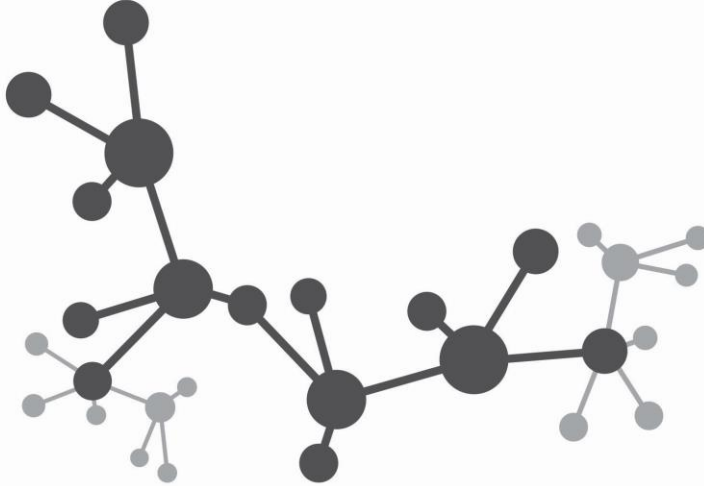




FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ DERGİSİ

Journal of Natural and Applied Sciences

aralık



Cilt: 26 Sayı: 03 Volume: 26 Issue: 03 e-ISSN: 1308 6529

2022
ISPARTA



SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi

Cilt 26, Sayı 3, Yıl 2022

SÜLEYMAN DEMİREL UNIVERSITY Journal of Natural and Applied Sciences

Volume 26, Issue 3, Year 2022

e-ISSN: 1308-6529 | DOI: 10.19113/sdufenbed

Bu dergi, aşağıda listelenen veri tabanları tarafından taranmaktadır / This journal is indexed by the following abstracting and indexing databases
BASE, CAB Abstracts, CAS (Chemical Abstracts Service), CNKI Scholar, DOAJ, EBSCO Discovery Service (EDS), Google Scholar, Index
Copernicus, InfoBase Index, JournalTOCs, ResearchBib, Ulakbim TR Dizin (Mühendislik ve Temel Bilimler), WorldCat (OCLC),
Zentralblatt MATH

DERGİ HAKKINDA

Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi (SDÜ Fen Bil Enst Der), 1995 yılında kurulmuş bir bilimsel araştırma dergisidir. SDÜ Fen Bil Enst Der, 2001 yılından itibaren mühendislik ve mimarlık bilimleri, tarım ve orman bilimleri ve temel bilimler alanlarında düzenli olarak Nisan, Ağustos ve Aralık aylarında yılda üç sayı yayımlanan ulusal ve uluslararası hakemli-indeksli bir dergidir. Yayımlanmak üzere gönderilen bütün makaleler; hakemler ve editörler tarafından değerlendirilir. Makaleleri değerlendiren hakemlerin isimleri yazarlara bildirilmez. Dergide, Türkçe veya İngilizce dillerinde yazılmış orijinal araştırma makaleleri yayımlanmakta olup; teknik not, editöre mektup, tartışma, vaka takdimi ve derleme türünde bilimsel çalışmalar yayımlanmamaktadır. İngilizce dilinde yazılmış orijinal araştırma makaleleri yayımlanma önceliğine sahiptir. Dergiye yayımlanmak için gönderilen makalelerden herhangi bir değerlendirme ve başvuru ücreti alınmamaktadır.

ABOUT THE JOURNAL

Süleyman Demirel University Journal of Natural and Applied Sciences (SDU J Nat Appl Sci) is a scientific research journal founded in 1995. SDU J Nat Appl Sci is a national and international indexed journal with referees, which has been published in the areas of engineering and architecture sciences, agriculture and forestry sciences and fundamental sciences three times in a year including in April, August and December, regularly since 2001. Articles submitted to the journal for publication are evaluated by referees, editorial board and editor. Names of referees evaluating the articles aren't informed to the authors (Blind peer review). The full-length original research articles written in Turkish or English language are published, but technical notes, letters to the editors, expositions and surveys are not published in the journal. The full-length original scientific research articles written in English language have the priority of publication. The Journal of Natural and Applied Sciences does not charge any publication or processing fee.



SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ DERGİSİ

İMTİYAZ SAHİBİ

İlker Hüseyin ÇARIKÇI, Prof. Dr.
Süleyman Demirel Üniversitesi Adına (Rektör)

BAS EDİTÖR

Şule Sultan UĞUR, Doç. Dr.
Süleyman Demirel Üniversitesi (Enstitü Müdürü)

EDİTÖRLER

Tunahan TURHAN, Doç. Dr.
Süleyman Demirel Üniversitesi
Yasemin COŞKUN, Prof. Dr.
Süleyman Demirel Üniversitesi
Cengiz GAZELOĞLU, Doç. Dr.
Süleyman Demirel Üniversitesi
(Enstitü Müdür Yardımcısı)
Banu ESENCAN TÜRKASLAN, Dr.
Öğr. Üyesi
Süleyman Demirel Üniversitesi
(Enstitü Müdür Yardımcısı)

Ekinhan ERİŞKİN, Dr. Öğr. Üyesi
Süleyman Demirel Üniversitesi
Hakan OĞUZ, Prof. Dr.
Kahramanmaraş Sütçü İmam
Üniversitesi
Oğuz YAYLA, Doç. Dr.
Hacettepe Üniversitesi
Rağbet Ezgi DURAN, Prof. Dr.
Süleyman Demirel Üniversitesi
Sedat AKLEYLEK, Doç. Dr.
Ondokuz Mayıs Üniversitesi

İbrahim Arda ÇANKAYA,
Dr. Öğr. Üyesi
Süleyman Demirel Üniversitesi
Tunhan DEMİRCİ, Dr. Öğr. Üyesi
Süleyman Demirel Üniversitesi
Yalçın ERZURUMLU, Dr. Öğr. Üyesi
Süleyman Demirel Üniversitesi
Faruk Süleyman BERBER,
Öğr. Gör. Dr.
Süleyman Demirel Üniversitesi

DANIŞMA KURULU

Ahmet Ali İŞILDAR, Prof. Dr.
Isparta Uygulamalı Bilimler Üniv.
Ayşegül ÖKSÜZ, Prof. Dr.
Süleyman Demirel Üniversitesi
Bahri KARLI, Prof. Dr.
Isparta Uygulamalı Bilimler Üniv.
Erdoğan KÜÇÜKÖNER, Prof. Dr.
Süleyman Demirel Üniversitesi
Ersan AKYILDIZ, Prof. Dr.
Orta Doğu Teknik Üniversitesi
Ersin YÜCEL, Prof. Dr.
Anadolu Üniversitesi

Gerhard-Wilhelm WEBER, Prof. Dr.
Poznan Teknoloji Üniversitesi
Güven ÖNBİLGİN, Prof. Dr.
Ondokuz Mayıs Üniversitesi
Mehmet POLAT, Prof. Dr.
İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü
Metin AYDOĞDU, Prof. Dr.
Trakya Üniversitesi
Muhsin KONUK, Prof. Dr.
Üsküdar Üniversitesi
M. Zakir KANBUR, Doç. Dr.
Süleyman Demirel Üniversitesi

Osman ÇETİNKAYA, Prof. Dr.
Isparta Uygulamalı Bilimler Üniv.
Serdar CARUS, Prof. Dr.
Isparta Uygulamalı Bilimler Üniv.
Urfat NURİYEV, Prof. Dr.
Ege Üniversitesi
Şeref SAĞIROĞLU, Prof. Dr.
Gazi Üniversitesi
Tolga TAŞDİZEN, Doç. Dr.
Utah Üniversitesi

TEKNİK EDİTÖRLER

Sercan ÖNDER,
Arş. Gör.
Isparta Uygulamalı Bilimler Üniv.

Zübeyde ÇİÇEK,
Arş. Gör. Dr.
Süleyman Demirel Üniversitesi

BÜRO İŞLERİ

Uğur KARATEPE, Memur
Süleyman Demirel Üniversitesi

KAPAK TASARIM

Mehmet ÖZKARTAL, Prof. Dr.
Süleyman Demirel Üniversitesi

Mehmet Nuri KIVRAK

PRIVILEGE OWNER

İlker Hüseyin ÇARIKÇI, Prof. Dr.
On Behalf of Süleyman Demirel University (President)

EDITOR IN CHIEF

Şule Sultan UĞUR, Assoc. Prof. Dr.
Süleyman Demirel University (Director of the Institute)

EDITORS

Tunahan TURHAN, Assoc. Prof. Dr.
Süleyman Demirel University
Yasemin COŞKUN, Prof. Dr.
Süleyman Demirel University
Cengiz GAZELOĞLU, Assoc. Prof. Dr.
Süleyman Demirel University
(Associate Director of the Institute)
Banu ESENCAN TÜRKASLAN,
Asst. Prof. Dr.
Süleyman Demirel University
(Associate Director of the Institute)

Ekinhan ERİŞKİN, Asst. Prof. Dr.
Süleyman Demirel University
Hakan OĞUZ, Prof. Dr.
Kahramanmaraş Sütçü İmam
University
Oğuz YAYLA, Assoc. Prof. Dr.
Hacettepe University
Rağbet Ezgi DURAN, Prof. Dr.
Süleyman Demirel University
Sedat AKLEYLEK, Assoc. Prof. Dr.
Ondokuz Mayıs University

İbrahim Arda ÇANKAYA,
Asst. Prof. Dr.
Süleyman Demirel University
Tunhan DEMİRCİ, Asst. Prof. Dr.
Süleyman Demirel University
Yalçın ERZURUMLU, Asst. Prof. Dr.
Süleyman Demirel University
Faruk Süleyman BERBER,
Teach. Asst. Dr.
Süleyman Demirel University

ADVISORY BOARD

Ahmet Ali İŞILDAR, Prof. Dr.
Isparta University of Applied Sciences
Ayşegül ÖKSÜZ, Prof. Dr.
Süleyman Demirel University
Bahri KARLI, Prof. Dr.
Isparta University of Applied Sciences
Erdoğan KÜÇÜKÖNER, Prof. Dr.
Süleyman Demirel University
Ersan AKYILDIZ, Prof. Dr.
Middle East Technical University
Ersin YÜCEL, Prof. Dr.
Anadolu University

Gerhard-Wilhelm WEBER, Prof. Dr.
Poznan University of Technology
Güven ÖNBİLGİN, Prof. Dr.
Ondokuz Mayıs University
Mehmet POLAT, Prof. Dr.
İzmir Institute of Technology
Metin AYDOĞDU, Prof. Dr.
Trakya University
Muhsin KONUK, Prof. Dr.
Üsküdar University
M. Zakir KANBUR, Assoc. Prof. Dr.
Süleyman Demirel University

Serdar CARUS, Prof. Dr.
Isparta University of Applied
Sciences
Osman ÇETİNKAYA, Prof. Dr.
Isparta University of Applied
Sciences
Şeref SAĞIROĞLU, Prof. Dr.
Gazi University
Tolga TAŞDİZEN, Assoc. Prof. Dr.
University of Utah
Urfat NURİYEV, Prof. Dr.
Ege University

TECHNICAL EDITORS

Sercan ÖNDER, Res. Asst.
Isparta University of Applied Sciences

Zübeyde ÇİÇEK, Res. Asst. Dr.
Süleyman Demirel University

OFFICE WORK

Uğur KARATEPE, Staff
Süleyman Demirel University

COVER DESIGN

Mehmet ÖZKARTAL, Prof. Dr.
Süleyman Demirel University

Mehmet Nuri KIVRAK

Araştırma Makaleleri / Research Articles

Dopamin ve Ürik Asit Tayini İçin 2-Boyutlu MoSe ₂ Bazlı Elektrokimyasal Sensör Geliştirilmesi.....	329-334
<i>Development of MoSe₂-based Electrochemical Sensor for Detection of Dopamine and Uric Acid</i>	
Sadık Çoğal	
İnsansız Hava Araçları (İHA) ile Arkeolojik Alanlarda Belgeleme: Sarıkaya Roma Hamamı (Therma Basilica) Örneği.....	335-343
<i>Documentation in Archaeological Sites with Unmanned Aerial Vehicles (UAV): The Case of Sarıkaya Roman Bath (Therma Basilica)</i>	
Emine Saka AKIN, Alperen ERDOĞAN	
Gestalt İlkeleri Bağlamında Tarihi Yapı Cephelelerinin Görsel Algılanabilirliği: Tarsus Örneği.....	344-354
<i>Visual Sensability of Historical Building Facades in the Context of Gestalt Principles: Tarsus Example</i>	
Merve DENİZ, Leyla Yekdane TOKMAN	
<i>Laurocerasus officinalis</i> M. Roem Taksonunda Yükseklik ve Yağış Gradiyenti Boyunca Bazı Yaprak Özelliklerinin İncelenmesi	355-365
<i>Investigation of Some Leaf Traits in Laurocerasus officinalis M. Roem Taxa Along Elevation and Precipitation Gradient</i>	
Tuğba BAYRAK ÖZBUCAK, Gülaycan POLAT KESKİN	
The Effects of BTTN, TMETN and DEGDN Molecules on the Explosion Properties of PETN Molecule.....	366-371
<i>PETN Molekülünün Patlama Özelliklerine BTTN, TMETN and DEGDN Moleküllerinin Etkileri</i>	
Cihat HİLAL, Serhat VARIŞ, Mehmet Erdem MERT, Müşerref ÖNAL, Yüksel SARIKAYA	
Prevalence of Fungal Disease Agents in Garlic Growing Areas of Gaziantep Province	372-376
<i>Gaziantep İli Sarımsak Yetiştirme Alanlarında Fungal Hastalık Etmenlerinin Yaygınlıkları</i>	
Nuran YILDIZBAKAN, Aydın ATAKAN, Hülya ÖZGÖNEN ÖZKAYA	
Bir Eğitim Uçağı Hidrolik Kriko Sistemi İçin Hesaplamalı ve Deneysel Gerilme Analizi	377-385
<i>Computational and Experimental Stress Analysis for a Hydraulic Jack System of a Trainer Airplane</i>	
Mehmet KILINÇ, Ayşe ÖNDÜRÜCÜ, Levent SAYIN	
IPCC Tier 1 ve DEFRA Metotları ile Karbon Ayak İzinin Belirlenmesi: Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi'nin Yakıt ve Elektrik Tüketimi Örneği	386-397
<i>Determination of Carbon Footprint with IPCC Tier 1 and DEFRA Methods: The Case Study of Erzincan Binali Yıldırım University</i>	
Aslıhan KURNUÇ SEYHAN, Muhammed ÇERÇİ	
Karmosin için Deney Tasarımı Uygulanarak Bulutlanma Noktası Ekstraksiyonu Kullanımı ve Spektrofotometrik Tayini.....	398-406
<i>Use of Cloud Point Extraction and Spectrophotometric Determination of Carmosine by Applying Experimental Design</i>	
Tufan GÜRAY, Ulku Dilek UYSAL	
Investigation of the Usability of Foamed Bituminous Mixtures as Bituminous Base Course.....	407-412
<i>Köpüklü Bitümlü Karışımların Bitümlü Temel Tabakası Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması</i>	
Kemal Muhammet ERTEN, Serdal TERZİ, Hüseyin AKBULUT	
D/L-Homosistein Tamoksifene Dirençli MCF-7/TAMR-1 Meme Kanseri Hücrelerinin Proliferatif Özelliklerini ER Stresi Aracılı Olarak Baskılayabilir.....	413-419
<i>D/L-Homocysteine May Suppress Proliferative Properties of Tamoxifen-resistant MCF-7/TAMR-1 Breast Cancer Cells through Modulation of ER Stress</i>	
Yalçın ERZURUMLU, Hatice Kübra DOĞAN	
Mining Housing Features to Classify Housing Unit Price.....	420-426
<i>Konut Özellikleri Madencilikleriyle Konut Birim Fiyatlarını Sınıflandırması</i>	
Betül KAN KILINÇ, Simay MİRGEN	
<i>In vitro</i> Investigation of Rutin-Loaded PLGA Nanoparticles on <i>Leishmania infantum</i> Promastigotes.....	427-434
<i>Rutin Yüklü PLGA Nanopartiküllerinin Leishmania infantum Promastigotları Üzerinde In vitro İncelenmesi</i>	
Fulya KAHVECİOĞLU ÇETİN, Sezen CANIM ATEŞ	
Hakkari İli Domates ve Biber Üretim Alanlarında Yonca Mozaik Virüsü ve Domates Lekeli Solgunluk Virüsü'nün Belirlenmesi.....	435-440
<i>Detection of Alfalfa Mosaic Virus and Tomato Spotted Wilt Virus in Tomato and Pepper Growing Areas of Hakkari Province</i>	
Nevin AKDURA, Handan ÇULAL KILIÇ	

Kültürel Miras ve Koruma Olgusunun Döngüsel Ekonomi ve Sürdürülebilirliğe Katkısı: Türkiye Örneklerinde Bir Değerlendirme.....	441-451
<i>Contribution of Cultural Heritage and Architectural Conservation to the Circular Economy and Sustainability: An Evaluation in The Case of Turkey</i>	
Gülşen DİŞLİ	
Trimetil Anilin Temelinde Yeni Sterik Engelli Salisilaldiminlerin Cu(II) ve Pd(II) Komplekslerinin Sentezi ve Karakterizasyonu	452-459
<i>The Synthesis and Characterization of Cu(II) and Pd(II) Complexes of New Sterically Hindered Salicylaldehydes Based on Trimethyl Aniline</i>	
Emine AYTAZ, Sümeyya HARTAVI, Veli Tarık KASUMOV	
<i>Lurus kraepelini</i> (Scorpiones, Luridae) Zehir Bezi Glikoproteinlerinin Histokimyasal Yapısı	460-465
<i>Histochemical Structure of Glycoproteins of <i>Lurus kraepelini</i> (Scorpiones, Luridae) Venom Gland</i>	
Hanife ÖZCAN, Emel DEMİRBAĞ	
Mahremiyet Kavramının Geleneksel Bina Tasarımına Etkisinin Karşılaştırılması: Diyarbakır ve Erzurum Konutları	466-478
<i>Comparison of The Effect of Privacy Concept on Traditional Building Design: Diyarbakır and Erzurum House</i>	
Ruşen ERGÜN, Havva ÖZYILMAZ	
Yığma Yapıların Düzlem İçi Davranışının Kafes Model Yaklaşımı ile Analizi.....	479-489
<i>Analysis of In-Plane Behaviour of Masonry Structures by Truss Model Approach</i>	
Yunus GÜNER, Ayhan NUHOĞLU	
Yağ Güllü (<i>Rosa damascena</i> Miller)'nde GA ₃ Uygulamalarının Verim ve Kalite Özelliklerine Etkisi.....	490-501
<i>The Effect of GA₃ Applications on Yield and Quality Properties in Oil Bearing Rosa (<i>Rosa damascena</i> Miller)</i>	
Süleyman EFECAN, Sabri ERBAŞ, Murat MUTLUCAN	
Medyan Sıralı Küme Örneklemesinde Normal Dağılımın Konum Parametresi İçin Shrinkage Tahmin Edicileri	502-514
<i>Shrinkage Estimators for the Location Parameter of the Normal Distribution in Median Ranked Set Sampling</i>	
Kübra GÜRSOY, Meral EBEGİL, Yaprak Arzu ÖZDEMİR, Fikri GÖKPINAR	
A Heterocyclic Compound Hispidulin: Theoretical Investigation by DFT/TD-DFT Methods and Molecular Docking Studies.....	515-522
<i>Bir Heterosiklik Bileşik Hispidulin: DFT/TD-DFT Metotları ile Teorik Olarak İncelenmesi ve Moleküler Yerleştirme Çalışmaları</i>	
Ahmet Çağrı ATA, Ashlan Aycan TANRIVERDİ, Ümit YILDIKO, İsmail ÇAKMAK	
Kınık (İzmir) ve Soma (Manisa) Arasındaki Bölgenin Neojen Stratigrafisi, Ortamsal Yorumlanması ve Paleocoğrafik Evrimi.....	523-536
<i>Neogene Stratigraphy, Environmental Interpretation and Paleogeographic Evolution of the Region between the Kınık (İzmir) and the Soma (Manisa) Districts</i>	
Onur ALKAÇ, Hayrettin KORAL	
Kamusal Bir Mekânsal Örgütlenmedeki Avlunun Mekânsal Özellikleri Bakımından Değerlendirilmesi: Diyarbakır Yenisehir Belediyesi Hizmet Binası Örneği.....	537-545
<i>Evaluation of the Courtyard in Terms of Spatial Characteristics in a Public Spatial Configuration: Example of Diyarbakır Yenisehir Municipality Service Building</i>	
Latife ÖLKER, Ayhan BEKLEYEN	
Application of Kashuri Fundo Transform to Decay Problem	546-551
<i>Kashuri Fundo Dönüşümünün Bozunma Problemine Uygulanması</i>	
Haldun Alpaslan PEKER, Fatma Aybike ÇUHA	
Bell Regresyon Modelinde Liu tipi Tahmin Edici.....	552-559
<i>Liu-type Estimator in the Bell Regression Model</i>	
Melike IŞILAR, Y. Murat BULUT	

Dopamin ve Ürik Asit Tayini İçin 2-Boyutlu MoSe₂ Bazlı Elektrokimyasal Sensör Geliştirilmesi

Sadık ÇOĞAL*¹

¹Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü, 15030, Burdur, Türkiye

(Alınış / Received: 12.11.2021, Kabul / Accepted: 12.09.2022, Online Yayınlanma / Published Online: 20.12.2022)

Anahtar Kelimeler

Geçiş metal dikalkojenit,
Molibden diselenür,
Elektrokimyasal sensör,
Dopamin,
Ürik asit

Öz: İki boyutlu (2D) geçiş metal dikalkojenit (TMD) malzemeler sundukları üstün özelliklerden dolayı son yıllarda çok dikkat çekmektedirler. Bu çalışmada, TMD malzemelerin önemli bir üyesi olan molibden diselenür (MoSe₂) hidrotermal yöntem ile sentezlenmiş ve çeşitli yöntemlerle yapısal ve morfolojik açıdan incelenmiştir. Analiz sonuçları, MoSe₂'ün birkaç katmanlı formda elde edildiğini göstermiştir. MoSe₂ daha sonra elektrot modifikasyonunda kullanılmış ve dopamin (DA) ve ürik asitin (UA) eş zamanlı elektrokimyasal tayininde uygulanmıştır. Diferansiyel puls voltametri (DPV) ile gerçekleştirilen tayin çalışmalarından DA için 9.98 – 155 µM arasında ve UA için 19.96 – 310 µM arasında lineer tayin aralıkları belirlenmiştir. Aynı zamanda, geliştirilen sensör askorbik asit (AA) girişiminden etkilenmemekte, kararlı ve tekrar üretilebilir özelliklere sahiptir.

Development of MoSe₂-based Electrochemical Sensor for Detection of Dopamine and Uric Acid

Keywords

Transition metal
dichalcogenide,
Molybdenum diselenide,
Electrochemical sensor,
Dopamine,
Uric acid

Abstract: In the recent years, two-dimensional (2D) transition metal dichalcogenide (TMD) materials have attracted much attention due to their unique properties. In this work, molybdenum diselenide (MoSe₂), as an important member of TMD materials, was synthesized via hydrothermal method and characterized in terms of structural and morphological analyses. The characterization results exhibited that MoSe₂ was formed in few layers. Then, the obtained MoSe₂ was used in electrode modification and applied for electrochemical simultaneous determination of dopamine (DA) and uric acid (UA). Differential pulse voltammetry (DPV) studies exhibited linear detection ranges of 9.98 – 155 µM and 19.96 – 310 µM for DA and UA, respectively. Moreover, the developed sensor is not affected by ascorbic acid (AA) interference and showed high stability and reproducibility.

1. Giriş

Askorbik Asit (AA), dopamin (DA) ve ürik asit (UA) insan biyolojik sistemlerinde birlikte bulunan üç önemli moleküldür. Bu moleküller fizyolojik süreçlerde önemli rol oynamaktadır. Bu üç molekülden, dopamin (DA), memelilerin sinir, kardiyovasküler ve hormonal sistemlerinde bulunan önemli bir katekolamin nörotransmitterdir ve bu molekül beynimiz ve bedenimiz hakkındaki bilgi iletimini sağlamaktadır. Dopamin, stres, davranış ve dikkat gibi bilişsel işlevlerin düzenlenmesinde önemli rol oynamaktadır. DA'nin beyin sıvısındaki normal konsantrasyonu 0.01-1 µM dolayındadır [1]. Anormal DA konsantrasyonu, Şizofreni, Parkinson ve Alzheimer gibi hastalıklarla sonuçlanan nörolojik bozukluklara neden olmaktadır. Örneğin DA konsantrasyonu Parkinson hastalığında 1.22 ng/mL

seviyesi ile neredeyse tamamen tükenme arasında değişirken, serumdaki 1.89 ile 189 ng/mL arasındaki düşük konsantrasyonların gözlenmesi Alzheimer ve Şizofreni gibi hastalıkların belirtilerine neden olmaktadır [2]. Diğer bir yandan, AA, çeşitli gıdalarda, içeceklerde ve ilaçlarda antioksidant olarak kullanılan bir moleküldür. Askorbik asit, kısırlık, AIDS, kanser, soğuk algınlıkları ve mental hastalıklara karşı korunmak ve mücadele etmek için kullanılmaktadır [3]. Ürik asit ise, pürin metabolizmasının birincil son ürünüdür. Bu molekülün üretimi günlük olarak gerçekleşmekte ve fazlası idrar yoluyla düzenli olarak atılmaktadır. Çeşitli nedenlerle UA'in vücuttan atılamaması durumunda vücuttaki konsantrasyonu artmakta ve gut hastalığı ile sonuçlanan hiperürisemiye neden olmaktadır [4]. Ayrıca, UA konsantrasyonunun artışı kan ve idrarda asit miktarının artmasına yol açmaktadır ve bu durum da

çeşitli hastalıkları beraberinde getirmektedir. Bu nedenlerden dolayı, sözü edilen hastalıkların erken evrede ve hızlı bir şekilde teşhis edilmesi, uygulanacak tıbbi tedavilerin etkinliğini arttırmak açısından oldukça önem arz etmektedir.

AA, DA ve UA analizi genellikle çeşitli spektroskopik ve kromatografik yöntemlerle gerçekleştirilmektedir. Ancak, bu yöntemler, pahalı ve kompleks cihazlarda gerçekleştirilmesinin yanında analizleri gerçekleştirmek için alanında eğitilmiş kişilere ihtiyaç duymaktadır. Bundan dolayı, hızlı, yerinde tayin yapabilen, basit ve maliyeti düşük yöntemlerin geliştirilmesi yukarıda bahsedilen hastalıklarla etkin mücadele açısından oldukça önemlidir.

Son zamanlarda, AA, DA ve UA tayini için elektrokimyasal sensörler kullanılmaya başlanmış ve gelecek vadeden sonuçlar elde edilmiştir [5-6]. Basitlik, hızlılık, yüksek hassasiyet ve duyarlılık gibi özelliklerin yanında nörotransmitterleri canlı organizmalarda algılama yeteneğine ve in vivo gerçek zamanlı analiz yapabilme gibi nedenlerden dolayı, nörotransmitterlerin ve metabolitlerinin elektrokimyasal yöntemlerle tayini oldukça önem arz etmektedir. Ancak, modifiye edilmemiş Pt, Au ve camısı karbon gibi çalışma elektrotları kullanılarak gerçekleştirilen elektrokimyasal analizler, AA, DA ve UA yükseltgenme potansiyellerinin üst üste binmesinden dolayı dezavantajlara sahiptir [7]. Bundan dolayı, AA, DA ve UA'nın yükseltgenme potansiyellerini birbirinden ayırıp eş zamanlı tayinlerinin gerçekleştirilmesi elektrokimyasal analiz açısından oldukça önemli bir konudur. Bunu gerçekleştirmek için, araştırmacılar, çalışma elektrotlarını çeşitli malzemelerle modifiye etmeye çalışmaktadırlar [8-9]. Bununla birlikte, dopamin sensörlerinde kullanılan elektrotların çoğu değerli metaller olan Au ve Pt içermektedir. Değerli metaller hem maliyeti arttırmakta hem de düşük zehir toleranslarından dolayı DA sensörlerinin kararlılığını düşürmektedir. Bu nedenle, değerli metaller içermeyen malzemeler kullanılarak yüksek hassasiyet ve seçiciliğe sahip elektrotların geliştirilmesi oldukça ilgi çeken bir araştırma konusudur.

TMD malzemeler üzerine yayınlanan çalışmalar incelendiğinde, bu malzeme grubunun önemli bir üyesi olan MoSe₂'ün, molibden disülfür (MoS₂) ile çok benzer özellikler sergilemesine rağmen daha az çalışıldığı görülmektedir. Oysaki, MoSe₂, yapısındaki selenyum atomunun metalik özelliğinden dolayı MoS₂'ye göre daha iyi elektriksel iletkenliğe sahiptir (iletkenlik Selenyum için 1×10^{-3} S/m ve Kükürt için 5×10^{-28} S/m) [10-11]. Bu özellik, MoSe₂'yi elektron aktarımının önemli olduğu çeşitli elektrokimyasal uygulamalarda daha avantajlı kılmaktadır [12]. Diğer bir yandan, teorik ve deneysel çalışmalar, MoSe₂ yapısındaki hem Mo'nin hem de Se kısımlarının elektrokatalitik uygulamalar için aktif olduğunu da göstermiştir [13]. Bu özelliklerin yanında, MoSe₂'nin büyük yüzey alanına sahip olması ve katmanları

arasındaki mesafenin daha büyük olması daha iyi elektrokimyasal özellikler sergilemesine olanak vermektedir [14]. Bütün bu özellikler, MoSe₂'nin çeşitli uygulamalar için dikkate değer özelliklere sahip yeni bir malzeme olarak üzerinde dikkatlice durulması gerektiğini ortaya koymaktadır. MoSe₂, MoS₂'ye alternatif olabilecek malzemelerden bir tanesidir ve bu malzeme üzerine yapılan çalışmalar günden güne artmaktadır. Diğer bir taraftan, literatürde dopamin tayini için MoSe₂ yapısı içeren sadece bir çalışmaya rastlanmıştır. Zang vd. tarafından yayınlanan bu çalışmada sensör sülfür doplanmış-MoSe₂ nanoyapılı grafen (NSG) ve altın ile birlikte MIP (moleküler baskılı polimerler) yöntemi ile hazırlanmış ve elektrokimyasal dopamin tayininde kullanılmıştır [15]. Bu çalışmada, AA ve UA'nın girişim çalışmalarını yapmış olsa da AA, DA ve UA'nın birlikte tayini için herhangi bir çalışma gerçekleştirilmemiştir. Ayrıca, elektrokimyasal sensör olarak kullanılan yapıda MoSe₂'nin yanında değerli bir metal olan altın ve grafen de kullanılmıştır. Bu çalışmada ise, hidrotermal yöntem ile elde edilen MoSe₂ nanokatmanları doğrudan GCE elektrotunun modifikasyonunda kullanılarak UA ve DA'nın AA varlığında eş zamanlı tayini için bir elektrokimyasal sensör geliştirilmiştir.

2. Materyal ve Metot

2.1. MoSe₂ nanokatmanlarının sentezi

MoSe₂ daha önce yayınlanan çalışmalara benzer şekilde sentezlenmiştir [16-17]. İki mmol (158 mg) selenyum tozu 10 mL hidrazin hidrat (%50-60) içerisinde dispers edilir. Aynı bir kaptaki, 1 mmol (241,95 mg) sodyum molibdat (Na₂MoO₄) 20 mL deiyonize su içerisinde çözülür. Her iki çözelti bir saat boyunca karıştırılır. Daha sonra, çözeltiler karıştırılır ve Mo:S oranı 1:2 olan turuncu-kırmızı bir çözelti elde edilir. Bu çözelti, 45 mL'lik teflon bir kaba aktarılır ve paslanmaz çelik bir otoklava yerleştirilir. Otoklav bir fırın içerisinde 200 °C sıcaklıkta 12 saat boyunca tutulur. Reaksiyon kendiliğinden oda sıcaklığına soğuduktan sonra elde edilen siyah katı madde santrifüj kullanılarak 6000 rpm'de çöktürülür ve ardından deiyonize su ile en az üç defa yıkanarak santrifüj edilir. Son olarak ürün bir etüv içerisinde 60 °C'de kurutulur.

2.2. Elektrot modifikasyonu

Öncelikle, GCE çalışma elektrotu temizlenir. Bunun için, elektrotun yüzeyi alümina kullanılarak parlatıldıktan sonra saf su ile yıkanır ve etanol içerisinde ultrasonik banyoda 10 dk tutulur. Son olarak, elektrot tekrar saf su ile yıkanır ve kurutulur. Bu temizleme işlemi, çalışma elektrotunun yüzeyinde herhangi bir madde kalmadığından emin olmak için her kaplamadan önce dikkatli bir şekilde yapılır. Hidrotermal yöntem ile elde edilen MoSe₂ nanokatmanları 4 mg/mL olacak şekilde dimetil formamid (DMF) içerisinde ultrasonik banyo

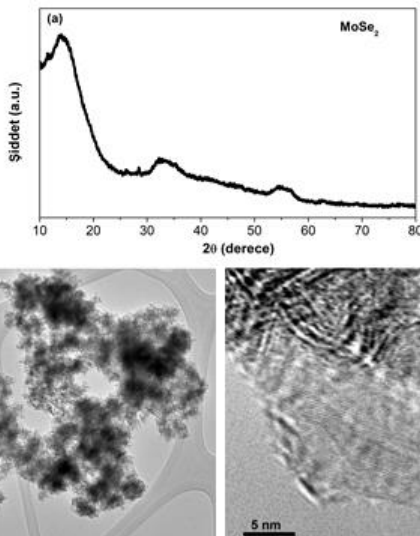
kullanılarak dispers edilir. Bu dispers çözeltiden 10 µL alınarak GCE yüzeyine damlatılır ve oda sıcaklığında kurumaya bırakılır. Bu şekilde GCE-MoSe₂ elektrotu hazırlanmış olur.

2.3. Karakterizasyon

Sentezlenen malzemelerin yapısal karakterizasyonları Bruker D8 Advance marka X-ışınları kırınımı (XRD) cihazı ve morfolojik analizleri ise Tecnai F20 marka transmisyon elektron mikroskobu (TEM) cihazı ile kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Elektrokimyasal çalışmalar ise Ivium CompactStat marka potansiyostat/galvanostat cihazı ile üç elektrotlu elektrokimyasal sistem kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu sistemde, çalışma elektrotu olarak GCE, karşı elektrot olarak Pt tel, referans elektrot olarak ise Ag/AgCl kullanılmıştır.

3. Bulgular

Hidrotermal yöntem ile elde edilen MoSe₂'ün kristal yapısı XRD ile karakterize edilmiştir. Şekil 1a, MoSe₂ nanokatmanlarının XRD desenini göstermektedir. XRD deseninde gözlenen 13.94, 32.24 ve 54.65° pikler MoSe₂ hegzagonal yapısının sırasıyla (002), (100) ve (110) düzlemlerinden ileri gelmektedir (JCPDS card no. 29-0914). Bu yapıda, (002) pikinin geniş olması MoSe₂ birkaç katmanlı formda oluştuğunu göstermektedir [16]. Sentezlenen MoSe₂ nanokatmanlarının yüzey morfolojisi ise transmisyon elektron mikroskobu (TEM) görüntüleri kullanılarak incelenmiştir. Şekil 1b'deki TEM görüntüsü MoSe₂ nanokatmanlarını ve Şekil 1c'de gösterilen yüksek çözünürlüklü TEM görüntüsü ise MoSe₂'ün birkaç katmanlı formda elde edildiği göstermektedir.



Şekil 1. MoSe₂ nanokatmanlarının a) XRD ve (b ve c) TEM görüntüleri

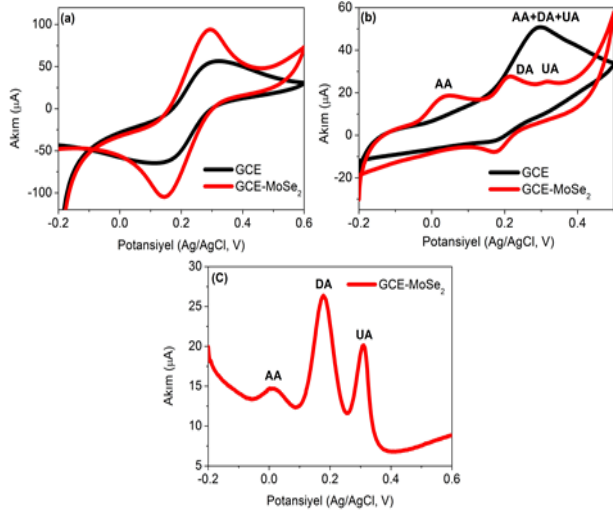
MoSe₂ ile modifiye edilen GCE elektrotunun elektrokimyasal davranışları 0.1 M KCl içerisinde hazırlanmış 5.0 mM [Fe(CN)₆]^{3-/4-} çözeltisinde döngüsel voltametri ile incelenmiştir. Şekil 2a

modifiye edilmemiş GCE ve GCE-MoSe₂ elektrotlarının -0.2 - +0.6 V potansiyel aralığında 50 mV/s tarama hızında gerçekleştirilen döngüsel voltamogramlarını göstermektedir. Bu voltamogramlar incelendiğinde, MoSe₂ ile modifiye edilen elektrotun modifiye edilmemiş elektrota göre ferri/ferrosiyandır redoks çiftine karşı daha yüksek yükseltgenme ve indirgenme pik akımları sergilediği gözlenmiştir. Bu durum, GCE-MoSe₂ elektrotunun daha iyi elektrokimyasal davranışa sahip olduğunu ortaya koymaktadır.

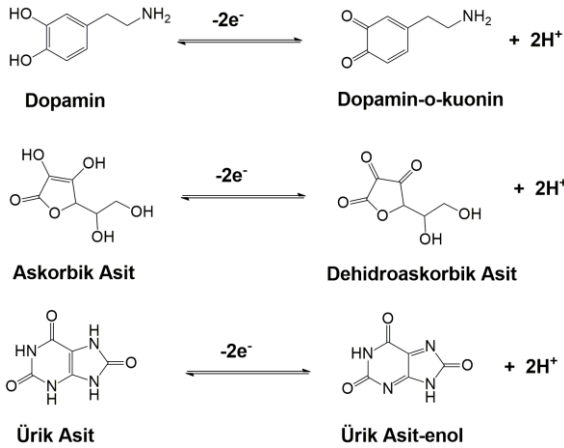
GCE ve GCE-MoSe₂ elektrotlarının AA, DA ve UA'e karşı elektrokatalitik davranışları ise 1.46 mM AA, 0.36 mM DA ve 0.55 mM UA içeren 0.1 M PBS (pH 7.0) tampon çözeltisinde öncelikle döngüsel voltamogramları alınarak incelenmiştir. Şekil 2b, -0.2 - +0.5 V potansiyel aralığında 50 mV/s tarama hızında gerçekleştirilen döngüsel voltamogramları göstermektedir. AA, DA ve UA modifiye edilmemiş GCE elektrotu üzerinde 298 mV'da tek bir yükseltgenme piki gösterirken, GCE-MoSe₂ elektrotu üzerinde AA 48 mV'da, DA 216 mV'da ve UA 318 mV'da yükseltgenme piki göstermiştir. Bu sonuçlar, GCE-MoSe₂ elektrotunun AA, DA ve UA'ya karşı modifiye edilmemiş elektrota göre daha iyi elektrokatalitik aktiviteye sahip olduğunu göstermektedir. Daha iyi elektrokatalitik aktivite, MoSe₂'ün 2-boyutlu yapısından ileri gelen yüzey alanının büyük olması ve iyi iletkenlik özellikleri ile açıklanabilmektedir [18]. Ayrıca, GCE-MoSe₂ elektrotu üzerinde AA, DA ve UA moleküllerinin yükseltgenme piklerinin ayrıldığı görülmektedir. Bu durum, biyolojik ortamlarda bulunan bu üç elektroaktif biyolojik molekülün elektrokimyasal olarak birlikte tayin edilebileceğini göstermektedir. GCE-MoSe₂ elektrotunun AA, DA ve UA'ya karşı elektrokatalitik davranışları DPV yöntemi ile de incelenmiştir. Çalışmalar DPV'nin CV'ye göre daha hassas sonuçlar verdiğini göstermiştir [19]. Şekil 2c, -0.2 - +0.6 V potansiyel aralığında 50 mV/s tarama hızında gerçekleştirilen diferansiyel puls voltamogramını göstermektedir. Bu voltamogram incelendiğinde, AA, DA ve UA sırasıyla 10, 178 ve 310 mV'da birbirinden net bir şekilde ayrılan yükseltgenme pikleri sergilemiş ve CV'ye göre yükseltgenme piklerinin daha keskin ve daha yüksek pik akımlarına sahip olduğunu göstermiştir. Bundan dolayı, söz konusu analitlerin elektrokimyasal tayini için DPV yöntemi seçilmiştir.

DA, AA ve UA'nın molekül yapıları ile yükseltgenmiş formları Şekil 3'de gösterilmiştir. DA'nın yükseltgenme prosesi katekol grubunun o-kuinon yapısına dönüşmesine ve AA'nın yükseltgenme prosesi furan halkasına bağlı hidroksil gruplarının karbonile yükseltgenmesine dayanmaktadır. UA'nın yükseltgenmesi ise köprü çift bağının önce hidroksile yükseltgenmesi ve ardından dehidrasyonu şeklinde gerçekleşmektedir. AA, DA ve UA'nın asitlik sabitleri (pKa) sırasıyla 4.10, 8.87 ve 5.40'dır. Bundan dolayı, pH 7 ve altında DA katyonik formda bulunurken, AA ve UA anyonik formda bulunmaktadır. Bu durum, DA'nın MoSe₂ ile modifiye edilmiş elektrot üzerinde DA'nın

elektrostatik etkileşimlerle tutunmasını sağlarken AA ve UA'nın itilmesine neden olabilmektedir. Elektrot üzerinde DA ve UA'nın farklı şekilde etkileşmesi bu iki molekülün yükseltgenme piklerinin birbirinden ayrılmasına ve birlikte tayin edilmelerine olanak vermektedir [20].



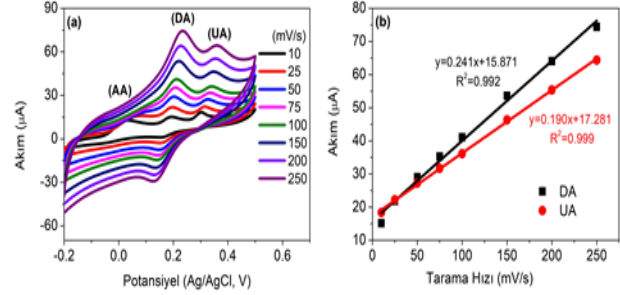
Şekil 2. a) Modifiye edilmiş GCE ve GCE-MoSe₂ elektrotlarının 0.1 M KCl içerisinde hazırlanmış 5.0 mM [Fe(CN)₆]^{3-/4-} çözeltisindeki döngüsel voltamogramları. b) Modifiye edilmiş GCE ve GCE-MoSe₂ elektrotlarının 1.46 mM AA, 0.36 mM DA ve 0.55 mM UA içeren 0.1 M PBS (pH 7.0) çözeltisindeki döngüsel voltamogramları ve c) GCE-MoSe₂ elektrotunun 1.46 mM AA, 0.36 mM DA ve 0.55 mM UA içeren 0.1 M PBS (pH 7.0) çözeltisindeki diferansiyel puls voltamogramı.



Şekil 3. Dopamin, askorbik asit ve ürik asidin molekül yapıları ve yükseltgenme reaksiyonları.

GCE-MoSe₂ elektrotunun elektrokimyasal davranışları ayrıca farklı tarama hızlarında döngüsel voltamogramları alınarak çalışılmıştır. Şekil 4a, 1.46 mM AA, 0.36 mM DA ve 0.55 mM UA içeren pH 7.0 tampon çözeltisinde farklı tarama hızlarında (25-400 mV/s) alınan döngüsel voltamogramları göstermektedir. Tarama hızı arttıkça DA ve UA için anodik ve katodik pik akımlarının arttığı ve tarama hızları ile lineer bir şekilde değiştiği görülmüştür (Şekil 4b). DA ve UA için anodik ve katodik eğrilerin regresyon eşitlikleri ve R² değerleri Şekil 4b'de verilmiştir. Bu durum, GCE-MoSe₂ üzerinde DA ve

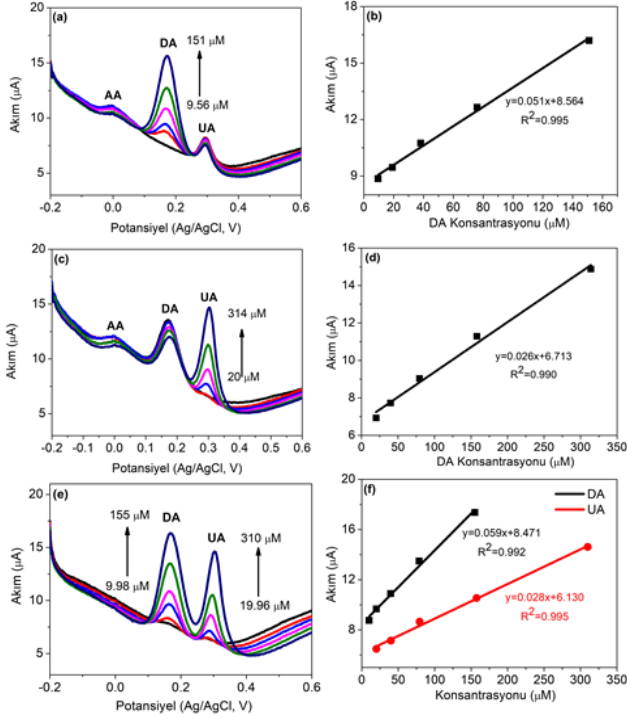
UA'nın elektrokimyasal reaksiyonunun tipik bir adsorpsiyon kontrol prosesi olduğunu göstermektedir [21]. DA ve UA'nın aksine AA'ya ait yükseltgenme pikinin belli bir döngüden sonra kaybolduğu görülmektedir. Bu durum, AA'nın DA ve UA ile karşılaştırıldığında GCE-MoSe₂ elektrotunun yüzeyine farklı şekilde adsorplanması ile açıklanabilmektedir [22]. Bundan dolayı, bu çalışma kapsamında hazırlanan modifiye elektrotun DA ve UA'nın birlikte tayini için kullanılabilirliği görülmektedir.



Şekil 4. Dopamin, (a) GCE-MoSe₂ elektrotunun 1.46 mM AA, 0.36 mM DA ve 0.55 mM UA içeren tampon çözeltide farklı tarama hızlarındaki döngüsel voltamogramları. (b) Anodik ve katodik pik akımlarının tarama hızına karşı eğrileri.

Elektrokimyasal tayin çalışmaları için yukarıda da belirtildiği gibi DPV yöntemi kullanılmıştır. Öncelikle, diğer iki türün konsantrasyonu sabit tutularak ayrı ayrı DA ve UA tayini gerçekleştirilmiştir. Daha sonra DA ve UA eş zamanlı olarak tayin edilmiştir. Şekil 5a 0.2 mM AA ve 0.05 mM UA varlığında DA konsantrasyonunun düzenli bir şekilde artırılmasıyla elde edilen DPV eğrilerini göstermektedir. Şekil 5b ise, Şekil 5a'dan elde edilen akım değerlerinin DA konsantrasyonuna karşı grafiğe geçirilerek oluşturulan kalibrasyon grafiğini göstermektedir. AA ve UA varlığında DA için 9.56 – 151 µM arasında lineer tayin aralığı belirlenmiştir. Benzer şekilde, 0.2 mM AA ve 0.05 mM DA varlığında UA tayini gerçekleştirilmiş (Şekil 5c) ve Şekil 5d'de gösterilen kalibrasyon grafiği elde edilmiştir. AA ve DA varlığında, UA için 20-314 µM arasında lineer tayin aralığı belirlenmiştir. DA ve UA tayini birlikte gerçekleştirilmiş ve elde edilen DPV eğrileri Şekil 5e'de verilmiştir. Şekil 5f ise, DA ve UA'nın eş zamanlı tayinine ait kalibrasyon eğrilerini göstermektedir. Bu grafiklerden yola çıkarak DA için 9.98 – 155 µM arasında ve UA için 19.96 – 310 µM arasında lineer tayin aralıkları belirlenmiştir. Tayin limiti (LOD) ve tayin sınırı (LOQ) parametreleri ise sırasıyla 3S_b/m ve 10S_b/m eşitlikleri kullanılarak belirlenmiştir [23]. Bu eşitliklerdeki S_b kör tampon çözeltisinde gerçekleştirilen ölçümlerin (N=10) standart sapmasını ve m kalibrasyon eğrisinin eğimini ifade etmektedir. Bu eşitliklere göre, LOD değerleri DA için 4.12 µM ve UA için 9.13 µM olarak ve LOQ değerleri DA için 13.76 µM ve UA için 30.42 µM olarak hesaplanmıştır. Daha önce yayınlanan çalışmalara bakıldığında şimdiye kadar dopaminin elektrokimyasal tayini için sadece bir çalışmanın yayımlandığı görülmüştür. Zang vd. [15] tarafından gerçekleştirilen bu çalışmada, MoSe₂/NSG/Au

kompozit malzemesi MIP teknolojisi ile polipirol polimeri kullanılarak elektrotlar hazırlanmıştır. Hazırlanan elektrotlar dopamin sensörü olarak kullanılmış ve 0.05 µM - 1000 µM arasında lineer tayin aralığı ve 0.066 µM tayin limiti değerleri sergilediği belirlenmiştir. Yayınlanan bu çalışmada daha iyi tayin limiti elde edilmesi MoSe₂ ile birlikte grafen ve değerli bir metal olan Au kullanılması ve ayrıca özel bir baskı tekniği kullanılmasıyla açıklanabilmektedir.

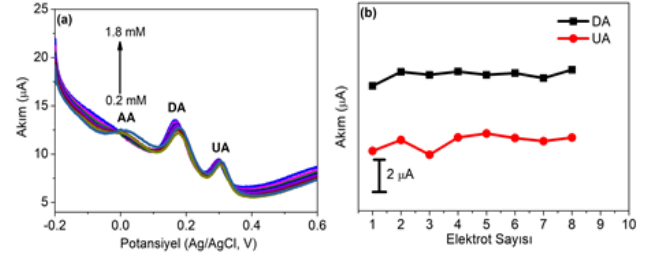


Şekil 5. (a) AA ve UA varlığında DA cevap ve (b) kalibrasyon grafiği, (c) AA ve DA varlığında UA cevap (d) kalibrasyon grafiği, (e) Eş zamanlı DA ve UA cevap ve (f) kalibrasyon grafiği.

