

Binanın Durumu	İletim ve Taşınım Yoluyla Gerçekleşen Isı Kaybı (H _t)	Havalandırma Yoluyla Gerçekleşen Isı Kaybı (H _v)	Toplam Özgül Isı Kaybı (H)
I	5458.81	2294.90	7753.71
II	2207.53	2294.90	4502.43
III	1745.55	2294.90	4040.45

Tablo 4. Bina durumuna göre toplam ısı enerjisi ihtiyacı (kWh)

Binanın Durumu	Isı enerjisi ihtiyacı	Daire başına ısı enerjisi ihtiyacı
I	590389.56	26835.89
II	291507.63	13250.35
III	251422.38	11428.27



Şekil 1. Binayı oluşturan yapı bileşenlerinin özgül ısı kaybının oransal dağılımı

Şekil 1’de mevcut durumdaki binayı (II durumu) oluşturan yapı bileşenlerinde (pencere, tuğla duvar, kolon+kiriş, perde, tavan, döşeme ve kapı) oluşan özgül ısı kaybının oransal dağılımı gösterilmiştir. Şekil 1’de görüldüğü gibi bina bileşenlerinde en fazla özgül ısı kaybı %38 oranı ile pencerelerde gerçekleşmiştir. Isı kaybının pencerelerden sonra en fazla duvarlarda (tuğla duvar, kolon+kiriş ve perde) meydana geldiği tespit edilmiştir.

TS 825 standardına göre, binalardaki birim başına düşen yıllık ısı enerjisi ihtiyacı olan Q , yine bu standartta belirtilen derece gün bölgelerine göre olması gereken maksimum ısı enerjisi ihtiyacı olan Q' değerini geçmemesi gerekmektedir. Tablo 5’te, incelenen binanın birim (m^3) başına düşen yıllık ısıtma enerjisi (kWh) ihtiyacının sonuçları verilmiştir. Tablo 5 incelendiğinde; III durumunun birim başına düşen yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı olan Q değeri, derece gün bölgesine göre olması gereken en büyük ısıtma enerjisi ihtiyacı olan Q' değerinden daha düşüktür. Dolayısıyla binada uygulanmış olan ısı yalıtımı hesap metoduna uygundur. Diğer durumlarda ise (I ve II) birim başına düşen yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı olan Q değeri, derece gün bölgesine göre olması gereken maksimum ısıtma enerjisi ihtiyacı olan Q' değerinin üzerindedir. Dolayısıyla binada uygulanmış olan ısı yalıtımı hesap metoduna uygun değildir.

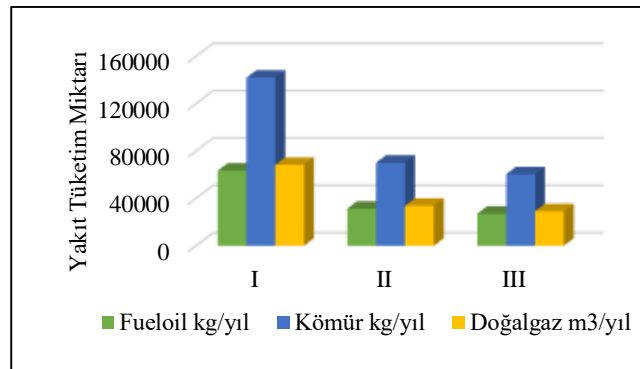
Tablo 5. Binanın birim başına düşen yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı (kWh/ m^3)

Binanın Durumu	Q	Q'	İzolasyon Durumu
I	54.33	24.99	Uygun Değil
II	26.83	24.99	Uygun Değil
III	23.14	24.99	Uygun

Isıtma enerjisi ihtiyaç değerleri hesaplandıktan sonra, kullanılan yakıt türlerine göre Eşitlik 4 kullanılarak yıllık yakıt tüketimi teorik olarak hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 6 ve Şekil 2’de verilmiştir. Bulunan bu yakıt tüketim sonuçları incelendiğinde, kömürlü merkezi ısıtma sistemindeki yakıt tüketiminin, doğalgaz ve fueloil kullanılan merkezi ısıtma sistemindeki yakıt tüketiminden daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 6. Binanın yıllık teorik yakıt tüketim miktarları

Binanın Durumu	Kullanılan Yakıt	Yakıt Tüketimi	Daire Başına Düşen Tüketim
I	Fueloil	63416.85 kg/yıl	2882.58 kg/yıl
	Kömür	141930.33 kg/yıl	6451.38 kg/yıl
	Doğalgaz	68326.93 m^3 /yıl	3105.77 m^3 /yıl
II	Fueloil	31312.37 kg/yıl	1423.29 kg/yıl
	Kömür	70078.77 kg/yıl	3185.40 kg/yıl
	Doğalgaz	33736.74 m^3 /yıl	1533.49 m^3 /yıl
III	Fueloil	27006.60 kg/yıl	1227.57 kg/yıl
	Kömür	60442.23 kg/yıl	2747.37 kg/yıl
	Doğalgaz	29097.60 m^3 /yıl	1322.62 m^3 /yıl

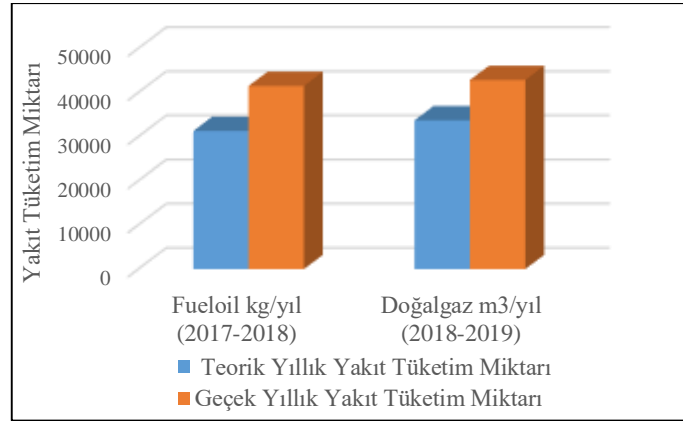


Şekil 2. Binanın yıllık teorik yakıt tüketim miktarları

Binanın mevcut durumunda (II) ısıtma sezonları için gerçek yıllık yakıt tüketim miktarı Bitlis Eren Üniversitesi Rektörlüğünden resmi kayıtlarından alınarak teorik sonuçlar ile birlikte Tablo 7 ve Şekil 3’de verilmiştir. Bina merkezi ısıtma sistemindeki teorik yıllık yakıt tüketim değerleri ile gerçek yıllık yakıt tüketim değerleri karşılaştırıldığında, gerçek tüketimin yaklaşık olarak %21-25 oranında daha fazla olduğu görülmüştür. Gerçek tüketimdeki artışın en önemli sebeplerden biri, binanın iç ısıısının neden olduğu sıcaklık değerinin kullanıcılar için ısı konfor sağlayan sıcaklık değerinden (TS825’e göre 19°C) daha fazla olduğu düşünülmektedir.

Tablo 7. Bina merkezi ısıtma sezonları için teorik ve gerçek yıllık yakıt tüketim miktarı

Isıtma Sezonu	Yakıt Türü	Teorik Tüketim	Gerçek Tüketimi	Artış Oranı (%)
2017-2018	Fueloil	31312.37 kg/yıl	41500 kg/yıl	24.55
-	Kömür	70078.77 kg/yıl	Kullanılmadı	-
2018-2019	Doğalgaz	33736.74 m ³ /yıl	42862 m ³ /yıl	21.29

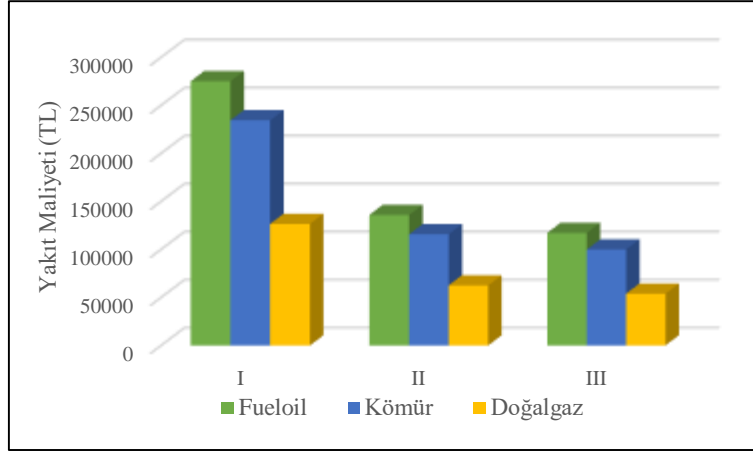


Şekil 3. Isıtma sezonları için binanın teorik ve gerçek yıllık yakıt tüketimi

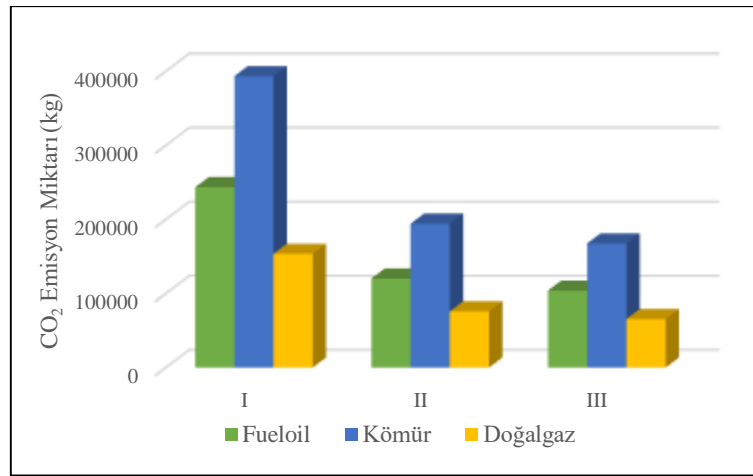
Tablo 6’da elde edilen yıllık teorik yakıt tüketim değerleri, Eşitlik 5’ten faydalanılarak yakıtların birim fiyatları ile çarpılmış ve bina durumuna göre yıllık yakıt tüketim maliyeti teorik hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 8 ve Şekil 4’de verilmiştir. Bina durumuna göre yakıt tüketimine bağlı olarak oluşan yıllık teorik CO₂ emisyon miktarları ise Şekil 5’de verilmiştir.

Tablo 8. Bina durumuna göre yıllık teorik yakıt tüketimi maliyeti (TL)

Binanın Durumu	Yakıt Türleri	Toplam Maliyeti	Daire Başına Düşen Maliyet
I	Fueloil	275165.71	12507.53
	Kömür	234468.91	10657.68
	Doğalgaz	126582.47	5753.75
II	Fueloil	135864.37	6175.65
	Kömür	115770.13	5262.28
	Doğalgaz	62500.68	2840.94
III	Fueloil	117181.64	5326.44
	Kömür	99850.56	4538.66
	Doğalgaz	53906.21	2450.28



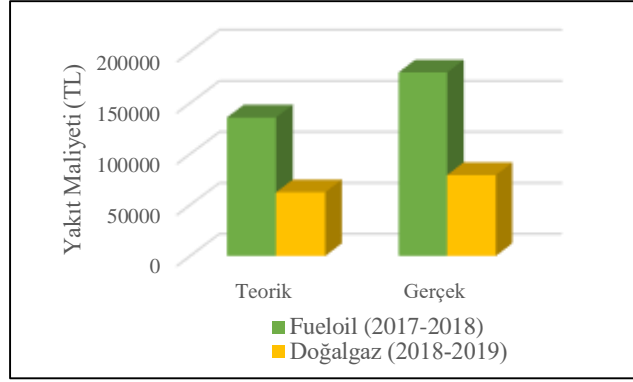
Şekil 4. Bina durumuna göre yıllık teorik yakıt tüketim maliyeti



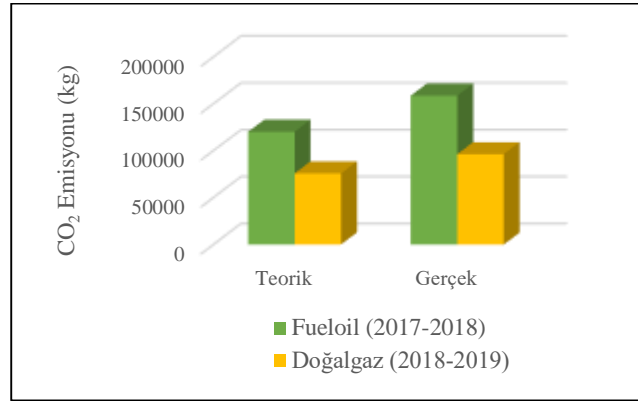
Şekil 5. Bina durumuna göre oluşan teorik CO₂ emisyonu

Tablo 8, Şekil 4 ve Şekil 5 incelendiğinde; binanın ikinci durumu (duvar yalıtımlı-pencere yalıtımsız) birinci duruma göre (duvar yalıtımsız-pencere yalıtımsız), yıllık teorik yakıt tüketim maliyeti ve CO₂ emisyon miktarının %49 oranında az olduğu tespit edilmiştir. Üçüncü bina durumu (duvar yalıtımlı-pencere yalıtımlı) ikinci duruma göre yıllık yakıt tüketim maliyeti ve CO₂ emisyon miktarının yaklaşık %10 oranında daha az olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, ısıtma sisteminde kullanılan yakıt türüne bağlı olarak yapılan karşılaştırmada elde edilen sonuçlar şu şekildedir: Fueloil yakıtı yerine doğalgaz yakıtı kullanıldığında, yıllık yakıt tüketim maliyetinin %54 oranında ve kömür yakıtı yerine doğalgaz yakıtı kullanılırken ise yıllık yakıt tüketim maliyetinin %46 oranında azaldığı tespit edilmiştir. Yapılan teorik hesaplamalar sonucunda; ekonomiklik ve tasarruf noktasında maliyeti en yüksek olan fueloil ve en düşük olanın ise doğalgaz yakıtı olduğu tespit edilmiştir. Karbondioksit emisyonu açısından, fueloil yakıtı yerine doğalgaz yakıtı kullanıldığında CO₂ emisyon miktarının %37 oranında ve kömür yakıtı yerine doğalgaz yakıtı kullanıldığında ise CO₂ emisyon miktarının %61 oranında azaldığı tespit edilmiştir. Bu tespitlerden yola çıkarak teorik hesaplamalar sonucunda mevcut yakıtlar içerisinde, çevreye en zararlı yakıtın kömür, en çevre dostu yakıtın ise doğalgaz olduğu tespit edilmiştir.

Mevcut binanın (II) Tablo 7'de ısıtma sezonları için verilen bilgiler kullanılarak Eşitlik 5 yardımı ile yakıt tüketim maliyetlerinin teorik ve gerçek değerleri Şekil 6'da verilmiştir. Yine Tablo 7'deki ısıtma sezonu için verilen mevcut değerler kullanılarak Eşitlik 6 yardımı ile yakıt tüketimi sonucu oluşan CO₂ emisyonu Şekil 7'de gösterilmiştir.



Şekil 6. Binada ısıtma sezonlarında oluşan yakıt tüketim maliyeti



Şekil 7. Bina ısıtma sezonlarında oluşan CO₂ emisyonu

Binada verilen ısıtma sezonları için kullanılan yakıtların tüketimi sonucu oluşan maliyetler incelendiğinde (Şekil 6); yakıtların gerçek maliyetlerin teorik maliyetlerinden daha fazla olduğu, bu fazlalık fueloil yakıtında %25, doğalgaz yakıtında ise %21'lik bir artışı gösterdiği belirlenmiştir. Hem teorik hem de gerçek yakıt tüketimi maliyetlerde en düşük değer doğalgaz yakıtında meydana geldiği görülmüştür. İlgili binada fueloil yakıtı yerine doğalgaz yakıtının kullanılması durumunda, yakıt tüketim maliyetinin teorik %46, gerçek %44 oranında azaldığı tespit edilmiştir. Yakıt tüketimi bakımından en ekonomik yakıtın doğalgaz yakıtı olduğu görülmüştür.

Isıtma sezonları süresince verilen yakıtların tüketimi sonucu oluşan CO₂ emisyonları incelendiğinde (Şekil 7); gerçek emisyon değerlerinin teorik değerlerden daha fazla olduğu görülmüştür. Doğalgaz yakıtının kullanılması durumunda teorik ve gerçek en düşük CO₂ emisyonunun meydana geldiği belirlenmiştir. Binada fueloil yakıtı yerine doğalgaz yakıtının kullanılması durumunda, CO₂ emisyonu miktarının teorik %63, gerçek %61 oranında düştüğü tespit edilmiştir. Bu bakımdan kullanılan yakıtlar içerisinde çevre ve insan sağlığı açısından en uygun yakıtın doğalgaz yakıtı olduğu tespit edilmiştir. Oğuz ve Kırmacı yaptıkları çalışmada [6], ikinci iklim bölgesinde bulunan Bartın ili için kömürlü, fueloil ve doğalgazlı yakıt türlerinin kullanıldığı 4 farklı ısıtma sistemi ile ilgili yaptıkları çalışmada en verimli, en ekonomik ve en çevreci ısıtma sisteminin doğal gazlı merkezi ısıtma sistemi olduğunu belirtmişlerdir. Bu bakımdan bu çalışma ile benzer bir sonuca ulaşmışlardır.

4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada kış aylarının soğuk, kar yağışlı ve uzun sürdüğü Bitlis İli Rahva yerleşkesinde kurulan Bitlis Eren Üniversitesi Kampüsü'ndeki personel lojmanlarının ısıtılmasında kullanılan farklı yakıt türlerinin enerji verimliliği, ısıtma maliyetleri, enerji tasarrufu ve yakıt tüketimi ile oluşan CO₂ emisyonları araştırılmıştır. Çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

- Çalışma kapsamında seçilmiş binanın izolasyon durumlarına göre yapılan ısı kayıpları hesaplamaları sonucu, ısı yalıtım malzemelerinin kullanılmasının özgül ısı kaybı ve binanın ısıtılması için gerekli ısıtma enerjisi ihtiyacında önemli bir azalma olduğu bulunmuştur. Binanın yapı bileşenleri içerisinde en fazla ısı kayıplarının %38 oranında pencerelerde gerçekleştiği

belirlenmiştir.

- Mevcut II durumunda bulunan binanın birim başına düşen yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacının, derece gün bölgesine göre olması gereken en büyük ısıtma enerjisi ihtiyacına göre karşılaştırılmasında, binada uygulanmış olan ısı yalıtımının istenilen düzeyde olmadığı, bu binanın izolasyonunun düzenlemeye ihtiyaç duyduğu belirlenmiştir.
- Binanın teorik ısıtma enerjisi ihtiyacı değerleri dikkate alınarak ısıtma sisteminde kullanılan yakıt türlerine göre hesaplanan yıllık tüketimi miktarları ile gerçekte kullanılan yakıt tüketim miktarlarına göre, kömür kullanan merkezi ısıtma sistemindeki yakıt tüketimi miktarının diğer yakıt türlerine göre en yüksek değerde gerçekleştiği belirlenmiştir. Ayrıca mevcut binanın yıllık gerçek yakıt tüketim miktarlarının teorik yıllık yakıt tüketim değerlerinden yaklaşık %11-25 oranları arasında fazla olduğu tespit edilmiştir.
- Farklı bina durumları için hesaplanan yıllık teorik yakıt tüketim maliyetlerine göre, en maliyetli yakıtın fueloil en düşük maliyetli yakıtın ise doğalgaz olduğu bulunmuştur. Yıllık yakıt tüketim maliyeti ve oluşan CO₂ emisyon değerlerine göre en düşük oran üçüncü durumdaki binada gerçekleştiği görülmüştür. Yakıt türüne bağlı olarak, fueloil yakıtı yerine doğalgaz yakıtı kullanıldığında, yıllık yakıt tüketim maliyetinin %54 oranında, kömür yakıtı yerine doğalgaz yakıtı kullanılması durumunda ise yıllık yakıt tüketim maliyetinin %46 oranında azaldığı tespit edilmiştir. Karbondioksit emisyonu açısından, fueloil yakıtı yerine doğalgaz yakıtı kullanıldığında CO₂ emisyon miktarının %37 oranında ve kömür yakıtı yerine doğalgaz yakıtı kullanılması durumunda ise CO₂ emisyon miktarının %61 oranında azaldığı tespit edilmiştir. Teorik hesaplamalar sonucunda mevcut yakıtlar içerisinde, çevreye en zararlı yakıtın kömür, en çevre dostu yakıtın ise doğalgaz olduğu tespit edilmiştir.
- Hali hazırda kullanılan binanın (II durumu) ısıtma sezonları için verilen bilgilerin kullanılmasıyla yakıtların tüketimi sonucu oluşan maliyetler incelendiğinde; yakıtların gerçek maliyetlerin teorik maliyetlerinden daha fazla olduğu, bu fazlalık fueloil yakıtında %25, doğalgaz yakıtında ise %21'lik bir artışı gösterdiği belirlenmiştir. Hem teorik hem de gerçek yakıt tüketimi maliyetlerde en düşük değer doğalgaz yakıtında meydana geldiği görülmüştür. İlgili binada fueloil yakıtı yerine doğalgaz yakıtının kullanılması durumunda, yakıt tüketim maliyetinin teorik %46, gerçek %44 oranında azaldığı tespit edilmiştir. Yakıt tüketimi bakımından en ekonomik, en verimli yakıtın doğalgaz yakıtı olduğu görülmüştür. Aynı durumdaki binanın ısıtma sezonları süresince verilen yakıtların tüketimi sonucu oluşan CO₂ emisyonları incelendiğinde; gerçek emisyon değerlerinin teorik değerlerden daha fazla olduğu, teorik ve gerçek en düşük CO₂ emisyonunun doğalgaz yakıtında gerçekleştiği belirlenmiştir. Binada fueloil yakıtı yerine doğalgaz yakıtının kullanılması durumunda, CO₂ emisyonu miktarının teorik %63, gerçek %61 oranında düştüğü tespit edilmiştir. Doğalgaz yakıtının kullanılan yakıtlar içerisinde çevre ve insan sağlığı açısından en uygun yakıtın olduğu tespit edilmiştir.
- Yukarıda belirtilen değerlendirmeler ışığında Bitlis İli için merkezi ısıtma sistemlerinde mevcut yakıtlar içerisinde en ekonomik, en tasarruflu ve en çevreci yakıt türünün doğalgaz olduğu sonucuna varılmıştır.

Teşekkür

Çalışma kapsamında verdikleri bilgiler için Bitlis Eren Üniversitesi Yapı İşlemleri ve Teknik Daire Başkanlığı ile İdari ve Mali İşler Daire Başkanlığı personellerine teşekkür ederiz.

Yazarların Katkısı

Bu çalışma, Dr. Öğr. Üyesi Faruk ORAL danışmanlığında Ali ELHUVEYDİ tarafından hazırlanan yüksek lisans tez çalışmasından üretilmiştir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar

- [1] Çomaklı K., Çakır U., Efe Ş. 2011. Farklı Bina Tipleri ve Yakıtlar İçin Merkezi Isıtma Sistemlerinin Maliyet Analizi. 10.Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, 13-16 Nisan, İzmir.
- [2] Rüşen S.E., Topçu M.A., Celep G.K., Çeltek S.A., Rüşen A. 2018. Üniversite Kampüs Binaları İçin Enerji Etüdü: Örnek Çalışma. Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 33 (2): 83-92.
- [3] Doğan H., Yılankırkan N. 2015. Türkiye'nin Enerji Verimliliği Potansiyeli ve Projeksiyonu. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 3 (1): 375-383.
- [4] Gürel A.E., Daşdemir A. 2011. Türkiye'nin Dört Farklı İklim Bölgesinde Isıtma ve Soğutma Yükleri İçin Optimum Yalıtım Kalınlıklarının Belirlenmesi. Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 27 (4): 346-352.
- [5] Yılmaz A. 2012. Apartmanların Dış Kabuğuna Uygulanan Isı Yalıtımının Bina Enerji Performansına Etkisi (Konya ve Erzincan Örneği). Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- [6] Oğuz Y., Kırmacı V. 2015. Bartın İlinde Kullanılan Isıtma Sistemlerinin Ekonomik ve Çevresel Etkilerinin İncelenmesi. Bartın Üniversitesi Mühendislik ve Teknoloji Bilimleri Dergisi, 3 (1): 4-10.
- [7] Kaya M., Fırat İ., Çomaklı Ö. 2016. Economic Analysis of Effect on Energy Saving of Thermal Insulation at Buildings in Erzincan Provice. Journal of Thermal Science and Technology, 36 (1): 47-55.
- [8] Canbolat A.S., Kaynaklı Ö., Türkan B., Etemoğlu A.B., Yamankaradeniz R. 2018. Farklı İklimsel Bölgelerde Bulunan Binalarda Yapılan Yalıtımın Termal ve Ekonomik Analizi. Engineering Sciences, 13 (2): 85-95.
- [9] Manioğlu G. 2015. Isıtma Sisteminin İşletme Biçiminin Bina Kabuğuna Bağlı Olarak Isıtma Enerjisi Ekonomisi Açısından Belirlenmesi. Tesisat Mühendisliği Dergisi, 85: 7-16.
- [10] Karakoç T.H. 2011. KTH Kalorifer Tesisatı Hesabı Verimli Sistemler. Anadolu Üniversitesi, Nisan Kitabevi Ders Kitapları Yayınları, Eskişehir.
- [11] TS 825, Binalarda Isı Yalıtım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Aralık 2013.
- [12] <https://www.hakedis.org/endeksler/epdk-akaryakit-bayi-satis-fiyatları> (Erişim tarihi: 25.02.2020).
- [13] 2019-2020 Yılı için kömür birim fiyatı. <https://www.enerjiportali.com/kömür-fiyatları-2/> (Erişim tarihi:15.5.2019).
- [14] <https://dogugaz.com.tr/iletisim.php> (Erişim tarihi: 05.02.2020).

Araştırma Makalesi / Research Article

Effects of Fennel and Cumin Extracts on Flax Seed Germination Parameters and Mitotic Activity in the Root Tip Cells

Osman GEDİK*, Ömer Süha USLU

*Kahramanmaraş Sutcu Imam University, Agriculture Faculty, Field Crop Department, Kahramanmaraş
(ORCID: 0000-0002-4816-3154) (ORCID: 0000-0003-0858-0305)*

Abstract

This study was carried out to determine the effects of cumin and fennel seeds extracts, on the germination, seedling development and mitotic activity in root end meristem cells of flax seed. The experiment was established in laboratory according to randomized plot factorial experiment design with three replications in incubator having 23 °C temperature. At the end of 14 days of germination period some germination parameters were measured. According to the control, it was observed that fennel extract applications positively affected the germination and seedling development of flax seed except 100 g/l dose. While germination is seen at 100 g/l, seedling growth is completely prevented. It was observed that all cumin extract applications had a negative effect on the germination and seedling development of flax seed compared to the control. This negativity has shown more effect in increasing doses. While the germination rate is gradually decreasing in increasing doses, it is observed that the growth of seedlings is completely prevented except 12.5 and 25 g/l cumin extract. Increased doses at doses other than 100 g/l increased the mitotic index in fennel extract application and decreased the dose increase in cumin extract application. The percentage of chromosomal abnormality decreased in parallel with the increase in doses other than 100 g/l in fennel, but percentage of chromosomal abnormality increase with increasing doses in cumin extract. During mitotic examinations; mitotic abnormalities such as failure to collect the metaphase plate, bridge in anaphase and telophase were observed and their pictures were recorded.

Keywords: Cumin, Fennel, Germination, Mitotic activity, Plant extract.

Rezene ve Kimyon Ekstraktlarının Keten Tohumunun Çimlenme Parametreleri ve Kök Ucu Hücrelerinde Mitotik Aktivite Üzerine Etkisi

Öz

Bu çalışma kimyon ve rezene tohum ekstraktlarının keten tohumunun çimlenme, fide gelişimi ve kök ucu meristem hücreleri üzerindeki mitotik aktivitelerini belirlemek amacıyla yapılmıştır. Araştırma, laboratuvar koşullarında 23 °C'deki inkübatörde tesadüf parsellerinde faktöriyel deneme desenine göre üç tekerrürlü olarak yürütülmüştür. İki farklı öğütülmüş tohum türünden 4 farklı çözelti hazırlanmıştır. 14 günlük çimlenme süresinin sonunda, bazı çimlenme parametreleri ölçülmüştür. Kontrol uygulamasına göre, rezene ekstraktı uygulamalarının 100 g/l dozu hariç keten tohumunun çimlenmeyi teşvik ettiği ve fide gelişimini olumlu yönde etkilediği görülmüştür. 100 g/l dozunda çimlenme görülürken, fide büyümesi tamamen engellenmiştir. Tüm kimyon ekstraktı uygulamalarının, kontrol uygulamasına kıyasla keten tohumunun çimlenme ve fide gelişimi üzerinde olumsuz bir etkisi olduğu belirlenmiştir. Bu olumsuzluk artan dozlarda daha fazla etki göstermiştir. Çimlenme oranı artan dozlarda kademeli olarak düşerken, 12.5 ve 25 g/l kimyon ekstraktı uygulamaları haricinde fide büyümesinin tamamen önlediği görülmüştür. 100 g/l dışındaki dozlar, rezene ekstraktı uygulamasında mitotik indeksi artırırken kimyon ekstraktı uygulamasında doz artışı mitotik indeksi azaltmıştır. Kromozomal anormallik yüzdesi, rezenerde 100 g/l dışındaki dozlardaki artışa paralel olarak azalmış, ancak kimyon ekstraktında artan dozlarla kromozomal anormallik yüzdesi artmıştır. Mitotik incelemelerde; metafaz plağında toplanamama, anafazda ve telofazda köprü gibi mitotik anormallikler gözlenmiş ve resimleri kaydedilmiştir.

Anahtar kelimeler: Kimyon, Rezene, Çimlenme, Mitotik aktivite, Bitki ekstraktı.

1. Introduction

Some plants contain a number of substances that inhibit the metabolism of other plants. The presence of these substances has been known for centuries [1, 2]. The term, allelopathy, is an important evidence

*Corresponding author: ogedik@ksu.edu.tr

Received: 06.10.2020, Accepted: 11.01.2021

of the interaction between plant species or microorganisms. These interactions between species may be negative or positive [3]. Allelopathic substances may inhibit germination and growth of the same plant variety, as well as other plants. It may also prevent the development of alternation plants [4]. Research has shown that allelochemicals prevent or inhibit seed germination and plant growth [5]. According to Fateh et al. [4] the beneficial and harmful chemical interactions of plants and microorganisms were first described by Molisch [6] as allelopathy. Most of the allelochemicals that the plants have are secreted from leaves, stalks, roots, fruits and seeds. They affect the growth of other plants; especially phytotoxic dissociation caused a wide range of harmful effects on growth and development. Various secondary plant products are among allelopathic compounds. As the most common allelopathic substances; phenolic compounds including phenols, phenolic acids, cinnamic acid derivatives, coumarins, flavonoids, quinines and tannins are counted [4]. Plants such as roots, stems and leaves, or the chemicals that arise from the decomposition of these organs have allelopathic effects that often lead to production losses in varying proportions [7]. When previous studies on allelopathy are examined; Kim [8] reported that allelopathic substances secreted by the tomato plant prevent germination and seedling growth in lettuce, grown in the same location. In a study carried out by Uygur et al. [9] in Cukurova, it was revealed that Antep radish (*Raphanus sativus*) could be used successfully in the natural struggle with Johnson grass (*Sorghum halepense*) [10]. Hesabi [11], in order to determine the effects of yarrow herbal extract on germination of canola and yellow flax seeds, used the shoot and root portion of yarrow, prepared 5 different doses of solution and found that these extracts increased the percentage of germination, root and shoot length in increasing doses. A higher germination rate was obtained in yellow flax and canola seeds compared to the control (pure water) application. The aim of this study was to determine the allelopathic effect of extracts obtained from fennel and cumin seeds on seed germination and mitotic stages in stem tip meristem cells of flax.

2. Materials and Methods

The research was carried out in February 2017 at Kahramanmaraş Sutcu Imam University, Faculty of Agriculture, Field Crops Department and Medicinal Plants Laboratory. The study was established according to the factorial arrangement in randomized complete block design with 3 replications. 50 grams of ground cumin and fennel seeds were collected and placed in 1000 ml volumetric flask. These samples were added to 500 ml of distilled water and extracted for 3 hours in the Neo-Clevenger apparatus. As a result of the extraction, 100 g/l dose was formed. This dose was diluted and other doses (12.5, 25 and 50 g/l) were obtained. All of the solutions were prepared using pure water. The base of each Petri dish (110 mm) is covered with two layers of Whatman filter paper. Then, 10 ml of the solutions were taken and the drying papers were wetted and 25 pieces of flax seed were planted. Seeds placed in Petri dishes were allowed to germinate for 14 days in an incubator with a temperature of $23 \pm 1^\circ\text{C}$. The germination rate, radicle length, plumule length, seedling length, seedling fresh weight, seedling dry weight and vigor index values were measured. Seed germination was divided into total number of seeds and then multiplied by 100 and the germination rate was found. The radicle and plumule lengths were measured separately with the help of the ruler, and then both were collected and the seedling length was calculated. Radicle and plumula were weighed freshly and the fresh weight of the seedling was measured and then it was kept at 78°C for 24 hours and the seedlings were weighed dry again. To find the vigor index, the seedling length was multiplied by the germination rate [3]. For the mitotic analysis, 10 germinated seeds with a root length of 2 mm were taken and fixed in glacial acetic acid-ethanol solution (1:3) in refrigerator for 24 hours. After fixation, they were stored in 70% alcohol. In order to examine the mitotic activities in root tip cells, the root tips were hydrolysed in 1 N HCl. In the dark one hour is stained with Feulgen. At the end of the dyeing process, at least five slides of these root tips were prepared and mitotic stages were examined and the phases of the cells counted under the microscope were taken [12]. The data in the study were subjected to variance analysis using SAS 9.4 statistical program (SAS, 2014). Averages compared to Least Significant Differences (LSD) test (Steel and Torrie, 1980).

3. Results and Discussion

3.1. Germination and seedling development results

3.1.1. Germination rate (%)

As a result of the application of fennel extracts as shown in Table 1, the highest germination rate in flax seeds was obtained as 93% in fennel extracts of 25 and 50 g/l, while the lowest germination rate was 87% in control application. In the application of cumin extracts, the highest germination rate was obtained in control application with 84%, while the lowest germination rate was 4% in 50 g/l of cumin extract. As seen in Table 1, the difference between the average germination rate of fennel and cumin extracts was statistically significant. The average germination rate of fennel extract was obtained as 91%. This value was found to be 29% in cumin application. Application of fennel extract promotes germination, while cumin extract applications have decelerated germination.

3.1.2. Radicle length (cm)

According to Table 1, the highest radicle length in flax seeds was obtained as 4.22 cm from 12.5 g/l fennel extract. In addition, the lowest radicle length was obtained as 2.91 cm from 25 g/l fennel application. In the application of 100 g/l fennel extract, the elongation is completely prevented. In the application of cumin extracts, the highest radicle length was found as 3.09 cm in the control application, followed by 12.5 g/l and 25 g/l applications as 0.76 cm and 0.02 cm respectively. In 50 g/l and 100 g/l cumin extract applications, radicle growth was completely stopped. As seen in Table 1, the difference between the radicle length averages obtained from fennel and cumin extracts was statistically significant. While the average of radicle length was 2.75 cm in fennel extract application, this value was found to be 0.77 cm in cumin application. Applications of cumin extract halted the development of radicle while fennel extract application promotes radicle development.

Table 1. Effects of cumin and fennel extracts on germination and seedling development of flax seed

		GR (%)	RL (cm)	PL (cm)	SL (cm)	SFW (g)	SDW (g)	VI
		**	**	**	**	**	**	**
Extracts	Fennel	91 a	2.75 a	7.65 a	10.41 a	0.629 a	0.041 a	953 a
	Cumin	29 b	0.77 b	2.42 b	3.19 b	0.178 b	0.010 b	249 b
	LSD	7.15	0.62	0.65	1.06	0.062	0.014	100.7
		**	**	**	**	**	*	**
Control	0	86 a	3.00 abc	9.38 ab	12.39 ab	0.701 ab	0.041 b	1057 ab
	100	88 a	no	no	no	no	no	no
Fennel (g/l)	50	93 a	3.72 ab	9.51 ab	13.24 ab	0.790 ab	0.042 b	1239 c
	25	93 a	2.91 abc	8.47 ab	11.38 ab	0.798 ab	0.044 b	1062 ab
	12.5	92 a	4.22 a	11.12 a	15.35 a	0.865 a	0.077 a	1414 a
	100	9 b	no	no	no	no	no	no
Cumin (g/l)	50	4 b	no	no	no	no	no	no
	25	7 b	0.02 c	0.03 c	0.05 c	0.006 c	0.001c	0.33 c
	12.5	43 ab	0.76 bc	2.49 bc	3.26 bc	0.178 bc	0.015c	177 bc
	LSD	55.93	2.96	7.648	10.57	0.6469	0.02437	1005
	CV (%)	15.54	45.86	16.84	20.25	20.07	66.93	21.85

**Significant at $P < 0.01$; * Significant at $P < 0.05$; no: no observation; GR: Germination Rate; RL: Radicle Length; PL: Plumula Length; SL: Seedling Length, SFW: Seedling Fresh Weight; SDW: Seedling Dry Weight; VI: Vigour Index

3.1.3. Plumule length (cm)

As shown in Table 1, the highest plumule length in flax seeds was obtained as 11.12 cm in 12.5 g/l fennel extracts, while the lowest plumula length was obtained as 8.47 cm in 25 g/l fennel extracts. In

the application of 100 g/l fennel extract, the elongation is completely prevented. In the application of cumin extracts, the highest plumule length was 9.58 cm in the control application, followed by 12.5 g/l and 25 g/l applications as 2.49 cm and 0.03 cm, respectively. Plumule growth was completely prevented in 50 g/l and 100 g/l cumin extract applications. As seen in Table 1, the difference between plumule length averages obtained from fennel and cumin extracts was statistically significant. While the average length of the plumule was obtained as 7.65 cm in fennel extract application, this value was 2.42 cm in cumin application. Applications of cumin extract halted the development of plumule while fennel extract application promotes the development of plumule.

3.1.4. Seedling length (cm)

As a result of the application of fennel extracts, the highest seedling length in flax seeds was obtained from 12.5 g/l fennel extracts as 15.35 cm, while the lowest seedling length was obtained as 11.38 cm in 25 g/l fennel application. In the application of 100 g/l fennel extract, the elongation is completely prevented. In the application of cumin extract, the highest seedling length was obtained with 12.67 cm in the control application, followed by 12.5 g/l and 25 g/l as 3.26 cm and 0.05 cm respectively. Plumule growth was completely prevented in 50 g/l and 100 g/l cumin extract applications. The difference between seedling length averages obtained from fennel and cumin extracts was statistically significant. The average length of the seedling was obtained as 10.41 cm in fennel extract, while this value was 3.19 cm in cumin application (Table 1). Applications of cumin extract prevented the growth of seedlings while fennel extract application promotes the growth of seedlings.

3.1.5. Seedling fresh weight (g)

According to Table 1, the highest seedling fresh weight in flax seeds was obtained from 12.5 g/l fennel extracts as 0.865 g, while the lowest seedling fresh weight was obtained as 0.692 g in the control application. In the application of cumin extracts, the highest seedling fresh weight was obtained in the control application as 0.71 g, while the lowest seedling fresh weight was obtained as 0.006 g in 25 g/l cumin extract. In 50 g/l and 100 g/l cumin extract applications, seedling development is completely prevented. As seen in Table 1, the difference between the average seedling fresh weight obtained from fennel and cumin extract applications was statistically significant. In the fennel extract application, the average seedling fresh weight was obtained as 0.629 g, in the cumin extract application this value was obtained as 0.178 g. Fennel extract application increased seedling fresh weight value while cumin extract applications lowered this value due to stagnation in seedling development.

3.1.6. Seedling dry weight (g)

The highest seedling dry weight in flax seeds was obtained as 0.077 g in 12.5 g/l fennel extracts application while the lowest seedling dry weight was obtained as 0.042 g in 50 g/l application. Seedling development was completely prevented in 100 g/l application (Table 1). In the application of cumin extracts, the highest seedling dry weight was obtained as 0.037 g in control application while the lowest seedling dry weight was obtained as 0.001g in 25 g/l cumin extract. In 50 g/l and 100 g/l cumin extract applications, seedling development is completely prevented. As seen in Table 1, the difference between seedling dry weight averages obtained from fennel and cumin extract applications was statistically significant. In the fennel extract application, seedling dry weight averages were obtained as 0.041 g, while in cumin application this value was found as 0.010 g. Fennel extract application increased seedling dry weight value while cumin extract applications decreased this value due to stagnation in seedling development.

3.1.7. Vigor index

As a result of the application of fennel, the highest vigor index in flax seeds was obtained in 12.5 g/l fennel extract application as 1414, while the lowest vigor index was obtained from control application as 1048. This value could not be calculated since seedling development was completely prevented in 100 g/l application. In the application of cumin extracts, the highest vigor index was obtained in the

control application as 1066 while the lowest vigor index was obtained from 12.5 g/l cumin extract application as 177. In 50 g/l and 100 g/l cumin extract applications, vigor index value could not be calculated since seedling development was prevented completely (Table 1). As seen in Table 1, the difference between vigor index means obtained from fennel and cumin extracts were statistically significant. While the average vigor index value of fennel extract was obtained as 953. This value was found to be 249 in cumin application. Fennel extract application increased mean vigor index value while cumin extract applications decreased this value due to germination and stagnation in seedling development.

According to Özbay [10], in order to determine the allelopathic effects of some weeds, medicinal and aromatic plants on germination and seedling growth of pepper (*Capsicum annuum* L.), the study was carried out with laboratory and greenhouse experiments. The water extracts were obtained from fennel (*Foeniculum vulgare*), hibiscus (*Malva sylvestris*), red clover (*Trifolium pratense* L.), mustard (*Brassica nigra*), dill (*Anethum graveolens*), mother of pearl (*Ruta graveolens* L.), cumin (*Cuminum cyminum* L.) and liquorice (*Glycyrrhiza glabra* L.). According to this study, inhibition effect and rate varies depending on the plants tested and concentration and applications. Especially fennel (10%), hibiscus (10%), pearl grass (10%), liquorice (10%) and mustard (10%) on pepper seedlings other inhibitory effects was found to be more than the others applications. In a study conducted on five indigenous and five nonindigenous invasive plant species commonly grown in China. The different concentrations of extracts obtained from leaves and roots of *Chromolaena odorata* (control, 1%, 5% and 10%) were investigated for allelopathic effect of invasive plant species on seed germination. Extracts prepared from *C. odorata* leaves and roots limited seed germination, root and stem length development in identified species. This inhibitory effect is generally increased with an increase in extract concentration and has been reported to be more pronounced in leaf extract than in root extract [15]. According to Kadioglu and Yanar's [16] study on 22 different plant extracts on the germination of nine different wild plant seeds, it was found that all weed extracts, except *Lolium temulentum* L., stimulated seed germination of *Descurania sophia* at different levels. Germination of *Lolium perenne* L. was most strongly inhibited by the extracts of *Salvia officinalis* L., *Laurus nobilis* L. and *Artemisia vulgaris* L. According to Horoz [17], extracts obtained from leaf, stem and roots of flowering and pre-flowering periods of Andyba (*Inula viscosa* (L.) Aiton) and coke tree (*Ailanthus altissima* (Mill.) Swing); *Amaranthus albus* L., *Amaranthus hybridus* L., *Amaranthus retroflexus* L., *Avena sterilis* L., *Echinochloa crus-galli* (L.) P. Beauv., *Echinochloa colonum* (L.) Link., *Hirschfeldia incana* (L.) Lagr. Foss., *Lolium multiflorum* (L.) Lam., *Portulaca oleracea* L., *Setaria verticillata* (L.) P. Beauv., *Sinapis arvensis* L. and some cultivated plants; allelopathic activity of *Capsicum annuum* L., *Lycopersicon esculentum* L., *Triticum durum* L., *Triticum aestivum* L. and *Zea mays* L. were investigated. According to the results, allelopathic activity of plant extracts increased in parallel with increasing doses (1%, 2%, 4%, 8% and 16%), weeds significantly prevent seed germination. As stated in Horoz [17], according to Sözeri and Ayhan [18], the root and leaf-water extract concentrations of *Taraxacum officinale* in 1/4, 1/8, 1/12, 1/16 ratios, *Festuca arundinacea* (fine lawn), *F. avina* (crystal), *F. rubra* var. *rubra* (franklin), *F. rubra* var. *commutata* (tamara), *F. rubra* var. *trichophylla*, *F. perene* (peramo) varieties have been investigated for allelopathic effects on germination and root development, *T. officinale*'s leaf-water extracts *F. rubra* var. *rubra* and *F. rubra* var. *trichophylla* has been reported to promote seed germination, but seedling deaths have been reported after emergence. Burgos and Talbert [19], rye (*Secale cereale*) in the water extract allelochemicals *Cucumis melo*, *Cucumis sativus* and *Cucurbita pepo* was found to have the ability to inhibit shoot development. Turk and Tawaha [20] found that *Brassica nigra* L. (black mustard) contains water-soluble substances that prevent the growth of seedlings and seed germination of *Avena fatua* L. (wild oats). They found that the aqueous extracts of shredded *B. nigra* affected germination, seedling length and weight of *Avena fatua* in parallel with the increase in concentration. *Melissa officinalis*'s ground plant parts of young plants of 30 days; *Amaranthus caudatus* L. inhibited germination and shoot growth of *Digitaria sanguinalis* (L.) Scop and *Lactuca sativa* L. seeds. [21]. Kordali et al. [22], *Achillea biebersteinii* and *A. gypsicola* in the study of the effects of essential oils and extracts, it was found that *A. gypsicola*, especially *Amaranthus retroflexus*, *Cirsium arvense* and *Lactuca serriola* completely had prevented germination and seedling development. According to Kitis et al. [23], water extracts of 25%, 50% and 100% of the common vetch were kept in water for 1, 3 and 7 days. The extracts were carried out on the seeds of *Avena sterilis*, *Amaranthus retroflexus*, *Chenopodium album*, *Corchorus olitorus*, *Echinochloa colonum*, *Lepidium sativum*, *Portulaca oleracea*, *Setaria verticillata*,

Sinapis arvensis. At the end of the study, it was determined that allelopathic potential of common vetch on seed germination was influential in suppressing weeds.

3.2. Mitotic activity results

As seen in Table 2, average 3000 cells were counted in the preparations for observing mitotic activity in the root tip cells of flax seeds. The most obvious indication of the negative effects of the germinated flax seeds on the root tip meristems is the changes in the mitotic index.

As shown in Table 2, mitotic index and chromosomal abnormalities percentage varies in different doses of fennel and cumin extract. The lowest mitotic index was found in 100 g/l application and the highest mitotic index was in the control group. The highest chromosomal abnormality was observed at a dose of 12.5 g/l and the lowest at 50 g/l at the concentrations obtained from cumin extracts. Since germination stopped at 50 g/l and 100 g/l cumin applications, the root could not be obtained from mitotic examination. In the fennel control group, division was observed in 142 of 3000 cells counted at the root tip. In relation to abnormalities in this concentration and their distribution to phases; in 5 cells, the metaphase plate could not be collected, and bridge in anaphase in 4 cells was observed (Table 2, Fig. 1-3). In the 12.5 g/l fennel application, the division in 83 of the 3000 cells counted at the root tip was observed. The abnormalities in this concentration and their distribution to phases; bridge in anaphase was observed in 7 cells (Table 2, Fig. 3). In the 25 g/l fennel application, the division in 111 of the 3000 cells counted at the root tips were observed. The abnormalities in this concentration and their distribution to phases; bridge in anaphase in 2 cells and bridge in telophase in 3 cells were observed (Table 2, Fig. 3, 4). In the 50 g/l fennel application, the division in 113 of 3000 cells counted at the root tips were observed. The abnormalities in this concentration and their distribution to phases; bridge in anaphase was observed in 2 cells (Table 2, Fig. 3). In the 100 g/l fennel application, the division in 79 of 3000 cells counted at the root tips were observed. The abnormalities in this concentration and their distribution to phases; in 1 cell the metaphase plate could not be collected and bridge in anaphase in 4 cells was observed (Table 2, Fig. 2, 3). In the cumin control application, the division in 108 of 3000 cells counted at the root tips were observed. The abnormalities in this concentration and their distribution to phases; bridge in anaphase in 7 cells was observed (Table 2, Fig. 3). In the 12.5 g/l cumin application, the division in 107 of 3000 cells counted at the root tips was observed. The abnormalities in this concentration and their distribution to phases; the bridge in anaphase in 5 cells was observed (Table 2, Fig. 3). In the 25 g/l fennel application, the division in 90 of 3000 cells counted at the root tips were observed. The abnormalities in this concentration and their distribution to phases; in 4 cells the metaphase plate could not be collected and bridge in anaphase in 7 cells was observed (Table 2, Fig. 2, 3). Since 50 g/l and 100 g/l cumin doses completely stopped germination, the root tip could not be obtained from mitotic examinations.

Table 2. Effects of cumin and fennel extracts on mitosis in flax seed root tip cells

		Doses (g/l)				
		Control	12.5	25	50	100
Fennel	Number of average counted cells	3000	3000	3000	3000	3000
	Mitotic index (%)	4.73	2.76	3.70	3.73	2.63
	Chromosome abnormalities (%)	6.76	9.21	4.71	1.80	6.75
	Normal split cell number	133	76	106	111	74
	Inability to collect in metaphase	5	-	-	-	1
	Bridge in anaphase	4	7	2	2	4
	Bridge in telophase	-	-	3	-	-
Cumin	Number of average counted cells	3000	3000	3000	3000	3000
	Mitotic index (%)	3.6	3.56	3.00	-	-
	Chromosome abnormalities (%)	6.93	4.67	13.92	-	-
	Normal split cell number	101	102	79	-	-
	Inability to collect in metaphase	-	-	4	-	-
	Bridge in anaphase	7	5	7	-	-

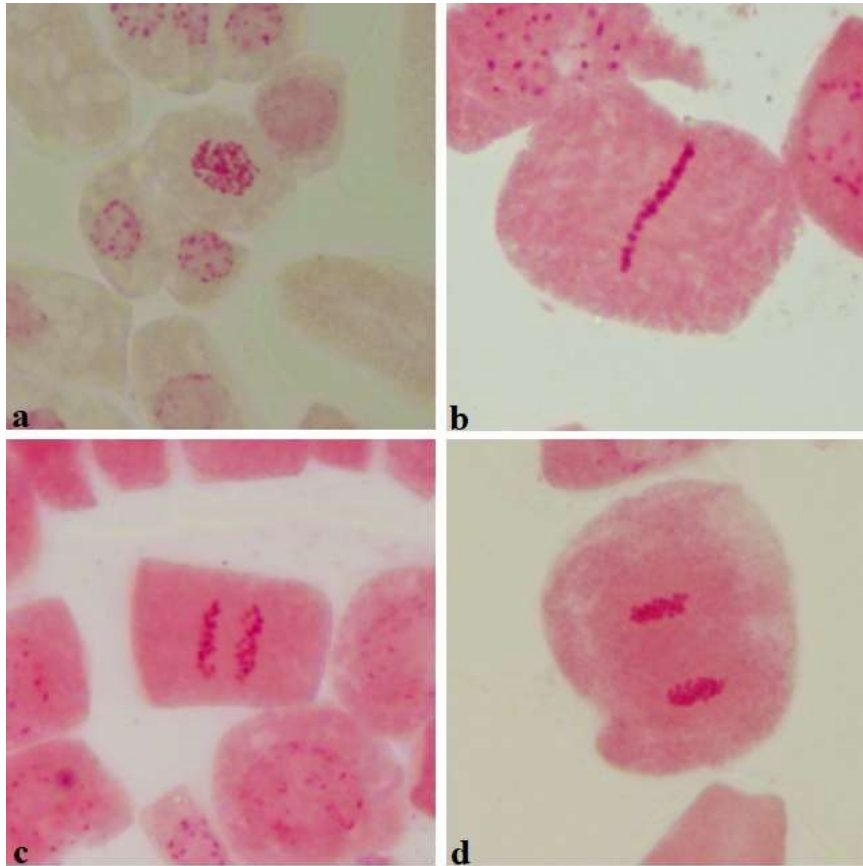


Figure 1. Normal and abnormal mitotic phase images of flax species:
a- Prophase, b- Metaphase, c- Anaphase, d- Telophase

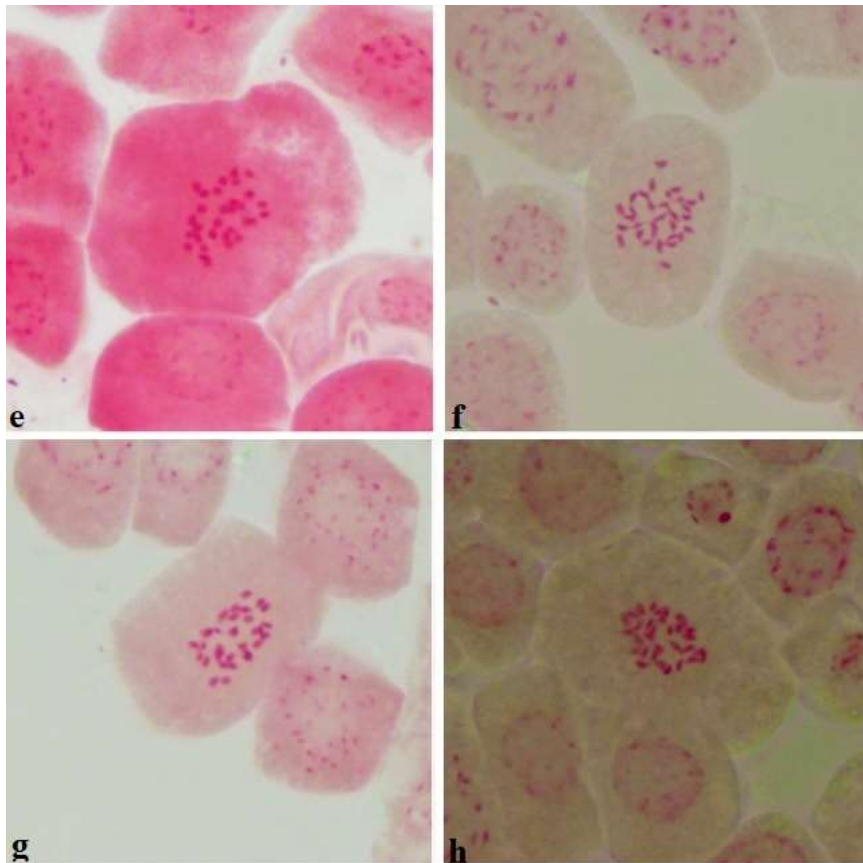


Figure 2. e-f-g-h: Do not gather on metaphase plate in different cells

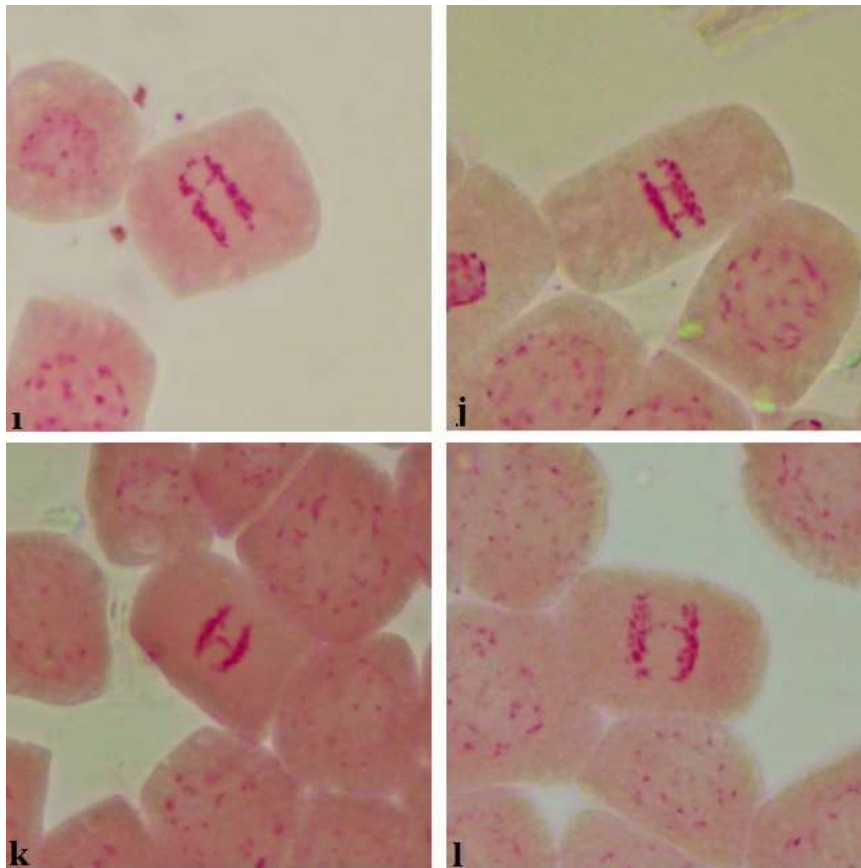


Figure 3. i-j-k-l: Chromosome bridge in anaphase in different cells

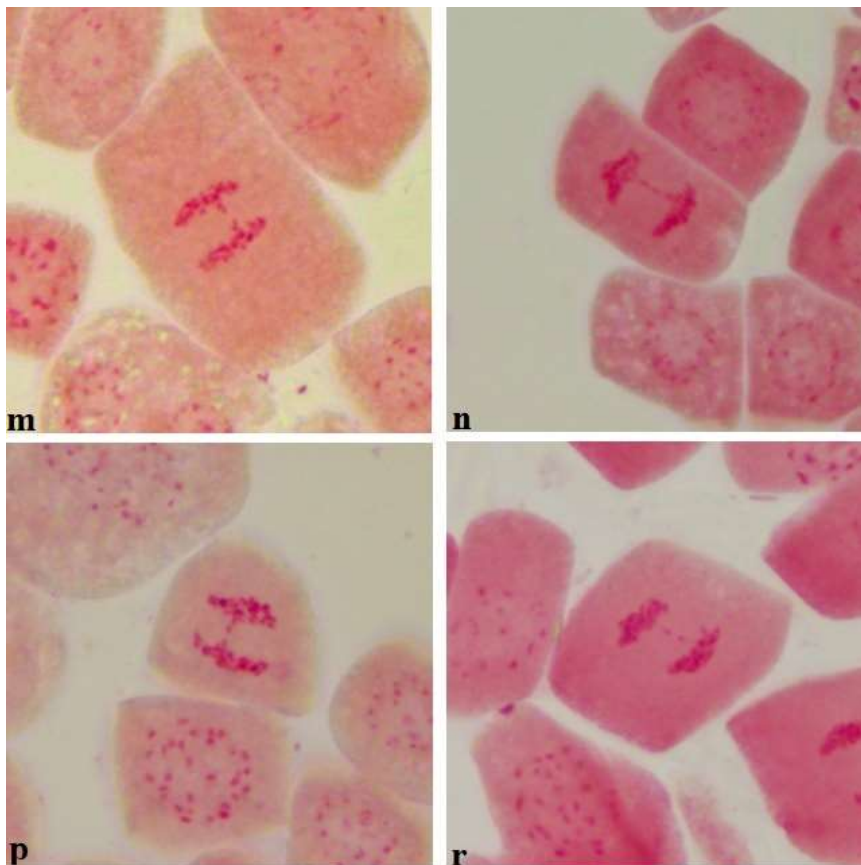


Figure 4. m-n-p-r: Chromosome bridge in telophase in different cells

4. Conclusion

In the light of all information, in this study, fennel extract appears to promote flax germination. It is thought that this effect can be used to break dormancy in different seeds, thanks to more detailed studies. It was seen that fennel extract increased mitotic index of flax seeds, while cumin extract decreased. In addition, it is considered that cumin extract can be used in some seeds to prevent germination. Further research is needed to investigate its effects against various species.