Askorbik asitin DA ve UA'nın yükseltgenme pikleri üzerindeki etkisi DPV kullanılarak incelenmiştir. Bunun için, 0.05 mM DA ve 0.05 mM UA içeren tampon çözeltiye AA konsantrasyonu 0.2 - 1.8 mM olacak şekilde ilave edilmiş ve elde edilen DPV eğrileri Şekil 6a'da verilmiştir. Bu şekilden de görüleceği gibi, AA konsantrasyonunun artmasının DA ve UA yükseltgenme pikleri üzerindeki etkisinin çok az olduğu görülmektedir.

Geliştirilen sensörün tekrar üretilebilirliği aynı koşullarda hazırlanan sekiz elektrotla DPV kullanılarak incelenmiştir. Şekil 6b'de, elektrotların 0.08 mM DA ve 0.16 mM UA içeren tampon çözeltide gerçekleştirilen DPV ölçümlerinden alınan yükseltgenme pik akımlarını göstermektedir. Elde edilen bu pik akımlarından RSD değerleri DA için %3.4 ve UA için %4.8 olarak belirlenmiş olup geliştirilen sensörün tekrar edilebilirliğinin oldukça iyi olduğu görülmüştür. Sensörün kararlılığı da DPV kullanılarak incelenmiştir. Bunun için, MoSe₂ ile modifiye edilmiş GCE elektrotun 0.08 mM DA ve 0.16 mM UA içeren tampon çözeltideki DPV ölçümü alındıktan sonra buzdolabında saklanmış ve 15 gün sonra aynı

koşullarda ölçümler tekrar edilmiştir. DPV ölçümlerinden elde edilen yükseltgenme pik akımlarının incelenmesiyle geliştirilen sensörün 15 gün sonunda DA'ye karşı %97.2 ve UA'ye karşı %95.6 oranında başlangıç akımlarını koruduğu gözlenmiştir.



Şekil 6. (a) DA ve UA üzerine AA'nın girişim etkisi. (b) Tekrar üretilebilirlik.

4. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada, hidrotermal yöntem ile 2D-MoSe₂ nanokatmanlar elde edilerek elektrot modifikasyonunda kullanılmıştır. Bu şekilde hazırlanan elektrot, askorbik asit ve ürik asitin eş zamanlı tayininde kullanılmıştır. DPV ile yapılan elektrokimyasal tayin çalışmalarından, geliştirilen sensörün DA için 9.98 - 155 µM arasında ve UA için 19.96 - 310 µM arasında lineer tayin aralığı sergilediği bulunmuştur. Ayrıca, sensör AA girişiminden etkilenmemekte ve aynı zamanda oldukça kararlı ve tekrar üretilebilir özelliğe sahiptir..

Teşekkür

Bu çalışma, TÜBİTAK-121Z321 Nolu proje ile desteklenmiştir.

Etik Beyanı

Bu çalışmada, "Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesi" kapsamında uyulması gerekli tüm kurallara uyulduğunu, bahsi geçen yönergenin "Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiğine Aykırı Eylemler" başlığı altında belirtilen eylemlerden hiçbirinin gerçekleştirilmediğini taahhüt ederiz.

Kaynakça

- [1] Abu Zahed, Md., Barman, S. C., Toyabur, R. M., Sharifuzzaman, Md., Xuan, X., Nah, J., Park, J. Y. 2019. Ex situ hybridized hexagonal cobalt oxide nanosheets and RGO@MWCNT based nanocomposite for ultra-selective electrochemical detection of ascorbic acid, dopamine, and uric acid. Journal of the Electrochemical Society, 166(6), B304-B311.
- [2] Zaidi, S. A. 2018. Development of molecular imprinted polymers based strategies for the determination of Dopamine. Sensors and Actuators, B: Chemical, 265, 488-497.

- [3] Arrigoni, O., De Tullio, M. C. 2002. Ascorbic acid: Much more than just an antioxidant. *Biochimica et Biophysica Acta - General Subjects*, 1569(1-3), 1-9.
- [4] Becker, B. F. 1993. Towards the physiological function of uric acid. *Free Radical Biology and Medicine*, 14(6), 615-631.
- [5] Sheng, Z. H., Zheng, X. Q., Xu, J. Y., Bao, W. J., Wang, F. B., Xia, X. H. 2012. Electrochemical sensor based on nitrogen doped graphene: simultaneous determination of ascorbic acid, dopamine and uric acid. *Biosensors and Bioelectronics*, 34(1), 125-131.
- [6] Jackowska, K., Krysinski, P. 2013. New trends in the electrochemical sensing of dopamine. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 405(11), 3753-3771.
- [7] Atta, N. F., El-Kady, M. F., Galal, A. 2009. Palladium nanoclusters-coated polyfuran as a novel sensor for catecholamine neurotransmitters and paracetamol. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 41(2), 566-574.
- [8] Tukimin, N., Abdullah, J., Sulaiman, Y. 2018. Review-electrochemical detection of uric acid, dopamine and ascorbic acid. *Journal of the Electrochemical Society*, 165(7), B258-B267.
- [9] Kaya, S. I., Kurbanoglu, S., Ozkan, S. A. 2019. Nanomaterials-based nanosensors for the simultaneous electrochemical determination of biologically important compounds: ascorbic acid, uric acid, and dopamine. *Critical Reviews in Analytical Chemistry*, 49(2), 101-125.
- [10] Abouimrane, A., Dambournet, D., Chapman, K. W., Chupas, P. J., Weng, W., Amine, K. 2012. A new class of lithium and sodium rechargeable batteries based on selenium and selenium-sulfur as a positive electrode. *Journal of the American Chemical Society*, 134(10), 4505-4508.
- [11] Eftekhari, A. 2017. Molybdenum diselenide (MoSe₂) for energy storage, catalysis, and optoelectronics. *Applied Materials Today*, 8, 1-17.
- [12] Najafi, L., Bellani, S., Oropesa-Nuñez, R., Ansaldo, A., Prato, M., Del Rio Castillo, A. E., Bonaccorso, F. 2018. Engineered MoSe₂-based heterostructures for efficient electrochemical hydrogen evolution reaction. *Advanced Energy Materials*, 8(16), Art No, 1703212.
- [13] Shu, H., Zhou, D., Li, F., Cao, D., Chen, X. 2017. Defect Engineering in MoSe₂ for the Hydrogen Evolution Reaction: From Point Defects to Edges. *ACS Applied Materials and Interfaces*, 9 (49), 42688-42698.
- [14] Upadhyay, S., Pandey, O. P. 2021. Synthesis of layered 2H-MoSe₂ nanosheets for the high-performance supercapacitor electrode material. *Journal of Alloys and Compounds*, 857, Art No, 157522.
- [15] Zang, Y. J., Nie, J., He, B., Yin, W., Zheng, J., Hou, C. J., Huo, D. Q., Yang, M., Liu, F. M., Sun, Q. Q., Qin, Y. L., Fa, H. B. 2020. Fabrication of S-MoSe₂/NSG/Au/MIPs imprinted composites for electrochemical detection of dopamine based on synergistic effect. *Microchemical Journal*, 156, Art No, 104845.
- [16] Balasingam, S. K., Lee, J. S., Jun, Y. 2015. Few-layered MoSe₂ nanosheets as an advanced electrode material for supercapacitors. *Dalton Transactions*, 44(35), 15491-15498.
- [17] Cogal, S., Ramani, S., Bhethanabotla, V. R., Kuhn, J. N. 2021. Unravelling the origin of enhanced electrochemical performance in CoSe₂-MoSe₂ interfaces. *ChemCatChem*, 13(8), 2017-2024.
- [18] Guo, W., Chen, Y., Wang, L., Xu, J., Zeng, D., Peng, D. L. 2017. Colloidal synthesis of MoSe₂ nanonetworks and nanoflowers with efficient electrocatalytic hydrogen-evolution activity. *Electrochimica Acta*, 231, 69-76.
- [19] Cogal, S. 2018. Electrochemical determination of dopamine using a Poly(3,4-Ethylenedioxythiophene)-reduced graphene oxide-modified glassy carbon electrode. *Analytical Letters*, 51(11), 1666-1679.
- [20] Cheng, J., Wang, X., Nie, T., Yin, L., Wang, S., Zhao, Y., Wu, H., Mei, H. 2020. A novel electrochemical sensing platform for detection of dopamine based on gold nanobipyramid/multi-walled carbon nanotube hybrids. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 412(11), 2433-2441.
- [21] Li, R., Liang, H., Zhu, M., Lai, M., Wang, S., Zhang, H., Ye, H., Zhu, R., Zhang, W. 2021. Electrochemical dual signal sensing platform for the simultaneous determination of dopamine, uric acid and glucose based on copper and cerium bimetallic carbon nanocomposites. *Bioelectrochemistry*, 139, Art No, 107745.
- [22] Kim, B. K., Lee, J. Y., Park, J. H., Kwak, J. 2013. Electrochemical detection of dopamine using a bare indium-tin oxide electrode and scan rate control. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 708, 7-12.
- [23] Raghu, P., Reddy, T. M., Gopal, P., Reddaiah, K., Sreedhar, N. Y. 2014. A novel horseradish peroxidase biosensor towards the detection of dopamine: A voltammetric study. *Enzyme and Microbial Technology*, 57, 8-15.

İnsansız Hava Araçları (İHA) ile Arkeolojik Alanlarda Belgeleme: Sarıkaya Roma Hamamı (Therma Basilica) Örneği

Emine Saka AKIN¹, Alperen ERDOĞAN²

¹Yozgat Bozok Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, 66200, Yozgat, Türkiye

²Yozgat Bozok Üniversitesi, Şefaati Meslek Yüksek Okulu, Mimarlık ve Şehir Planlama Bölümü, 66200, Yozgat, Türkiye

(Alınış / Received: 19.12.2021, Kabul / Accepted: 22.06.2022, Online Yayınlanma / Published Online: 20.12.2022)

Anahtar Kelimeler

Arkeolojik Alan,
İHA Fotogrametrisi,
Belgeleme,
Koruma,
Sarıkaya Roma Hamamı

Öz: Arkeolojik alanlarda belgeleme çalışmaları son yıllarda kullanılan yeni teknikler sayesinde daha kolay, hassas, ekonomik ve kısa sürede yapılmaktadır. Bu çalışmada bu tekniklerden İnsansız Hava Araçları (İHA) Fotogrametrisinin arkeolojik alanlarda belgeleme çalışmalarında kullanılmasının Yersel Lazer Tarama (YLT) tekniğine göre avantajlarının tartışılması amaçlanmıştır. Yozgat İli, Sarıkaya İlçe merkezinde bulunan ve M.S. 1. Yüzyıla dayandırılan Sarıkaya Roma Hamamı çalışmada örnek alan seçilmiştir. İHA ile belgelemeye yönelik kazı alanında uçuş öncesinde araziye Yer Kontrol Noktaları (YKN) işaretlenmiş ve GPS (Global Positioning System) ile koordinatlandırılmıştır. İHA ile elde edilen görüntüler ile çalışma alanının ortofotosu ve nokta bulutu verileri Structure From Motion (SFM) tekniği ile üretilerek Sarıkaya Roma Hamamı'nın Üç Boyutlu (3B) modeli yaklaşık 4 cm. hassasiyetinde üretilmiştir. Bu veriler aynı alanda daha önce YLT tekniği ile yapılan verilerle karşılaştırılmış ve birbirleri ile benzer hassasiyete ulaştığı görülmüştür. Sonuç olarak İHA Fotogrametri tekniğinin arkeolojik alana zarar vermeden kullanılabilmesi, kısa zaman, az uzman gerektirmesi ve daha ekonomik olması YLT tekniğine göre avantajlı yönleridir. Zengin bir kültürel mirasa sahip Türkiye'de pek çok eserin ivedilikle belgelenmesinde İHA Fotogrametri tekniği büyük katkı sağlayacaktır.

Documentation in Archaeological Sites with Unmanned Aerial Vehicles (UAV): The Case of Sarıkaya Roman Bath (Therma Basilica)

Keywords

Archaeological Site
UAV Photogrammetry,
Documentation,
Conservation,
Sarıkaya Roman Bath

Abstract: Documentation studies in archaeological sites are made easier, more sensitive, economical and in a short time thanks to the new techniques used in recent years. In this study, it is aimed to discuss the advantages of using Unmanned Aerial Vehicles (UAV) Photogrammetry in documentation studies in archaeological sites compared to Terrestrial Laser Scanning (TLS) technique. In the study, Sarıkaya Roman Bath, dating back to the 1st century (A.D.), was chosen as a sample area. Ground Control Points were marked on the ground before the flight in the excavation area for documentation with UAV and coordinated with Global Positioning System (GPS). The orthophoto of the study area and point cloud data obtained with the Structure From Motion (SFM) technique are produced with the images obtained by the UAV, and the Three-Dimensional (3D) model of Sarıkaya Roman Bath is approximately 4 cm. manufactured with precision. These data were compared with the data made with the TLS in the same area before and it was seen that they reached similar sensitivity with each other. As a result, the UAV Photogrammetry technique is advantageous compared to the TLS technique, which does not harm the archaeological site, requires less time, requires less specialist, and is more economical. In Turkey, which is rich in cultural heritage, UAV Photogrammetry technique will make a great contribution to the urgent documentation of many works, that are on the verge of extinction due to the lack of resources.

1. Giriş

Tarihi yapılar ve arkeolojik alanların korunması kavramı dünyada bilimsel bir uğraş olarak 19. Yüzyılda ele alınmış ve dünyadaki miras alanlarının korunması amacıyla uluslararası bir hareket yaratma fikri de I. Dünya Savaşı'ndan sonra ortaya çıkmıştır. Atina'da 1931 yılında *I. Uluslararası Tarihi Anıtlar Mimar ve Teknisyenler Konferansı (Atina Konferansı)* ile uluslararası bir boyut kazanmıştır. İkinci Dünya Savaşı sonrası çıkan ekonomik, teknik, sosyal ve toplumsal pek çok sorunun üstesinden gelebilmek için Birleşmiş Milletler (BM) bünyesinde kültürel ve tarihi mirasın korunması için UNESCO (1946), daha sonra ICCROM (1959), ICOMOS (1965) kurulmuştur. Uluslararası boyuta taşınan koruma kavramı sözleşmeler, tüzükler, ilke kararları ile geliştirilmiş ve genişletilmiştir. Venedik Tüzüğü (1964) bu konuda yapılan en kapsamlı tüzük olup daha sonra oluşturulan koruma ile ilgili sözleşme, tüzük, ilke kararları ve yasalara temel olmuştur [1]. Venedik Tüzüğü ile koruma ve bakım çalışmalarında tüm modern teknik yöntemlerle birlikte, doğa bilimleri yoluyla ispatlanmış ve pratik deneyimlerle garanti edilmiş modern konservasyon yöntemlerinin kullanılmasına veya modern teknik önlemlerin alınmasına izin verilmiştir.

Türkiye'de 1973 yılında çıkarılan 1710 sayılı yasaya kadar arkeolojik alanların çevresiyle birlikte korunmasını sağlayacak koruma ölçütleri tanımlanmamıştır. Daha sonra 1999'da "Arkeolojik Mirasın Korunmasına İlişkin Avrupa Sözleşmesi"ni (Valetta) imzalayan Türkiye halen bu belgenin öngördüğü ilkeleri izlemeye çalışmaktadır [2].

Uzun süre doğa ve insan tahribatı altında kalan arkeolojik alanların belgelenmesinin (rölöve) güvenli, ekonomik, etkin ve hızlı bir şekilde yapılamaması en önemli koruma sorunlarından biridir. Arkeolojik alanlarda belgeleme işlemi uzmanlık, teknik ve maliyet isteyen bir çalışma olmasının yanı sıra arazi şartları ve zararlı hayvanlardan dolayı da tehlikeli bir çalışmadır. Ayrıca arkeolojik alanların bakım ve onarımları ile buluntuların saklanması yükümlülüğünün kazıyı yapan arkeologlara verilmesine karşın yapılacak belgeleme (rölöve), sağlamlaştırma, malzeme ile ilgili sorunların aşılması da disiplinler arası bir ekip çalışmasını gerektirmektedir. Arkeologlar mimarlık, strüktür ve zemin mühendisliği, harita mühendisliği, malzeme, kimya gibi bilim dalları alanındaki uzmanlarla iş birliği içerisinde olmalıdır [1].

Türkiye'de 2002 yılında 6.812 olan sit sayısı 2021 yılı sonunda 22.233 olmuştur. Yıllara göre oldukça artış gösteren bu sayılara rağmen 2021 yılı itibari ile sit alanlarının 21.512 [3] tanesi olan arkeolojik sit alanında 670 arkeolojik faaliyet [4] yürütülmüştür. Bu faaliyetlerde gelişen teknolojilerin kullanılması

daha hassas, hızlı ve ekonomik belgeleme çalışmalarının yürütülmesine katkı sağlayacaktır.

Günümüzde klasik bilgisayar tabanlı Üç Boyutlu (3B) modelleme tekniklerinin yanı sıra fotogrametrik ve mesafe ölçme tabanlı tekniklerde 3B modelleme çalışmalarında da kullanılmaktadır. Fotogrametrik ve mesafe ölçme tabanlı ölçme sistemleri gerçek obje geometrisinin belirlenmesinin yanı sıra objenin coğrafi referansı ile modellenmesi imkânı da sağlamaktadır. Ayrıca bu teknolojiler objenin gerçek görüntüsü ile alım yaptıkları için gerçek görüntünün doku olarak modellere geçirilmesi konusunda daha avantajlı olanaklar sağlamaktadır [5]. Bu bağlamda fotogrametri özellikle yeni gelişen görüntü işleme teknikleri ve hem Yersel hem de İHA bazlı uygulamaları ile mimari, arkeolojik ve tarihi eserlerin 3B modelleme çalışmalarında avantajlı hale gelmiştir [6]. Günümüzde yersel fotogrametrinin 3B (Üç Boyutlu) belgeleme çalışmalarında sıklıkla kullanılmasına rağmen özelliğiyle yapıların üst cephelerinin fotoğraflarının çekilememesinden dolayı eksiklikleri bulunmaktadır. Bu eksikliğin giderilmesi konusunda tüm özel sektör ve kamu kuruluşlarında da yaygın olarak kullanılan İHA fotogrametrisi her alanda önemli avantajlar sağlamaktadır.

İHA fotogrametrisi, genel olarak bir hava aracına entegre edilen kamera ile çekilmiş fotoğraflar kullanılarak yapılan fotogrametri sürecidir [7]. İHA Fotogrametrisi Yer Kontrol Noktalarının (YKN) yerleştirilmesi ve detaylar üzerine birkaç fotoğraf çekimi yapılması dışında arkeolojik alana girilmeden, esere dokunmadan rölövelerinin çıkarılmasına ve 3B modelleme yapılmasına imkân vererek diğer tekniklere göre daha avantajlı olmaktadır. Böylece arkeolojik alanın rölövesinin oluşturulmasının yanı sıra 3B modelleme ile alanı detaylıca açıklayan, anlatım gücü yüksek bir sunuşta sağlayacaktır. Güçlü bir anlatım tarihi esere ait dağınık parçaların bir araya getirilmesi olarak adlandırılan anastylis uygulamalarında da [1] önemli rol oynayacaktır.

Bu çalışmada arkeolojik sit alanı içinde bulunan ve inşa edildiği günden bu yana termal suyunun hala hamama ulaştığı iki yapıdan biri- diğeri İngiltere Bath kentinde bulunan Roma Hamamı- olan Sarıkaya Roma Hamamı seçilmiştir. Bu çalışmada arkeolojik alanların koruma, düzenleme, restorasyon, konservasyon ve çevre düzenleme projelerinin yapılması için gerekli belgelemenin (rölöve) güvenli, ekonomik, etkin ve hızlı bir şekilde yapılmasında İHA teknolojisinin Yersel Lazer Tarama (YLT) tekniğine göre avantajlarının tartışılması amaçlanmıştır.

2. Materyal ve Metot

Çalışmada kullanılan materyallerin elde edilebilmesi için kurum ve kuruluşlardan gerekli izinler alınmıştır. Bu doğrultuda; Yozgat Sarıkaya İlçesi Roma Hamamı'nda bilimsel çalışma ve fotoğraf çekimi için

26.02.2021 tarihinde Yozgat Valiliği, İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü, Kültür İşleri Şube Müdürlüğü'nden ve 2013 yılında Yersel Tarama Tekniği ile Çağ Firmasına yaptırılan belgeleme çalışmalarının sonuçlarının kullanılması için 08.06.2021 tarihinde Çağ Firması ve 09.11.2021 tarihinde Yozgat Müzesi'nden gerekli izinler alınmıştır.

2.1. Materyal

Sarıkaya Roma Hamamı Yozgat İli Sarıkaya İlçe merkezinde bulunan Roma Dönemi'ne ait termal bir

hamamdır. Kent merkezi deniz seviyesinden 1170 metre yükseklikte, genellikle dalgalı düzlüklerin geniş yer tuttuğu bir plato üzerinde kurulmuştur. İlk yerleşimi M.S. 1. Yüzyıla dayandırılan kent merkezinde çok sayıda termal kaynakların ve tarım ve hayvancılığa uygun arazilerinin olması nedeniyle, bu kent tarih boyunca sürekli bir yerleşim yeri olmuştur. Günümüz Sarıkaya İlçe merkezinde bulunan bu yerleşim Roma Döneminde Aqua Sarvenae, Geç Roma Dönemi'nde ise Therma Basilica olarak isimlendirilmiştir [8], (Şekil 1).



Şekil 1. Sarıkaya Roma Hamamı Hava Fotoğrafı [9, 10]

İmparatorluk ya da kentin ileri gelenleri tarafından yaptırılan bu termal hamamlardan Sarıkaya'da bulunan Thermae Basilica hamamının Roma Krallarından biri tarafından inşa ettirildiği öne sürülmektedir. Roma Kralının, hamamı kızının amansız hastalığı nedeniyle inşa ettirdiği ve bu hamam sayesinde kızının iyileştiği söylenilmektedir. Bu nedenle de Kral Kızı Roma Hamamı olarak da adlandırılmaktadır. Yine Kurt Bittel tarafından da Sarıkaya Roma Hamamı'nın Terzili Hamam-Thermae Basilica isimlerini taşıdığı ifade edilmektedir [11; 12].

Fransız gezgin Chantre 1893-1894 yılları arasında Anadolu'da yapmış olduğu gezilerde Sarıkaya Roma Hamamı'nın cephesinin çizimlerini yaparak hamamla ilgili ilk bilgileri modern kaynaklara geçirmiştir [13; 8]. Daha sonra ise Alişar Höyük kazılarını yürüten Dr. Von Der Osten'in 1927-1932 yıllarında yaptığı kazılar üzerine yazdığı "Alişar Höyük" kitabında Sarıkaya Roma Hamamı'na ait ilk fotoğrafları, cephe çizimleri ve rekonstrüksiyon denemesi yer almıştır. Dr. Von Der Osten'in 1932 yılında görevlendirdiği Richard C. Haines başkanlığında Sarıkaya Roma Hamamı'nda ilk kazılar gerçekleştirilmiştir. Yapı eklenti ve değişikliklerle Geç Roma, Anadolu Selçuklu ve Osmanlı dönemlerinde de kullanılmıştır. Ancak hamam

Cumhuriyet Dönemi'nde yapılan alt yapı uygulamaları sonucunda oldukça tahribe uğramıştır [8]. Sarıkaya Roma Hamamı 1970'li yıllara kadar kalıntıları üzerine yapılan eklentilerle hamam olarak kullanılmıştır [14]. Böylece hem yapı üzerine yapılan eklentiler hem de Sarıkaya kentinin zemin kotunun yükselmesi ile Sarıkaya Roma Hamamı'nın batı cephesi dışında kalan kısımları toprak altında kalmıştır. Sarıkaya Roma Hamamı'nın bulunduğu alan 1987 yılında taşınmaz kültür varlığı olarak tescil edilmiştir. Hamamın üzerini uzun yıllardır örten dolgu toprak 2010 yılında Yozgat Müzesi kontrolünde temizlenmeye başlanmış ve kazı çalışmaları başlatılmıştır. Yapılan kazı çalışmaları ile 2013 yılında da sit alanı olarak belirlenmiştir. Bu kazılar 2015 yılına kadar devam ettirilmiş, etrafında bulunan yapılar kamulaştırılarak hamam kısmen gün yüzüne çıkarılmıştır. Günümüzde Roma Hamamı'nın büyük bölümü üzerinde olduğu düşünülen ve halen işletilmekte olan birçok modern hamam yapısı bulunmaktadır.

2.2. Metot

YKN'lerin uçuş yapılmadan önce koordinatlarının ölçülmesi gerektiğinden YKN'lerin koordinatları

ölçülmüştür. Bu uygulamada YKN'ler araziye geçici olarak işaretlenebilen ve çalışma bittikten sonra arazi de hiçbir hasar bırakmadan kaldırılabilen kırmızı ve beyaz renkte boyanmış 25x25 cm ebatlarında brandalar (Şekil 2.a) ile işaretlenmiştir. Fotogrametrik ürünlerin kalitesini değerlendirmek, birçok değişkenin (kamera özellikleri, hava şartları, bindirme oranı, kullanılan YKN sayısı, İHA teknik özellikleri gibi) dikkate alınmasını gerektirdiğinden YKN'lerin ölçülmesi karmaşık ve dikkat isteyen bir işlemdir. [15]. YKN'lerin koordinatlarının (Tablo 1) ölçümü için Hi-Target V90 GNSS alıcısı (Şekil 2.b) kullanılmıştır ve karesel ortalama hataları hesaplanmıştır.



Şekil 2. Yer Kontrol Noktası (a), GPS (b)

Tablo 1. YKN Koordinatları ve Hataları (Pix4D Sonuç Raporu)

YKN No	Y(m)	X(m)	Z(m)	Y(mm)	X(mm)	Z(mm)
SRH1 (3D)	446353,728	4373668,306	1141,369	-5	-2	9
SRH2 (3D)	446359,180	4373653,663	1141,329	-1	-3	-2
SRH3 (3D)	446378,075	4373649,853	1141,229	11	-12	-9
SRH4 (3D)	446368,757	4373629,143	1140,721	4	1	-6
SRH5 (3D)	446367,810	4373613,316	1142,798	7	6	4
SRH6 (3D)	446352,532	4373618,246	1140,456	8	6	9
SRH7 (3D)	446339,149	4373628,302	1139,908	-9	6	-7
SRH8 (3D)	446342,054	4373644,140	1139,923	-10	5	-16
SRH9 (3D)	446354,924	4373645,896	1140,533	-4	-11	17
SRH10 (3D)	446355,216	4373622,069	1142,278	-3	4	1
KOH				7,06	6,53	9,33

Uçuş, DJI Mavic Pro 2 (Şekil 3) İHA ile yapılmıştır. Henüz otonom uçuş gerçekleştirebilen bir yazılım olmaması uçuşun manuel kontrol ile yapılmasını gerektirmiştir. İHA'dan çekilen görüntülerin büyük ölçüde bindirmeli olmasına dikkat edilmiştir.



Şekil 3. (a) DJI Mavic Pro 2, (b) Faro Focus Lazer Tarayıcı

İHA'dan elde edilen görüntüler ile Pix4D yazılımından nokta bulutu ve ortofotolar üretilmiştir. Pix4D yazılımı çizim yapmak ve rölöve ölçülerini almak için de kullanılmıştır.

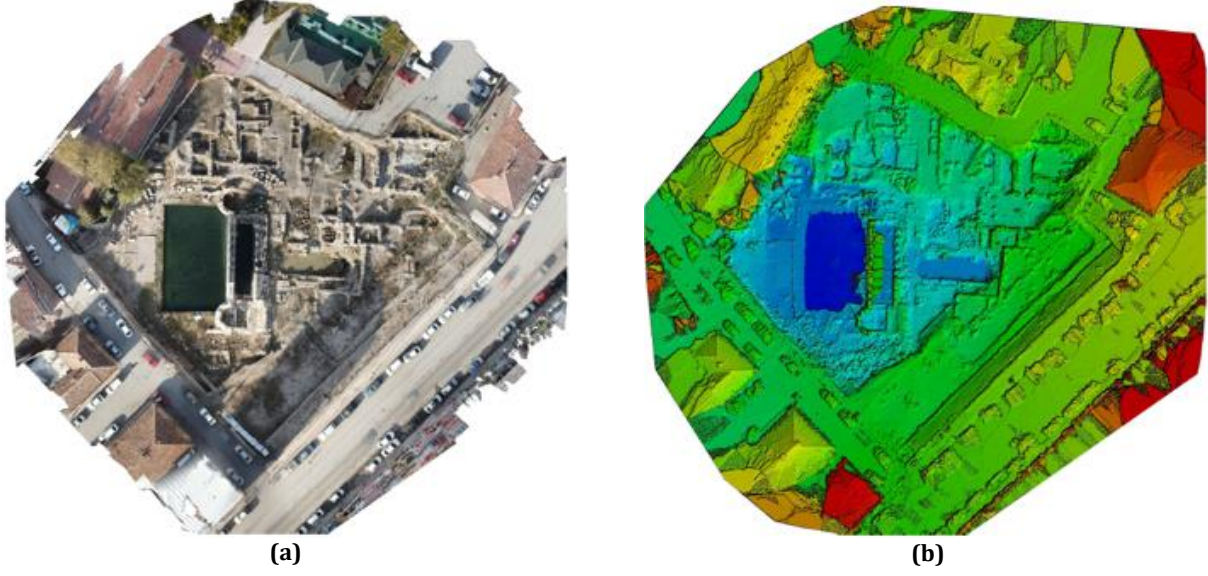
Çalışmada Faro Focus Lazer Tarayıcı yardımı ile üretilen tarama verisinden hazırlanan vaziyet planları kullanılmıştır. DJI Mavic Pro 2 ile görüntü alınarak Structure From Motion (SFM) tekniği ile 3B nokta bulutları üretilmiştir. SFM Tekniği çeşitli bilgisayar programları tarafından kullanılmaktadır. Çalışmada Pix4D Mapper kullanılmıştır. Daha sonra YLT tekniği ile mevzi koordinatlı üretilmiş veriler Netcad programında dönüştürülmüş ve çalışmadan elde edilen ortofoto ile karşılaştırılmıştır.

Structure From Motion Tekniği (SFM) asıl olarak Stereoskopik Fotogrametri ile aynı temellere dayanmaktadır [16]. Her iki teknikte üç boyutlu yapısal model birbiri ile kesişen bir seri görüntünün işlenmesi ile elde edilebilmektedir. Fakat SFM tekniğinde üç boyutlu geometrik modelin kurulabilmesi için kamera pozisyonu ile geometrik model üzerindeki hedeflerin koordinatlarının bilinmesine gerek yoktur [17]. Üç boyutlu bir model oluşturmak için, bir alan veya nesnenin büyük bir örtüşme (yaklaşık %80) olan, farklı açılarda ve farklı mesafelerde çekilmiş bir dizi görüntüsüne ihtiyaç vardır [18]. SFM tekniğinde kullanılan koordinat sistemi görüntü uzayı veya nesne uzayıdır. Oluşan üç boyutlu nesne uzayının gerçek konumuna ve boyutuna getirilebilmesi için, en az üç adet YKN'ye ihtiyaç vardır [16].

3. Bulgular ve Değerlendirme

Bu çalışmada Sarıkaya Roma Hamamı'nın bugüne kadar genişletilen kazı alanının ve arazinin ortofotosu, çalışma alanının nokta bulutu verileri üretilerek (Şekil 4a, 4b) çevresinin 3B modeli (Şekil 5) yapılarak rölöve için gerekli bilgilere ulaşılmıştır (Şekil 6).

Tablo 1'de model üretiminde kullanılan 10 adet yer kontrol noktasının hataları gösterilmiştir. Bu hatalar alanda daha önce koordinatları ölçülen sabit bir nokta olmadığı için GPS Cors-Tr yöntemi ile hesaplanmıştır.



Şekil 4. (a) Ortofoto, (b) Dijital Yükseklik Modeli



Şekil 5. Görüntü giydirilmiş 3B Model



Şekil 6. Nokta bulutundan üretilen ortoplan görüntüsü ve rölöve çizimi

Belirlenen yer kontrol noktalarının haricinde çalışma alanı içerisinde kontrol amaçlı olarak, arazide kolayca ayırt edilebilen köşe ve kenarlardan alım yapılmıştır. Bu noktaların koordinatları Global Navigation Satellite Systems (GNSS) cihazı ile ölçülmüştür. Bu koordinatlar referans olarak kabul edilmiştir. Doğruluk analizinde karesel ortalama hata denklemleri kullanılmıştır. Fotogrametrik projenin doğruluğu geo-referanslamada (modelin konumlandırılması) kullanılmayan kontrol noktaları

kullanılarak hesaplanmıştır ve Karesel Ortalama Hataları (KOH) da Tablo 2 ve Tablo 3 de gösterilmiştir. (YXZ); her bir noktanın GNSS alıcı ile ölçülen koordinatları, (yxz); nokta bulutu üzerinden ölçülen nokta koordinatları, (n); nokta sayısını belirtmektedir [19]. Arazinin topoğrafik yapısı ve arazi üzerinde bulunan tüm yapılar bu modelde 3,75 cm hassasiyetinde gösterilebilmektedir (Tablo 3).

Tablo 1. Kontrol Noktaları (KN) GNSS ve Model Koordinatları

KN No	Y(m)	X(m)	Z(m)	y(m)	x(m)	z(m)
KON1	446364,794	4373630,650	1141,557	446364,808	4373630,666	1141,578
KON2	446363,191	4373652,607	1141,707	446363,201	4373652,577	1141,678
KON3	446371,670	4373629,240	1140,720	446371,701	4373629,268	1140,679
KON4	446397,130	4373634,770	1143,050	446397,108	4373634,784	1143,069
KON5	446337,050	4373634,340	1140,030	446337,063	4373634,331	1140,045
KON6	446374,150	4373654,690	1142,080	446374,159	4373654,702	1142,103

$$KOH_y = \frac{\sum_{i=1}^n (Y - y)^2}{n} \quad (1)$$

$$KOH_x = \frac{\sum_{i=1}^n (X - x)^2}{n} \quad (2)$$

$$KOH_z = \frac{\sum_{i=1}^n (Z - z)^2}{n} \quad (3)$$

$$KOH_z = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y - y)^2 + \sum_{i=1}^n (X - x)^2 + \sum_{i=1}^n (Z - z)^2}{n}} \quad (4)$$

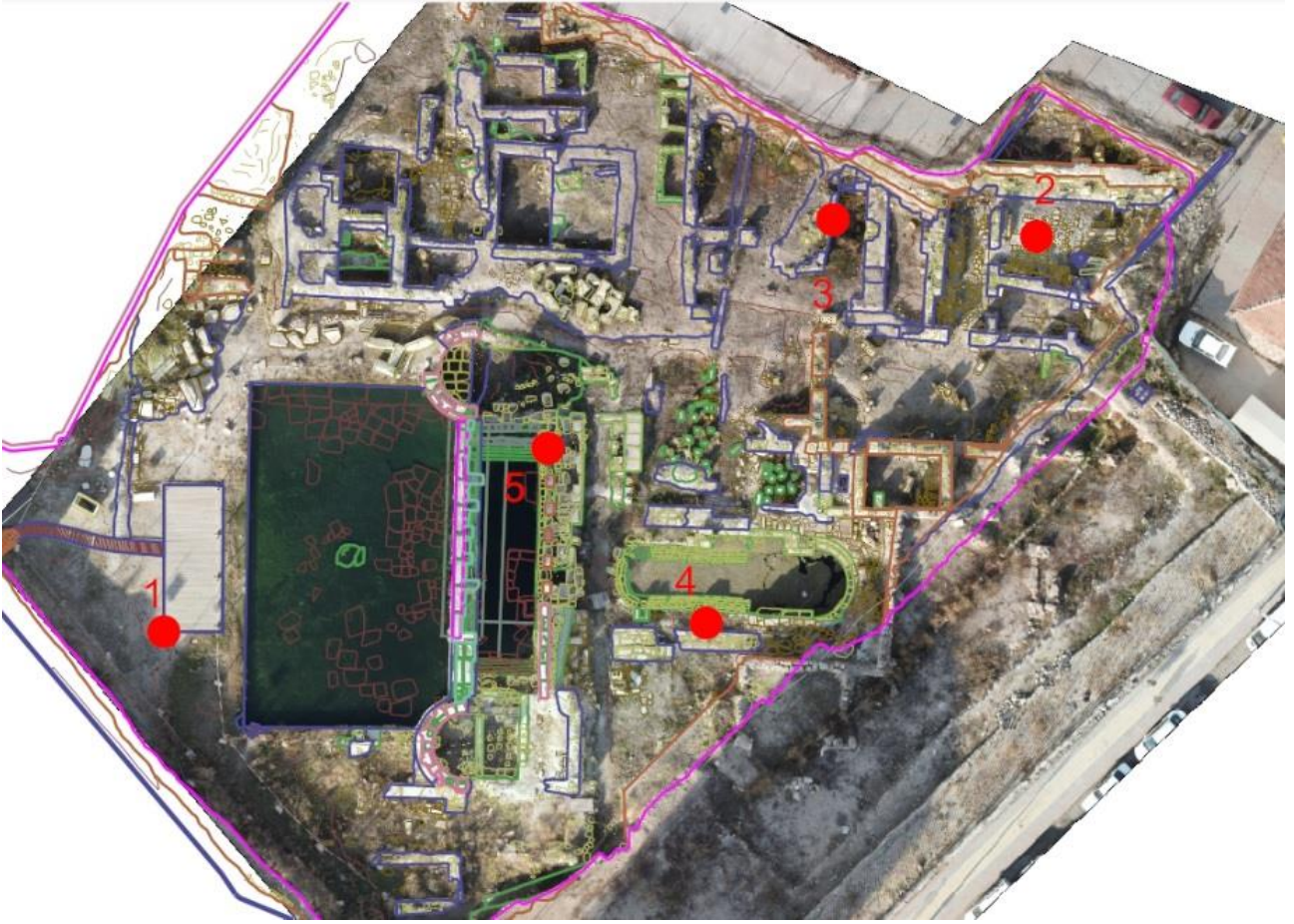
Tablo 3. Kontrol Noktaları (KN) Hataları

KN No	Vy(cm)	Vx(cm)	Vz(cm)	VyVy	VxVx	VzVz
KON1	1,4	1,6	2,1	1,96	2,56	4,41
KON2	1	-3	-2,9	1	9	8,41
KON3	3,1	2,8	-4,1	9,61	7,84	16,81
KON4	-2,2	1,4	1,9	4,84	1,96	3,61
KON5	1,3	-0,9	1,5	1,69	0,81	2,25
KON6	0,9	1,2	2,3	0,81	1,44	5,29

KOH=3,75 cm

Yapılan çalışmalarla Sarıkaya Roma Hamamı'nın halihazırda İHA'dan elde edilen görüntüler yardımı ile ulusal koordinat sisteminde üretilen ortofoto ile elde edilmiştir. Daha sonra üretilen ortofoto Yozgat Müze Müdürlüğü'nün 2013 yılında sonlandırdığı kazı çalışmaları esnasında Çağ Restorasyon firmasına hazırlattığı YLT verisi ve çizimleri karşılaştırılmıştır (Şekil 7). Mevzii koordinat sistemi kullanılarak üretilen YLT verileri öncelikle ulusal koordinat sistemine Netcad'de dönüştürülmüş ve ortofoto ile

çakıştırılması yapılmıştır. İHA fotogrametrisi (y, x) ile YLT (Y, X) tekniği verilerinin karşılaştırılmasında kazı alanında bulunan keskin köşe noktaları (Şekil 7) kullanılmıştır. Elde edilen verilerin yatay düzlemde birbiri ile $\pm 0,7$ cm (Tablo 4) hassasiyetinde çakıştığı görülmüştür. Ancak YLT tekniği ve İHA fotogrametrisi yönteminin yükseklik referansları farklı sistemde olduğu için yüksekliklerinin kontrolü yapılamamıştır. Böylece İHA fotogrametrisi tekniği açık kazı alanlarında kullanılabilirliğini kanıtlamıştır.



Şekil 7. Ortofoto ile sayısal harita çakıştırılmış görüntü

Tablo 4. YLT ve İHA Verilerinin Karşılaştırılması (Y, X-YLT / y, x-İHA Verileri)

Nokta No	Y (m)	X (m)	Y (m)	X (m)	Vy(cm)	Vx(cm)
1	446336,981	4373629,103	446336,988	4373629,102	-0,7	0,1
2	446396,318	4373655,976	446396,323	4373655,970	-0,5	0,6
3	446382,458	4373657,114	446382,474	4373657,097	-1,6	1,7
4	446373,858	4373629,690	446373,847	4373629,678	1,1	1,2
5	446363,069	4373641,557	446363,084	4373641,562	-1,5	-0,5

KOH=0,7 cm

4. Tartışma ve Sonuç

Son yıllarda tarihi, arkeolojik, kültürel ve mimari mirasın korunması gerekliliği konusunda yapılan olumlu çalışmalar bu alanların korunmasına yönelik dikkatleri de arttırmıştır. Anadolu toprakları üzerinde bulunan Türkiye, tarih öncesi devirlerden günümüze kadar pek çok medeniyetin izinlerini barındırır. Tarihi, arkeolojik, kültürel ve mimari mirasın bu denli zengin olması nedeniyle bu alanların çalışılması, belgelenmesi ve korunmasına yönelik projelerinin yapılması da ekonomik ve teknik açılardan güçlük oluşturmaktadır. Bu güçlüklerin aşılmasında yaşanan zorluklar bu alanların yok olmasına neden olmaktadır. Yok olmaya tehlikesi ile karşı karşıya kalan bu değerlerin önerilen belgeleme tekniğiyle belgelenmesi, ekonomik ve kısa süre içinde

tamamlanabilecek bir koruma müdahalesi olması bakımından gereklidir.

Bu çalışma tarihi, arkeolojik, kültürel ve mimari mirasın korunmasına yönelik yapılacak tüm çalışmalara özellikle hızlı ve ekonomik bir belgeleme tekniği sunması açısından önemlidir. Çalışma sonucunda elde edilen veriler yersel ölçme tekniğiyle karşılaştırıldığında 3,75 cm; YLT verileri ile karşılaştırıldığında ise 1 cm'nin altında hassasiyet elde edilmiş olup İHA'nın belgelemedeki avantajları şu şekilde sıralanmıştır;

- Arkeolojik alana sadece fotoğraf çekimi dışında girilmediğinden belgelemenin korunacak yapıya dokunmadan ve zarar vermeden yapılmasına,

- YLT Tekniği kullanılarak yapılan belgeleme çalışmalarında nokta bulutlarının üretilmesinin yoğun arazi ve ofis çalışmaları nedeniyle daha fazla uzman ekip gerektirmektedir. İHA teknolojisi ile arazi ve ofis çalışması için en fazla iki uzman kişinin bu çalışma için yeterli olmasına,
- Arazi çalışmaları sırasında zor arazi şartları ve zararlı hayvan kaynaklı tehditlere karşılık, belgeleme çalışmalarında insan güvenliğinin sağlanmasına,
- Arazi çalışmalarının 2-3 gün içinde tamamlanması, uzun süreli arazi çalışması gerektirmemesine
- Arazi ve ofis çalışmalarında fazla araç ve ekipmana ihtiyaç duyulmamasına, böylece daha az uzman ekip, ekipman ve daha kısa süre ile maliyetin düşmesine,
- İHA fotogrametri tekniği ile belgelenen yapının Coğrafi Bilgi Sistemi'ne (CBS) kolayca entegre edilebilecek bir altlık oluşturulmasına,
- Oluşturulan 3B modeller ile güçlü bir anlatım ifadesine kavuşacak arkeolojik alanda yapılacak her türlü projede ve anastylosis çalışmalarında daha hassas ve doğru verilerin kullanılmasına olanak verecektir.

Sonuç olarak İHA teknolojisinin bu bağlamda kullanılması Türkiye'de yapılan koruma çalışmalarına yapılacak yatırımların daha ekonomik olmasına ve sonrasında daha fazla alanın korunmasına yönelik yatırımların artmasına neden olarak tarihi, arkeolojik, kültürel ve mimari mirasın korunarak geleceğe aktarılmasına daha çok katkı sağlayacaktır. Ayrıca tarihi ve arkeolojik alanlarda koruma çalışmalarında bilim ve teknolojinin olanakları kullanılarak elde edilen somut ve hassas veriler gelecekte yapılacak tartışmaların önüne geçecektir.

Teşekkür

Bu çalışma 6602b-MÜH/20-401 nolu proje ile Yozgat Bozok Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri kapsamında desteklenmiştir. Yozgat Bozok Üniversitesi Bilimsel Araştırma Komisyonuna, Yozgat Valiliği, İl Kültür ve Turizm Müdürlüğüne, Yozgat Müzesine ve Çağ Firmasına teşekkür ederiz.

Etik Beyanı/Declaration of Ethical Code

Bu çalışmada, "Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesi" kapsamında uyulması gerekli tüm kurallara uyulduğunu, bahsi geçen yönergenin "Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiğine Aykırı Eylemler" başlığı altında belirtilen eylemlerden hiçbirinin gerçekleştirilmediğini taahhüt ederiz.

Yozgat Sarıkaya İlçesi Roma Hamamı'nda bilimsel çalışma ve fotoğraf çekimi için 26.02.2021 tarihinde Yozgat Valiliği, İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü, Kültür İşleri Şube Müdürlüğü'nden ve 2013 yılında Yersel Tarama Tekniği ile Çağ Firmasına yaptırılan belgeleme çalışmalarının sonuçlarının kullanılması için 08.06.2021 tarihinde Çağ Firması ve 09.11.2021 tarihinde Yozgat Müzesi'nden gerekli izinler alınmıştır.

Kaynakça

- [1] Ahunbay Z, 2004. Tarihi Çevre Koruma ve Restorasyon, 3. Baskı, Yapı Yayın-28, İstanbul.
- [2] Ahunbay, Z. 2010. Arkeolojik Alanlarda Koruma Sorunları Kuramsal ve Yasal Açılardan Değerlendirme, Tübaked 8, 103-118.
- [3] Anonim, 2022. <https://kvmgm.ktb.gov.tr/TR-44973/turkiye-geneli-sit-alanlari-istatistikleri.html> (Erişim tarihi 27.05.2022)
- [4] Anonim, 2022. <https://www.trthaber.com/foto-galeri/2021-yilinda-670-arkeolojik-kazi-yapildi/43346/sayfa-3.html> (Erişim tarihi 27.05.2022)
- [5] Mirdan, O., ve Yakar, M. 2017. Tarihi Eserlerin İnsansız Hava Aracı ile Modellenmesinde Karşılaşılan Sorunlar, Geomatik, 2(3), 118-125.
- [6] Asri, İ., ve Çorumluoğlu, Ö. 2014. Tarihi Yerleşim Alanlarının Yersel Fotogrametri Yöntemi ile 3B Modellenmesi: Santa-Harabeleri Örneği, Uzaktan Algılama-CBS Sempozyumu (UZAL-CBS 2014). İstanbul.
- [7] Yiğit A. Y. ve Ulvi, A., 2020. İHA Fotogrametrisi Tekniği Kullanarak 3B Model Oluşturma: Yakutiye Medresesi Örneği, Türkiye Fotogrametri Dergisi, 2(2), 46-54.
- [8] Şenyurt, H. K. 2016. Sarıkaya Roma Hamamı Tarihiçesi ve 2010-2015 Yılı Kazı Çalışmaları Sonuçları, I. Uluslararası Bozok Sempozyumu Bildiri Kitabı- I. Cilt, Yozgat, 110-124.
- [9] Emine Saka AKIN, Alperen ERDOĞAN Fotoğraf Arşivi.
- [10] Anonim,2021. <https://earth.google.com/web/search/Sar%c4%b1kaya,+Yozgat/@390> (Erişim tarihi 26.06.2021)
- [11] Haines, R. C. 1985. Die Badeanlage von Terzili Hamam, Mit einer Einführung von Kurt Bittel, İstanbul, Mitteilungen 35, 1985 von Richard C. Haines, 227-235, İstitüt für Klassische Arcaologie Universitat Graz, 228-229.
- [12] Çoban, H. 2016. Roma Dönemi Hastaneleri, Asklepionlar ve Sarıkaya Roma Hamamı, I. Uluslararası Bozok Sempozyumu Bildiri Kitabı-I.Cilt, Yozgat, 98-109.
- [13] Chantre, E. 1898. Mission en Cappadoce 1893-1894, Paris.

- [14] Anonim, 2021.
<http://www.sarikaya.gov.tr/roma-hamami-tarihcesi-ve-kazilar> (Erişim Tarihi 21.03.2021)
- [15] Ulvi, A. 2021. The Effect of the Distribution and Numbers of Ground Control Points on the Precision of Producing Orthophoto Maps with an Unmanned Aerial Vehicle, *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*, 20(6), 806-817.
- [16] Önal, O., Bozdağ, Ö., ve Ersoy, A. 2017. İzmir Agorası'ndaki Roma Dönemine Ait Hamam Yapısının SFM Tekniği ile 3 Boyutlu Katı Modelinin Oluşturulması, *Uluslararası 6. Tarihi Yapıların Korunması ve Güçlendirilmesi Sempozyumu*.
- [17] Westoby, M. J., Brasington, J., Glasser, N. F., Hambrey, M. J., ve Reynolds, J. M. 2012. 'Structure-from-Motion' Photogrammetry: A Low-Cost, Effective Tool for Geoscience Applications, *Geomorphology*, 179, 300-314.
- [18] Barszcz, M., Montusiewicz, J., Paśnikowska-Łukaszuk, M., ve Sałamacha, A. 2021. Comparative Analysis of Digital Models of Objects of Cultural Heritage Obtained by the "3D SLS" and "SFM" Methods, *Applied Sciences*, 11(12), 5321.
- [19] Ulvi, A. 2021. İHA Fotogrametrisine Genel Bakış: Geleneksel Topoğrafik Harita Yapımı Tekniği ile Maliyet Karşılaştırması, *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 8(1), 458-471.

Gestalt İlkeleri Bağlamında Tarihi Yapı Cephelerinin Görsel Algılanabilirliği: Tarsus Örneği

Merve DENİZ¹, Leyla Yekdane TOKMAN²

¹ Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Mimarlık ABD, 26000, Eskişehir, Türkiye

² Eskişehir Teknik Üniversitesi, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Mimarlık Bölümü, 26000, Eskişehir, Türkiye

(Alınış / Received: 05.01.2022, Kabul / Accepted: 14.11.2022, Online Yayınlanma / Published Online: 20.12.2022)

Anahtar Kelimeler

Kentsel mekân
Tarihi yapı
Görsel algı
Cephe
Gestalt ilkeleri
Tarsus

Öz: Tarsus kenti; çeşitli toplumların hâkimiyet kurduğu bir bölge olduğundan yerleşimin oldukça tarihi bir dokusu bulunmaktadır. Ancak birçok nitelikli yapı, zamanla çeşitli müdahaleler yaşamış ve bu yapıların cephe elemanları yenilenmiştir. Bu çalışmanın amacı müdahaleler sonrasında yenilenen tarihi yapı cephelerinin görsel algılanabilirliklerini Gestalt ilkeleri bağlamında değerlendirmektir. Öncelikle araştırmaya konu olan 10 adet tarihi yapı yerinde incelenmiş ardından cephelerin görsel algılanabilirliklerini değerlendirmek için cephe yüzeysel analizleri yapılmıştır. Yapılan çalışmalar ile Yeni Hamam'ın, güney cephesindeki kesme taşların geçirdiği müdahaleler neticesinde kapatılarak boyandığı ve bu durumun cephenin özgünlüğünü yitirmesine yol açtığından görsel algıyı zedelediği; diğer yapıların ise görsel algılanabilirliklerinin güçlü olduğu sonucuna varılmıştır. Dolayısıyla ilerleyen süreçlerde bu yapıların cephelerinde meydana gelecek herhangi bir tahribat yapıların görsel algılanmalarına zarar vereceğinden tek yapı ölçeğinde ziyade bütüncül bir koruma yaklaşımının gözetildiği kültürel rota önerisi geliştirilmiştir. Rota kapsamında yer alan Yeni Hamam'ın kapatılan kesme taşları tekrardan gün yüzüne çıkarılıp görsel algılanabilirliği devam ettirilmelidir. Öteki yapılarda ise belirli periyodlarla bakım-onarım faaliyetleri yapılmalıdır. Bu sayede yapıların hem sistemli bir biçimde ziyaret edileceğinden daha az bozulacağı hem de bakım-onarım faaliyetleri ile cephelerdeki bozulmalarının önleneyeceği böylelikle görsel algının sürdürülebileceği öngörülmektedir.

Visual Sensability of Historical Building Facades in the Context of Gestalt Principles: Tarsus Example

Keywords

Urban space
Historical buildings
Visual perception
Facade
Gestalt principles
Tarsus

Abstract: The city of Tarsus; Since it is a region dominated by various societies, the settlement has a very historical texture. However, many qualified buildings have experienced various interventions over time and the façade elements of these structures have been renewed. The aim of this study is to evaluate the visual perceptibility of the historical building facades renewed after the interventions in the context of the Gestalt Principles. First of all, 10 historical buildings that are the subject of the research were examined on site and then superficial analyzes of the facades were made to evaluate the visual perceptibility of the facades. With the studies carried out, the New Bath was closed and painted as a result of the interventions of the cut stones on the south façade and this situation caused the façade to lose its originality, damaging the visual perception; it was concluded that the visual perceptibility of other structures was strong. Therefore, since any destruction that will occur on the facades of these structures in the following processes will harm the visual perception of the structures, a cultural route proposal has been developed in which a holistic conservation approach is considered rather than at the single building scale. The closed cutting stones of the Yeni Hamam, which is within the scope of the route, should be brought to light again and their visual perceptibility should be maintained. In other buildings, maintenance-repair activities should be carried out at certain periods. In this way, it is foreseen that the structures will deteriorate less than they will be visited systematically and that their deterioration on the facades will be prevented with maintenance-repair activities and thus the visual perception can be maintained.

1. Giriş

İnsanoğlunun yaşamını devam ettirmesi için barınma, giyinme, beslenme gibi birtakım gereksinimlerini karşılaması gerekmektedir. Bu gereksinimlerin ise toplumdan soyutlanarak gerçekleştirilmesi imkânsız olduğundan bireylerin birbirleriyle iletişim kurması zorunludur. Bu durumda içinde bulunulan ortam ile bağ kurulmakta ve kişi, yaşadığı çevrenin sosyal ile kültürel özellikleri yardımıyla nesneyi algılamaktadır. Nitekim bir nesnenin algılanması için dört parametre bulunmaktadır. Bu parametreler; belirleyici fiziksel özellikler, kentsel çevreden görünebilirlik, işlev ve kültürel değerdir. İlâveten algı kavramı birçok disiplinin çalışma alanına girmektedir. Psikoloji, mimari, felsefe, sosyoloji gibi birçok disiplini kapsayan bu kavram TDK'ye (2021) göre "Bir şeye dikkatini yönelterek o şeyin bilincine varma, idrak etme"dir. Clifford T. Morgan (1995) "Psikolojiye Giriş" adlı kitabında aynı kavramı duyular aracılığıyla edinilen izlenimi, manalı bir duruma getirmek olarak ifade etmiştir [1]. Çevresel psikoloji alanında çalışmalar yapan Downs ve Stea (1973) ise alandan bilgilerin alınıp kodlanması, depolanması ve tekrardan bu kodların çözümlenmesi sırasında geçen süre biçiminde algıyı açıklamıştır [2]. Nitekim nesne algılanınca beyne iletilip yeniden tecrübeler aracılığıyla yorumlanmaktadır[3]. Bu bağlamda algılama; görme, duyma ve hissetme gibi farklı duyular aracılığıyla gerçekleşebilmektedir.

20. yüzyıl itibarıyla göz ile beyinin beraber işleyişi ve görsel algının analizi üzerine birçok çalışma yapılmıştır. Özellikle Kevin Lynch; kentsel ölçekte görsel algıyı yollar, sınırlar, bölgeler, işaret öğeleri ve odak noktaları olmak üzere beş parametrede değerlendirmiştir [4]. Bina ölçeğinde ise Gestalt Teorisi, Rudolf Arnheim'in görsel algı ilkeleri ve Henry Sanoff'un görsel algı yaklaşımları ön plana çıkmıştır. Bu çalışmalar içerisinde en çok kabul gören teori, Gestalt Teorisi olmuştur [5]. Söz konusu teori, bütünlüğün parçaların toplamından daha fazla olduğunu ileri sürmektedir. Aynı zamanda da görsel algılama sürecini açıklayan ve bir mekânın görsel olarak algılanabilmesini sağlayan en temel kuramsal teoridir. Almanca bir kavram olan Gestalt kelimesi 'biçim' manasına gelmekte ve Türkçe karşılığı 'düzen, form' olmaktadır [6]. Teori, psikoloji alanını kapsayan bir teori olsa da görsel algılamanın nasıl meydana geldiğini ve süreç boyunca nelerin etkin olduğunu açıklamaktadır. Semra Aydın (1992) 'Mimarlıkta Görsel Analiz' isimli kitabında bu teoriyi, "nesnelerin belirli bir düzen içerisinde bir araya geldiğini ve bu düzende yer alan elemanların zihinsel şemalarla algılamayı oluşturduğunu belirtmiştir" [7]. Ayrıca bütünün görsel algılanması için parçaların nasıl birleştiğine dair teorinin ilkeleri aşağıda sıralanmıştır.

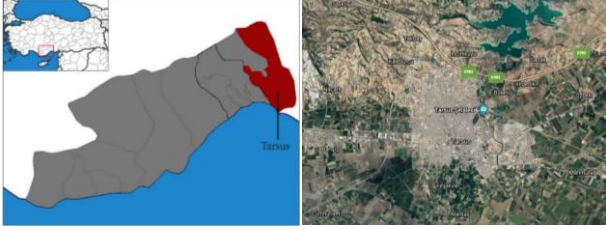
- Şekil zemin ilişkisi
- Yakınlık
- Tamamlama
- Benzerlik

- Süreklilik
 - Kapalılık
- Mimariyi ise bu ilkelere ek olarak;
- Tekrar(ritim)
 - Simetri-Denge
 - Ölçek-Oran
 - Birlik-Bütünlük ilkelerini kapsamaktadır [7].

İnsanoğlu gördüğü, duyduğu ve hissettiği varlıkları algılayabilmektedir. Bu bazen bir kentsel mekân bazen bir nesne bazen ise zihinde canlanan bir öğe olmaktadır. Nitekim kentsel mekân; görsel, işitsel ve iç duyuşsal olmak üzere üç türlü algılanmaktadır. Bu üç farklı türde gerçekleşen algılama eşit değildir. Çeşitli nesnelere bir arada ve kişiye göre uzakta konumlanan öğeleri rahatlıkla algılayan görsel duyulardır [8]. Bu bağlamda zihne iletilen görsel uyarıcılar burada görme duyusunu meydana getirmekte ve belleğe alınan imgelerin değerlendirilmesi ile görsel algı oluşmaktadır. Nitekim göz ile beyin arasında kurulan köprü biçiminde tanımlanmaktadır [5]. Dolayısıyla etrafımızda yer alan varlıkların algılanmasına görme duyusu öncülük etmekte ve bireyler içinde buldukları mekânlar ile iletişim kurmaktadır [9]. İnsanoğlu çevresini algılamakta öncelikle gördüğü nesnelere üzerinden değerlendirmeye gittiği için en güvendiği duyusu, görme olmuştur [10]. Bu nedenle görsel olarak algılanan imge, sahip olduğu özelliklerine göre kişinin üzerinde farklı etkiler bırakmaktadır. Görsel olarak ilk algılanan bileşenler ise kütle, biçim ve cephelerdir [11]. Bir yapı ile ilk karşılaşıldığında ise öncelikle yapının cephesi algılanmakta ve cepheyi meydana getiren pencere, balkon, kapı, çatı elemanları ile cephenin biçimi, dokusu, rengi dikkat çekmektedir [12]. Bu bağlamda cepheler kentsel mekânların birer parçası olup bir yapının dış yüzünü ifade etmektedir. Özellikle herhangi bir mekân anımsanırken bireyin zihninde diğer parçalardan önce cepheler çağrışım yapmaktadır. Dolayısıyla cepheler en basit tanımıyla mekânın, kentsel dokudan ya da sokaktan görünüşü olarak tanımlanmakta ve görsel algılamada ilk dikkat çeken parça olmaktadır [13]. Zira cepheler çevresiyle bütünleşen bir eleman olduğundan yapı yorumlanırken cephe düzeni analiz edilmekte ve böylelikle mekân kolaylıkla algılanmaktadır [14]. Bu nedenle binanın işlevinin ve özelliklerinin öğrenilmesinde bireye yardımcı olmaktadır. Geleneksel yapıların cepheleri dönemlerinin özelliklerini yansıtmakta ve pencere, bezeme, kapı, payanda, cumba, kat sayısı, renk, malzeme gibi mimari elemanları ile kente kimlik kazandırmaktadır [12]. Ayrıca cepheler; bireylerin yapıyı anlamasına, toplum ile bina arasında görsel bağın kurulmasına öncülük etmektedir.

Çalışma kapsamında ele alınan Tarsus kenti, Mersin İlinin en büyük ilçesi olup kuruluşu yaklaşık 8000 yıl öncesine dayanmakta ve Akdeniz bölgesinde konumlanmaktadır (Şekil 1). Söz konusu kent, Tarsus ve Berdan ovalarından oluşmuştur. Regma Gölü'nün,

verimli topraklarının varlığı sayesinde ticari ve tarımsal faaliyetlerde ilerlemiştir. Dolayısıyla Antik Çağ'dan beri bölgede çeşitli toplumlar hâkimiyet kurmak istemiştir.

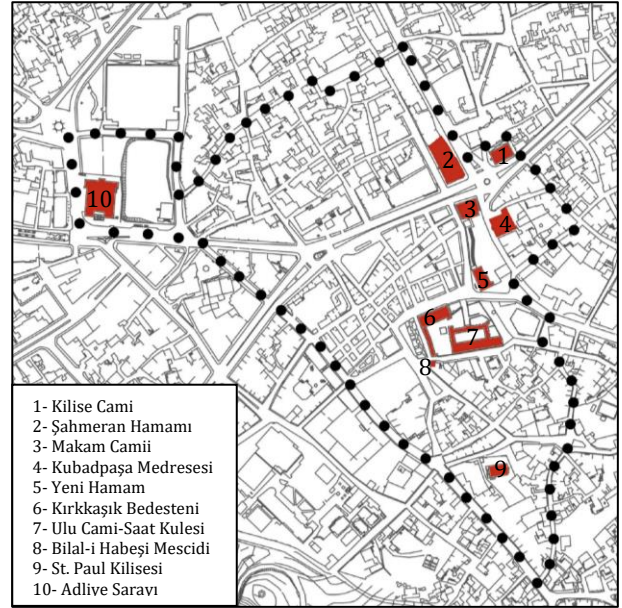


Şekil 1. Mersin il haritası (a) ve Tarsus ilçesi (b) [15]

Yerleşimde ilk olarak MÖ 1650'li senelerde Kizzuwatna Krallığı'nın yaşadığı söylenilmektedir. Ardından Hititler, Kue Krallığı, Asurlular, Persler, Kilikyalılar, Selekoslar, Romalılar, Bizans, Araplar, Selçuklular, Memlukler, Ramazanoğulları ve Osmanlı hüküm sürmüştür [16]. Bu nedenle kentin oldukça tarihi, mimari ve kültürel dokusu bulunmakta ve bu toplumlardan kalma eserlerin bir kısmı günümüzde halen mevcudiyetini korumaktadır. Ancak 19. yüzyılda Regma Gölü 'Aynaz' adı verilen bir bataklığı dönüşüncü kente liman özelliğini kaybetmiş ve aynı dönem Mersin limanı fark edilerek ticaretin yönü Mersin'e doğru çevrilmiştir. Bu yüzyıldan sonra Tarsus gittikçe geri planda kalarak ilçe statüsüne düşmüştür [17]. Fakat yerleşimin, sahip olduğu çok katmanlı kent, değerini halen sürdürmeye devam etmektedir. Kent üzerinde birçok kültürel ve mimari değere sahip yapı konumlanmaktadır. Ancak söz konusu yapıların birçoğu, zamanla çeşitli müdahaleler görmüş ve bu yapıların cephe elemanları yenilenmiştir. Dolayısıyla yenilenen cephelerin görsel algılanabilirliği araştırmanın hipotezini oluşturmuş ve çalışma kapsamında Gestalt İlkeleri bağlamında bu cephelerin görsel algılanabilirliklerinin değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Söz konusu yapı cephelerinin görsel algılanabilirliklerinin Gestalt İlkeleri ile değerlendirilmesinin nedeni ise bina ölçeğinde analiz edilen görsel algıya dair en çok kabul edilen temel yaklaşımın Gestalt İlkeleri olmasıdır [5].

2. Materyal ve Metot

Çalışmanın materyalini Tarsus kentinde konumlanan 10 adet tarihi yapı oluşturmaktadır. Çalışma kapsamında seçilen tarihi yapılar; Makam Cami, Kilise Cami, Kırkkaşık Bedesteni, Yeni Hamam, Ulu Cami ile Saat Kulesi, Kubad Paşa Medresesi, Adliye Sarayı (Tarsus Müzesi), Şahmeran Hamamı, Bilal-i Habeşi Mescidi ve St. Paul Kilisesi'dir (Şekil 2). Bu yapıların seçilme nedeni kentin geleneksel dokusunu meydana getiren ve kente kimlik kazandıran birer işaret öğeleri olmalarıdır.



Şekil 2. Çalışmanın sınırları ve değerlendirme kapsamında ele alınan tarihi yapılar [18'den alınan hâlihazır harita yazar, tarafından düzenlenerek oluşturulmuştur.]

• Kilise Cami

İran'ı topraklarına katan Selçuklu Devleti, ardından Anadolu'ya geçmiş ve Süleyman Şah önderliğinde Tarsus'u himayesine almaya çalışmıştır. Abbasilerin Toroslara yerleştirdiği Türklerden de yardım olarak Bizans ile mücadele etmiş ve 1082 yılında kenti ele geçirmiştir. 1092 yılında ise Anadolu Selçuklu Devleti ile haçlılar arasında savaş başlamış ve haçlı ordusu I. Kılıçslan'ı yenerek 1102'de kent merkezine St. Paul Katedralini inşa etmiştir. Ancak 1415 yılında yerleşimi ele geçiren Ramazanoğulları Beyliği kiliseyi camiye çevirerek Kilise Cami (Eski Cami) ismini vermiştir. Ramazanoğlu Ahmet Bey tarafından da minaresi eklenmiştir. [19]. Söz konusu yapı, kesme taş malzemeden meydana gelmiş, içi tonoz dışı kırma çatıyla örtülmüştür (Şekil 3). Roma üslubuyla yapılmış yüksek ve kalın duvarları, sütunları ile derin pencereleri bulunmaktadır.

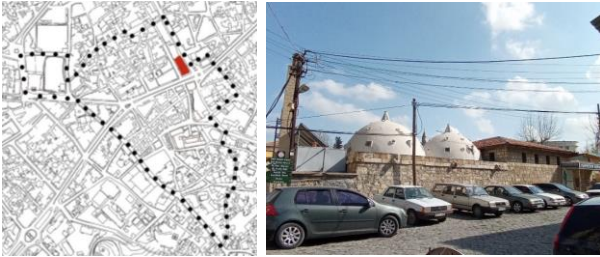


Şekil 3. Kilise Cami [18'den alınan hâlihazır harita yazar, tarafından düzenlenerek oluşturulmuş, fotoğraf ise yazar tarafından çekilmiştir.]

• Şahmeran Hamamı

1360 tarihinde Memlukler tarafından ele geçirilen Tarsus kentinin yönetimi Ramazanoğulları Beyliğine bırakılmıştır. Yavuz Sultan Selim'in Mısır Seferi sonucunda bölgeyi topraklarına katmasına kadar

yönetim bu beylikte kalarak birçok han, bedesten, cami, hamam ve medrese yapısı inşa edilmiştir. Özellikle Roma Hamam'ının kalıntılarının bulunduğu alanın bir kısmına Şahmeran Hamamı kâgir teknikte inşa edilmiştir. Vakıflar Bölge Müdürlüğü'nün himayesinde olup 2002 yılında restorasyon geçirmiştir. Günümüzde işlevine devam etmektedir. Bu çalışma doğrultusunda kapı ile çatı detayları değiştirilmiştir [20]. Söz konusu hamam Adana Bulvarı, Sayman Caddesi ve Ali Menteşeoğlu Caddesi'nin kesişiminde konumlanmakta ve ılıklik, soyunma, sıcaklık ve külhan bölümlerinden oluşmaktadır (Şekil 4). ılıklik ile sıcaklık kısımlarının üzeri kubbe, külhan kısmının tonoz ve soyunmanın ki ise kırma çatı ile örtülmüştür.



Şekil 4. Şahmeran Hamamı [18'den alınan hâlihazır harita yazar, tarafından düzenlenerek oluşturulmuş, fotoğraf ise yazar tarafından çekilmiştir.]

• Makam Camii

Hız. Danyal, Tarsus'a geldikten sonra kentte bolluk ile bereketin arttığı gözlemlenince kentli tarafından Hız. Danyal'ın yerleşimde yaşaması istenmiştir. Vefat ettikten sonrada mezarının kentten uzaklaştırılmaması için kabri, Tarsus Çayı'nın dibine gömülmüştür. 1857'de aynı yere cami yapılmış ve ismine de makam Cami verilmiştir. 1960'lı yıllarda ana yapıya basık kubbeli ek bir mekân inşa edilerek üç kapı ile ana bölüme geçilmiştir [21]. Bu ana bina ise dikdörtgen planlı olup açıklıklar tonoz ve kemer ile geçilmiştir. Ayrıca 2006 tarihinde alanda gerçekleştirilen kazı çalışmalarında peygamberin mezarı bulunmuş ve restorasyon faaliyetleri sonucunda 2014'te ziyaretçilerin kullanımına açılmıştır. Söz konusu cami, kentin önemli işaret öğelerindedir [15]. Özellikle tarihi ticaret merkezinde konumlanarak bölgeye doğu cephesinden girişi temsil etmektedir (Şekil 5).



Şekil 5. Makam Camii [18'den alınan hâlihazır harita yazar, tarafından düzenlenerek oluşturulmuş, fotoğraf ise yazar tarafından çekilmiştir.]

• Kubadpaşa Medresesi

Kubadpaşa Medresesi, 1557 yılında Ramazanoğulları Beyliği Dönemi'nde Kubat Paşa tarafından kesme taş malzemeyle inşa edilmiştir. Plan kurgusunda 16 adet oda olup açık avlulu, tek eyvanlı, iki katlı ve dikdörtgen formdadır ve her odanın ocağı vardır. Bu odaların üzeri tonozla örtülmüş ve Taç Kapı biçiminde yapılan giriş kapısı, Selçuklu mimarisinden izler taşımaktadır. Ancak 1970'li yıllarda onarım geçirerek özgünlüğünü yitirmiştir. Günümüzde iki eyvanlı ve tek katlıdır. 1970-1988 yılları arasında Tarsus Müzesi fonksiyonuyla kullanılmıştır [17]. Tarihi ticaret merkezinin doğu bitişiğinde konumlanmaktadır (Şekil 6). 2019 yılında Tarsus Belediyesi tarafından başlatılan restore çalışmaları doğrultusunda avlusunun üzeri örtülmüş ve Tarsus Kültür Evi Müzesi işleviyle 27 Aralık 2020 günü yeniden kullanıma açılmıştır.



Şekil 6. Kubadpaşa Medresesi [18'den alınan hâlihazır harita yazar, tarafından düzenlenerek oluşturulmuş, fotoğraf ise yazar tarafından çekilmiştir.]

• Yeni Hamam

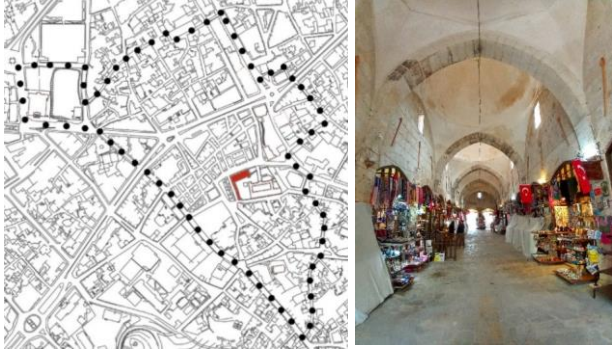
Yeni Hamam, tarihi ticaret merkezinin yer aldığı Şehitkerim Mahallesi'nde Ulu Cami'nin kuzeydoğu cephesinde konumlanmaktadır. Ramazanoğulları Beyliği Dönemi'nde Ziya Efendi tarafından taş ile tuğla malzemeden kâgir teknikte yaptırıldığı tescil fişinde yazmaktadır. Ancak yapının üzerinde yer alan kitabede ise 1785 yılında Osmanlı Dönemi'nde inşa edildiği belirtilmiştir. Sıcaklık, ılıklik ve soyunma bölümlerinden oluşmaktadır. Soyunma bölümü beşik tonoz, diğer bölümler ise kubbeye örtülmüştür. Göbektaşının sekizgen bir planı olup dört eyvanlıdır [22]. Özellikle geleneksel Osmanlı kent dokusunda hamam, cami ve bedesten yapıları bir arada yer almıştır. Bu bağlamda söz konusu hamam, kente kimlik kazandırarak Tarsus'un işaret öğelerinden biri olmuştur (Şekil 7).



Şekil 7. Yeni Hamam [18'den alınan hâlihazır harita yazar, tarafından düzenlenerek oluşturulmuş, fotoğraf ise yazar tarafından çekilmiştir.]

- **Kırkkâşık Bedesteni**

1579'da Ramazanoğulları Beyliği döneminde İbrahim Paşa imarethane amacıyla dikdörtgen planda kesme taş malzemeden kâgir tekniğe tek katlı inşa ettirmiştir. Zemin katta toplam 21 odası vardır. Ancak iki adet yapının üst katında ara kat vardır. Ayrıca açıklıklar sivri kemerlerle geçilmiş ve üzeri 7 adet kubbe ile örtülmüştür. Günümüzde tarihi ticaret merkezinin bulunduğu Şehitkerim Mahallesi'nde konumlanmaktadır (Şekil 8). İsmi, cephede yer alan kaşık motiflerinden gelmekte ve Beyaz Çarşı olarak da bilinmektedir. Osmanlı döneminde ise bedesten ve medrese olarak kullanılmıştır [17]. 1965 yılında restore edilerek doğu cephesine kapı açılmıştır. Günümüzde el sanatları çarşısı işleviyle yöresel ürünlerin satışı yapılmaktadır. Söz konusu bedestenin batı cephesinde bitişik nizamda yapılan arastası bulunmakta ve yapıyla birlikte ele alınmaktadır. Kesme taş malzeme ile tek katlı ve kâgir tekniğe inşa edilmiş olup 9 adet dükkânı vardır. Kesin yapım tarihi bilinmediğinden bedesten ile aynı dönemde inşa edildiği düşünülmektedir.



Şekil 8. Kırkkâşık Bedesteni [18'den alınan hâlihazır harita yazar, tarafından düzenlenerek oluşturulmuş, fotoğraf ise yazar tarafından çekilmiştir.]

- **Ulu Cami**

1579 yılında Ramazanoğulları Beyliği döneminde İbrahim Paşa tarafından kesme taş malzeme ile kâgir tekniğe, iki minareli inşa ettirilmiştir. Ancak minarelerinden biri yıkılmış ve bu yıkım tarihiyle ilgili net bir bilgi bilinmemektedir. Yapının içerisinde avlu yer almakta ve kentin en görkemli camisidir. Yerleşimin önemli işaret öğelerinden olup kentli, 'Camii Kebir' adıyla da ifade etmektedir [23]. Bahçesinde ve avlusunda ibadet saatleri haricinde toplanılmakta ve ziyaret edilmektedir. 1985 tarihinde ise yıkılan minarenin yerine Tarsus kaymakamı Ziya Bey'in katkılarıyla 30 metre yüksekliğinde sekizgen gövdeli bir Saat Kulesi, kaymakamlık lojmanına bitişik yaptırılmıştır. Saat, demirden yapılmış korkuluğun üzerine yerleştirilmiştir. Şehitkerim mahallesinde tarihi ticaret merkezinde konumlanmaktadır (Şekil 9).



Şekil 9. Ulu Cami [18'den alınan hâlihazır harita yazar, tarafından düzenlenerek oluşturulmuş, fotoğraf ise yazar tarafından çekilmiştir.]

- **Bilal-i Habeşi Mescidi**

Mescit, tarihi ticaret merkezinde Ulu Cami'nin güney cephesinde konumlanmaktadır (Şekil 10). Bilal-i Habeşi'nin bu alanda ezan okuduğu için aynı yere 16. yüzyılda mescidinin yapıldığı söylenilmektedir. Kare planlı inşa edilmiş olup üzeri kubbeye örtülmüştür. Üç sütunlu son cemaat yerinden sonra ana mekâna geçilmektedir [24]. 2013 yılında ise Vakıflar Bölge Müdürlüğü tarafından onarım çalışmaları gerçekleştirilmiştir.



Şekil 10. Bilal-i Habeşi Mescidi [18'den alınan hâlihazır harita yazar, tarafından düzenlenerek oluşturulmuş, fotoğraf ise yazar tarafından çekilmiştir.]

- **St. Paul Kilisesi**

Yapının kubbemiz olarak ilk inşa tarihinin 1102 yılında olduğu fakat 1850 yılında Ortodoks Rum-Arap Cemaati tarafından tekrardan 460 m²'lik alana kesme taş malzemeden, dikdörtgen planda, kâgir tekniğe yapıldığı söylenilmektedir. 1994'te tescil edilmiş ve 1997 yılında geçirdiği onarım faaliyetleri sonucunda 2001'de Anıt Müze işlevinde kullanılmak üzere açılmıştır. 2010 yılında ise Dünya Geçici Miras listesine alınmıştır [25]. Günümüzde Cami-Nur Mahallesinde konumlanmaktadır (Şekil 11).



Şekil 11. St. Paul Kilisesi [Tarsus Belediyesi'nden alınan hâlihazır harita yazar, tarafından düzenlenerek oluşturulmuş, fotoğraf ise yazar tarafından çekilmiştir.]

• Adliye Sarayı

Kızılmurat Mahallesi'nde konumlanan Adliye Sarayı 1950 yılında betonarme karkas tekniğe avlulu ve iki katlı inşa edilmiş ve dış cephesi kesme taş ile kaplanmıştır. Pencereleri dikdörtgen olup ana girişin vurgulanması için dört sütunlu ve giriş kapısı iki kat yüksekliğinde tasarlanmıştır [25]. Yapının üzeri kırma kiremit çatı ile örtülmüştür. 1990'da tescil edilmiştir. 2013 yılından sonra ise Kültür ve Turizm Bakanlığı, restore ederek avlusunun üzerini kapatmış, kapı ve pencere doğramalarını değiştirmiş ve döşeme kaplamalarını yenilemiştir. Aralık 2020 tarihinde Tarsus Müzesi ismi verilerek ziyarete açılmıştır (Şekil 12).

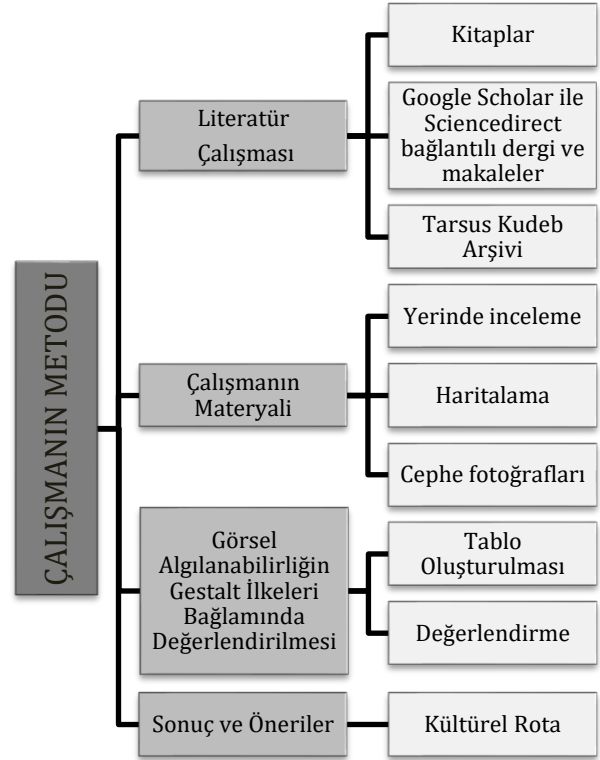


Şekil 12. Adliye Sarayı (Tarsus Müzesi) [Tarsus Belediyesi'nden alınan hâlihazır harita yazar, tarafından düzenlenerek oluşturulmuş, fotoğraf ise yazar tarafından çekilmiştir.]

2.1. Çalışmanın Metodu

Çalışmada öncelikle araştırma ile ilgili kapsamlı bir literatür taraması yapılarak kitaplar, Google Scholar ile Sciencedirect adreslerinden ulaşılan dergiler ve makaleler, Tarsus Kudeb Birimi'nden alınan arşiv belgeleri taranmıştır. Ardından çalışmanın materyalini oluşturan 10 adet tarihi yapı yerinde incelenmiş, cephe fotoğrafları çekilmiş ve hâlihazır harita üzerine işaretlenmiştir. Hem literatür taraması hem de yerinde incelemeler sonucu yeterli verilere ulaşıldıktan sonra söz konusu yapı cephelerinin görsel algılanabilirliğini Gestalt İlkeleri bağlamında değerlendirmek için 'cephe yüzeysel analizleri' yapılmıştır. Bu aşamada Gestalt İlkeleri'nden cephe analizlerinin kapsamına giren tekrar-ritim, süreklilik ve yakınlık-benzerlik ilkeleri seçilmiş ve bu doğrultuda cepheler irdelenmiştir. Son olarak ise birer belge niteliğinde olan bu yapıların bütüncül bir biçimde korunarak geleceğe aktarılması ve ilerleyen süreçlerde meydana gelebilecek tahribatların görsel algıya zarar vermemesi için tek yapı ölçeğinden ziyade yapıların çevreleriyle beraber korunmalarının daha kapsamlı ve kalıcı bir çözüm sağlayacağı öngörülerek kültürel rota önerisi geliştirilmiştir (Şekil 13). ICOMOS (2008) tarafından bu rotalar, anıtsal değeri bulunan miras yapılarının bir rota dâhilinde somut olmayan kültürel miras ile birlikte muhafaza edilmesi olarak tanımlanmıştır [26]. Söz konusu tanım; yapıların çevreleriyle birlikte bütüncül korunmalarının yapıların tek ölçekte sahip oldukları işlevlerinin yanında yeni bir rota fonksiyonuyla ziyaretçilerinin

kullanımına açılacağından belirli periyodlarla bakım-onarım çalışmalarının yapılacağına ve bu sayede oluşabilecek bozulmaların önüne geçileceğine, görsel algının zedelenmeyeceğine ve algılamada kopukluğun meydana gelmeyeceğine dair kanıtları desteklemektedir. Bu bağlamda bütüncül korumanın en iyi çözüm yollarından birisinin kültürel rotalar olduğunu söylemek mümkündür.


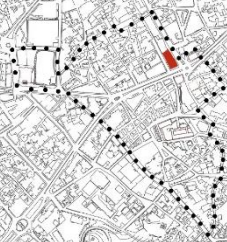

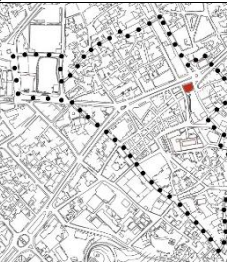


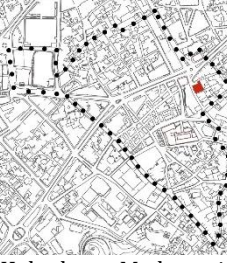

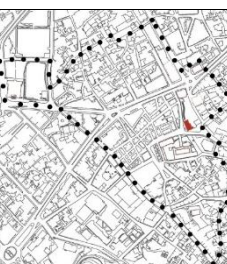






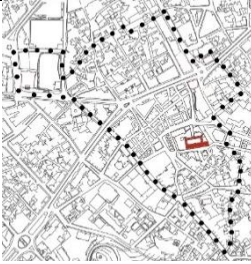


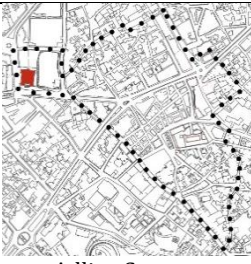

Şekil 13. Çalışmanın yöntemi

3. Bulgular

Çalışma kapsamında incelenen 10 adet tarihi yapının görsel algılanabilirliğinin Gestalt ilkeleri bağlamında değerlendirilmesi ile elde edilen bulgular Tablo 1'de gösterilmiştir (Tablo 1). Tekrar-ritim ilkelerinde yapıların yüzeylerinde tekrar-ritim meydana getiren elemanlar; süreklilikte cephelerin düzenlerinde devamlılık oluşturan öğeler; yakınlık-benzerlikte ise cephelerde birbirine yakın konumlanan ve benzerlik meydana getiren elemanlar incelenmiştir. Yapılan değerlendirmeler ışığında Yeni Hamam'ın, güney cephesindeki kesme taşların geçirdiği müdahaleler neticesinde kapatılarak boyandığı ve bu durumun cephenin özgünlüğünü yitirmesine yol açtığından görsel algıyı zedelediği; diğer yapıların ise görsel algılanabilirliklerinin güçlü olduğu sonucuna varılmıştır.

Tablo 1. Tarihi Yapı Cephelerinin Gestalt İlkeleri Bağlamında Görsel Algılanabilirlik Şeması

Vaziyet Planı	Yapının Fotoğrafı	Cephelerin Gestalt İlkeleri Bağlamında Değerlendirilmesi	
 <p>Kilise Cami</p>		Tekrar-Ritim	Pencere doğramalarında ve giriş kapısının üzerindeki kemerde tekrar vardır.
		Süreklilik	Çatı silmesinde süreklilik vardır.
		Yakınlık-Benzerlik	Pencere tipolojileri benzerdir.
 <p>Şahmeran Hamamı</p>		Tekrar-Ritim	Pencerelerin sıralanmasında ve pencere korkuluklarında tekrar, kubbelerdeki ışıklıklarda ise ritim oluşmuştur.
		Süreklilik	Çatı silmesi, süreklilik meydana getirmiştir.
		Yakınlık-Benzerlik	Kubbeler ile pencere tipolojileri benzerdir.
 <p>Makam Cami</p>	<p>Siyah-beyaz fotoğraf: [27]</p>  	Tekrar-Ritim	Giydirme cephenin tümünde tekrar vardır.
		Süreklilik	Cephe doğramaları süreklidir.
		Yakınlık-Benzerlik	Cephe elemanları benzerdir.
 <p>Kubadpaşa Medresesi</p>		Tekrar-Ritim	Pencere doğramaları ile korkuluklarında tekrar; pencerelerin sıralanmasıyla da ritim oluşmuştur.
		Süreklilik	Çatı silmesinde, kemer bezemesinde, kapı ile pencere korkuluklarında, doğramalarında süreklilik vardır.
		Yakınlık-Benzerlik	Pencere tipolojileri benzer; kapı korkulukları yakındır.
 <p>Yeni Hamam</p>		Tekrar-Ritim	Kubbeler arasında ritim; pencere korkuluklarında tekrar vardır.
		Süreklilik	Süreklilik gözlenmemiştir.
		Yakınlık-Benzerlik	Kubbeler yakın ve benzerdir.
 <p>Kırkaşık Bedesteni</p>	<p>Siyah-beyaz fotoğraf: [27]</p>  	Tekrar-Ritim	Kubbelerde, doğramalarda, kapı korkuluklarında ve payandalarda tekrar; bezemelerde ritim vardır.
		Süreklilik	Çatı silmesinde ve bezemelerde süreklilik vardır.
		Yakınlık-Benzerlik	Doğu cephesindeki kapılarda ve kubbelerde yakınlık olup pencere tipolojileri benzerdir.

 Ulu Cami	 	Tekrar-Ritim	Revaklarda ritim, pencere ve kapı doğramaları ile korkuluklarında, kemerlerde tekrar vardır.
		Süreklilik	Revaklar, silmeler, bezemeler ve doğramalar süreklilik oluşturmaktadır.
		Yakınlık-Benzerlik	Pencere ve kapı tipolojileri birbirine yakın olup benzerdir.
 Bilal-i Habeşi Mescidi	Siyah-beyaz fotoğraf [27]  	Tekrar-Ritim	Kemerlerde ve sütunlarda tekrar vardır. Kemerler ritim oluşturmuştur.
		Süreklilik	Çatı silmesi süreklidir.
		Yakınlık-Benzerlik	Kemer açıklıkları benzerdir.
 St. Paul Kilisesi	 	Tekrar-Ritim	Kemerlerde, korkuluklarda ritim; pencerelerde ve merdiven basamaklarında, tekrar vardır.
		Süreklilik	Çatı silmesi, bezemeler ve kemer sütunları süreklidir.
		Yakınlık-Benzerlik	Bezemeler, payandalar ve pencere tipolojileri benzerdir.
 Adliye Sarayı		Tekrar-Ritim	Pencerelerde, doğramalarda ve korkuluklarda tekrar vardır.
		Süreklilik	Sütunlar, doğramalar ve korkuluklar süreklidir.
		Yakınlık-Benzerlik	Pencere tipolojileri ile sütunlar benzer olup yakındırlar.

Yapılan irdelemelere göre;

- Tekrar-Ritim: 10 adet tarihi yapının cephe düzeni oldukça sade olduğundan tekrar-ritim ilkesi az da olsa cephe elemanlarında kullanılmıştır. Kemerlerde, sıralı pencerelerde, payandalarda, bezemelerde ve sütunlarda tekrarların olması cephede benzerlik meydana getirmiştir. Bu sayede cephelerde tekrarlanan elemanlar vurgulanmıştır. Ayrıca merdivende; rıht yükseklikleri ile basamak genişliklerinin düzenli bir biçimde devamlılığı cephelerde tekrar sağlamıştır. Korkuluk motifleri, revaklarda, ışıklıklar, kubbeler ve kemerler ardışık bir biçimde tekrar etmesi ritim oluşturmuş ve bu durum cephelere görsel estetik kazandırmıştır. Kapı ve pencere doğramaları ile korkuluklarının tekrar etmesi ise görsel algıyı kuvvetlendirmektedir. Dolayısıyla söz konusu ilke, yapıların görsel algılanabilirliğine katkı sağlamaktadır.

- Süreklilik: Silmelerde, cephe doğramalarında, bezemelerde, korkuluklarda, doğramalarda, revaklarda, kemer sütunlarında sürekliliğin varlığı devamlılık meydana getirmekte ve görsel algının kopukluğunu önleyerek sürdürülmesini sağlamaktadır. Sadece Yeni Hamam'da süreklilik gözlenmemiştir.
- Yakınlık-Benzerlik: Kapı, kubbe ve pencere tipolojilerinin, kemer açıklıklarının, payandaların benzerlik oluşturması aynı zamanda yakınlık da sağlamıştır. Bu sayede cephedeki elemanların ve cephe düzeninin grupça algılanması kolaylaşmıştır.

4. Sonuç ve Öneriler

Kentsel mekânlar; topluma eğitim, eğlence, iletişim gibi birçok imkân sağlayan alanlardır. Bünyelerinde konumlanan ve geleneksel dokuyu meydana getiren tarihi yapılar ise kente kimlik kazandırmakta ve döneminin mimari, sosyal, kültürel özelliklerinden

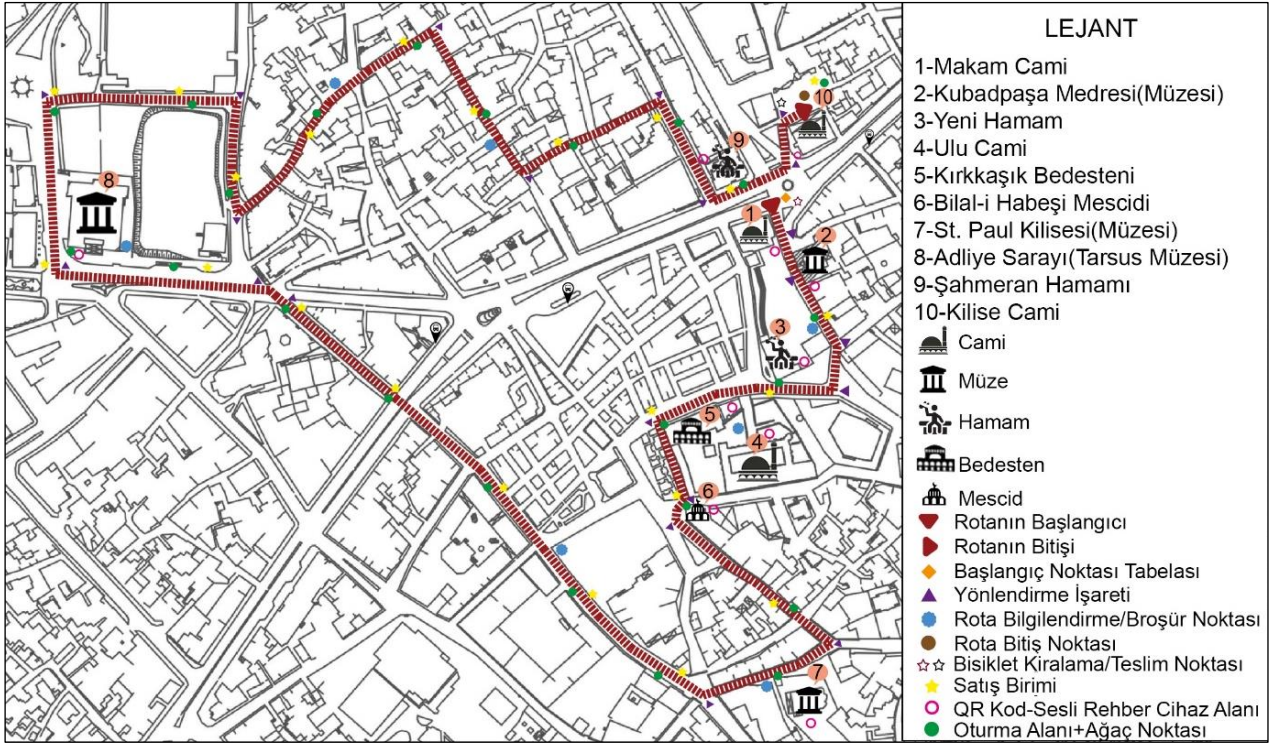
kesitler sunmaktadır. Bu yapıların cepheleri de toplumun görsel algısının oluşmasına öncülük eden parçalardır ve birer belge niteliğindedir. Dolayısıyla söz konusu yapıların gelecek kuşaklara aktarılması için belgelenmeleri ve sürdürülmelerini sağlayacak çözümlerin üretilmesi gerekmektedir. Ancak günümüzde gelişen yaşam koşullarına ayak uydurmakta zorlanan bu yapıları gelecek kuşaklara aktarmak için bir takım bakım-onarım çalışmaları yapılmaktadır. Bu çalışmalar ise ilk olarak genellikle cephelerde gerçekleştirilmektedir. Fakat yerin ruhu göz ardı edilerek yapılan gelişigüzel müdahaleler yapıların özgünlüğünü bozmakta ve özellikle de cephe düzenleri değiştirildiğinde görsel algı zedelenmektedir.

Çalışma kapsamında ele alınan Tarsus kenti, sahip olduğu stratejik konumu ve verimli iklimi sayesinde çeşitli medeniyetlere ev sahipliği yaptığından yaklaşık 8000 yıllık tarihi bir geçmişi bulunmaktadır. Dolayısıyla yerleşimde bu medeniyetlere ait birçok mekân bulunmaktadır. Söz konusu mekânlar ise zamanla çeşitli müdahaleler görmüş ve cephe elemanları yenilenmiştir. Bu araştırma boyunca ise müdahaleler sonrasında yenilenen tarihi yapı cephelerinin görsel algılanabilirliklerinin Gestalt İlkeleri bağlamında değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Gestalt İlkeleri, görsel algının bina ölçeğinde analiz edilirken en çok kabul gören temel yaklaşım olduğu için araştırma kapsamında seçilmiştir. Söz konusu yaklaşıma göre parçaların belirli bir düzende bir araya gelip zihinde toplanması görsel algıyı meydana getirmektedir. Bu parçalar ise şekil zemin ilişkisi, yakınlık, tamamlama, benzerlik, süreklilik, kapalılık, tekrar(ritim), simetri-denge, ölçek-oran, birlik-bütünlük ilkeleridir.

Çalışma boyunca kent merkezinde konumlanan ve geleneksel dokuyu meydana getiren 10 adet tarihi yapı yerinde incelenmiş ve cephelerin görsel algılanabilirlikleri “cephe yüzeysel analizleri” ile değerlendirilmiştir. Bu değerlendirme için Gestalt İlkeleri’nden gerekli olan tekrar-ritim, süreklilik ve yakınlık-benzerlik ilkeleri seçilmiştir. Tekrar-ritimde cephelerde tekrar-ritim meydana getiren elemanlar; süreklilikte cephelerin düzenlerinde devamlılık oluşturan öğeler; yakınlık-benzerlikte ise cephelerde birbirine yakın konumlanan ve benzerlik meydana getiren elemanlar incelenmiştir. Yapılan değerlendirmeler ışığında çatı siltmelerinin yapının kat sayısını belirlemeye katkı sağladığı; pencere ve kapı tipolojilerinin cephelere karakter kattığı; cephelerde

mimari elemanlardaki tekrarın binayı vurguladığı; söz konusu yapıların gösterişten uzak ve sade bir üslupla inşa edildiği; estetik özelliklerin görsel algılanabilirliği arttırdığı; kemer, sütun, revak gibi öğelerin süreklilik sağlayarak görsel algının devamlılığına katkı sağladığı; kemer açıklıkları, revaklar ve payandaların yakın bir konumda yer alması cephe düzenlerinin grupça algılanmasını kolaylaştırdığı; ışıklıkların ise yapının fark edilmesini güçlendirdiği gözlemlenmiştir. Ayrıca Yeni Hamam haricindeki diğer yapıların görsel algılanabilirliğinin güçlü olduğu sonucuna varılmıştır. İlaveten çalışma boyunca irdelenen 10 adet yapı, kentsel dokuya kimlik kazandırmış ve kentin karakterini oluşturmuştur. Bu nedenle birer belge niteliğinde olup sürdürülmeleri gerekmektedir. Ancak söz konusu yapı cephelerinde ilerleyen zamanlarda meydana gelecek herhangi bir değişiklik algılanmalarını zorlaştıracığından tek yapı ölçeğinden ziyade çalışma kapsamındaki yapıları bütüncül koruma yaklaşımı ile korumak önem arz etmektedir. Bu bağlamda araştırma kapsamında yer alan yapıları da içine alan kültürel rota önerisi geliştirilmiştir.

Bu önerilen rotaya Tarsus’un tarihi kent merkezini meydana getiren ana omurgadan giriş verilmiş ve güzergâh üzerinde yer alan yapılar sırasıyla ziyaret edilerek rota tamamlanmıştır (Şekil 14). Rota kapsamında yer alan Yeni Hamam’ın kapatılan kesme taşları tekrardan gün yüzüne çıkarılıp görsel algılanabilirliği devam ettirilmelidir. Öteki yapılarda ise belirli periyodlarla bakım-onarım faaliyetleri yapılmalıdır. Ayrıca güzergâhın daha verimli gerçekleşmesi ve gürültünün önlenmesi amacıyla Abdi İpekçi Caddesi ile Atatürk Caddesi haricindeki tüm yollar yayalaştırılmalı, araç girişine izin verilmemeli ve bu iki ana yolda kaldırımlar genişletilip yaya yolu yapılmalıdır. Nitekim söz konusu güzergâhın, yaya olarak ya da bisiklet ile dolaşılması önerilmiştir. Bu dolaşımın yürüyerek yaklaşık 1 saat 15 dakika, bisikletle ise 45 dakika sürmesi planlanmıştır. Dolayısıyla girişte bisikletlerin kiralanması bitişte de teslim edilmesi için Şekil 14’te alanlar belirtilmiştir. Kullanıcıların doğrultuyu karıştırmaması için başlangıç tabelası ve yönlendirme işaretleri kurgulanmıştır. Alanın kimliğinin ve yapıların tarihçesinin öğrenilmesi amacıyla rota bilgilendirme/broşür ile her yapının yanına bırakılan QR Kod bilgilendirme levhaları tanımlanmıştır. Görme engelli bireyler ise bu levhalarda bulunan sesli rehber cihazları sayesinde kolayca kent ile ilgili dinletileri işitip bilgi edinebilecektir. Böylelikle herkes için kapsayıcı bir öneri sunulmuştur.



Şekil 14. Kültürel rota önerisi

Tarsus'u yazın aşırı sıcak iklimi ve alanda yeşil alanların eksikliği nedeniyle bölgenin sürdürülebilirliğine katkı sağlamak ve kullanıcıların yoruldukça dinlenmelerine yardımcı olmak amacıyla rota boyunca her 100 metrede bir oturma birimleri olarak bank ve bankın yanına ağaç planlanmıştır. Bu birimlerin yakınına ise su, ayran, şalgam, cezerye gibi kentin yöresel gıdalarının ve iğne oyası, dokumacılık, boyamacılık gibi el sanatlarının satıldığı satış birimleri kurgulanmıştır. Bu sayede kentlinin de çalışmada yer almasıyla toplumsal katılım sağlanmış ve yerli bireyler projeden soyutlanmamıştır. Kültürel rotanın algılanmasının kolaylaştırılması, fark edilebilirliğinin artırılması ve daha rahat bir kullanımın gerçekleştirilmesi amacıyla bu rotanın tümü, alandaki diğer yolların asfalt olması nedeniyle farklı bir malzemeyle kaplanmalıdır. Örneğin aspereks ya da akrilik malzemeli zeminler, hem yaya hem de bisiklet kullanımına uygun olduğu için güzergâh, bu malzemeler ile döşenebilir. Bu rota ile tarihi yapıların korunarak geleceğe aktarılacağı ve söz konusu yapı cephelerinin görsel algılanabilirliğinin sürdürülebileceği düşünülmektedir. Bu sayede toplumun görsel algısında bu yapıların daha kalıcı olacağı, kentsel kimliğin okunabilirliğinin artacağı, kentsel dokunun ön plana çıkacağı ve yerleşimin kültürel, tarihi ile mimari değerlerine dair farkındalığın meydana geleceği öngörülmektedir.