Author's Contributions

In this study, both authors contributed equally.

Statement of Conflicts of Interest

No potential conflict of interest was reported by the authors.

Statement of Research and Publication Ethics

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

References

- [1] Putnam A.R. 1994. Phytotoxicity of plant residues. In *Managing Agricultural Residues* P.W. Unger., Lewis Publishers, Boca Raton, Florida, 285-314.
- [2] Zeng R.S. 2014. Allelopathy-the solution is indirect. *Journal of Chemical Ecology*, 40: 515-516.
- [3] Uslu O.S., Gedik O., Kaya A.R., Erol A., Khan M.A., Taşsever M., Türkkaya E. 2018. Allelopathic effects of flower extract of oleander (*Nerium oleander*) on the germination of seed and seedling growth of *Lolium multiflorum*. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 8 (1): 309-317.
- [4] Fateh E., Sohrabi S.S., Gerami F. 2012. Evaluation the allelopathic effect of bindweed (*Convolvulus arvensis* L.) on germination and seedling growth of millet and basil. *Advances in Environmental Biology*, 6 (3): 940-950.
- [5] Zeng R.S., Mallik A.U., Luo S.M. 2008. *Allelopathy in sustainable agriculture and forestry*. New York, Springer Press, 1-412.
- [6] Molisch H. 1937. *Der einfluss einer pflanze auf die andere allelopathie*. Jena, Germany: Gustav Fischer.
- [7] Gürsoy M., Balkan A., Ulukan H. 2013. Allelopathy in plant production. *Journal of Agricultural Faculty of Uludag University*, 27 (2): 115-122.
- [8] Kim Y.S. 2001. Allelopathic effects of some volatile substances from the tomato plant. *Journal of Crop Production*, 4 (2): 313-321.
- [9] Uygur F.N., Köseli F., Cesurer L. 1991. Investigation of the use of *Raphanus sativus* L. as a bio herbicide in cotton fields. VI. *Phytopathology Congress Turkey*, 7-11 October Izmir. Turkey Phytopathological Society Press, 6: 167-171.
- [10] Ozbay N. 2018. Allelopathic effects of some herbs and medicinal plants extracts on seed germination and seedling growth of pepper. *Turkish Journal of Agricultural and Natural Sciences*, 5 (1): 81-85.
- [11] Hesabi S., Vazan S., Golzardi F. 2014. The effect of yellow yarrow (*Achillea santolina*) aqueous extracts as a factor in seed priming of canola and flax. *International Journal of Biosciences*, 5 (5): 195-202.
- [12] Elci S., Sancak C. 2013. *Sitogenetikte Araştırma Yöntemleri ve Gözlemler*. Ankara Üniversitesi Yayınları, No: 386, 223s (In Turkish).
- [13] SAS, 2014. SAS Institute. *SAS 9.4 user's guide*. SAS Inst., Cary, NC.
- [14] Steel R.G.D, Torrie J.H. 1980. *Principles and procedures of statistics. A Biometrical Approach*. 2nd edition. McGraw Hill Book Co. Inc. New York, USA.

- [15] Hu G., Zhang Z. 2013. Allelopathic effects of *Chromolaena odorata* on native and non-native invasive herbs. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 11 (1): 878-882.
- [16] Kadioglu I., Yanar Y. 2004. Allelopathic effects of plant extracts against seed germination of some weeds. *Asian Journal of Plant Sciences*, 3 (4): 472-475.
- [17] Horoz H. 2019. Determination of allelopathic effects of false yellowhead (*Inula viscosa* L.) and tree of heaven (*Ailanthus altissima* (Miller) Swingle) a germination of some weed seeds. Master's Thesis, University of Hatay Mustafa Kemal, Institute of Science, Hatay.
- [18] Sözeri S., Ayhan A. 1997. *Taraxacum officinale* Weber's root and leaf water extracts allelopathic effects on some grass types. Turkey II. Herbology Congress (1-4 September 1997, Izmir & Ayvalık), p: 313-328.
- [19] Burgos N.R., Talbert R.E. 2000. Differential activity of allelochemicals from *Secale cereale* in seedling bioassays. *Weed Science*, 48: 302-310.
- [20] Turk M.A., Tawaha A.M. 2002. Allelopathic effect of black mustard (*Brassica nigra* L.) on germination and growth of wild oat (*Avena fatua* L.). *Crop Protection*, 22: 673-677.
- [21] Kato-Noguchi H. 2003. Assessment of allelopathic potential of shoot powder of lemon balm. *Scientia Horticulture*, 97: 419-423.
- [22] Kordali S., Cakir A., Ozer H., Cakmakci R., Kesdek M., Mete E. 2008. Antifungal, phytotoxic and insecticidal properties of essential oil isolated from Turkish *Origanum acuditens* and three components, carvacrol, thymol and p-cymene. *Bioresource Technology*, 99: 8788-8795.
- [23] Kitis Y.E., Kolören O., Uygur F.N. 2016. Allelopathic effects of common vetch (*Vicia sativa* L.) on germination and development of some weed species. *Journal of Central Research Institute for Field Crops*, 25 (1): 100-106.

Araştırma Makalesi / Research Article

Yapı Bilgi Modellemesinin Kablosuz Algılayıcı Ağ Entegrasyonu ile Gerçek Zamanlı Akıllı Bina Yönetim Sistemi Prototipi

Özgün PINARER*

*Galatasaray Üniversitesi, Mühendislik ve Teknoloji Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, İstanbul
(ORCID: 0000-0002-0280-3689)*

Öz

Son yıllarda, Yapı Bilgi Modellemesi (YBM) bilgisayar bilimindeki en sıcak araştırma alanlarından biri haline gelmiştir. Çok çeşitli araştırma alanlarından birçok araştırmacıyı cezbetmektedir. Sadece bilgisayar biliminden araştırmacılar değil, çevre sağlığı, arkeoloji ve kültürel mirastan araştırmacılar da YBM ve Kablosuz Algılayıcı Ağlar (KAA) ile entegrasyon çalışmalarına başlamışlardır. Bu yazıda, YBM ve KAA'nin entegrasyonu üzerinde çalışmaktayız. Bu entegrasyonun en büyük zorluklarından biri olan, ortamın sayısal bir modelinin kullanılarak algılayıcı düğüm akışlarının nasıl yönetileceği ve algılayıcı düğüm verilerinin çevresel veriler ile nasıl entegre edileceği konusu ele alınmıştır. Çoklu algılayıcı düğüm veri akışını yöneten az sayıda çalışma olsa da bu yaklaşımlar genellikle tek bir uygulamaya uyarlanır ve çoğunlukla bina modelinden bağımsızdır. Bu sorunun üstesinden gelmek için, bu çalışmada YBM ilkelerine dayanan yeni bir gerçek zamanlı çevre izleme sistemi ve sistem mimarisi önerilmektedir. Test ortamı olarak, üniversite kampüsü tercih edilmiş ve prototip için seçilen öğretim üyeleri ofisleri ve derslikler algılayıcı düğüm cihazları ile donatılmıştır. Gerçek veriler, büyük bir veritabanı elde etmek için sanal veriler ile zenginleştirilmiştir. Binanın sayısal modeli YBM dahilinde 3B sayısal model ile tanıtılmakta ve verilen sayısal model üzerinde KAA ile algılayıcı düğüm entegrasyonu sağlanmaktadır.

Anahtar kelimeler: yapı bilgi modellemesi, algılayıcı düğüm, kablosuz ağlar, akıllı bina yönetimi, veri akışı

Real-Time Smart Building Management System Prototype with Wireless Sensor Network Integration with Building Information Modeling

Abstract

Building Information Modeling (BIM) is one of the most popular research topics not only in computer science but in multidisciplinary studies. In this study, an integration of wireless sensor networks (WSN) and BIM is established. The most crucial challenge in this integration is to manage the sensor data streams and manage such pervasive environment that includes heterogeneous wireless sensor devices. Since the environment (such as smart building or smart city) covers heterogeneous wireless sensor devices for various physical measures, each sensor has its own sensor data stream and data structure. Existing studies in this field bring many dependency and can be adapted to a single application. However, such systems should be more generic and address to multidisciplinary research areas. Here, a BIM based real time smart environment management system is proposed. 3D model of the building is achieved in early stages. A BIM based platform is established and it provides a common workspace for all partners of the studies.

Keywords: Building information modelling, Sensor technology, Wireless sensor networks, smart building management system, data streaming

1. Giriş

Günlük yaşantımızın son derece gelişmiş teknolojik cihazlarla çevrili olduğu bir çağda yaşamaktayız. Bu sayısal çağın bir kolu da akıllı bina inşaatı ve akıllı bina yönetim sistemleridir. Son yıllarda, Yapı Bilgi Modellemesi (YBM - Building Information Modelling (BIM)) ve kablosuz algılayıcı ağlarının

*Sorumlu yazar: opinarer@gsu.edu.tr

Geliş Tarihi: 06.11.2020, Kabul Tarihi: 06.01.2021

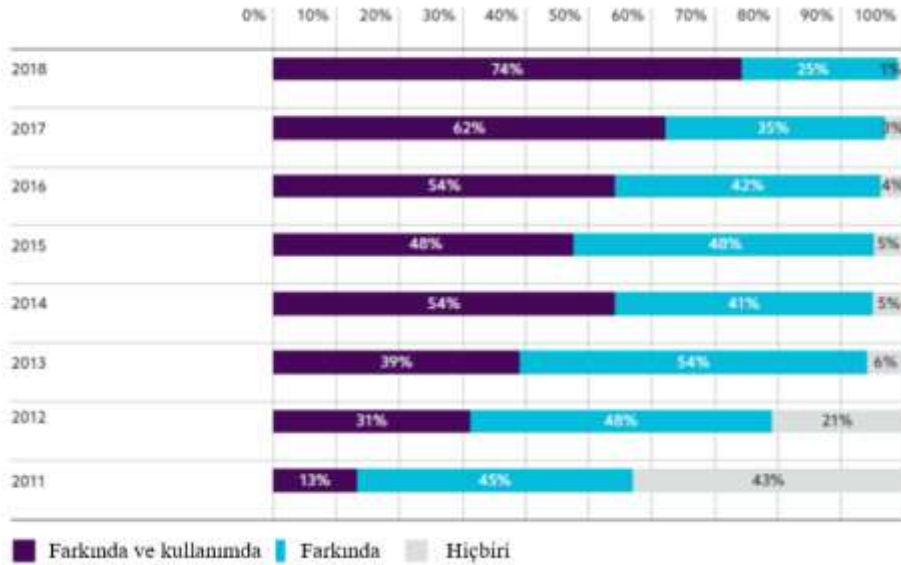
(KAA-Wireless Sensor Network (WSN)) bir binanın sayısal modeline entegrasyonu alanında büyük bir eğilim olmuştur. Her geçen gün artan dünya nüfusu ve kasabadan şehre göçün hızlı artışı, şehirleri daha akıllı hale getirmeye zorlamıştır. Bu gelişmenin ilk etabı olarak da içinde yaşadığımız binanın yönetiminin bilgisayar ve yazılım destekli bir sistem ile gerçekleştirilmesi düşünülmektedir [1].

21. yy'ın ilk yıllarından itibaren akıllı binalara olan ilgi artmıştır. Akıllı bina ve sürdürülebilirlik birbirini tamamlayan iki kavram olarak karşımıza çıkmaktadır. Özellikle enerji tüketimi ve kaynakların daha verimli kullanımı ile ilgili analizler ve çalışmalar yapıldığında geleneksel binaların enerji kaynaklarının önemli bir kısmının tüketicileri olduğu ortaya çıkmaktadır. Yeryüzündeki kaynakların daha verimli kullanımı için geleneksel binaların daha az enerji tüketmesi ve doğal çevre üzerindeki etkilerini en aza indirmesi üzerine çalışmalar yapılmış ve inşaat standartlarına yeni bir boyut getirilmiştir: Akıllı Bina Yönetim Sistemi ve Yapı Bilgi Modellemesi.

Akıllı bina yönetim sistemi, binalarda oturan kişilerin konforunu sağladığı, yaşam standartlarını yükseltmeyi amaçladığı gibi, enerji takibi ve enerji tüketimini iyileştirmeyi de hedeflemektedir. Yeryüzü kaynaklarının bir gün biteceği gerçeğini göz önünde bulundurursak, gelecek nesillere yaşanabilir bir dünya bırakmak adına enerji kaynaklarını önemseyen, tüketimleri mümkün oldukça asgari düzeye indirmeye çalışan akıllı sistemlere her zaman ihtiyaç vardır [2, 3].

Akıllı bina yönetim sistemleri belirtilen amaçları gerçekleştirmek amacıyla kullanılırken, aynı teknoloji akıllı şehirlerin de temel yapı taşı oluşturmaktadır. Özellikle metrekareye düşen insan sayısı yüksek olan şehirlerde trafik, geri dönüşüm, çöp toplama vb. hizmetlerin başarıyla gerçekleştirilebilmesi için bilgisayar destekli sistemlere ihtiyaç vardır.

Şekil 1'de Ulusal Yapı Bilgi Modellemesi organizasyonunun 2018 tarihinde yayınladığı raporda 2011 yılından itibaren dünya genelinde YBM üzerine farkındalık ve uygulanma yüzdeleri grafik olarak sunulmuştur. 2011'de inşaatların sadece 13%'ünde YBM'den faydalanırken 2018 senesinde bu oran 74%'e yükselmiştir.



Şekil 1. Yapı Bilgi Modellemesinin yıllar içinde uygulanma yüzdesi

Bu çalışmada, bir binanın 3B modeli oluşturulmuştur. Örnek bina olarak üniversitenin mühendislik binası ele alınmıştır. Binanın seçilen çalışma odaları ve derslikleri sıcaklık, nem, CO₂ emisyonu, doluluk ve parlaklık verisi elde etmek için kablosuz algılayıcı ve çalıştırıcı düğümler ile donatılmıştır. Algılayıcı düğümlerin ölçtüğü verileri yönetmek ve gerekli eylem kararlarını alabilmek için bir sistem merkezi geliştirilmiş, gelen verileri depolamak için veri tabanı oluşturulmuştur. Ortamdaki düğümler, aynı zamanda 3B maket üzerinde sanallaştırılmıştır. YBM platformu üzerindeki 3B maket üzerinde gerçekleştirilen çalışma ile ortamda yerleştirilmiş düğümlerin bilgileri ve fiziksel düğümlerden gelen bilgilerin analiz edilmesi gerçek zamanlı olarak sağlanmaktadır.

Bu makalenin geri kalanı şu şekilde organize edilmiştir: Yapı bilgi modellemesinin günümüz dünyasındaki önemi Bölüm 2'de verilmiştir. Bölüm 3, literatürde bulunan ilgili çalışmaları özetlemektedir. Önerilen gerçek zamanlı akıllı ev yönetim sisteminin detayları Bölüm 4'te

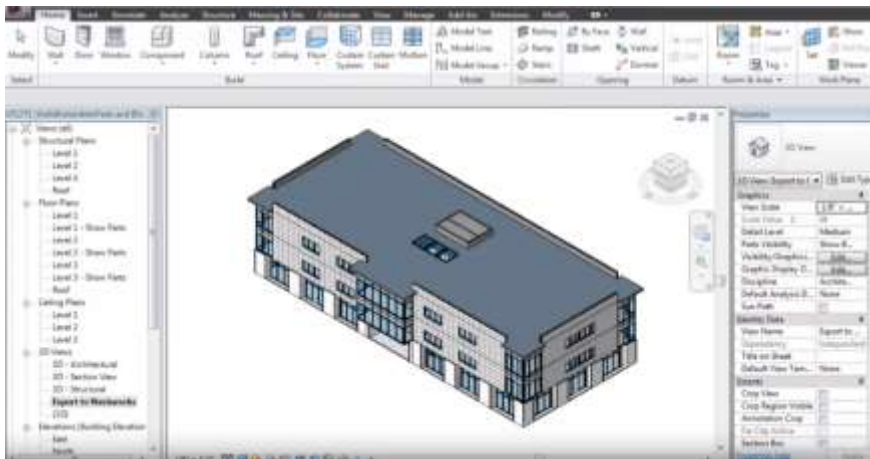
sunulmaktadır. Bölüm 5'te oluşturulan deney ortamı anlatılmış olup, deney sonuçları Bölüm 6'da sunulmuş. Son olarak Bölüm 7'te gerçekleştirilen sistem tartışılmış ve ileriye yönelik çalışma hedefleri belirtilmiştir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Yapı Bilgi Modellemesi

Geleneksel bina inşaatında mimar, inşaat mühendisi, çevre mühendisi, elektrik mühendisi vb kişiler çalışmaktadır. Mimarlar 2 boyutlu çizimler ile binanın tasarımını yaparken diğer birimler aynı tasarım üzerinde kendi dallarındaki gerekli çalışmaları gerçekleştirirler (elektrik hattı, kolon yerleri, su tahliye şemaları vb). Ancak akıllı bina gerçekleştirmek için binanın gerekli yerlerine algılayıcı düğümlerin (farklı fiziksel ölçümler yapabilen) ve de çalıştırıcı düğümlerin (actuator-mekanik aksamı olan, merkezden gelen sinyale göre fiziksel iş yapan düğüm, otomatik perde mekanizması, klima aç/kapa vb.) yerleştirilmesi gerekmektedir. Bu düğümler birbirleriyle ve de merkez düğümlerle kablosuz olarak haberleşmekte olup, bina ortamında bir ağ oluşturmaktadırlar. Düğümlerin yerlerinin belirlenmesi, hangi fiziksel ölçümlerin hangi ortamlarda yapılması gerektiğinin tespiti, düğümler arası haberleşmenin sağlanabilmesi için geleneksel 2 boyutlu bina tasarımları yetersiz kalmaktadır. Bu sebepten akıllı bina inşaatının tasarım aşamasında binanın 3 boyutlu (3B) tasarımının gerçekleştirilmesi gerekmektedir [4]. Literatüre bakıldığında YBM'in birkaç tanımı vardır: Ulusal Yapı Bilimleri Enstitüsü (National Institute of Building Sciences-NIBS) YBM'i "bir tesisin fiziksel ve fonksiyonel özelliklerinin sayısal bir temsili" olarak tanımlamaktadır. Eastman vd., YBM'i bir modelleme teknolojisi ve üretim için bir dizi ilişkili süreç olarak tanımlamaktadır [4]. Işıkdağ vd., çalışmalarında YBM ile bina modellerinin iletişim ve analizinin yapılmasının daha kolay olduğunu, oluşturulan model ile yapı elemanları hakkında semantik bilgi içeren sayısal maket yaratıldığını ve yapının inşaatının her aşamasında çalışan ekipler için ortak bir bilgi yönetimi platformu olduğunu belirtmiştir [5].

YBM, geleneksel 3B CAD (Computer-Aided Design-Bilgisayar destekli tasarım) / CAM (Computer-Aided Manufacturing-Bilgisayar destekli üretim) tekniklerinin tüm işlevlerini yerine getiren, nesne yönelimli bir yaklaşıma dayanan güçlü bir teknoloji haline gelmiştir. YBM ile, sayısal olarak inşa edilmiş, planlama, tasarım, yapım öncesi ve yapım sonrası süreçler için çok yararlı olabilecek bir sanal bina modeli oluşturulabilmektedir [6]. YBM, temel olarak 3B tasarım olarak görülse de, aynı zamanda enerji tüketimi simülasyonu, maliyet tahmini, doğal aydınlatma, vb. gibi diğer analiz uygulamaları tarafından kullanılacak verileri de içermektedir. Şekil 2'de örnek bir 3 boyutlu bina modeli verilmektedir.



Şekil 2. Örnek 3 boyutlu bina modeli

Ayrıca YBM, tasarım süreci, inşaat, işletme ve bakım boyunca bina yaşam döngüsü performansını ve üretkenliğini artırmak için kullanılacak Mimarlık, Mühendislik ve İnşaat sektöründe yükselen bir trenddir. YBM, bir varlık sahibinin inşaat, işletme ve bakım süreçlerinin performansını ve verimliliğini artırmak için kullanılacak yenilikçi bir metodoloji sunmaktadır.

YBM, varlık yaşam döngüsü boyunca proje yönetim ekibi içinde anlamsal ve geometrik bilgileri

paylaşmak için işbirlikçi bir platform sağlamaktadır. Bina verileri hakkında standart bir bilgi paylaşımı ve bilgi alışverişi yapmamıza olanak tanımaktadır. Fiziksel inşaatı öncesinde tüm detayların bulunduğu binanın sanal bir modelini sunar.

Şekil 3'te yapı bilgi modellemesinin sadece akıllı bina yönetiminde değil bir yapının inşaatından son haline ve devamında da yönetimine kadar her etabında kullanılabildiğini gösteren yaşam döngüsü verilmiştir. YBM'in etkili bir şekilde kullanılabilmesi ve başarıya ulaşabilmesi için yapı ile ilgili bütün disiplinlerin (paydaşların çalışmaları) paylaştığı bilgilerin açık standartlara uygun olması gereklidir.



Şekil 3. Bir yapının inşaatından yönetimine kadar yapı bilgi modellemesinin kullanılması

2.2. Literatür Taraması

Literatür incelemesi, YBM ve KAA'nin entegrasyonu üzerinde büyük bir eğilim olduğunu ve bu alandaki mevcut çalışmaların üç ana alt başlık altında araştırıldığını göstermektedir: bir binanın inşaat aşamasında YBM'in kullanılması, Akıllı bina yönetimi için YBM ve kültürel mirasta YBM kullanımı.

2.2.1. Binanın inşaat aşamasında YBM: Sanal Şantiye

Mimarideki son gelişmeler ve bu alanda uzmanlaşmış yazılımlar ve platformlar artık algılayıcı düğüm sistemleri gibi diğer sistemleri kendi bünyesine entegre edebilmektedir. Bu özellik sayesinde, kullanıcılar, binaların yapımının her aşamasında bina/inşaat yönetimini sağlayabilmektedirler. İnşaat safhasındaki yapılarıdaki bina yönetimi sistemleri sayesinde araştırmacılar, inşaatçı çalışan personelin çalışma alanını gerçek zamanlı olarak takip edebilmektedirler. Algılayıcı düğümlerden gelen verileri ile gerçek zamanlı güncellenen sayısal bina modeli sayesinde çalışma ortamının fiziksel koşulları incelenmekte ve gerektiğinde hızlı bir şekilde müdahale edilebilmektedir. İnşaat sahasına yerleştirilebilecek nem, sıcaklık, bulunurluk, gaz vb fiziksel düğümler, sayısal model ile bağlantılı takdirde çalışma ortamından gerçek zamanlı bilgiler toplanabilmektedir ve çevre sağlığı kontrol edilebilmektedir. Birçok sektörde ve çalışma alanında veri toplama teknolojisi vb sistemler bulunmasına ve kullanılmasına rağmen, inşaat sektöründeki uygulamalar çok yaygın değildir [7].

İngiltere başta olmak üzere birçok ülkede inşaat şartnamelerinde zorunlu tutulan YBM'in bilinirliği ve kullanımı yaygınlaşmaktadır. Henüz yasal boyutu ele alınmış olunmamış olsa da yakın zamanda birçok Avrupa ülkesi gibi inşaat sektörü için zorunlu hale gelecektir. YBM'in bina yapım aşamasında kullanımının en temel avantajı tasarım aşamasında olası sorunların belirlenmesi ve tasarım aşamasında iken bu sorunların giderilmesidir. Aynı zamanda projede çalışan görevlilerin ortak kullanabildikleri bir altyapıyı YBM sağlamış olmaktadır. Ortak bir platformda çalışmanın getirdiği bir diğer avantaj ise maliyet hesaplarının daha tutarlı yapılabilmesidir. Yapının tasarımı ve inşaatının yanı sıra, gerçek zamanlı takibinin yapılması ile çalışan personelin sağlığı ve iş güvenliği konularında da YBM yardımcı olmaktadır.

Literatür incelenip var olan çalışmalara bakıldığında ön plana çıkan birkaç çalışma, bu alanın ne kadar önemli olduğunu göstermektedir. Riaz vd. dar alanlarda çevresel izleme için KAA ve YBM tabanlı bir çözüm sunmaktadır [8]. Yazarlar, personelin fiziksel durumunu ve güvenliğini izlemek için

Cosmos adlı bir prototip önermektedirler. Sunulan sistem, bina/inşaat şefini uyarmak için bir bildirim mekanizması ve gerektiğinde/acil durumlarda gerekli eylemi gerçekleştirmekten sorumludur. Kiani vd. inşaatın gerçek zamanlı çevresel izlenmesi, görselleştirilmesi ve raporlanması için algılayıcı düğüm tabanlı ir prototip sistemi önermektedir [9]. Çalışma, standart YBM yazılımını kullanır ve yerel ortamında algılayıcı düğüm verilerini gerçek zamanlı olarak görüntülemek ve yönetmek için altyapı sağlamaktadır.

Lee vd. kör noktaların kule vinç operatörleri için büyük bir sorun teşkil ettiğini ve kör noktalardan dolayı yaşanabilecek ciddi iş kazalarının önüne geçilebilmesi için algılayıcı düğüm tabanlı bir sistem önermektedir [10]. Önerilen sistem video kamera sistemi içermekte olup, resim işleme teknolojisi ile çarpışma önleme sistemi geliştirilmiştir. Benzer video tabanlı sistemler ve çarpışma önleme sistemleri inşaat sahalarında sıklıkla kullanılsa da doğru mesafe ölçümlerinde başarısız olabiliyorlar. Özellikle vincin çevresi bu tür sistemler için kör nokta haline gelmektedir. Çalışmada bu bilgi sayısal olarak elde edilmekte olup, vincin yer bilgisi kullanılarak hesaba katılmaktadır. Yazarlar, çalışmada, çeşitli algılayıcı düğümler ve 3B bina tasarımı kullanarak, bina ve çevresi hakkında üç boyutlu bilgi ve kaldırılan nesnenin gerçek zamanlı olarak konumunu gösteren bir kule vinç navigasyon sistemi sunmaktadır.

Bu bölümdeki çalışmalar, binaların yapım aşamasında, inşaat işlemleri süresince personelin çalışma ortamının gerçek zamanlı takibi üzerine yoğunlaşmışlardır. Özellikle kapalı alanlarda çalışan personelin sağlığının yakın takibi oldukça önemli olup bu tür sistemler olası iş kazalarını da önüne geçmektedir.

2.2.2. Akıllı bina yönetim sistemi olarak YBM

Binanın inşaat aşamasının yanı sıra YBM ağırlıklı olarak akıllı ev izleme ve yönetim sistemlerinde kullanılmaktadır. Bu bölümdeki çalışmalar algılayıcı düğümlerin veri akışlarını yönetmeye ve YBM'in düğümleri ile entegrasyonu üzerine odaklanmışlardır.

Liu vd., bir binanın sayısal modelinin ortam yönetimi açısından faydalı bilgiler sağladığını ortaya koymaktadır [11]. Yazarlar, çalışmada düğüm ile sayısal tasarım arasındaki entegrasyonun tam olarak sağlanamadığını ve bu eksiklik sebebiyle tam anlamıyla bina yönetiminin yapılamamasına yer vermişlerdir. Çalışmada ayrıca algılayıcı düğüm verilerinin ve metaverilerinin bir bina model analizi için ne kadar gerekli olduğunu ortaya konulmuştur.

Park vd., projelerinde bluetooth işaretlerinden ve hareket düğümlerinden gelen bilgileri birleştiren, YBM'den harita bilgilerini çıkaran ve bir hedefin konumunu tahmin eden izleme sistemi geliştirmişlerdir [12]. Çalışmada toplanan düğüm verilerini harita bilgisiyle entegre eden bir yaklaşım önerilmektedir. Çalışmada sunulan izleme sistemi üç ana bileşenden oluşmaktadır. BLE - Bluetooth Düşük Enerji – fiziksel algılayıcı düğümler - YBM. Gerçek zamanlı konum bilgisini tahmin etmek için BLE düğümleri, hareket bilgisi elde etmek için hareket düğümleri ve bu verileri geometrik ortamda temsil edebilmek için YBM kullanılmıştır.

Hu vd. gelişmiş aydınlatma sistemi üzerinde çalışmışlardır. Yanlış yerleştirilen algılayıcı düğümler sistem başarısını düşürmesinin yanı sıra çalıştırıcı düğümlerin yanlış yerle bağlanması yolculuk halinde olan insanları rahatsız edebilmektedir [13]. Çalışmada doluluk algılayıcı düğümler ile fotoelektrik düğümler kullanılmış olup düğümlerin yerlerinin belirlenmesi ve elde edilen sonuçlar oluşturulan model üzerinde incelenmiştir.

Bir başka çalışmada EnerISS (Enerji planlama ve entegre kentsel yönetim sistemi) adlı bir enerji yönetim sistemi sunulmaktadır [14]. Akıllı binalardan alınan verileri akıllı şehirler için geliştirilen platform üzerinde binaların 3 boyutlu modelleri üzerinde işleyerek, enerji tasarrufu çalışmaları yapılmaktadır.

Bu kısımda, literatürde ön plana çıkan, içinde yaşayan insanların yaşam standartlarını yükseltmeyi ve oturanlara daha iyi bir hizmet sunmayı amaçlayan, aynı zamanda enerji tüketimini iyileştirmeye çalışan sistemler tanıtılmıştır. Bu çalışmalarda en büyük sorun, ortama yerleştirilen düğümlerin heterojen özelliklerinden dolayı hepsini kabul eden ortak bir altyapının tam olarak sağlanamamış olmasıdır. Bina modeli ile entegrasyonda bu sorun daha somut bir şekilde ortaya çıkmaktadır.

2.2.3. Kültürel mirasların korunmasında ve sayısallaşmasında YBM

YBM, sadece akıllı bina inşaatında veya onların yönetilmesinde değil aynı zamanda her ülkenin sahip olduğu kültürel mirasları korunmasında da kullanmak mümkündür. Bu alanda çalışan çok az araştırmacı ve araştırma ekibi olması sebebiyle oldukça gelişime açık bir çalışma alanı olarak karşımıza çıkmaktadır. Kültür mirası kapsamında tarihi yapılar ve yapı içi süslemeler de bu kapsamda değerlendirilmektedir. Örneğin Galatasaray Üniversitesi Ortaköy kampüsündeki tarihi saray binasında Ocak 2013'te yaşanan yangından dolayı, bina içerisindeki birçok tarihi tablo ve duvar süslemeleri yok olmuştur. Ayrıca Paris, Fransa'da bulunan 675 senelik Notre Dame Katedrali Nisan 2019'da yangın neticesinde ağır hasar almıştır. Bu tür yapılar insanlığın ortak mirası olarak nesilden nesille aktarılması gereken yapılar olup, en ince detayına kadar korunması gerekmektedir. Bu gelişme ve araştırmalar literatürde Tarihi Yapı Bilgi Modellemesi (Historic Building Information Modelling-HYBM) olarak geçmektedir [15-17].

Bu anlamda YBM, bu tür yapıların kaybolmaması için sayısal bir çözüm sunmaktadır. YBM, tanımı gereği ortamın 3 boyutlu detaylı modelini sayısal ortama aktarma teknolojidir. Bu sayede ortamda bulunan her bir nesnenin detaylı bilgileri kaydedilmiş olmaktadır. YBM, kültürel miras kapsamında yapıların detaylı 3 boyutlu modellerini sağlayabildiği için, yangın gibi kaza vakalarının sonrasında gerçekleştirilen tamir/baştan inşa vb durumlarda çok önemli kaynak durumundadır. Lee vd., çalışmalarında kültürel miras kapsamındaki yapıların sayısalleşebilmesine kolaylık sağlamak amacıyla yeni bir metaveri önermektedir [18]. Sunulan yeni veri yapısı ile sanal ortamda binanın risk yönetimi üzerinde gerçek zamanlı hesaplamalar yapılabileceği düşünülmektedir.

Logothetis vd., kültürel miras alanında yapı bilgi modellemesinin kullanımını ve evrimini tartışmaktadır [19]. Bilimsel toplulukların yapıların tasarımı ve yaşam döngüsü yönetimi için YBM teknolojisini benimseme eğilimine rağmen, kültürel miras anıtlarının yönetimi ve dokümantasyonunda YBM'in değerini keşfetmek için çok az araştırma yapılmıştır. Bununla birlikte, araştırmacılar son zamanlarda kültürel mirasla ilgili bilgilerin güvenilir ve tutarlı yönetimi için farklı teknikler geliştirdiler [20, 21].

Literatürdeki mevcut çalışmalar çevre sağlığı ve izlenmesi için yerel bir çözüm önermektedirler. Bununla birlikte, önerilen yaklaşımların çoğu prototip olma düzeyindedir ve her çevre için uygun değildir. Ayrıca, bu çalışmalarda çoklu algılayıcı düğüm ve çalıştırıcıların veri yönetimi ele alınmamaktadır ve bunlar önceden tanımlanmış bina uygulamaları ile sınırlandırılmıştır. Bu çalışmada ise, birden fazla kullanıcının birden çok hizmet almasına olanak veren, heterojen düğüm ağının ürettiği veri akışlarını yönetebilen, çoklu uygulama izleme sistemi mimarisi sunulmaktadır.

2.3. Önerilen Yaklaşım

Bu çalışmada YBM teknolojisi kullanılarak akıllı ortam yönetimi için bir altyapı ve sistem sunulmaktadır. Önerilen sistem, takip edilmesi istenilen ortamın 3 boyutlu sayısal modeli ile gerçek ortam arasındaki bağı kurmakta, ortama yerleştirilen düğümler ile sanal model üzerinde gerçek zamanlı veri akışına bağlı bilgi haberleşmesini gerçekleştirmektedir. Bu sayede önerilen altyapı sadece akıllı bina ortamları ile kısıtlı kalmayarak yönetilmek istenilen fiziki düğümlerin yerleştirildiği herhangi bir ortam için yönetimsel ve çevresel çözüm sunmaktadır.

YBM platformunda yaratılan ortamın 3 boyutlu modeli ile gerçek ortam sanal ortama aktarılmış olup, ortama yerleştirilmiş olan farklı tipte fiziksel düğümler (kablolu veya kablosuz algılayıcı ve çalıştırıcı düğümler) yine aynı sanal model üzerinde temsil edilmektedir.

2.3.1. Sistem Mimarisi

Bu çalışmada önerilen yaklaşım mimari açıdan incelendiğinde 3 ana katmandan oluşmaktadır:

Uygulama Katmanı: Bu katman, kullanıcı ile önerilen yaklaşımın temelini oluşturan altyapı iskeleti ile arasındaki bağlantıdan sorumludur. Kullanıcıdan gelen istekler bu katmanda yönetilir ve aşağı katmanlara uygun hale çevrilerek iletilir. Aynı şekilde aşağı katmanlardan gelen bilgiler, uygulama katmanında ayıklanır ve ilgili kullanıcılara veya birimlere iletilir.

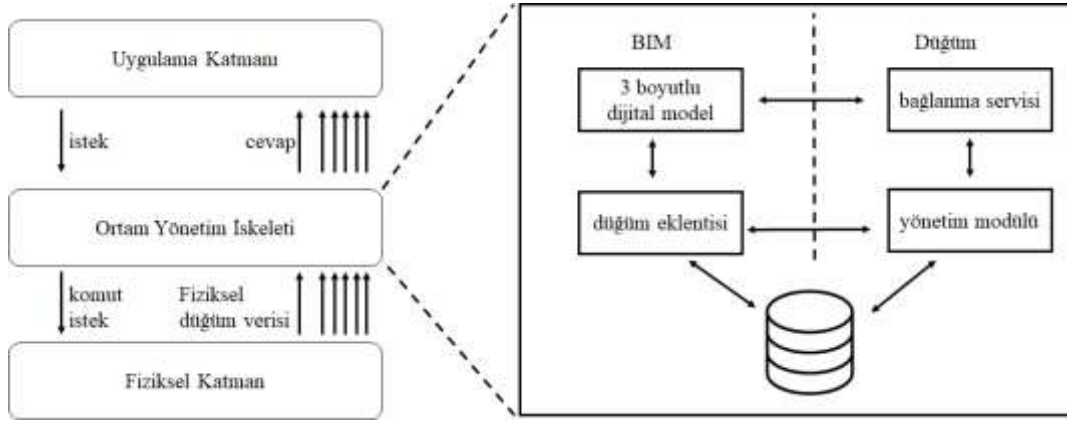
Ortam Yönetim Katmanı: Bu katman, çalışmanın merkezini oluşturmaktadır. Bünyesinde birçok alt yapı ve servis barındırmaktadır. YBM ile alakalı servis ve platformlar yine bu katmanda yer almakta olup, ortamda bulunan fiziksel algılayıcı düğümlerin ve çalıştırıcıların sisteme bağlama servisleri ve yönetimi bu katmandan yönetilmektedir. Bu katman aynı zamanda uygulama katmanı ile fiziksel katman arasındaki bilgi alışverişinden de sorumludur.

Fiziksel Katman: Bu katman mimarinin en alt katmanı olup fiziksel ortamı temsil etmektedir. Yönetilmesi hedeflenen ortama yerleştirilen kablolu/kablosuz algılayıcı ve çalıştırıcı düğümler bu katmanın şemsiyesi altındadır.



Şekil 4. Sistem mimarisine genel bakış

Çalışmada sunulan yaklaşıma ait mimariye genel bakış Şekil 4’te sunulmuştur.



Şekil 5. Ortam yönetim iskeleti katmanının detaylı mimarisi

Çalışmanın detaylı mimarisi ve katmanlar arası haberleşmeleri Şekil 5’te sunulmuştur. Uygulama katmanındaki kullanıcılar, kullanıcı dostu arayüzü kullanarak diledikleri lokasyonun verilerini sistemden talep edebilirler. Bu noktada, kullanıcılar lokasyonda yerleştirilmiş olan düğümlerin tiplerine uygun olan servisleri talep edebilmektedirler. Ortam Yönetim İskeleti ve oluşturulan teknolojik altyapı, bu istekleri bünyesinde işleyerek, algılayıcı düğümlerden gelen verileri filtrelemede kullanılmaktadır. Fiziksel düğüm verisini kullanıcıya iletmektedir. Her düğümün farklı veri tipi olmasına rağmen oluşturulan altyapı, olası veri yapılarını başarılı bir şekilde yönetebilmektedir.

2.4. Deney Ortamı

YBM şu anda tasarım ve mühendislik aşamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır, ancak algılayıcı düğüm teknolojisi ve YBM’in entegrasyonu üzerine çok az çalışma yapılmıştır. Gerçek zamanlı akıllı ev izleme sistemleri ve çevreye bağlı kalmak / diğer sistemlere bağlı kalmak için YBM ve KAA'nin tam entegrasyonu son derece gereklidir.

Bu çalışmada, bir binanın (prototip olarak üniversitemizin bir binası) 3B modeli oluşturulmuş ve seçilen odalara sıcaklık, nem, CO₂ emisyonu, doluluk ve parlaklık için gerekli kablosuz algılayıcı düğümler yerleştirilmiştir. Sınırlı elektronik bileşenlere sahip olduğundan, proje dahilinde veri çeşitliliği ve yüksek veri akışı sağlayabilmek adına gerçek veriler, sanal veriler ile zenginleştirilmiş ve çeşitlendirilmiştir. Bu sayede, veritabanında çok sayıda örneklenmiş veri elde edilmesi başarılmıştır.

Tüm düğümlerden ve de sanal veri kaynaklarından ölçülen veya üretilen verileri veritabanına kaydetmek için bir veritabanı sistemi (Açık Kaynak MySQL platformu kullanılarak) oluşturulmuştur. Her algılayıcı düğümün fiziksel ölçüyü periyodik olarak ölçtüğü ve genel merkeze (sink) gönderdiği sürekli bir düğüm veri akışı sağlanmıştır. Bir veritabanı mimarisi başarılı bir şekilde oluşturulması sayesinde farklı yapılarıdaki, farklı periyotlarda gelen verileri başarılı bir şekilde yönetebilmektedir.

Binayı ve çevresini modellemek için Autodesk Revit yazılım mimarisi platformu tercih edilmiştir. Oluşturulan bina modeli, düğümlerin yerleştirildiği çevre ve ortam hakkında çok ayrıntılı bilgi verdiğinden, yerleştirilen (gerçek ve sanal) algılayıcı cihazlarının ve konumların açıklamaları da sayısal model tarafından kapsamaktadır. Python programlama ile gerçekleştirilen entegrasyon işlemi ile ortaya çıkan eklenti sayesinde gelen veriler, veritabanına yerleştirilirken 3B model kullanılmaktadır.

3. Bulgular

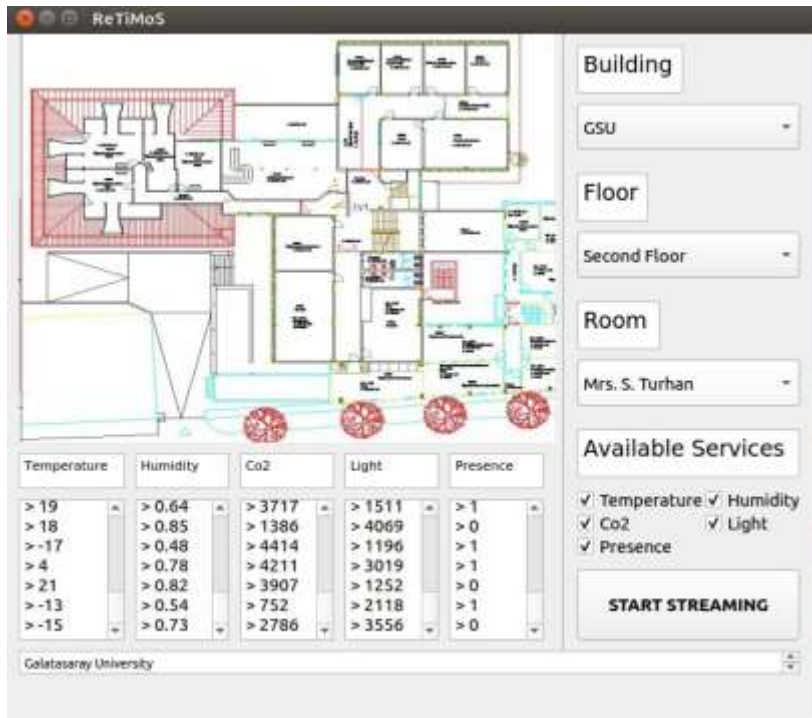
3.1. Deneyler ve Sonuçları

Üniversite kampüsünde gerçekleştirilen çalışmada üniversite binasının modeli kullanılmıştır. Kullanılan modelin ön cepheden kesiti Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 6. Üniversite binası çizimi

Projede binanın 3B modeli, AutoCad ortamında çizilmiş 2B çizimlerden oluşturulmuştur. Şekil 7'de oluşturulan prototipin arayüzü verilmiştir. Seçilen lokasyondaki servislerin tespit edildikten sonra aktif olan servisler arasında yapılan seçimler sonucunda veri akışı başlatılmaktadır. Aynı şekilde yapılan seçimlerden herhangi birinde yapılan değişiklik sistem tarafından gerçek zamanlı olarak cevap verilmektedir.



Şekil 7. Sistem arayüzü ve düğümlerden veri alımı

4. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada, akıllı bina izleme sistemleri alanında yaşanan en büyük sorunlardan birine odaklanılmıştır. Birbirinden farklı veri türlerini aynı platform üzerinde binanın/ortamın 3B modeli ile entegre bir şekilde gerçek zamanlı işlemek için alt yapı oluşturulmuştur. Önerilen yaklaşım dahiliden YBM ve KAA'i akıllı ev ortamlarına ve bağlı sistemlere entegre etmeye çalışılmıştır. Akıllı ortam yönetim sistemlerinin temel ilkelerine dayanarak, binanın sayısal bir modelinin yardımıyla algılayıcı düğümlerden toplanan büyük ham verilerin işlenmesine izin veren sürdürülebilir bir gözetim mimarisi sunulmaktadır.

Bu çalışmanın ilerleyen aşamalarında, kullanıcı gereksinimlerini karşılamak amacıyla algılayıcı düğüm verilerini almak için sürekli bir istek (continuous query) yapısı entegre etmek planlanmaktadır. Ayrıca, bu alandaki araştırmaların en büyük sıkıntısı, oluşturulan algoritma ve prototipleri test etme ortamı olmayışıdır. İlerleyen çalışmalarda, kullanıcıların uzaktan bağlanıp kendi algoritmalarını çalıştırabilecekleri bir platform haline getirilmesi hedeflenmektedir.

Yazarların Katkısı

Makalede tüm katkı yazara aittir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar

- [1] Gubbi J., Buyya R., Marusic S., Palaniswami M. 2013. Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. *Future generation computer systems*, 29 (7): 1645-1660.
- [2] Wu W., Yang X., Fan, Q. 2014. GIS-BIM based virtual facility energy assessment (VFEA)-Framework development and use case of California State University, Fresno. In *Computing in Civil and Building Engineering*, 339-346.
- [3] Pınarer O., Gripay Y., Servigne S., Ozgovde A., Baskurt A. 2017. Dynamic energy-aware sensor configuration in multi-application monitoring systems. *Pervasive and Mobile Computing*, 41: 192-204.
- [4] Eastman C.M., Eastman C., Teicholz P., Sacks R, Liston K. 2011. *BIM handbook: A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors*. John Wiley & Sons.
- [5] Isikdag U. 2015. *Building Information Models: An Introduction*. Enhanced Building Information Models Springer, Cham., 1-12.
- [6] Azhar S., Khalfan M., Maqsood T. 2012. Building information modelling (BIM): now and beyond. *Construction Economics and Building*, 12 (4):15-28.
- [7] Vähä P., Heikkilä T., Kilpeläinen P., Järviluoma M., Gambao E. 2013. Extending automation of building construction-Survey on potential sensor technologies and robotic applications. *Automation in Construction*, 36: 168-178.
- [8] Riaz Z., Arslan M., Kiani A.K., Azhar S. 2014. CoSMoS: A BIM and wireless sensor based integrated solution for worker safety in confined spaces. *Automation in construction*, 45: 96-106.
- [9] Kiani A., Salman A., Riaz Z. 2014. Real-time environmental monitoring, visualization, and notification system for construction H&S management. *Journal of Information Technology in Construction*, 19: 72-91.
- [10] Lee G., Cho J., Ham S., Lee T., Lee G., Yun S.H., Yang H.J. 2012. A BIM-and sensor-based tower crane navigation system for blind lifts. *Automation in construction*, 26: 1-10.

- [11] Liu X., Akinci B. 2009. Requirements and evaluation of standards for integration of sensor data with building information models. *Computing in Civil Engineering*, 95-104.
- [12] Park J., Cho Y.K., Ahn C.R. 2016, May. A wireless tracking system integrated with BIM for indoor construction applications. *Construction Research Congress 2016*, 2660-2668.
- [13] Hu J., Patel M. 2014. Optimized selection and placement of sensors using building information models (BIM). In *Proceedings of 2014 IES Annual Conference*, 02-04 November, Pittsburgh, PA, 198-202.
- [14] Kim S.A., Shin D., Choe Y., Seibert T., Walz S.P. 2012. Integrated energy monitoring and visualization system for Smart Green City development: Designing a spatial information integrated energy monitoring model in the context of massive data management on a web based platform. *Automation in Construction*, 22: 51-59.
- [15] Murphy M., McGovern E., Pavia S. 2009. Historic building information modelling (HBIM). *Structural Survey*, 27 (4): 311-327.
- [16] Dore C., Murphy M. 2012. September. Integration of Historic Building Information Modeling (HBIM) and 3D GIS for recording and managing cultural heritage sites. In *2012 18th International Conference on Virtual Systems and Multimedia*, IEEE, 369-376.
- [17] Fai S., Graham K., Duckworth T., Wood N., Attar R. 2011, September. Building information modelling and heritage documentation. In *Proceedings of the 23rd International Symposium, International Scientific Committee for Documentation of Cultural Heritage (CIPA)*, Prague, Czech Republic, 12-16.
- [18] Lee J., Kim J., Ahn J., Woo W. 2019. Context-aware risk management for architectural heritage using historic building information modeling and virtual reality. *Journal of Cultural Heritage*, 38: 242-252.
- [19] Logothetis S., Delinasiou A., Stylianidis E. 2015. Building information modelling for cultural heritage: a review. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 2 (5): 177.
- [20] Murphy M., McGovern E., Pavia S. 2013. Historic Building Information Modelling–Adding intelligence to laser and image based surveys of European classical architecture. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 76: 89-102.
- [21] Oreni D., Brumana R., Della Torre S., Banfi F., Previtali M. 2014. Survey turned into HBIM: the restoration and the work involved concerning the Basilica di Collemaggio after the earthquake (L'Aquila). *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 2 (5): 267.

Araştırma Makalesi / Research Article

Esnek Yol Kaplama Tabakalarında Kullanılan Geri Dönüştürülmüş Beton Agregalarının Ağır Trafik Yükleri Altında Doğrusal Olmayan Davranışının Deneysel ve Sayısal İncelenmesi

Merve AKBAŞ^{1*}, Bilal ÖZASLAN², Hadi KHANBABAZADEH³, Recep İYİSAN⁴

^{1,2,4}*İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 34469, Maslak, İstanbul*

³*Gebze Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 41400, Gebze, Kocaeli*

(ORCID: 0000-0001-8466-2463) (ORCID: 0000-0001-7951-1759)

(ORCID: 0000-0001-9764-7799) (ORCID: 0000-0002-0887-9983)

Öz

İnşaat yıkım atıklarından elde edilen geri dönüştürülmüş beton agregalarının (GDBA) yol dolgularında kullanımı, doğal agrega talebini azaltmakta, ekonomik ve çevre dostu tasarımlarla geleneksel esnek yol kaplamanın uzun dönem performansını iyileştirmektedir. Bu çalışmada, temel ve alt temel tabakalarında %100 GDBA kullanımının esnek yol kaplama tabakalarının mekanik davranışına etkileri araştırılmıştır. Bu amaçla önce GDBA'nın özelliklerinin belirlendiği bir laboratuvar çalışması yürütülmüş sonrasında ağır trafik yükleri altında bitümlü sıcak karışım tabaka kalınlığının da etkisi dikkate alınarak GDBA'nın uzun dönem performansını değerlendiren 3 boyutlu doğrusal olmayan sayısal analizler yapılmıştır. Laboratuvar çalışması kapsamında, hazırlanan temel ve alt temel numunelerinin geoteknik özellikleri ile birlikte, esneklik modülü ve kalıcı deformasyon deneyleri uygulanarak esneklik özellikleri belirlenmiştir. Esneklik modülünün tahmin edildiği üç farklı model kullanılarak elde edilen sonuçlar karşılaştırılmış ve en uygun model sayısal analizlerde kullanılmıştır. Sonlu farklar yöntemine dayanan sayısal analizlerle, geleneksel esnek yol kaplama tabakalarının ağır trafik yükleri altında birikmiş plastik deformasyonları (tekerlek izi) belirlenmiştir. Deneysel sonuçlarından, GDBA'nın doğal agregalara kıyasla daha yüksek esneklik modülü ve daha düşük plastik deformasyon değerlerine sahip olduğu belirlenmiştir. Sayısal analiz sonuçları ise %100 GDBA kullanılarak inşa edilen temel ve alt temel tabakalarının mekanik performansının ve tekerlek izi değerlerinin ilgili şartnamelerde belirtilen gereksinimleri karşıladığını göstermektedir. Görece daha ince seçilen bitümlü sıcak karışım tabakası altında, tandem yükleme sırasında asal gerilmelerin dönmesi ve kenarlardaki düşük kayma gerilmeleri nedeniyle deplasmanların yol merkezine doğru arttığı, bu tabaka kalınlığının artmasıyla kalıcı deformasyonların yaklaşık %50 azaldığı ve çoklu tekerlekler altındaki deplasmanların birbirine yaklaştığı belirlenmiştir. Deneysel ve sayısal inceleme sonucunda, GDBA'nın temel ve alt temel tabakalarında dolgu malzemesi olarak kullanımının uygun olduğu anlaşılmaktadır.

Anahtar kelimeler: GDBA, Esnek Yol Kaplaması, Esneklik Modülü, 3B Nonlineer Analiz, Tekerlek izi.

Experimental and Numerical Investigation of Nonlinear Behavior of Recycled Concrete Aggregates used in Flexible Pavement Courses under Heavy Traffic Load

Abstract

The use of recycled concrete aggregates (RCA) obtained from construction demolition wastes in road embankments reduces the demand for natural aggregate, improves the long-term performance of conventional flexible road pavements with economical and environmentally friendly designs. In this study, the effects of using 100 % RCA in the base and subbase courses on the mechanical behavior of the flexible pavement was investigated. For this purpose, firstly a laboratory study characterizing the properties of RCA was carried out and after that a 3-dimensional nonlinear numerical analysis evaluating the long-term performance of RCA under heavy traffic loads have been done by considering the effect of asphalt coating thickness. In the laboratory study, the stiffness properties of the samples were obtained by applying the resilient modulus and permanent deformation tests together with the determination of the classical geotechnical properties. The results obtained by using three different models in which the resilient modulus was estimated were compared and the most suitable model was

*Sorumlu yazar: akbasm@itu.edu.tr

Geliş Tarihi: 27.11.2020, Kabul Tarihi: 13.02.2021

used in numerical analysis. The accumulated plastic deformation (rutting) of the conventional flexible pavement courses under heavy wheel loads were determined with numerical analysis based on finite difference method. From the results of the experiment, it was determined that RCA has higher resilient modulus and lower plastic deformation values compared to natural aggregates. The numerical analysis results show that the mechanical performance and rutting values of the base and subbase courses built with using 100% RCA meet the requirements specified in the relevant specifications, and that the displacements under the relatively thin hot mixture asphalt layer increased towards the center due to the rotation of the principal stresses during tandem loading and the low shear stresses at the edges, and that the accumulated permanent deformations decreased by about 50% with this layer thickness increased and the displacements under multiple wheel loads converged. It has been determined that GDBA is suitable for use as filling material in the base and subbase courses.

Keywords: RCA, Flexible Pavement, Resilient Modulus, 3D Nonlinear Analysis, Rutting.

1. Giriş

Geleneksel doğal malzemelerin kullanımını azaltan ve çevre dostu malzeme olarak kabul edilen geri dönüştürülmüş malzemelerin yol dolgularında kullanımı son yıllarda hızla artmaktadır [1]. Hareketli tekerlek yükleri altındaki esnek yol kaplamasının performansı, geleneksel dolgu malzemelerin (doğal agregata) birikmiş kalıcı deformasyonundan diğer bir deyişle tekerlek izinden etkilenirken, bu malzemeler yerine inşaat yıkım atıklarından (İYA) elde edilen geri dönüştürülmüş beton agregalarının (GDBA) kullanımı, esnek yol kaplamasının uzun dönem performansını iyileştirmektedir [2]. Doğal agregaların yerine veya karıştırılarak kullanılabilen bu tür geri dönüştürülmüş malzemeler, yol alt temel ve temel tabakaları için yüksek kaliteli bir alternatif olarak düşünülmektedir [3, 4].

Son yıllarda, temel ve alt temel malzemesi olarak kullanılan geri dönüştürülmüş malzemelerin esnek yol kaplama performansını etkileyen esneklik özellikleri birçok araştırmacı tarafından incelenmiştir [5-9]. Ayrıca bu geri dönüştürülmüş malzemelerin esneklik modüllerini ve plastik deformasyonlarını tahmin etmek için çeşitli modeller geliştirilmiştir [10-12]. Arulrajah vd. [13], doğal agregaların GDBA'ya kıyasla daha düşük esneklik modülüne ve daha yüksek kalıcı deformasyona sahip olduğunu göstermiştir. Pourtahmasb vd. [14], GDBA içeren sıcak asfalt karışımının esneklik modülünü tahmin etmek için bir çıkarsama sistemi kullanmıştır. Kaloop vd. [15] ise esnek yol kaplamalarında kullanılan geri dönüştürülmüş beton agregası ile geri dönüştürülmüş tuğladan oluşan karışımların esneklik modülünü tahmin etmek için bir yöntem önermiştir. Saberian ve Li [16], GDBA ve kauçuk karışımının temel ve alt temel uygulamalarında uzun süreli plastik deformasyon davranışını değerlendirmiştir. Pérez vd. [17], GDBA kullanılarak hazırlanan ve bitümlü stabilize edilmiş malzemelerin (BSM) yol temel tabakasında kullanımını incelemiş ve BSM ile inşa edilecek temel tabakalarının doğal agregalar kullanılarak inşa edilen temel tabakalarına kıyasla daha düşük birikmiş plastik deformasyon (tekerlek izi) ve daha yüksek esneklik modülü değerlerine sahip olduğunu belirtmiştir.

Ayrıca, geri dönüştürülmüş malzemelerin, hareketli bir tekerlek yükü altında yol üstyapı tabakalarının mekanik davranışına etkisi üzerine yapılan çalışmalar, bu konunun önemine rağmen, sınırlı sayıda [18, 19]. Örneğin Hu vd. [20] beton kaplamalı yol üstyapısının davranışını incelemek için çok katmanlı teoriye dayalı basit bir doğrusal elastik yöntem uygulamıştır. Pérez vd. [17], esnek yol kaplama tabakalarındaki kritik konumlarda maksimum tepkileri gözlemlemek için eksenel simetrik yaklaşımı kullanarak 3 Boyutlu sayısal bir analiz gerçekleştirmiştir.

Bu çalışmanın temel amacı, %100 oranında GDBA kullanılarak hazırlanan yol temel ve alt temel tabakalarının mekanik davranışını esneklik özelliklerini dikkate alarak 3 boyutlu incelemektir. Bu amaçla, ilk olarak temel ve alt temel numunelerinin esneklik özellikleri, laboratuvarında esneklik modülü ve kalıcı deformasyon deneyleri ile belirlenmiştir. Elde edilen deney sonuçları kullanılarak, numunelerin esneklik modülünü tahmin etmek için ise üç farklı doğrusal olmayan model kullanılmıştır. Farklı modellerden elde edilen model parametreleri karşılaştırılarak deney sonuçlarına en yakın değerleri veren model belirlenmiş ve esnek yol kaplamasının hareketli tek ve tandem tekerlek yükü altında mekanik davranışının 3 boyutlu modellenmesinde kullanılmıştır. Yol kesitinin yanal yönü boyunca eğimin sınırlı uzunluğu ve hareketli aracın farklı eksenlerinin dinamik etkileri arasındaki girişim etkisi göz ardı edildiği eksenel simetri yaklaşımı, trafik yükleri altında esnek yol kaplama davranışını incelemek için uygun bir yaklaşım olarak görülmektedir. Bu nedenle doğrusal olmayan sayısal analizler, gelişmiş dinamik sınır koşullarını içeren, sonlu farklar yöntemine dayanan, FLAC3D yazılımı ile gerçek 3

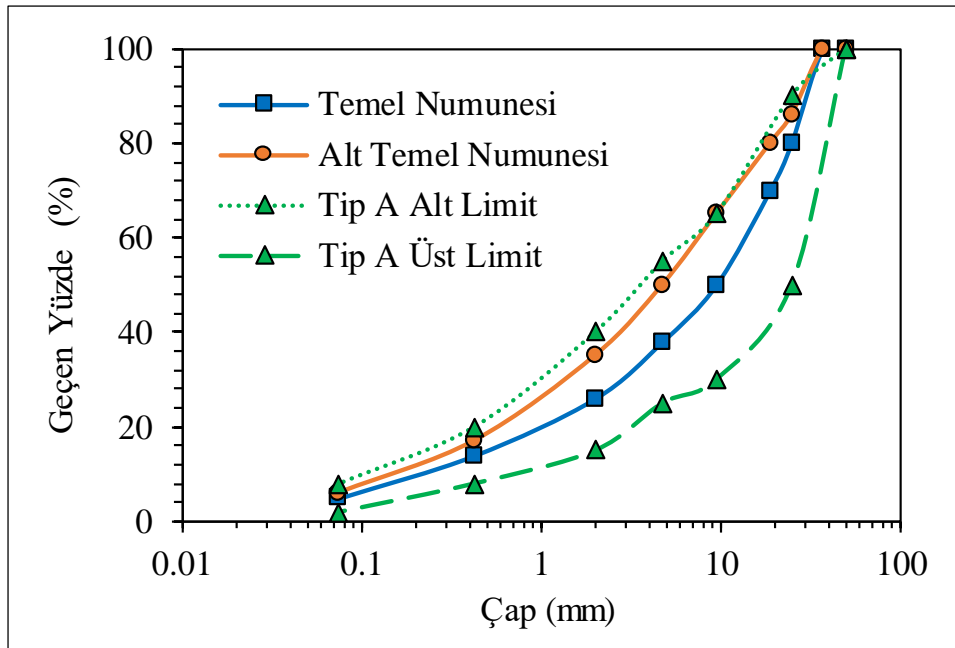
boyutlu olarak yapılmış, yol kaplama kalınlığının etkisi de göz önüne alınarak esnek yol üstyapısının mekanik davranışı incelenmiş, elde edilen sonuçları karşılaştırılmıştır.

2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada, yol üstyapısı temel ve alt temel tabakalarında doğal agrega yerine %100 oranında GDBA kullanımının uygunluğu değerlendirilmiştir. Değerlendirilen malzemeler, İstanbul'da 2012 yılında başlayan ve halen devam etmekte olan kentsel dönüşüm projesi sonucunda oluşan İYA'dan elde edilmiştir. Hazırlanan temel ve alt temel numunelerinin mekanik ve esneklik özellikleri kapsamlı bir laboratuvar programı ile belirlenmiş; deneysel çalışmadan elde edilen sonuçlar, GDBA kullanılarak inşa edilen temsili esnek yol üstyapının ağır yükler altında mekanik davranışının değerlendirildiği sayısal analizlerde kullanılmıştır.

2.1. Temel ve Alt Temel Numunelerinin Geoteknik Özellikleri

İstanbul'daki farklı binaların yıkılması ile elde edilen, maksimum nominal dane çapı 30 mm olan geri dönüştürülmüş beton agaragarı temel ve alt temel numuneleri hazırlamak için kullanılmıştır. Özgül ağırlık, kıvam limitleri, standart ve modifiye proktor deneyleri ile farklı hidrolik eğimlerde gerçekleştirilen sabit seviyeli geçirimsizlik ve büyük ölçekli kesme kutusu deneylerini kapsayan bir dizi standart zemin mekaniği laboratuvar deneyleri ilgili ASTM standartları izlenerek gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada kullanılan GDBA'nın özgül ağırlığı 2.72 olarak bulunmuştur. Kıvam limitleri deney sonuçları, tüm numunelerin plastik olmayan malzemeler olarak kabul edilebileceğini göstermiştir. Numuneler Karayolları Sınıflandırma Sistemine göre A-1-a sınıfında yer almaktadır. AASHTO Kaplama Yapıları Tasarımı Kılavuzu'na [21] göre temel ve alt temel malzemeleri için üst ve alt sınır ile hazırlanacak numuneler için seçilen dane çapı dağılım eğrileri Şekil 1'de göstermektedir. Numuneler üzerinde yapılan deneylerden elde edilen geoteknik özellikler ise Tablo 1'de özetlenmiştir.



Şekil 1. Temel ve alt temel numuneleri için AASHTO [21] sınır değerleri dikkate alınarak hazırlanan dane çapı dağılımları

Tablo 1. Hazırlanan temel ve alt temel numunelerinin geoteknik özellikleri

Özellikler	Malzeme	
	Alt Temel	Temel
Dane Çapı Dağılımı		
AASHTO	A-1-a	A-1-a
Çakıl (%)	50	62
Kum (%)	44	33
İnce Dane Oranı (%)	6	5
Sıkıştırma		
γ_k maks-standart (kN/m ³)	19.40	20.10
w_{opt} -standart (%)	11	10
γ_k maks-modifiye (kN/m ³)	19.80	20.50
w_{opt} -modifiye (%)	8	7
Permeabilite Katsayısı (cm/s)		
i:1	5.50×10^{-5}	5.86×10^{-5}
i:5	5.60×10^{-5}	6.42×10^{-5}
i:7	5.45×10^{-5}	5.83×10^{-5}
i:9	5.53×10^{-5}	5.54×10^{-5}
i:13	5.98×10^{-5}	5.69×10^{-5}
Ortalama	5.64×10^{-5}	5.87×10^{-5}
Mukavemet		
ϕ (°)	32	48
c (kPa)	28	10
Islak CBR (%)	121	133
Kuru CBR (%)	106	109

γ_{kmax} : maksimum kuru birim hacim ağırlık w_{opt} : optimum su muhtevası

i: hidrolik eğim ϕ : kayma mukavemeti açısı c: kohezyon.

2.2. Esneklik Modülü ve Kalıcı Deformasyon Deneyleri

Esneklik modülü ve kalıcı deformasyon deneyleri ile belirlenen esneklik özellikleri, esnek yol kaplama performansını etkileyen önemli faktörler arasında yer almaktadır. Numunelerin esneklik modülleri, AASHTO T-307 [22] 'ye göre tekrarlı üç eksenli yükleme ile belirlenmiştir. Bu çalışmada hazırlanan temel ve alt temel numunelerinin No. 10 ve No. 200 eleklerden geçen malzeme yüzdeleri sırasıyla %70 ve %20'den ve plastisite indisi %10'dan az olduğu için yukarıda belirtilen ilgili deney standardına göre, Tip-1 olarak sınıflandırılmıştır. Bu nedenle bu malzemeler, ilgili standartta önerildiği gibi 152 mm çapında ve 305 mm yüksekliğinde bölünmüş bir kalıpta sıkıştırılarak deney numuneleri hazırlanmıştır. Esneklik modülünü belirlemek için AASHTO T-307 [22]'de tanımlanan sayıda ve gerilme değerlerinde 0.1 saniye yükleme süresi ve 0.9 saniye dinlenme süresine sahip haversine şeklindeki yükler hazırlanan temel ve alt temel numunelerine uygulanmıştır. Uygulanan çevre basıncı ve deviatör gerilme değerleri yük tekrar sayıları ile birlikte her bir yükleme çevrimi için Tablo 2'de verilmiştir. Numunelerin hazırlanmasında kullanılan otomatik sıkıştırma ve esneklik modülü deney sistemi Şekil 2'de gösterilmiştir.

Esneklik modülü, uygulanan deviatör gerilmenin geri kazanılan deformasyona oranı (σ_d/ϵ_r) olarak hesaplanmaktadır. İstenilen çevre basıncı ve deviatör gerilme altında numunelerin esneklik modülünü tahmin etmek için literatürde önerilmiş birçok model bulunmaktadır. Bu çalışmada denklemleri sırasıyla Eş. (1), (2) ve (3)'te verilen, Hicks ve Monismith [23] tarafından önerilen Üssel model, Uzan [24] tarafından önerilen Uzan model ve Mekanik-Ampirik Kaplama Tasarımı NCHRP 1-37A'da [25] belirtilen MEPD model temel ve alt temel numunelerinin doğrusal olmayan davranışını tahmin etmek için kullanılmıştır.

$$\text{Üssel Model: } M_R = k_1 \theta^{k_2} \quad (1)$$

$$\text{Uzan Model: } M_R = k_1 P_a (\theta/P_a)^{k_2} (\sigma_d/P_a)^{k_3} \quad (2)$$

$$\text{MEPD Model: } M_R = k_1 P_a (\theta/P_a)^{k_2} (\tau_{oct}/P_a + 1)^{k_3} \quad (3)$$

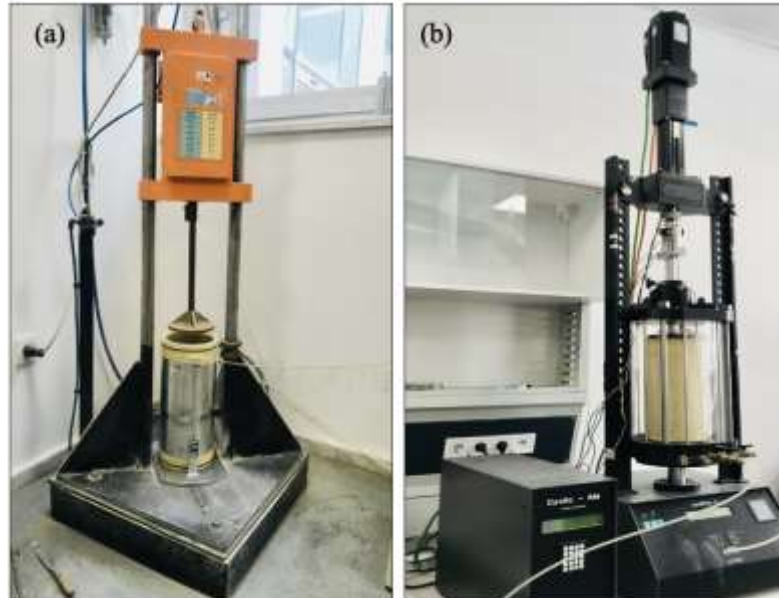
Burada; M_R esneklik modülü, k_1 , k_2 , k_3 laboratuvar deney sonuçları kullanılarak belirlenen uygun model sabitleri, σ_d deviatör gerilme ve P_a atmosferik basınçtır. Sırasıyla toplam gerilme (θ) ve oktahedral kayma gerilmesini (τ_{oct}) σ_1 , σ_2 ve σ_3 asal gerilmeler cinsinden tanımlayan denklemler Eş. (4) ve Eş. (5)'te verilmiştir. Ayrıca, NCHRP raporu 01-28A'da [26] önerildiği gibi, $\theta=208$ kPa ve $\tau_{oct}=48.6$ kPa için Özet Esneklik Modülü (ÖEM) değerleri hesaplanmıştır.

$$\theta = \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3 \quad (4)$$

$$\tau_{oct} = \frac{1}{3} \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2} \quad (5)$$

Tablo 2. Tip 1 malzemeler için uygulanan yük çevrimleri [22]

Yük Çevrim Sayısı	Çevre Basıncı, σ_3 (kPa)	Maks. Deviatör Gerilme $\sigma_{d,maks}$ (kPa)	Yük Tekrar Sayısı
Başlangıç	103.4	103.4	500
1	20.7	20.7	100
2	20.7	41.4	100
3	20.7	62.1	100
4	34.5	34.5	100
5	34.5	68.9	100
6	34.5	103.4	100
7	68.9	68.9	100
8	68.9	137.9	100
9	68.9	206.8	100
10	103.4	68.9	100
11	103.4	103.4	100
12	103.4	206.8	100
13	137.9	103.4	100
14	137.9	137.9	100
15	137.9	275.8	100



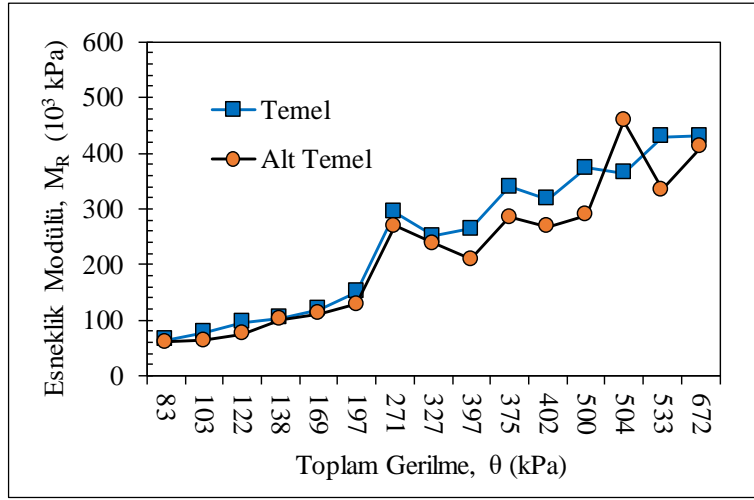
Şekil 2. (a) Numunelerin esneklik modülü deneyi için hazırlanması (b) Esneklik Modülü Deney Düzenegi

Esneklik Modülü, tekrarlı yüklemeye maruz kalan kaba daneli dolgu malzemelerinin uzun dönem performansını tam olarak değerlendirmek için yeterli olmayıp, plastik deformasyon deney sonuçları ile birlikte değerlendirilmesi yararlı olmaktadır [27]. Bu nedenle numuneler, tekerlek izini

karakterize etmek için plastik deformasyon deneylerine tabi tutulmuş ve sonuçlar esneklik modülü deney sonuçları ile birlikte değerlendirilmiştir. NCHRP raporu 01-28A [26] 'da belirtildiği gibi, esneklik modülü deneyi ile aynı başlangıç yüklemesi ile başlayan ve 34.5 kPa çevre basıncına (σ_3), 206.8 kPa deviyatör gerilmeye (σ_d) sahip yükün 10000 (onbin) kez uygulanması ile devam eden plastik deformasyon deneyi hem temel hem de alt temel numunelerine uygulanmıştır.

2.3. Esneklik Modülü ve Kalıcı Deformasyon Deney Sonuçları

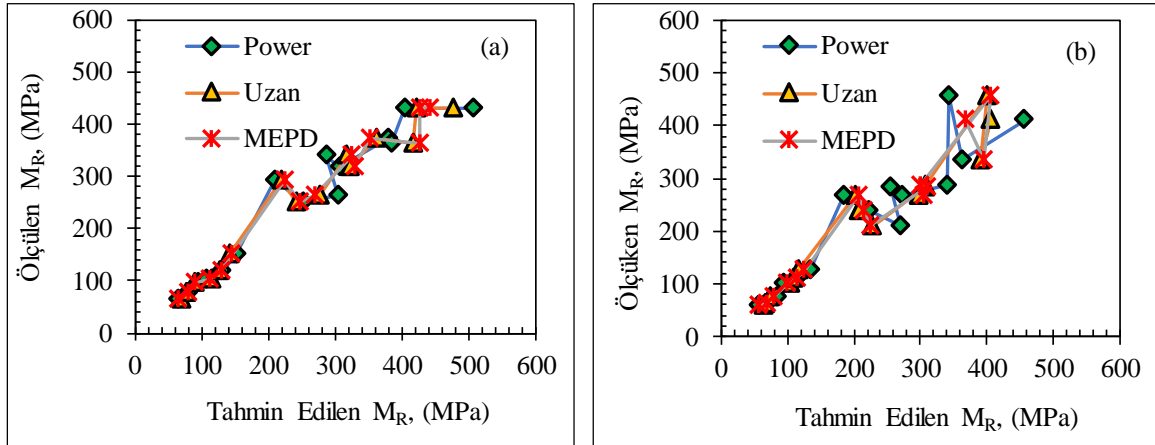
Bu çalışma kapsamında, %100 GDBA ile hazırlanan temel ve alt temel numunelerin esneklik özellikleri, esneklik modülü ve plastik deformasyon deneyleri ile belirlenmiştir. Esneklik modülü değerleri, her yükleme serisindeki son 5 yük tekrarı için deviyatör gerilmesinin (σ_d) elastik gerilmeye (ϵ_r) oranı olarak hesaplanmıştır. Esneklik modülünün (M_R) toplam gerilme (θ) ile değişimi Şekil 3'te gösterilmiştir.



Şekil 3. Farklı toplam gerilmelerinde temel ve alt temel numunelerinin esneklik modülü

Verilen şekilden, temel ve alt temel numuneleri için esneklik modülü M_R değerlerinin sırasıyla 65-430 MPa ve 60-410 MPa aralığında değiştiği görülmektedir. Bu çalışmada elde edilen toplam gerilme- M_R ilişkisi önceki çalışmalarda elde edilenlerle uyumlu olup [28, 29], numunelerin M_R değerleri arasındaki fark, dene şekli, dane çapı dağılımı ve su içeriği gibi faktörlerle açıklanabilmektedir [30].

Kaba daneli malzemelerin uzun süreli davranışı ile esneklik modülü değeri ile ilişkisi göz önüne alındığında, doğru tahmin edilen M_R değerlerinin kullanılması tasarım sürecini ve nihayetinde kaplama performansını etkilediği açıktır. Esneklik modülünü tahmin eden üç farklı doğrusal olmayan model uygulandıktan sonra en uygun model belirlenmiş ve çalışmanın sayısal analiz aşamasında belirlenen modellerden elde edilen parametreler kullanılmıştır.



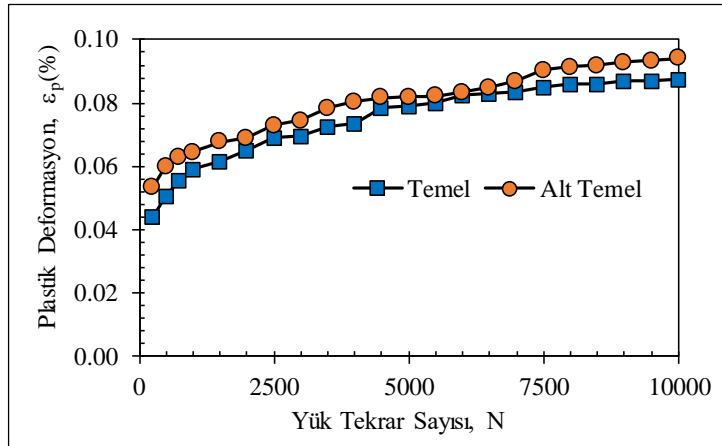
Şekil 4. (a) temel ve (b) alt temel numuneleri için ölçülen ve tahmin edilen esneklik modülleri

Hazırlanan numunelerin deney sırasında ölçülen esnek modülüne karşılık üç farklı model ile tahmin edilen esneklik modülü değerleri Şekil 4'te göstermektedir. Her modelin özet esneklik modülü (ÖEM) ve korelasyon katsayısı (R^2) değerleri ise Tablo 3'te özetlenmiştir. Önerilen her üç modelin de temel ve alt temel numuneleri için yüksek korelasyon katsayısına sahip olduğu görülmektedir. Ancak esneklik modülü deneylerinden ölçülen M_R değerlerinden en az sapma her iki numunede de MEPD modelinde elde edildiği için trafik yükü altında uygulanan sayısal analizlerde M_R değerinin derinlikle değişiminde bu model parametreleri kullanılmıştır.

Tablo 3. Temel ve alt temel numuneleri için elde edilen model parametreleri

Model	Alt Temel					Temel				
	k_1	k_2	k_3	R^2	ÖEM	k_1	k_2	k_3	R^2	ÖEM
Üssel	702.9	0.99	-	0.86	142.24	931.9	0.97	-	0.93	163.78
Uzan	577.4	1.28	-0.33	0.94	120.90	850.1	1.12	-0.17	0.96	150.91
MEPD	782.2	1.23	-1.03	0.93	128.74	878.6	1.12	-0.65	0.96	154.35

Plastik deformasyon deneyinde temel ve alt temel numuneleri için 10000 yük tekrarına kadar belirtilen tekrarlı gerilme genliklerinde plastik deformasyon değerleri Şekil 5'te gösterilmiştir. Şekilden de görülebileceği üzere nihai durumda numunelerde oluşan plastik deformasyonlar $\%0.08 < \epsilon_p < \%0.10$ aralığında kalmıştır. Plastik deformasyon deney sonuçları, alt temel numunelerinin temel numunelerine kıyasla daha yüksek plastik deformasyon değerlerine sahip olduğunu göstermektedir. Bu durum temel numunelerinin alt temel numunelerine göre sahip olduğu daha iyi parçacık kenetlenmesi ve daneler arası daha yüksek temas alanı ile açıklanabilmektedir [31].



Şekil 5. Temel ve alt temel numunelerinin plastik deformasyon değerlerinin yük tekrar sayısı ile değişimi

2.4. Sayısal Analizler

Sayısal analizlerde, temel ve alt temel tabakalarında GDBA kullanılacak esnek bir yol kaplamasının mekanik davranışı çoklu tekerlek yüklerinin dinamik olarak uygulandığı üç boyutlu modeller kurularak sonlu farklar yöntemiyle incelenmiştir. Temel ve alt temel tabakalarının doğrusal olmayan davranışı dikkate alınarak, deneysel olarak esneklik modülleri tespit edilen malzemelerin tekerlek yükleri altındaki birikmiş plastik deformasyon değerleri diğer bir deyişle tekerlek izleri ile kaplamada ağır tekerlek yüküne maruz kaldığında aracın farklı eksenlerinde oluşacak deformasyonlar arasındaki en büyük sapma değerleri bitümlü sıcak karışım tabakasından oluşan üst kaplama kalınlığına bağlı olarak araştırılmıştır.

Bu bölümde özellikle sayısal analizlerde göz ardı edilen birbirine yakın mesafede birden fazla yüklemeye maruz kalan yol tabakalarında zemin gerilmelerinde oluşan girişimin etkileri incelenmiştir. Ayrıca hareketli taşıt yüklerinin dinamik olarak etkilenerek incelenmesi çalışmanın literatüre katkı olarak değerlendirilmektedir. Üst üste gelen gerilmelere karşı esnek kaplama tabakalarının mekanik

performansı ve dinamik yük altında kaplamadaki asal gerilmelerin dönüşü ancak 3 boyutlu analiz ile incelenebilir. Bu tür analizler, doğrusal olmayan zemin özellikleri ve gelişmiş sınır koşulları tanımlanarak sahayla uyumlu sonuçlar sağlamaktadır. Böylelikle, tasarım sürecinde göz ardı edilebilen genişlik, şev açısı gibi yol kesiti geometrisinden, tekil yük ve tandem gibi çoklu yükleme şeklerinden, statik ve dinamik yükleme durumundan kaynaklanan etkilerin dikkate alınmasını sağlamaktadır.

Bu çalışmada üç boyutlu esnek yol kaplama modelinin ağır bir vasıtanın geçişi sırasında etkisinde kalacağı yükleme durumu, tek aksa sahip ön teker takımı ve tandem durumundaki çift akstan ve 4 ila 8 adet tekerden oluşan çoklu yüklemenin yapıldığı arka bölümden oluşan bir kamyon yükü olarak tanımlanmıştır. Yapılan sayısal analizlerin temel amacı, doğrusal olmayan zemin davranışını dikkate alarak, çoklu tekerlek yükleri altında üst üste binen gerilme bölgelerinde oluşacak maksimum plastik deformasyon değerlerini tahmin etmektir. Çalışmanın sayısal modellerinde, esnek yol kaplamasındaki doğal zemin tabakası yumuşak ila orta sert kumlu siltli kil olarak alınmıştır. Ek olarak, Bitümlü Sıcak Karışım (BSK) özellikleri, TS 3720 “Bitümlü Kaplama Karışımlarının Hesap Esasları” standardına göre Marshall Metodu [32] dikkate alınarak seçilmiştir. Bu analizlerde, esneklik modüllerinin derinlikle değişimi, deneysel sonuçlara en yakın esneklik modülü değerlerinin elde edildiği MEPD modeli ile belirlenmiştir. 3 boyutlu (3B) modelin geometrik özellikleri, esnek kaplama tabakalarının fiziksel ve mekanik özellikleri, modelin sınır koşulları ve uygulanan dinamik yüklemenin özellikleri aşağıda verilmektedir.

2.5. 3 Boyutlu Yol Modeli ve Sınır Koşulları

Modellere ait analizler, açık sonlu fark şeması ile çalışan ve FLAC3D yazılımında doğrusal olmayan yöntemle gerçekleştirilmiştir. Sonlu farklar yöntemi düzensiz geometrilerin modellenmesinde esneklik sağladığından ve zaman tanım alanında dinamik analizlere uygunluğu nedeniyle tercih edilmiştir. Dahası, tamamen doğrusal olmayan yöntem, önceden belirlenmiş herhangi bir doğrusal olmayan malzeme bünye bağıntısının kullanımına imkân tanımakta ve plastik akma uygun şekilde modellenebilmektedir.

Sayısal analizler, ağır trafik yükleri altında geri dönüştürülmüş malzemelerle tasarlanan yol yapısının performansını inceleme amacıyla yapılmıştır. Yol kaplama enkesiti, bitümlü sıcak karışım altında yer alan %100 GDBA ile hazırlanan temel ve alt temel tabakası ile alt temel tabakası altında yer alan doğal zemin olmak üzere 4 tabakadan oluşmaktadır. Ayrıca, bitümlü sıcak karışım BSK tabakası kalınlığının esnek yol kaplamanın mekanik performansı üzerindeki etkilerini araştırmak için, sayısal analizler BSK'nın 0.05 m ve 0.10 m olduğu durumlar için ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir. Temel ve alt temel tabakaları sırasıyla 0.30 m ve 0.65 m kalınlığında tanımlanmıştır. Doğal zemin tabakası yarı sonsuz uzay olarak devam etmektedir. Modellenen kaplamanın genişliği (L), yüksekliği (H) ve eğimi sırasıyla 7.0 m, 1.0 m ve 45° olarak alınmıştır. Model uzunluğu, standart bir kamyonun boyutlarına göre yeterince uzun olarak seçilmiştir. Oluşturulan 3B esnek yol kaplama modeli 236640 adet tetrahedral eleman ile ayrıştırılarak sonlu fark ağı oluşturulmuştur. Modellerde, sınır bölgeleri yakınındaki düzensiz yük ve gerilme konsantrasyonlarını gidermek için gelişmiş sınır koşulları uygulanmıştır. Kaplama modelinin şematik bir temsili Şekil 6'da gösterilmektedir.

Alt sınırda sessiz sınır (quiet boundry) şeması uygulanmış, yanal sınırlar için, yansıtıcı olmayan serbest alan sınırları, viskoz sönümleyiciler yardımıyla tanımlanan ana ızgarayı serbest alan ızgarasına bağlamak için kullanılmıştır. Her iki koşul, Eş. (6), (7), (8) ve (9)'da verilen kayma ve normal gerilmelerin viskoz karşıtlarını üretmek için tanımlanarak, sahada var olan gerilme durumuna en yakın benzerlikte model kurulmuştur.

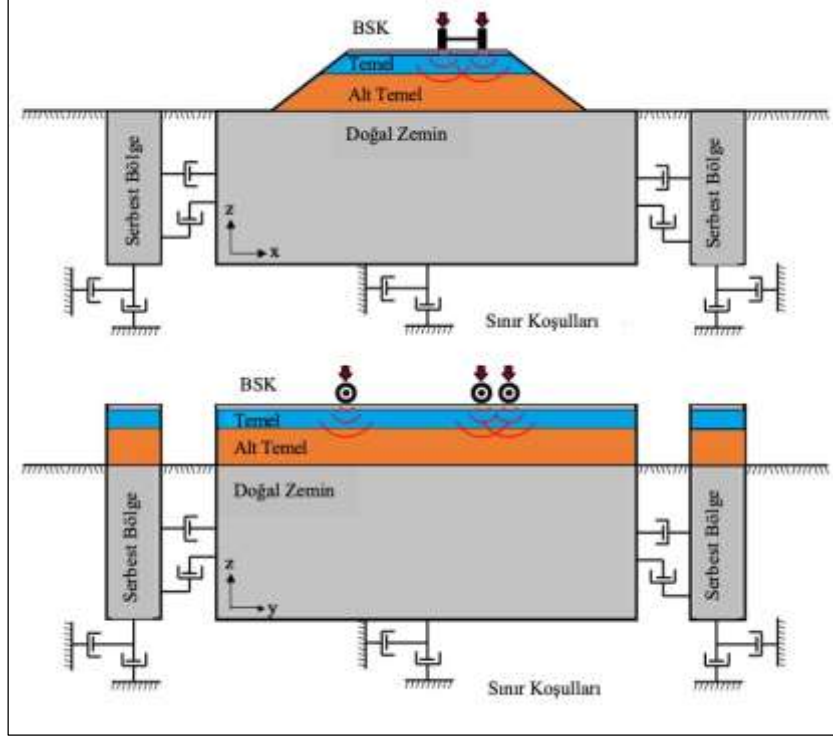
$$t_n = -\rho C_p V_n \quad (6)$$

$$t_n = -\rho C_s V_s \quad (7)$$

$$F_x = -\rho C_p (v_x^m - v_x^{ff}) A + F_x^{ff} \quad (8)$$

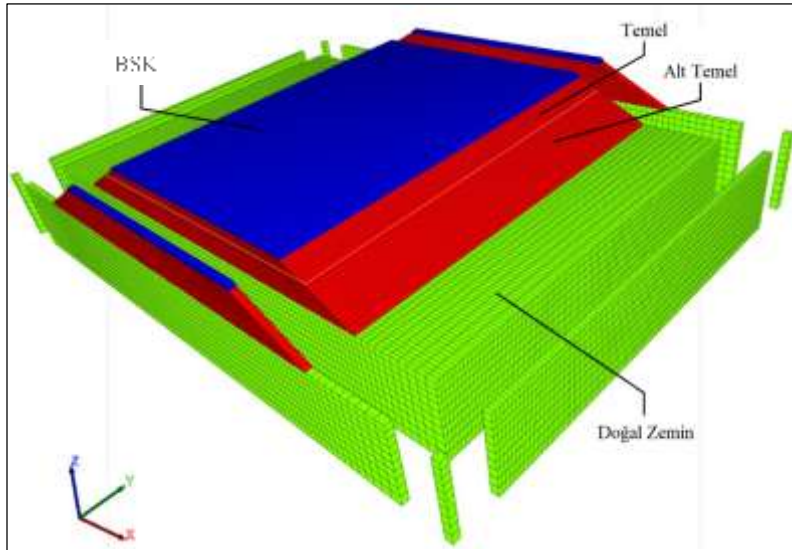
$$F_y = -\rho C_s (v_y^m - v_y^{ff}) A + F_y^{ff} q_2 \quad (9)$$

Burada, sırasıyla, t_n ve t_s türetilen karşıt normal ve kayma gerilmeleri, ρ kütle yoğunluğu, C_p ve C_s sırasıyla basınç (P) ve kayma (S) dalgalarının hızları ve v_n ve v_s malzeme ortam hızının normal ve kayma bileşenleridir. F_x , F_y , x ve y doğrultularındaki kuvvetleri, A , serbest sınır serbest bölge (Free Field) ağı üzerindeki düğüm noktalarının etkili alanıdır. C_s ve C_p yan sınırlara ulaşan P ve S dalgalarının hızlarıdır. v_x^m ve v_y^m modeli oluşturan sonlu fark ağının yan sınırlarında bulunan düğüm noktalarının hızlarıdır. v_x^{ff} ve v_y^{ff} , Serbest Bölge ağı üzerinde bulunan düğüm noktalarının hızlarıdır. F_x^{ff} , F_y^{ff} , yan sınırlar boyunca düğüm noktalarına serbest bölge ağındaki elemanlarda oluşan σ_{xx}^{ff} , σ_{xy}^{ff} gerilmelerinden gelen kuvvetleri göstermektedir.

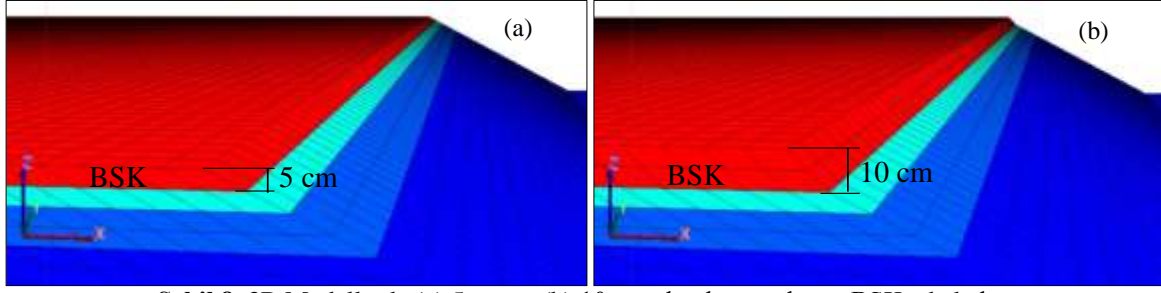


Şekil 6. 3 boyutlu yol modelinin geometrik özellikleri ve sınır koşulları.

İncelenen modellere ait ayrıklaştırılmış ortamın geometrik özellikleri ve ileri sınır koşullarıyla tanımlanan ilave eleman ağları Şekil 7’de görülmektedir. Ayrıca yüzeyde tanımlı BSK tabakası iki farklı kalınlık için Şekil 8’de verilmiştir.



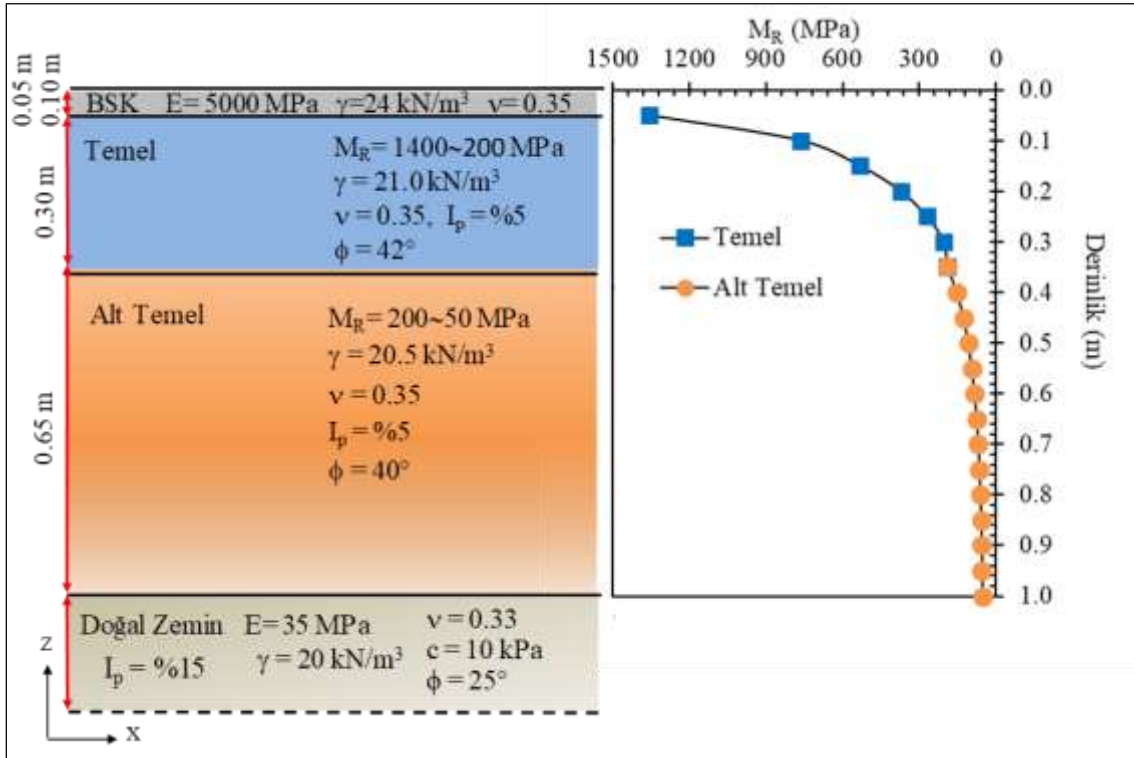
Şekil 7. Sayısal analiz için hazırlanan esnek yol kaplama enkesitinin 3 boyutlu modeli



Şekil 8. 3B Modellerde (a) 5 cm ve (b) 10 cm olarak tanımlanan BSK tabakaları

2.6. Malzeme Özellikleri ve Dinamik Taşıt Yüğü

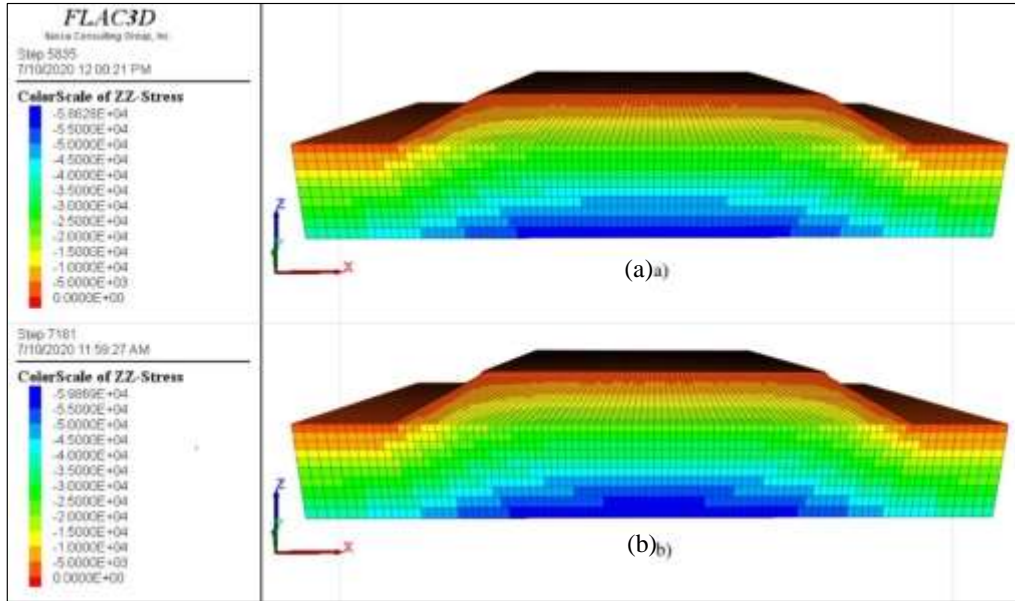
Haversine fonksiyonu şeklindeki dinamik ağır bir trafik yükü BSK yüzeyine uygulandığında, yüksek gerilme seviyelerinde temel, alt temel ve doğal zemin tabakalarında biriken plastik deformasyon değerleri elasto-plastik Mohr-Coulomb modeli kullanılarak incelenmiştir. Daha düşük deformasyon seviyelerinde ise histeretik şeması ile kayma modülünün değişimi ve döngüsel sönümlenme tanımlanmıştır. Bu durum çoklu ağır trafik yükleri altında GDBA'nın tamamen doğrusal olmayan davranışının model üzerindeki her nokta için araştırılmasını imkân sağlamıştır. BSK tabakasının malzeme özelliklerinin elastik olduğu varsayılmıştır. Sayısal analizlerde kullanılan 0.05 m ve 0.10 m BSK tabakasına sahip 2 esnek yol kaplama tabakalarının geoteknik özellikleri ve esneklik modülü değerlerinin derinlikle değişimi Şekil 9'da verilmiştir.



Şekil 9. 0.05 m ve 0.10 cm BSK tabakasına sahip esnek yol kaplama tabakalarının özellikleri ve esneklik modüllerinin derinlikle değişimi

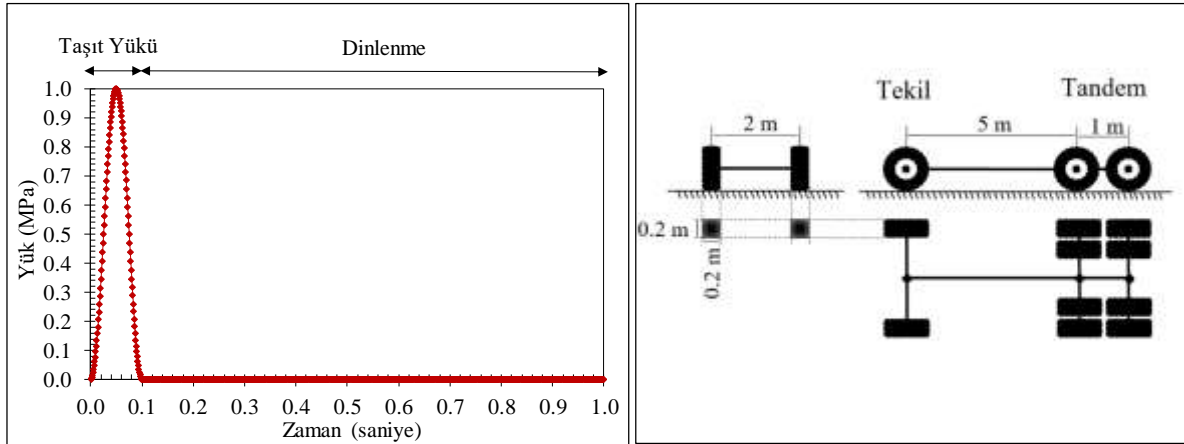
Kullanılan malzemeler için tanımlanan histeretik eğriler, Ishibashi ve Zhang [33] tarafından önerilen korelasyonlar kullanılarak hazırlanmıştır. Azalım yöntemi, derinlikle değişen efektif gerilmelerdeki artışı dikkate alarak, plastisite indisine bağlı olarak değişmektedir. Bu nedenle, sayısal analizlerde zeminlerin homojen olmayan ve anizotrop yapısı dikkate alınmıştır. Yükleme yapılmadan önceki denge durumunda model kesitlerindeki normal zemin gerilmeleri Şekil 10'da gösterilmektedir. Yüzeydeki gerilmeler sıfırdan başlayarak modelin tabanında yaklaşık 60 kPa'ya ulaşmıştır. Ayrıca modelin düşey sınırlarında gerilme konturlarının paralel olduğu görülmüştür. Bu durum, modelin yatay

boyutunun yeterli genişlikte seçildiğini göstermekte ve modelin başlangıç koşullarının doğrulandığını teyit etmektedir.



Şekil 10. Başlangıç denge durumunda esnek yol kaplama modellerindeki normal gerilme dağılışı (a) BSK kalınlığı 5 cm ve (b) BSK kalınlığı 10 cm

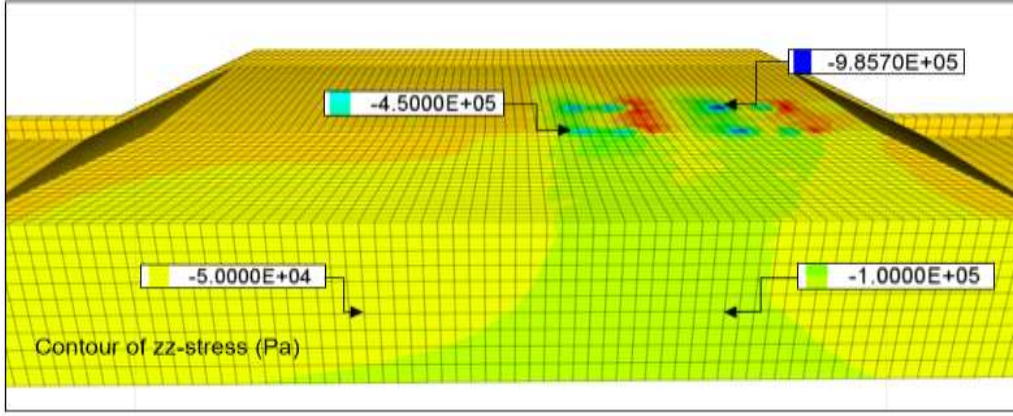
Temel ve alt temel malzemelerinin ağır trafik yükleri altında davranışını araştırmak için farklı dingil özelliklerine sahip bir kamyon seçilmiştir. Tek ön dingil ve tandem şeklindeki arka dingillerin uyguladığı basınç yükü maksimum 1.0 MPa genlikli Haversine fonksiyonu şeklinde dinamik olarak etkilmiştir. Her bir tekerleğin temas yüzeyi $0.20 \text{ m} \times 0.20 \text{ m}$ 'lik alandan oluşmaktadır. BSK'ya uygulanan dinamik yük, iki aşamadan oluşmaktadır. Bunlar, taşıt yükü (0.1 saniye) ve dinlenme süresi (0.9 saniye) olarak Şekil 9'da standart bir kamyon aks sistemi ile birlikte gösterilmektedir.



Şekil 11. Modellere uygulanan yükleme fonksiyonu ve taşıt yüklemesinin şematik gösterimi.