Etik Beyanı

Bu çalışmada, "Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesi" kapsamında uyulması gerekli tüm kurallara uyulduğunu, bahsi geçen yönergenin "Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiğine

Aykırı Eylemler" başlığı altında belirtilen eylemlerden hiçbirinin gerçekleştirilmediğini taahhüt ederiz.

Kaynakça

- [1] Karataş, S. 1995. Psikolojiye Giriş. Hacettepe Üniversitesi Psikoloji Bölümü Yayınları, Ankara, 435s.
- [2] Downs, R., Stea, D. 1973. Image and Environment. Adline, Chicago, 464s.
- [3] Schulz, C. 1971. Existence, Space and Architecture. Praeger Publishers, Newyork, 120s.
- [4] Lynch, K. 1960. Kent İmgesi. İş Bankası Kültür Yayınları, İstanbul, 215s.
- [5] Lauer, A. D., Pentak S. 2002. Design Basics. Wadsworth Publishing, Boston, 320s.
- [6] Koffka, K. 1935. Principles of Gestalt Psychology. Lund Humphries, London, 14s.
- [7] Aydın, S. 1992. Mimarlıkta Görsel Analiz. İ.T.Ü Mimarlık Fakültesi Basım Atölyesi, İstanbul.
- [8] Parsaee, M., Parva, M., Karimi, B. 2015. Space and Place Concepts Analysis Based on Semiology Approach in Residential Architecture The Case Study of Traditional City of Bushehr, Iran. Housing and Building National Research Center, 11(3), 368-383.
- [9] Arnheim, R. 2005. Görsel Düşünme. Metis Yayınları, İstanbul, 2005, 392s.
- [10] Kozbelt, A. 2020. Visual Perception. Department of Psychology, Brooklyn College, The City University of New York, Brooklyn, United States, 690-695.

- [11] Rossetti, T., Lobel, H., Rocco, V., Hurtubia, R. 2019. Explaining Subjective Perceptions of Public Spaces As A Function of The Built Environment: A Massive Data Approach. *Landscape and Urban Planning*, 181(1), 169-178.
- [12] Mao, Y., Qi, J., He, B. 2020. Impact of The Heritage Building Facade in Small-Scale Public Spaces on Human Activity: Based on Spatial Analysis. *Environmental Impact Assessment Review*, 85(1), 106457.
- [13] Utaberta, N., Jalali, A., Johar, S., Surat, M., Che-Ani, A. 2012. Building Facade Study in Lahijan City, Iran: The Impact of Facade's Visual Elements on Historical Image. *International Journal of Social, Behavioral, Educational, Economic, Business and Industrial Engineering*, 6(7), 1839 - 1844.
- [14] Şenyiğit, Ö., Altan, İ. 2011. Anlamsal İfade Aracı Olan Cephelerin Değerlendirilmesine Yönelik Bir Yaklaşım: İstanbul'da Meşrutiyet Caddesi'ndeki Cephelerin İncelenmesi. *Megaron Dergisi*, 6(3), 139-150.
- [15] Deniz, M. 2021. Kentsel bellek bağlamında Tarsus tarihi ticaret merkezinin değerlendirilmesi. Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 247s, Adana.
- [16] Zoroğlu, L. 1995. Tarsus Tarihi ve Tarihsel Anıtları. Kemal Matbaası, Adana.
- [17] Öz, H. 2016. Tarsus Ticaret Tarihi. Tarsus Ticaret ve Sanayi Odası Yayını, Mersin, 136s.
- [18] Tarsus Belediyesi. 2021. Tarsus Hâlihazır Harita. Tarsus Belediyesi Arşivi.
- [19] Öz, H. 2020. Tarsus Tarihi. Tarsus Belediyesi Kent Yayınları, Mersin, 160s.
- [20] Sümer, F. 2007. Adana ve Çukurova Yöresinde Beylik Kuran Bir Türkmen Hanedanı Ramazanoğulları. <https://islamansiklopedisi.org.tr/ramazanogullari> (Erişim Tarihi: 31.12.2021).
- [21] Öz, H. 2020. Bilinmeyen Tarsus, Tarsus Belediyesi Kent Yayınları, Mersin, 166s.
- [22] Çıplak, M. N. 1968. İçel Tarihi, Güzel Sanatlar Matbaası, Ankara, 277s.
- [23] Öz, H. 2012. Yakın Tarihte Tarsus (1850-2000). Alev Dikici Basım ve Ambalaj, Adana, 328s.
- [24] Oğuz, İ. 2006. Şer'îyye Sicillerine Göre Mersin Kentinin Kuruluş Öyküsü. Ticaret ve Sanayi Odası, Mersin, 150s.
- [25] Akgündüz, A. 1993. Arşiv Belgeleri Işığında Tarsus Tarihi ve Eshab-ı Kehf. Tarsus Ticaret ve Sanayi Odası, Mersin, 632s.
- [26] ICOMOS. 2008. Kültürel Rotalar Tüzüğü. https://www.icomos.org/images/DOCUMENTS/Charters/culturalroutes_e.pdf (Erişim Tarihi: 20.09.2022).
- [27] Tarsus Belediyesi. 2021. Fotoğraf Arşivi. Tarsus Kudeb Arşivi.

***Laurocerasus officinalis* M. Roem Taksonunda Yükseklik ve Yağış Gradyenti Boyunca Bazı Yaprak Özelliklerinin İncelenmesi**

Tuğba BAYRAK ÖZBUCAK¹, Gülaycan POLAT KESKİN¹

¹Ordu Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümü, 52200, Ordu, Türkiye

(Alınış / Received: 07.01.2022, Kabul / Accepted: 18.06.2022, Online Yayınlanma / Published Online: 20.12.2022)

Anahtar Kelimeler

Laurocerasus officinalis,
Spesifik yaprak alanı,
Spesifik yaprak ağırlığı,
Yükseklik gradyenti,
Yağış gradyenti

Öz: Bu çalışmada Ordu ili ve doğusunda yükseklik (0 m, 450 m, 750 m) ve yağış gradyentine (Ordu, Trabzon, Rize) bağlı olarak belirlenen örnek parsellerden iki yıllık periyotta genç, olgun ve senesens dönemde toplanan *Laurocerasus officinalis* M. Roem taksonuna ait yaprak örneklerinde spesifik yaprak alanı (SLA) ve ağırlığı (LMA) değerleri incelenmiştir. Yükseklik gradyentine bağlı olarak SLA ve LMA için yapılan üç-yönlü varyans analizi sonucunda yıl-dönem ikili interaksyonu ve bölge faktörü istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. SLA için yapılan Tukey testine göre, 0 m ve 750 m lokaliteleri arasındaki farkın istatistiksel olarak önemli olduğu belirlenmiştir. 2019 yılında genç ve olgun dönemlerde, 2020'de ise her üç dönem arasında istatistiksel olarak önemli farklılıklar bulunmuştur. LMA'nın Tukey testine göre, 0 m lokalitesinin istatistiksel olarak önemli olduğu belirlenmiştir. 2019 yılında genç dönemin, 2020'de ise her üç dönem arasındaki farkın istatistiksel olarak önemli olduğu bulunmuştur. Yağış gradyentine bağlı olarak SLA ve LMA için yapılan üç-yönlü varyans analizi sonucuna göre yıl-dönem ikili interaksyonu istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Bununla beraber, SLA ve LMA'nın Tukey testi sonuçlarına göre, 2019 yılında genç dönemin, 2020'de ise her üç dönem arasındaki farkın istatistiksel olarak önemli olduğu tespit edilmiştir.

Investigation of Some Leaf Traits in *Laurocerasus officinalis* M. Roem Taxa Along Elevation and Precipitation Gradient

Keywords

Laurocerasus officinalis,
Specific leaf area,
Specific leaf mass area,
Elevational gradient,
Precipitation gradient

Abstract: In this study, specific leaf area (SLA) and leaf mass area (LMA) values of the leaf samples of *Laurocerasus officinalis* M. Roem taxon collected in the young, mature and senescence period in a two-year period from the sample plots determined depending on the altitude (0 m, 450 m, 750 m) and precipitation gradient (Ordu, Trabzon, Rize) in the province and east of Ordu were examined. As a result of the three-way analysis of variance for SLA and LMA, depending on the altitude gradient, the year-season bilateral interaction and region factor were found to be statistically significant. According to the Tukey test for SLA, the difference between 0 m and 750 m localities was found to be statistically significant. Statistically significant differences were found between young and mature periods in 2019, and among all three seasons in 2020. According to the Tukey test of the LMA, the 0 locality was determined to be statistically significant. It has been found that the statistically significant difference between the young season in 2019 and among all three seasons in 2020. According to the results of three-way analysis of variance for SLA and LMA, depending on the precipitation gradient, year-season bilateral interaction was found to be statistically significant. However, according to the Tukey test results of SLA and LMA, the young season in 2019, all seasons in 2020 was determined to be statistically significant.

1. Giriş

Yüksek yapılı bitkilerde yapraklar, ekosistem dinamikleri ile bitki fonksiyonel özelliklerinin önemli ekofizyolojik göstergeleridir [1]. Yapraklar bitkinin

atmosfer ile yakın temasta olan en büyük yüzey alanını temsil eden [2] kısımları olup, güneş ışığı, sıcaklık ve su gibi morfolojisini ve yapısını kolayca etkileyebilecek ekolojik faktörlere karşı hassas ve esnekler [3]. Bununla beraber, yaprak alanı

atmosfer ve biyosfer arasındaki karbon, su ve enerji döngüsünün düzenlenmesinde de önemli bir faktördür [4].

Spesifik yaprak alanı (SLA) ve spesifik yaprak ağırlığı (LMA) bitki ekolojisi ve bitki fizyolojisi çalışmalarında başlıca kullanılan yaprak karakterleridir [5]. Bitki yaprak alanının kuru ağırlığına oranı olan SLA, bitkinin türü, yaprak yapısı, nispi büyüme hızı ve net asimilasyon ile ilişkilidir [6, 7]. LMA, SLA 'nın tersi olup yaprak kuru ağırlığının yaprak alanına oranıdır [8]. Türlerle bağlı olarak değişebilen LMA, mevsim ve çevre koşullarına bağlı olarak aynı türe ait bireyler arasında da değişiklik gösterebilir [9]. Ekolojik bir indikatör olarak LMA aynı zamanda biyoçeşitlilik değişiminin incelenmesi, izlenmesi, raporlanması ve yönetilmesinde hayati bir öneme sahiptir [10]. Aynı zamanda dinamik global vejetasyon modellerinde ve besin elementi bütçe simülasyonlarında bir anahtar giriş parametresidir [11].

SLA ve LMA bitkinin biriktirdiği kuru madde miktarı ile su, sıcaklık, ışık ve toprak indekslerine tolerans yeteneğini yansıtan önemli ekolojik yaprak karakterleridir. Büyük biyomas, küçük spesifik yaprak alanı yaprakların güçlü fotosentez yeteneğini göstermektedir [2]. "Yaprak ekonomisi spektrumu" olarak adlandırılan bu değerler [12, 13] bitki boyu, tohum ağırlığı, azot içeriği, gövde yoğunluğu gibi diğer önemli bitki özellikleri ile nicelik olarak güçlü bir şekilde ilişkilidir [14-16]. Bu durum onları ekosistem fonksiyonlarını, komuniteler içi etkileşimleri, türlerin iklim değişikliğine cevaplarını belirlemede anahtar bir özellik yapmaktadır [17]. Bu nedenle global ölçekte farklı ekosistemlerde bulunan bitkilerin verdikleri farklı cevaplar ile SLA ve LMA özelliklerinin ilişkisini ortaya koyan çalışmaların devam ettiği görülmektedir [5, 11, 14, 18-20].

Bitkiler buldukları ortamın fiziksel, kimyasal, edafik ve iklimsel faktörlerinin etkilerine maruz kalmaktadırlar. Bir yerde doğal bitki örtüsünün yayılışında toprak, iklim ve topografik özellikler önemli rol oynamaktadır [21, 22]. Ülkemizin topografyasının yüksek ve dağların engebeli olması eğim, bakı ve yüksekliğin kısa mesafelerde fazlaca değişmesine ve yine kısa mesafelerde sık sık değişen iklim elemanlarının ortaya çıkmasına sebep olmaktadır [23]. İklim özelliklerinin çok değişken olması ve toprak özelliklerindeki farklılıklar bitkilerin farklılaşması ve tür bakımından çeşitlenmesi üzerinde etkilidir [24]. Yükseklik arttıkça nispi nem ve sıcaklık düşmekte; buharlaşma, yağış ve rüzgâr ise artmaktadır. Ayrıca yüksekliğin artmasıyla vejetasyon oluşum süresi azalmaktadır [25-27]. Yükseltiyeye bağlı olarak çevresel faktörlerde görülen değişiklikler bitkide morfolojik karakterlerin değişmesine yol açar. Bu durum besin elementi ve su eksikliği ile sıcaklık değişimi gibi faktörlerden kaynaklanmaktadır [28, 29, 30]. Noitsakis ve Tsiouvaras (1990) [31] yaptıkları araştırmada inceledikleri türün yaprak genişliği ve

uzunluğunun yükseltiyeye bağlı olarak azaldığını belirtmişlerdir. Özbucak ve ark. (2017) [32] tarafından yapılan çalışmada yükseklik arttıkça yaprak genişliği ve uzunluğunun, sürgün uzunluğunun, çiçek sayısının, dal sayısının, yaprak SLA ve LMA değerlerinin azaldığı bildirilmiştir.

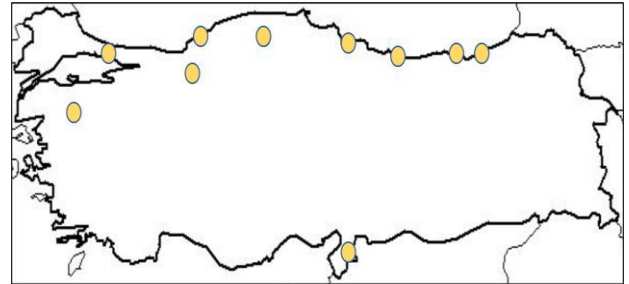
Yapılan çalışmada yükseklik ve yağış gradiyentine bağlı olarak Ordu ili ve doğusunda belirlenen lokalitelerden iki yıllık periyotta genç, olgun ve senesens döneminde toplanan *L. officinalis* taksonunun SLA ve LMA değerlerindeki değişim incelenecektir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Materyal

Laurocerasus officinalis Rosaceae familyası, *Laurocerasus* cinsine ait bir taksondur. Rosaceae familyası otsu bitkiler, odunsu bitkiler, çalılar ve tırmanıcı bitkiler olmak üzere birçok türü içinde barındıran oldukça zengin bir familyadır. Türkiye sınırları içerisinde 37 cins, 297 tür ihtiva eden Rosaceae familyası, tüm dünyada 104 cins ihtiva etmektedir [33].

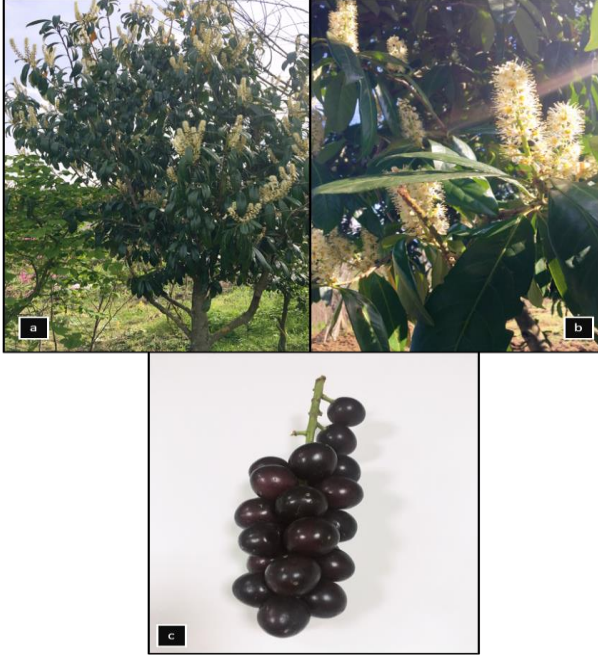
L. officinalis, Rosaceae taksonu, deniz seviyesinden 2000 m' ye kadar olan yükseltilerde yetişebilen, ormanlık bölgelerde çoğunlukla kayın ve ormangülleri ile bulunan, 6 m'ye kadar boylanan, her dem yeşil çalı ya da küçük ağaçlardır. Ülkemizde *Laurocerasus officinalis* taksonu (Sinonimleri: *Prunus laurocerasus* L., *Padus laurocerasus* (L.) Mill., *Cerasus laurocerasus* (L.) Lois. Duhamel, *Laurocerasus vulgaris* Carr.) Karayemiş, Karamış, Karamış, Kattak, Laz kirazı, Laz yemişi, Laz üzümü, Gürcü kirazı, Taflan, Tahnal, Tanal, Tçkoo yerel isimleriyle bilinmektedir [34, 35, 36]. Yöre insanları daha çok karayemiş ya da taflan olarak bildikleri bu bitkiden pek çok şekilde faydalanmaktadırlar. Meyvesi özellikle Doğu Karadeniz bölgesinde bol miktarda tüketilen meyveler arasındadır [34, 37-42]. Taze bir şekilde tüketildiği gibi kuru ya da kavru olarak da yenilen meyvesinden turşu, pekmez, reçel, marmelat ve hoşaf da yapılmaktadır.



Şekil 1. *Laurocerasus officinalis* türünün Türkiye üzerindeki yayılışı

Davis'in kareleme sistemine göre A1, A2, A3, A4, A5, A6, A7, A8, C5, C6 karelerinde bulunan *L. officinalis*,

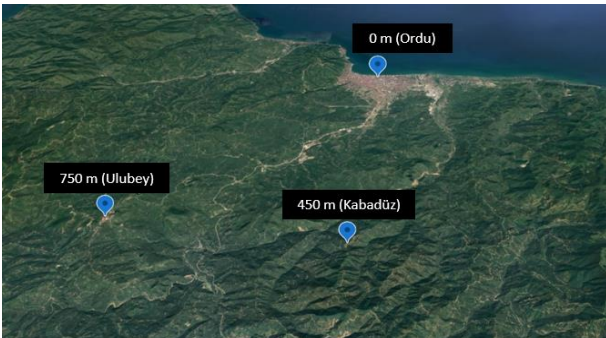
Bolu, İstanbul, Zonguldak, Kastamonu, Balıkesir, Hatay, Ordu, Rize, Samsun ve Trabzon illerinde doğal olarak yetişmektedir (Şekil 1 ve 2). Ilıman iklim koşullarında, genellikle derin, nemli ve asidik toprakları tercih etmesine rağmen, alkali ve nötr topraklarda da yetişmektedir. Bundan dolayı Karadeniz'in sahil kesimlerinde yoğun olarak bulunmaktadır [34, 36, 39, 41, 43, 44].



Şekil 2. *L. officinalis* türünün a. genel görünüşü b. yaprağı ve çiçeği c. meyvesi

2.2. Yöntem

Örnekler, yükseklik gradiyentine bağlı olarak Ordu ilinde deniz seviyesi (0 m), 450 m, 750 m yükseltilerindeki lokalitelerde belirlenen 3'er popülasyondan; yağış gradiyentine bağlı olarak ise Doğu Karadeniz kıyı şeridi boyunca deniz seviyesinde Ordu, Trabzon ve Rize il sınırlarında belirlenen 3'er farklı popülasyondan toplanmıştır (Şekil 3, 4). Seçilen her lokalitede en az 5 bitki bireyi olmasına ve örneklerin her arazi çalışmasında aynı dallardan toplanmasına dikkat edilmiştir. Arazi çalışmaları bitkinin genç, olgun ve senesens dönemine bağlı olarak 2019 ve 2020 yılının Nisan, Temmuz ve Kasım aylarında yapılmıştır.



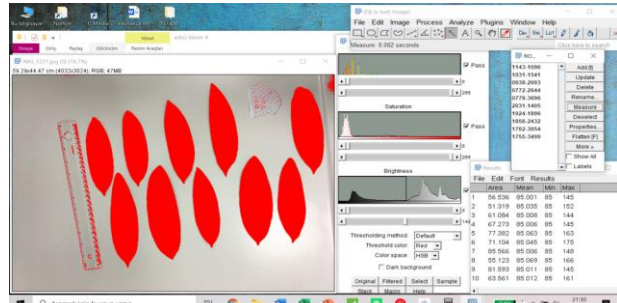
Şekil 3. Yükseklik gradiyentine bağlı olarak seçilen lokaliteler



Şekil 4. Yağış gradiyentine bağlı olarak seçilen lokaliteler

Ordu ilinde yükseklik gradiyentine bağlı olarak seçilen çalışma alanları; Altınordu ilçesinde 0 m (deniz seviyesi), Kabadüz ilçesinde 450 m ve Ulubey ilçesinde 750 m'dir. Yağış gradiyentine bağlı olarak seçilen çalışma alanları ise Ordu iline bağlı Gülyalı ilçesi, Trabzon iline bağlı Akçaabat ilçesi ve Rize iline bağlı Gündoğdu semtidir. Meteoroloji Genel Müdürlüğünden alınan 1961-2020 yılları arasındaki iklim verilerine göre Ordu ilinde yıllık yağış miktarı 1041.1 mm, Trabzon'da 824.5 mm, Rize'de ise 2245.6 mm'dir.

Araziden yaprak örneklerinin alınacağı dallar işaretlenerek aynı dala ait örneklerin alınmasına dikkat edilmiştir. Yukarıda belirtilen zamanlarda toplanan yaprak örnekleri laboratuvara getirilerek sapları kesilmiş ve 1 gün boyunca preslendikten sonra ImageJ programı kullanılarak bilgisayar ortamında alanları belirlenmiştir (Şekil 5). Alanları belirlenen yapraklar 65-70 °C'de sabit ağırlığa ulaşana kadar etüvde kurutulduktan sonra kuru ağırlıkları belirlenmiştir (Şekil 6).



Şekil 5. Preslenen yaprakların imagej programı ile alanlarının ölçülmesi

Spesifik yaprak alanı (SLA) ve Spesifik yaprak ağırlığı (LMA) aşağıdaki formüllere göre hesaplanmıştır:

$$SLA = \Sigma \text{Alan} / \Sigma \text{Ağırlık}$$

Burada;

SLA = Spesifik Yaprak Alanı (dm²/g), Σ Alan = Toplam yaprak alanı (dm²), Σ Ağırlık = Toplam yaprak kuru ağırlık (g)

$$LMA = \Sigma \text{Ağırlık} / \Sigma \text{Alan}$$

LMA = Spesifik Yaprak ağırlığı (g / dm²), Σ Ağırlık = Toplam yaprak kuru ağırlık (g), Σ Alan = Toplam yaprak alanı (dm²)

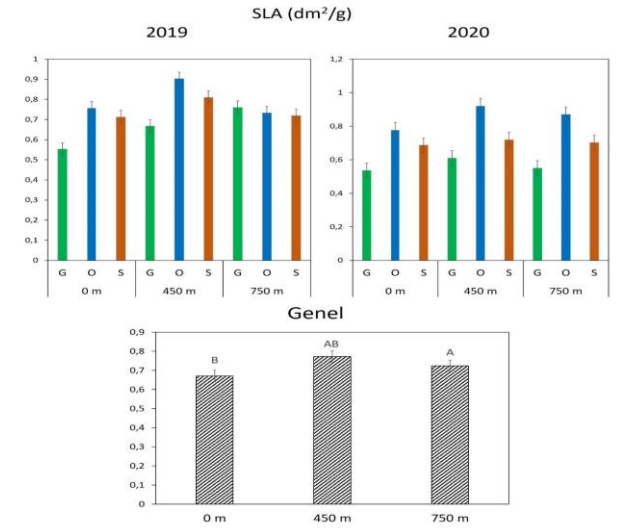


Şekil 6. Yaprak örneklerinin etüvde kurutulması

Çalışmada verilerin istatistikî değerlendirilmesi tesadüf bloklarında üç-yönlü varyans analizi (three-way ANOVA (in randomized blocks)) ile yapılmıştır. Varyans analizi sonucunda ortalamaların önemlilik düzeyine göre farklı ortalamalar Tukey çoklu karşılaştırma testi ile belirlenmiştir. Varyans analizleri öncesinde varsayımların kontrolü Levene testi ve Kolmogorov-Smirnov testi ile yapılmıştır. Hesaplamalar Minitab 19 (Minitab LLC., USA) istatistik programı ile yapılmış ve %5 önemlilik düzeyi esas alınmıştır.

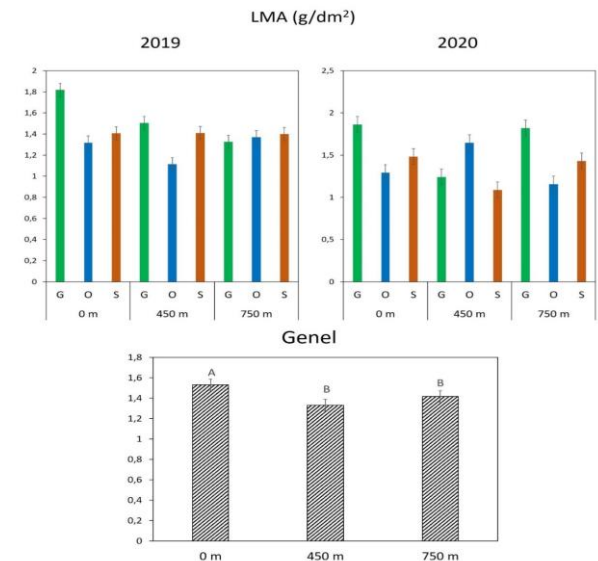
3. Bulgular

Yükseklik gradiyentine göre 2019 ve 2020 yılında 3 farklı yükseltiden toplanan *L. officinalis* taksonunun SLA parametresinin tanıtıcı istatistik değerleri ve karşılaştırma sonuçları Tablo 1'de verilmiştir. SLA için yapılan tesadüf bloklarında üç-yönlü varyans analizi sonucunda yıl-dönem ikili interaksyonu ($p=0.008$) ve bölge faktörünün esas etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p=0.001$). Buna uygun olarak yapılan Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları harflendirme şeklinde gösterilmiştir. Buna göre genel ortalamaya bakıldığında, 0 m ve 750 m lokaliteleri arasında önemli bir farklılık olduğu, 450 m lokalitesinin ise her iki lokaliteden de istatistiksel olarak farklı olmadığı ortaya çıkmıştır. 2019 yılının yıl-dönem interaksyonuna bakıldığında genç ve olgun dönemler arasında önemli bir farklılık olduğu fakat senesens döneminin her iki dönemden de farklı olmadığı görülmektedir. 2020 yılının yıl-dönem interaksyonuna bakıldığında ise her üç dönem arasında önemli farklılıklar olduğu ancak genç dönemin diğer dönemlere göre daha düşük olduğu görülmektedir (Şekil 7).



Şekil 7. Yükseklik gradiyenti lokalitelerine ve gelişme dönemlerine göre SLA (dm²/g) değerlerinin değişimi

LMA parametresinin tanıtıcı istatistik değerleri ve karşılaştırma sonuçları Tablo 2'de verilmiştir. LMA için yapılan tesadüf bloklarında üç-yönlü varyans analizi sonucunda yıl-dönem ikili interaksyonu ($p=0.006$) ve bölge faktörünün esas etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p=0.000$). Buna uygun olarak yapılan Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları harflendirme şeklinde gösterilmiştir. Buna göre genel (bölge) ortalamaya bakıldığında, 450 m ve 750 m lokaliteleri arasında önemli bir farklılık olmadığı, 0 m lokalitesinin ise her iki lokaliteden de yüksek olduğu ortaya çıkmıştır (Şekil 8). 2019 yılının yıl-dönem interaksyonuna bakıldığında olgun ve senesens dönemleri arasında önemli bir farklılık olmadığı fakat genç dönemin her iki dönemden de yüksek olduğu görülmektedir. 2020 yılının yıl-dönem interaksyonuna bakıldığında ise her üç dönem arasında önemli farklılıklar olduğu ancak genç dönemin diğer dönemlere göre daha yüksek olduğu görülmektedir.



Şekil 8. Yükseklik gradiyenti lokalitelerine ve gelişme dönemlerine göre LMA (g/dm²) değerlerinin değişimi

Tablo 1. SLA (dm^2/g) için tanıtıcı istatistik değerleri ve karşılaştırma sonuçları

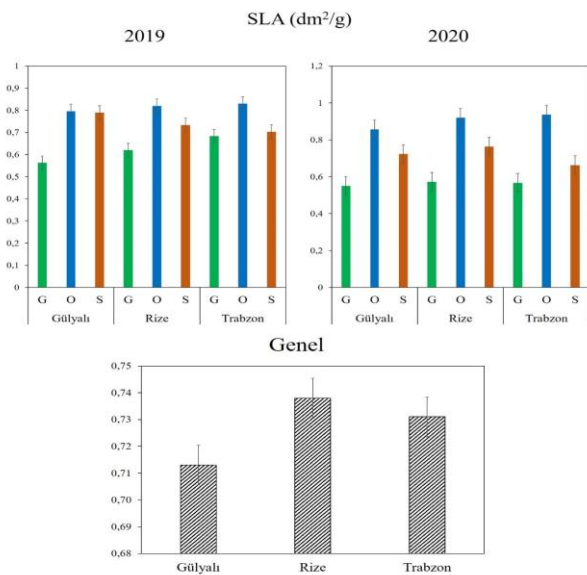
Bölge	Dönem	2019			2020			Genel (Bölge)		
		n	Ortalama	Standart Sapma	n	Ortalama	Standart Sapma	n	Ortalama	Standart Sapma
0 m	Genç	3	0.553	0.047	3	0.537	0.021	18	0.671 ^B	0.111
	Olgun	3	0.757	0.029	3	0.777	0.068			
	Senesens	3	0.713	0.059	3	0.687	0.123			
450 m	Genç	3	0.667	0.023	3	0.610	0.036	18	0.772 ^{AB}	0.131
	Olgun	3	0.903	0.076	3	0.920	0.050			
	Senesens	3	0.810	0.056	3	0.720	0.105			
750 m	Genç	3	0.760	0.085	3	0.550	0.026	18	0.723 ^A	0.116
	Olgun	3	0.733	0.068	3	0.870	0.082			
	Senesens	3	0.720	0.092	3	0.703	0.076			
Genel (Yıl x Dönem)	Genç	9	0.660 ^{Ba}	0.103	9	0.566 ^{Ca}	0.042			
	Olgun	9	0.798 ^{Aa}	0.096	9	0.856 ^{Aa}	0.086			
	Senesens	9	0.748 ^{ABa}	0.077	9	0.703 ^{Ba}	0.091			

Tukey testine göre, ortak üs büyük harfi olmayan bölge ortalamaları arasında fark vardır ($p < 0.05$)

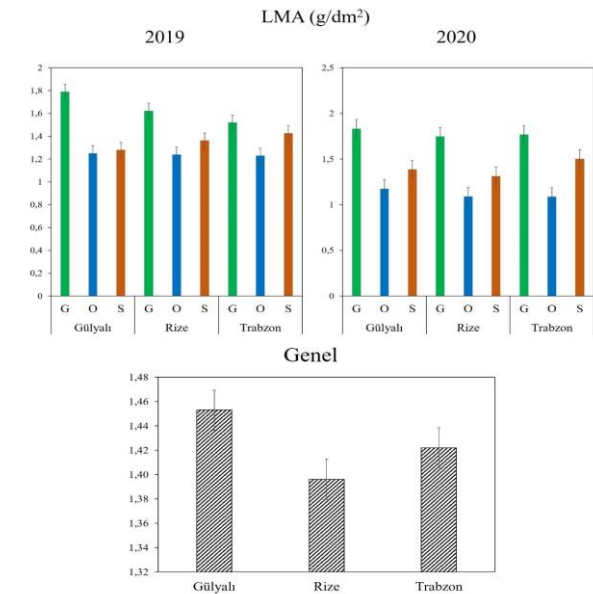
Tukey testine göre, aynı yılda ortak büyük harfi olmayan dönem ortalamaları arasında fark vardır ($p < 0.05$)

Tukey testine göre, aynı dönemde ortak küçük harfi olmayan yıl ortalamaları arasında fark vardır ($p < 0.05$)

Yağış gradiyentine göre 2019 ve 2020 yılında 3 farklı yükseltiden toplanan *L. officinalis* taksonunun SLA parametresinin tanıtıcı istatistik değerleri ve karşılaştırma sonuçları Tablo 3'te verilmiştir. SLA için yapılan tesadüf bloklarında üç-yönlü varyans analizi sonucunda yıl-dönem ikili interaksiyonu ($p=0.023$) istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Buna uygun olarak yapılan Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları harflendirme şeklinde gösterilmiştir. Buna göre yıl-dönem ikili interaksiyonuna bakıldığında 2019 yılında olgun dönem ve senesens dönem arasında önemli bir fark bulunmazken, genç dönem diğer dönemlerden daha düşük bulunmuştur. 2020 yılında ise üç dönem arasında da istatistiksel olarak önemli farklılıklar olduğu görülmektedir. Genel (bölge) ortalamaya bakıldığında SLA değeri bakımından Gülyalı lokalitesinin diğer lokalitelerden daha düşük olduğu görülmektedir (Şekil 9).

**Şekil 9.** Yağış gradiyenti lokalitelerine ve gelişme dönemlerine göre sla (dm^2/g) değerlerinin değişimi

LMA değerlerinin tanıtıcı istatistik değerleri ve karşılaştırma sonuçları Tablo 4'te verilmiştir. LMA için yapılan tesadüf bloklarında üç-yönlü varyans analizi sonucunda yıl-dönem ikili interaksiyonu ($p=0.034$) istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Buna uygun olarak yapılan Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları harflendirme şeklinde gösterilmiştir. Buna göre yıl-dönem ikili interaksiyonuna bakıldığında 2019 yılında olgun dönem ve senesens dönem arasında önemli bir fark bulunmazken, genç dönem diğer dönemlerden daha yüksek bulunmuştur. 2020 yılında ise üç dönem arasında da istatistiksel olarak önemli farklılıklar olduğu görülmektedir. Genel (bölge) ortalamaya bakıldığında LMA değeri bakımından Rize lokalitesinin diğer lokalitelerden daha düşük olduğu görülmektedir (Şekil 10).

**Şekil 10.** Yağış gradiyenti lokalitelerine ve gelişme dönemlerine göre LMA (g/dm^2) değerlerinin değişimi

Tablo 2. LMA (g/dm²) için tanıttıcı istatistik değerleri ve karşılaştırma sonuçları

Bölge	Dönem	2019			2020			Genel (Bölge)		
		n	Ortalama	Standart Sapma	n	Ortalama	Standart Sapma	n	Ortalama	Standart Sapma
0 m	Genç	3	1.817	0.155	3	1.863	0.072	18	1.531 ^A	0.266
	Olgun	3	1.320	0.052	3	1.293	0.112			
	Senesens	3	1.407	0.112	3	1.483	0.282			
450 m	Genç	3	1.503	0.058	3	1.240	0.082	18	1.333 ^B	0.231
	Olgun	3	1.113	0.091	3	1.647	0.103			
	Senesens	3	1.410	0.210	3	1.087	0.060			
750 m	Genç	3	1.327	0.145	3	1.820	0.072	18	1.417 ^B	0.236
	Olgun	3	1.370	0.118	3	1.157	0.107			
	Senesens	3	1.400	0.190	3	1.430	0.149			
Genel (Yıl x Dönem)	Genç	9	1.549Ab	0.241	9	1.777Aa	0.123			
	Olgun	9	1.268Ba	0.142	9	1.179Ca	0.123			
	Senesens	9	1.349Ba	0.143	9	1.441Ba	0.194			

Tukey testine göre, ortak üs büyük harfi olmayan bölge ortalamaları arasında fark vardır (p<0.05)

Tukey testine göre, aynı yılda ortak büyük harfi olmayan dönem ortalamaları arasında fark vardır (p<0.05)

Tukey testine göre, aynı dönemde ortak küçük harfi olmayan yıl ortalamaları arasında fark vardır (p<0.05)

Tablo 3. SLA (dm²/g) için tanıttıcı istatistik değerleri ve karşılaştırma sonuçları

Bölge	Dönem	2019			2020			Genel (Bölge)		
		n	Ortalama	Standart Sapma	n	Ortalama	Standart Sapma	n	Ortalama	Standart Sapma
Gülyalı	Genç	3	0.563	0.046	3	0.550	0.066	18	0.713	0.134
	Olgun	3	0.797	0.021	3	0.857	0.090			
	Senesens	3	0.790	0.108	3	0.723	0.040			
Rize	Genç	3	0.620	0.040	3	0.573	0.040	18	0.738	0.134
	Olgun	3	0.820	0.131	3	0.920	0.044			
	Senesens	3	0.733	0.050	3	0.763	0.067			
Trabzon	Genç	3	0.683	0.171	3	0.567	0.055	18	0.731	0.158
	Olgun	3	0.830	0.148	3	0.937	0.159			
	Senesens	3	0.703	0.045	3	0.663	0.038			
Genel (Yıl x Dönem)	Genç	9	0.622Ba	0.105	9	0.563Ca	0.048			
	Olgun	9	0.816Aa	0.101	9	0.904Aa	0.101			
	Senesens	9	0.742Aa	0.074	9	0.717Ba	0.061			

Tukey testine göre, aynı yılda ortak büyük harfi olmayan dönem ortalamaları arasında fark vardır (p<0.05)

Tukey testine göre, aynı dönemde ortak küçük harfi olmayan yıl ortalamaları arasında fark vardır (p<0.05)

Tablo 4. LMA (g/dm²) için tanıttıcı istatistik değerleri ve karşılaştırma sonuçları

Bölge	Dönem	2019			2020			Genel (Bölge)		
		n	Ortalama	Standart Sapma	n	Ortalama	Standart Sapma	n	Ortalama	Standart Sapma
Gülyalı	Genç	3	1.790	0.165	3	1.833	0.215	18	1.453	0.296
	Olgun	3	1.253	0.038	3	1.177	0.125			
	Senesens	3	1.280	0.185	3	1.387	0.075			
Rize	Genç	3	1.623	0.111	3	1.747	0.116	18	1.396	0.252
	Olgun	3	1.240	0.200	3	1.090	0.053			
	Senesens	3	1.363	0.091	3	1.313	0.114			
Trabzon	Genç	3	1.520	0.340	3	1.767	0.162	18	1.422	0.277
	Olgun	3	1.230	0.201	3	1.087	0.172			
	Senesens	3	1.427	0.095	3	1.503	0.084			
Genel (Yıl x Dönem)	Genç	9	1.644Aa	0.229	9	1.782Aa	0.152			
	Olgun	9	1.241Ba	0.143	9	1.118Ca	0.118			
	Senesens	9	1.357Ba	0.130	9	1.401Ba	0.115			

Tukey testine göre, aynı yılda ortak büyük harfi olmayan dönem ortalamaları arasında fark vardır (p<0.05)

Tukey testine göre, aynı dönemde ortak küçük harfi olmayan yıl ortalamaları arasında fark vardır (p<0.05)

4. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada 2019-2020 yıllarında Ordu ili ve doğusunda yükseklik ve yağış gradiyentine bağlı olarak belirlenen örnek parsellerden genç, olgun ve senesens döneminde toplanan *L. officinalis* taksonunun yaprak örneklerinin SLA ve LMA özellikleri incelenmiştir.

Yaprağın alanı, kalınlığı, eni ve boyu gibi morfolojik özellikleri ekolojik faktörlere göre bitkinin verimi ve gelişimi üzerinde önemli olan ekolojik göstergelerdir [1]. SLA (veya tersi LMA) yaprak fonksiyonlarından ekosistem süreçlerine kadar ilişkili olan önemli morfolojik özelliklerdendir [1, 45, 46]. Ayrıca SLA, bitkinin nispi büyüme oranı ve net asimilasyon oranı ile ilişkilidir [47]. Yüksek N ve P konsantrasyonları ve hızlı gaz değişim oranları da düşük LMA ve yaprak besin ekonomisi ile ilişkilidir. Sonuçta ot, çalı ve yaprak döken ağaçlar daha düşük LMA, her dem yeşil çalı ve ağaçlar daha yüksek LMA eğilimindedirler [8]. Yapılan çalışmada 3 farklı yükseklik ve yağış gradiyentinden toplanan *L. officinalis* taksonuna ait örneklerin SLA ve LMA değerlerinin çalışılan lokaliteler, dönemler ve zaman açısından istatistiki olarak önemli olduğu tespit edilmiştir. Yükseltiye bağlı olarak en düşük SLA değerleri 0 m'de, en yüksek değerler 450 m rakımında görülmüştür. 450 m rakımındaki sonuçlar istatistiksel olarak önemli bulunmazken 750 m rakımındaki değerler önemli bulunmuştur. Ayrıca genç ve olgun dönemdeki SLA değerleri de istatistiki olarak önemlidir. Yapraklar genç döneminde düşük ağırlıklı ve incedirler. Aynı zamanda daha fazla su içermektedirler. Bu nedenle yeni oluşmuş yapraklarda SLA değeri LMA'nın aksine yüksektir [8]. Ancak mevcut çalışmada hem yükseklik hem de yağış gradiyentine bağlı lokalitelerin genç örneklerinde SLA değerleri küçük bulunmuştur.

Rüzgâr, yağış gibi iklimsel faktörlerde görülen varyasyonlar, besin elementlerinin transfer edilme oranlarındaki farklılıklar SLA değerlerinde mevsimsel varyasyonlara sebep olabilir [4]. Güzel (2017) [48] tarafından yapılan çalışmada, *Carpinus betulus*, *Castanea sativa*, *Fagus orientalis*, *Quercus pontica* ve *Betula medwediewii* taksonlarında da bizim çalışmamızda olduğu gibi, SLA değerlerinin başlangıçta küçük, senesens döneminde ise yüksek olduğu tespit edilmiştir. LMA değerlerinde de bunun tersi durum gözlenmiştir. Düşük SLA değerine sahip türlerin yüksek kuru madde içeriği ve sekonder metabolit konsantrasyonları, yüksek yaprak ve kök uzunluğu ömrü stratejilerine sahiptirler [48, 49]. Bununla beraber, her dem yeşil türlerin genellikle yaprak döken türlere göre, maksimum fotosentez oranının daha düşük olmasından dolayı daha düşük SLA'ya sahip oldukları belirtilmiştir [50]. Ayrıca yüksek SLA yüksek verimliliği gösterir [51]. Bu nedenle yakalanan kaynakların elde tutulmasının yüksek olduğu kaynakça fakir olan çevrelerde düşük SLA'ya sahip türler, kaynakça zengin çevrelerde ise

yüksek SLA'ya sahip türler bulunmaktadır. LMA'nın azalması birim alandaki daha düşük yaprak yapım maliyetleri ve alan başına solunum oranları gibi kısa vadeli avantajlar sağlayabilir [52]. Sürmen ve ark., (2016) [8] tarafından yapılan çalışmada *Alcea apterocarpa* (Fenzl) Boiss. taksonunun toprak verimliliğinin yüksek olduğu lokalitelerde yüksek SLA'ya sahip olduğu belirlenmiştir. SLA ve LMA değerlerinin yükseltiye, topografik gradiyente ve mevsime bağlı olarak değiştiği yapılan çalışmalar ile de ortaya konulmuştur [8, 18, 52, 53, 54]. LMA değerinin artan yükselti ile arttığını rapor eden çalışmalar [55] olmakla beraber, SLA değerinin yükseltiye bağlı olarak azaldığını bildiren çalışmalar da bulunmaktadır [56, 57]. Bizim çalışmamızda artan yükseltiye bağlı olarak SLA artarken, LMA değerlerinin azaldığı görülmektedir. LMA'nın besine fakir topraklarda ve stres koşullarında da arttığı belirtilmiştir [58, 59]. Zhao ve ark., (2015) [60] yaptıkları çalışmada SLA değerlerinin 3000 m yüksekliğe kadar arttığını ifade etmişlerdir.

Yağış gradiyentine bağlı olarak belirlenen SLA ve LMA değerlerine bakıldığında genç dönem ve Rize ili dikkat çekmektedir. En yüksek SLA değeri (en düşük LMA değeri) en fazla yağış alan Rize lokalitesine ait iken yükseltilik gradiyentinde olduğu gibi en küçük SLA değerlerine genç dönemde rastlanmıştır. Yağışın havadaki nem oranını arttırması, buharlaşma ile su kaybının az olması bu durumun bir nedeni olabilir. Bu durum yağışlı çevrelerdeki yüksek SLA'nın daha sıcak çevrelerdeki düşük SLA'nın bir kanıtı olabilir [48]. Sıcak yerlerde buharlaşmaya bağlı su kaybından dolayı yaprak alanında azalmalar meydana gelebilir. Yağışa bağlı olarak LMA değerinin azaldığı literatürde de bildirilmektedir [61-63]. Ayrıca, makroelement içeriklerindeki artışa bağlı olarak SLA değerlerinde azalma, LMA'da ise artış olduğu belirtilmektedir. Yağış ve sıcaklık bitki gelişimini direk veya indirekt olarak etkileyen en önemli çevre faktörlerindedir [64]. Zhao ve ark., (2015) [60] tarafından *Abies faxoniana* Rehder & E. H. Wilson taksonunun yükseklik gradiyentine bağlı yaprak C izotop kompozisyonunun çalışıldığı araştırmada yaprak stoma özellikleri, yaprak N içeriği, SLA, C içeriği gibi özelliklerin ekofizyolojik süreçlerde çevresel olarak indüklenen varyasyonun sonucu olarak, yaşa ve yükseltiye bağlı olarak önemli derecede değiştiği ortaya konulmuştur.

Sonuç olarak, bu çalışmada yükselti, yağış, gelişme dönemi ve zaman bağlı olarak SLA, LMA değerlerinde varyasyonlar görülmekle beraber, yükselti ve yağış artışına bağlı olarak yüksek SLA, düşük LMA değerleri görülmektedir. Gelişme dönemleri açısından yükselti ve yağışa bağlı lokalitelerde ise küçük SLA, büyük LMA değerleri tespit edilmiştir. Bu sonuçlar *L. officinalis* taksonunun farklı ekolojik şartların olduğu habitatlara uyum sağlayabileceğini göstermektedir. Yüksek yapılı bitkilerde önemli bir vejetatif organ olan yaprağın zaman ve mekâna bağlı olarak gösterdiği varyasyonlar [1] ve dinamizm küresel ölçekte modellerin ortaya

konulmasında, ekosistemlerin işleyiş mekanizmalarının aydınlatılması için çok önemlidir.

Teşekkür

Bu çalışma Ordu Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi AR-2009 no'lu projenin bir kısmıdır. Katkılarından dolayı teşekkür ederiz.

Etik Beyanı

Bu çalışmada, "Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesi" kapsamında uyulması gerekli tüm kurallara uyulduğunu, bahsi geçen yönergenin "Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiğine Aykırı Eylemler" başlığı altında belirtilen eylemlerden hiçbirinin gerçekleştirilmediğini taahhüt ederiz.