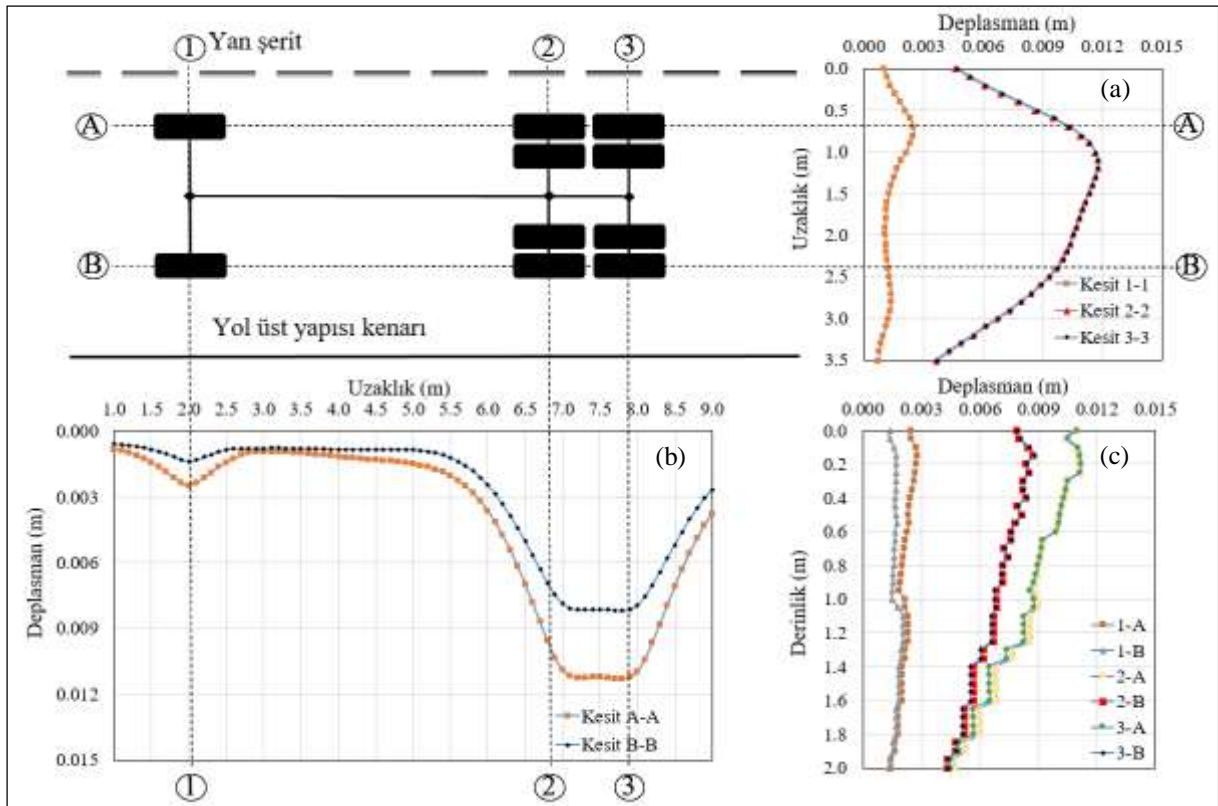
2.7. Sayısal Analiz Sonuçları

Sayısal analizlerde elde edilen sonuçlarla BSK kalınlığının üç boyutlu olarak modellenen esnek yol kaplamanın mekanik davranışına etkileri değerlendirilmiştir. Analizlerde BSK tabakasının 0.05 m olarak tanımlandığı modelde tandem yüklemesinin yapıldığı taşıt arka tekerlerinin iz düşümünde 1 MPa değerindeki teker yükleri altında model tabanında zemin gerilmelerinin 60 kPa değerinden 100 kPa değerine kadar çıktığı ve zemin gerilmelerinin oluşturduğu girişim Şekil 12'de verilen yeşil bölüme görülmektedir.



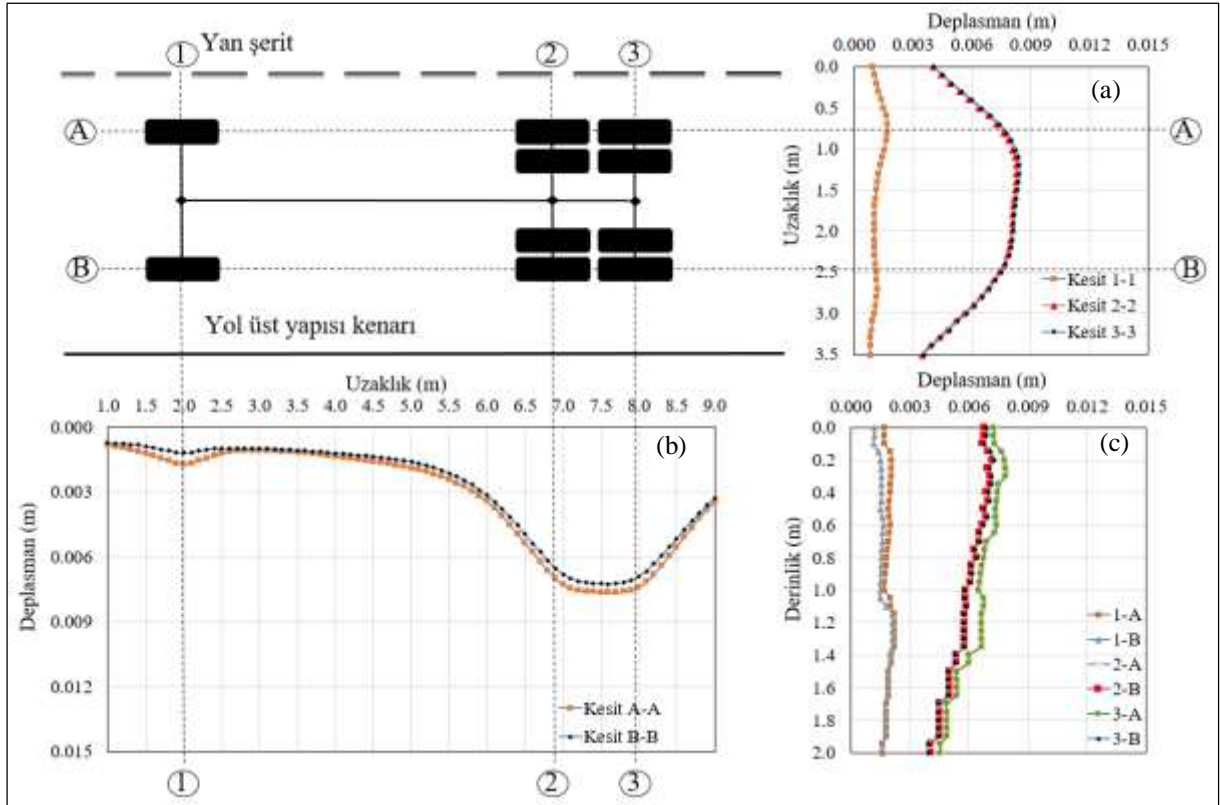
Şekil 12. Yüklemenin $t=0.05$ s anında tandem altında oluşan düşey gerilmeler

Şekil 13 (a) incelendiğinde esnek yol kaplama modelinde kaplama tabakasının 0.05 cm olduğu durumda merkeze yaklaştıkça teker altında oluşan deplasmanların tek akstan oluşan teker yükleri altında 1.5×10^{-3} m seviyelerinden 2.75×10^{-3} m değerlerine yükseldiği görülmektedir. Aynı şekilde tandem yükü altında arka bölümde 8×10^{-3} m değerindeki deplasmanların yine merkeze doğru 11×10^{-3} m değerine kadar çıktığı görülmektedir. Yüzeydeki deplasmanların esnek yol kaplama kesitinin orta bölümüne yakın olan A-A aksında ve kenar bölümdeki B-B aksında değişimini veren Şekil 13 (b) grafiğinde de bu fark açıkça görülmektedir. Bu durum aksel simetrik veya düzlemsel deformasyon analizlerinde iki boyutlu modellerde yakalanamayan, elastik kaplama altındaki basınç dağılımı, yükleme sırasında asal gerilmelerin dönmesi ve şev kenarlarındaki düşük kayma gerilmeleri nedeniyle yol merkezine doğru daha yüksek deplasmanların meydana gelmesine neden olmuştur. Diğer yandan temel, alt temel ve doğal zemin tabakalarında oluşan deplasmanların ulaştığı değerler Şekil 13(c)'de verilmiştir.



Şekil 13. 0.05 m BSA tabakasına sahip esnek yol kaplama modelinde kesitlerde dinamik taşıt yükü altında elde edilen deplasmanlar

Yol yüzeyinde teşkil edilen kaplama kalınlığının 0.10 m tanımlandığı ikinci grup analizlerde dinamik taşıt yükü altında elde edilen maksimum deplasman değerleri Şekil 14(a), 14(b) ve 14(c) ile verilen grafiklerde sunulmuştur. Tandem yüklemesinin bulunduğu arka bölümdeki çoklu teker yüklerinin birbirine yakınlığı ve zeminde oluşan normal gerilmelerin girişimi nedeniyle 2-2 ve 3-3 akslarındaki deplasmanların ilk grup analiz sonuçlarına benzer şekilde daha yüksek olduğu görülmektedir. Ancak çarpıcı şekilde ilk grupta merkeze yakın konumdaki A-A aksı boyunca oluşan deplasman değerlerinin B-B aksındaki değerlere oldukça yaklaştığı görülmektedir. Bu durum ise yüzeyde oluşturulan elastik kaplama kalınlığının artışıyla yüzeye uygulanan taşıt yüklerinin alt tabakalara nispeten daha homojen aktarılmasıyla açıklanabilir. 5 cm kalınlığında kaplama ile oluşturulan modelde 11×10^{-3} m değerindeki en büyük deplasman değerlerinin 7.8×10^{-3} m değerlerine, tek aks ile yüklemenin yapıldığı ön kısımda ise 2.75×10^{-3} m değerinden 1.5×10^{-3} m değerine düştüğü görülmektedir.



Şekil 14. 0.10 m BSA tabakasına sahip esnek yol kaplama modelinde kesitlerde dinamik taşıt yükü altında elde edilen deplasmanlar

Ayrıca çalışmada %100 GDBA kullanılarak oluşturulan esnek kaplamanın mekanik davranışın yüzey oturmalarındaki etkilerinin araştırıldığı sayısal analizlerle tekerlekler altında tahmin edilen deplasman değerlerinin AASHTO Kaplama Yapıları Tasarımı Kılavuzu'na [21] ve NCHRP 1-37A [25] standartlarında belirtilen 11.51×10^{-3} m ve 19.05×10^{-3} m değerlerinden daha düşük olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

3. Bulgular ve Tartışma

Bu çalışmada, GDBA'nın esneklik özellikleri elde edildikten sonra, temel ve alt temel tabanında esneklik özellikleri laboratuvar çalışması ile önceden belirlenmiş GDBA kullanılarak dizayn edilen bir esnek yol kaplama kesiti üzerinde tamamen doğrusal olmayan bir yöntem kullanılarak sayısal analiz gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar geçmiş çalışmalardan doğal ve GDBA için elde edilen sonuçlar, ilgili teoriler ve şartnameler ile değerlendirilerek, ülkemizdeki kentsel dönüşüm projesinden elde edilen GDBA'ların esnek yol kaplaması temel ve alt temel tabakalarında kullanım uygunluğu değerlendirilmiştir.

Yol kaplama tabakalarında GDBA doğal agregalar yerine veya belli oranlarda doğal agregalar ile karıştırılarak kullanılabilir [13]. Temel tabakasında yaygın olarak kullanılan Sınıf 5 ve Sınıf 6 doğal agregalar için elde edilen esneklik özellikleri, bu çalışmada kullanılan %100 GDBA'dan hazırlanan temel numuneleri için elde edilen özet esneklik modülleri ve plastik deformasyon değerleri ile karşılaştırılmıştır. Çalışmada kullanılan %100 GDBA ile hazırlanmış temel numuneleri için özet esneklik modülleri ve plastik deformasyon değerleri sırasıyla yaklaşık 154 MPa ve %0.09 olarak bulunurken; Wen ve Edil [34] Sınıf 6 doğal agregası için bu değerlerin sırasıyla 154 MPa ve %0.71 olduğunu, Bozyurt vd. [35] ise Sınıf 5 doğal agregası için ise bu değerlerin sırasıyla 152 MPa ve %1.60 olduğunu belirtmiştir. GDBA'nın doğal agregaya kıyasla daha eşit veya yüksek esneklik modülü ve daha düşük plastik deformasyon değerlerine sahip olduğu belirlenmiştir. Bu sonuçlar GDBA'nın doğal agregaya kıyasla eşit veya daha yüksek esneklik modülü ve daha düşük plastik deformasyon değerlerine sahip olduğunu ve GDBA'nın doğal Sınıf 5 ve Sınıf 6 agregalara kıyasla tekerlek izine karşı daha dirençli olduğunu göstermektedir.

Çevre dostu geri dönüştürülmüş malzemelere olan talebin artmasıyla birlikte, GDBA'nın alt temel ve temel tabakalarında kullanımı son yıllarda birçok araştırmacı tarafından incelenmiş ve yol kaplama tabakalarında kullanım uygunluğu değerlendirilmiştir [36, 37, 38]. Geçmiş çalışmalardan elde edilen sonuçlar bu çalışmalardan elde edilen sonuçlar ile karşılaştırıldığında, elde edilen esneklik modülü ve plastik deformasyon değerlerinin kabul edilebilir seviyede olduğunu göstermektedir. Örneğin; Bozyurt vd. [36], farklı sahalardan toplanan altı farklı GDBA numunesi üzerinde çalışmış ve GDBA numuneleri için ÖEM ve birikmiş plastik deformasyonun (tekerlek izi) sırasıyla 163 ila 208 MPa ve %0.5 ila %0.8 arasında değiştiğini bildirmiştir. Ayrıca geçmişte yapılan çalışmalar, esneklik modülü tahmini için bu çalışmada seçilen modellerin gelişmiş korelasyon parametrelerinin GDBA'nın esneklik modülünü tahmin etmek için başarıyla kullanıldığını ortaya koymuştur. Örneğin; Bozyurt vd. [35] yol kaplama temel tabakasında GDBA'nın kullanımını incelemiş, 7 farklı kaynaktan temin edilen GDBA'nın esneklik modülü tahmininde MEPD modelin başarılı bir şekilde uygulanabileceği sonucuna varmıştır. Jayakody vd. [2] ise yol dolgu malzemesi olarak GDBA'nın performansını değerlendirmiş, esneklik modülü tahmininde bu çalışmada kullanılan Üssel, Uzan ve MEPD modelleri kullanım ve bu modellerin GDBA'nın esneklik modülü tahmininde başarılı bir şekilde kullanıldığını belirtmiştir.

Temel ve alt temel tabakalarının plastik davranışını değerlendirmek için ise Shakedown teorisi kullanılmaktadır [39, 40]. Bu teoriye göre, malzemelerin plastik deformasyon davranışı, Aralık A, Aralık B ve Aralık C olarak sınıflandırılmaktadır. Aralık A'da yer alan bir malzeme yalnızca sınırlı sayıda yük tekrarı için plastik davranış gösterirken ve bu sayıdan sonraki yük tekrarlarında elastik davranış sergilemektedir. Plastik sünme olarak adlandırılan B Aralığı'nda ise, malzemeler başlangıçta görece yüksek seviyede plastik deformasyon yaparken, yük tekrar sayısı arttıkça plastik deformasyon değerleri sabit kalmaktadır. C grubundaki malzemelerde ise yüksek yük seviyelerinde artan tekrar sayısı ile her zaman plastik davranış görülmektedir. Werkmeister [41] tarafından, belirli sayıdaki yük tekrarlarındaki kalıcı deformasyon değerlerini kullanarak plastik davranışı değerlendirmek için Aralık A, B ve C için sırasıyla Eş. 10, 11 ve 12'de belirtilen sınır değerleri önerilmiştir.

$$\text{Aralık A: } \varepsilon_{p\ 5000} - \varepsilon_{p\ 3000} < 0.045 \times 10^{-3} \quad (10)$$

$$\text{Aralık B: } 0.045 \times 10^{-3} < \varepsilon_{p\ 5000} - \varepsilon_{p\ 3000} < 0.40 \times 10^{-3} \quad (11)$$

$$\text{Aralık C: } \varepsilon_{p\ 5000} - \varepsilon_{p\ 3000} > 0.40 \times 10^{-3} \quad (12)$$

Plastik deformasyon deneyinden elde edilen plastik deformasyon değerleri kullanılarak, 5000 ve 3000 yükleme tekrarları arasındaki plastik deformasyon değerleri arasındaki farkın, temel ve alt temel numunelerin için sırasıyla 0.095×10^{-3} ve 0.075×10^{-3} olduğu belirlenmiştir. Hem temel hem de alt temel numuneleri nihai plastik deformasyonun değerlerinin %90'dan fazlasını 2500 yük tekrar sayısına kadar karşılamış ve bu yük tekrar sayısından sonra plastik deformasyon değerlerinde kayda değer bir değişiklik gözlenmemiştir. Bu durum temel ve alt temel numunesinin plastik sünme davranışı sergilediği göstermektedir. Benzer sonuçlar geçmişteki çalışmalar da elde edilmiş; Mohammadinia vd. [42], Shakedown teorisini kullanarak çok aşamalı döngüsel yükleme koşulları altında GDBA'nın plastik davranışını değerlendirmiş ve GDBA'nın farklı yükleme koşulları altında plastik davranışının A veya B

Aralığında değerlendirilebileceği sonucuna varmıştır. Shakedown teorisini kullanan Saberian ve Li [43] ise kullandıkları GDBA'nın Aralık B'de yer aldığı yani plastik sünme davranışı sergilediğini bildirmiştir.

Ülkemizde kullanımda olan Karayolları Teknik Şartnamesi [44] ve AASHTO Kaplama Yapıları Tasarımı Rehberi [21] dikkate alınarak GDBA'nın kullanım uygunluğu değerlendirildiğinde, GDBA'dan hazırlanan temel ve alt temel numunelerinin geoteknik özelliklerinin şartnamede belirtilen alt ve üst sınır değerler arasında yer aldığı belirlenmiştir. Ülkemizde henüz Esneklik modülü ve plastik deformasyon deneylerine dayanan; esneklik modülü, plastik deformasyon ve toplam biriken plastik deformasyon (tekerlek izi) için sınır değerlerin belirtildiği bir şartname henüz bulunmamakta olup, bu sonuçlar AASHTO Kaplama Yapıları Tasarımı Rehberi [21] ve NCHRP 1-37A [33]'te belirtilen sınır değerler ile karşılaştırılmıştır. Esneklik modülü değerlerine göre kullanım uygunluğu değerlendirildiğinde elde edilen sonuçların yukarıda belirtilen ilgili şartnamelerde sınır değerleri karşıladığı görülmektedir. Sayısal analizde 11 mm olarak elde edilen kaplamadaki maksimum tekerlek izi ise, AASHTO Kaplama Yapıları Tasarımı Rehberi [21] ve NCHRP 1-37A [33]'te belirtilen maksimum değerler olan 11.51 mm ve 19.05 mm'den daha düşüktür. Bu sonuçlar, kullanılan GDBA'nın esnek yol kaplama temel ve alt temel tabakasında kullanımının esneklik özellikleri açısından bir sorun teşkil etmediğini göstermektedir.

4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada, inşaat atıklarından elde edilen çevre dostu bir malzeme olarak geri dönüştürülmüş beton agregalarının (GDBA) esneklik özellikleri ve bu özelliklerin esnek yol kaplama tabakalarının mekanik davranışı üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Bu amaçla, GDBA ile hazırlanmış temel ve alt temel numunelerinin, esneklik modülü ve kalıcı deformasyon deneyleri ile belirlenmiş esneklik özellikleri 3 boyutlu doğrusal olmayan sayısal analizlerde kullanılarak esnek yol kaplama tabakalarında çoklu tekerlek yükleri altında biriken plastik deformasyon değerleri yani tekerlek izleri belirlenmiştir.

Laboratuvar deney sonuçları, %100 GDBA kullanılarak hazırlanan temel numunelerinin esneklik özelliklerinin alt temel numunesine kıyasla daha iyi olduğunu göstermesine rağmen hem alt temel hem de temel numunelerinin esneklik özelliklerinin doğal agregalar ile karşılaştırılabilir seviyede olduğunu göstermiştir. Esneklik modülünü tahmin etmek için kullanılan çeşitli modeller arasında, laboratuvar deneylerinde ölçülen esneklik modülü ile MEPD modelde tahmin edilen arasında çok iyi bir uyum olduğu bulunmuş ve sayısal analizde MEPD modelinde elde edilen model parametreleri kullanılmıştır. %100 GDBA kullanılarak hazırlanan temel tabakasında üretilen toplam tekerlek izinin, %100 GDBA kullanılarak hazırlanan alt temel tabakasında üretilen toplam tekerlek izinden daha küçük olduğu görülmüştür. Plastik deformasyon değerleri kullanılarak, temel ve alt temel numunelerinin davranışı, Shakedown teorisi kullanılarak açıklanmış ve temel ve alt temel numunelerinin plastik sünme davranışı sergilediği sonucuna varılmıştır. 3 boyutlu sayısal analizler, alt temel ve temel tabakalarında elde edilen toplam tekerlek izinin laboratuvar sonuçlarından biraz daha yüksek olduğunu göstermesine rağmen, tüm kaplama tabakalarında elde edilen toplam tekerlek izi değerleri ilgili şartnamelerde belirtilen sınır değerleri karşılamaktadır. Bu sonuçlar, GDBA'nın temel ve alt temel tabakalarında kullanımının esneklik ve geoteknik özellikler açısından uygun olduğunu göstermektedir. Laboratuvardan elde edilen esneklik özellikleri ve esneklik modülü tahmininde kullanılan model parametreleri, bu çalışmada kullanılan GDBA için geçerlidir. Farklı kaynaklardan elde edilen geri dönüştürülmüş malzemeler kullanılmadan önce bu özelliklerin esneklik modülü ve kalıcı deformasyon deneyleri ile belirlenmesi tavsiye edilmektedir.

Teşekkür

Bu çalışmada laboratuvar deneylerinin gerçekleştirilmesi için İstanbul Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından verilen desteğe yazarlar teşekkür ederler.

Yazarların Katkısı

Yazarlar bu araştırma makalesine eşit katkı sunmuşlardır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar

- [1] Cabalar A.F., Zardikawi O.A.A., Abdulnafoa M.D. 2017. Utilisation of Construction and Demolition Materials with Clay for Road Pavement Subgrade. *Road Materials and Pavement Design*, 20 (3): 702-714.
- [2] Jayakody S., Gallage C., Ramanujam J. 2019. Performance Characteristics of Recycled Concrete Aggregate as an Unbound Pavement Material. *Heliyon*, 5 (9): e02494.
- [3] Mohammadinia A., Arulrajah A., Sanjayan J., Disfani M. M. 2016. Stabilization of Demolition Materials for Pavement Base/Subbase Applications Using Fly-Ash and Slag Geopolymers: Laboratory Investigation. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 28 (7): 1-9.
- [4] Kawalec J., Kwiecien S., Pilipenko A., Rybak J. 2017. Application of Crushed Concrete in Geotechnical Engineering–Selected Issues. *World Multidisciplinary Earth Sciences Symposium (WMESS 2017)*, 11-15 September, Prague-Czech Republic, 022057.
- [5] Jiménez J. R., Ayuso J., Agrela F., López M., Galvín A.P. 2012. Utilisation of Unbound Recycled Aggregates from Selected CDW in Unpaved Rural Roads. *Resources, Conservation and Recycling*, 58: 88-97.
- [6] Jayakody A., Gallage C., Kumar A. 2014. Assessment of Recycled Concrete Aggregates as a Pavement Material. *Geomechanics and Engineering*, 6 (3): 235-248.
- [7] Mohammadinia A., Arulrajah A., Sanjayan J., Disfani M.M., Bo M.W., Darmawan S. 2015. Geotechnical Properties of Lightly Stabilized Recycled Demolition Materials in Base/Sub-Base Applications. *International Foundations Congress and Equipmen, Expo, Reston, V.A., USA*.
- [8] López-Alonso M., Martínez-Echevarria M.J., Garach L., Galán A., Ordoñez J., Agrela F. 2019. Feasible Use of Recycled Alumina Combined with Recycled Aggregates in Road Construction. *Construction and Building Materials*, 195: 249-257.
- [9] Beja I.A., Motta R., Bernucci L.B. 2020. Application of Recycled Aggregates from Construction and Demolition Waste with Portland Cement and Hydrated Lime as Pavement Subbase in Brazil. *Construction and Building Materials*, 258: 119520.
- [10] Han Z., Zou W., Wang X. 2020. Predicting Water Retention Curve and Resilient Modulus of Compacted Natural and Recycled Pavement Unbound Granular Materials. *International Journal of Pavement Engineering*, 1477-268X (Online).
- [11] Oskooei P.R., Mohammadinia A., Arulrajah A., Horpibulsuk S. 2020. Application of Artificial Neural Network Models for Predicting the Resilient Modulus of Recycled Aggregates. *International Journal of Pavement Engineering*, (Online).
- [12] Ghorbani B., Arulrajah A., Narsilio G., Horpibulsuk S. 2020. Experimental Investigation and Modelling the Deformation Properties of Demolition Wastes Subjected to Freeze–Thaw Cycles Using ANN and SVR. *Construction and Building Materials*, 258: 119688.
- [13] Arulrajah A., Piratheepan J., Disfani M.M., Bo M.W. 2013. Geotechnical and Geoenvironmental Properties of Recycled Construction and Demolition Materials in Pavement Subbase Applications. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 25 (8): 1077-1088.
- [14] Pourtahmasb M.S., Karim M.R., Shamshirband S. 2015. Resilient Modulus Prediction of Asphalt Mixtures Containing Recycled Concrete Aggregate Using an Adaptive Neuro-Fuzzy Methodology. *Construction and Building Materials*, 82: 257-263.
- [15] Kaloop M.R., Gabr A.R., El-Badawy S.M., Arisha A., Shwally S., Hu J.W. 2019. Predicting Resilient Modulus of Recycled Concrete and Clay Masonry Blends for Pavement Applications Using Soft Computing Techniques. *Frontiers of Structural and Civil Engineering*, 13: 1379-1392.

- [16] Saberian M., Li J. 2019. Long-term Permanent Deformation Behaviour of Recycled Concrete Aggregate with Addition of Crumb Rubber in Base and Sub-Base Applications. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 121: 436-441.
- [17] Pérez I., Medina L., Gómez-Meijide B., Costa P.A., Cardoso A.S. 2020. Numerical Simulation of Bitumen Emulsion-Stabilised Base Course Mixtures with C&D Waste Aggregates Considering Nonlinear Elastic Behaviour. *Construction and Building Materials*, 249: 118696.
- [18] Kim D., Norouzi A., Kass S., Liske T., Kim Y.R. 2017. Mechanistic Performance Evaluation of Pavement Sections Containing RAP and WMA Additives in Manitoba. *Construction and Building Materials*, 133: 39-50.
- [19] Moazami D., Sahaf A., Moghaddam A.M. 2019. Investigating the Rutting Behavior of Modified Asphalt Mixtures with Waste Materials. *Numerical Methods in Civil Engineering*, 3 (4): 53-65.
- [20] Hu X., Zhong S., Walubita L. F. 2015. Three-dimensional Modelling of Multilayered Asphalt Concrete Pavement Structures: Strain Responses and Permanent Deformation. *Road Materials and Pavement Design*, 71 (3): 1-14.
- [21] American Association of State Highway and Transportation Officials. 1993. *AASHTO Guide for Design of Pavement Structures*. Washington D.C., USA.
- [22] American Association of State Highway and Transportation Officials. 2017. *AASHTO T-307, Standard Method of Test for Determining the Resilient Modulus of Soils and Aggregate Materials*. Washington D.C., USA.
- [23] Hicks R.G., Monismith C.L. 1971. Factors Influencing the Resilient Properties of Granular Materials. *Transportation Research Record*, 345: 15-31.
- [24] Uzan J. 1985. Granular Material Characterization. *Transportation Research Record*, 1022: 52-59.
- [25] Transportation Research Board National Research Council. 2004. *Guide for Mechanistic-Empirical Design of New and Rehabilitated Pavement Structures*, NCHRP Report 01-37A, Washington, D.C., USA.
- [26] Transportation Research Board National Research Council. 2003. *Guide for Mechanistic-Empirical Design of New and Rehabilitated Pavement Structures*, NCHRP Report 01-28A, Washington, D.C., USA.
- [27] Khogali W.E.I., Mohamed E.H.H. 2007. Novel Approach for Characterization of Unbound Material. *Journal of the Transportation Research Board*, 1874: 38-46.
- [28] Haider I., Kaya Z., Cetin A., Hatipoglu M., Cetin B., Aydilek A.H. 2014. Drainage and Mechanical Behavior of Highway Base Materials. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 140 (6): 04014012.
- [29] Bestgen J.O., Hatipoglu M., Cetin B., Aydilek A.H. 2016. Mechanical and Environmental Suitability of Recycled Concrete Aggregate as a Highway Base Material. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 28 (9): 04016067.
- [30] Stolle D., Guo P., Liu Y. 2009. Resilient Modulus Properties of Granular Highway Materials. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 36 (4): 639-654.
- [31] Rosa M.G., Cetin B., Edil T.B., Benson C.H. 2017. Freeze-Thaw Performance of Fly Ash-Stabilized Materials and Recycled Pavement Materials. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 29 (6): 04017015.
- [32] Türk Standardları Enstitüsü. 2010. *TS 3720-Bitümlü Karışımlar-Asfalt Betonu-Karışım Tasarımı Hesap Esasları-Marshall Yöntemi*. Bakanlıklar, Ankara.
- [33] Ishibashi I., Zhang X. 1993. Unified Dynamic Shear Moduli and Damping Ratios of Sand and Clay. *Soils and Foundations*, 33 (1): 182-191.
- [34] Wen H., Edil T.B. 2009. Sustainable Reconstruction of Highways with In-Situ Reclamation of Materials Stabilized for Heavier Loads. *BCR2A Conference*, Champaign, Illinois, USA.
- [35] Bozyurt O., Tinjum J.M., Son Y.H., Edil T.B., Benson C.H. 2012. Resilient Modulus of Recycled Asphalt Pavement and Recycled Concrete Aggregate. *Geo-Congress*, USA.
- [36] Akbaş M., Dayioğlu A., Hatipoglu, M., İyisan R. 2020. Beneficial Use of Recycled Concrete Aggregate as Base and Subbase Material in Turkey. *American Society of Civil Engineers International Conference on Transportation and Development*, May 26-29, Seattle, Washington, USA.

- [37] Sanger M., Natarajan B.M., Wang B., Edil T., Ginder-Vogel M. 2019. Recycled Concrete Aggregate in Base Course Applications: Review of Field and Laboratory Investigations of Leachate Ph. *Journal of Hazardous Materials*, 121562.
- [38] Tuladhar R. Marshall A., Sivakugan N. 2020. Use of Recycled Concrete Aggregate for Pavement Construction. *Advances in Construction and Demolition Waste Recycling*, 181-197.
- [39] Werkmeister S. 2006. Shakedown Analysis of Unbound Granular Materials using Accelerated Pavement Test Results from New Zealand's CAPTIF Facility. *Geotechnical Special Publication*, ASCE, Reston, VA.
- [40] Erlingsson S., Rahman M. 2013. Evaluation of Permanent Deformation Characteristics of Unbound Granular Materials by means of Multistage Repeated-Load Triaxial Tests. *Journal of the Transportation Research Board*, 2369 (1): 11-19.
- [41] Werkmeister S. 2003. Permanent Deformation Behavior of Unbound Granular Materials. Ph.D. Dissertation, Dresden University of Technology, Dresden, Germany.
- [42] Mohammadinia A., Naeini M., Arulrajah A., Horpibulsuk S., Leong M. 2020. Shakedown Analysis of Recycled Materials as Railway Capping Layer under Cyclic Loading. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 139.
- [43] Saberian M., Li J. 2019. Long-term Permanent Deformation Behaviour of Recycled Concrete Aggregate with Addition of Crumb Rubber in Base and Sub-Base Applications. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 121: 436-441.
- [44] T.C Ulaştırma Bakanlığı Karayolları Genel Müdürlüğü. 2013. Karayolları Teknik Şartnamesi-2013. [https://www.tam Yol.com.tr/ UserFiles/Content/KGM_Teknik_Sartnamesi_2013.pdf](https://www.tam Yol.com.tr/UserFiles/Content/KGM_Teknik_Sartnamesi_2013.pdf). Yayın tarihi (Erişim Tarihi: 23.11.2020).

Araştırma Makalesi / Research Article

Kars İli Sarıkamış İlçesi İçme Suyu Arıtma Tesisi Giriş ve Çıkış Su Kalitesinin Aylara Göre Değişiminin İncelenmesi

Şahset İRDEMEZ^{1*}, Hacer ÖZGER¹, Fatma EKMEKYAPAR TORUN¹, Sinan KUL²

¹Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü, Erzurum

²Bayburt Üniversitesi Uygulamalı Bilimler Fakültesi Acil Yardım ve Afet Bölümü, Bayburt
(0000-0002-0205-4630)-(0000-0002-4402-7200)-(0000-0002-2289-176X)-(0000-0002-7824-756X)

Öz

Bu çalışmada Kars ili sınırları içerisinde yer alan Sarıkamış Belediyesi İçme Suyu Arıtma Tesislerinde arıtılan suyun fiziksel ve kimyasal özelliklerine ilişkin tesis giriş ve çıkış değerleri karşılaştırılarak bu değerlerin içme suyu standartlarına uygunluğunun değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla Temmuz 2017-Haziran 2018 dönemini kapsayan aylık periyotlarda, tesisin giriş ve çıkış sularından elde edilen numunelerde pH, sıcaklık, elektriksel iletkenlik, renk, alkalinite, nitrit, bulanıklık, demir, organik madde miktarı, sülfat, mangan, amonyum ve alüminyum gibi içme suyu parametrelerinin analizleri yapılmıştır. Çalışmada elde edilen veriler TS 266 ve İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik ile karşılaştırılmış ve sonuçların sıcaklık parametresi dışında tüm su kalitesi standartlarını sağladığı anlaşılmıştır.

Anahtar kelimeler: Arıtma tesisi, aylık değişim, içme suyu standartları, su kalitesi.

Investigation of the Monthly Variation in Inlet and Outlet Water Quality of Drinking Water Treatment Plant of Sarıkamış District of Kars Province

Abstract

In this study, it is aimed to evaluate the compliance of these values with drinking water standards by comparing the physical and chemical properties of the water treated in Sarıkamış Municipality Drinking Water Treatment Plants within the borders of Kars. For this purpose, in monthly periods covering the period from July 2017 to June 2018, analyzes of drinking water parameters such as pH, temperature, electrical conductivity, color, alkalinity, nitrite, turbidity, iron, organic matter, sulphate, manganese, ammonium and aluminum were conducted in the samples obtained from the inlet and outlet waters of the facilities. The data obtained in the study were compared with TS 266 and Regulation Concerning Water Intended for Human Consumption and it was concluded that the results conformed to all water quality standards except the temperature parameter.

Keywords: Drinking water standards, monthly change, treatment plant, water quality.

1. Giriş

Su, her ne kadar sıradan bir bileşik olarak görünse de canlıların yaşamlarını sürdürmek için en önemli maddelerden birisi olup, gündelik yaşamda içme, yıkama, pişirme, yıkanma, yüzme gibi birçok faaliyet su ile gerçekleştirilmektedir. Bilinen yaşam su sayesinde evrimleşmiştir ve su olmadan canlılık sürdürülememektedir. Kuraklıklar kıtlıklara, seller ise ölüm ve hastalıklara neden olmaktadır. Açıkça görülen önemi nedeniyle su, dünya üzerinde en fazla çalışılan materyal konumundadır [1].

Dünyada bulunan toplam su miktarının 1,4 milyar km³ olduğu bilinmektedir. Bu su miktarının yaklaşık %97,5'inin okyanuslar ve denizlerde tuzlu su olarak, %2,5'inin ise nehirler ve göllerde tatlı su şeklinde bulunduğu belirtilmektedir. Tatlı suyun tuzlu suya göre oranının önemli düzeyde az oluşunun yanı sıra su kaynaklarının %90'lık bölümünün kutuplar ve yeraltında mevcut olması nedeniyle insanların kolayca faydalanabileceği tatlı suya ulaşılabilirliğin zor olduğu açık bir şekilde görülebilmektedir [2]. Bu su kıtlığına ilaveten küresel ölçekte su kullanımı son 100 yılda 6 kat artmış ve yılda yaklaşık %1 oranında istikrarlı bir şekilde artmaya devam etmektedir. Günümüzde küresel su

talebinin yılda yaklaşık 4600 km³ olduğu tahmin edilmekte ve 2050 yılına kadar yılda %20-30 artarak 5500 ile 6000 km³ arasında bir değere çıkacağı öngörülmektedir. 2 milyardan fazla insan güvenli içme suyuna erişememekte, 4 milyardan fazla insan ise güvenilir düzeyde saniteye erişememektedir [3].

Dünyada yıllık olarak birey başına düşen kullanılabilir su miktarının 1000 m³'ün altında olduğu ülkeler su fakiri, 2000 m³'ün altında olduğu ülkeler ise su azlığı çeken ülkeler olarak nitelendirilmekte olup Türkiye'de tüketime elverişli yeraltı ve yüzeysel sularının yıllık ortalaması 112 milyar m³ ve bu miktarın yaklaşık %40'ının kullanılabilir olduğu bilinmektedir. Türkiye, yıllık olarak birey başına düşen kullanılabilir su miktarının yaklaşık 1519 m³ olması bakımından su azlığı çeken ülke kategorisinde yer almaktadır [4]. Yeraltı ve yüzeysel kaynaklardan temin edilen su, doğada sürekli sirkülasyon halinde olması nedeniyle tüketim noktalarına ulaşana kadar fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik ajanlar tarafından kirlenmekte ve hijyen açısından ciddi sağlık sorunlarına yol açabilmekte olup genel anlamda suyun fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik özellikleri olmak üzere üç farklı karakteristiği bulunmaktadır [5].

Suyun temel fiziksel özellikleri sıcaklık, renk, bulanıklık, koku ve tat, temel kimyasal özellikleri ise pH, elektriksel iletkenlik, tuzluluk, alkalinite, sertlik, iyonlar, ağır metaller ve çözünmüş oksijen (ÇO) olarak sıralanabilmektedir [6-9]. Son olarak suyun mikrobiyolojik özellikleri ise canlı bünyeleri, toprak, su vb. ortamların çokluğu nedeniyle çeşitlilik göstermektedir [10]. TS 266'ya göre suyun mikrobiyolojik özellikleri arasında toplam koliform ve toplam bakteri sayılarına ilişkin özellikler bulunmaktadır [11].

Kabul edilebilir içme suyu kalitesi kullanım için uygun fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik içme suyu standartları ile mümkün olabilmektedir. İçilebilir suyun sıcaklığı 7-12°C aralığında ve hijyen bakımından suyun görünümünün berrak olması gerekmektedir. Genellikle yüksek kaliteli su kokusuz olup suyun lezzetinin doğal ve içiminin hoş olması gereklidir. Suyun pH'sı nötr ya da hafif düzeyde alkali olmalıdır [10]. Günümüzde Dünya Sağlık Örgütü (WHO) ve Çevre Koruma Ajansı (EPA) tarafından belirlenen içme suyu standartları kullanılmaktadır. Türkiye'de içme suyu kalitesinin değerlendirilmesinde ise TS266 ve İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik olmak üzere iki temel standart bulunmaktadır.

Bu çalışmada, Kars ilinin Sarıkamış ilçesinde bulunan bir içme suyu arıtma tesisinde arıtılan suyun fiziksel ve kimyasal özelliklerine ilişkin tesis giriş ve çıkış değerlerinin ortaya konması ve bu değerlerin içme suyu standartlarına göre değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda içme suyu numunelerinin tesis giriş ve çıkış parametreleri Temmuz 2017-Haziran 2018 tarihleri arasında farklı mevsimlerde elde edilen su numunelerinden toplanmış ve böylece mevsimsel değişim izlenmiştir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Sarıkamış Belediyesi İçme Suyu Arıtma Tesisi

Günlük 18,144 m³ suyu arıtacak şekilde tasarlanmış olan Sarıkamış Belediyesi İçme Suyu Arıtma Tesisi 40,345829 enlem ve 42,587521 boylamda yer almakta olup Şekil 1'de araştırma sahasının haritada konumu gösterilmektedir [12]. Mevcut hali ile ham su kaynağı olarak Kızılçubuk, Çataldere, Acısu ve Kut derelerinden su temin edilmektedir. Tesise giren ham su sırasıyla havalandırma, ön klorlama, koagülasyon-flokülasyon, kimyasal çöktürme, filtrasyon, geri yıkama ve son klorlama işlemlerinden geçirilerek içme suyu standartlarına uygun hale getirilmekte ve temiz su deposundan cazibeye şehir şebekesine verilmektedir.

2.2. Araştırmada İçme Suyu Analizlerinde Kullanılan Yöntemler

Araştırmada 2017 Temmuz ayından 2018 Haziran ayına kadar her ayın aynı tarihlerinde tesis giriş ve çıkışlarından numuneler alınarak karşılaştırılan içme suyu parametreleri; pH, sıcaklık, elektriksel iletkenlik, renk, alkalinite, nitrit, bulanıklık, demir, organik madde miktarı, sülfat, mangan, amonyum ve alüminyum olarak sıralanmakta olup analizler standart metotlara uygun olarak yapılmıştır. pH ve iletkenlik analizleri, WTW ProfiLine pH 3110 multimetre kullanılarak, diğer analizler standart metotlarda belirtildiği gibi yapılmıştır [13].



Şekil 1. Araştırma sahasının uydu görünümü

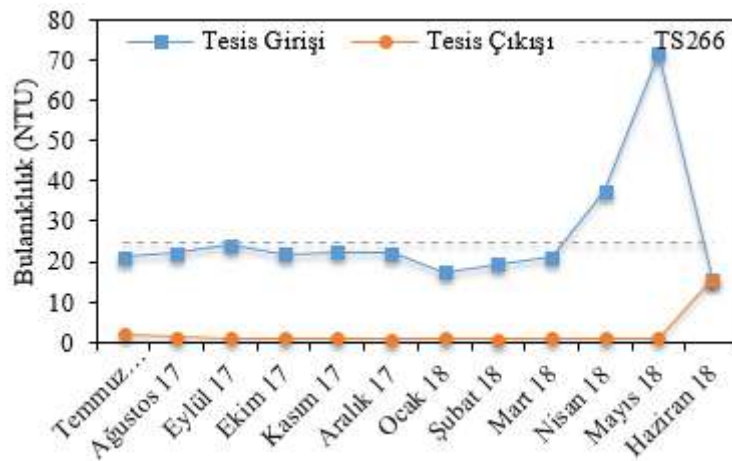
3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Suyun Fiziksel Özelliklerine İlişkin Bulgular

Araştırmada arıtma tesisine gelen ham su ve arıtma tesisinden çıkan arıtılmış içme suyu numunelerinin bulanıklık, sıcaklık, renk gibi fiziksel özelliklerine ilişkin değerler karşılaştırılmış ve Şekil 2-4’de gösterilmiştir.

3.1.1. Bulanıklık verilerine ilişkin bulgular

Su numunelerinde bulunan askıda katı maddeler (AKM), sularda ışık geçirgenliğini azaltmanın yanı sıra suyun filtre ve dezenfekte edilebilirliğinin de azalmasına sebep olmakta olup, çalışmada bulanıklık verileri için elde edilen sonuçlar Şekil 2’de gösterilmektedir.



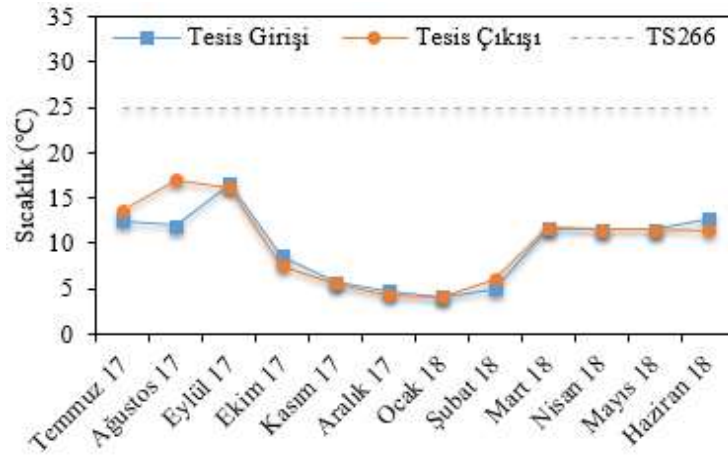
Şekil 2. Su numunelerinin bulanıklık değerlerinin aylara göre değişimi

Şekil 2 ayrıntılı olarak incelendiğinde temmuz ayında tesise gelen su için bulanıklık değeri 21,09 NTU iken, çıkış suyu değeri ise 2,01 NTU olarak ölçülmüştür. Mart ayına kadar sabit bir eğilim izleyen bulanıklık değerlerinin nisan ayında artış göstermeye başlamıştır. Mayıs ayında tesise gelen suyun bulanıklık değeri 71,52 NTU, çıkış değeri 0,98 NTU olup, haziran ayında keskin bir düşüşle tesise gelen

suyun bulanıklık değeri 15,50 NTU ve çıkış değeri 15,66 NTU olarak gerçekleşmiştir. Literatürde yağışların az veya hiç olmadığı dönemlerde bulanıklık seviyelerindeki düşüşün aksine, yağışlı dönemlerde bulanıklık değerlerinde artış meydana geldiği bildirilmektedir. Dahası tipik olarak akarsuların kaynağından uzaklaştıkça bulanıklık artmaktadır [14]. Buna göre tesislerde ölçülen bulanıklık değerlerinin mart ayından itibaren artmaya başlamasındaki temel nedenlerin, kış aylarında yağın karların erimeye başlaması ve ilkbahar mevsiminde yağmur yağışının fazla olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Aynı şekilde mayıs ve haziran ayları arasında tesiste biriken çökelti çamurlarının tahliye edilmesi sonucu, su bulanıklığının tesis çıkışında artış gösterdiği düşünülmektedir. Benzer şekilde haziran ayında karların büyük oranda erimiş olması ve yağış miktarlarının düşmesi nedeniyle giriş suyu bulanıklığında azalmanın görüldüğü söylenebilir. Çıkış suyunda ölçülen bulanıklık değerlerinin TS 266'ya göre 5-25 NTU aralığında olduğu belirlenmiştir.

3.1.2. Sıcaklık verilerine ilişkin bulgular

Su numunelerinde sıcaklık, gazların çözünürlüğü ve biyolojik prosesler açısından önemli bir parametre olup, arıtma tesislerinin giriş ve çıkışlarında ölçülen su sıcaklığına ilişkin bulgular Şekil 3'de gösterilmiştir.

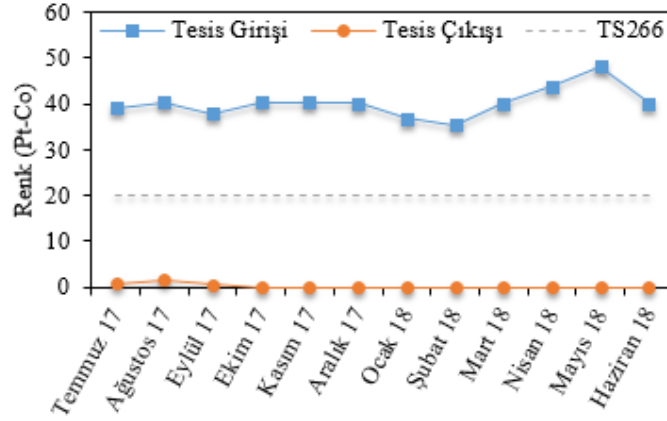


Şekil 3. Su numunelerinin sıcaklık değerlerinin aylara göre değişimi

Şekil 3'e göre, temmuz ayında tesise gelen su numunelerinin sıcaklığı 12,48°C, çıkış sıcaklığı ise 13,62°C'dir. Ağustos ile eylül ayları arasında tesise giriş yapan suyun sıcaklığı artarken, tesis çıkışındaki su sıcaklığının azaldığı görülmektedir. Eylül ayından itibaren ocak ayına kadar önemli düzeyde düşüş yaşanan su sıcaklığında, ocak ayında tesise gelen suyun sıcaklığı 4,13°C, çıkış değeri 4,09°C'ye kadar düşmüştür. Şubat ayından sonra artış göstermeye başlayan sıcaklık değerlerinden tesise gelen suyun sıcaklığı 5°C, çıkış değeri 6°C' olarak belirlenmiştir. TS 266'ya göre 12-25°C aralığında olması gerektiği belirtilen sıcaklık değerlerinin sonbahar ve kış mevsimlerini kapsayan ekim, kasım, aralık, ocak, şubat aylarında bu standarda uygun olmadığı görülmektedir. Su sıcaklıkları bölgesel ve mevsimsel nedenlerle azalıp artmaktadır. Bölgedeki havanın kış aylarında soğukluğu ve kış aylarında yağın karlar nedeniyle su sıcaklıkları oldukça düşük olabilmektedir. Ayrıca suyun temin edildiği bitki örtüsünün ormanlarla kaplı olması ve yükseltinin fazla olması gibi nedenler, sıcaklık değerlerinin ortalamasının altına düşmesine neden olabilmektedir [14, 15]. Elde edilen veriler incelendiğinde yılın diğer aylarında sıcaklık değerlerinin kalite standartlarını karşıladığı göstermektedir.

3.1.3. Renk parametresine ilişkin bulgular

Su numunelerinin rengi, sudaki katkı maddelerin ve diğer kirleticilerin varlığına bağlıdır. Sularda renk tayini, suya bulanıklık veren maddelerin uzaklaştırılmasının ardından suyun gerçek rengini belirlemede kullanılmaktadır. Arıtma tesisinde suyun rengine ilişkin bulgular Şekil 4'de gösterilmiştir.



Şekil 4. Su numunelerinin renk değerlerinin aylara göre değişimi

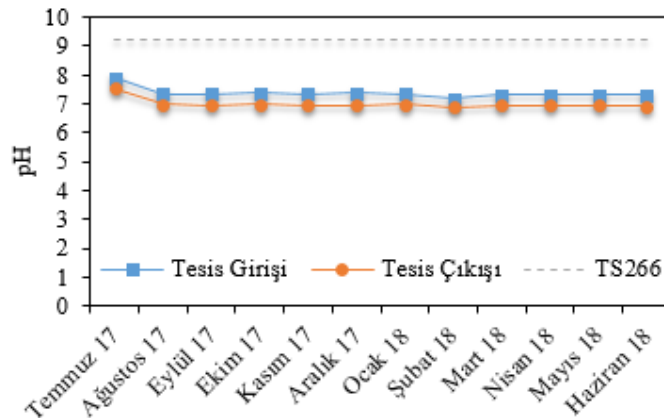
Şekil 4'e göre, temmuz ayında tesise gelen su numunelerinin renk değerleri ortalaması 39,17 Pt-Co, çıkış değeri ise 0,91 Pt-Co'tur. Tüm aylarda tesis çıkışındaki renk değerlerinin sabit olduğu görülmektedir. Şubat, mart, nisan ve mayıs aylarında tesise gelen suyun renk değerleri sırasıyla 35,52 Pt-Co, 40,22 Pt-Co, 43,80 Pt-Co ve 48,26 Pt-Co olarak belirlenmiştir. Mayıs ayı sonrasında suyun renk değerinin düştüğü gözlemlenmiştir. İçme sularında önemli bir özellik olan renk, temiz sularda berrak, organik madde içeren sularda sarı veya kahverengi, demir ve mangan içeren sularda ise kırmızımsı veya koyu kahverengidir. Ayrıca su içerisinde çözünmüş ve kolloidal halde bulunan maddelerde sularda renge sebep olmaktadır [16, 17]. Tesis girişindeki suda ölçülen renk değerlerinin şubat ve mayıs ayları arasında artmasının, su kaynağının yüzeysel olması ve kar suları ile ilkbahar yağışlarının yoğunluğu nedeniyle organik ve inorganik maddelerin bu yüzey sularına taşınmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Arıtma tesisine gelen su numunelerinin renk değerlerinin tümü, TS 266'ya göre belirlenen üst limitin çok üzerinde olduğu görülmektedir. Arıtma tesisinde uygulanan işlemler sonucunda ise, tüm aylarda TS 266 ve İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmeliğe göre renksiz veya renksiz yakın su kalitesi standardının sağlandığı belirlenmiştir.

3.2. Suyun Kimyasal Özelliklerine İlişkin Bulgular

Araştırmada arıtma tesisine gelen ham su ve arıtma tesisinden çıkan arıtılmış su numunelerinin pH, elektriksel iletkenlik, nitrit, alkalinite, demir, organik madde içeriği, mangan, amonyum, alüminyum, sülfat gibi kimyasal özelliklerine ilişkin değerler karşılaştırılmıştır.

3.2.1. pH değerlerine ilişkin bulgular

Araştırmada öncelikle suyun içinde çözünmüş maddelerin etkisiyle asit, baz veya nötr özellik göstermesi nedeniyle pH tayini yapılmış ve ölçümlerden elde edilen bulgular Şekil 5'de gösterilmiştir.

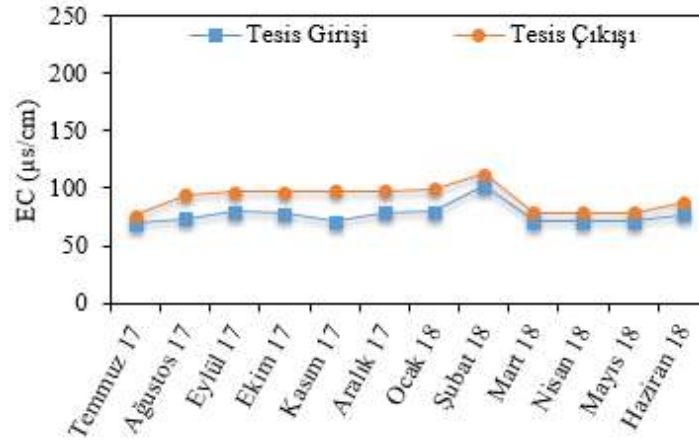


Şekil 5. Su numunelerinin pH değerlerinin aylara göre değişimi

Şekil 5 incelendiğinde temmuz ayında tesise gelen su numunelerinin pH değeri 7,9, çıkış pH değeri ise 7,55'tir. Ağustos ayında tesise gelen suyun pH'sının 7,35'e, çıkıştaki suyun pH'sının ise 7'ye düştüğü görülmüştür. Şubat ayına kadar pH değerlerinin sabit kaldığı, şubat ayında tesise gelen suyun pH'sının 7,36, çıkış pH'sının ise 6,98'e düştüğü gözlemlenmiştir. Mart ayında ise giriş ve çıkıştaki su pH'sının tekrar artış göstererek, sabit bir eğilim izlediği belirlenmiştir. Ölçüm yapılan tüm aylarda su numunelerinin içme suyu arıtma tesisi çıkışında pH değerlerinin azaldığı görülmüştür. Tesis girişinde yaz aylarında pH değerlerinin daha yüksek olmasının nedeninin, yaz aylarında bitkilerin yüksek hızda fotosentez yaparak CO₂ tüketmelerinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Kış aylarında ise yağmur sularının taşıdığı maddelerin suya karışması nedeniyle pH değerinin düştüğü düşünülebilir [18]. Elde edilen bulgular su numunelerinin tesis çıkışındaki pH değerlerinin TS 266 ve İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmeliğe göre 6,5 ile 9,5 aralığında olduğunu göstermekte olup, diğer bir ifadeyle su kalitesinin pH açısından uygun olduğu tespit edilmiştir.

4.2.2. Elektriksel iletkenliğe (EC) ilişkin bulgular

EC, su numunelerinin içerdiği çözülmüş haldeki tüm iyonların miktarını göstermekte olup yapılan ölçümlerde elde edilen bulgular Şekil 6'da gösterilmiştir.

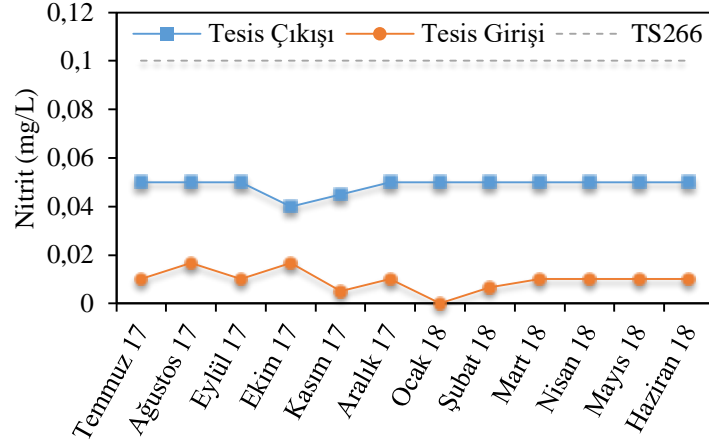


Şekil 6. Su numunelerinin EC değerlerinin aylara göre değişimi

Şekil 6'ya göre temmuz ayında tesise gelen su numunelerinin EC değerleri 69,60 µs/cm, çıkış değeri ise 76,38 µs/cm'dir. Ağustos ayından sonra elektriksel iletkenliğin ocak ayına kadar sabit bir eğilim izlediği, ocak ayında tesise gelen suyun EC değerlerinin 79,63 µs/cm, çıkış değerinin 99,27 µs/cm'ye, şubat ayında ise giriş ve çıkış değerlerinin sırasıyla 102,05 µs/cm ve 112,21 µs/cm'ye ulaştığı görülmektedir. Tesis giriş suyunun EC değerlerinin ocak ve şubat aylarında azda olsa yükselmesinin nedeni kar yağışlarının artması, tesise giriş yapan suyun EC değerlerinin çıkış suyundan fazla olmasının nedeni ise proseste kullanılan Al₂SO₄ olduğu düşünülmektedir [19]. Şekil 6'ya göre ölçüm yapılan tüm aylarda su numunelerinin içme suyu arıtma tesisi çıkışındaki EC değerlerinin az miktarda arttığı görülmüştür. Elde edilen EC değerlerine göre, su numunelerinin tesis çıkışındaki EC değerlerinin TS 266'ya göre 2000 µs/cm sınırının altında olduğu, İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmeliğe göre ise 2500 µs/cm maksimum sınırın altında olduğu belirlenmiştir.

3.2.3. Nitrit değerlerine ilişkin bulgular

Azot ve azotlu maddeler, arıtma tesislerinde önemli bir yere sahip olup arıtma tesisinde suyun nitrit içeriğine ilişkin bulgular Şekil 7'de gösterilmiştir.

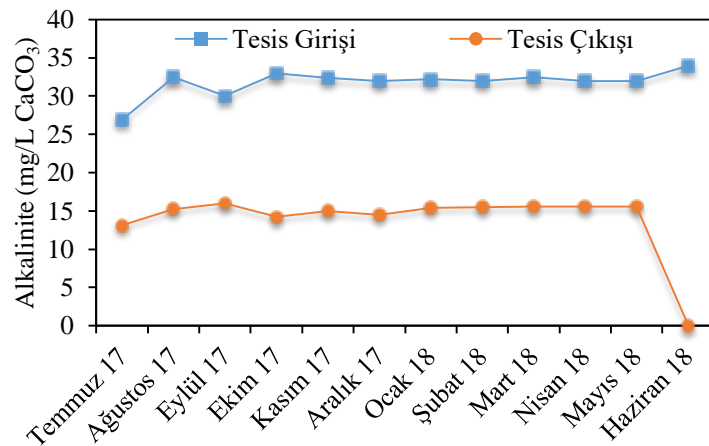


Şekil 7. Su numunelerinin nitrit değerlerinin aylara göre değişimi

Nitrit değerleri her ne kadar düşük ölçülmüş olsa da bölgedeki tarım ve hayvancılık faaliyetlerine bağlı olarak oluştuğu düşünülmektedir [20]. Şekil 7 incelendiğinde, temmuz ayında tesise gelen su numunelerinin nitrit değerleri ortalamasının 0,05 mg/L, çıkış değerinin ise 0,015 mg/L olduğu belirlenmiştir. Tesis girişindeki suyun nitrit değerlerinin eylül ayında azaldığı, ekim ayında ise artarak sonrasında sabit bir eğilim izlediği, tesis çıkışındaki suyun nitrit değerlerinin ise mart ayına kadar artan ve azalan değerlere sahip olduğu görülmektedir. Ağustos ve ekim aylarında sırasıyla tesise gelen suyun nitrit değerleri 0,05 mg/L ve 0,04 mg/L, çıkış değerleri ise 0,01 mg/L ve 0,01 mg/L'dir. Şekil 7'ye göre, su numunelerinin tesis girişi ve çıkışında nitrit değerleri arasında farklılık olduğu görülmektedir. Tesis girişindeki nitrit değerlerinin tümünün 0,04-0,05 mg/L aralığında, tesis çıkışındaki su numunelerinin nitrit değerlerinin ise 0-0,016 mg/L aralığında olduğu belirlenmiştir. Tesis girişinde bulunan havalandırma ve tesis çıkışında yer alan dezenfeksiyon proseslerinde nitritin parçalanması ile çıkış değerlerinde azalmanın olduğu düşünülebilir. Tüm aylarda, su numunelerinin nitrit içeriklerinin TS 266 ve İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmeliğe göre sırasıyla üst sınır olarak kabul edilen 0,1 mg/L ve 0,5 mg/L değerlerin altında olduğu tespit edilmiştir.

3.2.4. Alkalinite

Alkalinite, suyun asit nötrale etme kapasitesi olarak tanımlanmakta ve suyun içerdiği karbonat, bikarbonat ve hidroksil miktarına göre değişmektedir. Arıtma tesisinde suyun alkalinitesine ilişkin bulgular Şekil 8'de gösterilmiştir.



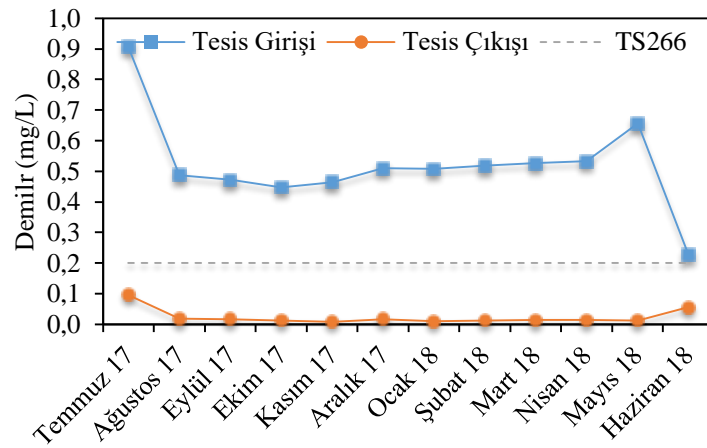
Şekil 8. Su numunelerinin alkalinite değerlerinin aylara göre değişimi

Şekil 8'e göre, temmuz ayında tesise gelen su numunelerinin alkalinite değerleri ortalaması 26,91 mg/L CaCO₃, çıkış değeri ise 13,33 mg/L CaCO₃'tür. Ekim ayında tesise gelen suyun alkalinite değeri

33 mg/L CaCO₃ olup, mayıs ayına kadar sabit bir eğilim izlemiştir. Mayıs ayı içerisinde tesise gelen suyun alkalinite değeri artmaya başlamış ve haziran ayında yıllık en yüksek değer olan 34 mg/L CaCO₃ değerine ulaşmıştır. Aksine, tesisten çıkan suyun alkalinite değeri açısından mayıs ayı içerisinde keskin bir azalma görülmüş ve alkalinite tamamen kaybolmuştur. Mayıs ayından itibaren haziran başlangıcında tesis çıkışındaki suyun alkalinite değerinin keskin bir düşüşle sıfıra inmesinin nedeni, ilkbaharda arıtma tesisinin temizlik ve bakıma girmesi ile su borularındaki hızlı ve yavaş karıştırma, durultma havuzlarında biriken çamurların tahliye edilmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir [21]. Yılın her ayında, arıtma tesisinin girişindeki su alkalinitesi değerlerinin tesis çıkışında azaldığı belirlenmiştir. Tesis girişindeki alkalinite değerlerinin tümünün 26-34 mg/L CaCO₃ aralığında olduğu gözlemlenmiştir. Tesis çıkışındaki su numunelerinin alkalinite değerlerinin ise 13-16 mg/L CaCO₃ aralığında olduğu belirlenmiştir.

3.2.5. Demir değerlerine ilişkin bulgular

Arıtma tesisinde suyun demir değerlerine ilişkin bulgular Şekil 9'da gösterilmiştir.

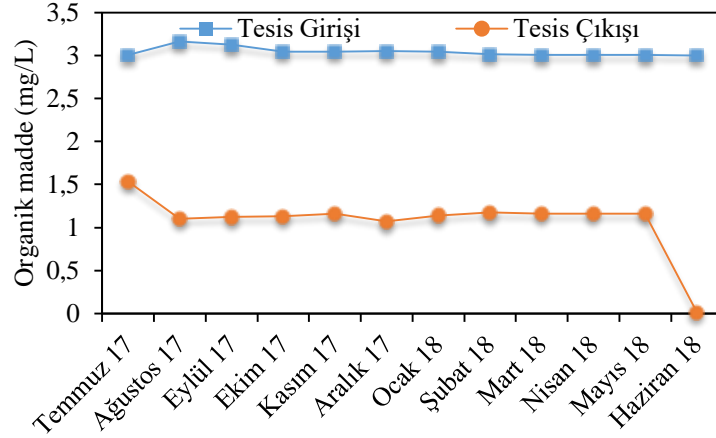


Şekil 9. Su numunelerinin ölçülen demir değerlerinin aylara göre değişimi

Şekil 9 ayrıntılı olarak incelendiğinde, temmuz ayında tesise gelen suyun demir içeriği ortalaması 0,90 mg/L, çıkış değeri ise 0,096 mg/L'dir. Nisan ayına kadar belirli oranda artış gösterme eğilimi bulunan demir içeriği mayıs ayında en yüksek değeri olan 0,65 mg/L'ye ulaşmıştır. Mayıs ayı içerisinde ise tesise gelen suyun demir içeriğinin hızlı bir düşüşe geçtiği ve haziran ayı başında en düşük değerine ulaştığı görülmektedir. Tesis çıkışındaki suyun demir içeriği ise yıl boyunca sabit kalmıştır. İlkbahar aylarında yağışların artması ile birlikte yüzey sularının demir içeriğinin artış göstermesi ve demir miktarı artan kaynak sularının, sızıntı ile yüzey sularına karışması nedeniyle nisan ayından itibaren tesis girişindeki suyun demir içeriğinin arttığı düşünülmektedir [22]. Tesis girişindeki demir değerlerinin tümünün 0,22-0,90 mg/L aralığında olduğu, çıkış değerlerinin ise haziran ve temmuz aylarında sırasıyla 0,056 mg/L ve 0,096 mg/L olduğu gözlemlenmiştir. Bu bulgulara göre çıkış suyunda demir içeriklerinin TS 266 ve İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmeliğe göre üst sınır olarak kabul edilen 0,2 mg/L değerinin altında olduğu tespit edilmiştir.

3.2.6. Organik madde içeriğine ilişkin bulgular

Organik maddeler sulara bitkiler, insanlar ve hayvanlar tarafından farklı kaynaklardan karışabilmekte ve hijyen açısından tehlike arz etmekte olup arıtma tesisinde suyun organik madde içeriğine ilişkin bulgular Şekil 10'da gösterilmiştir.

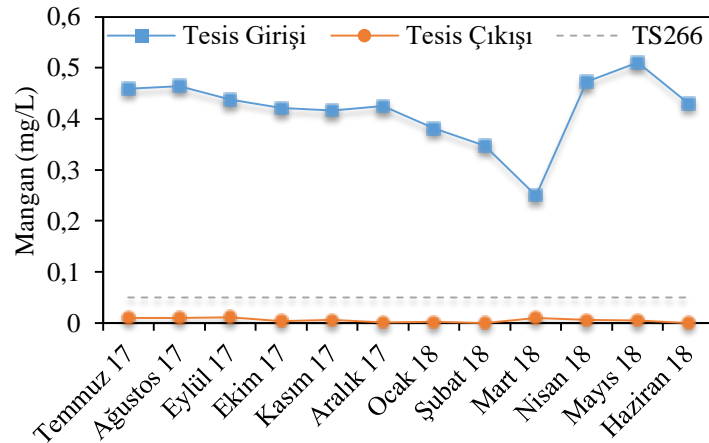


Şekil 10. Su numunelerinin organik madde değerlerinin aylara göre değişimi

Şekil 10'a göre, temmuz ayında tesise gelen suyun organik madde ortalaması 3 mg/L O₂, çıkış değeri ise 1,53 mg/L O₂'dir. Tesis girişindeki suyun organik madde içeriğinin tüm yıl boyunca neredeyse 3 mg/L O₂ değerinde sabit kaldığı görülmektedir. Ancak tesis çıkışındaki suyun organik madde içeriğinin temmuz ayı içerisinde azalma gösterdiği ve mayıs ayına kadar sabit bir eğilim izlediği belirlenmiştir. Mayıs ayı başlangıcında 1,16 mg/L O₂ organik madde içeriği olan su, tesis çıkışında organik madde içeriğini kaybederek, haziran ayında sıfıra düşmüştür. Suyun organik madde içeriğinde mayıs ayında gerçekleşen keskin düşüşün nedeni, ilkbahar ayında arıtma tesisinde bulunan su borularındaki hızlı ve yavaş karıştırma, durultma havuzlarında biriken organik ve inorganik maddelerin oluşturduğu çamurların tahliye edilmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir [23]. Ayrıca bu dönemde hızlı kum filtrelerinin hava ve su ile geri yıkama yapılarak temizlenmesi bu düşüşte etkilidir. Tesis girişindeki organik madde değerlerinin tümünün 3-3,5 mg/L O₂ aralığında olduğu, çıkış değerlerinin ise temmuz ayında maksimum 1,536 mg/L O₂ olduğu gözlemlenmiştir.

3.2.7. Mangan değerlerine ilişkin bulgular

Arıtma tesisinde suyun mangan değerlerine ilişkin bulgular Şekil 11'de gösterilmiştir.



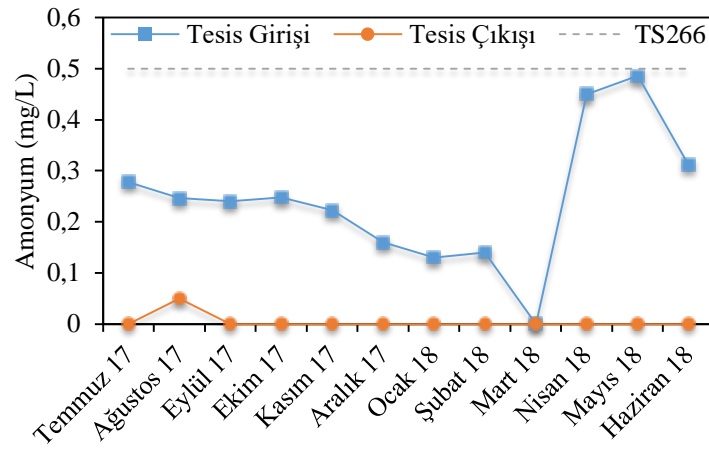
Şekil 11. Su numunelerinin mangan değerlerinin aylara göre değişimi

Şekil 11'e göre, temmuz ayında tesise gelen suyun mangan içeriği ortalaması 0,459 mg/L, çıkış değeri 0,01 mg/L'dir. Kış ayları boyunca (aralık, ocak ve şubat) sabit hızda düşüş gösteren mangan miktarının mart ayı başlangıcında en düşük seviye olan 0,25 mg/L'yi bulduğu görülmektedir. Mart ve nisan ayları boyunca ise, tesise gelen suyun mangan içeriğinin artarak mayıs ayı başlangıcında en yüksek değer olan 0,51 mg/L'ye ulaştığı belirlenmiştir. Tesis çıkışındaki suyun mangan içeriğinin ise, tüm yıl boyunca en fazla 0,0113 mg/L değerine ulaştığı, haziran ayında ise sıfıra düştüğü gözlemlenmiştir.

İlkbahar aylarında karların erimesi ve yağışların toprağa daha fazla miktarlarda düşmesi, bu yağışların da topraktan yüzeysel sulara karışması nedeniyle bu aylarda tesis girişindeki suyun mangan değerlerinin az miktarda da olsa arttığı söylenebilir. Şekil 11 incelendiğinde su numunelerinin tesis giriş ve çıkışında mangan değerleri arasında önemli farklılıklar olduğu görülmektedir. Tesis girişindeki mangan değerlerinin tümünün 0,25-0,51 mg/L aralığında olduğu, çıkış değerlerinin ise temmuz, ağustos ve eylül aylarında maksimum 0,01 mg/L olduğu gözlemlenmiştir [24]. Bu bulgulara göre tüm aylarda, çıkış sularından elde edilen su numunelerinin mangan içeriklerinin TS 266 ve İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmeliğe göre üst sınır olarak kabul edilen 0,05 mg/L değerinin altında olduğu tespit edilmiştir.

3.2.8. Amonyum değerlerine ilişkin bulgular

Aritma tesisinde suyun amonyum değerlerine ilişkin bulgular Şekil 12’de gösterilmiştir.

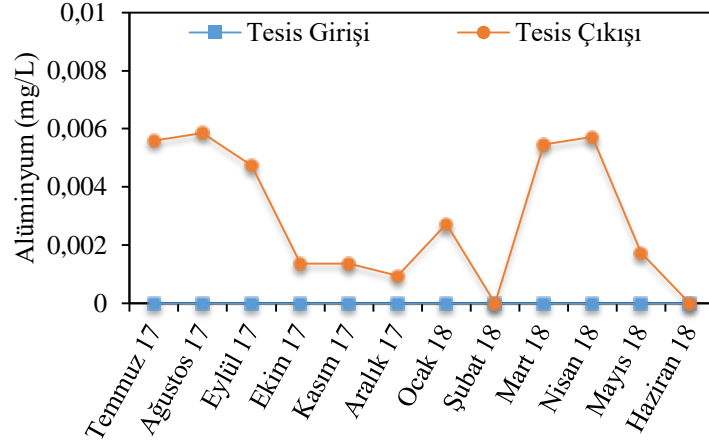


Şekil 12. Su numunelerinin amonyum değerlerinin aylara göre değişimi

Şekil 12’ye göre, temmuz ayında tesise gelen suyun amonyum içeriğinin ortalaması 0,278 mg/L, çıkış suyunda amonyum bulunmamaktadır. Ekim ve ocak ayları arasında tesise gelen suyun amonyum içeriğini düşüğe geçtiği ve mart ayında sıfırı bulduğu görülmektedir. Ancak mart ayı itibarıyla keskin bir yükselişe geçen amonyum miktarı, mayıs ayı başlangıcında 0,5 mg/L’ye ulaşmış, haziran ayında ise tekrar 0,31 mg/L’ye düşmüştür. Tesisten çıkan suyun amonyum değerinin ise, yalnızca ağustos ayında 0,05 mg/L’ye ulaştığı, yılın diğer tüm aylarında ise sıfır değerinde sabit bir eğilim izlediği belirlenmiştir. Mart ayından itibaren karların erimesi, yağışların artış göstermesi ve bölgede tarım ve hayvancılığın en önemli geçim kaynağı olması nedeniyle azotlu gübre kullanımı ile toprakta bulunan azotlu maddelerin çözülerek, suyun bünyesine geçmesi ve yüzeysel sulara taşınması nedeniyle bu dönemde amonyum miktarının artış gösterdiği öngörülmektedir [25]. Tesis girişindeki amonyum değerlerinin tümünün 0-0,5 mg/L aralığında olduğu, çıkış değerlerinin ise ağustos ayında maksimum 0,05 mg/L olduğu gözlemlenmiştir. Bu bulgulara göre, su numunelerinin amonyum içeriklerinin TS 266 ve İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmeliğe göre üst sınır olarak kabul edilen 0,5 mg/L değerinin altında olduğu, yalnızca mayıs ayında sınır değerinde olduğu tespit edilmiştir.

3.2.9. Alüminyum değerlerine ilişkin bulgular

Aritma tesisinde suyun alüminyum değerlerine ilişkin bulgular Şekil 13’de gösterilmiştir.

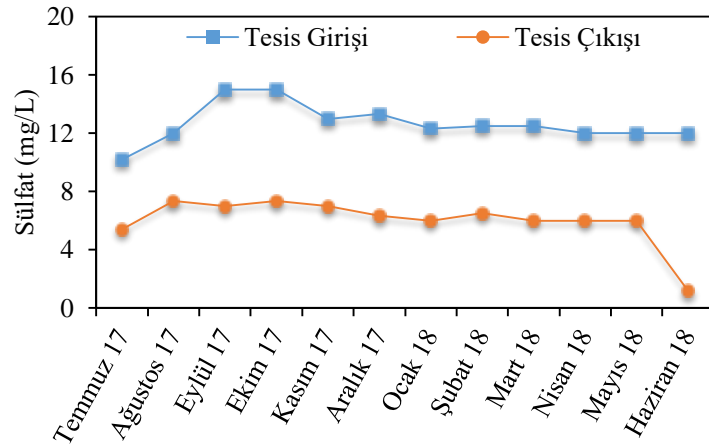


Şekil 13. Su numunelerinin alüminyum değerlerinin aylara göre değişimi

Şekil 13'e göre, temmuz ayında giriş suyunda alüminyum bulunmazken, çıkış suyunda alüminyum değerlerinin ortalaması 0,0056 mg/L'dir. Ağustos ayı başlangıcında 0,058 mg/L ile tüm yılın en yüksek alüminyum içeriğine rastlanmış, diğer aylarda ise sabit bir eğilime sahip olduğu görülmüştür. Tesis girişindeki suda ise tüm yıl boyunca alüminyum gözlemlenmemiştir. İlkbahar aylarında tesis girişindeki suyun renk ve bulanıklık değerlerinin artması sonucunda arıtmada renk ve bulanıklığı gidermek amacıyla kullanılan Al_2SO_4 'ın, suyun tesis çıkışındaki alüminyum değerlerini arttırdığı düşünülmektedir [26]. Tesis girişindeki alüminyum bulunmadığı, çıkış değerlerinin ise, maksimum 0,005-0,006 mg/L aralığında olduğu gözlemlenmiştir. En yüksek alüminyum çıkış değerleri temmuz, ağustos, mart ve nisan aylarında tespit edilmiştir. Bu bulgulara göre tüm aylarda, su numunelerinin alüminyum içeriklerinin TS 266 ve İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmeliğe göre üst sınır olarak kabul edilen 0,2 mg/L (200 µg/L) değerinin altında olduğu tespit edilmiştir.

3.2.10. Sülfat değerlerine ilişkin bulgular

Arıtma tesisinde suyun sülfat değerlerine ilişkin bulgular Şekil 14'de gösterilmiştir.



Şekil 14. Su numunelerinin sülfat değerlerinin aylara göre değişimi

Şekil 14'e göre, temmuz ayında tesise gelen suyun sülfat içeriğinin ortalaması 10,20 mg/L, çıkış değeri ise 5,40 mg/L'dir. Tesise gelen suyun sülfat içeriği eylül ayına kadar artış göstererek en yüksek değeri olan 15 mg/L'ye ulaşmış ve eylül ayı boyunca bu değerinde sabit kalmıştır. Ekim ayının başlangıcından itibaren azalmaya başlayan sülfat içeriğinin nisan ayına kadar bu eğilimi sürdürdüğü ve nisan ayından itibaren haziran ayına kadar 12 mg/L'de sabit kaldığı gözlemlenmiştir. İlkbahar aylarında (mart, nisan ve mayıs) 6 mg/L değerinde sabit kalmış, mayıs ayından itibaren haziran ayı başlangıcına kadar keskin bir düşüşle yılı 1,16 mg/L ile tamamlamıştır. İlkbahar aylarında tesis girişindeki suyun

renk ve bulanıklık değerlerinin artması sonucunda arıtmada renk ve bulanıklığı gidermek amacıyla Al_2SO_4 kullanılmaktadır. Yaz aylarına doğru bulanıklığın azalması nedeniyle Al_2SO_4 kullanımının da azaldığı ve bu aylarda sülfat miktarının tesis çıkışında düştüğü söylenebilir [27]. Tesis girişindeki sülfat değerlerinin tümünün 10-15 mg/L aralığında olduğu, çıkış değerlerinin ise maksimum 7,33 mg/L olduğu gözlemlenmiştir. En yüksek sülfat çıkış değerleri ağustos, eylül, ekim ve kasım aylarında tespit edilmiştir. Bu bulgulara göre tüm aylarda, su numunelerinin sülfat içeriklerinin TS 266 ve İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmeliğe göre üst sınır olarak kabul edilen 250 mg/L değerinin altında olduğu tespit edilmiştir.

4. Sonuç ve Öneriler

Bu araştırmada, Kars ili Sarıkamış ilçesinde bulunan İçme Suyu Arıtma Tesisine Temmuz 2017-Haziran 2018 tarihleri arasında gelen su numunelerinin fiziksel ve kimyasal su kalitesinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

pH açısından en yüksek değerler temmuz ayında giriş pH değeri 7,9, çıkış pH değeri ise 7,55 olarak ölçülmüştür. Elektriksel iletkenlik için en yüksek değerler ise ocak ve şubat aylarında görülmüştür. Ocak ayında tesis girişinde EC 79,63 $\mu s/cm$, tesis çıkışında ise 99,27 $\mu s/cm$ olarak, şubat ayında ise giriş ve çıkış değerleri sırasıyla 102,05 $\mu s/cm$ ve 112,21 $\mu s/cm$ olarak belirlenmiştir. Bulanıklık değerleri mayıs aylarında en yüksek seviyeye ulaşmış ve bu ayda tesise gelen suyun bulanıklık değeri 71,52 NTU, çıkış değeri 0,98 NTU olarak ölçülmüştür. Diğer aylarda tesis giriş ve çıkış değerlerinin sabit bir eğilime sahip olduğu görülmüştür. Sıcaklık açısından en yüksek değerler yaz mevsimi sonlarını kapsayan ağustos ve eylül aylarında, en düşük değerler ise sonbahar ve kış aylarını kapsayan ekim, kasım, aralık, ocak ve şubat aylarında görülmüştür. Renk açısından en yüksek değer mayıs ayında 48,26 Pt-Co olarak ölçülmüştür.

Nitritin en düşük giriş değerlerinin görüldüğü ekim ve kasım ayları dışındaki aylarda sabit bir eğilim izlediği görülürken alkalinite açısından en yüksek tesis giriş değerleri ekim ve haziran aylarında görülmüştür. Demir için en yüksek değerler mayıs ayında görülmüş olup mayıs ayı sonrası yaz mevsiminde demir değerlerinin azalan eğilime sahip olduğu belirlenmiştir. Tesis çıkış değerlerinin ise haziran ve temmuz aylarında maksimum 0,056 mg/L ve 0,096 mg/L olduğu gözlemlenmiştir. Organik madde değerleri en yüksek ağustos ayında görülürken, diğer aylarda sabit bir eğilim izlemiştir. Tesis girişindeki organik madde değerlerinin tümünün 3-3,5 mg/L O_2 aralığında olduğu, çıkış değerlerinin ise temmuz ayında maksimum 1,536 mg/L O_2 olduğu gözlemlenmiştir. Mangan ve alüminyum miktarları açısından en yüksek değerler sırasıyla nisan ve mayıs ayları ile temmuz, ağustos, mart ve nisan ayları olarak tespit edilmiştir. Amonyum miktarı için en yüksek değerler yaz aylarında gerçekleşmiştir. Sülfat miktarı için en yüksek değerler ise eylül, ekim ve kasımda görülmüş, kasım ayı sonrasında sülfat değerleri sabit bir eğilim izlemiştir.

Sonuç olarak ham ve arıtılmış su için çalışma yapılan zaman dilimlerinde TS 266 ve İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmeliğe göre sülfat içeriği açısından kalite standardının sağlandığı belirlenmiştir. Bu çalışma özellikle soğuk iklime sahip olan yerleşim birimlerinde içme suyu arıtımında karşılaşılabilecek sorunlara yol göstermek amacıyla yapılmış olup, literatüre bu tarz bölgelerde karşılaşılabilecek sorunlar hakkında katkıda bulunacaktır.

Teşekkür

Çalışmada destek ve yardımlarından ötürü Atatürk Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü, Sarıkamış Belediye Başkanlığı Çevre Koruma ve Kontrol Müdürlüğü ve değerli personellerine teşekkür ederiz.

Yazarların Katkısı

Çalışmada her bir yazar farklı analizlerin yapılmasında ve yorumlanmasında çalışmışlardır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar

- [1] Chaplin M. 2001. Water: its importance to life. *Biochemistry and Molecular Biology Education*, 29: 54-59.
- [2] Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü (DSİ). (2014). Toprak su kaynakları (çevrimiçi). <http://www.dsi.gov.tr/toprak-ve-su-kaynaklari> (Erişim tarihi: 29.11.2018).
- [3] WWAP (United Nations World Water Assessment Programme)/UN-Water, 2018. The United Nations World water development report 2018: Nature-Based Solutions for Water. Paris, UNESCO.
- [4] Ünal S. 2015. Nihai kullanım amacına göre uygulanan membran prosesler ve diğer su arıtma yöntemleri ile içme ve proses suyu üretiminin maliyet analizi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [5] Günşen U., Anar Ş., Gündüz H. 2000. Uludağ'daki su kaynaklarının fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik özellikleri. *Süleyman Demirel Üniversitesi Tıp Fakültesi Dergisi*, 7 (2): 21-24.
- [6] Dönderici Z.S., Dönderici A., Başarı F. 2010. Kaynak sularının fiziksel ve kimyasal kaliteleri üzerine bir araştırma. *Türk Hijyen ve Deneysel Biyoloji Dergisi*, 67 (4): 167-172.
- [7] European Communities, 2010. Standards for drinking water quality (No. 2) Regulations 2007 (S.I. 278 of 2007).
- [8] Koçak Ö. 2007. Erzurum il merkezindeki içme ve kullanma sularının kimyasal, fiziksel ve mikrobiyolojik kalitesi. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- [9] Arora P. 2017. Water resources and management: physical, chemical and biological characteristics of water. Kurukshetra University, India.
- [10] MEB, 2016. Gıda teknolojisi: Su. Ankara: Milli Eğitim Yayınları.
- [11] TS 266, 2005. İnsanî tüketim amaçlı sular. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [12] Sarıkamış (KARS) İçme suyu arıtma tesisi işletme ve bakım kitabı.
- [13] American Public Health Association. Standard methods for the examination of water and wastewater. Vol. 2. American Public Health Association., 1915.
- [14] Şen B., Gölbaşı S. 2008. Hazar Gölü'ne dökülen Kürk Çayı'nın bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri. *Ege Üniversitesi Su Ürünleri Dergisi*, 25 (4): 353-358.
- [15] Tepe Y., Ateş A., Mutlu E. Töre Y. 2006. Hasan Çayı (Erzin-Hatay) su kalitesi özellikleri ve aylık değişimleri. *Ege Üniversitesi Su Ürünleri Dergisi*, 23: 149-154.
- [16] Sümer B. 1992. Su Temini ve Çevre Sağlığı. İTÜ Sakarya Mühendislik Fakültesi Matbaası, 24-27.
- [17] Dayıoğlu H., Özyurt M.S., Bingöl N., Yıldız C. 2004. Kütahya ili içme sularının bazı fiziksel, kimyasal ve bakteriyolojik özellikleri. *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*; 7: 71-90.
- [18] Mutlu E., Yanık T., Demir T. 2013. Horohon Deresi (Hafik-Sivas) su kalitesi özelliklerinin aylık değişimleri. *Alinteri Ziraat Bilimler Dergisi*, 25 (B): 45-57.
- [19] Kıvrak E. 2011. Karamuk Gölü (Afyonkarahisar) fitoplankton komunitasinin mevsimsel değişimi ve bazı fiziko-kimyasal özellikleri. *Ege Üniversitesi Su Ürünleri Dergisi*, 28 (1): 9-19.
- [20] Yetiş R., Atasoy A., Demir Yetiş A., Yeşilnacar M. 2018. Balıklıgöl Havzası su kaynaklarının nitrat ve nitrit seviyelerinin belirlenmesi. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 33 (1): 47-54.
- [21] Ustaoglu M.R., Balık S., Şipal U.G., Mis D.Ö., Aygen C. 2010. Buldan Baraj Gölü (Denizli) planktonu ve mevsimsel değişimi. *Su Ürünleri Dergisi*, 27 (3): 113-120.
- [22] Çak N., Pulatsü S. 2003. Yukarı Sakarya Nehri'nde azot fraksiyonları ile toplam demir ve silikat konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi. *Tarım Bilimleri Dergisi*, 9 (4): 408-414.
- [23] Tokatlı C., Esengül K., Arslan N., Emiroğlu Ö., Çiçek A., Dayıoğlu H. 2016. Emet Çayı su kalitesinin mevsimsel değişimi. *Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering*, 21 (2): 9-24.

- [24] Bayram A. 2011. Harşit çayı su kalitesinin mevsimsel değişiminin incelenmesi ve askı madde konsantrasyonunun yapay sinir ağları yöntemi ile tahmin edilmesi. Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- [25] Beyhan T.A.Ş. 2011. Gaga Gölü (Ordu, Türkiye) su kalitesinin incelenmesi. Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi, 2 (1): 43-61.
- [26] Seval A., Fındık Ö. 2018. Nevşehir İli için Kızılırmak Nehri'nin içme suyu potansiyelinin araştırılması. Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi, 7 (2): 214-222.
- [27] Taş B., Candan A.Y., Can Ö., Topkara S. 2010. Ulugöl (Ordu)'ün bazı fiziko-kimyasal özellikleri. Journal of FisheriesSciences.com, 4 (3): 254-263.

Araştırma Makalesi / Research Article

Ultra-Wideband Microstrip Filter Design with Super-Shaped Defected Ground Structures

Cemile BARDAK^{1*}, Irem DAGLI^{1,2}

¹Manisa Celal Bayar University, Department of Electrical and Electronics Engineering, 45140, Manisa, Turkey

²BEST A. S., R&D Department, Balıkesir, Turkey

(ORCID: 0000-0002-3342-1958) (ORCID: 0000-0002-5660-0553)

Abstract

Ultra-wideband (UWB) microstrip filter design has been proposed by applying defected ground conductor structures designed with the superformula approach. Simultaneously, the effects of the materials used in the designs on the filter properties have been examined. Once the filter characteristics have been determined, the filter design has carried out in the AWR program. The filter structure has been designed based on an 8 GHz center frequency fifth-order Chebyshev response ultra-wide bandpass filter. The filter model designed in AWR has transferred to the HFSS program, and the effect of FR4 and RO3035 materials on filter characteristics have been investigated. The various number of defects, each shaped with superformula, is opened to the base conductor, and their effects are observed. The parameters in the superformula proposed by Johan Gielis have been calculated in the MATLAB program. PCB productions of the designed filters have been made, and experimental measurements have been taken with the Anritsu spectrum analyzer. When the results obtained from electromagnetic simulation programs have compared with the experimental measurement results of the filters produced, it has been seen that the results are consistent with each other.

Keywords: Superformula, ultra-wideband filter, super-shaped microstrip filter, defected ground structure.

Süper-Şekilli Kusurlu Taban Yapıları ile Ultra Geniş Bant Mikroşerit Filtre Tasarımı

Öz

Süperformül yaklaşımıyla tasarlanan taban iletkeni kusurlu yapılar uygulanarak ultra geniş bantlı (UWB) mikroşerit filtre tasarımları gerçekleştirilmiştir. Filtre yapısı, 8 GHz merkez frekanslı 5. dereceden Chebyshev tepkili ultra geniş band geçiren filtre karakteristiklerine uygun olarak AWR programında tasarlanmıştır. Hedeflenen özelliklere uygun olan model HFSS programına aktarılıp FR4 ve RO3035 gibi farklı laminantların kullanımının filtre özelliklerine etkisi hesaplanmıştır. Filtrenin taban iletkenine farklı sayılarda süperformül yaklaşımıyla oluşturulan yapılar açılarak etkileri incelenmiştir. Burada, Johan Gielis tarafından önerilen süperformüldeki denklem parametreleri MATLAB programı kullanılarak açılan kusurların yapıları oluşturulmuştur. Tasarlanan filtrelerin PCB üretimi yapılmış olup Anritsu spektrum analizör cihazı ile deneysel ölçümleri alınmıştır. Elektromanyetik simülasyon programlarından elde edilen sonuçlar ile üretilen filtrelerin deneysel ölçüm sonuçları kıyaslandığında, sonuçların birbirleri ile uyumlu olduğu görülmektedir.

Anahtar kelimeler: Süperformül, çok geniş bant geçiren filtre, süper şekilli mikroşerit filtre, kusurlu taban yapılı filtre.

1. Introduction

Communication tools have become an indispensable part of our life; therefore, advanced technologies' designs carry vital importance in many aspects. Mobile technologies should offer their users a faster and more qualified experience every year. The devices must be designed with broader bandwidth at higher

*Corresponding author: cemile.bardak@cbu.edu.tr

Received: 12.12.2020, Accepted: 26.02.2021

frequencies to provide these expectations. During the production of these technologies, filters have held a mandatory role in RF and microwave applications.

With permission to use Ultra-Wideband (UWB), namely the frequency range of 3.1 GHz and 10.6 GHz for academia and industrial research, unlicensed use, the work has started in this field continued to gain speed. Levy's studies for UWB applications in 1970 and 1974 could be shown based on these studies [1,2]. Studies with UWB filters started to increase in 2005 [3]. One of these was Shaman and Hong's filter study obtained with short or open circuit lines. Here, they used five short-circuit lines and brought a ninth-order microstrip bandstop filter design. However, its dimensions were much more extensive than other designs, and in subsequent studies, the aim has been to decrease in size [4]. In another study conducted in 2007, the UWB structure was obtained with lateral lines, using the sidelines by three open-circuit. The microstrip has provided great flexibility in the UWB-BPF structure piecewise-frequency approximation method. As a result, there has been dimensional shrinkage, high selectivity, low insertion loss in the filters. Due to their characteristics, radar systems have been made according to the UWB region [5].

In 2016, innovative studies on the UWB filter model started. An important example of this is a model consisting of large surface double microstrip parallel rings [6]. Using a ring-type parallel plate here was easier to change the characteristic impedance and bandwidth. It was observed that the bandwidth of the analyzed ultra-wideband BPF was extended from 3.05 to 10.3 GHz in the 5.3 GHz center frequency with -15dB attenuation. Besides, the filter's operation, the insertion loss of almost 2 dB in most of the UWB range, and the large-coated UWB filter design provided a soft group delay in the passband range for indoor communication systems. Xi and Hun designed a bandpass filter with a third-order Chebyshev response with a 9 GHz center frequency and 500 MHz bandwidth. Its volume has been somewhat reduced compared to conventional filters [7].

The frequency character changes have been observed due to the imperfections in the filters' base conductors. The Defected Ground Structures (DGS) provide the filter in a more uniform, small size, and reduced cost. The DGS has been implemented in the form of a barbell in the bandpass filter model. It has been used in subsequent studies in directional couplers, low pass filter design, and circuit dimension reduction. Other studies based on structures with DGS are power dividers, microstrip antennas, and microwave filters. Circuit size has been reduced by opening faults to the base conductor in power dividers. Small size, sharp bandstop capability, and wide stopband have been used to obtain multi-band characteristics. Also, the DGS provides harmonic control in microstrip antennas and improves the radiative properties of patch antennas.

Nature-inspired studies on RF technologies have applied the superformula to microstrip structures. In 2010, Simeoni et al. used the superformula approach in the antenna study for UWB. In 2013, Bia et al. examined the antenna's electromagnetic character designed with superformula for high-frequency applications [9]. Shaimaa and Dib designed a new UWB microstrip-fed patch antenna with a superformula structure [10]. In 2016, a patch antenna was designed with UWB by Omar et al. This antenna has been operated between 3.1 GHz-10.6 GHz as a saw-toothed circular form under the Super-Formula [11]. In 2018, Seyfollah et al. Designed the frequency selective surface formed by unit cells consisting of square metallic rings surrounding new curves created from a super formula for miniaturization and incident angle stability [12]. In 2019, the Characteristic Mode analysis of a super-shaped patch antenna in a drop-shaped was analyzed for electric current and magnetic current values [13].

Despite several studies on super-shaped antennas, there is not enough investigation for filter applications of superformula. In this study, ultra-wide bandpass microstrip filters have designed with a pass band gap of approximately 10 dB from the 3.1 GHz to 12 GHz band range. The defected ground structures have been formed by using the superformula. Several base materials have been used for comparison. The experimental and theoretical results of the filters have been compared.

2. Material and Method

2.1. Band-Pass Filter Design and Simulation

The AWR program is preferred to create filter prototypes. The program can calculate whether the desired filter response can be obtained with the filter simulations by entering necessary information such as the

desired filter type, approach method, filter degree, cutoff frequency, and bandwidth. In this study, the bandpass filter type is chosen. The Chebyshev prototype is used for sharp descents from the passband to the stopband as the typical feature expected from the filter. The fluctuation level is set to 0.5 dB. Input and output impedance values are 50 Ω. The bandpass microstrip filter's physical dimensions created with the 5th order Chebyshev model with 8 GHz center frequency are shown in Table 1.

Table 1. Physical dimensions of the fifth-order Chebyshev model bandpass filter with 8 GHz center frequency

Width	Size (mm)	Length	Size (mm)
W1	1.7060	L1	2.8243
W2	0.9639	L2	5.2907
W3	3.5926	L3	5.4764
W4	0.8708	L4	5.3571
W5	4.3554	L5	5.4337
W6	0.7790	L6	5.5092

The dielectric materials for the comparison are selected as R03035 ($\epsilon_r = 3.5$) and FR4 ($\epsilon_r = 4.4$). Dielectric material height is 0.76 mm, and conductor copper thickness is 0.035 mm. The circuit dimensions of the designed microstrip filter are 2.2 cm×2.9 cm. The physical view of the microstrip filter created in the AWR program is given in Figure 1.

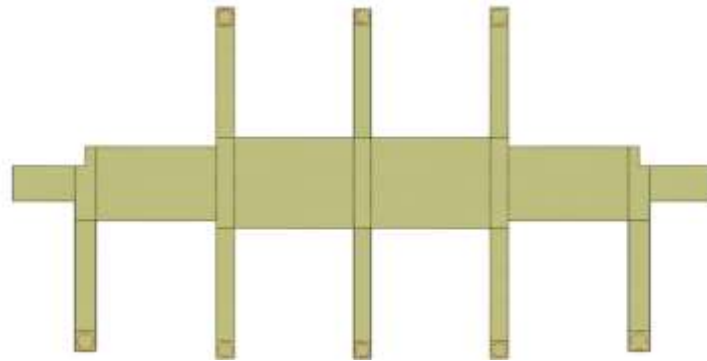


Figure 1. The Design of Microstrip Structure of Bandpass Filter with the fifth-order Chebyshev model at 8 GHz center frequency in AWR Program

Responses are given in Figure 2 for the bandpass broadband filters created using RO3035 and FR4 dielectric materials. The dielectric materials' change has affected the bandpass frequency limits by approximately 8%, as seen in Figure 2. For RO3035, the responses illustrate green line-S21 (dB), and blue line-S11 (dB); for FR4, red line-S21 (dB), black line-S11 (dB). As ϵ_r increases in the material, bandpass limits shift towards lower frequencies. From Figure 2, it can be seen that the filter with RO3035 laminate has broader bandwidth and bandgap than the filter with FR4 laminate.

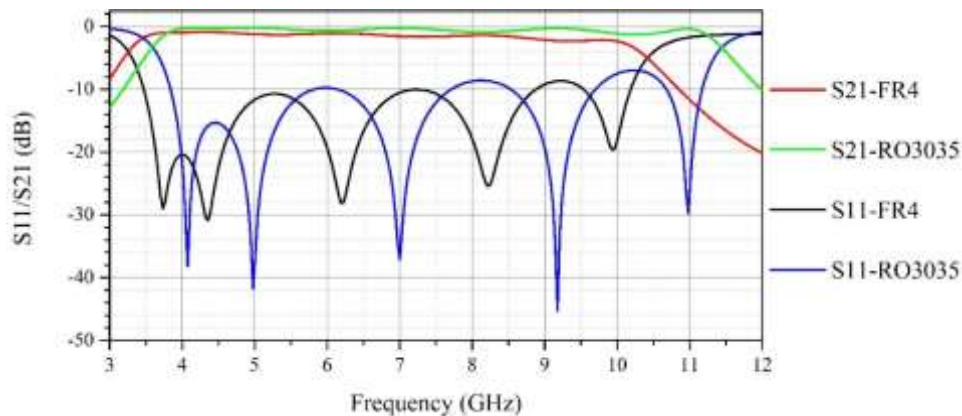


Figure 2. Return Loss and Insertion Loss comparisons for defectless bandpass filters with RO3035 and FR4 laminates in the HFSS program

2.2. Filter Design by Super-Formula Based Defected Ground Structure

In this study, the superformula approach proposed by Johan Gielis in 2000 has been used for structures with ground conductor defects to increase bandwidth. The formula shown in Equation 1 is the generalized form of the super-ellipse [8].

$$f(\theta) = \left(\left| \frac{\cos\left(\frac{m}{4}\theta\right)}{a} \right|^{n_2} + \left| \frac{\sin\left(\frac{m}{4}\theta\right)}{b} \right|^{n_3} \right)^{-1/n_1} \quad (1)$$

Here, six parameters describe the super-shapes which are inspired by nature. The parameters of a and b illustrate the ratio of the outer boundary lengths of the shape. In our study, we choose them equally, but it does not have to be. When the n parameters (n1, n2, and n3) are selected as greater than one, the patch will be circular. It is not necessary to choose the parameters as integer numbers. The parameter m identifies the number of the corners of the sections of the shape. The genetic algorithm provides the optimal selection of the parameters.

15 and 25 defects in the Ipomoea (Laughter) flower shape are opened on the designed microstrip filter's base conductor using Super-Formula. Its effect on the bandwidth is investigated. The design takes place in three-stages. Firstly, as shown in Figure 3, a base conductor defect is created using the MATLAB program. The value of 6 parameters in the super-formula to create the desired flower structure are a=1, b=1, m=5, n1=n2=n3= 1. In the second stage, 15 defects are opened in the base conductor, as seen in Figure 4. In the third stage, 25 defects have been drawn out to see the effects of the number of defects.

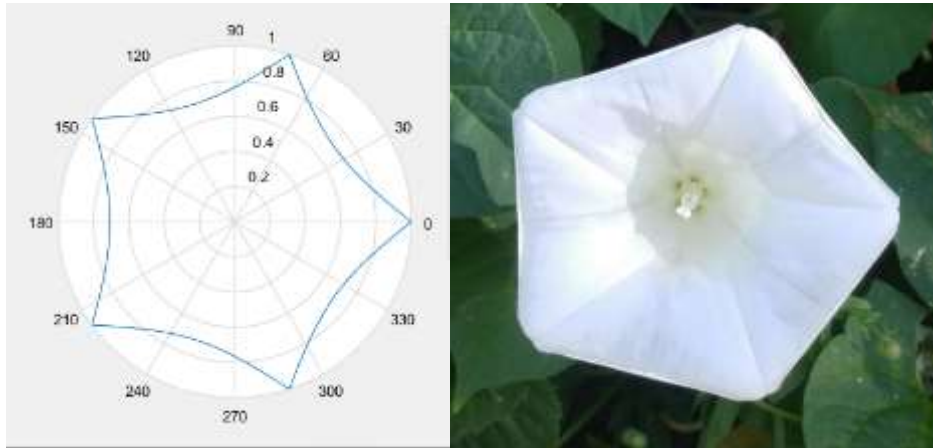


Figure 3. (a) Gielis's Super-Formula in MATLAB, **(b)** Ipomoea Flower

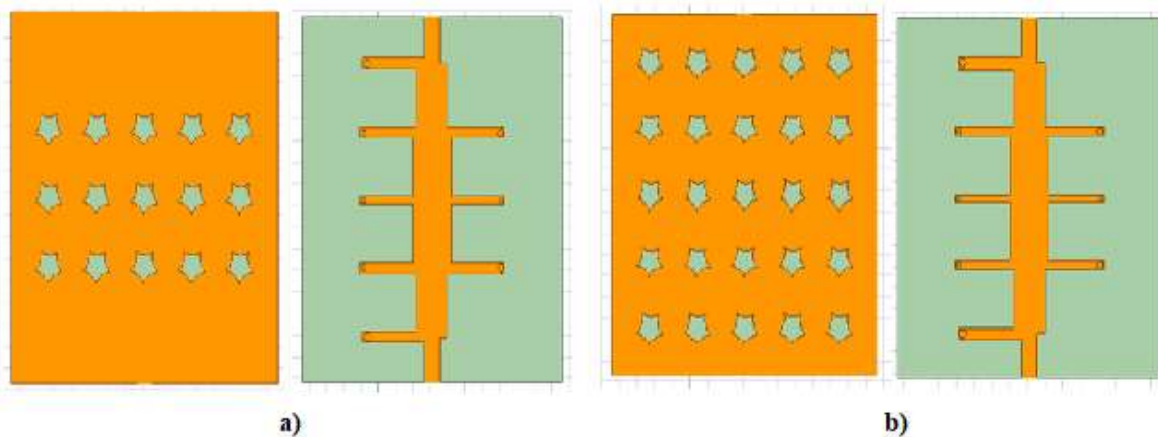


Figure 4. Back and front views of the designed UWB filter models with DGS (a) 15 defects, (b) 25 defects

3. Results and Discussion

The filter models with the defectless ground conductor and defected structures have been compared in Figure 5. It shows the theoretical results of the proposed filters, which RO3035 has used as laminates. The results present that the bandwidth increases with the number of defects opened to the filters' base conductor. For the modeled filters, the comparison table of bandwidths is shown in Table 2. The filters, which are modeled with RO3035 laminates, have broader bandwidths than FR4. This result is valid for all proposed filters as the defectless model, and the models with 15 defects and 25 defects. It has been observed that the laminates affect the filter efficiency at approximately 8% in the bandwidth.

While modeling the filter, the main target is to create the most compatible model with the filter characteristics. There are various approaches here. However, to obtain the theoretical design results in practical application, the losses should be the lowest. The critical thing in practical application is that it should be suitable for production. In the model designed within the study's scope, an extensive bandpass filter design between 3.3 GHz and 10.3 GHz, which is the target bandwidth, was successfully created with both Rogers 3035 and FR4 base material properties.

Table 2. The comparison table of the bandwidths of the models according to the effect of dielectric materials

The Properties of Filters	Defectless	15 Defects	25 Defects
Bandwidth (GHz) for RO3035	7,68	8,06	8,40
Bandwidth (GHz) for FR4	7,10	7,47	7,72

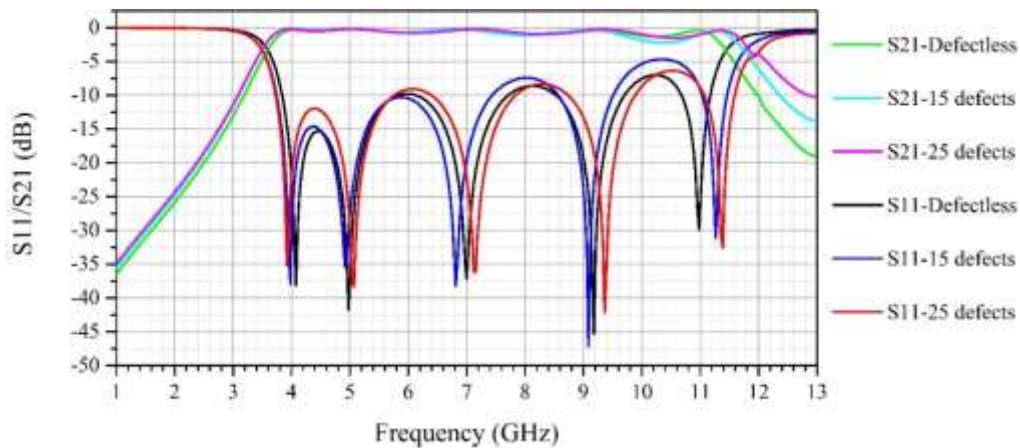


Figure 5. Return Loss and Insertion Loss comparisons of UWB filters with the defectless, 15 and 25 defects on the ground in the HFSS program.

After completing the filter's theoretical analysis, we have fabricated the filters for experimental study and found them compatible. Figure 6 shows the back and front sides of one of the fabricated filters as an example, which has ipomoea-shaped 15 defects on the ground structures. The filters are connected to SMA sockets for the measurements. In this case, the base conductor's defect opening indicates that the microstrip filter can be reduced to small sizes for the same frequency range, or the bandwidth can be increased in the exact dimensions.