Kaynakça

- [1] Yalçın, E. 2018. Ekosistemlerde Yaprığın Ekolojik Fonksiyonları. Black Sea Journal of Engineering and Science, 1(2), 68-82.
- [2] Luan, Z., Shao, D., Qi, Q., Zhang, Q., Gao, X., Luan, J., Lin, M., Jiang, W. 2021. Variation of Leaf Traits With Altitude in *Lonicera caerulea* var. *edulis* (Caprifoliaceae) from Northeastern China. Pakistan Journal of Botany, 53(3), 949-957.
- [3] Lee, D. W., Oberbauer, S. F., Johnson, P., Krishnapilay, B., Mansor, M., Mohamad, H., Yap, S. K. 2000 Effects of Irradiance and Spectral Quality on Leaf Structure and Function in Seedlings of Two Southeast Asian Hopea (Dipterocarpaceae) Species. American Journal of Botany, 87(4), 447-455.
- [4] Kwon, B., Kim, H. S., Jeon, J., Yi, M. J. 2016. Effects of Temporal and Interspecific Variation of Specific Leaf Area on Leaf Area Index Estimation of Temperate Broadleaved Forests in Korea. Forests, 7(10), 215.
- [5] Sürmen, B. 2021. Ecological Strategies of Terrestrial Plant Species Belonging Two Different Habitats in Kızılırmak Delta (Samsun/TURKEY). Biology Bulletin, 48(6), 800-812.
- [6] Sellin, A. 2001. Morphological and Stomatal Responses of Norway Spruce Foliage to Irradiance Within a Canopy Depending on Shoot Age. Environmental and Experimental Botany, 45, 115-131.
- [7] Bilgin, A., Güzel, Ş. 2017. Foliar Resorption and Nutrient Changes in Leaves and Soils of *Tilia rubra* subsp. *caucasica* (Linden) Along an Altitudinal Gradient During The Growing Season. Fresenius Environmental Bulletin, 26(2a), 1607-1621.
- [8] Sürmen, B., Kutbay, H. G., Çakmak, A., Yılmaz, H. 2016. Comparison of Leaf Traits (SLA And LMA) on Different Populations of *Alcea apterocarpa*. Hacettepe Journal of Biology and Chemistry, 44(2), 125-131.
- [9] Jullien, A., Allirand J. M., Mathieu A., Andrieu, B., Ney, B. 2009. Variations in Leaf Mass Per Area According to N Nutrition, Plant Age, and Leaf Position Reflect Ontogenetic Plasticity in Winter Oilseed Rape (*Brassica napus* L.). Field Crops Research, 114(2), 188-197.
- [10] Jetz, W., McGeoch, M. A., Guralnick, R., Ferrier, S., Beck, J., Costello, M. J., Fernandez, M., Geller, G. N., Keil, P., Merow, C., Meyer, C., Muller-Karger, F. E., Pereira, H. M., Regan, E. C., Schmeller, D. S., Turak, E. 2019. Essential Biodiversity Variables for Mapping and Monitoring Species Populations. Nature Ecology & Evolution, 3, 539-551.
- [11] Gara, T. W., Rahimzadeh-Bajgiran, P., Darvishzadeh, R. 2021. Forest Leaf Mass Per Area (LMA) Through The Eye of Optical Remote Sensing: A Review and Future Outlook. Remote Sensing, 13(17), 3352.
- [12] Kleyer, M., Bekker, R. M., Knevel, I. C., Bakker, J. P., Thompson, K., Sonnenschein, M., Poschlod, P., van Groenendael, J. M., Klimes, L., Klimesova, J., Klotz, S., Rusch, G. M., Hermy, M., Adriaens, D., Boedeltje, G., Bossuyt, B., Dannemann, A., Endels, P., Goetzenberger, L., Hodgson, J. G., Jackel, A. -K., Kuehn, I., Kunzmann, D., Ozinga, W. A., Roemermann, C., Stadler, M., Schlegelmilch, J., Steendam, H. J., Tackenberg, O., Wilmann, B., Cornelissen, J. H. C., Eriksson, O., Garnier, E., Peco, B., 2008. The LEDA Traitbase: A Database of Life-History Traits of The Northwest European Flora. Journal of Ecology, 96, 1266-1274.
- [13] Wright, I. J., Reich, P. B., Westoby, M., Ackerly, D. D., Baruch, Z., Bongers, F., Cavender-Bares, J., Chapin, T., Cornelissen, J. H. C., Diemer, M., Flexas, J., Garnier, E., Groom, P. K., Gulias, J., Hikosaka, K., Lamont, B. B., Lee, T., Lee, W., Lusk, C., Midgley, J. J., Navas, M.-L., Niinemets, Ü., Oleksyn, J., Osada, N., Poorter, H., Poot, P., Prior, L., Pyankov, V. I., Roumet, C., Thomas, S. C., Tjoelker, M. G., Veneklaas, E. J., Villar, R. 2004. The World-Wide Leaf Economics Spectrum. Nature, 428(6985), 821-827.
- [14] Zhuang, J., Zhou, L., Wang, Y., Chi, Y. 2021. Nitrogen Allocation Regulates The Relationship Between Maximum Carboxylation Rate and Chlorophyll Content Along The Vertical Gradient Of Subtropical Forest Canopy. Agricultural and Forest Meteorology, 307(3), 1-10.
- [15] Paż-Dyderska, S., Dyderski, M. K., Nowak, K., Jagodziński, A. M. 2020. On The Sunny Side of The Crown-Quantification of Intra-Canopy SLA Variation Among 179 Taxa. Forest Ecology and Management, 472, 1-8.
- [16] Díaz, S., Kattge, J., Cornelissen, J. H. C., Wright, I. J., Lavorel, S., Dray, S., Reu, B., Kleyer, M., Wirth, C.,

- Colin Prentice, I., Garnier, E., Bönisch, G., Westoby, M., Poorter, H., Reich, P. B., Moles, A. T., Dickie, J., Gillison, A. N., Zanne, A. E., Chave, J., Joseph Wright, S., Sheremet'ev, S. N., Jactel, H., Baraloto, C., Cerabolini, B., Pierce, S., Shipley, B., Kirkup, D., Casanoves, F., Joswig, J. S., Günther, A., Falczuk, V., Rüger, N., Mahecha, M. D., Gorné, L. D. 2016. The Global Spectrum of Plant Form and Function. *Nature*, 529, 167-171.
- [17] Greenwood, S., Ruiz-Benito, P., Martínez-Vilalta, J., Lloret, F., Kitzberger, T., Allen, C. D., Fensham, R., Laughlin, D. C., Kattge, J., Bönisch, G., Kraft, N. J. B., Jump, A. S. 2017. Tree Mortality Across Biomes is Promoted By Drought Intensity, Lower Wood Density and Higher Specific Leaf Area. *Ecology Letters*, 20, 539-553.
- [18] Özbucak, T. B., Kutbay, H. G., Yalçın, S., Kılıç D.D. 2011. Foliar Nitrogen (N), Phosphorus (P) Dynamics and Foliar Resorption of *Corylus avellana* var. *avellana*. *Ekoloji*, 81, 1-7.
- [19] Tounekti, T., Al-Turki, T. A., Mehdi, M., Khemira, H. 2017. Leaf Functional Trait Variation Associated With Salinity Tolerance in *Salvadora Persica*. *International Journal of Pure and Applied Bioscience*, 5(2), 14-21.
- [20] Xu, M., Zhu, Y., Zhang, S., Feng, Y., Zhang, W., Han, X. 2021. Global Scaling The Leaf Nitrogen and Phosphorus Resorption of Woody Species: Revisiting Some Commonly Held Views. *Science of The Total Environment*, 788, 1-8.
- [21] Kılınç, M., Kutbay, H. G., Yalçın, E., Bilgin, A. 2006. Bitki Ekolojisi ve Bitki Sosyolojisi Uygulamaları. Palme Yayıncılık, Ankara, Türkiye, 362 s.
- [22] Gül, E., Erşahin, S., Dölarıslan, M. 2012. Orta-Kuzey Anadolu Yarı-Kurak İklim Koşullarında Topografya, Toprak Özellikleri ve Bitki Kompozisyonu Etkileşimi. *Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi*, 5(2), 56-60.
- [23] Dölarıslan, M., Gül, E. 2015. Yapraklı-Büyükyaıyla (Çankırı)'nın Vasküler Bitkiler Florası. *Ormancılık Dergisi*, 11(2), 74-91.
- [24] Özyavuz, M. 2011. Bitki Örtüsünün Ekolojik Şartlarının Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Uzaktan Algılama Teknikleri ile Analizi, Ganos (Işıklar) Dağı, Tekirdağ. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 8(2), 37-48.
- [25] Koçman, A. 1989. Applied Physical Geography Studies and Investigations on Bozdağlar District in Izmir. Publications of Ege University, Faculty of Literature No:49, Izmir.
- [26] Stevens, G. C. 1992. The Elevation Gradient in Altitudinal Range: an Extension of Rapoport's Latitudinal Rule to Altitude. *The American Naturalist*, 140(6), 893-911.
- [27] Vetaas, O. R., Grytnes, J. A. 2002. Distribution of Vascular Plant Species Richness and Endemic Richness Along The Himalayan Elevation Gradient in Nepal. *Global Ecology & Biogeography*, 11, 291-301.
- [28] Mueller-Dombois, D. 1980. The Ohia Die-Back Phenomenon in The Hawaiian Rain Forest. *The Recovery Process in Damaged Ecosystems*, 153-161.
- [29] Vitousek, P. 1982. Nutrient Cycling and Nutrient Use Efficiency. *The American Naturalist*, 119, 553- 572.
- [30] Gönüz, A., Özörgücü, B. 1999. An Investigation on The Morphology, Anatomy and Ecology of *Origanum onites* L.. *Turkish Journal of Botany*, 23, 19-32.
- [31] Noitsakis, B., Tsiouvaras, C. 1990. Seasonal Changes in Components of Leaf Water Potential and Leaf Area Growth Rate in Kermes Oak. *Oecologia*, 11(3), 419-427.
- [32] Özbucak, T., Polat, G., Akçin, Ö. E., Kutbay, H. G. 2017. The Effects of Elevation on The Morpho-Anatomical and Ecological Traits in *Cyclamen coum* subsp. *coum* Mill. Populations in The Central Black Sea Region of Turkey in Contrasting Habitats. *Polish Journal of Ecology*, 65(2), 211-226.
- [33] Hürkul, M. M., Köroğlu, A. 2021. Türkiye'de Doğal Olarak Yetişen Bazı Cotoneaster Medik. (Rosaceae) Türlerinin Karşılaştırmalı Morfolojik Özellikleri. *Ankara Üniversitesi Eczacılık Fakültesi Dergisi*, 45(1), 12-33.
- [34] Davis, P. H. 1965. *Flora of Turkey and The East Aegean Islands*, Vol. 1- 9, *Edinburgh University Press*, Edinburgh.
- [35] Vahapoğlu, B., Altan, E.N., Gülseren, İ. 2018. Karayemiş Meyvesinin Biyoaktif Özellikleri ve Fonksiyonel Gıdalarda Kullanım Potansiyeli. *The Journal of Food*, 43(5), 751-764.
- [36] Anonim, 2019. *Laurocerasus officinalis*. <http://www.tubives.com> (Erişim tarihi: 08.01.2019).
- [37] Ayaz, F. A., Kadioğlu, A., Reunanen, M., Var, M. 1997. Sugar Composition in Fruits of *Laurocerasus officinalis* Roem. and Its Three Cultivars. *Journal of Food Composition and Analysis*, 10, 82-86.
- [38] İslam, A. 2002. 'Kiraz' Cherry Laurel (*Prunus laurocerasus*). *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 30, 301-302.
- [39] Kolaylı, S., Küçük, M., Duran, C., Candan, F., Dinçer, B. 2003. Chemical and Antioxidant Properties of *Laurocerasus officinalis* Roem. (Cherry Laurel) Fruit Grown in The Black Sea Region. *Journal Agricultural and Food Chemistry*, 51, 7489-7494.
- [40] Çalışır, S., Aydın, C. 2004. Some Physico-Mechanic Properties of Cherry Laurel (*Prunus lauracerasus*

- L.) Fruits. *Journal of Food Engineering*, 65, 145-150.
- [41] Çelik, H., İslam, A., Kalkışım, Ö. 2015. Effect of Cutting Time and IBA Application on Rooting of Edible Cherry Laurel (*Prunus laurocerasus* cv. 'Kiraz') Cuttings. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 30(3), 215-220.
- [42] Ergüney, E., Gülsünoğlu, Z., Fıratlıgil Durmuş, E., Kılıç Akyılmaz, M. 2015. Karayemiş Tozu Fiziksel Özelliklerinin İyileştirilmesi. *Akademik Gıda*, 13(2), 108-114.
- [43] Beyhan, Ö. 2010. A Study on Selection of Promising Native Cherry Laurel (*Prunus laurocerasus* L.) Genotypes From Sakarya, Turkey. *The Journal of Animal & Plant Sciences*, 20(4), 231-233.
- [44] İslam, A., Deligöz, H. 2012. Ordu İlinde Karayemiş (*Laurocerasus officinalis* L.) Seleksiyonu, *Akademik Ziraat Dergisi*, 1(1), 37-44.
- [45] Quero, J. L., Villar, R., Marañon, T., Zamora, R. 2006. Interactions of Drought and Shade Effects on Seedlings of Four *Quercus* Species: Physiological and Structural Leaf Responses. *New Phytologist*, 170, 819-834.
- [46] Lopez-Iglesias, B., Olmo, M., Gallardo, A., Villar, R. 2014. Short-Term Effects of Litter from 21 Woody Species on Plant Growth and Root Development. *Plant Soil*, 381, 177-191.
- [47] Cornelissen, J. H. C., Lavorel, S., Garnier, E., Díaz, S., Buchmann, N., Gurvich, D. E., Reich, P. B., Ter Steege, H., Morgan, H. D., van der Heijden, G. A., Pausas, J. G., Poorter, H. 2003. A Handbook of Protocols for Standardised and Easy Measurement of Plant Functional Traits Worldwide. *Australian Journal of Botany*, 51, 335-380.
- [48] Güzel, Ş. 2017. Fırtına Vadisi'nde bazı odunsu taksonların yüksekliğe bağlı makroelement değişimi ve rezorbsiyon. *Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi*, 316s, Rize.
- [49] Ackerly, D. D., Knight, C. A., Weiss, S. B., Barton, K., Starmer, K. P. 2002. Leaf Size, Specific Leaf Area and Microhabitat Distribution of Chaparral Woody Plants: Contrasting Patterns in Species Level and Community Level Analyses. *Oecologia*, 130, 449-457.
- [50] Aerts, R., Chapin, F. S. 2000. The Mineral Nutrition of Wild Plants Revisited: A Re-Evaluation of Processes and Patterns. *Advances in Ecological Research*, 30, 1-67.
- [51] Liu, J., Zeng, D., Lee, D. K., Fan, Z., Zhong, L. 2008. Leaf Traits and Their Interrelationship of 23 Plant Species in Southeast of Keerqin Sandy Lands, China. *Frontiers of Biology in China*, 3, 332-337.
- [52] Kılıç, D., Kutbay, H. G., Özbucak, T. B., Hüseyinova, R. 2010. Foliar Resorption in *Quercus petraea* subsp. *iberica* and *Arbutus andrache* Along an Elevational Gradient. *Annals of Forest Science*, 67, 213-220.
- [53] Kılıç, D. D., Kutbay, H. G., Özbucak, T., Hüseyinova, R. 2012. Nitrogen and Phosphorus Resorption in Two Sympatric Deciduous Species Along An Elevation Gradient. *Revue d'Ecologie (La Terre et la Vie)*, 67, 1-14.
- [54] Bilgin, A., Zeren, Y., Güzel, S. 2016. Foliar N and P Resorption and Nutrient (N, P, C, and S) Contents of *Vaccinium arctostaphylos* L. and *Vaccinium myrtillus* L. From East Black Sea Region of Turkey. *Turkish Journal of Botany*, 40, 137-146.
- [55] Guo, Q., Li, H., Zhang, W. 2016. Variations in Leaf Functional Traits and Physiological Characteristics of *Abies georgei* var. *smithii* Along The Altitude Gradient in The Southeastern Tibetan Plateau. *Journal of mountain Science*, 13, 1818-1828.
- [56] Körner, C. 1989. The Nutritional Status of Plants from High Altitudes. *Oecologia*, 81, 379-391.
- [57] Doğan, A. 2012. *Hedera helix* L.'te Yaprak besin elementlerinin değişimi üzerine bir araştırma. *Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, 129s, Samsun.
- [58] Kılıç, D. D. 2006. Amasya çevresinde bir yükseklik gradiyenti boyunca yayılış gösteren yaprak dökken ve dökmeyen iki türde (*Quercus petraea* (Mattuschka) Liebl. subsp. *iberica* (Steven ex Bieb.) ve *Arbutus andrachne* L.) azot ve fosfor rezorbsiyonu. *Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi*, 169s, Samsun.
- [59] Lusk, C. H., Reich, P. B., Montgomery, R. A., Eckerly, D. A., Cavender-Bares, J. 2008. Why Are Evergreen Leaves So Contrary About Shade? *Trends in Ecology & Evolution*, 23, 299-303.
- [60] Zhao, H. X., Duan, B. L., Lei, Y.B. 2015. Causes for The Unimodal Pattern of Leaf Carbon Isotope Composition in *Abies Faxoniana* Trees Growing in A Natural Forest Along An Altitudinal Gradient. *Journal of Mountain Science*, 12, 39-48.
- [61] Oren, R., Schulze, E. D., Matyssek, R., Zimmermann, R. 1986. Estimating Photosynthetic Rate and Annual Carbon Gain in Conifers from Specific Leaf Weight and Leaf Biomass. *Oecologia*, 70, 187-193.
- [62] Vitousek, P. M., Aplet, G., Turner, D., Lockwood, J. J. 1992. The Mauna Loa Environmental Matrix: Foliar and Soil Nutrients. *Oecologia*, 89, 372-382.
- [63] Anderson, J. E., Williams, J., Kriedemann, P. E., Austin, M. P., Farquar, G. D. 1996. Correlations Between Carbon Isotope Discrimination and Climate of Native Habitats for Diverse Eucalypt

Taxa Growing in a Common Garden. Australian Journal of Plant Physiology, 23, 311-320.

[64] Li, Y., Chen, J., Cui, J., Zhao, X., Zhang, T. 2013. Nutrient Resorption in *Caragana microphylla*

Along a Chronosequence of Plantations: Implications for Desertified Land Restoration in North China. Ecological Engineering, 53, 299-305.

The Effects of BTTN, TMETN and DEGDN Molecules on the Explosion Properties of PETN Molecule

Cihat HİLAL*¹, Serhat VARIŞ², Mehmet Erman MERT³, Müşerref ÖNAL¹, Yüksel SARIKAYA¹

¹Ankara University, Faculty of Science, Department of Chemistry, 06100, Ankara, Türkiye

²TÜBİTAK SAGE, Composite and Polymeric Materials Division, 06261, Ankara, Türkiye

³Adana Alparslan Türkeş Science and Technology University, Advanced Technology Research Application Center, 01250, Adana, Türkiye

(Alınış / Received: 10.01.2022, Kabul / Accepted: 02.07.2022, Online Yayınlanma / Published Online: 20.12.2022)

Keywords

Density functional theory,
Detonation velocity,
Detonation pressure,
Heat of detonation,
Oxygen balance

Abstract: Molecular modelling is an appreciated tool that brings valuable data on physical and chemical characteristics of materials that eliminates the necessity of conducting any experiment. This method allows the calculation of the performance of energetic molecules to be synthesized. In the work, the detonation parameters of the energetic organic compounds Pentaerythritol tetranitrate (PETN), Butanetriol trinitrate (BTTN), Trimetylolethane trinitrate (TMETN) and Diethyleneglycol dinitrate (DEGDN) has theoretically been calculated and some values compared with the literature values. Moreover, three hypothetical molecules combining PETN with other explosive molecules have been designed. The density functional theory (DFT) with B3LYP 6-31G (d,p) basis set was employed for the calculation of the detonation properties. It has been concluded that all molecules have the effect of increasing the explosion parameters of PETN.

PETN Molekülünün Patlama Özelliklerine BTTN, TMETN and DEGDN Moleküllerinin Etkileri

Anahtar Kelimeler

Yoğunluk fonksiyonu teorisi,
Patlama hızı,
Patlama basıncı,
Patlama ısısı,
Oksijen içeriği

Öz: Moleküler modelleme deney yapmaksızın moleküllerin fiziksel ve kimyasal özellikleri hakkında değerli veriler sunan bir araçtır. Bu yöntem sentezlenecek enerjik moleküllerin performanslarının hesaplanmasına olanak sağlamaktadır. Çalışmada enerjik organik bileşik olan Pentaeritritol tetranitrat (PETN), Bütantriol trinitrat (BTNN), Trimetiloletan trinitrat (TMETN) ve Dietilen glikol dinatrat (DEGDN) moleküllerinin patlama parametreleri kuramsal olarak hesaplanmış ve bazı değerler literatür değerleriyle karşılaştırılmıştır. Ayrıca PETN ve diğer moleküller arasında farklı üç boyutlu moleküller modellenmiştir. Patlama özelliklerinin hesaplanması için B3LYP 6-31G (d,p) temel seti ile yoğunluk fonksiyonel teorisi (YFT) kullanılmıştır. Tüm moleküllerin PETN' nin patlama parametrelerini artırıcı etkide bulunduğu sonucuna ulaşılmıştır.

1. Introduction

Explosives are unstable energetic molecules that can be initiated by heat, spark, flame, shock, impact, friction or by any energy pulse. Upon initiation, explosion occurs resulting in an immediate expansion of gaseous products emitting heat and great change in pressure. This phenomenon is called an explosion. The reaction enthalpy can be defined with the difference products and reactants. The reaction heat is defined as the "heat of explosion" when an energetic molecule is activated to gaseous products at constant pressure. The explosives consist of high percent of carbon (C), hydrogen (H), oxygen (O) and nitrogen (N). When an

explosive molecule is burnt in abundant oxygen, CO₂ and H₂O which are the highest oxidation states of C and H, respectively, are produced. The nitrogen content of the explosive is converted to molecular nitrogen (N₂) because the internal energy of N₂ is lower than the nitrogen oxides compounds such as NO, NO₂, N₂O₃ etc. Since the nitro (-NO₂) and nitrate ester (-ONO₂) functional groups in an explosive are the primary sources of oxygen, they contribute to the detonation or combustion processes [1].

The specific and sensitive manufacturing of energetic materials (explosives, propellants, and pyrotechnics,

for example) is an essential research area for their usage in the military, defense, and industrial domains.

The two concepts of energy and stability are incompatible. Various chemical additives can be added to the explosive material to enhance or reduce them, or new explosives can be created by modifying the substituents in the present structure [1, 2].

Because the synthesis of energetic materials is hazardous and characterization is challenging, theoretical techniques are frequently employed to determine the pyrotechnical features of explosive materials. This technique not only gives advice for experimental synthesis and reduces experimental blindness, but it also pre-evaluates performance and shows the link between structures and qualities [1-3].

Pentaerythritol tetranitrate (PETN, $C_5H_8O_{12}N_4$) is a thermally stable explosive molecule, which can be synthesized by mixing pentaerythritol with concentrated nitric acid by efficient stirring and cooling. It is a powerful explosive which shows considerable bristle on detonation. It is the most stable and least reactive of the common nitrate ester explosives. Since PETN is highly sensitive to friction and impact, it is generally desensitized by using wax. This mixture is employed in boosters, detonation cord and as a base charge in detonators. Synthetic polymers can be mixed with PETN to produce plastic bonded explosives (PBXs) such as Semtex-1A. A cast mixture of PETN and Trinitrotoluene (TNT) in equal proportions is known as pentolite and has been extensively used as a military energetic material. The physical, chemical and explosive properties of PETN commend its use as a high explosive [2, 3].

1, 2, 4 - Butanetriol trinitrate (BTTN, $C_4H_7N_3O_9$) is a significant liquid nitrate ester molecule. The BTTN molecule as an additive to propellant formulations enhance mechanical properties of propellant at low temperatures. Therefore, BTTN could be introduced as an alternative to nitroglycerin (NG) [4, 5].

Diethylene glycol dinitrate (DEGDN, $C_4H_8N_2O_7$) is a nitrated alcohol ester that has colorless, odorless, viscous, oily properties. It is synthesized by the reaction of concentrated HNO_3 upon diethylene glycol. Although it is chemically similar to many strong explosives, plain diethylene glycol dinitrate is extremely difficult to ignite and will not detonate. When mixed with nitrocellulose and extruded under pressure, DEGDN can be used as a smokeless powder for artillery and a solid propellant for rockets [6].

Trimethylolethane trinitrate (TMETN, $C_5H_9N_3O_9$), also called metriol trinitrate (METN, MTN, METRTN) or nitro-pentaglycerin, is a nitrate ester explosive molecule served as an alternative to nitroglycerin. It is an odorless oily liquid and used as a plasticizer in most solid propellants and smokeless powders. It can be

initiated especially by electrostatic discharge, impact or friction and can be used as a viscous plasticizer together with nitrocellulose [7]. TMETN, DEGDN and BTTN have recently been considered as substitutes for nitroglycerin in rocket propellants [2]. The chemical structures of PETN, BTTN, DEGDN and TMETN are shown in Figure 1.

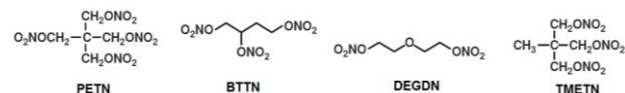


Figure 1. The chemical structures of PETN, BTTN, DEGDN and TMETN

In this current study, the detonation parameters of the explosive molecules, Pentaerythritol tetranitrate (PETN), Butanetriol trinitrate (BTTN), Diethylene glycol dinitrate (DEGDN) and Trimethylolethane trinitrate (TMETN) has computationally been calculated and compared with the literature values. Three unique hypothetical molecules have been designed. First molecule has been designed as the combination of two well-known energetic materials: PETN and BTTN; the second one is the combination of PETN and TMETN; third one is the combination of PETN and DEGDN. The main goal of the study is to observe the effects of BTTN, TMETN and DEGDN molecules on explosive properties of PETN. The idea of pairing these widespread molecules to design explosive molecules with better explosive characteristics has inspired us to study them. The density functional theory at B3LYP 6-31G (d, p) basis set was employed for the determination of the detonation properties of these hypothetical molecules.

2. Material and Method

The first structure optimization calculations of molecules considered in the present study were achieved by the following sequence: MM2 method, PM3 method, STO and HF 6-31G (d, p) and finally DFT-B3LYP 6-31G (d, p) level were used [8-12]. These basis sets were chosen because they give consistent results for forecasting ground and transition state geometries, as well as thermochemistry, in non-cyclic straight chain structures [13-17]. No imaginary frequencies have been observed in single point energy calculations. The zero point vibrational energies (ZPE) were added to the calculated energy values to find the total electronic energies. The heat of formation values of all the chemical structures were determined by the PM3 method in Spartan'08 [18]. All these computations were performed at standard temperature and pressure (STP) [19]. The molar density of the molecule is defined as the ratio of molar mass to molar volume. The molar volumes of the molecules were calculated as the average of 100 single point calculations on optimized molecule geometry. Almost all organic compounds can be studied with the present approach [20].

3. Results

3.1. Geometries

All the structures currently under consideration are assumed as candidates of effective explosives (See Figure 2). The B3LYP 6–31G (d, p) basis set was used to optimize the geometries shown in Figure 2. The nature of the stationary point has been characterized using harmonic vibrational analyses. The results revealed that the optimized molecules all have minimum energy without an imaginary frequency on the potential energy surface. Figure 2 shows the geometry optimized chemical structures.

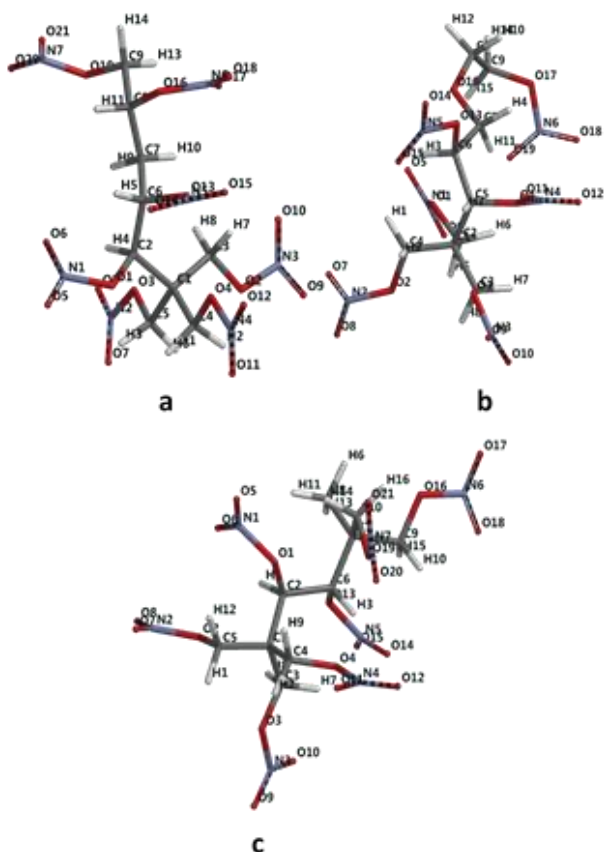


Figure 2. The optimized geometry of a. PETN-BTTN- b. PETN-DEGDN c. PETN-TMETN

3.2. Explosive properties

Detonation parameters are required for acquiring a fundamental understanding of a material's energetic performance. The detonation pressure (P) and detonation velocity (D) are the two significant parameters, which are utilized to calculate the performance of explosive materials. These parameters were calculated using the empirical Kamlet-Jacobs [21-25] equations as follows:

$$D = 1.01 (N M_{ave}^{1/2} Q^{1/2})^{1/2} (1 + 1.30 \rho) \quad (1)$$

$$P = 1.558 \rho^2 N M_{ave}^{1/2} Q^{1/2} \quad (2)$$

where each term in equations 1 and 2 has the following definition: D is detonation velocity (km/s); P

is detonation pressure (GPa); ρ is density of a compound (g/cm^3); N is moles of gaseous detonation products per gram of explosive; M_{ave} is average molecular mass of gaseous products; Q is chemical energy of detonation (kJ/g). The parameters N, M_{ave} and Q are determined based on the chemical structure of each explosive (see Table 1) [26]. In Table 1, M denotes the compound's molecular mass (in g/mol), and ΔH_{of} denotes the compound's gas phase standard heat of formation (in kJ/mol). The heats of formation in the gas state of all the molecules considered in the current work were calculated by Parametric Method-3 (PM3) on structurally optimized geometries [27-29].

Table 1. Calculating the N, M_{ave} and Q parameters of $\text{C}_a\text{H}_b\text{O}_c\text{N}_d$ type explosives using stoichiometric relationships

Paramt.	Stoichiometric relations		
	$c \geq 2a + b/2$	$2a + b/2 > c \geq b/2$	$b/2 > c$
N	$(b + 2c + 2d)/4M$	$(b + 2c + 2d)/4M$	$(b + d)/2M$
M_{ave}	$4M/(b + 2c + 2d)$	$(56d + 88c - 8b)/(b + 2c + 2d)$	$(2b + 28d + 32c)/(b + d)$
$Q \times 10^{-3}$	$(28.9b + 94.05a + 0.239\Delta H_{of}^g)/M$	$[28.9b + 94.05c - 5(c/2 - b/4) + 0.239\Delta H_{of}^g]/M$	$(57.8c + 0.239\Delta H_{of}^g)/M$

The molar volume of molecules was determined using the Gaussian 03 software's Monte Carlo approach [20]. The Ω symbol shows percent of oxygen balance of the energetic materials in this work. The predicted density data and detonation characteristics of PETN, BTTN, TMETN, DEGDN and the uniquely designed molecules pair molecules are listed in Table 2. All molecules are stoichiometrically consistent with $2a + b/2 > c \geq b/2$ relation. Consequently, relations in the second column of Table 1 have been employed in the calculations. Wu et al. [30] developed two series of novel energetic molecules by substituting carbon atoms in the rings of RDX and HMX compounds with varying quantities of boron atoms, and their performance was studied theoretically using the density functional theory approach (DFT-B3LYP 6-31G (d, p) level). The findings revealed that features including electrical structure, formation heat, density, and sensitivity may all be altered. The burst velocity (8.85 km/s) and burst pressure (36.9 GPa) were both found to be higher than the main structure.

The density data in parenthesis have been obtained from ref [31]. The correctness of the method is supported by the closeness of the estimated density data produced with the methodology utilized in this work (DFT - B3LYP 6–31G (d, p)) to the experimentally acquired data.

As seen from Table 2, the presence of PETN causes a remarkable increase in the density of PETN-BTTN, PETN-TMETN, PETN-DEGDN pair molecules. Consequently, the presence of PETN also resulted in a

Table 2. The density and the detonation parameters of explosives calculated at the B3LYP/6-31G (d,p) basis set

	ρ g/cm ³	N mol/g	M _{ave} g/mol	ΔH°_f kJ/mol	Q kJ/g	D km/s	P GPa	Ω %
PETN	1.76 (1.77*)	0.0316	30.4	-357.2 (-386.6**)	1651 (1629**)	8.83 (8.30**)	34.16 (33.50**)	-10.13
BTTN	1.70 (1.74*)	0.0321	29.16	-304.5	1610	8.57	31.51	-16.59
TMETN	1.63 (1.64*)	0.0323	26.90	-298.7	1569	8.13	27.64	-34.49
DEGDN	1.53 (1.58*)	0.0331	25.54	-369.1	1449	7.63	23.32	-40.79
PETN-BTTN (C ₉ H ₁₃ O ₂₁ N ₇)	2.11	0.0311	30.96	-532.7	1675	10.05	49.05	-10.09
PETN-TMETN (C ₁₀ H ₁₅ O ₂₁ N ₇)	1.97	0.0312	29.86	-500.2	1667	9.47	41.86	-18.27
PETN-DEGDN (C ₉ H ₁₄ O ₁₉ N ₆)	1.98	0.0314	29.63	-625.5	1606	9.45	41.89	-18.81

significant rise of D and P of pair molecules. It is clear from the calculations that the introduction of PETN molecules to BTTN, TMETN or DEGDN molecules yield more powerful explosives with higher detonation characteristics.

3.3. Heat of detonation

The heat of detonation (ΔH°_d) is the huge energy released as heat upon detonation reaction. It is the energy difference between the products and the explosive itself, as stated by Hess Law [32, 33] and shown in equation 3. Kistiakowsky and Wilson rules were applied to molecules to clarify the identification and amount of gaseous decomposition products [34, 35]. In the formula ΔH°_f is the standard formation enthalpy.

In the calculations the following standard formation enthalpy values are used: ΔH°_f H₂O(g) = -242 kJ/mol; ΔH°_f CO(g) = -111 kJ/mol; ΔH°_f CO₂(g) = -394 kJ/mol. The standard formation enthalpies of explosives have been calculated by PM3 method and listed in Table 2.

$$\Delta H^{\circ}_d = \sum \Delta H^{\circ}_f(\text{det. products}) - \sum \Delta H^{\circ}_f(\text{exp.}) \quad (3)$$

The moles of detonation products have been calculated by Kistiakowsky and Wilson rules and presented in Table 3. The presence of PETN in the new designed molecules increased the heat of detonation tremendously as seen from Table 3. Similar to the studies in the literature [30, 36-38], it is seen that the explosion heat values increase by changing the substitution groups of energetic materials or adding new groups. This means that the new energetic materials obtained will generate more heat compared to the original explosives. This means that the detonation will produce more heat when compared to those of original explosives PETN, BTTN, TMETN and DEGDN.

3.4. Explosive power and power index

The two main reaction products of an explosive reaction are heat and hot gas. The volume of explosive

product gases can be used to estimate the amount of work done by energetic materials. Standard parameters must be established to determine the volume of produced gas since the gas volume fluctuates with temperature.

The standard conditions (Pressure=1atm and Temperature 298.15 K) also enable the explosive scientists to perform evaluations among the different energetic materials. To calculate how much gas was released per gram of explosive, the molar mass was divided by the total volume of gas generated during the explosion [39-42]. Total moles of produced gas have been calculated and listed in Table3. Multiplication with 22.4 dm³/mol gives the total volume of product gases.

The explosive power value can be calculated using the heat of explosion "Q" and the volume of created gas "V," as shown in equation 4. The power index can be calculated as shown in equation 5.

$$\text{Explosive Power} = QV \quad (4)$$

$$\text{Power Index \%} = QV / Q_{PA}V_{PA} \quad (5)$$

The explosive power results were then compared to a conventional explosive's explosive power. Table 3 displays the power index values of PETN, BTTN, TMETN, DEGDN and the pair molecules. The compounds under consideration have power index values ranging from 107 to 111 percent and they are listed in the order below: TMETN>BTTN> PETN-TMETN> PETN-DEGDN>DEGDN> PETN> PETN-BTTN. The results have shown that there is no significant difference in power index values in the pair molecules because of the chemical similarities (all are aliphatic nitrates) between the parent molecules and pair molecules.

4. Discussion and Conclusion

In this study, PETN, BTTN, TMETN, DEGDN, and three different pair explosive compounds have been studied computationally. The corrected absolute and relative

Table 3. The power index values of molecules and the decomposition products of molecules projected by the Kistiakowsky and Wilson Rules

Molecule	Chemical Formula	Products and moles						ΔH°_d kJ/mol	Q kJ/g	V dm ³ /g	QV	Power Index %
		H ₂ O	N ₂	CO	CO ₂	C	O ₂					
PETN	C ₅ H ₈ N ₄ O ₁₂	4.0	2.0	2.0	3.0	-	-	-2015	1651	0.78	1286.8	107
BTTN	C ₄ H ₇ O ₉ N ₃	3.5	1.5	3.0	1.0	-	0.25	-1270	1610	0.86	1383.6	115
TMETN	C ₅ H ₉ O ₉ N ₃	4.5	1.5	4.5	-	0.5	-	-1290	1569	0.92	1446.4	125
DEGDN	C ₄ H ₈ O ₇ N ₂	4.0	1.0	3.0	-	1.0	-	-932	1449	0.91	1324.0	110
PETN-BTTN	C ₉ H ₁₃ O ₂₁ N ₇	6.5	3.5	3.5	5.5	-	-	-3595	1675	0.77	1283.9	106
PETN-TMETN	C ₁₀ H ₁₅ O ₂₁ N ₇	7.5	3.5	6.5	3.5	-	-	-3415	1667	0.83	1377.5	114
PETN-DEGDN	C ₉ H ₁₄ O ₁₉ N ₆	7.0	3.0	6.0	3.0	-	-	-2916	1606	0.83	1339.6	111

total energies of the geometry optimized structures were determined at the B3LYP 6-31G (d,p) basis set. The obtained results show that by combining BTTN, TMETN, DEGDN, and PETN, it is feasible to significantly increase density, detonation velocity, and pressure. All the investigated pair compounds showed better explosive properties than parent molecules. The recently designed pair molecules are all alternatives to their parent molecules. They're all potential high-explosives candidates. May the current study will inspire organic chemists to synthesize these pair molecules and test the explosive characteristics experimentally.

Declaration of Ethical Code

In this study, we undertake that all the rules required to be followed within the scope of the "Higher Education Institutions Scientific Research and Publication Ethics Directive" are complied with, and that none of the actions stated under the heading "Actions Against Scientific Research and Publication Ethics" are not carried out.

References

- [1] Urbanski, T. 1964. Chemistry and Technology of Explosives. Vol. I, Pergamon Press, Department of Technology, Politechnika Warszawa.
- [2] Meyer, R., Köhler, J., Homburg, A. 2007. Explosives, 6nd edition, Wiley-VCH & Co. KGaA, Weinheim, Germany.
- [3] Agrawal, J. P., Hodgson, R. D. 2007. Organic Chemistry of Explosives, John Wiley & Sons Ltd., Chichester, England.
- [4] Fang, W., Xiao-Ping, Z., Run-Zhi, H., Yue, W. 2004. Study on combustion properties of nitrate ester plasticized polyether propellants at high pressure. Journal of Propulsion Technology, 19, 20–25.
- [5] Zhu, W., Yan, Q., Pang, A., Chi, X., Du, X., Xiao, H. 2014. A DFT study of the unimolecular decomposition of 1,2,4-Butanetriol trinitrate. Journal of Molecular Modeling, 20(2), 2081.
- [6] Zucker, J., Orange, W., Trask, R., Plains, M., Costa, E. Inventors. 1967. Nitrocellulose doublebase propellant containing ternary mixture of nitrate esters. United States Patent No, 3867214A.
- [7] Wells, F. B. 1976. Explosive composition comprising HMX, RDX, or PETN and a high viscosity nitrocellulose binder plasticized with TMETN. United States Patent No, 3943017.
- [8] Leach, A. R. 2001. Molecular Modeling: Principles and Applications. Addison Wesley Longman Ltd., Essex, England.
- [9] Stewart, J. J. P. 1989. Optimization of parameters for semiempirical methods II. applications. Journal of Computational Chemistry, 10, 221-264.
- [10] Stewart, J. J. P. 1989. Optimization of parameters for semiempirical methods I. method. Journal of Computational Chemistry, 10, 209-220.
- [11] Kohn, W., Sham, L. J. 1965. Self-consistent equations including exchange and correlation effects. Physical Review Journals Archive, 140, 1133-1138.
- [12] Parr, R. G., Yang, W. 1989. Density functional theory of atoms and molecules. Oxford University Press, New York.
- [13] Allis, D. G., Korter, T. M. 2006. Theoretical analysis of the terahertz spectrum of the high explosive PETN. Chemphyschem, 7, 2398-2408.
- [14] Cooper, J. K., Grant, C. D., Zhang, J. Z. 2013. Experimental and TD-DFT study of optical absorption of six explosive molecules: RDX, HMX, PETN, TNT, TATP, and HMTD. Journal of Physical Chemistry A, 117, 43-51.
- [15] Gökalp, F. 2019. A theoretical investigation of TNT in different phases by using DFT. Turkish Computational and Theoretical Chemistry, 3, 1-4.
- [16] Gruzdkov, Y. A., Dreger, Z. A., Gupta, Y. M. 2004. Experimental and theoretical study of pentaerythritol tetranitrate conformers. Journal of Physical Chemistry A, 108, 6216-6221.

- [17] Jadrlich, R. B., Ticknor, C., Leiding, J. A. 2021. First principles reactive simulation for equation of state prediction. *Physics Chemical Physics*, 1-16.
- [18] Ohlinger, W. S., Klunzinger, P. E., Deppmeier, B. J., Hehre, W. J. 2009. Efficient calculation of heats of formation. *Journal of Physical Chemistry A*, 113, 2165-2175.
- [19] Spartan 08 Modelling Software. 2008. Wavefunction, Irvine California, USA.
- [20] Gaussian 03. Revision C.02 Modelling Software. 2004. Gaussian Inc., Wallingford, USA.
- [21] Kamlet, M. J., Jacobs, S. J. 1968. Chemistry of detonations. A simple method for calculating detonation properties of C-H-N-O explosives. *Journal of Chemistry Physics*, 48, 23-25.
- [22] Kamlet, M. J., Ablard, J. E. 1968. Chemistry of detonations II. buffered equilibria. *The Journal of Chemical Physics*, 48, 36-42.
- [23] Kamlet, M. J., Dickenson, C. 1968. Chemistry of detonations III. evaluation of the simplified calculational method for chapman-jouguet detonation pressures on the basis of available experimental information. *The Journal of Chemical Physics*, 48, 43-50.
- [24] Kamlet, M. J., Hurwitz, H. J. 1968. Chemistry of detonations IV, evaluation of a simple prediction method for detonation velocities of C-H-N-O explosives, *The Journal of Chemical Physics*. 48, 3685-3692.
- [25] Şen, N. 2018. A new cocrystal explosive Trinitrotoluene(TNT):1-Amino-4-bromonaphthalene with reduced sensitivity. *Turkish Journal of Chemistry*, 42, 1321-1333.
- [26] Qiu, L., Xiao, H., Gong, X., Ju, X., Zhu, W. 2006. Theoretical studies on the structures, thermodynamic properties, detonation properties, and pyrolysis mechanisms of spiro nitramines. *Journal of Physical Chemistry A*, 110, 3797-3807.
- [27] Türker, L. 2020. A DFT treatment of some aluminized 1,3,3-Trinitroazetidene (TNAZ) systems - a deeper look. *Earthline Journal of Chemical Sciences*, 121-140.
- [28] Türker, L. 2019. Some DADNE embedded push-pull type structures - a DFT study. *Earthline Journal of Chemical Sciences*, 1-23.
- [29] Türker, L., Varış, S. 2013. Prediction of Explosive Performance Properties ofz-DBBD and Its Isomers by Quantum Chemical Computations. *Journal of Energetic Materials*, 31, 203-216.
- [30] Wu, Q., Yan, G., Li, M., Hu, Q., Zhang, Z., Zhu, W. 2020. Density functional theory studies of effects of boron replacement on the structure and property of RDX and HMX. *Journal of the Chinese Chemical Society*, 67, 1977-1985.
- [31] Wang, G., Xu, Y., Xue, C., Ding, Z., Liu, Y., Liu, H., Gong, X. 2019. Prediction of the crystalline densities of aliphatic nitrates by quantum chemistry methods. *Central European Journal of Energetic Materials*, 16, 412-432.
- [32] Labanowski, J. K., Andzelm, J. W. 1991. Density functional methods in chemistry. Springer-Verlag, Berlin.
- [33] Seminario, J. M., Politzer, P. 1995. Theoretical and computational chemistry. Elsevier Scientific, Amsterdam.
- [34] Cowan, R. D., Fickett, W. 1956. Calculation of the detonation products of solid explosives with the kistiakowsky-wilson equation of state. *Journal of Chemical Physics*, 24, 932.
- [35] Muthurajan, H., Sivabalan, R., Talawar, M. B., Asthana, S. N. 2004. Computer simulation for prediction of performance and thermodynamic parameters of high energy materials. *Journal of Hazardous Materials*, 112, 17-33.
- [36] Zhang, W., Zhang, T., Guo, W., Wang, L., Li, Z., Zhang, J. 2019. Theoretical studies of pentazole-based compounds with high detonation performance. *Journal of Energetic Materials*, 37, 433-444.
- [37] Zhang, Y-J., Bai, Y., Li, J-Z., Fu, X-L., Yang, Y-J., Tang, Q-F. 2019. Energetic nitrocellulose coating: effective way to decrease sensitivity and modify surface property of HMX particles. *Journal of Energetic Materials*, 37, 212-221.
- [38] Wang, K., Zhu, W. 2020. Theoretical studies on the surface property, thermal behaviors, stability, and disassembly process of HMX/DMF cocrystal. *Computational Materials Science*, 178, 109643.
- [39] Martin, A. R., Yallop, H. J. 1959. The correlation of explosive power with molecular structure. *Journal of Applied Chemistry*, 9, 310-315.
- [40] Zel'dovich, Y. B., Kompaneets, A. S. 1955. Theory of detonation. State Technical Press, Moscow, 208-210.
- [41] Hougen, O. A., Watson, K., Ragatz, R. 1954. Chemical process principles. John Wiley & Sons, 66-67.
- [42] Anderson, H. V. 1955. Chemical calculations. McGraw-Hill, New York, 206.
- [43] Politzer, P., Murray, J. S. 2011. Some perspectives on estimating detonation properties of C, H, N, O compounds. *Central European Journal of Energetic Materials*, 8(3), 209-220.

Prevalence of Fungal Disease Agents in Garlic Growing Areas of Gaziantep Province

Nuran YILDIZBAKAN¹, Aydın ATAKAN^{*2}, Hülya ÖZGÖNEN ÖZKAYA¹

¹Isparta University of Applied Science, Faculty of Agricultural, Department of Plant Protection, 32200, Isparta, Türkiye

²Gaziantep University, Araban Vocational School, Department of Plant and Animal Production, 27650, Gaziantep, Türkiye

(Alınış / Received: 13.01.2022, Kabul / Accepted: 31.03.2022, Online Yayınlanma / Published Online: 20.12.2022)

Keywords

Garlic,
Fungal disease,
Prevalence,
Gaziantep

Abstract: Surveys were carried out in garlic cultivation areas of Gaziantep province in April 2018 and April 2019 to determine the prevalence of fungal diseases of garlic. After the isolation process was conducted according to routine mycological methods, fungi were identified according to their cultural and morphological characteristics. Fungi belonging to genera of *Fusarium*, *Rhizoctonia*, *Macrophomina* and *Puccinia* were determined in garlic production areas. The most prevalent genus among all fungi was determined as the *Fusarium* isolated from all areas. The rust disease caused by *Puccinia porri* has not been detected in the Islahiye district and its prevalence in other areas varies between 5,1-18 %.

Gaziantep İli Sarımsak Yetiştirme Alanlarında Fungal Hastalık Etmenlerinin Yaygınlıkları

Anahtar Kelimeler

Sarımsak,
Fungal hastalık,
Yaygınlık,
Gaziantep

Öz: Gaziantep ili sarımsak ekiliş alanlarında görülen fungal hastalıkların yaygınlıklarının belirlenmesi amacıyla 2018 ve 2019 yıllarının Nisan aylarında surveyler yapılmıştır. Mikolojik yöntemlere göre yapılan fungal izolasyon işlemine göre funguslar, kültürel ve morfolojik özelliklerine göre tanımlanmıştır. Sarımsak üretim alanlarında *Fusarium*, *Rhizoctonia*, *Macrophomina* ve *Puccinia* cinslerine ait türler belirlenmiştir. Tüm funguslar içerisinde en yaygın cins, *Fusarium* olarak belirlenmiştir. *Puccinia porri* tarafından sebep olunan pas hastalığı Islahiye de tespit edilememiştir ve diğer alanlardaki yaygınlığı %5,1-18 arasında değişmektedir.

1. Introduction

Garlic (*Allium sativum* L.), one of the members of the Alliaceae family and first cultivated *Allium* species, is a bulbous plant [1, 2]. There are two subspecies of garlic, which is known to have almost 600 varieties [3]. One of these species is *A. sativum* var. *ophioscorodon*, the other one *A. sativum* var. *sativum* is cultivated widely and economically important in Türkiye. Garlic, which has an important role in terms of agricultural and human health benefits, is widely grown in Mediterranean countries, India, China, the Far East and the USA [4].

Garlic is a plant that likes mild climates as well as being a long-day plant. It can be grown easily in climates where the average temperature is above 15-20 °C. As the temperature increases, problems occur in the development of garlic and plant growth rate reduce.

Bulbs that grows below the ground can protect themselves against cold damage up to -10 °C [5].

In 2018, the garlic growing areas and production in Türkiye were reported as 15.000 hectares, over 140.000 tonnes. Although Kastamonu was the first province to be remembered for its garlic production, Kastamonu province replaced with Gaziantep based on garlic production amount in 2018. Gaziantep has a considerable role in the total area with its production area of 21.516 decares. In terms of dry garlic production, Kahramanmaraş (13.47%) follows Kastamonu (17.45%) and Gaziantep (17.61%) provinces [6].

Plant protection problems occur frequently in agricultural areas and from these, fungal plant diseases are responsible for seriously yield losses in production processes [7, 8]. Fungal diseases lead to

economic losses in garlic and onion production areas. Plants belonging to the genus *Allium*, such as onions and garlic, are affected by certain soil borne plant pathogens such as *Fusarium* spp., *Rhizoctonia* spp., *Pythium* spp., *Sclerotium* spp., *Sclerotinia sclerotiorum*, and *Macrophomina phaseolina*. These pathogens cause significant losses in the quality and yield of agricultural products all over the world [9, 10]. In a study on onion production areas in seven provinces of Türkiye in 2007, samplings were performed in 223 fields, and 332 isolates belonging to 7 *Fusarium* spp. were obtained. The isolates were identified as *F. oxysporum*, *F. solani*, *F. acuminatum*, *F. equiseti*, *F. proliferatum*, *F. redolens*, and *F. culmorum* based on morphological and cultural characteristics [11]. In the other study conducted by Türkkan and Karaca [12], fungal root-rot agents associated with onion fields in Amasya province and their incidence and severity were investigated. Moreover, some studies have been conducted on fungal causal agents in garlic and onion cultivation areas in North America and Serbia [13, 14]. As a result of the literature review on the losses caused by fungal disease agents in the garlic growing areas of Gaziantep Province, study has not been found.

In this study, it was aimed to guide future studies by determining the fungal disease agents and prevalence in the garlic cultivation areas of Gaziantep Province.

2. Material and Method

2.1. Survey study

According to 2017 data of Gaziantep Provincial Directorate of Agriculture, random sampling was performed in garlic production areas in April of 2018 and 2019. The surveying areas were indicated in Figure 1.



Figure 1. Garlic cultivation areas and sampled districts in Gaziantep Province

Survey areas were randomly selected in Gaziantep. Diseased plants were collected according to the randomized sampling method [15]. The collected samples were kept in plastic bags and taken to the laboratory, and then subjected to isolation procedures.

Some information about garlic cultivation and sampled areas in Gaziantep Province is given in Table 1.

Table 1. Garlic growing areas and sampling data in Gaziantep province

	Cultivation area (da)	Sampled area (da)	Sampled fields	Collected plants
Araban	1200	145	7	70
Sahinbey	500	54	3	30
Oguzeli	3615	361	18	180
Nurdagi	1500	152	8	80
Sehitkamil	900	94	5	50
Islahiye	50	10	1	10
Total	7765	816	42	420

2.2. Isolation of the fungal disease agents

For the isolation process, the roots and stem of affected plants were washed thoroughly under tap water and dried. The infected tissues were cut into small pieces (approximately 4-5 mm length) from the plant parts containing both symptomatic and asymptomatic tissues. All pieces were surface-sterilized in 2% sodium hypochlorite (NaOCl) solution for 3 minutes and washed twice in sterile distilled water and dried again. Afterwards, sterilized tissues were plated on a potato dextrose agar (PDA) medium. After incubation of the Petri dishes for 7 days at 25 °C in the dark, colonies growing from the tissue were transferred to fresh Petri plates.