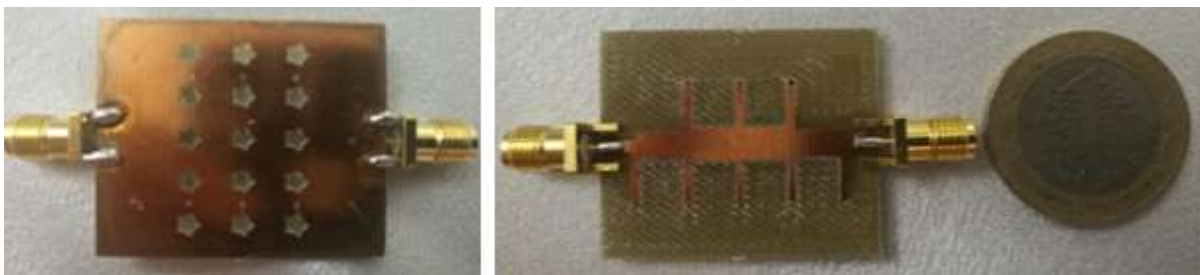


Figure 6. The back and front sides of the filter which has 15 defects on the ground structure

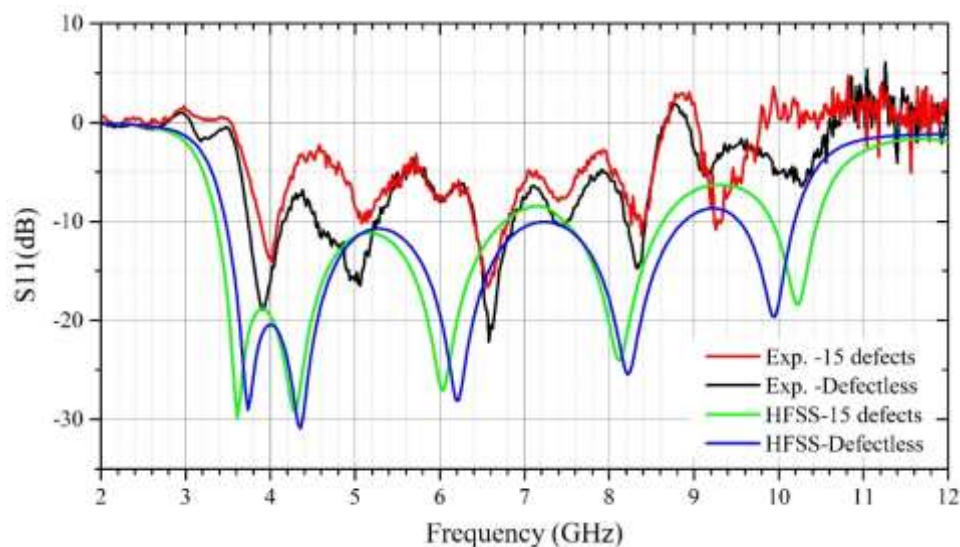


Figure 7. Comparison of the theoretical and measurement results of reflection losses from bandpass filters for the defectless and 15 defects on the ground conductor

Figure 7 shows a comparison of the theoretical and measurement results of reflection losses from filters, which are defectless and 15 defects on the ground conductor. The filter design with the FR4 structure is produced as desired. The fact that the inside of the via hole structures formed during the production phase does not provide enough transmission between the base and the microstrip structure. The issues at the production have reduced bandwidth. It caused distortions in the low and high-frequency regions of the specified band range.

4. Conclusion

In this study, ultra-wide-band bandpass filter models were carried out using defectless ground structures shaped by the superformula. It has been shown that broadband filters can be established by increasing the bandwidth using microstrip structures with defective base conductors. PCB production of the designed filters was made, and the experimental measurements were taken. The results obtained from electromagnetic simulations and the filters' experimental measurements were compatible with each other. Structures formed by the superformula approach in different numbers of defects on the filter's base conductor indicate that smaller size filters could be designed for the same operation bandwidth. The effect of using different laminates such as FR4 and RO3035 on filter properties was also investigated, and the results showed that the filter with RO3035 laminate has broader bandwidth and bandgap than the filter with FR4 laminate. As dielectric permittivity was increased in the laminate, bandpass limits shifted towards lower frequencies. The production issues reduced the bandwidth and caused distortions in the low and high-frequency regions of the specified band range.

Acknowledgments

This research was partially supported by Katip Celebi University. We thank our colleague Dr. Merih PALANDOKEN from Katip Celebi University, who provided insight and expertise that greatly assisted the research.

Authors' Contributions

C.B. and I.D. intellectualized the original idea. C.B. supervised the project. I.D. carried out simulations and performed the experiments. Both authors contributed to the writing and editing of the manuscript.

Statement of Conflicts of Interest

There is no conflict of interest between the authors.

Statement of Research and Publication Ethics

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

References

- [1] Levy R. 1970. A New Class of Distributed Prototype Filters with Applications to Mixed Lumped/Distributed Component Design. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 18 (12): 1064-1071.
- [2] Levy R. 1972. Synthesis of Mixed Lumped and Distributed Impedance Transforming Filters. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 20 (3): 223-233.
- [3] Menzel W., Rahman Tito M.S., Zhu L. 2005. Low-loss ultra-wideband (UWB) filters using suspended stripline. *Asia-Pacific Microwave Conference Proceedings*, 4-7 December, Suzhou, 4. doi: 10.1109/APMC.2005.1606747.
- [4] Shaman H., Hong J., 2006. An Optimum Ultra-Wideband (UWB) Bandpass Filter with Spurious Response Suppression. *IEEE Annual Wireless and Microwave Technology Conference*, 4-5 December, Florida, 1-5. doi: 10.1109/WAMICON.2006.351902.
- [5] Gong H., Nie H., Chen Z. 2007. Performance of UWB Systems with Suboptimal Receivers under IEEE 802.15.4a Industrial Environments. *Fifth Annual Conference on Communication Networks and Services Research (CNSR '07)*, 14-15 May, Fredericton, 283-286. doi: 10.1109/CNSR.2007.51.
- [6] Tripta Ghazali A. 2016. Broadside -coupled UWB filter for indoor communication systems. 2016 *International Conference on Wireless Communications, Signal Processing and Networking (WiSPNET)*, 23-25 March, Chennai, India, 2417-2420. doi: 10.1109/WiSPNET.2016.7566576.
- [7] He X., Xu J. 2016. A filtering antenna with 3rd-order Chebyshev response. *IEEE MTT-S International Microwave Workshop Series on Advanced Materials and Processes for RF and THz Applications (IMWS-AMP)*, 20-22 July, Chengdu, 1-4. doi: 10.1109/IMWS-AMP.2016.7588389.
- [8] Gielis J.A. 2003. Generic Geometric Transformation That Unifies a Wide Range of Natural and Abstract Shapes. *American Journal of Botany*, 90 (3): 333-338.
- [9] Bia P., Caratelli D., Mescia L., Gielis J. 2013. Electromagnetic characterization of supershaped lens antennas for high-frequency applications. *43rd European Microwave Conference*, 6-10 January, Nuremberg, 1679-1682. doi: 10.23919/EuMC.2013.6686998.
- [10] Nase S., Dib N. 2017. Design and Analysis of Super-Formula-Based UWB Monopole Antenna and its MIMO Configuration. *Wireless Personal Communications*, 94: 3389-3401.
- [11] Omar A., Rashad M., Al-Mulla M., Attia H., Naser S., Dib N., Shubair R. 2016. Compact design of UWB CPW-fed-patch antenna using the superformula. *5th International Conference on Electronic Devices, Systems and Applications (ICEDSA)*, 6-8 December, Ras Al Khaimah, 1-4. doi: 10.1109/ICEDSA.2016.7818482.
- [12] Khajevandi S., Oraizi H., Poordararee M. 2018. Design of Planar Dual-Bandstop FSS Using Square-Loop-Enclosing Superformula Curves. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, 17 (5): 731-734.
- [13] Samaras K.A., Maximidis R.T., Koutinos A., Ioannopoulos G.A., Caratelli D., Sahalos J.N., Kyriacou G.A. 2018. Characteristic mode analysis of drop-like supershaped patch antenna. *7th International Conference on Modern Circuits and Systems Technologies (MOCASST)*, 7-9 May, Thessaloniki, 1-4. doi: 10.1109/MOCASST.2018.8376655.

Araştırma Makalesi / Research Article

Toz metalurjisi ile Üretilen NiTi Alaşımına Al'un Etkisi

Musa KILIÇ*

*Batman Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makine-İmalat Mühendisliği Bölümü, Batman
(ORCID: 0000-0001-5808-6917)*

Öz

Bu çalışmada, Ti-50,5Ni-xAl(x=0, 2, 4) alaşımı toz metalürjisi yöntemlerinden SHS ile üretildi. Üretilen NiTiAl alaşımlarında Al oranının numunelerin mikroyapılarına ve mikrosertliklerine etkileri detaylı bir şekilde incelendi. Mikroyapı analizleri optik mikroskobu(OM) ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile faz bileşenleri ise Enerji Dağılımlı Spektroskopi (EDX) ve X-Işınları Kırınım Cihazı (XRD) analizi ile tespit edildi. Sertlik ölçüm testleri Vickers (Hv) mikrosertlik ölçüm cihazında yapılmıştır. Ateşleme sonrası ekzotermik reaksiyon sonucunda başlayan yanma reaksiyonu esnasında yüzeyde oluşan sıcaklık değişimi lazer sıcaklık ölçüm cihaz ile tespit edildi. Optik mikroskop(OM) analizleri sonucunda Al içeriğinin artmasına bağlı olarak gözenek oranının arttığı gözlenmektedir. Ayrıca Al ilavesiz NiTi numunesinde ise yanma kanallarının yoğun olduğu görüldü. Hem EDX hem de XRD analiz sonuçlarında alaşımlarda NiTi, NiTi₂ ve Ti₃Al fazlarının varlığı tespit edildi. Yüzey sıcaklık ölçüm sonuçlarında yanma reaksiyonu en düşük 550°C elde edilirken en yüksek ise 1250°C ölçüldü. Mikrosertlik ölçüm sonuçlarında en düşük sertlik değeri 176.8 HV_{0,5} ağı. %4 Al numunesinden elde edilirken, en yüksek değer ise 301.7 HV_{0,5} NiTi numunesinde ölçüldü.

Anahtar kelimeler: Ni-Ti-Al, NiTi-Al, mikroyapı, gözeneklilik, yanma reaksiyonu.

The Effect of Al of NiTi Alloy Fabricated by Powder Metallurgy

Abstract

In this study, Ti-50,5Ni-xAl (x=0, 2, 4) alloy is produced by SHS which is one of the powder metallurgy methods. The effects of Al ratios on the microstructure and microhardness of the samples in the produced NiTiAl alloys are examined in detail. The analysis of microstructure is determined by optical microscope and scanning electron microscope (SEM) and phase components are analysed by Energy Dispersive spectroscopy (EDX) and X-Ray Diffraction Device (XRD). The measurement tests of hardness are carried out by using Vickers (Hv) microhardness test device. The temperature change on the surface during the combustion reaction which started as a result of the exothermic reaction after ignition is measured by a laser temperature measuring device. Based on the results of optical microscope (OM) analysis, the pore ratio has increase with the increase ratio of Al content. Moreover, it is observed that the combustion channels are intense for the NiTi sample without Al content. At both of the results of EDX and XRD analysis, it has been noticed the presence of NiTi, NiTi₂ ve Ti₃Al phases in the alloys. In surface temperature measurement results, the lowest 550 °C combustion reaction was obtained, while the highest 1250 °C was measured. For the microhardness measurement results, the lowest value is observed as 176.8 HV_{0,5} from the %4 Al alloy samples while the highest value is measured 301.7 HV_{0,5} from NiTi sample.

Keywords: Ni-Ti-Al, NiTi-Al, microstructure, porosity, combustion reaction.

1. Giriş

Eş atomik konsantrasyona sahip NiTi şekil hafızalı alaşım, uygulanan deformasyon sonrası orijinal şekline geri dönme yeteneği ile benzersiz özelliklere sahip en önemli şekil hafızalı alaşımlardan(SMA) biridir [1-3]. NiTi alaşımlar şekil hafıza özellikleriyle birlikte yüksek korozyon direnci [4], biyouyumluluk, mükemmel aşınma direnci [5], süper elastiklik gibi eşsiz özelliklere sahiptir. Bu

*Sorumlu yazar: musa.kilic@batman.edu.tr

Geliş Tarihi: 15.12.2020, Kabul Tarihi: 18.02.2021

özellikleri sayesinde makine imalat [6], otomotiv, robotik ve biyomedikal uygulamalar [7], gibi geniş bir kullanım alanına sahiptir.

Malzeme biliminde alaşımlar birçok yöntem ile üretilmektedir. Bu yöntemler arasında; ergitme, reaktif sinterleme, geleneksel sinterleme [1], sıcak izostatik presleme [8], kıvılcım plazma sinterleme [9] ve SHS(kendi kendine ilerleyen yüksek sıcaklık sentezi) [10] yöntemleri farklı araştırmacılar tarafından kullanılmaktadır. Bu yöntemler arasında yer alan SHS yöntemi pahalı ekipmana ihtiyaç duyulmadan ekzotermik reaksiyon sayesinde numunelerin üretimi basit bir şekilde gerçekleşmektedir. Gunter vd. [11] SHS yöntemini kullanarak gözenekli NiTi alaşımını üretmişlerdir. İşlem sonrası SHS reaksiyonunun yüzeysel metalik fazların belirlenmesinde kolaylık sağladığı, gözenekli alaşımın spesifik yüzey katmanı ile yüksek biyoyumluluk sağladığını ifade etmiştir. Nikel-titanyum değişim dönüşüm sıcaklıkları içeriğindeki oranlara göre değişim sergiler, Ni içeriğinde %0.1 oranında bir değişim dönüşüm sıcaklığını 10 °C etkileyebilir. Seçilen alaşım elementleri (demir, kobalt, vanadyum, krom, manganez, alüminyum ve tantal) dönüşüm sıcaklıklarını düşürdüğü bilinmektedir [12]. Dagdelen vd. [13] ergitme tekniğiyle NiTiNb alaşımını üretmişlerdir. Çalışma sonucunda Nb artışını ve Ni oranının azalması faz dönüşümünü arttırdığını, Ms sıcaklığını ise oda sıcaklığının altına düşürdüğü bu nedenle bu malzemenin süper elastik implant olarak kullanılabilirliğini ifade etmişlerdir. Ni-Al-Ti üçlü sistemi nikel esaslı alaşımın önemli bir alt sistemidir. Bu malzemeler yüksek sıcaklık dayanımı, sürünme dayanımı, oksidasyon ve korozyon direnci gibi üstün özellikleri sayesinde havacılık ve yüzey kaplama endüstrisinde yaygın bir kullanım alanına sahiptir [14, 15]. Farklı Al ilavesine sahip alaşımlar ve Al ilavesindeki artışın, tane inceltmesini desteklediğini ve makro-sertlik değerlerini arttırdığını bulmuşlardır. Ayrıca Al ilavesi, Ni-zengin NiTi alaşımlarının stabilitesini en az 500°C'ye kadar arttırdığı bildirilmiştir [16]. Zhao vd. [17] elektro çöktürme yöntemi ile Ni-xAl-yTi kaplama tabakası üretmişlerdir. Ni-xAl-yTi kaplamaların korozyon direnci ve mikrosertliği artan partikül konsantrasyonu ile arttığını bildirmişlerdir. Kim vd. [18] Al-Ni-Ti amorf alaşımlarının oluşum ve kristalleşme davranışlarını araştırmışlardır. Geliştirilmiş süneklik, yalnızca amorf matrikse birkaç nanometre boyutunda Al kristalinin gömülmesiyle elde edilebilir. Al-Ni-Ti amorf alaşımlarının sünekliğinin alaşıma güçlü bir şekilde bağlı olduğunu göstererek iyi bir süneklik, yani kırılma olmadan 180° bükme sergilediğini ifade etmişlerdir. Ayrıca, bükülme esnekliği olmayan Al-Ni-Ti amorf alaşımı difüzyon kontrollü çekirdeklenme ve fcc-Al ve metastaz fazların büyümesi ile kristalleştiğini belirtmişlerdir. Yapılan literatür araştırması sonucunda NiTi-Al intermetalik bileşiklerinden üretimi üzerine farklı yöntemler ile faz dönüşümleri, kaplama veya sayısal modelleme çalışmaların daha yoğun olduğu belirlenmiştir [19-21].

Bu çalışmada kendi kendine ilerleyen yüksek sıcaklık sentezlemesi (KKIYSS) tekniği ile NiTi-Al intermetalik bileşiği üretilmiştir. Sentez sonrası numuneler optik mikroskop, SEM-EDX ve XRD analizleri yapıldı. Mikrosertlik ölçüm değerleri ve yüzeyde meydana gelen sıcaklık ölçüm sonuçlarıyla mikroyapı sonuçları karakterize edildi.

2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada Tablo 1'de verilen toz elementlerinden istenilen oranlarda kullanılarak Ti-50,5Ni-xAl(x=0, 2, 4 % ağı.), alaşımları KKIYSS yöntemi ile üretildi.

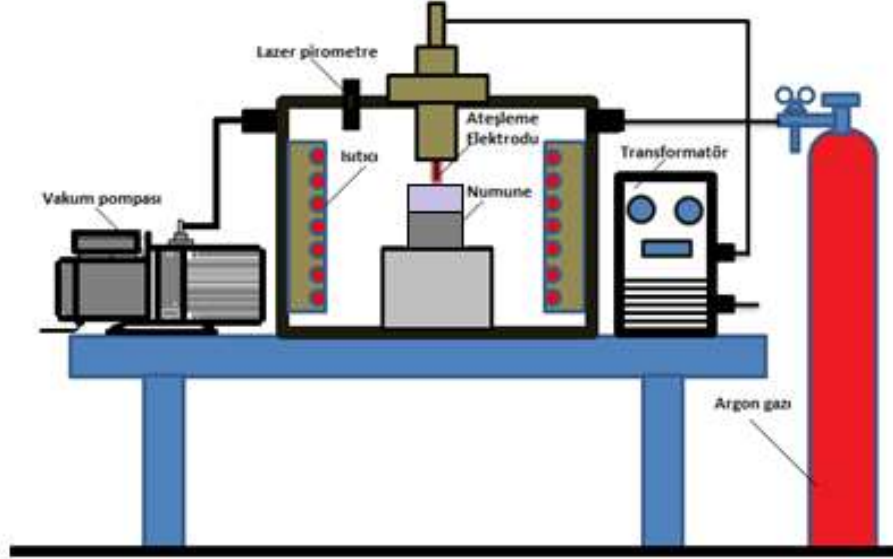
Tablo 1. Ni, Al, Ti tozlarına ait genel özellikler

Malzeme	Ağırlıkça Safılık Derecesi (%)	Toz Boyutu (Mesh)	Erime Sıcaklığı (°C)	Özgül Ağırlık (gr/cm ³)	Atom Kütlesi (gr/mol)
Ni	99.5	-325	1453	8.908	58.71
Al	99.5	-325	660.4	2.7	26.98
Ti	99.5	-325	1680	4.507	47.9

Üretim öncesi hassas terazide Ni'ce azalan Al'ca artan bir oranda tartılan tozlar 12 saat süresince karıştırıldı. Tozlar 150 Mpa basınç altında soğuk olarak preslendi. Hazırlanan briketler 12 lt/dk akış hızında Ar gazı atmosferine sahip ateşleme odasına dik bir şekilde yerleştirildi (Şekil 1). SHS işlemi sonrası üretilen numuneler metalografik incelemeler için hassas kesme makinesinde kesildi. Daha sonra farklı boyutlarda SiC zımparalar ile zımparalama ve son olarak 1 µm'luk elmas pasta kullanılarak

çuha'da parlatıldı. Parlatma işlemi sonrası %30 HNO₃ + %20 HF+ %50 Saf su çözeltisinde 5 sn süreyle dağlandı. Dağlama işlemi sonrası numune mikroyapıları, Nikon marka optik mikroskop (OM) cihazı ve LEO marka EVO 40 VP model taramalı elektron mikroskobu (SEM) yardımıyla incelendi.

Numunelerin elementel dağılımları BRUKER125 eV marka EDX cihazı ile faz bileşenleri ise analizi (XRD, Rigako Rad-B D-Max 2000) 10 ila 90 derece tarama aralığı ve 2 theta açısına sahip X-Ray difrakometre kullanılarak belirlendi. Mikrosertlik ölçüm sonuçları EMCO-TEST marka mikrosertlik cihazında gözenek kenarlarından 7 farklı noktadan Vickers (HV_{0,5}) cinsinden ölçüldü. Ark oluşumuyla birlikte yüzeyde oluşan yanma reaksiyonuna ait sıcaklık değerleri 550-1800°C arasında sıcaklık ölçümü yapabilen IMPAC Marka lazer test cihazı ile belirlendi.



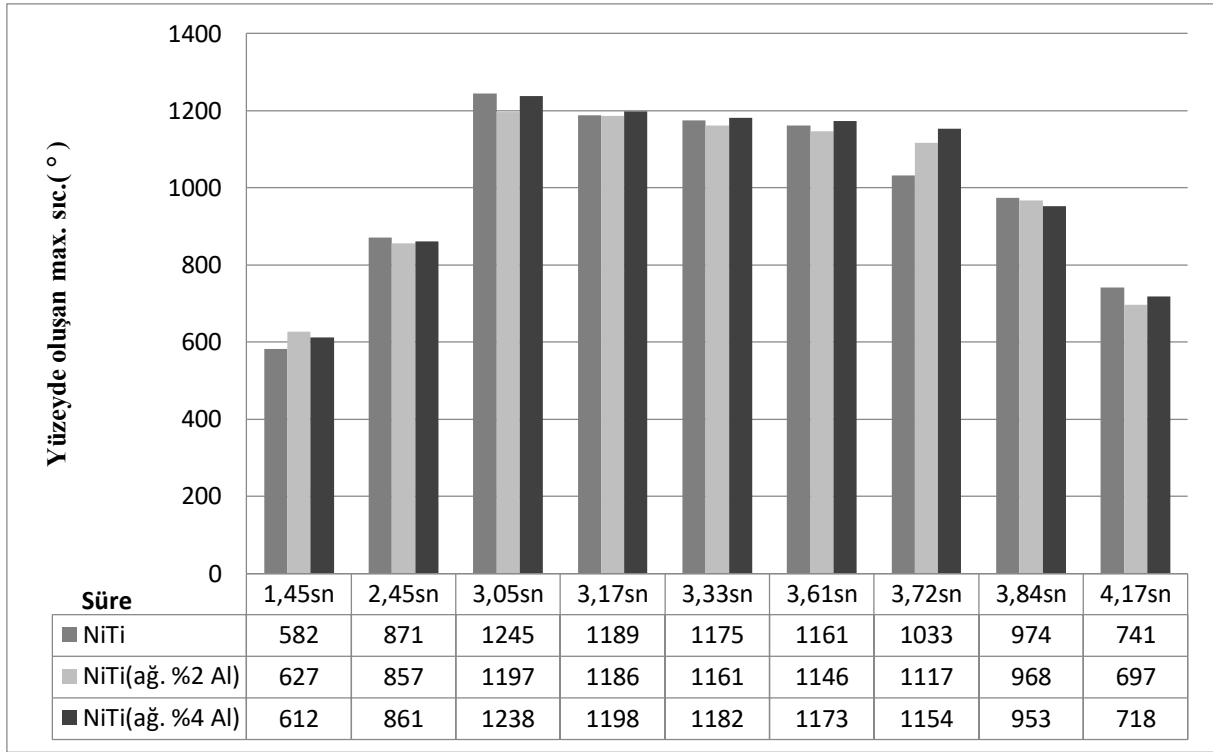
Şekil 1. Ateşleme odası [22].

3. Bulgular ve Tartışma

Yüzeyde oluşan sıcaklık değişimine Şekil 2'de yer verilmiştir. Ateşleme sonrası başlayan yanma ekzotermik reaksiyon etkisi ile numune boyunca ilerledi. Yanma reaksiyonu esnasında ulaşılan başlangıç sıcaklık değerleri sırasıyla minimum 582, 627 ve 612°C olurken maximum sıcaklık değerlerinin ise sırasıyla 1245, 1197 ve 1238°C olduğu tespit edildi.

Ark yardımıyla başlatılan ateşleme ve akabinde oluşan kıvılcım şeklinde başlayan yanma reaksiyonu 550-650 °C sıcaklık aralığında olduğu tespit edildi (Şekil 3). Geleneksel reaksiyon sentezlemesinde genellikle reaksiyon sıcaklığı için (genellikle ötektik sıcaklığı 640°C'nin üzerinde) bir fırın içinde yeşil kompaktların ısıtılmasıyla birlikte, reaksiyon başlar. Oluşan yanma reaksiyonu ergime noktasının üstündeki bir 'adyabatik' sıcaklığa kadar sıcaklığı yükseltir [23].

Reaksiyon max. sıcaklığa ulaştıktan sonra dalga halinde ilerleyen yanma ekzotermik reaksiyon sonucunda tüm numune boyunca kendi kendine ilerler. Sıvı hale geçen bir bölge diğer bölgenin sıcaklığını yükselterek sıvı hale geçirir. Böylece dalganın ön yayılım yanma hızı artar. Nikelin alüminyum sıvısında erimesinden sonra, alüminyumdaki nikel sıvı çözeltisi, ilave ısı salarak yanma dalgası cephesinin sıcaklığını artırır ve oluşan kimyasal reaksiyon mekanizması titanyum ile reaksiyona girmeye başlar [24]. İlerleme, numune boyunca tamamlandıktan sonra sıcaklık düşüşe başlayarak katılma sürecini başlatmış olur. Bu sıcaklık değerlerinin gözenekli bir Ni-Ti-Al üretimi için yeterli olduğu Şekil 4'te verilmiş olan makro resimlerden de görülmektedir.



Şekil 2. Yanma reaksiyonu sırasında yüzey profilinde meydana gelen sıcaklık değişimi

Şekil 3'te ağ. %2 Al ilaveli numuneye ait yanma reaksiyonunun görüntülerine yer verilmiştir. Reaksiyon başlamasıyla birlikte tüm numune boyunca ekzotermik reaksiyon ile dalga halinde ilerleyerek toz kompaktının ürüne dönüşmesini sağladığı gözlenmiştir.

İlk ateşleme ile birlikte kıvılcımların olduğu alev ön hızında bir artışın meydana geldiği gözlenmiştir (Şekil 3). Bunun başlıca nedeni katman katman ısı transferini geliştiren ve yanma dalgasının hızlanmasını sağlayan reaktant parçacıkları arasındaki yakın temasın artmasından dolayıdır [25].

Şekil 3'te görüldüğü üzere 1,45 sn civarında üstten ateşleme işlemi sonrasında yanma reaksiyonu alt yan kısmında kıvılcım şeklinde küçük bir alev ile başlamıştır. Ancak asıl yanma ve reaksiyonun büyümesi 3,05sn civarında gerçekleştiği görüldü. Bu olay esnasında oluşan sıcaklık 900 °C civarında ölçülmüştür. Yanma reaksiyonu 1,45sn ve 3,33sn içerisinde numune boyunca ilerlemiştir. Yanma dalgasının sonlanması ile birlikte 3,61sn-5,91sn aralıklarında hızla soğumaya başlamıştır. Reaksiyonun tamamlanmasıyla birlikte NiTiAl alaşımından oluşan ürün elde edilmiştir.

Ateşleme sonrası üretilen ürünlerin makro görüntüleri Şekil 4(a, b, c)'te verilmiştir. Saf NiTi numunesinin yoğun kanallardan oluştuğu kanalların özellikle orta kısımda daha yoğunlaştığı görülmektedir. Termal dalgaların artmasıyla birlikte meydana gelen ergimeden dolayı numune yüzeyinde yanma kanalları oluşur. Bu da yapının tamamında daha yüksek yoğunluk ve daha az gözenek oluşumunu sağlar [26]. Yanma kanallarının yönü yanma ilerlemesine dik bir şekildedir. Kaya vd. [27] yanma kanalları numune eksenine boyunca veya paralel olduğu zaman numunelerin basma dayanımının maksimum olmasını sağladığını belirtmişlerdir. %2 Al içeriğine sahip Ni-Ti-Al'da ise yanma kanallarıyla birlikte düşük oranda gözeneklerin varlığı gözlemlendi.

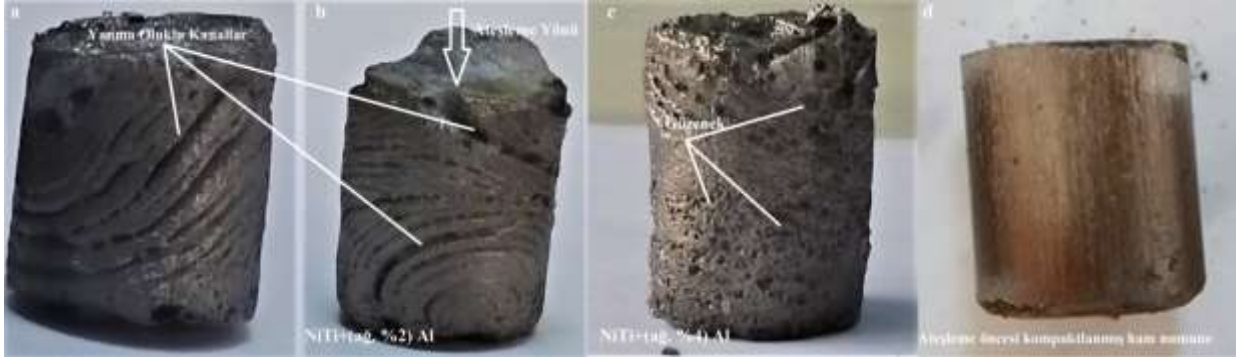
%4 Al içeriğine sahip NiTiAl numune resminden de görüldüğü üzere yapıda kanal oluşumuna kıyasla gözeneklerin yoğun olduğu görülmektedir. Gözeneklerin yoğunluğunun Al oranındaki artışa bağlı olarak artış sergilediği gözlemlenmiştir (Şekil 4). Dong vd. [28] İntermetalik alüminitlerde gözenek oluşumu üzerinde ilave edilen Al içeriğinin etkili olduğunu belirtmişlerdir.

Mikroyapı resimlerinden anlaşıldığı üzere Al içeriğinin artmasına bağlı olarak gözenek oranında bir artış meydana gelmiştir (Şekil 5). Bununla birlikte gözenek oluşumunun diğer nedenleri arasında: kullanılan tozların saflığı, tozların karışım oranı, toz kompaktlama sırasındaki başlangıç gözenekliliği, ürünün nispi yoğunluğu, kompaktlanmış reaktant içerisinde hapsolmuş gazlar, gözeneklerin termal göçü, sıkıştırma basıncı ve hızı, faz dönüşümleri esnasında hacimsel değişiklikler ve büzülmelelere bağlı oluşan

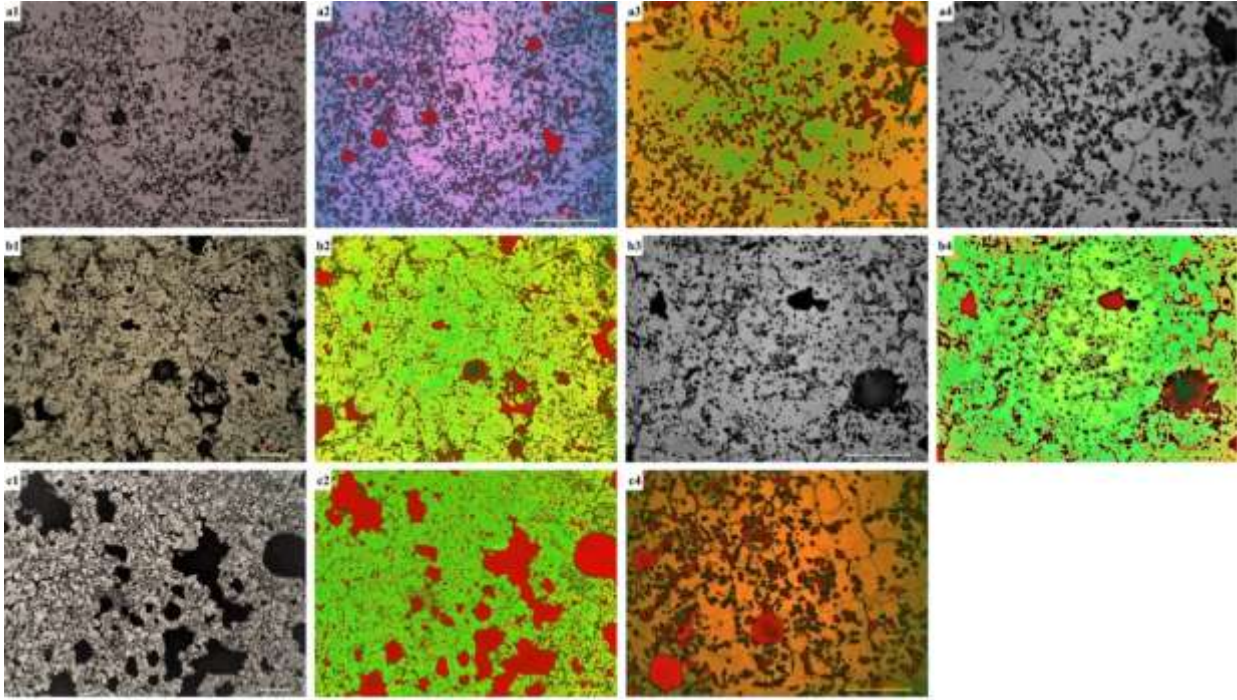
gözenekler ve elementlerin katı hal difüzyonuna (kirkendall etkisi olarak bilinir) bağlı olarak oluşan gözeneklerdir [9,12].



Şekil 3. ağ. %2 Al ilaveli numuneye ait yanma reaksiyonunun görüntüleri ve üretilen numuneye ait makro resim

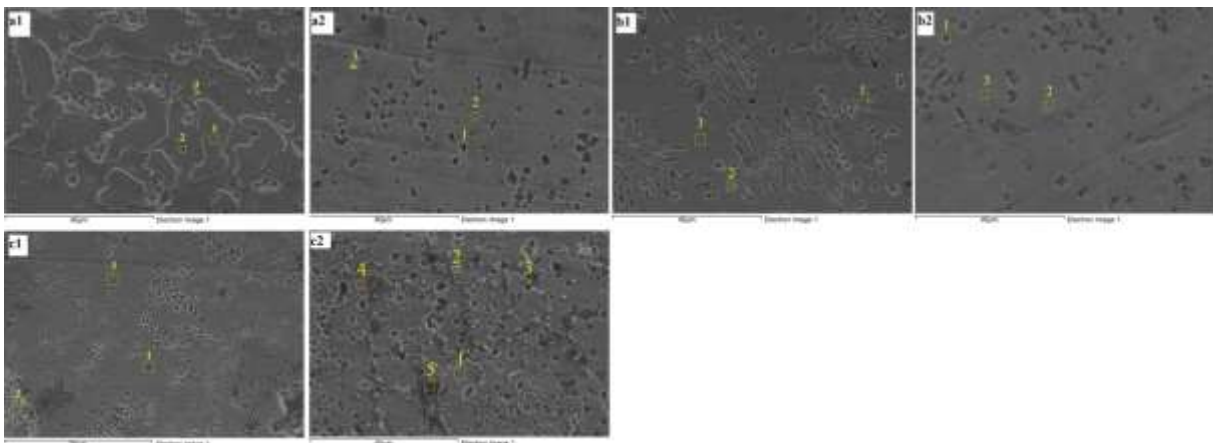


Şekil 4: Ateşleme sonrası üretilmiş numunelere ait resimler



Şekil 5. a) NiTi, b) NiTi-ağ. %2(Al) ve c) NiTi-ağ. %4(Al)

Al ilavesiz saf NiTi numunesine ait mikroyapıda (Şekil 5 a1-a4) gözenek oranının düşük olduğu, oluşan gözeneklerin ağ. %2 Al ve ağ. %4 Al içeriğine sahip numunelere kıyasla küçük boyutlarda olduğu görülmektedir. Ağırlıkça %4 Al içeriğine sahip NiTiAl numunesinde gözenek oranının diğer iki numuneye göre daha fazla olduğu, ayrıca gözenek boyutunun da aynı şekilde daha geniş olduğu görülmektedir (Şekil 5 c1-c4).



Şekil 6. a) NiTi, b) NiTi-wt. %2(Al) ve c) NiTi-wt. %4(Al) numunelerine ait SEM görüntü analizleri

Numunelere ait SEM analiz sonuçlarına Şekil 6 (a1,a2,b1,b2,c1,c2) yer verilmiştir. Ayrıca Şekil 7’de ise EDX analiz sonuçlarına ait grafiğe yer verilmiştir. Numunelerin mikroyapı gelişimi Al içeriğine bağlı olarak farklı yapı sergilediği gözlenmiştir. EDX analiz sonuçları Şekil 8’de verilmiş olan üçlü faz diyagramı yardımıyla değerlendirilerek mevcut fazlar tespit edilmeye çalışılmıştır. Şekil 6(a1)’de yaprak şekilli adacıkların %31.48 Ti, %68.52 Ni elementlerinden oluştuğu bu değerlerin Ni₃Ti+Ni fazına karşılık geldiği üçlü faz diyagramı ile tespit edilmiştir.

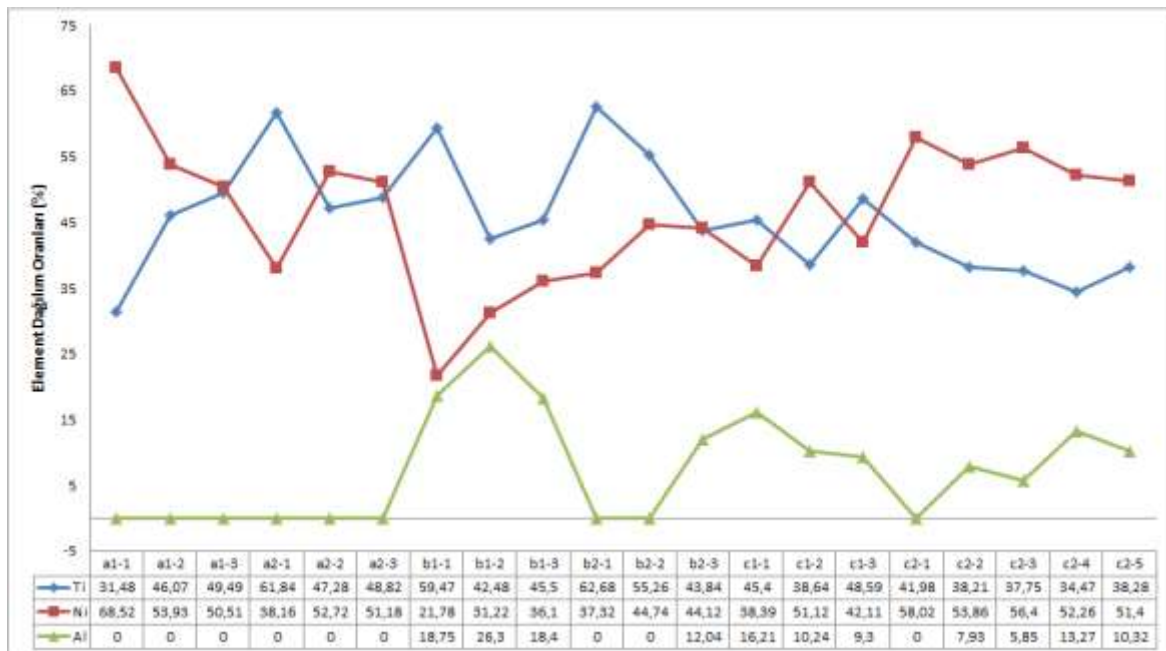
Yaprak şekilli adacıklar arasında alınan EDX sonuçları 2. noktanın NiTi fazından oluştuğu tespit edilmiştir. Aynı şekilde 3. nokta yapı içerisinde görülen küçük noktalardan alınmış olup %49.49 Ti, %50.51 Ni elementlerinden oluştuğu bu sonucun NiTi fazına ait olabileceği anlaşılmaktadır. Şekil 7a2’de ise büyük ve küçük parçacıklı yapıların oluştuğu görülmektedir.

EDX analiz sonuçlarından bu parçacıkların Ti’ca zengin NiTi₂+NiTi fazından oluştuğu, gri bölgenin ise (2. nokta) Ni’ce zengin NiTi alaşımı olduğuna işaret etmektedir(Şekil 8). Şekil 6 (b1-b2)’de yer verilmiş olan ağ.%2 Al numunesinde mikroyapıda farklı dendrit yapıların oluştuğu gözlenmiştir. Dendrit yapısı ve çevresinden alınan EDX sonuçlarına bakıldığında (Şekil 6b1) 1. noktanın Ti’ca zengin olduğu(Ti %59.47, Ni %21.78, Al %18.75) bu bölgenin Ti₃Al+NiTi₂ fazından oluşabileceği belirlendi. Dendritik yapı üzerinden alınmış olan 2. noktadaki sonuçlara göre dendrit yapının (Şekil 8) Ti₃Al fazın eşit olabileceği düşünülmektedir. 1080°C sıcaklıklarda mikroyapı NiTi matris fazı ve Ti₂Ni, Ni₃Ti güçlendirme fazından oluşur.

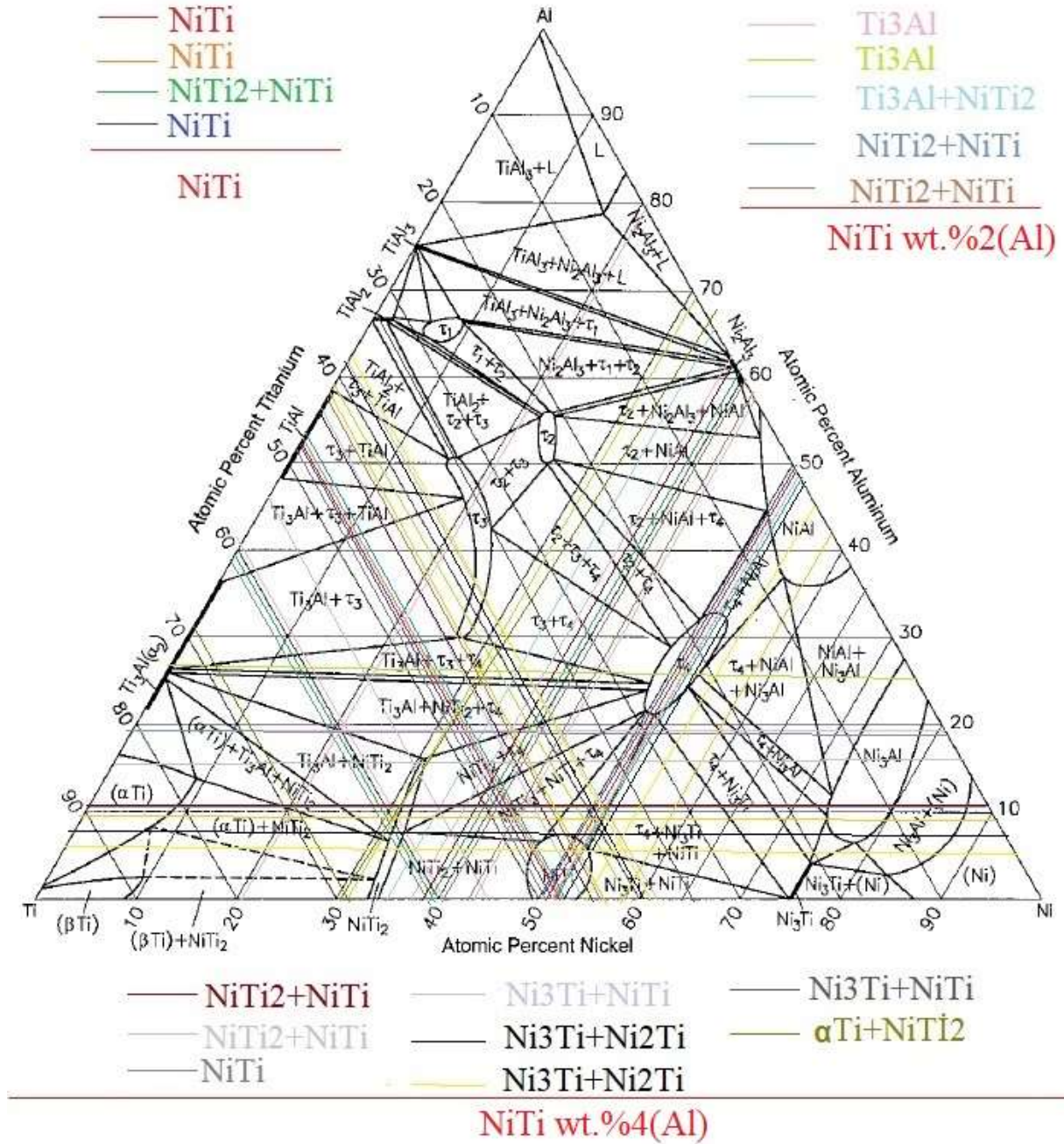
Sıcaklık 1200°C ulaştığında titanyum ve alüminyum açısından zengin üçlü matris fazları Ti₃Al(Ni), NiAl(Ti), NiTi(Al) ve AlNi₂Ti oluşmaya başlar [29, 30]. Şekil 6 (c1,c2)’de ağ.%4 Al ilavesine sahip numuneye ait SEM görüntüsü yer almaktadır. Gözenek yoğun bir yapıdan oluşmuştur. Gözenekler c2’de daha yoğundur. EDX sonuçları dikkate alındığında 1. nokta NiTi₂(%45.4 Ti, 38.39 Ni, 16.21 Al), 2. nokta Ni₃Ti+NiTi(%38,64 Ti, 51.12 Ni, 10.24 Al), 3. noktanın ise NiTi₂+NiTi(%48,59 Ti, 42.11 Ni, 9.3 Al) fazlarına eşit olabileceği belirlenmiştir.

Şekil 6 (c2)’daki SEM ve EDX analizlerinde ise yapının Ni₃Ti+NiTi ve Ni₃Ti fazlarından oluştuğu belirlenmiştir. Katıhal difüzyonuna bağlı olarak NiTi₂ faz miktarı azalırken Ni₃Ti ve NiTi fazlarının oluşumu gerçekleşir. NiTi ve Ni₃Ti fazlarının oluşmasında önemli rol oynayan katı hal difüzyon hızı ısıtma hızı ve hammaddelerin yoğunluğuna bağlıdır [31-33].

Belirlenen fazlar Şekil 8’de yer verilmiş olan üçlü faz diyagramı ile tespit edilmeye çalışılmıştır. EDX analizi sonucu ve üçlü faz diyagramı ile NiTi, NiTi₂, Ti₃Al ve Ni₃Ti Ni₃Ti fazlarıyla birlikte artık fazların(NiTi₂+NiTi, Ni₃Ti+NiTi, Ti₃Al+NiTi₂) oluşabileceği tespit edilmiştir. Aşağıda yer verilmiş olan üçlü faz diyagramı ile tespit edilmiş olan NiTi, NiTi₂ ve Ti₃Al ana fazlar XRD analiz sonuçlarıyla uyumaktadır. Çalışmamız sonucunda elde etmiş olduğumuz sonuçlar ile literatür sonuçlarının benzer olduğu tespit edilmiştir [9, 34-35].



Şekil 7. NiTi, NiTi-ağ%2Al ve NiTi-ağ%4Al numunelerine ait EDX analizleri

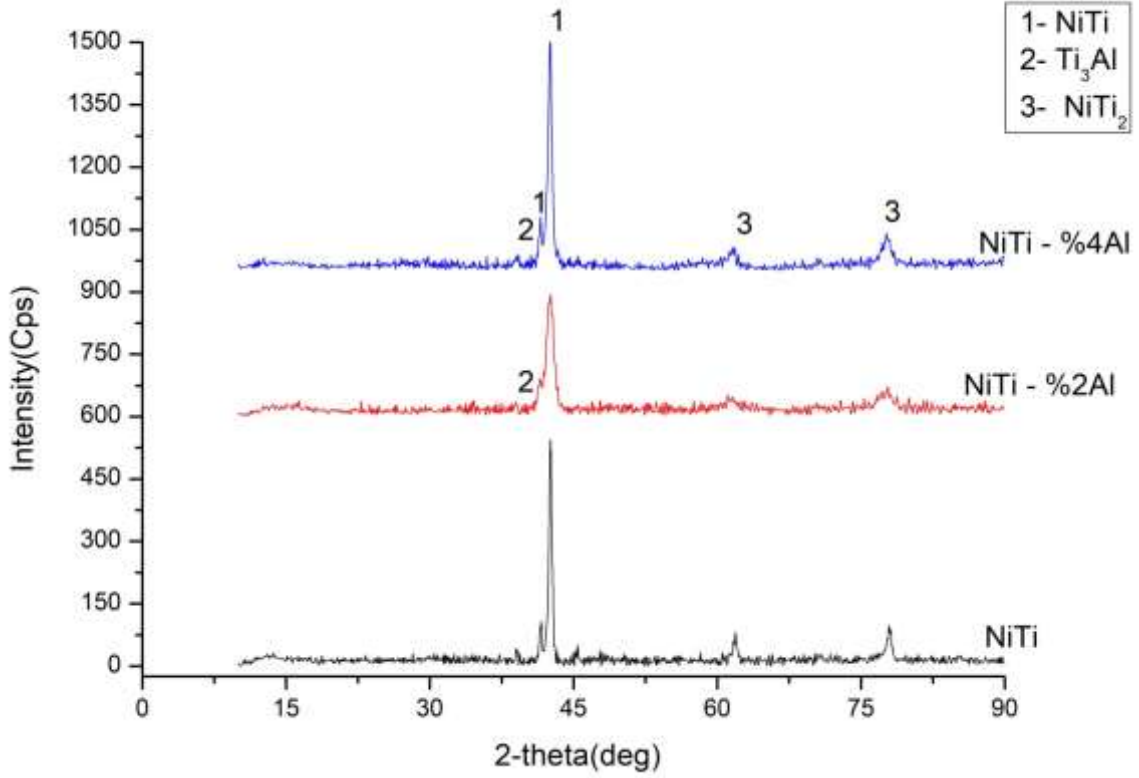


Şekil 8. Al-Ni-Ti diagramı [36]

SHS yöntemi ile üretilmiş numunelere ait XRD analiz sonuçlarına Şekil 9'da yer verilmiştir. Üretilen numunelerin XRD desenlerine incelendiğinde Al ilave edilmeden üretilen NiTi numunesi için ana fazın östenit NiTi fazı olduğu bunun yanında NiTi₂ fazının da ikincil faz olarak varlığı görülmektedir. NiTi içerisine ilave edilen Al oranının artması ile ana faz olan östenit NiTi ve ikincil faz olan NiTi₂ fazlarının yanında Ti₃Al fazının oluştuğu görülmektedir. Al oranının artması ile Ti₃Al fazının da arttığı anlaşılmaktadır. Ayrıca 700°C'de titanyum partiküller çevresinde oluşan ince Al₃Ti fazının ise 850 °C'de Ti₃Al ve AlTi fazına dönüştüğünü belirtilmiştir [29, 37].

Toz metalürjisi ile üretilen NiTi numunelerinin mikroyapılarında austenit NiTi, martensit NiTi ve NiTi₂ fazlarının oluştuğu birçok araştırmacı tarafından belirtilmektedir [31, 38-40]. SHS yönteminde üretilen NiTi malzemede NiTi₂ fazının varlığı kaçınılmaz olmasının temel sebebi bu fazın tercihen oluşmasıyla ilgilidir [41]. Salvatr vd. [12] yapmış oldukları çalışmada 981°C sıcaklıkta oluşan ekzotermik reaksiyon etkisi ile NiTi, NiTi₂, MgNi ve Ni₃Ti fazlarının oluştuğunu, sıcaklık 1097°C ulaştığında ötektik dönüşümün gerçekleştiğini, geri kalan ise 1147°C ise MgNi₂ fazı içerdiğini belirtmişlerdir.

Daha önce yapılan çalışmalarda 1050°C sıcaklıkta oluşan fazların NiTi₂ ve NiTi fazlarına karşılık geldiğini 1200°C ise B₂ TiNi(CsCl yapısı)varlığı doğrulanırken NiTi₂ (Yüzey merkezli kübik yapı) ve Ni₄Ti₃(Rhombohedral yapı) fazlarının ise zayıf piklere sahip olduğunu araştırmacılar tarafından belirtmişlerdir. Bu çalışmada numuneler SHS ile üretildikleri için mikroyapıda oluşan fazların oranları ilave edilen Al ile değişmektedir. Ti₃Al fazı oluşurken diğer fazların azalması beklenirdi ancak XRD piklerinde bu durum belirgin şekilde görülmektedir. Bunun sebebi numune yüzeyindeki kirliliklerden veya pürüzlülüklerden kaynaklanabilir.

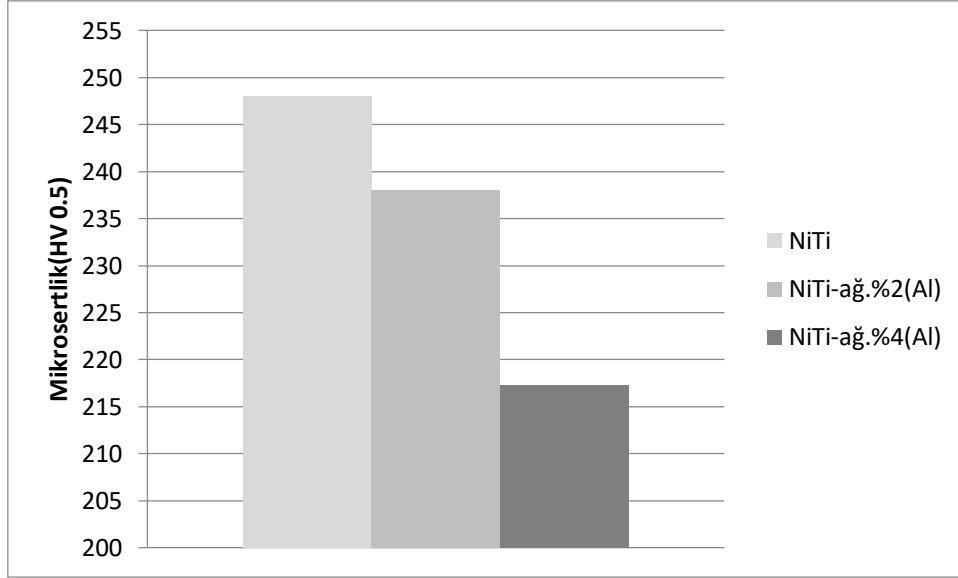


Şekil . NiTi, NiTi a.g. %2Al ve NiTi a.g. %4Al numunelerine ait XRD analiz sonuçları

Şekil 10'da mikrosertlik ölçüm sonuçlarına ait grafiğe yer verilmiştir. Mikrosertlik ölçümlerde elde edilen en yüksek değer 301,2 HV_{0.5} ile saf NiTi'de en düşük değer ise 176,8 HV_{0.5} ile NiTi-a.g.%4(Al) numunesinden ölçülmüştür. Yine aynı şekilde ortalama mikrosertlik değerlerinin ölçüm sonuçlardan görüldüğü üzere en düşük ölçüm değeri 217,3 HV_{0.5} NiTi-a.g.%4(Al) numunesi ait olduğu tespit edilmiştir (Şekil 10).