2.3. Identification of fungal disease agents

Species were identified by preparing a slide culture separately for each isolate [16]. *Fusarium* spp. was identified according to The *Fusarium* Laboratory Manual published by Leslie and Summerell [17]. After 10 days of incubation at 25 °C in the dark, the isolates were identified considering its morphological characteristics including hyphal branching, phialides, microconidia, macroconidia shapes and sizes, chlamyospore and sporodochium formation. *Rhizoctonia* spp. was identified according to the characteristic features of vegetative hyphae [18], the number of nuclei in the cells [19], colony colour and characteristics in the PDA medium [20]. *Macrophomina* and *Puccinia* species were identified with reference to Ashby [21] and Goidanich [22] and *Puccinia* to Laundon and Waterson [23] and Koike [24].

2.4. Determination of prevalence of the fungal disease agents

The disease rates (%) were determined by proportioning the plants showing the characteristic symptoms of the disease to the total number of plants in each garlic field. After determining the disease rates for each cultivation area, the prevalence rates of district were calculated [15].

3. Results

In the result of the surveys carried out in the garlic production areas of Gaziantep province in 2018 and 2019, the prevalence (%) of fungi were indicated in Table 2.

The prevalence of *Fusarium* was the highest in garlic production areas of Gaziantep. The genus *Fusarium* exhibited different rates of prevalence (52.0-67.4%) in all fields surveyed.

The genus *Macrophomina* could not be determined in Sehitkamil and Oguzeli districts which have the highest garlic production area. Besides, it was determined that the *Rhizoctonia* genus showed varying rates (8-24%) in all survey areas, except Sehitkamil. The prevalence of the other group, including the genera *Rhizopus*, *Sordaria*, *Aspergillus* and *Trichoderma* varied between 6.6% and 38.4% (Table 2).

As a result of the diagnostic studies, a total of 8 species, 6 of which belong to the *Fusarium* genus, were identified. The areas where the identified species are isolated and their frequencies of isolation (%) are presented in Table 3.

As can be seen from Table 3, *F. oxysporum* and *F. poae* were isolated from all fields surveyed. *F. sporotrichioides* was only isolated from Sehitkamil and its prevalence was 11.4%. Other soilborne pathogens

obtained and identified in garlic growing areas were *R. solani* and *M. phaseolina*.

These results show that *Fusarium* species have a wide range of prevalence in garlic cultivation areas. Onion-garlic rust disease pathogen *P. porri* was detected in all cultivation areas except Islahiye. The disease and prevalence rate of garlic rust in garlic cultivation areas are presented in Table 4. Its disease rate was determined to be 14% in Gaziantep province.

4. Discussion and Conclusion

Pathogens attack *Allium* species throughout their production periods. Garlic is vegetatively propagated by planting its cloves [25]. In this case, especially soil-borne pathogens invade the vegetative materials and easily cause diseases in the next cultivation period. It is well known that pathogens such as *Fusarium* spp., *Rhizoctonia* spp., *Pythium* spp., *Sclerotium* spp., *S. sclerotiorum*, and *M. phaseolina* cause diseases in onion and garlic production areas. In addition, it causes decreases in product quality and yields worldwide [9]. *F. proliferatum* is the most common fungal pathogen in garlic and onion cultivation areas in Serbia. Although *F. oxysporum*, *F. solani*, *F. acuminatum* and *F. equiseti* were other species isolated and identified in Serbia by Stankovic [12], the prevalence of these species was reported to be less than the *F. proliferatum*. In a study conducted in onion cultivation areas of Bursa, Ankara, Eskişehir, Yozgat,

Table 2. The prevalence of the genera isolated from the garlic growing areas (%)

	Prevalence (%)			
	<i>Fusarium</i> spp.	<i>Rhizoctonia</i> sp.	<i>Macrophomina</i> sp.	Other
Araban	52.0	24.0	9.4	14.6
Sahinbey	48.0	24.0	6.7	20.7
Oguzeli	67.4	26.0	-	6.6
Nurdagi	54.0	21.0	5.3	19.8
Sehitkamil	61.6	-	-	38.4
Islahiye	56.0	8.0	2.0	34.0

Table 3. Species obtained from garlic fields surveyed and frequency of isolation (%)

	Isolation frequency (%)					
	Araban	Sahinbey	Oguzeli	Nurdagi	Sehitkamil	Islahiye
<i>F. oxysporum</i>	20.4	20.1	24.3	31.7	23.1	39.8
<i>F. poae</i>	20.7	13.6	18.7	20.8	13.9	16.2
<i>F. sporotrichioides</i>	-	-	-	-	11.4	-
<i>F. semitectum</i>	7.4	5.6	3.9	1.5	2.7	-
<i>F. verticillioides</i>	3.5	3.0	20.5	-	6.0	-
<i>F. proliferatum</i>	-	6.4	-	-	4.5	-
<i>R. solani</i>	24.0	24.0	26.0	21.0	-	8.0
<i>M. phaseolina</i>	9.4	6.7	-	5.3	-	2.0

Table 4. The prevalence of garlic rust in garlic growing fields in Gaziantep.

	Disease incidence (%)	Prevalence (%)
	Araban	13.7
Sahinbey	12.0	3.0
Oguzeli	17.8	18.0
Nurdagi	9.8	8.2
Sehitkamil	9.2	5.1
Islahiye	-	-

Çorum, Tokat and Amasya provinces, *F. oxysporum* was determined as the most common species among all *Fusarium* species with a rate of 66.57%. In this study, it was also determined that *F. culmorum* was the species with the lowest prevalence with a rate of 0.9%. [11]. Our results are in parallel with the other studies.

Rust, caused by *P. porri* in *Allium* species occurs in most of the World and the severity of rust diseases varies among crops and localities [9]. Severe diseases can decrease bulb weight by up to 60% with quality loss [26]. In a study conducted in Cuba, according to the data obtained by surveys from garlic production areas, it was reported that *P. porri* caused diseases on the onion leaves and rust infection also brought about a yield loss of up to 51% in garlic cultivation areas [24]. In previous studies, it was reported that garlic rust causes serious problems all over the world [27-29].

Garlic cultivation is very important for Gaziantep and Türkiye. As a result of this study, the prevalence and isolation frequency of fungi were determined in the garlic cultivation areas of Gaziantep. The negative effects of fungal diseases on yield and quality constantly poses a serious problem in garlic cultivation. Although much research has been performed in different garlic and onion cultivation areas of Türkiye, no research has been conducted in Gaziantep. For this reason, it is important to determine garlic fungal diseases and its prevalence in this province.

According to the results obtained from this study, it is understood that the range of fungal agents occurring in garlic production is quite common. Therefore, this study constitutes the basis of many future studies.

Declaration of Ethical Code

In this study, we undertake that all the rules required to be followed within the scope of the "Higher Education Institutions Scientific Research and Publication Ethics Directive" are complied with, and that none of the actions stated under the heading "Actions Against Scientific Research and Publication Ethics" are not carried out.

References

- [1] Llamas, P., Paton, G., Diaz, G., Serna, G., Saez, B. 2013. The Effects of Storage Duration, Temperature and Cultivar on the Severity of Garlic Clove Rot Caused by *Fusarium proliferatum*. *Postharvest Biology Technology*, 78, 34-39.
- [2] Ipek, M., Ipek, A., Simon, P. W. 2008. Molecular Characterization of Kastamonu Garlic: An Economically Important Garlic Clone in Turkey. *Scientia Horticulturae*, 115(2), 203-208.
- [3] Kamenetsky, R., London Shafir, I., Khassanov, F., 2005. Diversity in Fertility Potential and Organosulphur Compounds Among Garlics from Central Asia. *Biodivers Conserv*, 14(2), 281-295.
- [4] Heinrich, P.K., Larry, D.L. 1996. *The Science and Therapeutic Application of Allium sativum L. and Related Species*. Williams & Willkins, USA, 329 pp.
- [5] Baytop, T. 1999. *Türkiye'de Bitkilerle Tedavi Geçmişte ve Bugün*. Nobel Tıp Kitabevi, İstanbul, 480 pp.
- [6] TÜİK, 2018. Turkish Statistical Institute. www.tuik.gov.tr (Erişim Tarihi: 21.12.2019).
- [7] Atakan, A., Ozgonen Ozkaya, H. 2018. Antalya İli Karanfil Seralarında Toprak Kökenli Fungal Hastalık Etmenlerinin Yaygınlığının Belirlenmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 22(1), 216-220.
- [8] Atakan, A., Erdoğan, O., Ozgonen Ozkaya, H. 2020. Evaluation of Plant Protection Practices of Garlic Growers in Gaziantep Province. *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology*, 8(9), 1942-1947.
- [9] Schwartz, H.F., Mohan, S.K. 1995. *Compendium of Onion and Garlic Diseases*. APS Press, USA, 54 pp.
- [10] Bayraktar, H., Tekin, K., Özer, G. 2014. Soğan Üretimi ile İlişkili Farklı *Fusarium* Türlerinin PCR-RFLP Analizi. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 29(3), 194-198.
- [11] Bayraktar, H., Dolar, F.S. 2011. Molecular Identification and Genetic Diversity of *Fusarium* Species Associated with Onion Fields in Turkey. *Journal of Phytopathology*, 159, 28-34.
- [12] Türkkan, M., Karaca, G. 2006. Determination of Fungal Root Rot Disease Agents Associated with Onion Fields in Amasya Province. *Tarım Bilimleri Dergisi*, 12, 357-363.
- [13] Stankovic, S., Levic, J., Petrovic, T., Logrieco, A., Moretti, A. 2007. Pathogenicity and Mycotoxin Production by *Fusarium proliferatum* Isolated from Onion and Garlic in Serbia. *European Journal of Plant Pathology*, 118, 165-172.
- [14] Dugan, F., Hellier, B., Lupien, S. 2003. First Report of *Fusarium proliferatum* Causing Rot of Garlic Bulbs in North America. *Plant Pathology*, 52, 426.
- [15] Bora, T., Karaca, G. 1970. Bitki Hastalıkları Surveyi, Kültür Bitkilerinde Hastalığın ve Zararın Ölçülmesi, Ege Üniversitesi Matbaası, İzmir, 80 s.
- [16] Booth, C. 1977. *Fusarium a Laboratory Guide to the Identification of the Major Species*. CMI, Kew Surrey, England, 58 pp.
- [17] Leslie, J.F., Summerell, B.A. 2006. *The Fusarium Laboratory Manual*. Blackwell Publishing, USA, 387 s.

- [18] Ogoshi, H. 1975. Grouping of *Rhizoctonia solani* Kühn and Their Perfect Stages. Review Plant Protection Research, 8, 98-103.
- [19] Bandoni, R.J. 1979. Safranin-O as a Rapid Nuclear Stain for Fungi. Mycologia, 63, 873-874.
- [20] Sneh, B., Burpee, L., Ogoshi, A. 1991. Identification of *Rhizoctonia* Species. APS Pres, USA, 133 pp.
- [21] Ashby, S.F. 1927. *Macrophomina phaseolina* (Maub.) Comb. Nov. the Pycnidial Stage of *Rhizoctonia bataticola* (Taub.). Butl. Phytopathology, 17, 141-147.
- [22] Goidanich, G. 1947. A Revision of the Genus *M. phaseolina* petrak type Species: *M. phaseolina* (Tassi) Goid. *M. Phaseolina* (Maubl.) Ashby. Phytopathology, 37, 449-461.
- [23] Martínez-de la Parte, E., Sierra Ricabal, P.M., García Rodríguez, D., Lorenzo, M.E. 2015. First Report of Garlic Rust Caused by *Puccinia allii* in Cuba. New Disease Reports, 32, 30.
- [24] Koike, S.T., Smith, R.F., Davis, R.M., Nunez, J.J., Voss, R.E. 2001. Characterization and Control of Garlic Rust in California. Plant Disease, 85, 585-591.
- [25] McDonald, M.R., de los Angeles Jaime, M., Hovius, M.H. 2004. Management of Diseases of Onions and Garlic. Diseases of Fruits and Vegetables, Springer, Netherlands: Ed. Naqvi SAMH, 707 pp.
- [26] Timila, R.D., Joshi, S., Manandhar, G., Sharma, S. 2005. Occurrence of Garlic Rust in Mid Hill of Nepal. Nepal Agricultural Research Journal, 6, 110-111.
- [27] Sartaj, S., Ahmad, S. 2005. Identification of Rust Pathogen Species Isolated from Different Garlic Cultivars Planted in District Swabi, NWFP. Sarhad Journal of Agriculture, 21, 205-213.
- [28] Mengesha, W., Tesfaye, A., Mashilla, D. 2015. Effect of Spacing in Incidence and Severity of Garlic Rust (*Puccinia allii*) and Bulb Yield and Related Traits of Garlic at Eastern Ethiopia. Plant Pathology and Microbiology, 6, 314-338.
- [29] Worku, Y., Dejene, M. 2012. Effects of Garlic Rust (*Puccinia allii*) on Yield and Yield Components of Garlic in Bale Highlands, Southeastern Ethiopia. Journal of Plant Pathology and Microbiology, 3, 218-224.

Bir Eğitim Uçağı Hidrolik Kriko Sistemi İçin Hesaplamalı ve Deneysel Gerilme Analizi

Mehmet KILINÇ^{*1}, Ayşe ÖNDÜRÜCÜ², Levent SAYIN³

^{1,2}Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 32260, Isparta, Türkiye
³Sayın Makine, 15000, Burdur, Türkiye

(Alınış / Received: 17.01.2022, Kabul / Accepted: 11.08.2022, Online Yayınlanma / Published Online: 20.12.2022)

Anahtar Kelimeler

Sonlu elemanlar analizi,
Fotoelastisite,
Gerilme analizi,
Hidrolik kriko

Öz: Bu çalışmada, eğitim uçaklarını zeminden kaldırmak amacıyla kullanılan hidrolik tahrikli bir kriko mekanizmasının mekanik davranışı nümerik ve deneysel gerilme analiz yöntemleriyle incelenmiştir. Sonlu elemanlar gerilme analizi verilerinin, fotoelastik yöntem ile elde edilen gerilme analizi verileri ile uyduğu görülmüştür. Mekanizmanın fonksiyonel bölgelerine ait iki boyutlu küçültülmüş modeller kullanılarak fotoelastik analiz gerçekleştirilmiştir. Sonlu elemanlar analizinde; taşıyıcı yük fikstür bölgesinden aktarılan gerilmelerin, silindir ünitesi ve ayarlanabilir kol mekanizması yardımıyla desteklendiği görülmüştür. Ayarlanabilir kol mekanizmasının ise yükü eksenel olarak bağlı bulunduğu mesnet grupları ile temel gövdeye aktardığı görülmüştür. Yük fikstürünün sehimi ve eksenel yük aktarma davranışı incelendiğinde gerilme ve sehim davranışının yapı için tutarlı olduğu görülmüştür. Fotoelastik analiz sonucunda, gerilmelerin yük tablasının gövde tablası ile birleşme bölgesinde, eğilme etkisine bağlı olarak yoğunlaştığı girişim çizgisi geçişlerinde gözlemlenmiştir. Taşıyıcı gövdede eğilme etkisine bağlı olarak gerilmelerin üst yüzeyde oluşmaya başladığı ve bu bölgeden dağıldığı gözlemlenmiştir. Sonuç olarak, sonlu eleman analizinden elde edilen gerilme analizi verileri fotoelastik analiz ile doğrulanmış ve sisteme özgün bir hesaplamalı ve deneysel gerilme analizi gerçekleştirilmiştir.

Computational and Experimental Stress Analysis for a Hydraulic Jack System of a Trainer Airplane

Keywords

Finite element analysis,
Photoelasticity,
Stress analysis,
Transmission jack

Abstract: In this study, the mechanical behavior of a hydraulically driven jack mechanism used to lift the trainer plane from the ground have been investigated by numerical and experimental stress analysis methods. It has been seen that the finite element stress analysis data has been matched with the stress analysis data obtained by the photoelastic method. Photoelastic analysis has been performed using two-dimensional scaled-down models of the functional regions of the mechanism. In the finite element analysis, it has been seen that the stresses transferred from the carrier load fixture region are supported by the cylinder unit and the adjustable arm mechanism. It has been observed that the adjustable arm mechanism transfers the load to the base body with the support groups to which it is axially connected. When the displacement and axial load transfer behavior of the load fixture are examined, it has been seen that the stress and displacement behavior are consistent for the structure. As a result of the photoelastic analysis, it has been observed in the fringe distribution that the stresses arising from the bending effect in the junction area of the load table with the body plate are concentrated. It has been observed that the stresses begin to form on the upper surface and dissipate from this region due to the bending effect on the carrier body. Consequently, finite element analysis has been validated with the data obtained from photoelastic analysis and a computational and experimental stress analysis unique to system have been performed.

1. Giriş

Krikolar, bir sistemi (araç, uçak vb.) veya mekanik bir

alt bileşeni (şanzıman, motor vb.) kontrol, bakım veya parça değişimi amacıyla bulunduğu konumdan dikey eksende kaldırmak için kullanılan mekanik

sistemlerdir [1]. Kriko sistemleri içerisinde bulunan birçok farklı bileşen ile yükü bulunduğu konumda sabit ve stabil tutma işlevi de taşımaktadır.

Simülasyon teknolojileri, ürünlerin fiziksel davranışlarının incelenmesinde ve ürün optimizasyon çalışmalarında yaygın olarak kullanılmaktadır [2]. Bu bilgisayar destekli teknolojilerin ürünlere uygulanması ile birlikte iteratif tasarım süreçleri, tasarım doğrulama ve test süreçleri daha az tekrar, daha kısa süre ve daha az maliyet ile tamamlanmaya başlamıştır [3]. Tasarım ve tasarım doğrulama süreçlerinin verimliliği de artmıştır [4].

Fotoelastisite, yapıların gerilme dağılımı ve gerilme değerlerinin tespit edilmesi amacıyla ışık ışınının çift kırınımı ve polarizasyonu temeliyle çalışan optik tabanlı bir yöntemdir. Yüklü olmayan saydam bir cisim üzerine polarize edilmiş bir ışık ışını iletildiğinde, ışık ışını cisim içerisine aynı hızda girer ve çıkar. Saydam cisim bir noktadan mesnetlenerek üzerine yük uygulanırsa cisim izotrop halden anizotrop duruma geçer. Cisim yüklü haldeyken üzerine polarize edilmiş ışık ışını düşürülmesi durumunda, ışık yapı üzerinde gerilmenin niteliğine bağlı olarak farklı hızlarda kırılacaktır [5]. Farklı hızlarda kırılan bu ışınlar bir polariskop üzerinde incelendiğinde, cismin gerilme dağılımına özgü karakteristik girişim çizgileri (saçak) gözlemlenmektedir. Girişim çizgileri, gerilme durumuna ve analizde kullanılan ışık tipine bağlı olarak ortaya çıkan siyah-beyaz ya da renkli çizgilerdir. Yapı üzerindeki gerilmeye bağlı olarak bu çizgiler belirli bir alana yayılırlar. Bu çizgiler kullanılan polariskop cinsine bağlı olarak izoklinik ve izokromatik çizgiler olarak adlandırılmaktadır. İzokromatik çizgiler gerilme farkından dolayı ortaya çıkarken, izoklinikler asal gerilme yönlerine bağlı olarak oluşmaktadır.

Fotoelastik analizde yaygın olarak dairesel ve düzlemsel polariskop üniteleri kullanılmaktadır [6]. Model yönelimine bağlı olarak görüntü değişkenliği olmamasından ve model kalibrasyonu gerektirmemesinden dolayı dairesel polariskop gerilme dağılımının incelendiği çalışmalarda yaygın olarak tercih edilmektedir. Fotoelastik analiz gerçekleştirilecek cisimler çift kırınım özelliğine sahip malzemelerden üretilmiş olmalıdır. Cismin iki veya üç boyutlu modeli küçültülmüş ya da gerçek ölçüde birebir modelleri üretilebileceği gibi, çift kırınım özelliği bulunmayan cisimlerin fotoelastik analizinde cismin çift kırınım özelliğine sahip malzemeler ile kaplanması da endüstride yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir [7, 8]. Şekil 1'de bir eğri eksenli çubuk numunesine ait gerilme analiz görseli örneği gösterilmiştir.

Yapılan literatür incelenmesi neticesinde; doğrusal hidrolik kaldırma sistemlerinin sonlu elemanlar



Şekil 1. Eğri eksenli çubuk numunesi fotoelastik analizi

yöntemiyle incelendiği çalışmalar [9], makas tipi mekanik kriko sistemlerinin sonlu elemanlar yöntemiyle incelendiği çalışmalar [10] ve küçük mekanik araç krikolarının sonlu elemanlar yöntemiyle incelendiği çalışmalar [11, 12] olduğu görülmüştür. Bu çalışmalarda sadece sonlu elemanlar analizi gerçekleştirilmiştir ve analiz verileri testlerden elde edilen veriler ile doğrulanmamıştır. Yer tipi yük kaldırma krikoları için sonlu elemanlar analizi ile birlikte fotoelastik gerilme analizlerinin yapıldığı bir çalışmaya literatürde rastlanmamıştır.

Bu çalışmada, kriko sektöründe faaliyet gösteren bir firma tarafından tasarımı yapılarak üretimi gerçekleştirilen bir hidrolik kriko sistemi için yapıya özgü bir sonlu elemanlar modeli oluşturulmuş ve gerilme analizi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen gerilme analizi, yapının kritik ve fonksiyonel yük taşıma bölgeleri için (yük tablası ve taşıyıcı gövde) basitleştirilmiş fotoelastik modellerden elde edilen gerilme analizi verileriyle doğrulanmıştır. Yapıya ait mekanik davranış nümerik ve deneysel gerilme analiz yöntemleriyle incelenmiştir. Nümerik analiz verileriyle fotoelastik analizden elde edilen verilerin uyduğu görülmüştür. Sonuç olarak, sonlu eleman analizinden elde edilen gerilme analizi verileri fotoelastik analiz ile doğrulanmış ve eğitim uçağı hidrolik kriko sistemine özgün bir hesaplamalı ve deneysel gerilme analizi gerçekleştirilmiştir.

İlerleyen çalışmalarda, bu çalışmadan elde edilen veriler ile benzer mekanizmalara sahip kriko sistemlerinin tasarlanması ve tasarım optimizasyonu çalışmalarının gerçekleştirilmesi planlanmaktadır. Çalışmanın yapılması planlanan benzer nitelikteki tasarım ve tasarım doğrulama çalışmalarına yol göstermesi beklenmektedir.

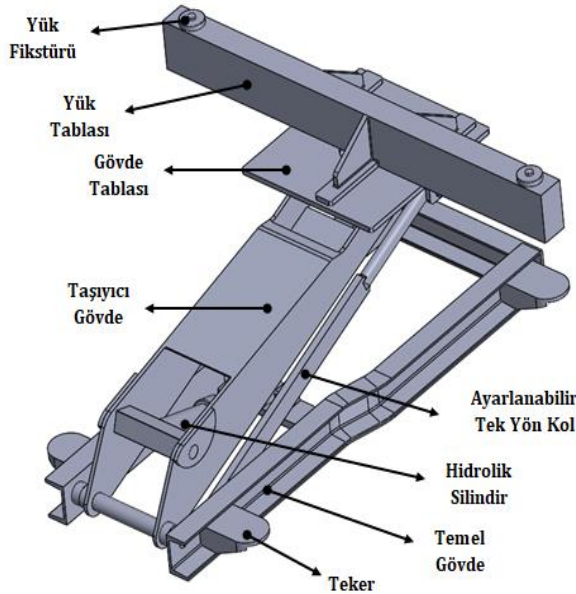
2. Materyal ve Metot

Hidrolik kriko sisteminin mekanik davranışını incelemek amacıyla, mekanizmaya özgü bir basitleştirilmiş katı model ve sonlu elemanlar modeli oluşturulmuştur. Elde edilen sonlu elemanlar analizi verileri, sistemin basitleştirilmiş iki boyutlu fotoelastik gerilme analizinden elde edilen veriler ile karşılaştırılmıştır.

2.1. Sonlu elemanlar yöntemi ile gerilme analizi

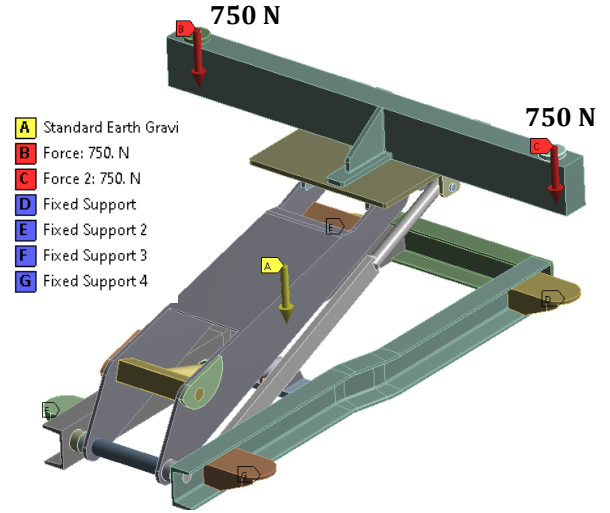
Çalışma konusu olan hidrolik uçak krikosu, yükü I-tip profilden üretilmiş bir yük fikstürü ile taşımaktadır. I-tip kirişin yan yüzeyleri sac plaka ile kapatılarak yük fikstürü oluşturulmuştur. Sistem 4 teker üzerinde çalışmaktadır. Kriko için gerçek tasarım temel alınarak basitleştirilmiş bir katı model oluşturulmuştur.

Basitleştirilmiş model, yapı fonksiyonelliği bozulmadan keskin köşe-kenarların ve kaynaklı bağlantıların sonlu elemanlar analizine uygun biçime getirilmiş halidir. Kriko sisteminin basitleştirilmiş katı modeli Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2. Basitleştirilmiş katı model

Sonlu elemanlar analizi 550 mm kaldırma yüksekliğinde, Ansys yazılımında gerçekleştirilmiştir. Analizde, yerçekimi açık durumdayken yapı toplam 1500 N ve 5000 N yük altında yüklenmiştir. Sistem teker bölgesinden üç ekseninde sabit olacak şekilde mesnetlenmiştir. Sınır koşulları Şekil 3 ile gösterilmiştir. 1500 N, yük fikstürüne iki noktadan uygulanmıştır.



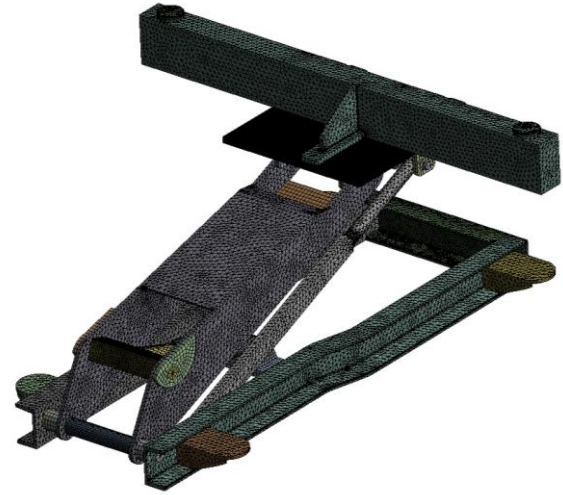
Şekil 3. Analiz sınır koşulları

Sistem analizi mesh yapısında toplam 720712 adet düğüm ve 384101 adet eleman bulunmaktadır. Analizde statik iteratif çözücü kullanılmıştır. Kriko sistemine ait özellikler Tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1. Kriko sistemi özellikleri

Toplam parça sayısı	36
Kriko yapı materyali	S235JR (1.0037)
Yük kapasitesi	750 kg
Kaldırma yüksekliği	Maksimum 950 mm

Kriko sistemine ait mesh yapı Şekil 4'te gösterilmiştir.

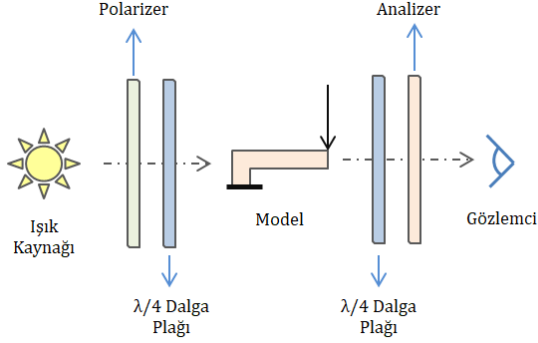


Şekil 4. Kriko sistemi mesh yapısı

2.2. Fotoelastik yöntem ile gerilme analizi

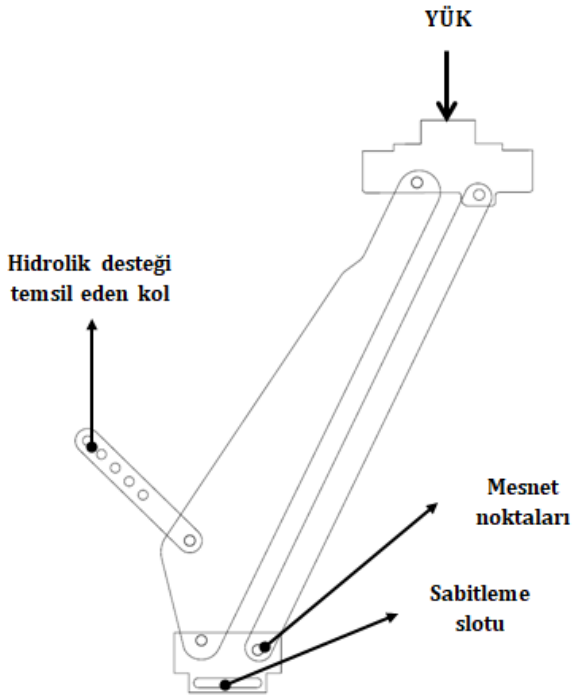
Öncül analizlerde, sisteme ait fonksiyonel bölgelerin yük taşıma fikstürü ve taşıyıcı gövde olduğu görülmüştür. Bu yapıları temsil eden, 240 mm x 250 mm dairesel polariskop ünitesi görüntüleme alanına sığacak iki boyutlu küçültülmüş ve basitleştirilmiş fotoelastik analiz modelleri oluşturulmuştur. Modeller 3 mm kalınlığındaki PMMA (polimetilmetakrilat) plakalardan CNC router

yardımla kesilerek çıkartılmıştır. Mesnet noktalarında, 5 mm çapında çelik pimler kullanılmıştır. Küçültülmüş modellere zarar vermemek amacıyla testler düşük yük değerlerinde gerçekleştirilmiştir. Çalışmada kullanılan dairesel polariskopun şematik yapısı Şekil 5'te gösterilmiştir.

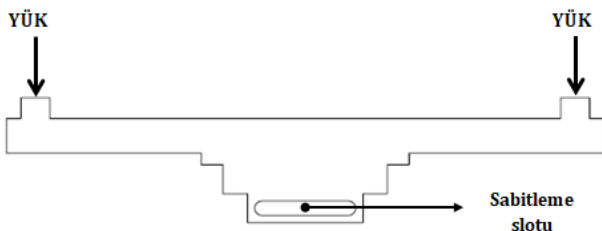


Şekil 5. Dairesel polariskop [13]

Kollu yük taşıyıcı gövde, 30 N yük altında; yük fikstürü ise sırasıyla 5 N, 10 N, 15 N ve 20 N altında test edilmiştir. Yük taşıma kollarına ait şematik sistem Şekil 6'da ve yük fikstürüne ait şematik sistem Şekil 7'de gösterilmiştir.



Şekil 6. Yük taşıma kolları (taşıyıcı gövde)



Şekil 7. Yük fikstürü

3. Bulgular

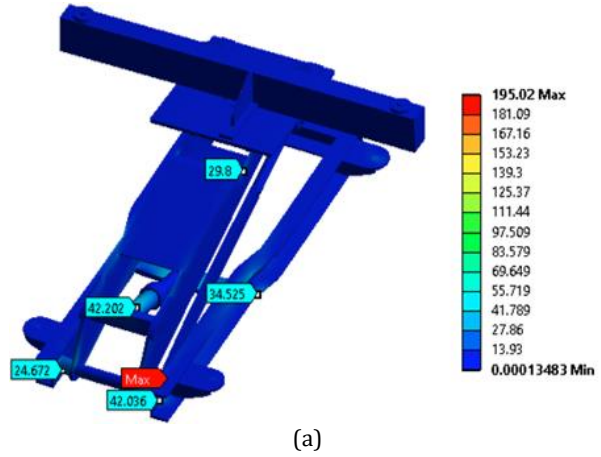
Çalışma bulguları, sonlu elemanlar analizi ve fotoelastik analiz için iki ayrı başlıkta incelenmiş olup sonlu elemanlar analizi ve fotoelastik analizden elde edilen gerilme verileri kıyaslanmıştır.

3.1. Sonlu elemanlar analizi verileri

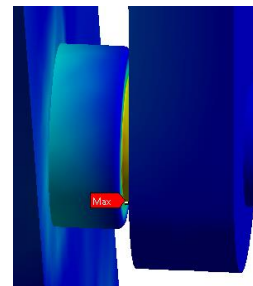
Kriko sistemine ait sonlu elemanlar analizi gerilme dağılımı Şekil 8'de gösterilmiştir. Maksimum gerilme, ayarlanabilir tek yön kolun bağlı bulunduğu mesnet temas bölgesinde (Şekil 8-b) meydana gelmiş olup süreksiz ve lokalizedir. Çalışma kapsamında yatak bölgelerinde oluşan süreksiz gerilmeler değerlendirme dışında tutularak kritik bölgelerdeki sürekli gerilmeler incelenmiştir. Yapı üzerindeki sürekli ve bölgesel gerilmeler Şekil 9 ve Şekil 10 ile gösterilmiştir.

Elde edilen gerilme dağılımı analiz verilerine göre, taşıyıcı yük fikstür kolundan aktarılan gerilmeler silindirik ünitesi ve ayarlanabilir tek yön kol yardımıyla desteklenmektedir. Silindirik ünitesi desteklediği aksel yükü hidrolik silindirik tablası (Şekil 9) üzerine ve buradan temel gövdeye aktarmaktadır.

Ayarlanabilir tek yön kol sistemi ise, üzerindeki aksel kuvveti bağlı olduğu mesnet ile temel gövdeye aktarmaktadır (Şekil 10). Yük akışı incelendiğinde sonuçların tutarlı olduğu görülmüştür. Gövde üzerindeki maksimum gerilme 55 MPa olarak hidrolik silindirik yük tablasında gözlemlenmiştir.

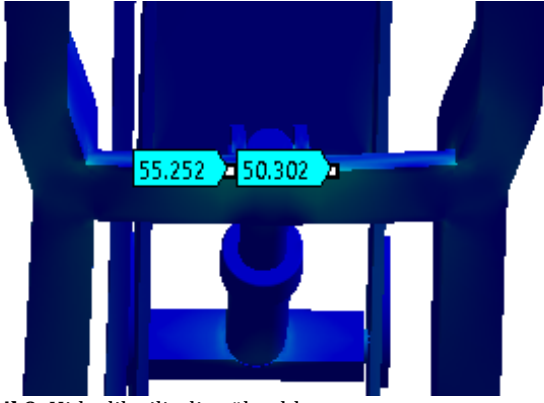


(a)



(b)

Şekil 8. 1500 N yük altında gerilme analizi, a) gerilme dağılımı b) maksimum bölgesel gerilme

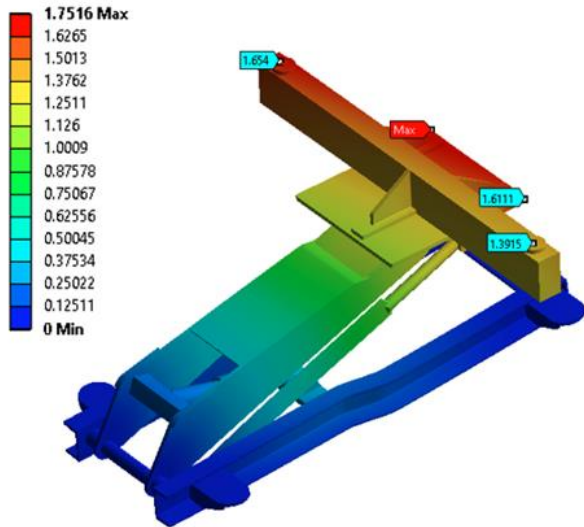


Şekil 9. Hidrolik silindir yük tablası



Şekil 10. Ayarlanabilir kol mekanizması mesnet pimi

Sistem üzerindeki maksimum sehim, gövde tablası ve yük fikstüründe gözlemlenmiş olup tabla için maksimum sehim değeri 1.75 mm'dir. Tek yönlü ayarlanabilir kol mekanizmasının bağlı bulunduğu yük fikstür tarafı (1.391 mm) ve serbest taraftaki (1.654 mm) göreceli maksimum sehim değeri incelendiğinde fark 0.26 mm olup ihmal edilecek seviyededir. Yük fikstürü sehimi ve gövde elemanlarına aktarılan aksenal yükler göz önünde bulundurulduğunda sehim sonuçları yapı için tutarlıdır. Yapıya ait şekil değişimi Şekil 11'de görülmektedir.



Şekil 11. 1500 N yük altında yapının sehimi

3.2. Fotoelastik analiz verileri

Yüksüz durumdaki yük tablasına ait fotoelastik görüntü Şekil 12'de gösterilmiştir. Fotoelastik analiz sonucunda elde edilen veriler Şekil 14 ve Şekil 16 ile gösterilmiştir.



Şekil 12. Yüksüz durumda yük tablası

Yüksüz durumda yük tablası üzerinde fotoelastik görüntüsü üzerinde saçak gözlenmemiştir. Yük tablasına yük kademeler halinde uygulanmıştır.

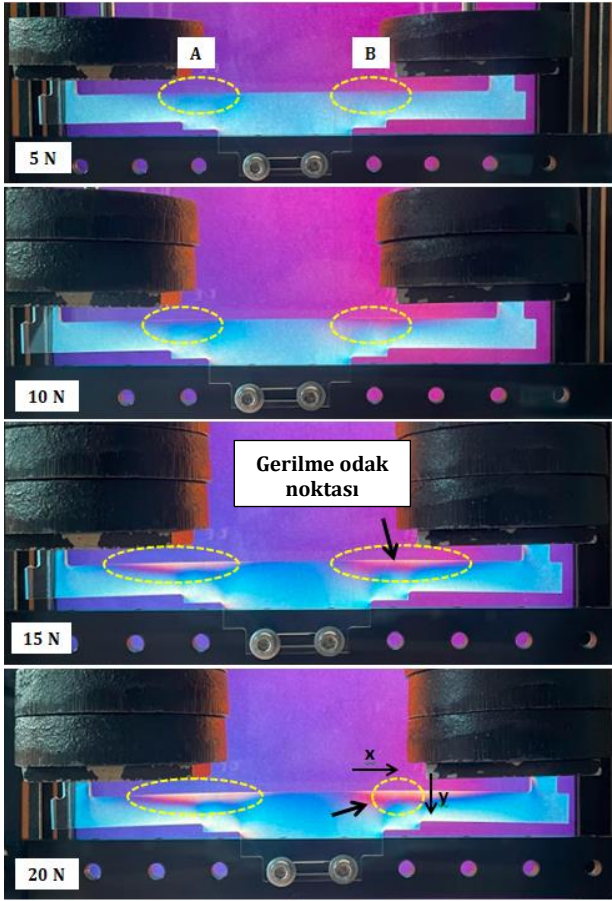
Gerilme seviyesi girişim çizgisi renk değişimine bağlı değerlendirilmiş olup, Şekil 13 ile verilen ve bağlı gecikmeye bağlı olarak oluşan karakteristik girişim çizgilerini temsil eden renk skalası kullanılmıştır.



Şekil 13. Girişim çizgileri renk skalası [14]

Yük artışı ile birlikte, yapının üst sırt yüzey (Şekil 14 ile gösterilen A ve B bölgeleri) kısmından başlayan eğme etkisi kaynaklı çekme gerilmesiyle (10 N – 15 N geçişi) düşük seviye gerilmeyi temsil eden 2 saçak renk geçişi (kırmızı - sarı) gözlemlenmiştir. Bu renk geçişi gerilmenin bu bölgelerden başladığını göstermektedir. 20 N yük altında ise, kırmızı ve sarı saçak kuşağı genişlemiştir. Kuşak genişlemesi bu bölgedeki gerilme değerinin artmaya başladığını göstermektedir.

Bölüm 3.2 içerisinde yön belirteci olarak tanımlanan x ve y yön ifadelerinden x gösterildiği eksendeki yatay yönü, y ise dikey yönü temsil etmektedir. Görüntüde saçakların x yönünde ve y yönünde büyümeye başladığı görülmüştür. Gerilme bu bölgede bir odak noktasından başlayarak genişlemiştir. Odak noktasındaki gerilme değeri artışı ile birlikte saçak genişlemekte ve renk değiştirmektedir. Dolayısıyla, x ve y yönünde ilerledikçe gerilme değeri azalmaktadır.



Şekil 14. Yük altında yük tablasına ait gerilme dağılımı

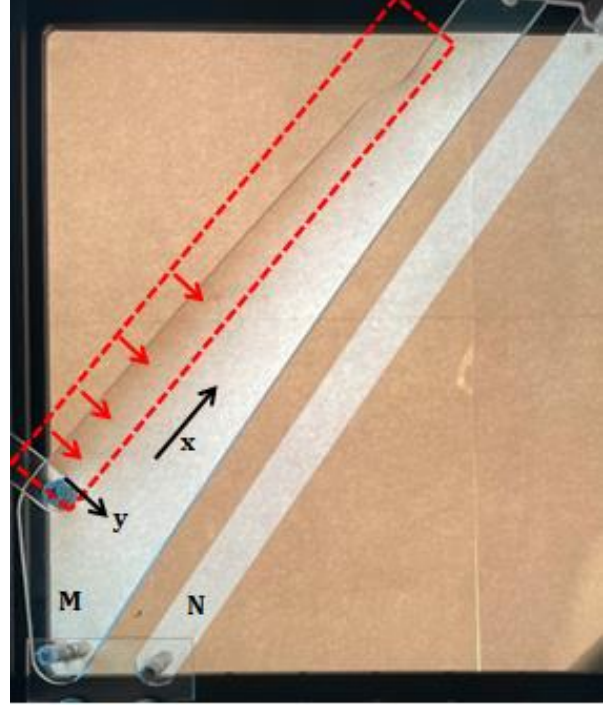
Yüksüz durumda yük kollarına ait görüntü Şekil 15 ile gösterilmiştir.



Şekil 15. Yüksüz durumda yük kolları

Şekil 15'te M harfi ile gösterilen yük kolu, gövde tablasını temel gövde ile birbirine bağlayan taşıyıcı gövdenin iki boyutlu durumda yan yüzünü temsil etmektedir. Şekilde N harfi ile gösterilen yük kolu ise, iki boyutlu durumda hidrolik kriko sisteminin ayarlanabilir tek yön kol mekanizmasını temsil etmektedir.

30 N yük uygulandığında yük kolları için gerilme dağılımı Şekil 16 ile gösterilmiştir.



Şekil 16. Yük altında yük kolları üzerinde gerilme dağılımı

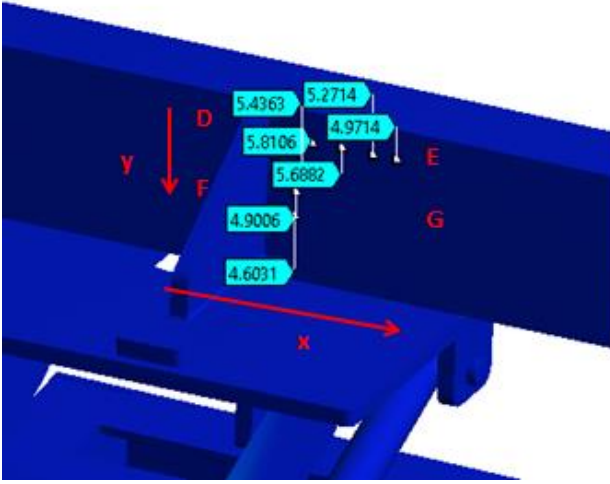
Uygulanan yük altında N kolu üzerinde saçak renk geçişi gözlenmediğinden gerilme dağılımında değişim gözlenmemektedir.

Yüksüz durum ile kıyaslandığında M kolunun üst sırt yüzeyinde düşük seviye kırmızı saçak rengi oluşmasına bağlı olarak gerilmenin bu bölgede oluşmaya başladığı ve y yönünde genişleyerek arttığı görülmüştür. Dolayısıyla, gerilme üst yüzeyde başlamakta ve bu noktadaki mesnet kısmından başlayarak odak oluşturmaktadır. Fotoelastik görüntüde x yönünde saçak renk koyuluğu azaldığından gerilmenin düşüş gösterdiği gözlemlenmiştir.

Görüntü yükü ilk olarak destekleyen bölgenin taşıyıcı kolu temsil eden M kolu olduğunu göstermektedir. M kolunda oluşan gerilme seviyesi N koluna göre yüksektir.

3.2. Fotoelastik analiz ve sonlu elemanlar analizinin karşılaştırılması

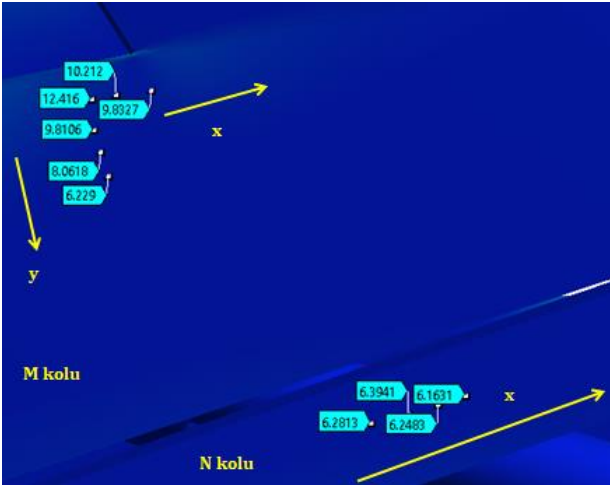
1500 N yük altında, yük tablasına ait sonlu elemanlar analizi verisi Şekil 17 ile gösterilmiştir.



Şekil 17. 1500 N yük altında yük tablasına ait sonlu elemanlar analizi verisi

Yük tablasının üst sırt yüzey kısmından başlayan eğme etkisi kaynaklı gerilme için odak bölgesi D noktasıdır. Bu bölge Şekil 14 ile verilen görüntüde A ve B bölgesini temsil etmektedir. Yükleme durumunda yük tablasında D noktasından E noktasına doğru ve D-F noktasından E-G noktasına doğru gerilme değeri azalmaktadır. Dolayısıyla, gerilme x yönü ve y yönünde azalmaktadır. Sonuç olarak, yük tablası fotoelastik analiz görsel verileri sonlu elemanlar analizi nümerik verilerini doğrular niteliktedir.

1500 N yük altında, yük kollarına ait sonlu elemanlar analizi verisi Şekil 18 ile gösterilmiştir.



Şekil 18. Yük altında yük kollarına ait sonlu elemanlar analizi verisi

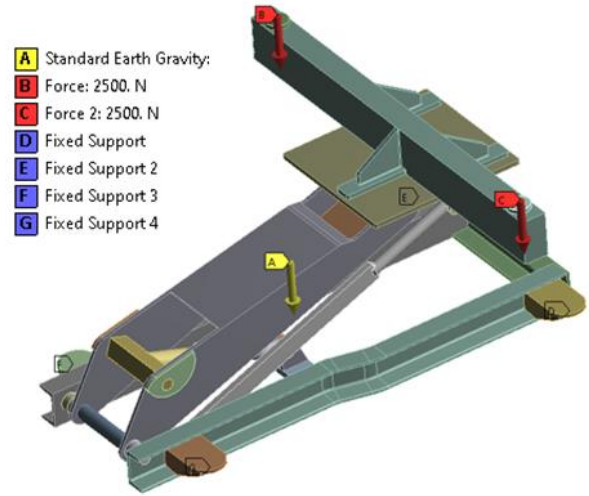
M kolunda yükleme durumunda, gerilme x ve y yönünde azalma durumundayken, N kolunda x yönünde gerilme değerlerinin düşük miktarlarda değişkenlik göstermekte olduğu görülmüştür.

Yük kollarının fotoelastik analizinde, M kolunda oluşan gerilme seviyesinin N koluna göre yüksek olduğu görülmüştür. Sonlu elemanlar analizi verileri incelendiğinde de M kolundaki gerilme seviyesinin N

koluna göre yüksek olduğu görülmüştür. Sonlu elemanlar analizinde yükü taşıyan bölgenin M kolu olduğu ve gerilmenin bu kol üzerinde odak oluşturarak yayılmaya başladığı gözlemlenmiştir. Sonuç olarak, yük kolları için fotoelastik analiz görsel verileri, sonlu elemanlar analizi nümerik verilerini doğrular niteliktedir [15].

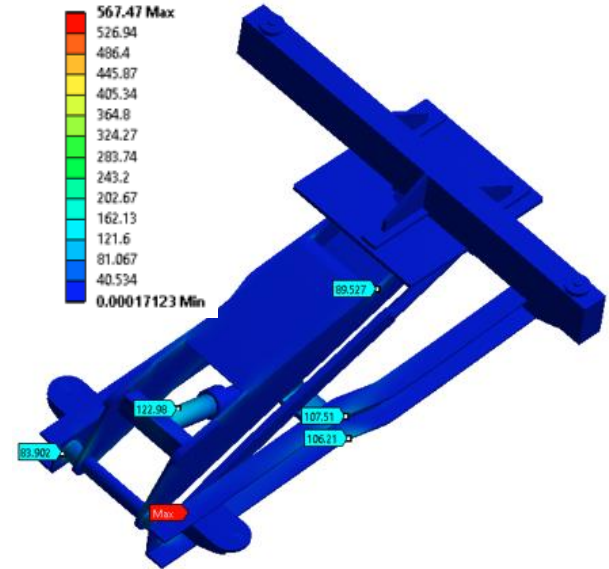
3.3. Yapının 5000 N nominal çalışma yükü altında mekanik davranışı

1500 N uygulama yüküne ek olarak, yapının 5000 N nominal çalışma yükü altında mekanik davranışı incelenmiştir. Şekil 4 ile gösterilen mesh yapı değiştirilmeden, sistem Şekil 19 ile gösterilen sınır şartlarında yüklenmiştir.



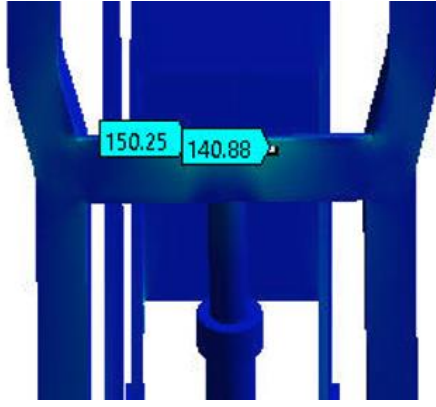
Şekil 19. Nominal yük altında yükleme sınır şartları

Sonlu elemanlar analizi sonucu 5000 N yük altında elde edilen gerilme dağılımı Şekil 20 ile gösterilmiştir.