Gözenek oranı düşük Al ilavesiz NiTi alaşımında en yüksek mikrosertlik ölçüm değeri ile sonuçlanırken, NiTi-a.g.%4(Al) numunesindeki gözenekliliği fazla olması nedeniyle daha düşük mikrosertlik değerleri ile sonuçlanmıştır. Baumann 2004 yılında yapmış olduğu bir çalışmada NiTi alaşımının mikrosertlik değerinin yaklaşık 300 ila 350 Hv arasında olduğunu ifade etmiştir [42].

NiTi ve NiTiAl ile yapılan literatür incelemeleri sonucunda mikrosertlik ölçümlerde elde edilen en yüksek değer 362,4 Hv ile sonuçlanırken en düşük mikrosertlik değerinin ise 81,4 Hv ile sonuçlandığı tespit edilmiştir [43-45]. Bizim elde etmiş olduğumuz mikrosertlik değerleriyle (Şekil 10) uyumlu olduğu görülmektedir.



Şekil 10. Mikrosertlik ölçüm sonuçları(HV_{0.5})

4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada; eş atomlu NiTi toz karışımına ağ.%2 Al, ağ.%4 Al ilave edilerek SHS yöntemi ile NiTi-Al numuneleri üretildi ve çalışma neticesinde aşağıdaki sonuçlar elde edildi:

- Eş atomlu NiTi ve Al ilaveli NiTiAl alaşımları SHS yöntemi ile başarılı bir şekilde üretilmiştir.
- Al içeriğine bağlı olarak gözeneklerin arttığı tespit edilmiştir.
- Yanma kanallarının Al içeriğine bağlı olarak azaldığı, kanalların daha çok numune orta kısımlarında oluştuğu makro resimlerden belirlenmiştir.
- Yanma kanalları ateşleme yönüne dik veya paralel bir şekilde oluşmuştur.
- NiTi, NiTi₂ ve Ti₃Al fazlarının oluştuğu XRD analizi sonucunda tespit edilmiştir
- Yapılan mikrosertlik test ölçüm sonuçlarına göre Al içeriğine bağlı olarak sertliğin düştüğü tespit edilmiştir. Buna göre en yüksek ölçüm değerinin 301,2 HV_{0.5} ile saf NiTi numunesinde elde edilirken en düşük değer ise 176.8 HV_{0.5} ile NiTi - ağ.%4(Al) numunesinden ölçülmüştür.

Yazarların Katkısı

Çalışmada tüm katkı yazara aittir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar

- [1] Tosun G., Kilic M., Ozler L., Tosun N. 2018. Characterization of a Porous Nickel-Titanium Alloy Produced with Self-Propagating High-Temperature Synthesis. MTAEC9, 52 (4): 435.
- [2] Shanmugavel R., Mokka P., Jayamani M., Rajini N., Uthayakumar M., Thirumalaikumaran S. 2017. Mechanical and Machinability characteristics of Al-NiTi composites reinforced with SiC particulates. J Aust Ceram Soc., 53: 177-185.
- [3] Velmurugan C., Senthilkumar V., Dinesh S., Arulkirubakaran D. 2018. Review on phase transformation behavior of NiTi shape memory alloys. Mater Today Proc., 5: 14597-14606.

- [4] Yener T., Siddique S., Walther F., Zeytin S. 2015. Effect of Electric Current on the Production of NiTi Intermetallics Via Electric-Current-Activated Sintering. *Materiali In Tehnologije*, 49: 721.
- [5] Farvizi M., Akbarpour R.M., Ahn H-D., Kim S.H. 2016. Compressive behavior of NiTi-based composites reinforced with alumina nanoparticles. *J Alloys Compd.*, 688: 803-807.
- [6] Zhao C., Liang H., Luo S., Yang J., Zemin Wang Z. 2020. The effect of energy input on reaction, phase transition and shape memory effect of NiTi alloy by selective laser melting. *J Alloys Compd* 817: 153288.
- [7] Zeng Z., Cong B.Q., Oliveira J.P., Ke W.C., Schell N., Peng B., Qi Z.W., Ge F.G., Zhang W., Ao S.S. 2020. Wire and arc additive manufacturing of a Ni-rich NiTi shape memory alloy: microstructure and mechanical properties. *Addit Manuf.*, doi: <https://doi.org/10.1016/j.addma.2020.101051>.
- [8] Lou J., He H., Li Y., Zhu C., Chen Z., Liu C., 2016. Effects of high O contents on the microstructure, phase-transformation behaviour, and shape-recovery properties of porous NiTi-based shape-memory alloys. *Materials and Design*, 106: 37-44.
- [9] Xu J.L., Bao L.Z., Liu A.H., Jin X.F., Luo J.M., Zhong Z.C., Zheng Y.F. 2015. Effect of pore sizes on the microstructure and properties of the biomedical porous NiTi alloys prepared by microwave sintering. *J Alloys Compd.*, 645: 137-142.
- [10] Kurt B., I. Somunkiran İ. 2008. Interface microstructure of porous Ni-Ti and Co-Cr-Mo powder alloy couple fabricated by SHS process. *Powder Metallurgy*, 51 (3): 254-256.
- [11] Gunter V., Yasenchuk Y., Gunther S., Marchenko E., Yuzhakov M. 2019. Biocompatibility of Porous SHS-TiNi. *Materials Science Forum*, 970: 320-327.
- [12] Salvetr P., Školáková A., Novák P. 2017. Effect of magnesium addition on the structural homogeneity of NiTi alloy produced by self-propagating high-temperature synthesis. *Kovove Mater.*, 55: 379-383.
- [13] Dagdelen F., Balci E., Qader N.I, Ozen E., Kok M., Kanca S.M., Abdullah S.S., Mohammed S.S. 2020. Influence of the Nb Content on the Microstructure and Phase Transformation Properties of NiTiNb Shape Memory Alloys. *JOM*, 72: 4.
- [14] Duan S., Shi X., Zhang M., Li B., Dou G., Guo H., Guo J. 2019. Determination of the thermodynamic properties of Ni-Ti, Ni-Al, and Ti-Al, and nickel-rich Ni-Al-Ti melts based on the atom and molecule coexistence theory. *J Mol Liq.*, 294: 111462.
- [15] Shia J., Zheng A., Lin Z., Chen R., Zheng J., Cao Z. 2019. Effect of process control agent on alloying and mechanical behavior of L21 phase Ni-Ti-Al alloys. *J Mater Sci Eng A*, 740-741: 130-136.
- [16] Chen H., Zheng J.L., Zhang X.F., Zhang H. 2017. Thermal stability and hardening behavior in superelastic Ni-rich Nitinol alloys with Al addition. *J Mater Sci Eng A*, 708: 514-522.
- [17] Zhao Y., Wang L., Sun Y., Liu H., Jiang C., Ji V., Li W. 2019. Influences of Al and Ti particles on microstructure, internal stress and property of Ni composite coatings. *J Alloys Compd.*, 793: 314-325.
- [18] Kim D.H., Kim W.T., Kim D.H. 2004. Formation and crystallization of Al-Ni-Ti amorphous alloys. *J Mater Sci Eng A*, 385: 44-53.
- [19] Hsiung L-C., Sheu H-H. 2009. A comparison of the phase evolution in Ni, Al, and Ti powder mixtures synthesized by SHS and MA processes. *J Alloys Compd.*, 479: 314-325.
- [20] Sichani R.H., Salehi M., Edris H., Farani T.M. 2017. The effect of APS parameter on the microstructural, mechanical and corrosion properties of plasma sprayed Ni-Ti-Al intermetallic coatings. *Surf Coat Technol.*, 309: 959-968.
- [21] Hu R., Nash P., Chen Q., Zhang L., Du Y. 2009. Heat capacities of several Al-Ni-Ti compounds. *Thermochimica Acta*, 486: 57-65.
- [22] Kılıç M., Beken M., Özdemir N. 2019. Investigation of the Effect of Sintering Process After Shs Processing on Intermetallic Coating. *Fırat Üniversitesi Müh. Bil. Dergisi*, 31 (1): 167-176.
- [23] Monogenov A.A., Gunther V.E., Ivchenko O.A., Stebluk A.N., Radkewich A.A., Ariamkin A.A., Shtofin S.S. 2017. Structure and Properties of Porous Alloys Based on NiTi Doped by Al, Fabricated by SHS-method, in *Shape Memory Biomaterials and Implants in Medicine*. *KnE Materials Science*, 62-71.
- [24] Morsi K. 2001. Review: reaction synthesis processing of Ni-Al intermetallic materials. *J Mater Sci Eng A*, 299: 1-15.

- [25] Sina H., Surreddi B.K., Iyengar S. 2016. Phase evolution during the reactive sintering of ternary Al-Ni-Ti powder compacts. *J Alloys Compd.*, 661: 294-305.
- [26] Kaya M., Orhan N., Kurt B. 2009. Effect of solution treatment under load on microstructure and fabrication of porous NiTi shape memory alloy by self-propagating high temperature synthesis. *Powder Metallurgy*, 52 (1): 36-41.
- [27] Kaya M., Orhan N., Tosun G. 2010. The effect of the combustion channels on the compressive strength of porous NiTi shape memory alloy fabricated by SHS as implant material. *Curr Opin Solid State Mater Sci.*, 14: 21-25.
- [28] Dong H.X., Jiang Y., He Y.H., Song M., Zou J., Xu N.P., Huang B.Y., Liu C.T., Liaw P.K. 2009. Formation of porous Ni–Al intermetallics through pressureless reaction synthesis. *J Alloys Compd.*, 484: 907-913.
- [29] Novák P., Mejlíková L., Michalčová A., Čapek J., Beran P., Vojtěch D. 2013. Effect of SHS conditions on microstructure of NiTi shape memory alloy. *Intermetallics*, 42: 85-91.
- [30] Liu B., Liu Z., Liu X., Wang W., Wang L. 2013. Effect of sintering temperature on the microstructure and mechanical properties of Ti50Ni50 and Ti47Ni47Al6 intermetallic alloys. *J Alloys Compd.*, 578: 373-379.
- [31] Tosun G., Ozler L., Kaya M., Orhan N. 2009. A study on microstructure and porosity of NiTi alloy implants produced by SHS. *J Alloys Compd.*, 487: 605-611.
- [32] Khanlari K., Ramezani M., Kelly P., Cao P., Neitzert T. 2018. Synthesis of As-sintered 60NiTi Parts with a High Open Porosity Level. *Materials Research*, 21 (5): e20180088.
- [33] Salvetr P., Školáková A., Hudrisier C., Novák P., Vojtěch D. 2018. Reactive Sintering Mechanism and Phase Formation in Ni-Ti-Al Powder Mixture During Heating. *Materials*, 11: 689.
- [34] Xu J.L., Bao L.Z., Liu A.H., Jin X.J., Tong Y.X., Luo J.M., Zhong Z.C., Zheng Y.F. 2015. Microstructure, mechanical properties and superelasticity of biomedical porous NiTi alloy prepared by microwave sintering. *Mater Sci Eng C*, 46: 387-393.
- [35] Mousavi T., Karimzadeh F., Abbasi H.M. 2009. Mechanochemical assisted synthesis of NiTi intermetallic based nanocomposite reinforced by Al₂O₃. *J Alloys Compd.*, 467: 173-178.
- [36] Raghavan V. 2005. Al-Ni-Ti (Aluminum-Nickel-Titanium). *J Phs Eqil and Diff*, 26: 268-272.
- [37] Gashti O.S., Shokuhfar A., Ebrahimi-Kahrizangi R., Nasiri-Tabrizi B. 2010. Synthesis of nanocrystalline intermetallic compounds in Ni–Ti–Al system by mechanothermal method. *J Alloys Compd.*, 491: 344-348.
- [38] Li P., Wang Y., Meng F., Cao L., He Z. 2019. Effect of Heat Treatment Temperature on Martensitic Transformation and Superelasticity of the Ti49Ni51 Shape Memory Alloy. *Materials*, 12: 2539.
- [39] Kilic M., Yenigun B., Bati B., Balalan Z., Kirik İ. 2019. Effect of Cu addition on porous NiTi SMAs produced by self propagating high-temperature Synthesis. *Materials Testing*, 61 (12): 1140-1144.
- [40] Aksöz S. 2017. Microstructural and Mechanical Investigation of NiTi Intermetallics Produced by Hot Deformation Technique. *Arab J Sci Eng.*, 42: 2573-2581.
- [41] Novák P., Školáková A., Pignol D., Průš F., Salvetr P., Kubatík F.T., Perriere L., Karlík M. 2016. Finding the energy source for self-propagating high-temperature synthesis production of NiTi shape memory alloy. *Mater Chem Phys.*, 181: 295-300.
- [42] Baumann A.M. 2004. Nickel–titanium: options and challenges. *Dent Clin N Am*, 48: 55-67.
- [43] Ye N., Ren X., Liang J. 2020. Microstructure and mechanical properties of Ni/Ti/Al/Cu composite produced by accumulative roll bonding (ARB) at room temperature. *J. Mater. Res. Technol.*, 9 (3): 5524-5532.
- [44] Sang C., Cai X., Zhu L., Ren X., Niu G., Wang X., Feng P. 2020. Interfacial microstructure of Ti/Ni joints with Ti–Al interlayer by rapid thermal explosion bonding in vacuum. *Vacuum*, 171: 109028.
- [45] Čapek J., Kučera V., Fousová M., Vojtěch D. 2013. Preparation of The NiTi Shape Memory Alloy By The Te-Shs Method – Influence of the Sintering Time. *METAL 2013-22nd International Conference on Metallurgy and Materials, Conference Proceedings*, 15-17 May, Brno, Czech Republic, E.

Araştırma Makalesi / Research Article

Mobil Uygulama Etkileşimli Entegre Websitesi Tasarımı: Güvenlik ve Ölçeklenebilirlik

Necla BANDIRMALI ERTÜRK*

*Bandırma Onyedli Eylül Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Bandırma, Balıkesir
(ORCID: 0000-0002-3513-7846)*

Öz

Bu makalede mobil uygulama etkileşimli entegre websitesi uygulama paradigması için etkileşimli tasarım, güvenlik ve ölçeklenebilirlik boyutları incelenmektedir. Geleneksel çözümlere kıyasla önemli avantajlara sahip olan bu sistem mimarisi ve yazılımlarıyla, yerel/küresel ağ üzerinden işlem ve iletişim gerektiren bankacılıktan sigortaya, e-ticaretten e-devlete, sağlıktan seyahate, eğitimden savunmaya kadar tüm sektörler için hayatın her evresinde yüksek sonucu-istemci başarımı mümkün görülmektedir. Çalışma sonuçları, yüksek kullanıcı sayısı ya da anlık işlem sayısı artışlarını da beraberinde getiren mobil uygulamaların değişik istekleri karşılanırken, hem güvenlik hem de ölçeklenebilirlik boyutlarının birlikte ve öncelikle ele alınmasının zorunlu olduğunu göstermektedir.

Anahtar kelimeler: Ölçeklenebilirlik, Güvenlik, Etkileşimli Tasarım, Websitesi, Mobil Uygulama.

Interactive Mobile Application Integrated Website Design: Security and Scalability

Abstract

This paper focuses on interactive design, security and scalability issues for interactive mobile application integrated website design paradigm. With this system architecture and software, which has significant advantages compared to traditional solutions, an extraordinary server-client performance is possible considering all sectors at every stage of life from banking to insurance, e-commerce to e-government, health to travel, education to military, which all require transactions and communications over local/global networks. The results of this presented study conclude that both security and scalability dimensions together should be dealt with first and foremost, while meeting the various requirements of mobile applications, which may bring about significant increases in the number of users or instant transactions.

Keywords: Scalability, Security, Interactive Design, Website, Mobile Application.

1. Giriş

Entegre mobil uygulama ve websitesi çözümlerinin kullanımı hızla artmaktadır. Tüm kurum ve kuruluşların, bu etkin sistem mimarisi yaklaşımı ile kullanıcıların ya da müşterilerin istedikleri bilgilere her yerden ve her an erişme taleplerini karşılamaları mümkün görülmektedir. Bu kapsamda, genel Mobil Yazılım Geliştirme Yaşam Döngüsü (MYGYD) evreleri [1] ve entegre mobil uygulama-web sistem mimarisindeki yeni yaklaşımlar açısından tasarım zorlukları ile fırsatlarının incelendiği bu makalede, araştırmacılar ve sektörün, kullanıcı ihtiyaçlarına etkin cevap verilmesine, artan mobil uygulama ve websitesi isterlerinin karşılanmasına ve teknik karmaşıklıkların aşılmasına yönelik çözüm önerileri değerlendirilmektedir.

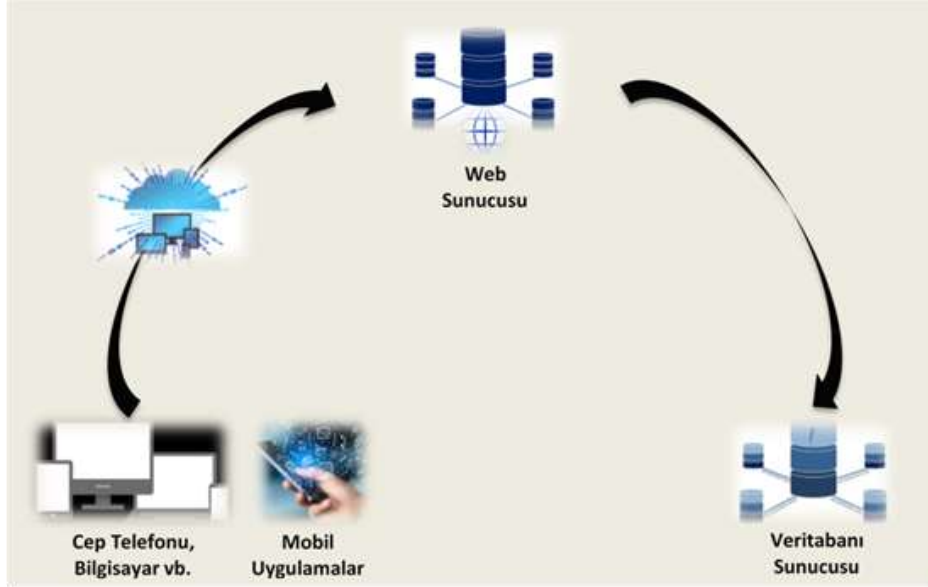
Mobil uygulamaları etkileşimli bir websitesi ile entegre edecek etkili ve yüksek başarımlı bir sistem (Web-App) tasarımı beraberinde değişik teknik güçlükleri de getirmektedir. Bu süreçlerde çok fazla sayıda üzerinde durulması gereken bileşen bulunmakla birlikte, etkileşim, ölçeklenebilirlik ve

*Sorumlu yazar: nerturk@bandirma.edu.tr

Geliş Tarihi: 31.12.2020, Kabul Tarihi: 01.03.2021

güvenlik en önemli unsurlar olarak geçerliliğini korumaktadır. Gerçekleştirilmekte olan akademik ve profesyonel tüm araştırmalar ve ticari ürün çalışmaları göstermektedir ki hızlı ve az çaba ile hedefe ulaştıracak komple bir yöntem henüz bulunmamaktadır.

Son dönemde hızla gelişmekte olan mobil uygulamaların teknoloji odaklı günlük hayattaki yeri, özellikle yeni websitesi tasarımları ile birlikte oluşturulan çözümler yoluyla kullanıcı etkileşimli bir evreye geçmiş bulunmaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. Mobil uygulama etkileşimli web mimarisi

2. Web Uygulama Sistemleri ve Websitesi Tasarımı

Tüm sektörel alanlara özel yazılımların olduğu gibi, web teknolojilerine dayalı web sistemlerinin de gelişim süreçlerinde aşması gereken önemli sorunları bulunmaktadır. Bunlar genel olarak mimari, kavramsal tasarım ve teknoloji başlıkları altında gruplandırılır.

Web tabanlı çevrimiçi sistemlerin geliştirilmesi, birçok kurum, kuruluş, firma veya organizasyonun iş stratejisi için giderek daha kritik hale gelmektedir. Bu durum bir yazılım geliştirme şekli olarak görünmekle birlikte, iş modelleri ve buna bağlı gereksinimler açısından benzersiz özelliklere sahiptir.

Web tabanlı uygulamaların, bir kuruluşun müşterileri, hedef kitlesi ve diğer dış paydaşları ile olan etkileşiminin niteliği üzerinde önemli bir etkisi bulunmaktadır.

Web sistemleri hem teknik hem de yapısal açıdan benzersiz özellikleri ile geleneksel yazılım sistemlerinden hızla farklılaşmaktadır. Örneğin, web sistemlerinin teknik yapısı, zorlu bir işletme mimarisini hem karmaşık bir bilgi mimarisi hem de çok sayıda bileşen tabanlı teknik mimari ile birleştirmektedir (Şekil 2).

Web sistem tasarımı açısından güncel eğilimler aşağıdaki başlıklar altında sınıflandırılabilir:

- Websitesi tasarımı
- Web uygulama tasarımı
- Duyarlı/uyumlu (responsive) web tasarımı
- E-ticaret websitesi tasarımı
- Websitesi yeniden tasarımı
- Açılış web sayfası tasarımı.

Websitesi geliştirme konusundaki nitelikli yaklaşımlar ve hizmetler, kuruluşların işlerini ve organizasyonlarını başarıya götürmelerine yardımcı olmaktadır. Bu açıdan geliştirme süreçleri, ihtiyaçları canlı bir websitesine dönüştürmenin yanı sıra tüm kurumsal ve kullanıcı gereksinimlerini karşılamak için yeni fikirler ve düşünceler üretme konusunda uzmanlık gerektirmektedir.



Şekil 2. Web trendleri (Serbest alıntı: <https://pixabay.com/tr/illustrations/seo-web-pazarlama-618434/>)

Lennart de Ridder (2019) son dönemlerdeki yenilikçi web tasarım eğilimlerini on başlıkta sınıflandırmaktadır [2]:

- Siyah-beyaz paletler
- Doğal ve organik şekiller
- Ekranında şerifler
- Aksaklık sanatı
- Mikro etkileşimler
- Sohbet robotları (chatbots)
- Daha da fazla video içeriği
- Minimalizm
- Başparmak dostu gezinme
- Çeşitlilik.

Literatürde yer alan bir başka çalışmada ise ses arabirimleri, görsel arama ve Alexa'nın öncüleri olduğu ve aşağıda sıralanan son dönem web tasarım eğilimleri farklı bir bakış açısı ile sunulmaktadır [3]:

- Çizim ile tekil bir ses oluşturma
- Tipografi tabanlı yerleşim
- Değişken yazı tipleri
- Dekore edilmiş, artırılmış ve büyük paragraflar
- Animasyon: İkincil elemanlar ve organik hareket
- Sevimli mikro etkileşimler ve mini oyunlar
- Acımasızlık ve maksimalizm (evcilleştirilen vahşi unsurlar)
- Görüntü efektleri (bozulma ve dalga etkileri)
- Bas/basılı tut ve düz git
- Bağımsız tasarımcılar ve yenilikçi geliştiriciler
- Kişiliğe sahip renk şemaları
- Karışık 2 veya 3 boyutlu öğeler
- Yapay zekâ ve makine öğrenmesi
- Görsel yardımcılar
- Daha az uygulama ve daha fazla çoklu platform entegrasyonu
- Komut ses arayüzleri
- Görsel arama
- Artırılmış gerçeklik dönüşümü ve içerik oluşturma.

Websitesi tasarımlarının öncelikli amacı, tasarımın bizatihi kendisi olmaktan ziyade, web içeriğinin daha etkili, okunaklı ve anlaşılır bir şekilde hedef kitleye aktarılmasını sağlamaktır. Bu kapsamda, masaüstü bilgisayarlardan dizüstü bilgisayarlara, mobil telefonlardan giyilebilir cihazlara kadar değişik platformlarda hiçbir fark olmaksızın web içeriğini sunabilmek önemlidir [4]. Diğer platformlara kıyasla, mobil telefon kullanıcılarının genel internet erişimindeki son yıllarda hızla artan oranı, duyarlı websitesi tasarım çözümlerini ön plana çıkartmaktadır. Zira küçük ekranlı cihazlar, web sayfası içeriğinin ekrana sığacak şekilde uyarlanmasını gerektirmektedir. Esnek grid (akışkan), esnek görüntüler, medya sorguları ve duyarlı tipografi gibi popüler tasarım yöntemleri ve araçları, günümüzde farklı platformlar için tek web sayfası sürümü imkânı sunarken bazen kaynakların kaybına da yol açabilmektedir [5]. Bu kapsamda önerilen değişik çözümlerin hedeflerinden en önemlileri şunlardır [6]:

- Web sayfası düzeni ve imge boyutu adaptasyonu
- Mobil özellikleri algılama ve cevap verme
- Sadece gerekli web sayfası bileşenlerinin sunumu
- Mobil kullanıcılar için web sayfası elementlerini basitleştirme ve daha düşük bant genişliğine sahip imgeler
- Daha geniş ve basit gezinti/grafik bileşenleri geliştirme
- Farklı cihaz özelliklerinin tanımlanması ve kullanımı.

Birinci, İkinci ve en son Üçüncü Web Jenerasyonları ile anlamsal (semantik) web, içerik kişiselleştirme, akıllı arama, otomatik içerik üretimi konuları ön plana çıkarken, sunum ve ilişkilendirme ontolojilerinin yanı sıra Kaynak Açıklaması Çerçevesi (RDF) ve Web Ontolojisi Dili (OWL) gibi önemli teknolojiler etkin olarak kullanılmaktadır. Önümüzdeki 10 yıl içerisinde ise gelişmekte olan Web4.0 ile birlikte tüm istemci bilgisayar işletim sistemlerinin bulut bilişim altyapısında yer alması ve web katılımı kaçınılmaz bir rol oynaması beklenmektedir [4].

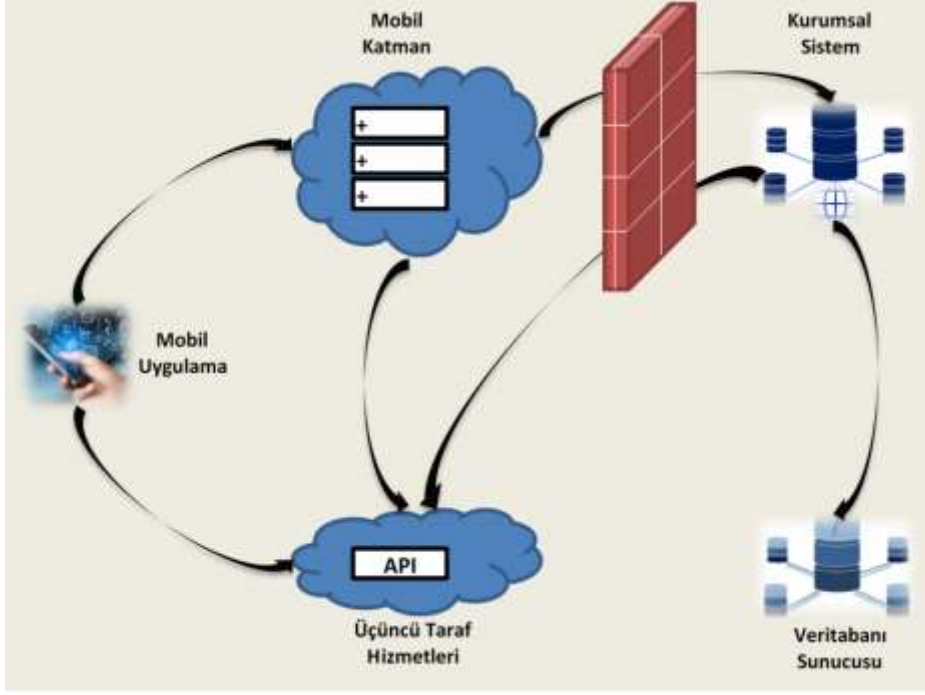
3. Mobil Cihazlar ve Mobil Uygulamalar

Yakın geçmişe kadar kişisel masaüstü bilgisayarlar (PC), World Wide Web'e (www) erişebilmek için kullanılan tek cihaz türü olarak vazgeçilmez bir çözümdü. Akıllı telefonlar, tabletler, akıllı TV'ler, melez bilgisayarlar ve IoT gibi İnternete bağlı pek çok güçlü cihazın kullanıma sunulması ve düşen maliyetler ile birlikte bu durum son yıllarda önemli ölçüde değişmektedir [7].

Mobil cihazlardaki küçük ekran boyutu, düşük ekran çözünürlüğü, dokunmatik arayüz ve sınırlı mobil bant genişliği gibi unsurlar iyi bir mobil uygulama kullanıcı deneyiminin önündeki engeller olarak bilinmektedir [8]. Buna karşın, özellikle son yıllarda yapılan önemli araştırmalar ve çalışmalar sonucunda bir dizi öneriler ve iyi uygulamalar (best practices) literatürde yerini almış bulunmaktadır. Örneğin;

- Küçük ekranda okunması kolay, büyük metin kullanımı
- Yüklenmesi uzun zaman ve yüksek bant genişliği gerektiren aşırı ve büyük boyutlu içeriklerden kaçınma
- Kullanıcının yana kaydırma ve yakınlaştırma/uzaklaştırmasını gerektiren büyük genişlikli web sayfalarından kaçınma
- Serbest metin yazma kutularından kaçınma
- Parmakla rahatça basılabilecek kadar geniş bağlantı ve düğme kullanımı.

Mobil cihaz kullanıcılarının en temel uygulama tercihleri arasında yer alan günlük web tarama ihtiyaçları ve eğilimleri hızla artarken masaüstü kullanıcılarının web gezinme oranı azalmaktadır (Şekil 3). StatCounter.com tarafından sunulan 2008–2014 dönemi için dünya geneli istatistikleri, bu oranların mobilde %1'den %33'e yükselerek, masaüstünde ise %99'dan %61'e gerileyerek hızla değiştiğini göstermektedir [9].



Şekil 3. Genel mobil uygulama mimarisi

Mobil cihaz optimizasyonlu web içeriği sunumu için belirli cihaza özel websitesi, cihaza özgü uygulama ve duyarlı websitesi tekniklerinden faydalanılmaktadır. İlk teknik olan belirli cihaza özel websitesi genellikle bir alt-alan (subdomain) altında ya da alt-klasör (subfolder) içerisinde bulunur. Böylece websitesi; örneğin, yalnızca mobil cihazlar için en baştan tasarlanabilmektedir (diğer bir ifadeyle tamamen böyle bir kullanım türü için optimize olacaktır). İkinci teknikte ise masaüstü bilgisayar websitesiyle aynı içeriği kullanan, cihaza özel geliştirilmiş bir uygulama yapısı esas alınmaktadır. Son olarak, duyarlı websitesi tekniği ile esasen bir websitesi, bazı mobil cihaz özelliklerini tespit ederek ve gerçek zamanlı olarak bu özelliklere (örneğin, yazı tipi boyutlarını ve menüleri değiştirir) adapte olmaktadır [7].

4. Entegre Mobil Uygulama-Websitesi Tasarımında Fırsatlar, Teknik Zorluklar ve Önerilen Yaklaşım

Websitesi, bireysel olduğu kadar kurumsal olarak da iş dünyasına ve başarıya açılan önemli bir kapıdır. Kurumların, şirketlerin, organizasyonların ya da ürünlerin bilgilerini tüm paydaşlara en etkili şekilde ulaştırılmasına imkân sunar. Diğer taraftan, mobil uygulamalar ise özellikle son kullanıcı katılımı için gereklidir. Websitesine daha fazla trafik çekmek ve ziyaretçileri müşterilere dönüştürmek için bu iki pazarlama kanalını kullanıcı etkileşimli olarak entegre etmek mümkündür.

Son yıllarda oldukça önemli aşamalar kaydeden mobil uygulama ve web sistem çözümlerinin özellikle entegre kullanımları ile sunulan avantajlar, beraberinde aşağıda üç başlıkta incelenen zorlukları da getirmektedir: Etkileşim, güvenlik ve ölçeklenebilirlik.

4.1. Etkileşimli Tasarım

Mobil uygulama ve websitesi entegrasyonu, günümüzde çok yaygın ve pratik bir etkileşim kanalı olarak kurumlar/kuruluşlar ve firmaların olduğu kadar kullanıcılar ve müşterilerin de odak noktasıdır.

Global tüketici davranış modelindeki hızlı dönüşümün bir yansıması olarak her yerde ya da herhangi bir zamanda, arzu edilen bilgilere erişmek önemli bir taleptir [1]. Mobil kullanıcıların sürekli artan sayısının yanı sıra günlük hayatın artık vazgeçilmezlerinden olan kolay ve zahmetsiz mobil uygulamalar ile bu kullanıcılara hitap etmek üzere etkileşimli tasarımlar öne çıkmaktadır. Bu yaklaşımın özünde yer alan “kullanıcılara dokunabilme” ve “son kullanıcı veri analitiği” stratejileri, iş geliştirme fırsatı olarak hem websitesi kullanımını hem de trafiğini artırmanın bir yoludur.

Mobil uygulama ve websitesi bütünleşik çözümü, ancak etkileşim desteğiyle; örneğin, şaşırtıcı ölçüde ziyaretçileri müşterilere dönüştürerek, teknolojik bir potansiyele ve değere sahiptir. Böylece günümüzde özellikle bilgi-iletişim ve pazarlama sektörlerinin önemli bir parçası olarak artan dönüştürme oranı ve yüksek iş-süreç başarımı için anahtar rol oynaması öngörülmektedir.

4.2. Güvenlik

Bankacılıktan sigortaya, sağlıktan seyahate ve eğitimden savunmaya kadar tüm sektörlerde dünya çapında global ağ üzerinden işlem ve iletişim hacminin hızla artması, daha önce benzeri görülmemiş güvenlik sorunlarını tetiklemiştir.

Websitesi ve mobil uygulama bütünleşik mimarisini esas alan çözümler ise ilave güvenlik sorunlarını beraberinde getirmektedir. Özellikle kişisel bilgi sızdırılmasını engellemek üzere etkili bir websitesi ve mobil uygulama entegrasyon süreci, tüm sistem-kullanıcı isteklerine uygun olarak tasarım, gerçekleştirme, kodlama ve kimlik doğrulama yöntemleri geliştirilmesini gerektirmektedir. Bu alanda kullanılacak ya da geliştirilecek protokoller, özellikle yerel/küresel ağ, e-ticaret, kamu, askeri, kişisel ve küresel ölçekli entegre sektörler için kullanılabilirlik ve güvenilirlik isteklerine en üst düzeyde cevap vermelidir. Örneğin, parola kurtarma desteği, kullanıcılar cep telefonlarını kaybettiğinde de sunulmalıdır.

Yaygın olarak bilinen güvenlik isteklerini karşılayabilecek bir kullanıcı kimlik doğrulama protokolü (örneğin, oPass), şifre çalma ve yeniden kullanım saldırılarını önlemek için kullanıcının cep telefonunu ve kısa mesaj servisini (SMS) içerir. Bu çözüm yaklaşımında kullanıcının farklı sitelerinde oturum açmak için yalnızca uzun vadeli bir parola hatırlaması gerekmektedir. Mobil uygulamalarda oPass kimlik doğrulama benzeri yöntemlerin web tabanlı güvenlik analizi yapılarak kullanıcılar için oldukça güvenilir ve grafik ya da metin şifresi tabanlı diğer bilinen alternatiflere kıyasla başarımının daha iyi olduğu kanıtlanmıştır [10].

Entegre çözüm mimarilerinde esas alınmak üzere bir uygulamanın geliştirme sürecinde yer alan araştırmacılar için kılavuz niteliğindeki değişik proaktif düzeltme stratejileri ve güvenli kodlama politikaları literatürde sunulmaktadır [11].

Her ne kadar güvenlik fonksiyonu bileşenlerinin websitesi-mobil uygulama bütünleşik tasarımında ne zaman ya da hangi aşamada planlanması gerektiği tartışma konusu olsa da genel görüş, daha ilk uygulama geliştirme safhasındayken ele alınmasının, başarıyı arttırmak için en uygun olduğu yönündedir. Güvenlik unsurlarını uygulama geliştirmeye dâhil ederken, mobil uygulama geliştiricilerin dikkat etmesi gereken yedi önemli konu bulunmaktadır [12]:

- İlk aşamada gözden geçirme
- Kavramsal tasarım ve tanım aşamasında tehditleri modelleme
- Genel tasarım aşamasında güvenlik bileşenlerinin tasarımını gözden geçirme
- Tüm geliştirme aşamalarındaki kodun incelenmesi
- Uygulamanın konuşlandırılmasından önce kalite-risk değerlendirmesi
- Uygulama geliştirme riskinin azaltılması
- Sektörel ve endüstri standartları açısından iç (dâhili iyileştirmeler) ve dış (belirli bir endüstrisinde aynı benzerliği paylaşan diğer programlar) kıyaslama.

Kuşkusuz ki web uygulaması güvenliğini etkileyen birçok değişken bulunmakta ve etkileşimli mobil uygulamaların entegrasyonu ile her geçen gün bunlara yenileri eklenmektedir. Ancak, bu güvenlik açıkları, gelişen yeni stratejiler ve yöntemlerin de değerlendirildiği belirli kritik alanlarda güvenliği artırarak elimine edilebilir. Bu noktada öne çıkan önemli hususların başında ise araştırmacılar ve uygulama geliştiricilerin profesyonel bir sistem ya da yazılım çözümünü hizmete sunulduktan sonra hiçbir güvenlik güçlendirme ihtiyacına gerek duyulmayacak tasarımları öngörmesi, planlaması ve gerçekleştirilmesi gelmektedir.

4.3. Ölçeklenebilirlik

Mobil-websitesi bütünleşik uygulama, bilginin yönetimini kolaylaştıran ve geliştiricilerin ihtiyaç duyduğu kadar bilgiyi geliştirmesine imkân sağlayan bir mimariye sahip olmalıdır. Buradaki en büyük

gereksinim, eşzamanlı aktif kullanıcı sayısı arttıkça sistemin ve yazılımların ölçeklenebilirliğini temin etmektedir.

Web servisleri sunucusuna ilave kaynaklar eklemek, ana bilişim sistemini olumsuz etkilemeden (kesintiye uğratmadan) yeni donanım bileşenleri veya özellikler ekleyerek mümkündür. Böylece genel web uygulama sisteminin (backend/frontend) yüksek seviyeli ölçeklenebilirlik talepleri karşılanabilecektir [13].

Bağımsız mobil uygulamalar, sürekli işlem güncellemeleri gerektiren iş-süreç akışlarına uygun değildir. Böyle durumlarda, sistem yönetimine yardımcı olabilecek dağıtık mobil uygulamaları kullanma ihtiyacı ortaya çıkmaktadır. Spesifik sistem mimarilerini de içeren gelişmiş mobil sunucu altyapıları, mobil ortamlarda yüksek ölçeklenebilirlikte servisler sunmaktadır [8].

Büyük ve karmaşık mobil-webitesi bütünleşik uygulama mimarilerinde hem yatay hem de dikey ölçeklenebilirlik yetenekleri birlikte istenmektedir. Diğer bir ifade ile web uygulamasının daha fazla istek alabilmesi (mobil kullanıcı sayısının çarpıcı bir şekilde artmasına paralel olarak) özelliğinin yanı sıra sistem başarımına zarar vermeden yeni bileşenler ekleme yeteneği gerekmektedir.

Firmalar ya da kurumlar için büyüme ve iş geliştirme evrelerinde gelecekte karşılaşılabilecek yazılım yükseltmelerine uygun olarak esnek ve ölçeklenebilir çözümlerin tasarımı, mobil-websitesi bütünleşik uygulamaların önemli bir unsuru olmaya devam edecektir.

4.4. Önerilen Yaklaşım ve Ölçeklenebilirlik Benzetim Çalışması Sonuçları

Şekil 1 ve Şekil 3'te sunulan entegre mobil ve websitesi uygulama sistemlerinin, artan kullanıcı etkileşim ihtiyaçlarını en iyi şekilde karşılayacak ve güvenlik açıklarını minimize edecek mikroservisler mimarisi ile sunucusuz (serverless) yapıların birlikte etkin kullanımı, ölçeklenebilirlik için yeni bir yaklaşım olarak bu çalışmada önerilmektedir. Modelleme ve benzetim ortamı olarak NS-3 aracından faydalanılan çalışmaların ölçeklenebilirlik sonuçları bu bölümde değerlendirilmektedir.

NS-3 benzetim aracı ile bilgisayar ağ sistemleri ayırık olay esasına dayalı (discrete event driven) olarak modellenmektedir. Desteklediği özellikler arasında sanal ağ yapı ve olay zamanlaması, topoloji üretici, paket ağ sistemleri, benzetim (paket üretimi, dağıtımı vb.), dağıtık benzetim, benzetim animasyonu ve benzetim çıktı raporlaması yer almaktadır. Özellikle uygulama ve ağ katmanlarında esnek bir yapıya sahip olduğundan dolayı katmanlar arası etkileşimli modellemeler için son derece uygundur. Düğüm ya da bileşenlerin oluşturulmasında ilave özelliklerin kullanımına izin veren nitelikleri ile son dönemde geliştirilen yenilikçi çözüm önerilerinin modelleme aracı olarak ön plana çıkmaktadır.

Önerilen yaklaşımın temel unsurlarından olan sunucusuz bilgi-işlem ya da hesaplama modeli, bulut sunucu ve makine/sistem kaynaklarının tahsisinin dinamik olarak yönetildiği bir yapıdır. Diğer yandan mikroservisler mimarisinde ise uygulamalar gevşek bağlı hizmetlerin detaylı bir koleksiyonudur. Her biri kendi sürecinde çalışan ve çoğunlukla bir HTTP kaynak uygulama programlama arayüzü (API) bulunan temel mekanizmalarla iletişim kuran küçük hizmetler, böylece bu mimarinin önemli avantajlarını sağlamaktadır.

Yüksek başarımlı, güvenilirlik ve ölçeklenebilirlik için kapsamlı bir strateji ile Tablo 1'de sunulan örnek test veri boyutları benzetim modellerinde esas alınmıştır:

	Kullanıcı Sayısı	Veritabanı Öge Sayısı
Küçük	100.000	25.000
Orta	1.000.000	30.000
Büyük	10.000.000	40.000
Çok Büyük	100.000.000	55.000

Şekil 4'te, önerilen yaklaşım ve geleneksel tasarım modellerinin esas alındığı benzetim çalışmasından elde edilen sonuçlar sunulmaktadır. Geleneksel entegre mobil uygulama ve web sistem çözümünün hızla kaynakları tüketen statik yapısı, önerilen yeni yaklaşım ile özellikle artan kullanıcı sayıları ve yüksek yük altında önemli bir sorun olmaktan çıkmaktadır. Kullanıcı ve veritabanı öge sayılarının çok büyük olduğu durumlarda, önerilen yaklaşım klasik tasarım yapısına kıyasla 2 kattan daha iyi bir başarımlı sunmaktadır.



Şekil 4. Ölçeklenebilirlik başarımları

5. Sonuç ve Değerlendirme

Son yıllarda kullanımı hızla artmakta olan entegre mobil uygulama ve websitesi çözümleri için etkileşimli tasarım, güvenlik ve ölçeklenebilirlik boyutlarının, kurumların yanı sıra kullanıcıların beklentileri ve istekleri açısından incelendiği bu çalışmada, önemli fırsatların birlikte getirdiği yeni teknik sorunların aşılmasına yönelik yaklaşımlar ile öneriler üzerinde durulmaktadır.

Bankacılıktan sigortaya, e-ticaretten e-devlete, sağıktan seyahate, eğitimden savunmaya kadar tüm sektörlerde yerel/küresel ağ üzerinden işlem ve iletişim için geliştirilecek her yeni yazılım uygulaması ve sistem mimarisinin doğası gereği, bu üç önemli teknik bileşenin öncelikle dikkate alındığı yazılım geliştirme döngüsü ile yüksek başarılı bir “web-mobil app” elde edilmesi mümkündür. Bu makalede sunulan çalışmanın sonuçları göstermektedir ki hiçbir zaman hızlı ve az (minimal) çaba ile hedefe ulaştıracak komple yani tam bir yöntem olmayacaktır. Gerçekleştirilmekte olan akademik ve profesyonel araştırmalar ile ticari ürün çalışmalarının bu sektöre uzun süreler daha yön vereceği değerlendirilmektedir.

Önerilen yaklaşımın ilk evre sonuçlarının bu makalede sunulduğu çalışmanın, kapsamlı ve başkaca başarımlar ölçütlerini de içerecek şekilde ileri proje olarak ele alınması ön görülmektedir.

Yazarların Katkısı

Çalışmada tüm katkı sorumlu yazara aittir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Çalışmaya ait herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar

- [1] Vithani T., Kumar A. 2014. A Comprehensive Mobile Application Development and Testing Lifecycle. IEEE IT Professional Conference, 22-22 May, Gaithersburg, MD, USA, 1-27.
- [2] Ridder L.D. 2019. 10 Innovative Web Design Trends for 2019. <https://99designs.com/blog/trends/web-design-trends-2019/> (Erişim Tarihi: 12.11.2020).

- [3] Awwwards. 2019. Web Design Trends 2019: Voice Interfaces, Image Search, Alexa and Other Crazy Things That Are Rocking Our World. <https://www.awwwards.com/web-design-trends-2019.html> (Erişim Tarihi: 20.11.2020).
- [4] Bozиковic H., Stula M. 2018. Web Design–Past, Present and Future. 41st International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics, 21-25 May, Opatija, Croatia, 1476-1481.
- [5] Harb E., Kapellari P., Luong S., Spot N. 2019. Responsive Web Design, Information Architecture and Web Usability. <https://courses.isds.tugraz.at/iaweb/surveys/ws2011/g3-survey-resp-web-design.pdf> (Erişim Tarihi: 23.11.2020).
- [6] Doyle M. 2019. Responsive Web Design Demystified. <https://www.elated.com/responsive-web-design-demystified/> (Erişim Tarihi: 25.11.2020).
- [7] Perakakis E., Ghinea G., Thanou E. 2015. Are Websites Optimized for Mobile Devices and Smart TVs? 8th International Conference on Human System Interaction, 25-27 June, Warsaw, Poland, 47-53.
- [8] Panfili D. 2019. Guidelines for Mobile Web Development. <https://www.smashingmagazine.com/guidelines-for-mobile-web-development/> (Erişim Tarihi: 27.11.2020).
- [9] StatCounter. 2019. StatCounter Global Stats: Platform Comparison from Dec 2008 to Dec 2014. <http://gs.statcounter.com/#all-comparison-ww-monthly-200812-201412> (Erişim Tarihi: 28.11.2020).
- [10] Rama M., Raja S.S. 2013. Web Based Security Analysis of oPass Authentication Schemes Using Mobile Application. International Conference on Emerging Trends in VLSI, Embedded System, Nano Electronics and Telecommunication System, 7-9 January, Tiruvannamalai, India, 1-3.
- [11] Fgee E.B., Elturki E.H., Elhounie A. 2012. My Security for Dynamic Websites in Educational Institution. 6th International Conference on Next Generation Mobile Applications, Services and Technologies, 12-14 September, Paris, France, 53-59.
- [12] Oza H., 2019. How to Integrate Mobile Security into App Development. <https://www.infosecurity-magazine.com/opinions/integrate-mobile-security-app/> (Erişim Tarihi: 29.11.2020).
- [13] Lomotey R.K., Chai Y., Ahmed K.A., Deters R. 2013. Web Services Mobile Application for Geographically Dispersed Crop Farmers. IEEE 16th International Conference on Computational Science and Engineering, 3-5 December, Sydney, NSW, Australia, 151-158.

Derleme Makale / Review Article

Spor Tesislerinin Aydınlatmasında Yüksek Enerji Verimli ve LED'li Aydınlatma Araçları

Duygu Yiğit ÜNLÜ^{1*}, Necmettin ŞAHİN²

¹Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği ABD, Aksaray

²Aksaray Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Aksaray
(ORCID: 0000-0003-2709-1443) (ORCID: 0000-0002-5756-4216)

Öz

Spor tesislerinin aydınlatması, aydınlatma uygulamasının özel bir kategorisidir. Oyunun türüne ve seviyesine göre farklı aydınlatma seviyelerine ihtiyaç duyulmaktadır. Sporcuların ve seyircilerin görsel ihtiyaçlarının karşılanması amacıyla spor sahalarında yüksek miktarda enerji tüketilmektedir. Bunun için spor tesislerinin aydınlatılmasında ekonomik ve sürdürülebilir yöntemlere ihtiyaç duyulmaktadır. Ayrıca spor tesislerinde elverişli ve sağlıklı görme koşullarının sağlanması sporcuları hem fizyolojik hem de psikolojik açıdan etkilemektedir. Elverişli ve sağlıklı görme koşullarının sağlanması uygun ve elverişli aydınlatma araçlarının ve standartlarının kullanılması ile gerçekleştirilebilir. Spor tesislerinin aydınlatmasında Türkiye’de EN 12193 Işık ve Aydınlatma-Spor Aydınlatması standartları kullanılmaktadır. Bu standartlar sporcular, hakemler, seyirciler ve TV iletimi için uygun görsel koşulları sağlamayı amaçlamaktadır. Çalışmada, spor tesislerindeki aydınlatma ve EN 12193 aydınlatma standartları ile ilgili temel bilgiler verilmiştir. Ayrıca çalışmada sürdürülebilir ve ekonomik aydınlatma araçları olan LED’lerin spor tesislerindeki kullanımlarından bahsedilmiştir.

Anahtar kelimeler: Aydınlatma, Spor Salonları, LED.

High Energy Efficient and LED Lighting Vehicles in Lighting of Sports Halls

Abstract

Lighting of sports fields is a special category of lighting application. Different lighting levels are needed depending on the game type and level. In order to meet the visual needs of athletes and spectators, a high amount of energy is consumed in halls. For this reason, economic and sustainable methods are needed in the lighting of sports fields. In addition, providing suitable and healthy vision conditions in sports fields affects athletes both physiologically and psychologically. Providing favorable and healthy vision conditions can be achieved by using appropriate and favorable lighting tools and standards. In Turkey in the lighting sports fields EN 12193 Light and Lighting-Sports Lighting standards are used. These standards aimed to the provision of appropriate visual conditions for athletes, referees, spectators and TV transmission. In this study, basic information about lighting in sports fields and EN 12193 lighting standards are given. In addition, the use of LEDs, which are sustainable and economical lighting tools, in sports halls is also mentioned.

Keywords: Lighting, Gyms, LED.

1. Giriş

Spor insanların boş zamanlarını değerlendirdikleri; günlük yaşamda oluşan stresi ve fazla enerjiyi harcadıkları bir ortamın dışında son yıllarda geniş kitleleri peşinden sürükleyen tüm toplumların yakından ilgilendiği önemli alan olmuştur. Spor milletlerarası politikada önemli bir araç ve aynı zamanda endüstriyel bir boyuta ulaşarak ciddi bir ekonomik güç olmuştur. Önceleri toplumun belli bir kesimini ilgilendiren spor ve spor olayları günümüzde toplumun önemli bir kesimini ilgilendirmeye başlamıştır. Bireyler spor ortamında yer alarak kendilerine uygun değişik eylemleri yaparak beden ve

*Sorumlu yazar: dyunlu68@gmail.com

Geliş Tarihi: 01.09.2020, Kabul Tarihi: 08.12.2020

ruhen rahatlar, günün stresinden de arınmaktadır. Spor faaliyetleri her geçen gün dünya çapında yaygınlaşmakta ve popülerliğini artırmaktadır.

Spora katılımın son yıllarda önemli ölçüde artışı, sporun çocuklar, ergenler ve yetişkinler arasında yaygınlaşması ve önemli sosyal işlevleri yerine getirmesi [1], beraberinde çok sayıda ülkede, hem kamu hem de özelde son yirmi yılda spor tesislerinin sayısının giderek artmasına neden olmuştur [2-4].

Spor tesislerinin inşası eski zamanlardan beri ilginç bir alan olmuştur. Çok amaçlı kullanımı ve birçok insanın gereksinimini karşılama zorunluluğu spor tesislerinin inşasında birçok değişkenin göz önünde bulundurulmasını da beraberinde getirmiştir. Bu değişkenlerin kullanıcıların ihtiyaçlarını karşılayacak şekilde bir bütün olarak planlanması gerekmektedir. Günümüzde bir çok yapı yeşil ve sürdürülebilir dizayn standartlarına göre planlanmaktadır. Bu dizayn ekolojik materyaller ve yenilenebilir kaynaklara dayanmaktadır. Ekolojik materyallerin kullanımı ekonomik olmasının yanında çevre kirliliğini de azaltmaktadır. Spor tesislerinin planlanmasında da yeşil ve sürdürülebilir dizayn parametreleri yanında aydınlatmada son derece önemli görülmektedir. Spor tesislerinde ekolojik ve sürdürülebilir bir aydınlatma için gün ışığından yararlanılması hedeflenir [5]. Ayrıca, uygun aydınlatma hem izleyiciler hem de sporcular için bir zorunluluktur. Bu nedenle spor tesislerinin aydınlatması ilginç ve karmaşık bir konu olarak görülmektedir [6]. Uygun bir görsel ortamın oluşturulması, spor tasarımında temel bir gereksinimdir ve yapay aydınlatma sisteminin etkin entegrasyonu, modern bir spor tesisinin standart bir parçası olarak düşünülmektedir [7]. Spor tesislerinin aydınlatmasında gün ışığının yetersiz kalması alternatif aydınlatma araçlarına ihtiyacı da beraberinde getirmiştir.

Uzun yıllar spor sahalarının yüzeylerini aydınlatmak için Metal Halide (MH) lambalar kullanılmıştır. Ancak günümüzde daha iyi ışık performansı ve etkinliği ile aynı veya daha fazla ışık akısını sunabilen ve daha az güç tüketimi ile sonuçlanan, böylece işletme ve bakım maliyetlerini azaltan LED ışıklara doğru bir yönelim olmuştur [7].

Son yıllarda gerek özel gerekse kamusal alanda spor tesislerinin sayısının giderek artması bu mekanların aydınlatma standartlarına uygun olarak aydınlatılmasını beraberinde getirmiştir. Spor tesislerinde standartlara uygun, kaliteli, sürdürülebilir, çevre dostu, ekonomik, sporcular ve izleyiciler için uygun aydınlatmaların sağlanabilmesi için bu konuda yapılacak araştırmalara ihtiyaç bulunmaktadır. Buradan hareketle bu çalışmada spor tesislerinin aydınlatılması ile ilgili çalışmalar incelenmiş ve spor tesislerinin aydınlatılması ile ilgili temel bilgiler sunulmuştur. Çalışmada ayrıca, spor tesislerinin aydınlatılmasında son yıllarda yaygınlaşan LED aydınlatma araçları ile ilgili bilgilere de yer verilmiştir.