Şekil 20. Nominal yük altında gerilme dağılımı

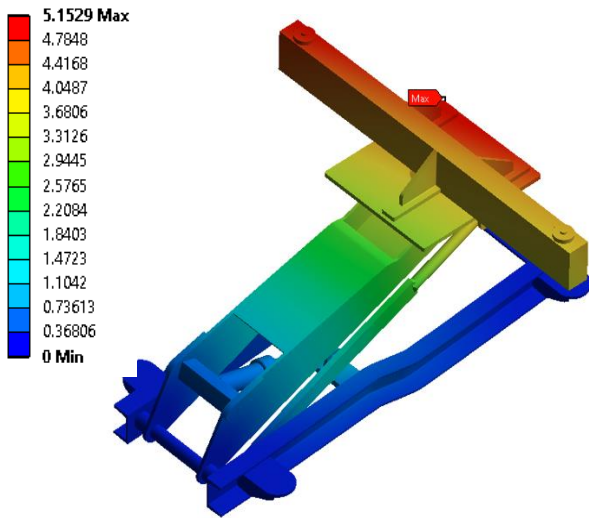
Sistem üzerinde gözlemlenen maksimum bölgesel gerilme 150 MPa civarında olup, maksimum gerilme hidrolik silindir yük tablasında oluşmuştur (Şekil 21).



Şekil 21. Nominal yük altında hidrolik silindir yük tablası gerilme dağılımı

Dengiz vd. [16] makas tipi bir hidrolik kaldırma krikosunda sonlu elemanlar yöntemi ile gerilme analizi gerçekleştirmiştir. Yapıya, 1000N - 6000N arasında yük uygulanmıştır. Analiz sonuçları incelendiğinde, makas kollarında hidrolik ünite üzerinde ve hidrolik ünitenin bağlı bulunduğu gövde tablasında gerilmelerin bölgesel olarak yoğunlaştığını gözlemlenmiştir. Sistem üzerindeki yük akışına bağlı olarak, yükü taşıyan hidrolik silindir ünitesi üzerinde meydana gelen gerilmeler ve bu gerilmelerin silindir ünitesi üzerinden gövde tablasına aktarılması bir sistem benzerliği yaratmaktadır. Sistem benzerliği göz önünde tutulduğunda, elde edilen analiz verileri benzerlik göstermektedir.

5000 N nominal yük altında maksimum sehım değeri 5.15 mm olarak gözlemlenmiştir (Şekil 22).



Şekil 22. Nominal yük altında yapının sehimi

4. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada, bir hidrolik kriko sisteminin mekanik davranışı fotoelastik yöntem ile birlikte sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak incelenmiştir. Sonuç olarak, sonlu elemanlar analizi verilerinin fotoelastik analizden elde edilen veriler ile uyuştuğu

görülmüştür. Test verileri, sonlu elemanlar analizinden elde edilen nümerik verilerini doğrular niteliktedir.

Literatürde incelenen çalışmaların bir çoğunda çalışma kapsamında sadece sonlu elemanlar analizi gerçekleştirilmiş olup, çok azında gerilme analizi ve oluşturulan nümerik model ikinci bir test çalışması ile doğrulanmıştır. Bundan dolayı bu çalışma kapsamında, kriko sistemlerine özgü bir fotoelastik analiz gerçekleştirilmiştir.

Fotoelastik analiz verilerinde, gerilmelerin yük tablasının gövde tablası ile birleşme bölgesinde eğilme etkisine bağlı olarak yoğunlaştığı girişim çizgisi geçişlerinde gözlemlenmiştir. Taşıyıcı gövdede ise, eğilme etkisine bağlı gerilmelerin üst sırt yüzeyde oluşmaya başladığı ve bu bölgeden yayılmaya başladığı görülmüştür.

Sonlu elemanlar analizinde, taşıyıcı yük fiştür bölgesinden aktarılan kuvvetlerin silindir ünitesi ve ayarlanabilir kol sistemi yardımıyla desteklendiği ve ayarlanabilir kol mekanizmasının, üzerindeki kuvveti eksenel bağlı bulunduğu mesnet grubu ile temel gövdeye aktardığı görülmektedir. Yük fiştürünün sehimi ve eksenel kuvvet aktarma davranışı göz önünde bulundurulduğunda sehım değerlerinin yapı için tutarlı seviyede olduğu görülmüştür.

Analiz sonucunda, hidrolik kriko sistemin 1500 N yük altında maksimum sehım değeri 1.75 mm ve bölgesel maksimum gerilme değeri 55 MPa olarak gözlemlenmiştir. Nominal çalışma yükü olan 5000 N altında sonlu elemanlar analizi sonucunda, maksimum sehım değeri 5.15 mm ve maksimum bölgesel gerilme 150 MPa olarak gözlemlenmiştir.

Teşekkür

Bu çalışmada, "Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesi" kapsamında uyulması gerekli tüm kurallara uyulduğunu, bahsi geçen yönergenin "Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiğine Aykırı Eylemler" başlığı altında belirtilen eylemlerden hiçbirinin gerçekleştirilmediğini taahhüt ederiz.

Etik Beyanı

Bu çalışmada, "Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesi" kapsamında uyulması gerekli tüm kurallara uyulduğunu, bahsi geçen yönergenin "Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiğine Aykırı Eylemler" başlığı altında belirtilen eylemlerden hiçbirinin gerçekleştirilmediğini taahhüt ederiz.

Kaynakça

- [1] Amedorme, S., Fiagbe, Y. 2016. Modification of an Existing Small Hydraulic Jack for Lifting Light Duty Vehicle. *International Journal of Science and Technology*, 5, 552-557.
- [2] Iorga, C., Desrochers, A. 2011. Product Modeling, Evaluation and Validation at the Detailed Design Stage. *Proceedings of the Canadian Engineering Education Association (CEEA)*.
- [3] Rembold, U., Nnaji, BO., Storr A. 1994. *Computer Integrated Manufacturing and Engineering*. Addison Wesley Publication, USA, 664s.
- [4] Bathe, K. J., 2014. *Finite element procedures*. 2nd edition. Springer, USA, 1065s.
- [5] Azeloğlu, O., Keskin, İ., Bayraktar, M. 2008. Zincir Baklasında Yük Altında Oluşan Gerilmelerin Sonlu Elemanlar Yöntemi ve Fotoelastisite Yöntemiyle İncelenmesi. *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 4, 41-48.
- [6] Aköz, Y. 1974. Fotoelastisite. İnşaat Mühendisleri Odası Türkiye İnşaat Mühendisliği 6. Teknik Kongresi, İstanbul, 1-14.
- [7] Taj, W. 2015. Experimental Determination of the Stress Intensity Factor Using Photoelasticity. *Matter*, 2 (1), 2110-2116.
- [8] Öndürücü, A., Kılınc, M., 2018. Bruksizm Tedavisinde Kullanılan Oklüzal Splintlerdeki Gerilme Dağılımının Fotoelastik Yöntemle İncelenmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 22(2), 861-866.
- [9] Saravanan, A., Suresh, P., Arthanari, V., Muthukumar, S. 2018. Design and Analysis of Trestle Hydraulic Jack Using Finite Element Method. *International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development (IJMPERD)*, 8 (6), 437-447.
- [10] Manoharrao, S.A., Jamgekar, R.S. 2016. Analysis & Optimization of Hydraulic Scissor Lift. *International Journal of Engineering Development and Research*, 4(4), 329-347.
- [11] Rózyło, P., Wysmulski, P. 2015. Numerical Analysis of the Stress and Displacement Level Caused by Axial Load $P= 15000$ N in a Car Scissor Jack BD-02B2. *Applied Computer Science*, 11(1), 31-38.
- [12] Kiran, C. S., Sruthi, J. 2018. Design and Structural Analysis of Scissor Jack Using ANSYS Workbench. *CVR Journal of Science and Technology*, 15, 101-105
- [13] Forte, P., Paoli, A., Razonale, A. V. 2015. A CAE Approach for the Stress Analysis of Gear Models by 3D Digital Photoelasticity. *International Journal for Interactive Design and Manufacturing*, 9, 31-43.
- [14] Fanuscu, M.I. Caputo, A.A. 2004. Influence of Attachment Systems on Load Transfer of an Implant-Assisted Maxillary Overdenture. *J. Prosthodontic*, 13(4), 214-220.
- [15] Kılınc, M. 2022. Uçak hidrolik kriko sisteminin mekanik davranışlarının gerilme analiz yöntemleriyle incelenmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 66s, Isparta.
- [16] Dengiz, C. G., Şenel, M. C., Yıldızlı, K., Koç, E. 2018. Design and Analysis of Scissor Lifting System by Using Finite Elements Method. *Universal Journal of Materials Science*, 6(2), 58-63.

IPCC Tier 1 ve DEFRA Metotları ile Karbon Ayak İzinin Belirlenmesi: Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi'nin Yakıt ve Elektrik Tüketimi Örneği

Ashhan KURNUÇ SEYHAN^{*1}, Muhammed ÇERÇİ²

¹Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 24100, Erzincan, Türkiye

² Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, 24100, Erzincan, Türkiye

(Alınış / Received: 21.01.2022, Kabul / Accepted: 15.06.2022, Online Yayınlanma / Published Online: 20.12.2022)

Anahtar Kelimeler

IPCC,
DEFRA,
Karbon ayak izi,
Karbon emisyonu

Öz: Bu çalışmada Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi (EBYÜ)'nin 2019 ve 2020 yılına ait karbon ayak izi önce Hükümetler arası İklim Değişikliği Paneli (The Intergovernmental Panel on Climate Change-IPCC) Tier 1 yaklaşımıyla sonrasında ise İngiltere Çevre, Gıda ve Köy İşleri Bakanlığı (Department for Environment, Food and Rural Affairs-DEFRA) dönüşüm faktörleri kullanılarak hesaplanmıştır. EBYÜ'nün birincil karbon ayak izi IPCC Metodolojisi Tier 1 yaklaşımıyla 2019 yılı için 2753,2 tCO₂e ve 2020 yılı için 2383,74 tCO₂e emisyonu hesaplanmıştır. 2019 yılı ile karşılaştırıldığında emisyon miktarında %13,42 azalma görülmektedir. DEFRA dönüşüm faktörleriyle ise 2019 yılı için 2314,53 tCO₂e ve 2020 yılı için 1826,54 tCO₂e emisyonu hesaplanmıştır. 2019 yılı ile karşılaştırıldığında emisyon miktarında %21,08 azalma görülmektedir. IPCC Tier 1 yaklaşımı ile DEFRA arasındaki bu fark IPCC Tier 1 yaklaşımı hesaplamalarında kullanılan emisyon faktörlerinin genel olması ve DEFRA'nın İngiltere'nin ulusal verilerini kullanmasından kaynaklanmaktadır. Karbondioksit emisyonundaki azalmaya 2019 yılına kıyasla 2020 yılında iklimin biraz ılımanlaşmasının yanı sıra Covid-19 pandemi süreci nedeniyle 2020 yılında eğitim-öğretime uzaktan eğitimle devam edilmesinin etki ettiği düşünülmektedir.

Determination of Carbon Footprint with IPCC Tier 1 and DEFRA Methods: The Case Study of Erzincan Binali Yıldırım University

Keywords

IPCC,
DEFRA,
Carbon footprint,
Carbon emission

Abstract: In this study, the carbon footprint of Erzincan Binali Yıldırım University for 2019 and 2020 was calculated first with the IPCC Tier 1 approach and then using the DEFRA conversion factors. The primary carbon footprint of EBYU has been calculated as 2753,2 tCO₂e for 2019 and 2383,74 tCO₂e for 2020, with the IPCC Methodology Tier 1 approach. Compared to 2019, there is a 13,42% decrease in the amount of emissions. With DEFRA conversion factors, 2314,53 tCO₂e emissions for 2019 and 1826,54 tCO₂e emissions for 2020 were calculated. Compared to 2019, there is a 21,08% decrease in the amount of emissions. This difference between the IPCC Tier 1 approach and DEFRA is due to the fact that the emission factors used in the IPCC Tier 1 approach calculations are general and DEFRA uses national data from the UK. It is thought that the decrease in carbon dioxide emissions is due to the mild climate in 2020 compared to 2019 and, as well as the doing online education in 2020 due to the Covid-19 pandemic process.

1. Giriş

İnsan faaliyetleri dünyanın doğal dengesini büyük ölçüde etkilemektedir. Bu etkinin büyüklüğü "iklim değişikliği" ifadesi ile anlatılır. Hükümetler arası İklim Değişikliği Paneli (IPCC), iklim değişikliğini "iklim durumundaki, ortalama ve/veya özelliklerinin

değişkenliğindeki değişikliklerle tanımlanabilen ve uzun bir süre, tipik olarak on yıllar boyunca devam eden bir değişiklik" olarak tanımlamaktadır. Doğal değişkenlik veya insan faaliyetlerinden kaynaklanan zaman içinde iklimde meydana gelen herhangi bir değişikliği ifade eder [1]. Öte yandan, Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi

*İlgili yazar: akurnuc@erzincan.edu.tr

(UNFCCC) ve onun Kyoto protokolü kapsamında iklim değişikliğini "Doğal iklim değişkenliğine ek olarak, küresel atmosferin bileşimini değiştiren insan faaliyetlerine doğrudan veya dolaylı olarak atfedilen bir iklim değişikliği" olarak tanımlamaktadır [2].

19. yüzyılda sanayi devriminin büyük rol oynamasıyla birlikte nüfus artışı, teknolojik gelişmeler, sanayileşmedeki rekabet, yaşam kalitesinin artması, enerji ihtiyacını artırmakta böylece atmosferdeki sera gazlarının konsantrasyonları da çarpıcı bir şekilde artmaktadır. 1800'den sonraki yüzyılda, küresel yüzey hava sıcaklığı, olması gereken değer ile karşılaştırıldığında, eşit olmayan bir şekilde 0,3°C ila 0,6°C artmıştır [3]. Bu şiddetli değişiklikler, insan kaynaklı faaliyetler ile yerkürenin ısınması arasındaki ilişkiye dikkat çekmektedir.

Birçok iklim bilimci, iklim değişikliğinin temel oluşum sebebinin havadaki artan sera gazı emisyon miktarı olduğu konusunda fikir birliğine sahiptir. Başka bir grup bilim insanı, sera emisyon miktarlarındaki değişikliklerin ekonomik zararlar sonucunda bir neden-sonuç zincirini tetiklediğini savunmaktadır [4]. Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi (NASA) istatistiklerine göre, "Atmosferik CO₂, CH₄ ve NO_x konsantrasyonlarının seviyesinin uzun yıllardır yükseldiği ve CO₂ salınımının 1956'da 315,71 ppm'den 2014'te 398,78 ppm'ye yükseldiği belirtilmekte ve 2040 yılına kadar 450 ppm'ye ulaşacağı tahmin edilmektedir [5]. Bütün bu veriler, sera gazı emisyonlarının hızla artmasında insan faktörünün en önemli faktörlerden biri olduğunu kanıtlamıştır. Sera gazlarının mevcut durumunun sınırlandırılması veya en azından farkında olunması, sonuçları çarpıcı biçimde belirgin hale geldikçe önem kazanmaktadır.

İnsan faaliyetleri sonucunda yayılan başlıca sera gazı %76 ile CO₂ olup, bunu %16 ile CH₄, %6 ile NO_x ve %2 ile florlu gazlar izlemektedir [6]. İnsanlar, kuruluşlar, olaylar ve ürünler tarafından üretilen doğrudan veya dolaylı eylemler yoluyla yayılan sera gazlarının (GHG) toplamı karbon ayak izi olarak bilinir. Karbon ayak izini hesaplamak için, her gün ürettiğimiz kirlilik veya GHG emisyon seviyelerini tam olarak bilmek gerekir. Şekil 1'de görüldüğü gibi, iş faaliyetlerimiz, elektrik tüketimi, ambalaj kullanımı, malzeme, ulaşım, atık yönetimi vb. aracılığıyla doğrudan ve dolaylı olarak bıraktığımız karbon ayak izi hakkında veri toplamayı gerektirir. Karbon ayak izi, ton CO₂ eşdeğeri (tCO₂e) olarak ölçülür ve faaliyet verilerinin emisyon faktörleriyle çarpılmasıyla hesaplanır. Elde ettiğimiz sonuç, potansiyel tasarrufları belirlememize, yasaların gerektirdiği çevresel gereksinimleri karşılamamıza, karbon ayak izimizi en aza indiren iyileştirmeler sunmamıza yardımcı olacaktır [7].



Şekil 1. Karbon ayak izi [8]

Türkiye'nin toplam sera gazı emisyonlarının CO₂ eşdeğeri 2019 yılı bir önceki yıla göre %3,1 azalarak 506,1 MtCO₂e olmuştur. Kişi başına düşen toplam sera gazı emisyonu 1990'da 4 tCO₂e, 2018'de 6,4 tCO₂e ve 2019'da 6,1 tCO₂e olarak hesaplanmıştır. Toplam sera gazı emisyonlarında CO₂ eşdeğeri olarak 2019 yılında en büyük paya %72 ile enerji kaynaklı emisyonlar sahip olurken, onu %13,4 ile tarım, %11,2 ile endüstriyel işlemler-ürün kullanımı, %3,4 ile atık sektörü takip etmiştir [9].

Karbon ayak izi insan aktivitelerinin sonucu oluşan bir kavram olduğunda, üniversiteler gibi insan nüfusunun fazla olduğu kurumlarda ayak izinin hesabı önem teşkil etmektedir. Literatürde üniversitelerin karbon ayak izi değişimine yönelik yapılan çalışmalar giderek artmaktadır. Çalışmaların bir kısmı eğitim dönemi süresince kampüs içindeki öğrencilerin aktiviteleri kaynaklı [10,11], öğrenci ve çalışanların aktiviteleri kaynaklı [12,13], akademisyen ve idari personel kaynaklı [14], üniversitelerin enerji tüketimi ve/veya atıkları kaynaklı [15-19] CO₂ emisyonu hesaplamalarını kapsamaktadır.

Annex 2014 hesaplama kriterlerini kullanarak Kumaş vd. [20] Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Bucak yerleşkesindeki üç farklı Yüksekokulun, Yaka vd. [21] ise Akdeniz Üniversitesi'nin Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksek Okulunun karbon ayak izinin yıllık miktarını hesaplamışlardır. Üniversitelerin karbon ayak izi ile ilgili literatür taramasında ise Yañez vd. [22] tarafından seçilen bazı çalışmalar yöntem, sonuç ve göstergeleri olarak özetlenmiş ve karbon ayak izini bir çevre yönetim aracı olarak ele almanın, süreç boyunca toplanan veriler, kampüslerin çevresel performansı hakkında daha geniş bir bakış açısı sağlayarak karar vermeyi kolaylaştırdığını belirtmişlerdir.

Filimonau vd. [23] COVID-19 karantinası sırasında bir Birleşik Krallık Üniversitesinin kampüs içi ve kampüs içi yüksek öğretimin karbon ayak izini karşılaştırmışlardır. Chung vd. [24] ve Sippel vd. [25], bazı öğrencilerin sırasıyla Tajen Üniversitesi'ndeki (Tayvan) ve Konstanz'daki (Almanya) Uygulamalı Bilimler Üniversitesi'ndeki kampüs etkinlikleri

nedeniyle karbon ayak izini hesaplariken, Kulsuwan vd. [26] sadece Mahidol Üniversitesi Amnat Charoen Kampüsü'ndeki (Tayland) öğrencilerin elektrik tüketimini dikkate almıştır.

Valls-Val ve Bovea [27] üniversitelerde karbon ayak izi çalışmalarını inceleyerek gelecekteki araştırmalar için literatürdeki ana boşlukları belirlemek amacıyla bir literatür taraması sunmuşlardır. Sera gazı emisyonlarının raporlanmasında şeffaflık ihtiyacına yanıt olarak çeşitli standartlar geliştirilmiş olsa da, üniversitelerden kaynaklanan sera gazı emisyonlarını tutarlı ve karşılaştırılabilir bir şekilde ölçmek, raporlamak ve doğrulamak için uluslararası kabul görmüş bir yöntem olmadığını belirtmişlerdir. Sonuç olarak, karbon ayak izi çalışmalarının genellikle çok farklı sonuçlar verdiğini ve üniversitelerin karbon ayak izinin karşılaştırılmasının zor olduğunu belirtmişlerdir. Öğrenci popülasyonundaki farklılıkları normalleştirdikten sonra bile, öğrenci başına metrik ton CO₂'nin, karşılaştırılan üniversiteler arasında değişiklik gösterdiğini belirtmişlerdir.

Dağlıoğlu [28], yaptığı çalışmada dünyada birçok üniversitenin kullandığı Greenmetric değerlendirme yönteminin Ege Üniversitesi tarafından da kullanıldığını ifade ederek sürdürülebilirlik adımları için yol haritası olan bu yöntemin değerlendirmeleri arasında enerji başlığı altında karbon ayak izi de yer aldığını belirtmiştir. Bu şekilde birçok üniversitenin kendi karbon ayak izini ve kişi başına düşen CO₂ emisyon değerlerini hesaplayabildiğini ve Avrupa, Asya ve Amerika'daki üniversitelere kıyasla Türkiye'deki iki üniversitenin (Ege Üniversitesi ve Sakarya Üniversitesi Esentepe Kampüsü) çok daha az emisyonla sahip olduğunu ifade etmiştir.

Eğitim yapıları hem uzun kullanım süresine sahiptir hem de enerji tüketim oranları yüksektir. Eğitim kalitesini etkileyen bir çok faktör vardır. Bu faktörlerin başında mekânın fiziksel özelliklerinden olan ısı, ışık ve ses gelmektedir. Aşırı sıcaklıklar, yetersiz aydınlatma ve kötü hava kalitesi gibi olumsuz ortam koşullarının şüphesiz öğrenci, akademisyen ve çalışan üzerinde olumsuz etkileri vardır. Bu olumsuz özelliklerin iyileştirilmesiyle kullanıcı ihtiyaçlarının karşılanması hedeflenmektedir [29]. Son yıllarda gelişen teknoloji ile görsel ve işitsel ekipmanlar, katılım araçları, kişisel bilgisayarlar ve internet erişimi birçok sınıfın merkezi bileşeni haline gelmiştir. Tabii ki bu durum da enerji tüketimini artırmaktadır.

Kurumlar, Üniversiteler, işletmeler ve kuruluşlar için karbon stratejisi, sera gazı emisyonlarının ölçümünü, hesabını, izlemeyi ve karbon salımını azaltmak için stratejiler geliştirilmesini içeren uzun vadeli bir planlama sürecidir. Yapılan bu çalışma ile Erzincan

Binalı Yıldırım Üniversitesi'nin karbon stratejisi için uzun vadeli bu planlama sürecine ilk adım atılacaktır.

Bu çalışmada Erzincan Binalı Yıldırım Üniversitesi (EBYÜ)'nin ısınma amaçlı kullandığı doğal gaz/kömür, aydınlanma ve sınıf/ofis araç gereçleri için kullanılan elektrik, üniversiteye ait araçlarda kullanılan benzin ve motorin tüketimleri dikkate alınarak Üniversite'nin karbon ayak izi belirlenmiştir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Materyal

Çalışmada Erzincan ilinde bulunan Erzincan Binalı Yıldırım Üniversitesi (EBYÜ)'nin karbon ayak izleri IPCC Tier 1 ve DEFRA Metotları ile hesaplanmıştır. EBYÜ Merkez ve İlçe Kampüslerden oluşmaktadır. Üniversite 3 Enstitü, 12 Fakülte, 3 Yüksekokul, 12 Meslek Yüksekokulu, 20 Uygulama ve Araştırma Merkezi, 13 Koordinatörlük, 23631 Öğrenci, 1086 Akademik Personel ve 564 İdari Personel ile akademik faaliyetlerine devam etmektedir [30]. Merkezde birden fazla kampüs bulunmaktadır. Ana kampüs olan Yalnızbağ Yerleşkesine 2020 yılı Mayıs ayında Rektörlük Biriminin de taşınmasıyla içerdiği birimler bakımından ana kampüs daha da yoğunlaşmıştır.

Üniversite birimlerinden ısınma amaçlı kullanılan doğal gaz/kömür, aydınlanma ve sınıf/ofis araç gereç kullanımları için elektrik ayrıca üniversiteye ait araçların benzin/mazot tüketim verileri talep edilmiştir.

EBYÜ dikkate alındığında üniversiteye ait veya üniversite tarafından kontrol edilen kaynaklardan gelen emisyonlara doğrudan sera gazı emisyonları adı verilir. Örneğin üniversiteye ait olan veya kontrol altındaki kazanlarda, fırınlarda, araçlarda vb. yakıtların yanmasından kaynaklanmaktadır.

Dolaylı sera gazı emisyonları, üniversitenin faaliyetleri sonucu olan fakat başka bir şirkete ait olduğu veya kontrol altındaki kaynaklarda ortaya çıkan emisyonlardır. Buna örnek olarak üniversite tarafından tüketilen, satın alınan elektrik üretiminden kaynaklanan sera gazı emisyonlarını örnek verebiliriz. Satın alınan elektrik, satın alınan veya başka bir şekilde şirketin organizasyonel sınırına getirilen elektrik olarak tanımlanır.

Diğer dolaylı sera gazı emisyonları, üniversitenin faaliyetlerinin bir sonucudur, ancak üniversiteye ait olmayan veya üniversitenin kontrolünde olmayan kaynaklardan oluşmaktadır. Satın alınan malzemelerin kullanımı ve atık üretilmesi, ürün ve hizmetlerin kullanımı, atık bertarafı ve akademisyenlerin/çalışanların iş seyahatleri dolaylı sera gazı emisyonlarına örnek olarak verilebilir [31,32].

Karbon ayak izini incelemek için, doğrudan veya dolaylı emisyonları dikkate alarak çeşitli kapsamlar oluşturulmuştur.

- Kapsam-1; hesaplama yapılan kuruluşun yakıt tüketimi veya araçları kaynaklı doğrudan sera gazı emisyonlarını oluşturur. Bu nedenle de doğrudan karbon ayak izi olarak değerlendirilir.
- Kapsam-2; elektrik, buhar, ısıtma ve soğutmadan kaynaklı dolaylı sera gazı emisyonlarını içerir. Operasyon atıkları, satın alınan mal ve hizmetler, vb. bu emisyon kapsamına örnektir.
- Kapsam-3; Kapsam-2 içerisine girmeyen diğer dolaylı sera gazı emisyonlarını içermektedir. Personellerin üniversiteye geliş-gidişleri kaynaklı emisyonları ve idari/akademik personellerin iş seyahatlerinden kaynaklanan emisyonlar, kuruluş tarafından üretilen ancak başka bir kuruluş tarafından yönetilen atıklar vb. örnekler Kapsam-3 emisyonlarını oluşturur.

Buna göre üniversitenin ısıtma amaçlı yakıt kaynağı olarak kullandığı doğal gaz/kömür kaynaklı ve üniversiteye ait araç filosunun (iş makineleri dâhil) oluşturduğu emisyonlar Kapsam-1 altında değerlendirilirken, satın alınan elektrik tüketimiyle atmosfere salınan emisyonlar Kapsam-2 altında değerlendirilmiştir. ISO 14064-1 standardı göz önüne alınarak yapılan karbon ayak izi analizinde, hesaplamada kullanılacak faaliyet verileri yeterli ve güvenilir olması gerekmektedir.

Bu çalışma kapsamında; personellerin seyahatleri ile araç kullanarak üniversiteye gidiş-gelişlerinden kaynaklı emisyonlar, atıkların bertarafı, buzdolabı, su sebili ve klimalarda soğutucu gaz kullanımından kaynaklı kayıp/kaçak emisyonları Kapsam-3 başlığı altında muhtemel sera gazı emisyonları arasındadır. Ancak yeterli faaliyet verisine ulaşılamamış olduğu için bu çalışmada Kapsam-3 değerlendirilmemiştir (Şekil 2).



Şekil 2. EBYÜ Merkez ve İlçe Kampüsleri karbon ayak izi değerlendirmesi

Sera gazlarının emisyon hesaplaması için baz alınan yıl seçimi, kullanılacak verilerin ulaşılabilir ve doğru olması göz önüne alınarak yapılır. Covid 19 pandemi sürecinde eğitim faaliyetlerinin uzaktan veya esnek çalışma saati uygulaması dikkate alınarak kişi başına düşen CO₂ emisyon miktarı yerine üniversitenin toplam CO_{2e} emisyon miktarı hesaplanmıştır.

Pandemi döneminin CO_{2e} emisyonuna etkisini ölçmek adına karbon ayak izi hesaplamaları için 2019 ve 2020 yılları seçilmiştir.

2.2. Üniversitenin Tüketim Verileri

EBYÜ bünyesindeki merkez ve ilçelerdeki tüm birimlerden elde edilen doğal gaz, kömür, motorin, benzin ve elektrik tüketim verileri Tablo 1'de sunulmuştur. Bu veriler ışığında hesaplamalar yapılarak CO₂ ve CO_{2e} emisyon miktarlarına kısaca Üniversitenin karbon ayak izine ulaşılmıştır.

Tablo 1. EBYÜ 2019 ve 2020 yılı yakıt ve elektrik tüketim verileri

Yıl	Doğal gaz (m ³)	Kömür (t)	Benzin (lt)	Motorin (lt)	Elektrik (kWh)
2019	275103	240	5660,62	35399,92	3884307,91
2020	174925	153	5489,06	34327,00	3717524,64

Üniversitedeki ısınma amaçlı doğal gaz kullanımı rektörlük binası da dâhil merkez kampüslerde bulunan tüm fakülte, yüksekokul, meslek yüksekokulu, spor salonu ve kongre merkezi gibi bütün birimlerin tüketimlerini içermektedir. Üniversite birimlerinden İliç, Refahiye, Kemah, Kemaliye ve Tercan Meslek Yüksek Okulu ısınma amaçlı kömür kullanmaktadır. Kömür tüketimleri, ilgili birimlerin fiili tüketimleri olmayıp, ilçelerdeki birimlerin talepleri doğrultusunda ihale yoluyla temin edilmektedir. Her sene bir önceki senenin durumuna göre birim talebini belirtmektedir. Kömür verileri ihale yolu ile alınan miktarlar olup tüketilen net kömür miktarı değildir. 2020 yılının kömürü bir önceki yıl talep edilerek ihale yolu ile alındığından Covid-19 pandemi sürecinin (uzaktan eğitim) etkisini barındırmamaktadır. Bu sebeple 2020 yılında üniversitenin doğal gaz tüketimindeki %36,415'lik azalma oranı kömür tüketimi içinde aynı oran düşünülerek 2020 yılı hesaplamasında 152,604≈153 ton kömür kullanımı kabulü yapılmıştır.

Üniversite bünyesinde bulunan dizel motorlu araçların ve iş makinelerinin motorin tüketim verileri 2019 yılı için net bir şekilde temin edilmiştir. Yalnızbağ Kampüsü'nün çevre düzenlemesinin çoğu 2020 yılında yapılmıştır. Çevre düzenlemesi hem üniversitenin hem de İl Özel İdaresinin iş makineleri ile gerçekleştirilmiştir. İl Özel İdaresinin iş makinelerinin kullandığı motorin üniversite tarafından karşılanmıştır. Ayrıca Erzincan merkezde bulunan Rektörlük birimleri 2020 Mayıs ayında Yalnızbağ Kampüsü'ne taşınmıştır. Hem çevre düzenlemesi işleri hem de rektörlük birimlerinin taşınma işlemleri 2020 yılı motorin tüketimini artacak yönde etkilemiştir. Bu sebeple 2020 yılı motorin tüketim verileri için benzin verilerinde 2020 yılındaki %3,031'lik azalma oranı kullanılarak 2020 yılı motorin tüketimi 34326,95≈34327 lt kabul edilerek hesaplamalar yapılmıştır.

Üniversitedeki elektrik kullanımı rektörlük birimleri de dâhil olmak üzere tüm fakülte, yüksekokul, meslek yüksekokulu, spor salonu ve kongre kültür merkezi gibi bütün birimlerin tüketimlerini içermektedir.

2.3. Karbon ayak izi hesaplama metodu

CO₂ emisyonu hesaplamalarında IPCC tarafından önerilen Tier yaklaşımları kullanılmaktadır [33]. Çalışmada EBYÜ'nin karbon ayak izi hesaplamaları için ilk olarak IPCC [34] kılavuzunda yer alan Tier-1 yaklaşımının hesaplama metodolojisi ve emisyon faktörleri seçimi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Sonrasında ise İngiltere Çevre, Gıda ve Köy İşleri Bakanlığı olan DEFRA'nın yayınlamış olduğu İngiltere sera gazı dönüşüm faktörleri göz önüne alınarak EBYÜ'nin karbon ayak izi hesaplanmıştır. IPCC Tier 1 yaklaşımı ve DEFRA sonuçları karşılaştırılmıştır.

Tier 1 yaklaşımı, üniversitenin doğal gaz, kömür, motorin, benzin ve elektrik kullanım verileri ışığında, yakıt türlerinin 2006 IPCC Rehberinde varsayılan emisyon faktörleriyle yapılan hesaplamaları içermektedir. Denklem 1 ile elde edilen sonuçlar sera gazı emisyon miktarını vermektedir. Yakıtların yanması sırasında CH₄ ve N₂O emisyonlarının üretimi de olduğunda hesaplamaya dâhil edilmesi gerekmektedir. Bu sebeple CH₄ ve N₂O emisyonlarının CO₂ miktarları dikkate alınmıştır.

(1)

Bu denklemde $Emisyon_{CO_2,yakit}$ yakıt tüketimi nedeniyle atmosfere yayılan emisyonların CO₂ cinsinden miktarı yani karbon ayak izi, YT faaliyet verisi yani yakıt tüketimi, EF ise emisyon faktörüdür [34,35]. Yakıtın toplam CO₂e ulaşmak için CH₄ ve N₂O emisyonlarının küresel ısınma potansiyellerinin CO₂ cinsinden ifade edilmesi gerekmektedir. CO₂, CH₄ ve N₂O'nun küresel ısınma potansiyelleri sırasıyla 1,21 ve 310'dur [36].

IPCC 2006 kavuzundan seçilen değerler yakıtların net kalorifik değerleri (TJ/Gg) Tablo 2'de ve emisyon faktörleri Tablo 3' de özetlenmiştir.

Tablo 4. DEFRA dönüşüm faktörleri

	Yakıt	Birim			kg CO ₂	kg CH ₄	kg N ₂ O
			2019	2020			
Kapsam-1	Doğal gaz	m ³	2019	2,03053	2,02680	0,00267	0,00107
			2020	2,02266	2,01888	0,00271	0,00107
	Kömür	ton	2019	2,744,72	2,505,61	204,22	34,89
			2020	2,883,26	2,632,00	214,60	36,66
	Benzin	lt	2019	2,20904	2,19585	0,00688	0,00631
			2020	2,16802	2,15532	0,00669	0,00601
	Motorin	lt	2019	2,59411	2,55956	0,00030	0,03425
			2020	2,54603	2,51072	0,00025	0,03506
Kapsam-2	Elektrik	kWh	2019	0,2556	0,25358	0,00065	0,00137
			2020	0,23314	0,23104	0,00072	0,00138

Tablo 2. Yakıtların net kalorifik değerleri [34]

Yakıt	Dönüşüm Faktörü (TJ/Gg)
Doğal gaz	48
Kömür	11,9
Benzin	44,3
Motorin	43

Tablo 3. Yakıtların emisyon faktörleri [34]

Yakıt	CO ₂ (kg/TJ)	CH ₄ (kg/TJ)	N ₂ O (kg/TJ)
Doğal gaz	56100	5	0,1
Kömür	101000	10	1,5
Benzin	69300	25	8
Motorin	74100	3,9	3,9

IPCC Tier 1 yaklaşımı hesaplamalarında yakıtların oksitlenen karbon yüzdeleri doğal gaz, kömür, benzin ve motorin için 1 olarak alınmaktadır [34].

Üniversitenin elektrik tüketiminden kaynaklanan CO₂ emisyonu IPCC Tier 1 yaklaşımında tüketim miktarının emisyon faktörü 0,478 (kg/kWh) ile çarpımından hesaplanmıştır [37].

İngiltere Çevre, Gıda ve Köy İşleri Bakanlığı olan DEFRA'nın 2019 [38] ve 2020 [39] yılında yayınlamış olduğu İngiltere sera gazı dönüşüm faktörleri raporlarından faydalanılarak EBYÜ'nin karbon ayak izi hesaplanmıştır. Raporla yakıt türlerine ve birimlerine göre kg CO₂, kg CH₄, kg N₂O ve kg CO₂e dönüşüm faktörü verilmiştir. Denklem 2 kullanılarak yakıtların CO₂ emisyon miktarları hesaplanmıştır.

(2)

Bu denklemde $Emisyon_{CO_2,yakit}$ yakıt tüketimi nedeniyle atmosfere yayılan emisyonların CO₂ cinsinden miktarı yani karbon ayak izi, YT faaliyet verisi yani yakıt tüketimi, DF ise dönüşüm faktörüdür [40,41]. DEFRA hesaplamalarında Tablo 4.'de özetlenmiş olarak yer alan dönüşüm faktörleri kullanılarak CO₂ emisyonları hesaplanmıştır.

3. Bulgular

Bu veriler ışığında IPCC Tier 1 yaklaşımı ve DEFRA dönüşüm faktörleriyle hesaplamalar yapılarak EBYÜ'nin 2019 ve 2020 yılı CO₂ ve CO_{2e} emisyon miktarlarına ulaşılmıştır [42]. Böylelikle

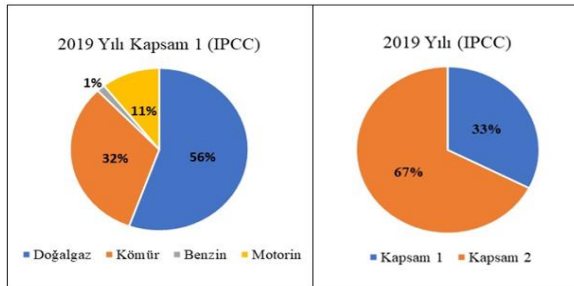
üniversitenin karbon ayak izi hesaplanmıştır. EBYÜ'nin 2019 ve 2020 yılı IPCC Tier 1 yaklaşımına göre CO₂, CH₄ ve N₂O ve CO_{2e} emisyon miktarları Tablo 5' de verilmiştir.

Tablo 5. IPCC Tier 1 yaklaşımına göre 2019-2020 yılı CO_{2e} emisyonu (ton)

		Yakıt	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO _{2e}
Kapsam-1	2019		496,33	0,9290	0,2743	497,54
	2020	Doğal gaz	315,60	0,5907	0,1744	316,36
	2019	Kömür	288,46	0,5998	1,3280	290,38
	2020		183,89	0,3823	0,8466	185,12
	2019	Benzin	12,77	0,0968	0,4571	13,33
	2020		12,39	0,0938	0,4432	12,92
	2019	Motorin	93,62	0,1035	1,5275	95,25
	2020		90,78	0,1003	1,4812	92,36
			2019			896,5
			2020	Toplam Kapsam-1		606,77
Kapsam-2	2019	Elektrik				1856,7
	2020					1776,98
			2019			2753,2
			2020	Toplam CO _{2e} Emisyonu		2383,74

2019 yılında doğal gaz tüketiminden 497,54 tCO_{2e}, kömür tüketiminden 290,38 tCO_{2e}, benzin tüketiminden 13,33 tCO_{2e}, motorin tüketiminden 95,25 tCO_{2e} emisyon oluşmuştur. Bu emisyonların toplamı 896,5 tCO_{2e} olup Kapsam-1'den kaynaklanmaktadır. 2019 yılında Kapsam-2'de yer alan elektrik tüketiminden 1856,7 tCO_{2e} emisyon oluşmuştur. Böylece EBYÜ'nin 2019 yılı IPCC Tier 1 yaklaşımına göre toplam eşdeğer CO₂ emisyon miktarı 2753,2 tCO_{2e}'dur.

Şekil 3 incelendiğinde EBYÜ'nin 2019 yılı IPCC Tier 1 yaklaşımına göre Kapsam-1'de olan yakıtların CO_{2e} emisyon miktarlarını dağılım yüzdeleri yönünden en büyük pay %56 ile doğal gaza aittir. Onu sırasıyla %32 ile kömür, %11 ile motorin ve %1 ile benzin takip etmektedir. 2019 yılına ait emisyonlar Kapsam-1 ve Kapsam-2 olarak incelendiğinde toplam CO_{2e} emisyonunun %67'sini Kapsam-2 yani elektrik emisyonları oluşturmaktadır.

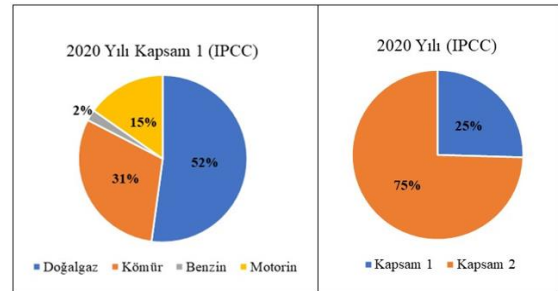


Şekil 3. IPCC Tier 1 yaklaşımı ile 2019 yılı emisyon miktarlarının dağılım yüzdeleri

EBYÜ'nin 2020 yılında doğal gaz tüketiminden 316,36 tCO_{2e}, kömür tüketiminden 185,12 tCO_{2e}, benzin tüketiminden 12,92 tCO_{2e}, motorin tüketiminden 92,36 tCO_{2e} emisyon oluşmuştur. Bu emisyonların toplamı 606,77 tCO_{2e} olup Kapsam-1'den kaynaklanmaktadır. 2020 yılında Kapsam-2'de

yer alan elektrik tüketiminden 1776,98 tCO_{2e} emisyon oluşmuştur. Böylece EBYÜ'nin 2020 yılı IPCC Tier 1 yaklaşımına göre toplam eşdeğer CO₂ emisyon miktarı 2383,74 tCO_{2e}'dur.

Şekil 4 incelendiğinde EBYÜ'nin 2020 yılı IPCC Tier 1 yaklaşımına göre Kapsam-1'de olan yakıtların CO_{2e} emisyon miktarlarını dağılım yüzdeleri yönünden en büyük pay %52 ile doğal gaza aittir. Onu sırasıyla %31 ile kömür, %15 ile motorin ve %2 ile benzin takip etmektedir. 2020 yılına ait emisyonlar Kapsam-1 ve Kapsam-2 olarak incelendiğinde toplam CO_{2e} emisyonunun %75'ini Kapsam-2 yani elektrik emisyonları oluşturmaktadır.

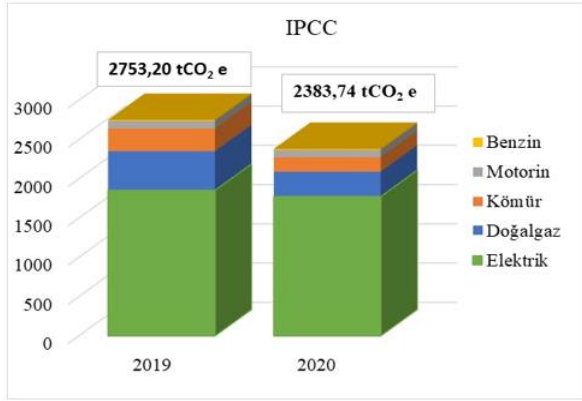


Şekil 4. IPCC Tier 1 yaklaşımı ile 2020 yılı emisyon miktarlarının dağılım yüzdeleri

EBYÜ'nin 2019 yılı IPCC Tier 1 yaklaşımına göre toplam eşdeğer CO₂ emisyonu 2753,20 tCO_{2e} olup, 2020 yılında toplam CO_{2e} emisyon miktarı 2019 yılına oranla %13,42 azalmış ve toplam CO_{2e} emisyon miktarı 2383,74 tCO_{2e} olarak hesaplanmıştır. Şekil 5'de 2019 ve 2020 yılı eşdeğer CO₂ emisyon miktarları görülmektedir.

Hesaplamalar neticesinde IPCC Tier 1 yaklaşımına göre elektrik kaynaklı karbon salınımından sonra en fazla etki ısınma amaçlı kullanılan doğal gaz

tüketiminden, en az ise benzin tüketiminden kaynaklanmaktadır.

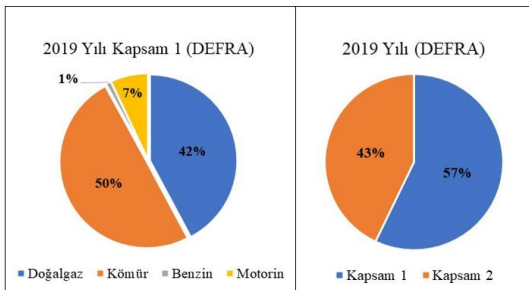


Şekil 5. IPCC Tier 1 yaklaşımı ile 2019 ve 2020 yılı CO2e emisyon miktarları

Tablo 6. DEFRA dönüşüm faktörlerine göre 2019-2020 yılı CO2e emisyonu (ton)

		CO2	CH4	N2O	CO2e
Kapsam-1	2019	557,58	0,735	0,294	558,61
	2020	354,54	0,467	0,187	355,19
	2019	601,35	49,013	8,374	658,73
	2020	383,36	31,246	5,338	419,94
	2019	12,43	0,039	0,036	12,50
	2020	12,05	0,038	0,035	12,13
	2019	90,61	0,011	1,241	91,86
	2020	87,86	0,010	1,204	89,08
		2019	Toplam Kapsam-1		1321,7
		2020	Toplam Kapsam-1		876,34
Kapsam-2	2019	984,98	2,525	5,322	992,83
	2020	942,69	2,416	5,093	950,2
		2019	Toplam CO2e Emisyonu		2314,53
		2020	Toplam CO2e Emisyonu		1826,54

Şekil 6 incelendiğinde EBYÜ'nin 2019 yılı DEFRA dönüşüm faktörleri kullanılarak hesaplanan Kapsam-1'de olan yakıtların CO2e emisyon miktarlarının dağılım yüzdeleri yönünden en büyük pay %50 ile kömüre aittir. Onu sırasıyla %42 ile doğal gaz, %7 ile motorin ve %1 ile benzin takip etmektedir. 2019 yılına ait emisyonlar Kapsam-1 ve Kapsam-2 olarak incelendiğinde toplam eşdeğer CO2 emisyonunun %57'sini Kapsam-1, %43'ünü Kapsam-2 yani elektrik emisyonları oluşturmaktadır.



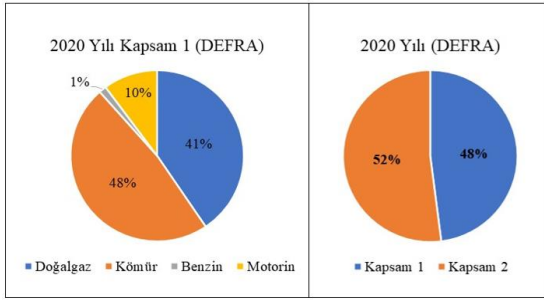
Şekil 6. DEFRA dönüşüm faktörleri ile 2019 yılı emisyon miktarlarının dağılım yüzdeleri

EBYÜ'nin 2019 ve 2020 yılı DEFRA dönüşüm faktörleri kullanılarak hesaplanan CO2, CH4 ve N2O ve CO2e emisyon miktarları Tablo 6'da sunulmuştur.

2019 yılında doğal gaz tüketiminden 558,61 tCO2e, kömür tüketiminden 658,73 tCO2e, benzin tüketiminden 12,50 tCO2e, motorin tüketiminden 91,86 tCO2e emisyon oluşmuştur. Bu emisyonların toplamı 1321,7 tCO2e olup Kapsam-1'den kaynaklanmaktadır. 2019 yılında Kapsam-2'de yer alan elektrik tüketiminden 992,83 tCO2e emisyon oluşmuştur. Böylece EBYÜ'nin 2019 yılı DEFRA dönüşüm faktörlerine göre toplam eşdeğer CO2 emisyon miktarı 2314,53 tCO2e'dur.

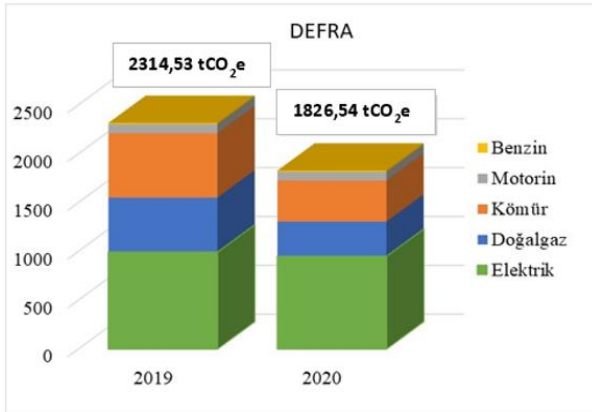
EBYÜ'nin 2020 yılı DEFRA dönüşüm faktörleri kullanılarak hesaplanan emisyon miktarları doğal gaz tüketiminden 355,19 tCO2e, kömür tüketiminden 419,94 tCO2e, benzin tüketiminden 12,13 tCO2e, motorin tüketiminden 89,08 tCO2e emisyon oluşmuştur. Bu emisyonların toplamı 876,34 tCO2e olup Kapsam-1'den kaynaklanmaktadır. 2020 yılında Kapsam-2'de yer alan elektrik tüketiminden 950,2 tCO2e emisyon oluşmuştur. Böylece EBYÜ'nin 2020 yılı DEFRA dönüşüm faktörlerine göre toplam eşdeğer CO2 emisyon miktarı 1826,54 tCO2e'dur.

EBYÜ'nin 2020 yılı DEFRA dönüşüm faktörleri kullanılarak hesaplanan Kapsam-1'de olan yakıtların CO2e emisyon miktarlarının dağılım yüzdeleri yönünden en büyük pay %48 ile kömüre aittir. (Bkz. Şekil 7) Onu sırasıyla %41 ile doğal gaz, %10 ile motorin ve %1 ile benzin takip etmektedir. 2020 yılına ait emisyonlar Kapsam-1 ve Kapsam-2 olarak incelendiğinde toplam eşdeğer CO2 emisyonunun %52'sini Kapsam-2 yani elektrik emisyonları oluşturmaktadır.



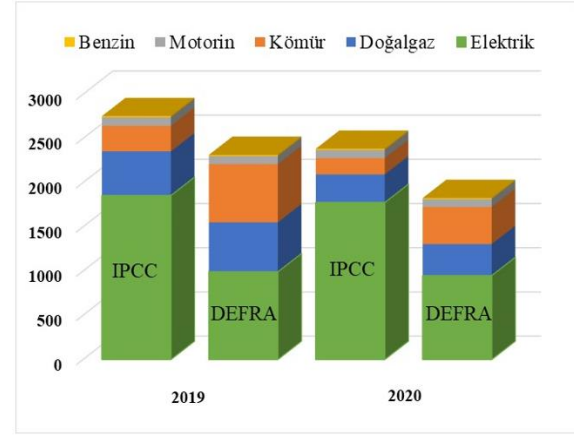
Şekil 7. DEFRA dönüşüm faktörleri ile 2020 yılı emisyon miktarlarının dağılım yüzdeleri

EBYÜ'nin 2019 yılı DEFRA dönüşüm faktörleri kullanılarak hesaplanan toplam emisyonu 2314,53 tCO₂e olup, 2020 yılında toplam emisyon miktarı 2019 yılına oranla %21,08 azalmış ve toplam 1826,54 tCO₂e olarak hesaplanmıştır. Şekil 8'de 2019 ve 2020 yılı CO₂e emisyon miktarları görülmektedir. DEFRA dönüşüm faktörü hesaplamasında da en fazla karbon salınımı elektrik tüketiminden kaynaklanmaktadır. Sonrasında ise kömür tüketimi gelmektedir. En az karbon salınımı ise IPCC Tier 1 yaklaşımına benzer şekilde benzinden kaynaklanmaktadır.