2. Spor Tesislerinde Aydınlatmanın Amacı ve Performans Üzerine Etkileri

Fiziksel çevrenin ergonomisinde; sağlık, güvenlik ve insanların rahatlığı ön planda tutmalıdır. Ayrıca, gürültü, titreşim, ısı ve soğuk, çevreye zarar verebilecek diğer faktörler ve uygun olmayan ışık faktörü göz önünde bulundurulmalıdır [8]. Spor tesislerinin aydınlatma seviyeleri, homojenlik, renk sıcaklığı ve renk üretimi açısından önemlidir. Sahada iyi görünürlük oyuncuların en iyi performans göstermesine yardımcı olurken, doğru ışık kaynakları seyircilerin ve modern yüksek çözünürlüklü (HD) kameraların aksiyonu yakalamasına yardımcı olur [9]. Bunun için spor ortamında en iyi performansı elde etmek için en uygun çevre koşullarının oluşturulması gerekir [10].

Spor tesisleri; soyunma odaları, saha, antrenman salonları, eğitim sınıfları, park alanları ve spor sahasının etrafı gibi yerleri kapsamaktadır. Tesise bağlı olarak, bir spor tesisinin farklı bölümlerinde farklı ışık kaynakları kullanılabilir. Kullanılacak mimari aydınlatma aynı zamanda görsel bir estetik oluşturarak ziyaretçilerin ilgisini çekebilir ve sportif etkinlikleri daha karlı hale getirebilir. Buna paralel olarak, spor tesislerinin çevresindeki iyi aydınlatma koşulları, yarışmadan önce ve sonra seyircilerin güvenliğini artırır. Bir başka önemli husus spor tesislerinin enerji tüketimi açısından sürdürülebilir olması gerekir. Tüm bu öğeler büyük ölçüde ışık kaynağı seçimine bağlıdır. Spor tesislerinde geleneksel olarak kullanılan farklı ışık kaynakları mevcuttur [9].

Spor aydınlatmalarının temel amacı, sporcular ve seyirciler için uygun ve aydınlık bir ortam sağlamaktır. Tasarım parametreleri arasında aydınlatma miktarı, rahatsızlık parlaması, kontrast ve aydınlık bütünlüğü sayılabilir [11]. Bir spor tesisindeki aydınlatma sistemi, oyuncular, sporcular, hakemler, seyirciler ve varsa TV çekimleri için iyi görsel koşullar sağlamalıdır. Yeterli aydınlatma koşullarına ulaşmak için, spor etkinlikleri sırasında görsel bilgi algısını optimize etmek, doğru görsel

performans seviyelerini korumak ve kabul edilebilir bir görsel konfor seviyesi sağlamak gerekir [12]. Spor alanlarında sağlanacak uygun aydınlatma sayesinde sporcuların performansı iyileştirilebilir, rekabet daha dengeli hale getirilebilir ve olası spor yaralanma sayısı azaltılabilir [13].

Spor aydınlatmalarının bir başka amacı da, parlak ve eşit şekilde aydınlatılmış oyun alanları sağlamaktır. Sportif performans için ilgili görsel bilgileri toplama yeteneği birçok alanda etkili performans için esastır. Sporda, görsel dikkatin uygun şekilde organize edilmesi, duygusal motor davranıştan önce gelir ve sportif performansı belirler. Bu nokta da performansı etkileyen dışsal faktörlerden birisi de aydınlatmadır. Uygun aydınlatma motor davranışla ilgili daha fazla ipucu elde edilmesini kolaylaştırmaktadır [14].

Işık, organizmanın yaklaşık bir günlük fizyolojik ve biyolojik süreçlerindeki değişimlerini bir başka ifade ile sirkadiyen ritimlerini de önemli ölçüde etkilemektedir [15]. Sirkadiyen ritim bireyde uyku ve uyanıklık döngüsünün en temel belirleyicilerinden birisidir [16]. Işığın, uyku ve uyanıklık döngüsü, melatonin ve diğer hormonların salgılanması, vücut ısısı ve kalp atımı üzerinde etkilerinden söz edilmektedir [17]. Özellikle sirkadiyen ritim ve melatonin döngüsü, epifiz bezi tarafından salgılanan bu nörohormon, rahatlama ve uyku bunun yanında dikkat ve uyarılmışlığın azalması gibi önemli süreçlerde yer alır. Melatonin yüksekliği uyku halinin artmasına ve dikkatle ilgili süreçlerin azalmasına neden olur. Öte yandan, melatonin inhibisyonu uyanıklık düzeyini de artırır. Bu anlamda, başka bir hormon olan kortizol, melatonine antagonistik bir rol oynar ve günlük yaşam için gerekli uyanıklık seviyesini korumaya yardımcı olur [9]. Yüksek seviyeli mavi dalga boyları içeren beyaz LED aydınlatmalar melatonin inhibisyonunu sağlamaktadır [18]. Bunun yanında, dikkat ve uyanıklık gibi duygusal yoğunluğun da artışına neden olur [19]. Buna karşın orta seviyede halojen veya sıcak flüoresan lambalar ise rahatlama melatonin salınımına neden olur [9]. Konu ile ilgili yapılan araştırmalarda; ışığın insan duygusu ve davranışı üzerine etkisi olduğu belirtmekle beraber duygusal etmenlerin ışığa maruz kalmayla da doğrudan ilişkili olduğu belirtmiştir [18, 20].

Spor tesislerindeki aydınlatma bireylerin fizyolojilerini etkilediği gibi aynı zamanda psikolojik süreçlerini de etkilemektedir. Özellikle uyarılmışlık ve stres gibi şiddetle ilgili psikolojik özellikler de aydınlatmadan etkilenmektedir. Spor karşılaşmalarının öncesinde ve sonrasında sporcuların ve taraftarlarında katıldığı şiddet ve saldırganlık içeren olaylara rastlanabilmektedir [21, 22]. Dinamik LED aydınlatmalar düşük enerji tüketimiyle şiddeti önlemek için iyi bir yöntem olarak gösterilmektedir. LED lambaların seyirciler arasındaki şiddet içerikli davranışları azalttığı belirtilmiştir [9].

Spor tesislerinin aydınlatmasında son yıllarda sporcuların daha iyi performans göstermelerini ve aynı zamanda daha düşük enerji tüketimi sağlayacak aydınlatma araçlarına doğru bir yönelim bulunmaktadır. Bu noktada, açıklanan avantajlarına ek olarak iyi bir görsel konfor sağlayan LED aydınlatma araçlarının spor alanlarındaki kullanımının giderek yaygınlaştığı görülmüştür [23].

3. Spor Tesislerinin Aydınlatmasında LED Teknolojisi

Spor tesislerinde, aydınlatma sistemi genellikle metal halide lambalı (MH) projektörler, borulu Floresan lambalı (FL) armatürler ve LED projektörler gibi farklı tipte armatürlerin kullanımı ile karakterize edilen çözümlerden biri ile gerçekleştirilir [24]. Aydınlatma kaynakları son yıllarda maksimum ışıktaki 10.000 cd/m²'den fazlasını üretebilen ışık yayan LED'lere doğru hızla geçmektedir [10]. İlk iki çözüm yaygın olarak kullanılırken LED'li aydınlatmalar yeni kullanılmaya başladıkları için yeterince yaygın değildi. Ancak son yıllarda elektrik yükünün azaltılması için alınan önlemler çerçevesinde hem yeni kurulan tesislerde hem de mevcut tesislerin aydınlatma sisteminde yapılan yeniliklerde LED kullanımı önerilmektedir [25, 26].

LED aydınlatmalar ışık akısı (lm) ve ışık şiddetindeki (cd) yüksek performans ve düşük güç tüketimi ile çok çeşitli alanlarda kullanılmaktadır [27]. LED'ler belirli koşullar altında elektromanyetik radyasyon yayan elektronik bileşenlerdir. LED'ler her ne kadar tüm dalga boylarında radyasyon yayabilse de aydınlatmadaki kullanımları görünür dalga boylarıyla sınırlıdır. Spor tesislerinde LED'lerin kullanımıyla ilgili temel sorun her zaman yüksek ışık yoğunluğu ve iyi renk oluşturma ihtiyacından doğmuştur. Bu nedenle son zamanlara kadar LED kurulumları iyi bir seçenek olmamıştır [9]. Ancak, beyaz ışık yayan mavi LED'lerin geliştirilmesi spor tesislerinde LED'lerin kullanımı için önemli bir başlangıç noktası olmuştur [28]. Hızla değişen ve gelişen bir teknoloji olan LED aydınlatma sistemlerinin yeni versiyonlarının uzun ömürlü olması, yüksek enerji verimi sağlaması, toksik olmayışı, dayanıklı ve esnek oluşundan ötürü kullanımı artmıştır [27].




Spor salonlarında kullanılan aydınlatma sistemlerinde LED’li armatürlerin kullanımı, MH ve FL aydınlatma armatürlerine kıyasla temel enerji tüketiminin %32-%52 oranında azalmasına katkı sağlamıştır. LED projektörlerin kullanımı genellikle daha az sayıda armatür gerektirir ve diğer çözümlere kıyasla sınırlı bakım maliyeti ile karakterize edilir. Ancak yüksek yatırım maliyeti gerektirebilir. Bu sebepten dolayı yoğun olarak kullanılan, üst düzey yarışma ve müsabakaların gerçekleştirileceği spor tesislerine LED’li aydınlatma araçlarının kullanılması makul geri ödeme süreleri içeren yüksek yatırım maliyeti ile karakterize edilebilir [12].

Spor tesislerinde LED’li aydınlatma araçlarının kullanımı çeşitli nedenlerle optimal yönetim için önemli bir hedeftir. Bunlar;

- Diğer ışık kaynaklarına kıyasla yüksek maliyetli olmasına rağmen son zamanlarda uzun ömürleri, düşük güç tüketimleri ve doğru ışık akısı LED’leri gerçek ve karlı bir seçenek haline getirmiştir [29].
- Tekno-ekonomik değerlendirmelerde aydınlatmada LED projektörlerin kullanımı, birincil enerji tüketiminin azaltılmasını sağlamıştır [12].
- LED’lerin kullanım ömürleri üzerinde olumsuz bir etki yaratmadan ışık akısı ihtiyaçlara bağlı olarak kolayca artırılabilir veya azaltılabilir.

Özetle, LED teknolojisi farklı aydınlatma alanları için farklı renk, ışık akısı ve aydınlatma şiddeti gibi parametreleri sağlayabilir. Bu durum spor tesisleri ve etrafındaki kentsel çevre için daha iyi bir performans sağlar [9]. EN 12193 Teknik Standardına göre listelenen minimum aydınlatma gereksinimlerini karşılayabilecek aydınlatma sistemi yapılandırmaları Tablo 1’de gösterilmiştir [12].

Tablo 1. MH, FL ve LED armatürlerin temel teknik özellikleri

Armatür	Metal Halide (MH)	Floresan (FL)	LED
Lamba türü			
Lamba sayısı	1	4	20
Elektrik giriş gücü (W)	428	340	284
Optik verimlilik (%)	71	96	97
Tek Lamba Özellikleri			
Elektriksel nominal güç (W)	400	80	14.2
Işık akısı (klm)	35.0	6.8	1.5
Renk sıcaklığı (K)	5500	4000	4000
Renk oluşturma indeksi	92	80	80
Lamba ömrü	0.83*	0.90**	0.90***
Bakım faktörü	0.99*	0.99**	1.00***

4. Spor Aydınlatmalarında Sürdürülebilirlik

Ülkelerin enerji talebi her geçen yıl artmaktadır. Bu nedenle mevcut enerji kaynaklarının etkin bir şekilde kullanılmasına ihtiyaç vardır. Aydınlatmanın etkin kullanımı sayesinde büyük enerji tasarrufları sağlanabilir [13]. Spor tesislerinde kullanılacak olan etkin ve enerji verimli aydınlatma doğal aydınlatmadır. Spor sahalarında doğal ışığın kullanılması sporcuların performansları ve sporcular için doğal ve sağlıklı bir atmosfer oluşturma açısından önem taşımaktadır. Doğal aydınlatmada yansıtıcı materyallerin kullanılması aydınlatmayı genişletmenin yanında tüketilen enerji miktarının da azaltılmasını sağlamaktadır. Bu nedenle doğal ışığın yetersiz olduğu durumlarda ve yapay aydınlatma gereksiniminde enerji verimli aydınlatma sistemlerinin kullanılması gerekmektedir [5].

Spor aydınlatma teçhizatlarının yıl boyunca genellikle müsabaka ya da antrenman saatlerinde çalıştırıldıkları için uzun hizmet ömürleri vardır [30]. Ancak spor aydınlatmalarında elektrige olan talep son birkaç yılda özellikle televizyonların yüksek görüntü iletimi gereksinimlerini karşılamak amacıyla önemli ölçüde artmıştır. Yarı profesyonel ve profesyonel olmayan sporların yapılması için minimum aydınlık düzeyi (lüx) gereksinimlerinin belirlenmesi enerji tasarruflu spor aydınlatması sorunu olarak belirtilmektedir [27].

Spor alanlarının aydınlatmalarında bilimsel gerçeklere dayalı olarak planlanmamış ve aceleci uygulamalar büyük miktarda enerji kaybına yol açar [31]. Spor tesislerinde enerji verimliliğini artırmaya yönelik müdahalelerde genellikle temel enerji tüketimlerinden birisi olan oyun alanlarının

aydınlatılması göz önünde bulundurulmalıdır. Aydınlatma için enerji tüketiminin azaltılmasında lambaların kurulum gücünün azaltılması ve armatürlerin daha iyi dağıtılması en akılcı çözümler olarak gösterilmektedir [24]. Bu durumda spor tesislerinin enerji ve ekonomik sürdürülebilirliğini arttırmak için aydınlatma sistemlerinin ve standartlarının detaylı bir şekilde incelenmesi çok önemlidir [32, 33, 34].

5. Spor Tesislerinin Aydınlatma Standartları

Spor tesisleri farklı büyüklüklerde ve farklı seyirci kapasitelerine sahip olabilir. Bunun yanında bazı spor tesisleri özel veya herkese açık olabilir. Binlerce seyirciye veya sadece oyunculara hizmet verebilir. Ancak tüm spor tesislerindeki aydınlatma hızla hareket eden hedeflerin ince bir şekilde ayırt edilebilmesini veya bilinen bir pozisyonda sabit bir hedefi görebilmeyi hedeflemektedir. Bir spor tesisinin aydınlatmasının sporcular ve seyirciler için farklı gereksinimleri karşılaması gerekir.

İyi bir spor aydınlatma sisteminin uygun aydınlık düzeyine, parıltı ve kontrastına sahip olması beklenir. Ayrıca ışık dağılımının düzgün ve parlamamanın da kontrol edilebilir düzeyde olması gerekir. Spor tesisinin aydınlatmasında kabul edilen tasarımın hem nitelik hem de nicelik analizi göz önünde bulundurulmalıdır. Nicelik analizi esas olarak enerji verimliliği ve maliyetin azaltılması anlamına gelirken; nitelik analizi daha iyi bir kaliteye sahip olmak için aydınlatma standartlarının iyileştirilmesi ile ilgilidir [13]. Bir spor tesisinde enerji tasarruflu aydınlatma sistemi tasarlanırken aynı zamanda aydınlatma kalitesinin de göz önünde bulundurulması gerekir [6].

Spor aydınlatması için kriterler, ortalama aydınlatma, maksimum - minimum aydınlatma oranı (Maks: Min) ve varyasyon katsayısı (CV) olarak belirtilir [35]. Yılın çoğunda uzun saatler boyunca kullanılan spor alanlarında gerekli aydınlatma seviyesi ve değerleri sağlanmalıdır.

Genellikle masa tenisinde olduğu gibi oyunun hızlı oynandığı, oyun nesnesinin küçük olduğu ve izleme mesafesinin de uzun olduğu durumlar yüksek aydınlatma seviyelerini gerektirmektedir. Futbol gibi düşük hızda oynanan, oyun nesnesinin büyük olduğu ve yakın izleme alanı gerektiren sporlarda da aydınlatma düzeyinin düşük olması istenmektedir. Ayrıca sportif etkinliğin durumu; antrenman, ulusal veya uluslararası maçlar, TV yayınının olup olmaması gibi durumlar göz önünde bulundurularak farklı aydınlatma seviyeleri gerektirmektedir. Bunun yanında farklı spor branşları için de uygun aydınlatma seviyelerini öneren çeşitli aydınlatma kılavuzları ve aydınlatma özellikleri mevcuttur [36].

Spor aydınlatmasında karşılaşılan birçok değişkenliğe rağmen hedefler her yerde aynıdır, bunlar [37];

- Oyuncuların yüksek performans göstermelerini sağlamak,
- Hem mevcut hem de uzaktaki seyircilerin neler olup bittiğini açıkça görebilmelerini sağlamak,
- Sporun hava karardıktan sonra yapılabilmesini sağlamak,
- Hem oyuncular hem de seyirciler için güvenli bir ortam oluşturmaktır.

Spor sahalarında oyunun oynandığı alan “kort” ya da “saha” gerçek alan olarak isimlendirilmektedir. Birde bu alanın etrafını çevreleyen; oyuncuların ısındığı, saha görevlilerinin, sağlık ekibinin, güvenlik personelinin ve basın mensuplarının bulunduğu alan yer almaktadır. Bu alana güvenli alan denilmektedir [38]. Gerek gerçek oyun alanı ve gerekse oyun alanının etrafını çevreleyen güvenli alan farklı spor branşları için farklı standartları yansıtmaktadır. Oyun esnasında aydınlatılacak alan gerçek oyun alanı ve bu alanı çevreleyen güvenli alanı içermektedir.

Spor tesislerinin aydınlatılmasında esas teknik standart EN 12193'tür. Bu standartta çeşitli aydınlatma parametreleri özellikle yatay ve dikey aydınlatmalar için sürdürülebilir aydınlatma (E) ve aydınlatma düzgünlüğü (U) için minimum sınır değerler belirtilmiştir. Sınır değerler uygulanan oyun seviyesine (antrenman, ulusal yarışmalar, uluslararası yarışmalar) göre değişmektedir [39].

Spor tesisinin kapasitesine bağlı olarak, farklı oyun seviyelerinin çeşitli ihtiyaçları ve farklı izleme mesafeleri dikkate alınarak üç aydınlatma sınıfı (AS) tanımlanmıştır [36];

Aydınlatma sınıfı I (Uluslararası Yarışmalar): Yüksek seyirci kapasitesine ve geniş görüş açısına sahip, ulusal ve uluslararası maçları içermektedir.

Aydınlatma sınıfı II (Ulusal Yarışmalar): Orta seyirci kapasitesine ve orta düzeyde görüş açısına sahip, bölgesel ve yerel maçları içermektedir.

Aydınlatma sınıfı III (Antrenman): Düşük seviyeli maçları, yerel veya küçük kulüp maçlarını, genellikle seyirci içermeyen ya da az sayıda seyircili müsabakaları, genel antrenmanları, okul sporları ve eğlence faaliyetlerini içermektedir. Aydınlik düzeyinin 75 Lux değerinden düşük olmaması gerekir.

Spor aydınlatmasıyla ilgili bu standartlar; sporcular, hakemler, seyirciler ve televizyon iletimi için en iyi görsel koşulları sağlamak içindir. Spor tesislerinin aydınlatmasında EN 12193 Işık ve Aydınlatma - Spor Aydınlatması Standartı ve bu aydınlatma sınıfının seçimi Tablo 2’de gösterilmiştir [36].

Tablo 2. Aydınlatma sınıfının seçimi

Yarışmanın seviyesi	Aydınlatma sınıfı		
	I	II	III
Ulusal ve Uluslararası	*		
Bölgesel	*	*	
Yerel	*	*	*
Antrenman		*	*
Rekreasyon/Okul Sporları			*

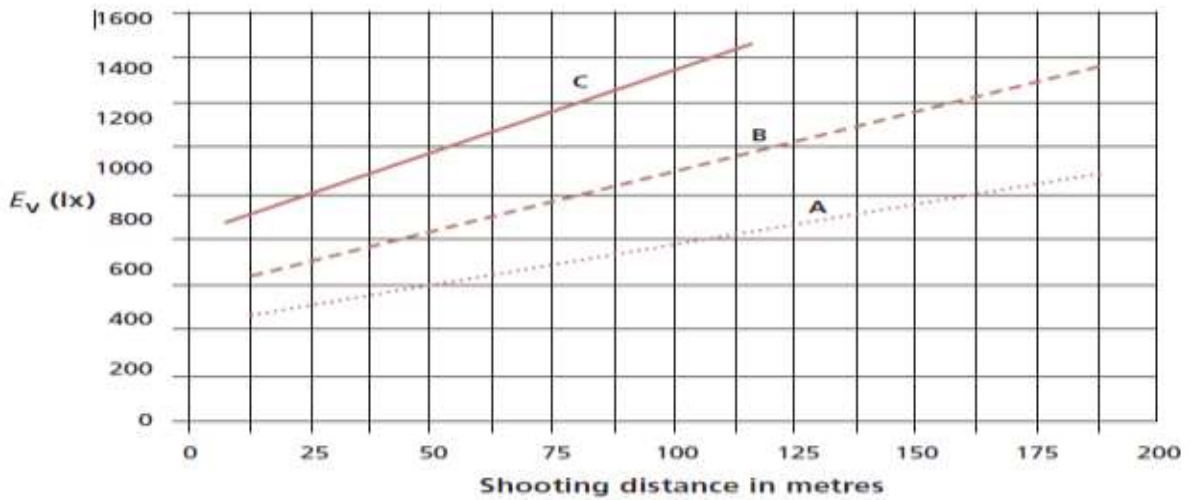
6. Spor Tesislerinde Aydınlatma Gereksinimleri

Bir spor tesisindeki aydınlatma sisteminin yeterli aydınlatma koşullarını sağlaması spor etkinliklerinin gerçekleşmesi sırasında görsel bilgi algısını optimize etmek, doğru görsel performans seviyelerini korumak ve kabul edilebilir bir görsel konfor seviyesi sağlamak için son derece önemlidir. Spor tesisleri için aydınlatma gereksinimleri de yine EN 12193 Teknik Standardında belirtilmiştir [36].

Aydınlatma gerekliliklerine ek olarak, önemli olan bir başka konu sporcuların günde birkaç saat maruz kaldığı ışık kaynaklarının fotobiyolojik güvenliğinin ve sağlık etkilerinin doğrulanmasıdır [40, 41, 42]. Spor tesislerinde aydınlığı etkileyen temel parametreler; ortalama yatay sürekli aydınlık, aydınlatma düzgünlüğü, lambaların renk oluşturma indeksi ve rahatsız edici parlama olarak gösterilmektedir [24, 36]. Aydınlatma parametrelerinin minimum gereksinimleri, spor ve aydınlatma sınıfının arasında dikkate alınan kombinasyona göre değişmektedir.

Tablo 3’de farklı aydınlatma sınıflarındaki spor tesislerinin aydınlatılması için öneriler özetlenmektedir. Öneriler çoğunlukla daha çok ilgi duyulan spor branşlarına yönelik olmuştur. Spor branşlarındaki oyun alanlarının geometrik boyutları, yatay ortalama aydınlık değerleri (E_m) ve ortalama parıltı düzgünlük değerleri (U_o) minimum değerleri gösterilmiştir [37].

Farklı spor branşları için gereken aydınlatma, kameranın tipine ve hassasiyetine, lens açısına ve oynatma hızına bağlı olarak değişmektedir. Maksimum çekim mesafesine bağlı olarak spor branşları; A, B ve C olmak üzere üç gruba ayrılmıştır. Maksimum çekim mesafesinin farklı spor branşları için seçilen minimum dikey aydınlatma değerleri Şekil 1’de gösterilmiştir [37].



Şekil 1. Maksimum çekim mesafesine bağlı olarak farklı spor branşları için seçilen minimum dikey aydınlatma değerleri

Tablo 3. Farklı aydınlatma sınıflarına ve farklı sporlara göre kapalı alan spor tesisleri için aydınlatma gereksinimleri

Volleyball	Aydınlatma Sınıf (AS)	Yatay aydınlık E_m (lx)	Aydınlatma düzgünlüğü (U_o)
	I	750	0.70
	II	500	0.70
	III	200	0.50
Tennis	AS	E_m (lx)	U_o
	I	750	0.70
	II	500	0.70
	III	300	0.50
Basketball	AS	E_m (lx)	U_o
	I	750	0.70
	II	500	0.70
	III	200	0.50
Eskrim	AS	E_m (lx)	U_o
	I	750	0.70
	II	500	0.70
	III	300	0.70
Judo	AS	E_m (lx)	U_o
	I	750	0.70
	II	500	0.70
	III	200	0.50
Fitness salonları	AS	E_m (lx)	U_o
	I	750	0.70
	II	750	0.70
	III	750	0.70
Açık ve Kapalı Yüzme havuzu	AS	E_m (lx)	U_o
	I	500	0.7
	II	300	0.7
	III	200	0.5
Kapalı Atletizm sahaları	AS	E_m (lx)	U_o
	I	500	0.7
	II	300	0.6
	III	200	0.5
Açık Atletizm sahaları	AS	E_m (lx)	U_o
	I	500	0.7
	II	200	0.7
	III	100	0.5

7. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada spor tesislerinin aydınlatılması, aydınlatma standartları ve spor tesislerinde LED’li aydınlatma araçlarının kullanımı hakkında bilgi verilmiştir. Işığın insan sağlığı ve psikolojisi üzerindeki etkileri göz önüne alındığında spor tesislerinin doğru aydınlatılması sporcuların performanslarını olumlu yönde etkileyecek ve sakatlanma riskini de azaltacaktır. Ayrıca spor tesislerinin görsel konforunu arttıracak ve güvenlik sorunlarının da azalmasına katkı sağlayacaktır.

Spor tesislerinin aydınlatmasında; spor branşına ve sportif etkinliğin niteliğine; uluslararası, ulusal ve antrenman olmak üzere üç farklı aydınlatma sınıfı kullanılmaktadır. Türkiye’de spor alanlarının aydınlatılması ile ilgili olarak EN 12193 Işık ve Aydınlatma - Spor Aydınlatması Standartları kullanılmaktadır. Bu standartın amacı spor ortamı için en iyi görsel koşulları sağlamaktır. Spor tesislerinin aydınlatılmasında uygun ve sağlıklı aydınlatma sağlamanın yanında ekonomik olması bakımında da son yıllarda LED’li aydınlatma araçlarının kullanıldığı görülmüştür. LED’li aydınlatma araçları spor tesislerinin aydınlatılmasında sağladığı görsel konfor ve enerji verimli karakteristikleri sayesinde kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır.

Araştırmada spor tesislerinin aydınlatılması ve aydınlatma standartları ile ilgili bilgilere yer verilmiştir. Yapılacak farklı araştırmalarda dış mekân spor sahalarının aydınlatılması ve aydınlatma standartlarına yer verilebilir. Ayrıca spor salonlarının aydınlatmasında sağlıklı, görsel konforu yüksek ve enerji tasarruflu LED armatürler tasarlanabilir.

Yazarların Katkısı

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamıştır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar

- [1] Prins R.G., Mohnen S.M., van Lenthe F.J., Brug J., Oenema A. 2012. Are Neighbourhood Social Capital and Availability of Sports Facilities Related to Sports Participation Among Dutch Adolescents? *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, 9 (1): 90.
- [2] Fried G., Kastel M. 2020. *Managing Sport Facilities*. Human Kinetics Publishers, USA.
- [3] Harger K., Humphreys B.R., Ross A. 2016. Do New Sports Facilities Attract New Businesses? *Journal of Sports Economics*, 17 (5): 483-500.
- [4] Kozma G., Penzes J., Molnar E. 2016. Spatial Development of Sports Facilities in Hungarian Cities of County Rank. *Bulletin of Geography Socio Economic Series*, 31: 37-44.
- [5] Milica I., Miomir V., Dragan K., Vuk M., Nikola C. 2014. Sports Facilities Sustainable Design. In *Engineering: Integration of Science and Practice, Proceedings of the International Scientific Conference, 26-28 November, Moscow, Russia*, pp: 96.
- [6] Salis J.P., Suresh A., Shailesh K.R. 2019. Lighting Design of An Indoor Sports Facility-A Case Study. *Second International Conference on Advanced Computational and Communication Paradigms (ICACCP)*, 25-28 February, India, pp: 1-5.
- [7] Georgiou M., Polycarpou A. 2014. Comparison of HPS and LED Technology for Street Lighting Applications. *9th International Conference on Deregulated Electricity Market Issues in South-Eastern Europe (DEMSEE)*, 25-26 September, Cyprus, pp: 25-26.
- [8] Parsons K.C. 2000. Environmental Ergonomics: A Review of Principles, Methods and Models. *Applied Ergonomics*, 31 (6): 581-594.
- [9] Amorim R., Molina-Moreno V., Peña-García A. 2016. Proposal for Sustainable Dynamic Lighting in Sport Facilities to Decrease Violence Among Spectators. *Sustainability*, 8 (12): 1298.
- [10] Tanaka T., Mukai K., Yamauchi M., Kochi M., Ikeda A., Kuzuhara H., Matsushita K., Hironobu G. 2015. A Study on Glare in A Sports Lighting Environment Using Led Lighting and Diffusion Plates. *Journal Electrotechnica and Electronica*, 50 (5-6): 30-35.
- [11] Kayakuş M., Üncü İ.S. 2018. The Visual Display of Illuminance in Indoor Sport Halls with the Developed Software. *International Conference on Multidisciplinary Sciences (ICOMUS)*, 15-16 December, İstanbul, pp: 731-737.
- [12] Fantozzi F., Leccese F., Salvadori G., Rocca M., Garofalo M. 2016. LED Lighting for Indoor Sports Facilities: Can Its Use Be Considered as Sustainable Solution from a Techno-Economic Standpoint? *Sustainability*, 8 (7): 618.
- [13] Wan Norshafizan W.M., Mohamad Y.M., Norfishah W., Noor Hafizah A.A., Rosmalini A.K. 2010. Energy Efficient Lighting System Design for Building. *International Conference on Intelligent Systems, Modelling and Simulation*, 27-29 January, Liverpool, England, pp: 282-286.
- [14] Williams A.M., Janelle C.M., Davids K. 2004. Constraints on the Search for Visual Information in Sport. *International Journal of Sport and Exercise Psychology*, 2 (3): 301-318.

- [15] Tähkämö L., Partonen T., Pesonen A.K. 2019. Systematic Review of Light Exposure Impact on Human Circadian Rhythm. *Chronobiology International*, 36 (2): 151-170.
- [16] Selvi Y., Özdemir P.G., Özdemir O., Aydın A., Beşiroğlu L. 2010. Sağlık Çalışanlarında Vardiyalı Çalışma Sisteminin Sebep Olduğu Genel Ruhsal Belirtiler ve Yaşam Kalitesi Üzerine Etkisi. *Düşünen Adam Psikiyatri ve Nörolojik Bilimler Dergisi*, 23 (4): 238-243.
- [17] Shanahan T.L., Czeisler C.A. 2000. Physiological Effects of Light on the Human Circadian Pacemaker. *Seminars in Perinatology*, 24 (4): 299-320.
- [18] Vandewalle G., Schwartz S., Grandjean D., Wuillaume C., Balteau E., Degueldre C., Maquet P. 2010. Spectral Quality of Light Modulates Emotional Brain Responses in Humans. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107 (45): 19549-19554.
- [19] Chellappa S.L., Steiner R., Blattner P., Oelhafen P., Götz T., Cajochen C. 2011. Non-Visual Effects of Light on Melatonin, Alertness and Cognitive Performance: Can Blue-Enriched Light Keep Us Alert? *Plos One*, 6 (1): e16429.
- [20] Lee H. 2019. Effects of Light-Emitting Diode (LED) Lighting Color on Human Emotion, Behavior, and Spatial Impression. Michigan State University, ABD.
- [21] Stafford A., Alexander K., Fry D. 2013. Playing Through Pain: Children and Young People's Experiences of Physical Aggression and Violence in Sport. *Child Abuse Review*, 22 (4): 287-299.
- [22] Kimble N.B., Russo S.A., Bergman B.G., Galindo V.H. 2010. Revealing an Empirical Understanding of Aggression and Violent Behavior in Athletics. *Aggression and Violent Behavior*, 15 (6): 446-462.
- [23] Suresh A., Salis J.P., Shailesh K.R. 2019. Lighting Optimization to Save Energy in an Indoor Sports Facility. <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=8883019>. (Erişim Tarihi: 18.06.2020).
- [24] Fantozzi F., Leccese F., Salvadori G., Rocca M., Capranelli I. 2016. Opportunities for Energy Savings with Interventions on the Lighting Systems of Historical Buildings. 16th IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering, 6-8 June, Florence, Italy, pp: 1076-1081.
- [25] Abas N., Khan N. 2015. Review of Fossil Fuels and Future Energy Technologies. *Journal of Policy, Planning and Futures Studies*, 69: 31-49.
- [26] Gana C.K., Sagar A.F., Mun Y.C., Chong, K.E. 2013. Techno-Economic Analysis of LED Lighting: A Case Study in Utem's Faculty Building. *Procedia Engineering*, 53: 208-216.
- [27] Polycarpou A., Yiannou I., Christofides N. 2016. Comparison of MH and LED Performance for Sport Lighting Application. *Mediterranean Conference on Power Generation, Transmission, Distribution and Energy Conversion (MedPower 2016)*, 6-9 November, Belgrade, Serbia, pp: 21.
- [28] Nakamura S. 2015. Nobel Lecture: Background Story of the Invention of Efficient Blue Ingan Light Emitting Diodes. *Reviews of Modern Physics*, 87 (4): 1139.
- [29] Valentim A.A., Ferreira H.S., Coletto M.A. 2010. Led Lamps: Impact on Consumption and Power Factor. *Revista Ciências do Ambiente On-Line*, 6 (1): 29-33.
- [30] Houser K.W., Royer M.P., Mistrick R.G. 2010. Light Loss Factors for Sports Lighting. *Leukos*, 6 (3): 183-201.
- [31] Yavuz C., Yanıkoğlu E., Güler O. 2010. Determination of Real Energy Saving Potential of Daylight Responsive Systems: A Case Study from Turkey. *Light and Engineering*, 18 (2): 99-105.
- [32] Artuso P., Santiangeli A. 2008. Energy Solutions for Sports Facilities. *International Journal of Hydrogen Energy*, 33 (12): 3182-3187.
- [33] Beusker E., Stoy C., Pollalis S.N. 2012. Estimation Model and Benchmarks for Heating Energy Consumption of Schools and Sport Facilities in Germany. *Building and Environment*, 49: 324-335.
- [34] Boussabaine A.H. 2001. A Comparative Approach for Modelling the Cost of Energy in Sport Facilities. *Facilities*, 19: 194-203.
- [35] Houser K.W., Wei M., Royer M.P. 2011. Illuminance Uniformity of Outdoor Sports Lighting. *Leukos*, 7 (4): 221-235.

- [36] European Committee for Standardization 2007. EN 12193: Light and Lighting, Sports Lighting. <https://shop.bsigroup.com/en/ProductDetail/?pid=000000000030164245>. (Erişim Tarihi: 18.06.2020).
- [37] Boyce P., Raynham P. 2009. The SLL Lighting Handbook. Chartered Institution of Building Services Engineers, London.
- [38] Sheard R. 2014. Sports Architecture. Taylor & Francis, London.
- [39] Di Pede M., Leccese F., Salvadori G., Di Ciolo E., Piccini S. 2017. On the Vertical Illuminance in Indoor Sport Facilities: Innovative Measurement Procedure to Verify International Standard Requirements in Fencing Halls. IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe, 6-9 June, Milan, Italy, pp: 1-6.
- [40] Fabio B., Chiara B., Ornella L.R., Laura B., Simonetta F. 2015. Non Visual Effects of Light: An Overview and an Italian Experience. Energy Procedia, 78: 723-728.
- [41] Ferlazzo F., Piccardi L., Burattini C., Barbalace M., Giannini A.M., Bisegna F. 2014. Effects of New Light Sources on Task Switching and Mental Rotation Performance. Journal of Environmental Psychology, 39: 92-100.
- [42] Leccese F., Salvadori G., Casini M., Bertozzi M. 2012. Lighting of Indoor Work Places: Risk Assessment Procedure. WIT Transactions on Information and Communication Technologies, 44: 89-101.

BEU FEN BİLİMLERİ DERGİSİ

YAZIM KURALLARI

İLK SUNUŞ FORMATI

Makaleler elektronik ortamda Word dosyası olarak sunulmalıdır. Makale, A4 kâğıda, 11 punto büyüklüğündeki Times New Roman fontuyla, tüm kenarlardan 2,5 cm boşluk bırakılarak, tek satır aralıklı olarak yazılmalıdır. Makaleler 20 sayfayı geçmeyecek şekilde yazılmalı ve online olarak <http://dergipark.gov.tr/bitlisfen> adresinden gönderilmelidir. Kör hakemlik uygulamasından dolayı makale ana dosyasında yazar bilgileri verilmemelidir. Yazar bilgileri ayrı bir dosya yüklenerek verilmelidir. Bir sayıda aynı yazara ait en fazla 2 yayın bulunabilir. **Gönderiler, araştırma ve yayın etiğine uygun olmak zorundadır.** Makaleler aşağıda verilen düzene ve kurallara göre yazılmalıdır.

Makalenin ana bölümleri Giriş, Materyal ve Metot, Bulgular ve Tartışma, Sonuç ve Kaynaklardan oluşur.

Benzerlik Oranı: Gönderilen makalelerin benzerlik oranı %15'i geçmemelidir. Her bir benzerlik oranı ise %3'i geçmemelidir.

Makale Dili: Türkçe veya İngilizce'dir.

Başlık: İçeriğe uygun, kısa ve anlaşılır olmalıdır. Türkçe ve İngilizce başlıklar Times New Roman, 14 punto, kalın (**bold**), ilk harfleri büyük ve ortalanarak yazılmalıdır.

Yazar isimleri ve adresleri: Başlığın altındaki yazar isimleri kısaltmasız, ilk harf büyük ve soyadı büyük harflerle, 12 punto, ortalı olarak yazılmalıdır. Yazar isimlerinden sonra virgül ve adres belirtmek için üst simge olarak rakam kullanılmalıdır (1, 2, 3, gibi). Sorumlu yazar isminde mutlaka üst simge yıldız sembolü olmalıdır

(*). Yazarların tam adresleri isimlerinin hemen alt kısmına küçük harflerle (İlk harfler büyük), ortalı, italik ve 10 punto yazılmalı, sorumlu yazarın e-mail adresi ilk sayfanın sol alt köşesinde (*) sembolü ile belirtilmelidir.

Özet ve Anahtar kelimeler (Summary ve Keywords): Makalede Türkçe ve İngilizce öz olmalı ve makale özü en az 75, en fazla 250 sözcük içerecek şekilde 10 punto olarak yazılmalıdır. Her iki özün hemen altında en az 3, en fazla 6 sözcükten oluşan Anahtar Kelimeler (Keywords) 10 punto olarak yazılmalıdır.

Ana Metin: Makaledeki ana başlıklar ve varsa alt başlıklar anlaşılır ve numaralı olmalıdır. Tüm ana metin başlıkları sola yanaşık, İlk harfleri büyük diğerleri küçük harflerle, 11 punto ve kalın karakter olmalıdır. Alt başlıklar 11 punto yazılmalıdır. Metin; iki yana yaslı, paragraflar arası satır boşluğu kullanılmamalı, alt başlıklardan hemen sonraki ilk paragrafta girinti olmamalıdır.

Giriş: Konu hakkında kısa bir literatür bilgisi vermeli, sonunda çalışmanın amacı kısaca belirtilmelidir.

Materyal ve Metot: Detaylı ve açıklayıcı bir biçimde verilmelidir.

Bulgular ve Tartışma: Bu bölümde elde edilen sonuçlara yer verilmeli, sonuçlar gerekirse şekil ve tablolarla da desteklenmelidir. Elde edilen bulgular ilgili literatürlerle karşılaştırılmalıdır.

Sonuç ve Öneriler: Sonuçlar gereksiz tekrarlardan kaçınılarak mutlaka yorumlanmalıdır. Sonuçların başka araştırmalarla benzerlik ve farklılıkları verilmeli, bunların olası nedenleri tartışılmalıdır.

Teşekkür: Gerek görüldüğü takdirde ya da proje vs. kapsamında bir çalışma ise; çalışmada yardımcıları olan kişi(ler), kurum ve kuruluşlara yardım ve desteklerinden dolayı teşekkür edilmelidir.

Kaynaklar: Kaynakların metin içinde gösterimi numara sırasına göre olmalıdır ([1], [2] v.b.). Makale içinde verilen her kaynak, makalenin Kaynaklar kısmında mutlaka yer almalıdır. Kaynaklar makale sonunda numara sırasına göre verilmelidir. Kaynakların makale sonundaki gösterimi aşağıdaki örneklerdeki gibi olmalıdır.

Kaynak bir makale ise;

1. Köksal K., Koç F. 2016. Optical Manipulation of Photo-induced Current in Spherical Semiconductor Quantum Dots by Optical Vortices. *Philosophical Magazine*, 96 (25): 2686-2695.
2. Kurşat M., Emre İ., Yılmaz Ö., Erecevit P. 2011. Antioxidant and antimicrobial activity in the seeds of *Origanum vulgare* L. subsp. *gracile* (C. Koch) letswaart and *Origanum acutidens* (Hand.-Mazz.) letswaart from Turkey. *Grasas y aceites*, 62 (4): 410-417.

Kaynak bir kitap ise;

1. Chapra C.S., Canale R.P. 2003. Yazılım ve Programlama Uygulamalarıyla Mühendisler için Sayısal Yöntemler. Literatür Yayınları, İstanbul, 1-1004.
2. Demirsoy A. 1999. Genel ve Türkiye Zoocoğrafyası (Hayvan Coğrafyası). Meteksan Yayınları, Ankara, 1-965.

Kitap bölümü ise;

1. Cullen J. 1975. *Artemisia* L. In: Flora of Turkey and East Aegean Islands, Edited by Davis PH., Vol: 5, Edinburgh Univ Press, Edinburgh, 311-324.
2. Cassidy J., Elder R. 1984. Spillways of high dams. In: Developments in Hydraulic Engineering 2, Edited by Novak P., Applied Science Publishers Ltd., Essex, UK, 153-173.

Kaynak sempozyum ise;

1. Akyüz M., Kırbağ S. 2012. Fatty Acid and Vitamin Composition of *Pleurotus eryngii* var. *ferulae* Grown on Various Agro-wastes. 21. Ulusal Biyoloji Kongresi, 3-7 Eylül, İzmir, 1168-1169.
2. Tabur M.A., Uzun A., Ayvaz Y. 2004. Why is White-headed Duck Wintering in Lake Burdur (Turkey) decreasing? 1st International Eurasian Ornithology Congress, Abstract Book, 8-11 April, Antalya, 63.

Web adresi;**İnternet kaynağın yazar ismi ve tarihi biliniyorsa;**

1. Şenel F. 2006. Kırım-Kongo Kanamalı Ateşi. <http://www.biltek.tubitak.gov.tr/pdf/kene>. (Erişim Tarihi: 21.01.2007).

Yazar ve tarih isimleri bilinmiyorsa;

1. Biyolojik çeşitlilik, 2005. Türkiye'nin Biyolojik Çeşitliliği. <http://www.bcs.gov.tr/1.4.php> (Erişim tarihi: 15.01.2007).

Kaynak Tez ise;

1. Kurşat M. 2010. Türkiye'de Yetişen *Artemisia* L. (Asteraceae) Taksonlarının Taksonomik Revizyonu. Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 1-348.

Kaynak Anonim ise;

1. Anonim, 1990. Sulak Alanların Korunması. Doğal Hayatı Koruma Derneği, İstanbul, 1-93.

Şekil ve Tablolar: Fotoğraf, resim, çizim ve grafik gibi göstermeler şekil olarak verilmelidir. Resim, şekil ve grafikler net ve ofset baskı tekniğine uygun olmalıdır. Şekiller (Renkli ve siyah-beyaz fotoğraflar, siyah-beyaz çizimler, haritalar) metin içerisinde verilmelidir. Şekiller 16x20 cm den büyük olmamalıdır. Resim ve fotoğraflar en az 600 dpi çözünürlükte olmalıdır. Tüm tablo ve şekiller makale

boyunca sırayla numaralandırılmalı (Tablo 1., Şekil 1.), başlık ve açıklamalar içermelidir. Açıklamaların sonunda nokta veya virgül konulmamalıdır. Tablo başlıkları tablonun üstünde, şekil başlıkları ise şekil altında ortalı ve 10 punto olmalıdır.

Birim Sistemi: Makalelerde kullanılan birim sistemleri SI birim sistemlerine uyumlu olmalıdır.

Yayına Kabul Edilen Makalelerin Son Düzeltmelerindeki Dikkat Edilecek Hususlar

- Tüm kenar boşlukları (sağ, sol, üst ve alt) 2,5 cm ve satır aralığı tek olmalı,
- Özetler 10 punto, ana metin 11 punto olmalı,
- Makale başlıkları (Türkçe – İngilizce) 14 punto, kalın yalnızca ilk harfler büyük,
- Metin ana başlıkları 11 punto, kalın yalnız ilk harfler büyük,
- Alt başlıklar 11 punto, kalın ve sadece ilk harfi büyük olmalıdır.

BEU JOURNAL OF SCIENCE

Manuscript Preparation

Format of First Submission

Manuscripts should be submitted digitally as MS Word. Files should be prepared by using A4 paper size with 2.5 cm margin from all sides, in 11 font size and Times New Roman font with single space. Manuscripts should not exceed 20 pages and should be submitted via <http://dergipark.gov.tr/bitlisfen> web site. Author informations should not be given in the main file of the article due to blind review. Author informations should be given by uploading a different file. Up to 2 publications of the same author can be found in one issue. Submissions must comply with research and publication. Manuscripts should be written according to following rules and structure.

Main sections of the article are Introduction, Material and Methods, Results and Discussion, and References. An Acknowledgement section can be included before References.

Similarity Ratio: The similarity rate of submitted articles should not exceed 15%. Each similarity rate should not exceed 3%.

Manuscript Language: Turkish or English.

Title: It should a concise and clear phrase describing the content of the text. Both Turkish and English titles should be centered and bold in Times New Roman with 14 font size and First Letters Should Be Capitalized.

Author Names and Addresses: Full names of all authors are given below the title. Surnames (Family Names) and first letters of the Given Names should be capitalized with 12 font size as centered. Author names are separated by coma. Superscript Arabic letters (¹, ², ³, ect.) should be used to indicate addresses. Corresponding author should be indicated with an asterisk (*). Full addresses of the authors should be written with lower case italic letter and be centered (10 font) immediately after author names. E-mail address of the corresponding author should be given lower left corner of the first page, leading with an asterisk (*).

Abstract and Key Words: All manuscript should include Turkish and English abstracts and each abstract should be written in 1 font size including at least 75 words and at most 250 words. Keywords consisting of at least 3 words and at most 6 words should be written in 10 points just under both abstracts.

Main Text: Titles of main sections and subsections should be comprehensible and numbered. All main section titles should be left aligned, bold, and in 11 font size with capitalized first letters. Subsection titles should be in 11 font size. The text should be justified. There should be no space between paragraphs. Paragraphs following a title should not have first-line indent.

Introduction: A brief summary of the subject and the current literature should be given. The aim of the study should be briefly stated at the end.

Material and Method: It should be given in detail and clearly.

Results and Discussion: The results should be presented in a comprehensible manner which may include figures and tables. Presented results should be compared with the literature.

Conclusion: The results should be interpreted in avoiding unnecessary repetitions. It should be stated and discussed with its possible reasons if the results comply with previous studies or not.

Acknowledgement: If appropriate, acknowledgements to sponsor(s) and assisting individual(s) should be given.

References: References should be cited in text according to order of appetences with Arabic numbers in square brackets (e.g. [1], [2], ect.). All references cited in the text should be listed in References and vice versa. Journal names should not be abbreviated in the References. References should be listed according to numeric order at the end of the article. References should be written according to following examples.

Article;

1. Köksal K., Koç F. 2016. Optical Manipulation of Photo-induced Current in Spherical Semiconductor Quantum Dots by Optical Vortices. *Philosophical Magazine*, 96 (25): 2686-2695.
2. Kurşat M., Emre İ., Yılmaz Ö., Erecevit P. 2011. Antioxidant and antimicrobial activity in the seeds of *Origanum vulgare* L. subsp. *gracile* (C. Koch) letsvaart and *Origanum acutidens* (Hand.-Mazz.) letsvaart from Turkey. *Grasas y aceites*, 62 (4): 410-417.

Book;

1. Chapra C.S., Canale R.P. 2003. Yazılım ve Programlama Uygulamalarıyla Mühendisler için Sayısal Yöntemler. Literatür Yayınları, İstanbul, 1-1004.
2. Demirsoy A. 1999. Genel ve Türkiye Zoocoğrafyası (Hayvan Coğrafyası). Meteksan Yayınları, Ankara, 1-965.

Book Chapter;

1. Cullen J. 1975. *Artemisia* L. In: Flora of Turkey and East Aegean Islands, Edited by Davis PH., Vol: 5, Edinburgh Univ Press, Edinburgh, 311-324.
2. Cassidy J., Elder R. 1984. Spillways of high dams. In: Developments in Hydraulic Engineering 2, Edited by Novak P., Applied Science Publishers Ltd., Essex, UK, 153-173.

Symposium Proceeding;

1. Akyüz M., Kırbağ S. 2012. Fatty Acid and Vitamin Composition of *Pleurotus eryngii* var. *ferulae* Grown on Various Agro-wastes. 21. Ulusal Biyoloji Kongresi, 3-7 Eylül, İzmir, 1168-1169.
2. Tabur M.A., Uzun A., Ayvaz Y. 2004. Why is White-headed Duck Wintering in Lake Burdur (Turkey) decreasing? 1st International Eurasian Ornithology Congress, Abstract Book, 8-11 April, Antalya, 63.

Web sites;**If the author name and date are known;**

1. Senel F. 2006. Kırım-Kongo Kanamalı Atesı. <http://www.biltek.tubitak.gov.tr/pdf/kene>. (Access Date: 21.01.2007).

If the author name and date are unknown;

1. Biyolojik çeşitlilik, 2005. Türkiye'nin Biyolojik Çeşitliliği. <http://www.bcs.gov.tr/1.4.php> (Erişim tarihi: 15.01.2007).

Thesis;

1. Kurşat M. 2010. Türkiye'de Yetişen *Artemisia* L. (Asteraceae) Taksonlarının Taksonomik Revizyonu. Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 1-348.

Anonymous;

1. Anonim, 1990. Sulak Alanların Korunması. Doğal Hayatı Koruma Derneği, İstanbul, 1-93.

Figures and Tables: Images like photos, pictures, drawings, and graphs should be given as figures. Figures should be clear and appropriate for press. All figures should be given within the text. Figures should not exceed the size of 16x20 cm. Pixel based figures should be minimum of 600 dpi. All tables and figures should be numbered (e.g. Table 1, Figure 1), and should include a title and legend. There should be no period or comma after the legend. The tiles should be centered and in 10 font size. Tables

and figure titles should be placed above the table and below the figure, respectively.

Units: All units should be given according to SI (International System of Units).

Final Check List For Articles Accepted For Publication

- All margins are 2.5 cm.
- Paragraphs are single spaced.
- Article titles (Turkish and English) are bold and in 14 font size with capitalized first letters.
- Main section titles are bold and in 11 font size with capitalized first letters.
- Subsection titles are bold and in 11 font size and only the first letter of the first word is capitalized.

BEU FEN BİLİMLERİ DERGİSİ YAYIN İLKELERİ

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

Dergide yayımlanacak makalelerin bilimsel etik kuralları içerisinde olması gerekmektedir. Makalede yer alan tüm yazarlar, çalışmalarının yayın haklarını Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi'ne verdiklerine dair **Telif Hakları Formu**'nu imzalamalıdır. Bu form iletilmeden yayın kabul edilse de yayımlanmayacaktır. Bütün bu bilgiler aşağıdaki DergiPark sistemi, e-posta adresi veya posta adresi ile editörlüğe gönderilmelidir. Dergide yayımlanacak makalelerin içeriğinden kaynaklanan her türlü yasal sorumluluklar ve telif haklarına ilişkin doğabilecek hukuki sorumluluklar tamamen yazarlara aittir.

Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Editörlüğü

Bitlis Eren Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
13000, Merkez, Bitlis/TÜRKİYE
E-posta : fbe@beu.edu.tr
Web : <http://dergipark.gov.tr/bitlisfen>



Makale No/Article ID:

B.E.U.

FEN BİLİMLERİ DERGİSİ

Telif Hakkı Devir Formu / Copyright Form

[Makale Adı / Article title]

.....
.....
.....

Başlıklı makalenin telif hakkından feragat etmeyi/ettiğimizi, makalenin telif hakkının Bitlis Eren Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'ne devredildiğini ve Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Editörlüğü makalenin yayımlanabilmesi konusunda yetkili kılındığını kabul eder ve imza ederiz.

Ayrıca, adı geçen makalenin tüm içeriği konusunda tüm sorumluluk yazar/yazarlara ait olup, makalenin içeriği konusunda doğabilecek sorunlardan Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Editörlüğü sorumlu değildir.

Bütün yazarlar tarafından imzalanması gerekiyor: (Sorumlu yazar/Corresponding author*)

<u>Yazarın Adı ve Soyadı / Author Names</u>	<u>İmzası / Signature</u>	<u>Tarih / Date</u>
1		
2		
3		
4		
5		

NOT: Eksik imza durumunda sorumluluk imzalayan yazarlara aittir. Form doldurulup imzalandıktan sonra online veya e-posta yoluyla gönderilmelidir:

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

E-mail : fbe@beu.edu.tr



Article ID:

BEU
JOURNAL OF SCIENCE
Copyright Transfer Form

We, the authors of the manuscript entitled

relinquish our copyrights on the manuscript in favor of BEU Graduate School of Science. Hence, we, the authors, accept and signs for this copyright transfer which includes but not limited to granting the right to publish the manuscript to the Editorial Board of BEU Journal of Science.

Nevertheless, we, the authors, retain all responsibilities regarding the manuscript. The Editorial Board of BEU Journal of Science cannot be held responsible for any conflict due to the content of the manuscript, by any means.

All authors must sign:

Authors' Full Names	Signature	Date
1. _____	_____	_____
2. _____	_____	_____
3. _____	_____	_____
4. _____	_____	_____
5. _____	_____	_____

(Add additional lines if needed. Corresponding author should be indicated by “*”.)

In case of absent signature, signing authors will be responsible. Filled and signed forms should be sent online or by email.

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

E-mail : fbe@beu.edu.tr