Şekil 8. DEFRA dönüşüm faktörleri ile 2019 ve 2020 yılı CO₂e emisyon miktarları

IPCC Tier 1 yaklaşımı ve DEFRA dönüşüm faktörleri ile 2019 ve 2020 yılı CO₂e emisyon miktarlarının karşılaştırması Şekil 9'da görülmektedir. Yıl bazında değişim incelendiğinde DEFRA'nın toplam CO₂e emisyon sonuçları IPCC Tier 1 yaklaşımından daha düşük çıkmıştır. Bunun sebebi IPCC Tier 1 yaklaşımı hesaplamalarında kullanılan emisyon faktörlerinin genel olmasından kaynaklanmaktadır. Bu fark DEFRA'nın İngiltere'nin ulusal verilerini raporlamasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 9. IPCC Tier 1 yaklaşımı-DEFRA dönüşüm faktörleri ile 2019 ve 2020 yılı CO₂e emisyon miktarlarının karşılaştırılması

4. Tartışma ve Sonuç

Temel olarak karbon ayak izinin, yani sera gazlarının atmosfere salınmasından insan faaliyetleri sorumludur ve sonuç olarak, insanlık ve doğal dünya, iklim değişikliğinin neden olduğu büyük tehditlerle karşı karşıya kalacaktır [12].

Ortak görüş, üniversitelerin toplum için bir fener olması gerektiği yönündedir; üniversiteler kapsayıcı, dürüst ve sürdürülebilir olmalı ve ifade özgürlüğünü ve eleştirel düşünmeyi teşvik etmelidirler. Sonuç olarak, üniversiteler, sürdürülebilirlik sorunlarının çözümüne yardımcı olmak ve üniversite operasyonlarının olumsuz sonuçlarını izlemeyi gerektiren sürdürülebilir planlar uygulayarak topluma rol model olarak hizmet etmek için önemli sorumluluklara sahip kurumlar olarak kabul edilmiştir [43].

Bu çalışmadaki amaç EBYÜ'nin birincil karbon ayak izini iki farklı metot ile (IPCC Tier 1 ve DEFRA) hesaplayarak üniversite bünyesinde kullanılan kaynakların etkin ve sürdürülebilir kullanımına, küresel iklim değişikliği ile mücadelede yapılması gerekenlere dikkat çekmektir. Böylece üniversitelerin sorumluluk ve üstlendiği rollerin önemi de ortaya koymaktır.

EBYÜ'nin birincil karbon ayak izi IPCC Metodolojisi Tier 1 yaklaşımıyla 2019 yılı için 2753,2 tCO₂e ve 2020 yılı için 2383,74 tCO₂e emisyonu hesaplanmıştır. 2019 yılı ile karşılaştırıldığında emisyon miktarında %13,42 azalma görülmektedir. EBYÜ'nin birincil karbon ayak izi DEFRA dönüşüm faktörleriyle 2019 yılı için 2314,53 tCO₂e ve 2020 yılı için 1826,54 tCO₂e emisyonu hesaplanmıştır. 2019 yılı ile karşılaştırıldığında emisyon miktarında %21,08 azalma görülmektedir.

2019 ve 2020 yıllarında Erzincan'ın en düşük sıcaklıkları incelendiğinde soğuk geçen aylar ve yılın geneline bakıldığında 2020 yılının daha sıcak geçtiği

görülmektedir. Erzincan'ın en yüksek sıcaklıkları incelendiğinde, 2020 yılının yine 2019 yılına göre sıcak geçen ayları artmıştır [44]. Küresel ısınma ve iklim değişikliği 2020'deki sıcaklık artışları ile daha belirgin olarak görülmektedir. Karbondioksit emisyonundaki azalmaya 2019 yılının soğuk geçen aylarına kıyasla 2020 yılında iklimin biraz ılımanlaşmasının yanı sıra Covid-19 pandemi süreci nedeniyle 2020 yılında eğitim-öğretime uzaktan eğitimle devam edilmesinin etki ettiği düşünülmektedir.

Hesaplamalar neticesinde IPCC Tier 1 yaklaşımına göre elektrik kaynaklı karbon salınımindan sonra en fazla etki ısınma amaçlı kullanılan doğal gaz tüketiminden, en az ise benzin tüketiminden kaynaklanmaktadır. DEFRA dönüşüm faktörü hesaplamasında da en fazla karbon salınımı elektrik tüketiminden kaynaklanmaktadır. Sonrasında ise kömür tüketimi gelmektedir. En az karbon salınımı ise IPCC Tier 1 yaklaşımına benzer şekilde benzinden kaynaklanmaktadır. IPCC Tier 1 yaklaşımı ile DEFRA arasındaki bu fark IPCC Tier 1 yaklaşımı hesaplamalarında kullanılan emisyon faktörlerinin genel olması ve DEFRA'nın İngiltere'ye ait ulusal verilerini kullanmasından kaynaklanmaktadır.

Çalışma 2019 ve 2020 yılları verileri ile sınırlıdır. Karbon ayak izindeki yönelimi daha net bir şekilde ortaya koymak için daha uzun dönemlere ait verilerle çalışılması gerekmektedir. Yeni kampüs oluşumu ve birimlerin kampüs değişimleri sebebiyle önceki dönemler için sağlıklı veri elde edilmesi sağlanamamış olup sonraki yıllarda yapılabilecek çalışmalar için bu sağlanabilecektir.

Karbon ayak izi ton eşdeğer CO₂ olarak hesaplanmıştır. Kişi başına karbon ayak izi hesaplaması yapılabilsen literatürde kıyaslama yapılması daha kolay olabilirdi. Ancak Covid-19 pandemi süreci sebebiyle akademik olarak online eğitime geçilmiş olması ve idari personellerde esnek çalışma uygulaması sebebiyle sağlıklı sonuç vermeyeceğinden kişi başına düşen CO₂ hesaplanamamıştır.

Karbon ayak izinde en büyük pay elektrik tüketimine aittir. Bu nedenle elektrik tüketiminden kaynaklanan emisyonların azaltılması karbon ayak izini düşürmekte önemli bir adımdır.

Bu veriler ışığında EBYÜ'nde sürdürülebilir yaşamı destekleyerek küresel ısınmadan kaynaklı iklim değişikliğini önlemede karbon ayak izini düşürebilecek öneriler şu şekilde sıralanabilir;

- Küresel iklim değişikliği ve çevre sorunları ile ilgili farkındalık oluşturacak/artıracak eğitim seminerleri/çalıştaylar düzenlenmeli ve projeler üretilmelidir.

- Karbon ayak izini direk etkileyen doğal gaz/kömür, elektrik, ısınma, ulaşım gibi konularda tasarruf sağlayıcı düzenlemeler yapılmalıdır.
- Üniversite bünyesinde bulunan Fakülte/Yükseköğretim/Program'larının müfredatları içerisinde iklim değişiklikleri, çevre kirliliği ve kaynaklarımızın doğru/etkin kullanımına yönelik seçmeli derslerin bulunmalı ve öğrenciler bu dersleri seçmeye teşvik edilmelidir.
- Alternatif enerji kaynaklarının kullanımına yeterince teşvik edilmeli ve bu alana yönelik çalışmalar iyice hızlandırılmalıdır. Üniversite kendi kullandığı elektriğin bir kısmını üretecek hale gelmelidir.
- Isınma, aydınlatma, ulaşım, mekanik/elektronik cihaz ve sistemlerin zamanında bakımlarının yaptırılması sera gazı emisyonlarının artışını önleyici rol olacaktır.
- Karbon tutumunu artırmak için kampüslerde ve yerleşkede ağaçlandırmaya biraz daha odaklanılmalıdır.

Ayrıca EBYÜ'nin yerleşke ve kampüslerinde karbon ayak izini azaltmak için enerji verimliliği çalışmaları ve güneş santrali projeleri içeren bir çevre politikası bulunmaktadır ve bu çalışmaların tümü yakın gelecekte benimsenecektir.

Yapılan çalışma karbon ayak izini (karbondioksit emisyonunu) azaltmaya yönelik alınabilecek tedbirler açısından oldukça önem taşımaktadır. Belirtilen önlem ve önerilerin gerçekleştirilmesi ile EBYÜ'nin karbon ayak izi azaltılacaktır. Karbondioksit salınımının düşük seviyelerde olduğu teknolojilerin geliştirilmesi ve bu teknolojilerin insan hayatına entegre edilmesi en kalıcı önlemdir. Ancak bahsedilen önlemler karbon ayak izini azaltabilir ancak yeterli olmayabilir. Bu durumda alternatif önlemlere yönelmek gerekir. Alınabilecek alternatif önlemler için karbon yutaklarının kurulması, karbon ihracatı ya da karbonun karbon rezervuarlarında hapsedilmesi örnek olarak verilebilir. Bu önlemlerden hangisinin yapılması gerektiği noktasında seçim yapmak oldukça güçtür. Bu tamamen bilimsel-teknolojik gelişmelere bağlıdır. Teknoloji ve bilim geliştikçe farklı çözüm yolları da karşımıza çıkacaktır.

Karbon ayak izini düşürmek için iklim değişikliği eylem planı hazırlamak konu ile ilgili bir altyapı oluşturması, sorunu tanımlaması ve çözümler üretmesi anlamında oldukça önemlidir. Ancak planların sadece yolu tarif ettiği ve hedefe ulaşabilmek için ülke genelinde asıl işin buradan sonra başlayacağı unutulmamalıdır.

Teşekkür

Çalışmayı gerçekleştirebilmek için gerekli olan verilerin temininde yardımlarından dolayı EBYÜ'nin ilgili tüm birim çalışanlarına teşekkür ederiz.

Etik Beyanı

Bu çalışmada, "Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesi" kapsamında uyulması gerekli tüm kurallara uyulduğunu, bahsi geçen yönergenin "Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiğine Aykırı Eylemler" başlığı altında belirtilen eylemlerden hiçbirinin gerçekleştirilmediğini taahhüt ederiz.

Kaynakça

- [1] IPCC, https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_Full_Report.pdf , (Erişim tarihi: 20.01.2022).
- [2] Birleşmiş Milletler, 1992. United Nations Framework Convention on Climate Change Convention. <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/conveng.pdf> (Erişim tarihi: 20.01.2022).
- [3] IPCC 1990. First Assessment Report, Working group I: Scientific Assessment of Climate Change. <https://www.ipcc.ch/report/climate-change-the-ipcc-1990-and-1992-assessments/> (Erişim tarihi: 20.01.2022).
- [4] Shine, K., Fuglestvedt J., Hailemariam K. and Stuber N. 2005. Alternatives to the Global Warming Potential For Comparing Climate Impacts of Emissions of Greenhouse Gases. *Climatic Change*, 68(3), 281-302.
- [5] Earth Science Communications Team at NASA Jet Propulsion Laboratory. "Global Climate Change; Vital Signs of the Planet", https://climate.nasa.gov/climate_resources/7/graphic-carbon-dioxide-hits-new-high (Erişim tarihi: 20.01.2022).
- [6] Intergovernmental Panel on Climate Change Working Groups I, II and III. 2007. Climate Change 2007: Synthesis Report. IPCC, Geneva, Switzerland Available. http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_ipcc_fourth_assessment_report_synthesis_report.htm (Erişim tarihi: 20.01.2022).
- [7] Naeco, <https://naeco.com/en/news/how-can-we-reduce-the-carbon-footprint-in-the-logistics-area-of-our-company/> (Erişim tarihi: 20.01.2022).
- [8] Yalova Valiliği Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü. 2016. Karbon ayak izi nedir? <https://yalova.csb.gov.tr/karbon-ayak-izi-nedir-haber-42218>, (Erişim tarihi: 20.01.2022).
- [9] TÜİK, Seragazi Emisyon İstatistikleri, Sayı: 37196, 30 Mart 2021, <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Greenhouse-Gas-Emissions-Statistics-1990-2019-37196>, (Erişim tarihi: 20.01.2022).
- [10] Chung, C. Y., Miaw, C. L., Huang, Y. C., Chung, C. C. and Lo, T. J. 2014. Investigation of carbon footprint on campus - A case study of Tajen University. *Advanced Materials Research*, 962-965, 1495-1499.
- [11] Gökçek, B., Bozdağ, A. ve Demirbağ, H. 2019. Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Örneğinde Karbon Ayak İzinin Belirlenmesi. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 8(2), 721-730.
- [12] Sreng, R. ve Gümrükçüoğlu Yiğit M. 2017. Sakarya Üniversitesi Esentepe Kampüsü 2015 Yılı Karbon Ayak izi Çalışması. *SAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 21(5), 1-1.
- [13] Mendoza-Flores, R., Quintero-Ramírez, R. and Ortiz, I. 2019. The carbon footprint of a public university campus in Mexico City. *Carbon Management*, 10(5), 501-511.
- [14] Başoğul, Y. 2018. Akademisyen ve İdari Personelin Ekolojik Ve Karbon Ayak İzinin Belirlenmesi: Adıyaman Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Örneği. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 6(3), 464-470.
- [15] Yazdani, Z., Talkhestan, G. A. and Kamsah, M. Z. 2013. Assessment of carbon footprint at University Technology Malaysia (UTM). *Applied Mechanics and Materials*, 295-298, 872-875.
- [16] Aroonsrimorakot, S., Yuwaree, C., Arunlertaree, C., Hutajareorn, R. and Buadit, T. 2013. Carbon Footprint of Faculty of Environment and Resource Studies, Mahidol University, Salaya Campus, Thailand. *APCBEE Procedia*, 5, 175-180.
- [17] Binboğa, G. ve Ünal A. 2018. Sürdürülebilirlik Ekseninde Manisa Celal Bayar Üniversitesi'nin Karbon Ayak İzinin Hesaplanmasına Yönelik Bir Araştırma. *Uluslararası İktisadi ve İdari İncelemeler Dergisi*, 21,187-202.
- [18] Budihardjo, M. A., Syafrudin, S., Putri, S. A., Prinaningrum, A. D. and Willentiana, K. A. 2020. Quantifying Carbon Footprint of Diponegoro University: Non-Academic Sector. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 448 (1), 1-8.

- [19] Manuel Varón-Hoyos , José Osorio-Tejada and Tito Morales-Pinzón. 2021. Carbon footprint of a university campus from Colombia. *Carbon Management*, 12(1), 93-107.
- [20] Kumaş, K., Akyüz, A. ve Güngör, A. 2019. Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Bucak Yerleşkesi Yüksek öğretim Birimlerini Karbon Ayak İzi Tespiti. *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 8(2), 1277-1291.
- [21] Yaka, İ. F., Koçer, A. ve Güngör, A. 2015. Akdeniz Üniversitesi Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu Karbon Ayak İzinin Tespiti. *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 12(3), 37-45.
- [22] Yañez, P., Sinha, A. and Vásquez, M. 2020. Carbon Footprint Estimation in a University Campus: Evaluation and Insights. *Sustainability*, 12 (1), 181.
- [23] Filimonau, V., Archer, D., Bellamy, L., Smith, N. Ve Wintrip, R. 2021. The carbon footprint of a UK University during the COVID-19 lockdown. *Science of the Total Environment*, 756, 143964.
- [24] Chung, C.Y., Miaw, C.L., Huang, Y.C., Chung, C.C. and Lo, T.J. 2014. Investigation of carbon footprint on campus—a case study of Tajen University. *Advanced Materials Research*, 962-965, 1495-1499.
- [25] Sippel, M., Meyer, D., Scholliers, N. 2018. What about greenhouse gas emissions from students? An analysis of lifestyle and carbon footprints at the University of Applied Science in Konstanz, Germany. *Carbon Management*, 9, 201-211.
- [26] Kulsuwan, P., Sirisathit, P., Srisuwan, C. 2019. The carbon footprint assessment from electricity of undergraduate students at Mahidol University Amnatcharoen Campus for Eco University. *International Journal of Agricultural Technology*, 15(6), 925-932.
- [27] Valls-Val, K. and Bovea, M.D. 2021, Carbon footprint in Higher Education Institutions: a literature review and prospects for future research. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 23:2523-2542.
- [28] Dağlıoğlu, S. T. 2021. Carbon Footprint Analysis of Ege University within the Scope of Environmental Sustainability. *Commagene Journal of Biology*, 5(1), 51-58.
- [29] Çağlar, H. 2021. Sürdürülebilir Mimarlık Bağlamında Eğitim Yapılarının Enerji Etkin Aydınlatma Açısından İncelenmesi ve Uygulama Örneklerinin Değerlendirilmesi. *Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Mimarlık Anabilim Dalı Mimarlık Programı, Yüksek Lisans Tezi*, 223s, İstanbul.
- [30] Erzincan Binalı Yıldırım Üniversitesi EBYÜ, <https://ebyu.edu.tr/> (Erişim tarihi: 20.01.2022).
- [31] Schmitz, S., Dawson, B., Spannagle, M., Thomson, F., Koch, J. and Eaton, R. 2004. The Greenhouse Gas Protocol - A Corporate Accounting and Reporting Standard. The GHG Protocol Corporate Accounting and Reporting Standard, 9, 116.
- [32] Turanlı A. M. 2015. Karbon Ayak izi Kestirimi: Orta Doğu Teknik Üniversitesi için Bir Çalışma. Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Petrol ve Doğal Gaz Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi, 122s, Ankara.
- [33] Atabey, T. 2013. Karbon Ayak İzinin Hesaplanması: Diyarbakır Örneği. Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 83s, Elazığ.
- [34] IPCC, 2006. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. General Guidance and Reporting. <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol1.html> (Erişim Tarihi: 20.01.2022).
- [35] Coşkun S. ve Doğan N.A. 2021. Tekstil Endüstrisinde Karbon Ayak İzinin Belirlenmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 25 (1), 28-35.
- [36] United Nations Climate Change, <https://unfccc.int/process/transparency-and-reporting/greenhouse-gas-data/greenhouse-gas-data-unfccc/global-warming-potentials> (Erişim tarihi: 20.01.2022).
- [37] EPA. 2021. ABD Sera Gazı Emisyonları Envanteri 1990-2019". <https://www.epa.gov/ghgemissions/inventory-us-greenhouse-gas-emissions-and-sinks> (Erişim tarihi: 20.01.2022).
- [38] Greenhouse gas reporting: conversion factors 2019, <https://www.gov.uk/government/publications/greenhouse-gas-reporting-conversion-factors-2019>. (Erişim tarihi: 20.01.2022).
- [39] Greenhouse gas reporting: conversion factors 2020, <https://www.gov.uk/government/publications/greenhouse-gas-reporting-conversion-factors-2020>, (Erişim tarihi: 20.01.2022).
- [40] Argun M.E., Ergüç R ve Sarı Y. 2019. Konya/Selçuklu İlçesi Karbon Ayak İzinin Belirlenmesi. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 7 (2), 287-297.

- [41] Robinson, O. J., Tewkesbury, A., Kemp, S. ve Williams, I. D. 2018. Towards a universal carbon footprint standard: A case study of carbon management at universities. *Journal of Cleaner Production*, 172, 4435–4455.
- [42] Çerçi M., 2020. IPCC Tier 1 ve DEFRA Metodları ile Karbon Ayak İzinin Belirlenmesi: Erzincan Binalı Yıldırım Üniversitesi Örneği. Erzincan Binalı Yıldırım Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 66s, Erzincan.
- [43] Adenle, Y., Alshuwaikhat, H. 2017. Spatial estimation and visualization of CO₂ emissions for campus sustainability: The case of King Abdullah University of Science and Technology (KAUST), Saudi Arabia. *Sustainability*, 9 (11), 2124.
- [44] Weather Online, <https://www.havaturkiye.com/weather/maps/city?LANG=tr&CEL=C&SI=kph&MAPS=over&CO NT=trtr&LAND=TU®ION=0005&WMO=17092&UP=0&R=0&LEVEL=150&NOREGION=1>, (Erişim tarihi: 20.01.2022).

Karmosin için Deneysel Tasarımı Uygulanarak Bulutlanma Noktası Ekstraksiyonu Kullanımı ve Spektrofotometrik Tayini

Tufan GÜRAY¹, Ulku Dilek UYSAL²

¹Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Fakültesi, Kimya Bölümü, 26480, Eskişehir, Türkiye

²Eskişehir Teknik Üniversitesi, Fen Fakültesi, Kimya Bölümü, 26470, Eskişehir, Türkiye

(Alınış/Received: 05.02.2022, Kabul/Accepted: 28.06.2022, Online Yayınlanma / Published Online:20.12.2022)

Anahtar Kelimeler

Karmosin,
Bulutlanma noktası
ekstraksiyonu,
Deneysel tasarım,
Merkezi kompozit tasarım,
Box-Bhenken

Öz: Karmosin (E122) bir gıda katkı maddesi olarak genellikle gıda, kozmetik ve ilaçlarda kullanılan boyadır. Bu çalışmada, bulutlanma noktası ekstraksiyonundan (CPE) sonra şurup numunesinde karmosinin (KAR) spektrofotometrik tayini için ekstraksiyon aşamasında Brij 58 kullanılmıştır. Ekstraksiyon sıcaklığı, pH, Brij 58 (yüzey aktif madde) konsantrasyonu ve Na₂SO₄ konsantrasyonu gibi bazı parametreler merkezi kompozit tasarım, Box-Behnken tasarım ve klasik deneysel yöntemler kullanılarak optimize edilmiştir. Yöntemin doğrusal çalışma aralığı 0,05 - 4,00 µg mL⁻¹ olarak belirlenmiştir. Bu yöntemin gözlenebilir sınırı (LOD); KAR için 0,0018 µg mL⁻¹ dir. Yöntemde KAR'ın geri kazanım değerlerinin %98,00 ve % 102,67 arasında olduğu hesaplanmıştır. Bulgular, bu yeni CPE yönteminin rutin analizde KAR'ın hassas belirlenmesi için hızlı bir şekilde kullanılabileceğini göstermiştir.

Use of Cloud Point Extraction and Spectrophotometric Determination of Carmosine by Applying Experimental Design

Keywords

Carmosine,
Cloud point extraction,
Experiment design,
Central composite design,
Box-Bhenken

Abstract: Carmosine (E122) as a food additive is a dye that is often used in food, cosmetics and pharmaceuticals. In this study, Brij 58 was used in the extraction step for the spectrophotometric determination of carmosine (KAR) in syrup sample after cloud point extraction (CPE). Certain parameters such as extraction temperature, pH, Brij 58 (surfactant) concentration and Na₂SO₄ concentration were optimized using central composite design, Box-Behnken design and classical experimental methods. The determination range of the method was 0.05 - 4.00 µg mL⁻¹. The limit of detection (LOD) of this method is 0.0018 µg mL⁻¹ for KAR. The recovery values of KAR were calculated to be between 98.00% and 102.67%. The findings show that this new CPE method can be quickly used for sensitive determination of KAR for routine analysis.

1. Giriş

Gıda boyaları, doğal olarak bulunan rengi arttırarak ya da kaybolan rengi yerine koyarak gıdanın özelliğini korumak, teknolojik olarak üründe standart renk oluşturmak, başka bir renk veya değişik renk tonları vermek, kalite düşüklüğünü gizlemek koşuluyla cazip ve kabul edilebilir ürünler elde etmek amacıyla kullanılmaktadır [1]. Gıda boyası karmosin [C₂₀H₁₂N₂Na₂O₇S₂ (disodyum 4-hidroksi-2-[(E)-(4-sülfonat-1-naftil) diazenil] naphalen-1-sülfonat)] (E-122) kırmızı renk veren bir maddedir. Karmosin (KAR) ayrıca; vişne kırmızısı ve Azorubin, Food Red 3 olarak da bilinmektedir. KAR suda çözünürlüğü çok yüksek olan bir katkı maddesidir [2]. KAR'ın kanserojen bir madde olduğuna dair kesin kanıtlar bulunmamakla birlikte kansere neden olduğu

konusunda şüpheler bulunmaktadır. Çocuklarda hiperaktiviteye neden olduğu bilinmektedir. Yüksek miktarda ve uzun süre tüketilmesi durumunda; vücutta toksik etki gösterebilir, deri döküntülerine, ödeme, hiperaktiviteye ve alerjik reaksiyonlar gibi sağlık risklerine neden olabilir. Ayrıca astımı tetiklediği de bilinmektedir. Bu etkileri nedeniyle bazı Avrupa Ülkeleri ve A.B.D'de kullanımı yasaklanmıştır [3, 4].

Boyar maddelerin güvenli bir şekilde kullanımı için Dünya Sağlık Örgütü Uzman Komitesi (FAO/WHO Expert Committee) tarafından "günlük kabul edilebilir alım miktarları (GKEAM)" periyodik olarak gözden geçirilerek belirlenmektedir. KAR için bu değer 0,4 mg/kg'dır [2].

Bu nedenle diğer gıda katkı maddelerinde olduğu gibi gıda boyalarının da rutin tayinlerinin yapılması bir ihtiyaçtır. Bu boyalardan biri olan KAR tayini için literatürde HPLC [5-8], kapiler elektroforez [9], elektroanalitik [10, 11] ve spektrofotometrik [3, 12, 13] gibi farklı yöntemler verilmiştir. Bu analitik yöntemlerden spektrofotometrik tayin yöntemleri hızlı, ekonomik, basit ve kolay olmaları sebebiyle yaygın olarak tercih edilen yöntemlerdendir. Bu çalışma kapsamında KAR tayini için spektrofotometrik yöntem kullanılmıştır.

Kullanılan yöntemlerin genelinde, analitlerin tayini için analiz öncesinde ayırma ve ön deriştirme (ekstraksiyon) işlemlerine gereksinim duyulmaktadır. Sıvı-sıvı ekstraksiyon (LLE), katı faz ekstraksiyon (SPE) ve bulutlanma noktası ekstraksiyonu (CPE) bu işlemlerden bazılarıdır.

Enstrümental analiz öncesi kullanılan numune hazırlama tekniklerinden olan CPE yöntemi hassas, basit, ucuz, çevreye duyarlı ve kirletici olmayan, diğer ayırma ve zenginleştirme yöntemlerine bir alternatiftir [14, 15]. Bulutlanma noktası sıcaklığı olarak bilinen belirli bir sıcaklık seviyesine ulaşıldığında sulu çözeltideki iyonik olmayan yüzey aktif maddeler bulanıklaşır. Analit daha sonra yüzey aktif madde ile küçük bir hacimde ayrı bir faz halinde ayrılır. Orijinal matriks hacminde dağılan analit çok küçük misel fazı hacmine alındığından, CPE büyük bir ön deriştirme faktörü ve yüksek geri kazanım verimliliği sağlayabilir [16]. Literatürde, CPE ile KAR'ın deriştirilmesi için kullanılan yüzey aktifler Triton X-114 [3], Triton X-100 [12, 17], Zephiramine [18], tetrahegzilammonium bromür, (THABr) [19], setiltrimetilamonyum bromür (CTAB) [20], tetrabutilamonyum bromür (TBAB) [21], sodyum dodesil sülfat (SDS) [22], Tween 20 [23], ve yüzey aktif madde gibi iyonik sıvı olan trioktilamonyum salisilat (TOMAS) [24] dir.

Deneysel çalışmaların yüksek verimliliği, deney tasarımına ve kantitatif değerlendirme yöntemlerine dayanmaktadır. Bu deneysel tasarım ve değerlendirmeler, matematiksel modeller veya dizaynlar aracılığıyla gerçekleştirilebilir. Analitik verilerin işlenmesinde istatistik ve uygulamalı matematik, kimyanın temel araçlarıdır.

Deneysel tasarımında istatistiksel olarak yararlı bir yöntem olan yanıt yüzey metodolojisinin (RSM) en yaygın olarak kullanılan optimizasyon modelleri, merkezi kompozit tasarımı ve Box-Behnken tasarımıdır. Biz de bu çalışmada, önce, seçilen deneysel değişkenler ve bu değişkenlere karşı elde edilen cevap değerleri arasındaki ilişkiyi yorumlamak için merkezi kompozit tasarımını, sonrasında da, üç seviyeli ve tüm küresel tasarımları içeren, gerekli deneylerin sayısını azaltabilen ve yetersiz sonuçlar verebilecek deneylerden kaçınabilen ve aynı anda en yüksek veya en düşük seviyelerinde tüm faktörlerin kombinasyonlarını içeren Box-Behnken tasarımını

[25] da kullanarak, deneysel optimizasyonumuzu desteklemeyi hedefledik. Ayrıca, daha önceden literatürde bulutlanma noktası ekstraksiyonu için yüzey aktif madde olarak kullanılan Brij 58'i [26-29] KAR'ın spektrofotometrik tayini öncesinde de kullanarak yeni bir ön deriştirme yöntemi geliştirmeyi amaçladık.

2. Materyal ve Metot

2.1. Cihazlar, kimyasallar ve örnek

Çalışmada, Agilent Transport 60 UV spektrofotometre (Stevens Creek Boulevard, Santa Clara, CA, USA), ThermoOrion 720A model pH/ion metre (Beverly, MA, USA) ve Sigma 1-6P santrifüj cihazı (Osterode am Harz, Germany) kullanılmıştır.

Deneylerin sonuçlarından hangi değişkenin ve/veya değişken etkileşimlerinin seçilen cevap değerlerini etkileyip etkilemediğini veya varsa ne kadar etkilediğini belirlemek için elde edilen bütün cevap verilerinin çoklu regresyon analizi Minitab 20 paket programıyla yapılmıştır.

Bütün kimyasallar analitik saflıkta temin edilmiştir. Polietilen glikol hegzil eter (Brij 58), KAR ve diğer kimyasallar Sigma Aldrich firmasından satın alınmıştır. Bu kimyasallardan belirli miktarlar alınarak standart çözeltileri deiyonize su ile hazırlanmıştır.

Butirol fort® şurup [Etken madde: Her 5 ml şurup 22,5 mg butamirat sitrat içerir. Yardımcı maddeler: Sorbitol (% 70'lik kristalize olmayan), sodyum benzoat, ahududu aroması (FM00192), gliserol, sukraloz, fruktoz, sitrik asit monohidrat, sodyum sitrat dihidrat, tutti frutti aroması (FM04706), azorubin (KAR), saf su] bölge eczanesinden satın alınmıştır.

2.2. Standart çözeltilerinin hazırlanması

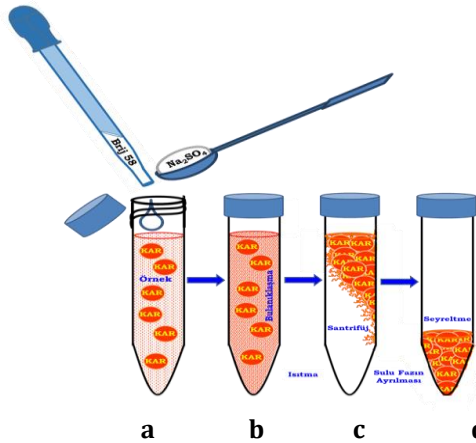
1000 mg KAR tartılıp 100 mL' ye deiyonize su ile seyreltilerek hazırlanan stok çözeltisinden uygun miktarlarda seyreltmeler yapılarak çalışma boyunca kullanılmıştır. % 10'luk (w/v) Brij 58 çözeltisi hazırlamak için 10 g tartılıp 100 mL'ye deiyonize su ile ultrasonik su banyosunda çözülerek tamamlanmıştır. Butirol fort şurup içeriği gereği yüksek miktarda matriks bulunmaktadır. Bu nedenle şurubun 1 mL'si basamaklı olarak seyreltilerek matriks etkisinin azaltılması amaçlanmıştır.

2.3. Geliştirilen CPE yöntemi

KAR standart çözeltisine yeni geliştirilen ekstraksiyon yöntemi aşağıdaki gibi uygulanmıştır:

- KAR standart çözeltisinden 8 mL alınıp ağzı kapaklı 15 mL'lik santrifüj tüplerine konuldu. Na₂HPO₄ ve Na₂HPO₄ çözeltileri ile pH 7 civarına ayarlandı (Şekil 1 a).

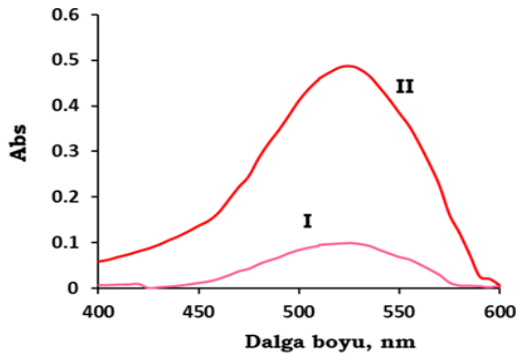
- % 10 (w/v) 'luk Brij 58 çözeltisinden 1,5 mL ve $1,0050 \pm 0,0005$ g Na_2SO_4 eklendi. Deiyonize su ile 10 mL'ye tamamlandı (Şekil 1 b).
- 60 °C 'da 10 dk. çözelti bulanıklaşana kadar bekletildi ve tekrar oda sıcaklığına kadar soğutuldu (Şekil 1 c).
- Faz ayrımını tamamlamak için 4000 rpm'de 5 dk. santrifüjlendi.
- Son olarak yüzey aktif maddece zengin faz sulu fazdan ayrıldı. Bu faz 1 mL deiyonize su ile çözüldü (Şekil 1 d). Bu çözeltinin absorbansı 525 nm dalga boyunda köre karşı ölçüm alındı.



Şekil 1. a- Örnek çözeltisi, b- Brij 58 + Na_2SO_4 'ten eklendikten sonra, c- İnkübasyon ve santrifüj işleminden sonra, d- Yüzey aktif madde bakımından zengin fazın ayrılmasından sonra 1 mL su ile çözme.

3. Bulgular

0,05–5,00 $\mu\text{g mL}^{-1}$ KAR standart çözeltilerinin 525 nm dalga boyunda maksimum absorbans yaptıkları gözlenmiştir (Şekil 2-I). CPE sonrasında maksimum absorbans yapılan dalga boyunda değişiklik gözlenmemiştir (Şekil 2-II). Bu nedenle çalışmadaki ölçümler bu dalga boyunda alınmıştır. Yüksek hassasiyet ve geri kazanım elde etmek için ortamın pH'ı, Brij 58 yüzdesi, Na_2SO_4 miktarı, ortamın sıcaklığı ve bekleme süresi optimize edilmiştir.



Şekil 2. 1,5 $\mu\text{g mL}^{-1}$ KAR standart çözeltisinin I- CPE öncesinde ve II- CPE sonrasındaki UV-görünür bölge spektrumu.

3.1. Yanıt yüzeyi metodolojisi ile optimizasyon

Optimum ekstraksiyon verimliliği için belirli ekstraksiyon parametreleri hem deneysel hem de teorik olarak optimize edildi. Klasik deneysel yöntemle bulunan analiz koşulları merkezi kompozit tasarım (Central Composite Designs) (CCD) ve Box-Behnken tasarımı (BBD) kullanılarak da optimize edildi.

3.1.1. Merkezi kompozit tasarım (CCD) ile optimizasyon

Optimum ayırma koşullarını belirlemek istediğimiz KAR için, seçilen bağımsız parametrelerin sınırlarının belirlenmesi gerekir. Öncelikle seçilen parametrelerin deneysel değişkenlerinin taban ve tavan düzeylerinin belirlenmesi gerekir. Çalışmada ölçülen, absorbansı etkilediğini düşündüğümüz [26-29] ortamın pH'ı, ilave edilen yüzey aktif madde miktarı, eklenen tuz miktarı ve ortamın sıcaklığı parametreleri deneysel değişken olarak seçilmiştir. Deneysel değişkenlerin sınırları yapılan deneysel optimizasyon verileri dikkate alınarak belirlenmiştir. Bu parametrelere ait sınır değerleri Tablo 1' de verilmiştir.

Tablo 1. CCD ile KAR için belirlenen parametrelerin sınır değerleri

Faktörler	-2 (+α)	Alt sınır -1	Orta seviye 0	Üst sınır +1	+2 (+α)
pH	3	5	7	9	11
Brij 58	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5
Tuz	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50
Sıcaklık	40	50	60	70	80

Çalışmada CPE yöntemi için CCD'nin 4 faktörlü tasarımı 31 farklı deneyi kullanılmıştır. Tasarıma yönelik faktörler CCD tekniğine göre yapılan deneyler ve sonuçlar Tablo 2 ve Tablo 3'de verilmiştir. Bağımsız değişkenler [pH, Brij 58, Tuz (Na_2SO_4) ve sıcaklık] ile analitik sinyal (Abs) arasındaki ilişki aşağıda verilmiştir (Denklem 1 ve Şekil 2).

Gerçek değerler ile model denklemi (1);

$$\text{Abs} = -2,769 + 0,3275 \text{ pH} + 0,377 \text{ Brij 58} + 2,301 \text{ Tuz} + 0,0182 \text{ Sıcaklık} - 0,02771 \text{ pH} \cdot \text{pH} - 0,2028 \text{ Brij 58} \cdot \text{Brij 58} - 1,123 \text{ Tuz} \cdot \text{Tuz} - 0,000162 \text{ Sıcaklık} \cdot \text{Sıcaklık} + 0,0219 \text{ pH} \cdot \text{Brij 58} + 0,0070 \text{ pH} \cdot \text{Tuz} + 0,000319 \text{ pH} \cdot \text{Sıcaklık} + 0,098 \text{ Brij 58} \cdot \text{Tuz} + 0,00108 \text{ Brij 58} \cdot \text{Sıcaklık} - 0,00220 \text{ Tuz} \cdot \text{Sıcaklık}$$

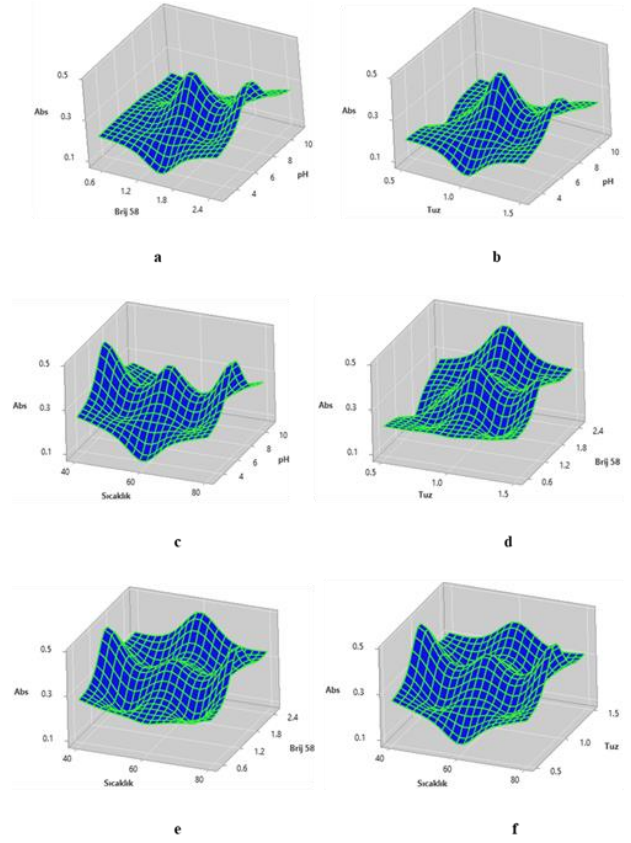
Tahmin edilen veriler ve deneysel veriler arasındaki uyumu gösteren ilişki katsayısı (R^2) değeri 0,8919 ve düzeltilmiş ilişki katsayısı ($R^2_{\text{düzeltilmiş}}$) 0,7974 olarak elde edilmiştir. Bu sonuç elde edilen model denklemin KAR tayini için incelenen bağımsız değişkenlerin ölçüm aralığında yüksek doğrulukta uygulanabilirliğini açıklamaktadır.

Tablo 2. KAR'ın CPE'u için CCD ile belirlenen tasarım noktaları ve cevap değerleri

Deney No	pH	Brij 58	Tuz	Sıcaklık, (°C)	Abs
1	7	1,5	1	60	0,486
2	9	2	1,25	70	0,295
3	11	1,5	1	60	0,095
4	9	1	0,75	50	0,160
5	9	1	0,75	70	0,162
6	9	2	0,75	70	0,270
7	5	1	0,75	70	0,198
8	5	2	1,25	50	0,235
9	7	1,5	1,5	60	0,405
10	9	2	1,25	50	0,293
11	7	2,5	1	60	0,465
12	7	1,5	1	60	0,486
13	7	1,5	1	80	0,482
14	7	1,5	1	60	0,487
15	5	1	1,25	50	0,205
16	5	1	0,75	50	0,203
17	7	1,5	1	60	0,485
18	5	1	1,25	70	0,204
19	7	1,5	1	60	0,486
20	7	0,5	1	60	0,216
21	5	2	1,25	70	0,229
22	5	2	0,75	70	0,215
23	7	1,5	1	40	0,475
24	5	2	0,75	50	0,213
25	3	1,5	1	60	0,105
26	7	1,5	1	60	0,487
27	7	1,5	1	60	0,486
28	9	1	1,25	70	0,145
29	9	2	0,75	50	0,184
30	9	1	1,25	50	0,143
31	7	1,5	0,5	60	0,120

Tablo 3. Absorbans cevap faktörü için CCD ile tanımlanan kuadretik modelin ANOVA sonuçları

Kaynak	Kareler toplamı	Ort. karesi	F-Değeri	P-Değeri
Model	0,559134	0,039938	9,43	0,000
pH	0,000204	0,000204	0,05	0,829
Brij 58	0,042673	0,042673	10,08	0,006
Tuz	0,021241	0,021241	5,02	0,040
Sıcaklık	0,000384	0,000384	0,09	0,767
pH ²	0,351233	0,351233	82,97	0,000
Brij 58 ²	0,073512	0,073512	17,36	0,001
Tuz ²	0,140931	0,140931	33,29	0,000
Sıcaklık ²	0,007507	0,007507	1,77	0,202
pH.Brij 58	0,007656	0,007656	1,81	0,197
pH.Tuz	0,000196	0,000196	0,05	0,832
pH.Sıcaklık	0,000650	0,000650	0,15	0,700
Brij 58.Tuz	0,002401	0,002401	0,57	0,462
Brij 58.Sıcaklık	0,000462	0,000462	0,11	0,745
Tuz.Sıcaklık	0,000484	0,000484	0,11	0,740

R² = 0,8919, R² düzeltilmiş = 0,7974**Şekil 2.** KAR için CCD kullanılarak çizilen 3D yüzey diyagramları

3.1.2. Box Bhenken tasarımı (BBD) ile optimizasyonu

Tasarımda her bir faktörün etkisi CPE analizi için 4 faktör ile incelenmiştir. Bu çalışmada, en önemli faktörlerin tam değerlerini bulmak için Box Behnken tekniğine göre uygulanan 27 deney seti oluşturulmuştur. Faktörlerin incelenen seviyeleri CCD'daki gibi (A: pH, B: Brij 58 konsantrasyonu, C: Na₂SO₄ miktarı ve D: Ekstraksiyon sıcaklığı) belirlenmiş ve Tablo 4'de verilmiştir. Box-Behnken tekniğine göre yapılan deneyler ve elde edilen yanıtlar Tablo 5 ve Tablo 6'da verilmiştir. Bağımsız değişkenler (kodlanmış değerler olarak) ve analitik sinyal (Abs) arasındaki nedensellik ilişkisinin denklemi Denklem 2'de ve yüzey cevap grafikleri Şekil 3'de verilmiştir.

Tablo 4. BBD ile KAR için belirlenen parametrelerin sınır değerleri

Faktörler	Alt sınır -1	Orta seviye 0	Üst sınır +1
pH	5	7	9
Brij 58	1,0	1,5	2,0
Tuz	0,75	1,00	1,25
Sıcaklık	50	60	70

Tablo 5. KAR'ın CPE'u için BBD ile belirlenen tasarım noktaları ve cevap değerleri

Deney No	pH	Brij 58	Tuz	Sıcaklık, (°C)	Abs
1	7	2	0,75	60	0,234
2	7	1	1	70	0,277
3	9	2	1	60	0,284
4	7	1,5	1,25	50	0,411
5	9	1,5	0,75	60	0,254
6	9	1,5	1	50	0,286
7	9	1	1	60	0,17
8	5	1,5	1	50	0,298
9	7	2	1	50	0,379
10	7	2	1	70	0,382
11	7	1,5	1	60	0,487
12	7	1,5	0,75	50	0,357
13	9	1,5	1,25	60	0,324
14	7	1	0,75	60	0,135
15	9	1,5	1	70	0,287
16	7	1	1,25	60	0,218
17	7	2	1,25	60	0,307
18	5	1	1	60	0,211
19	5	2	1	60	0,239
20	5	1,5	0,75	60	0,291
21	5	1,5	1,25	60	0,292
22	7	1,5	0,75	70	0,362
23	7	1	1	50	0,261
24	7	1,5	1	60	0,486
25	5	1,5	1	70	0,239
26	7	1,5	1,25	70	0,413
27	7	1,5	1	60	0,487

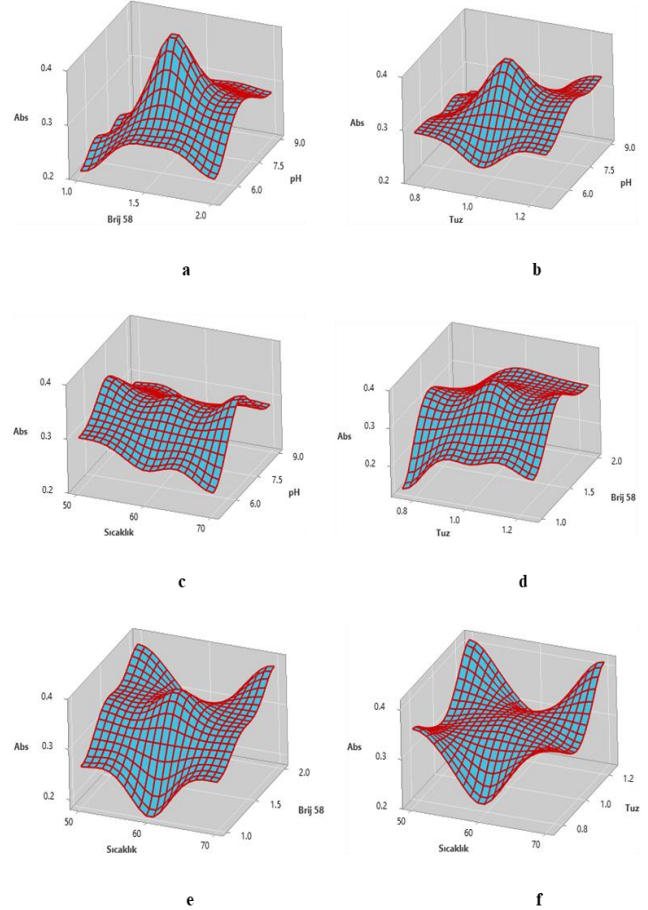
Tablo 6. Absorbans cevap faktörü için BBD ile tanımlanan kuadretik modelin ANOVA sonuçları

Kaynak	Kareler toplamı	Ort. karesi	F-Değeri	P-Değeri
Model	0,203412	0,014529	8,86	0,000
pH	0,034857	0,008714	5,31	0,011
Brij 58	0,000102	0,000102	0,06	0,807
Tuz	0,025484	0,025484	15,54	0,002
Sıcaklık	0,009185	0,009185	5,60	0,036
pH ²	0,096362	0,096362	58,76	0,000
Brij 58 ²	0,110848	0,110848	67,59	0,000
Tuz ²	0,035462	0,035462	21,62	0,001
Sıcaklık ²	0,007417	0,007417	4,52	0,055
pH.Brij 58	0,001849	0,001849	1,13	0,309
pH.Tuz	0,001190	0,001190	0,73	0,411
pH.Sıcaklık	0,000900	0,000900	0,55	0,473
Brij 58.Tuz	0,000025	0,000025	0,02	0,904
Brij 58.Sıcaklık	0,000042	0,000042	0,03	0,875
Tuz.Sıcaklık	0,000002	0,000002	0,00	0,971

$$R^2 = 0,9118, R^2_{\text{düzeltilmiş}} = 0,8089$$

Gerçek değerler ile model denklemi (2);

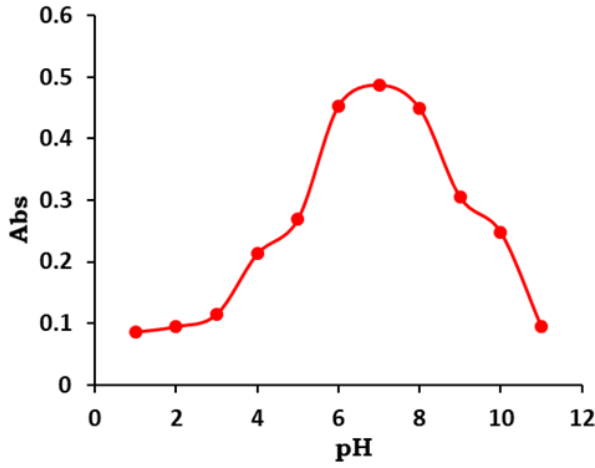
$$\text{Abs} = -4,67 + 0,360 \text{ pH} + 1,731 \text{ Brij 58} + 2,526 \text{ Tuz} + 0,0405 \text{ Sıcaklık} - 0,03360 \text{ pH} \cdot \text{pH} - 0,5767 \text{ Brij 58} \cdot \text{Brij 58} - 1,305 \text{ Tuz} \cdot \text{Tuz} - 0,000373 \text{ Sıcaklık} \cdot \text{Sıcaklık} + 0,0215 \text{ pH} \cdot \text{Brij 58} + 0,0345 \text{ pH} \cdot \text{Tuz} + 0,00075 \text{ pH} \cdot \text{Sıcaklık} - 0,020 \text{ Brij 58} \cdot \text{Tuz} - 0,00065 \text{ Brij 58} \cdot \text{Sıcaklık} - 0,00030 \text{ Tuz} \cdot \text{Sıcaklık}$$

**Şekil 3.** KAR için BBD kullanılarak çizilen 3D yüzey diyagramları

CCD olduğu gibi tahmin edilen veriler ve deneysel veriler arasındaki uyumu gösteren ilişki katsayısı (R^2) değeri 0,9118 ve düzeltilmiş ilişki katsayısı ($R^2_{\text{düzeltilmiş}}$) 0,8089 olarak elde edilmiştir. Bu tasarımda da elde edilen model denklemin KAR tayini için incelenen bağımsız değişkenlerin ölçüm aralığında yüksek doğrulukta uygulanabilirliğini açıkladığı görülmüştür.

3.2. pH'nin etkisi

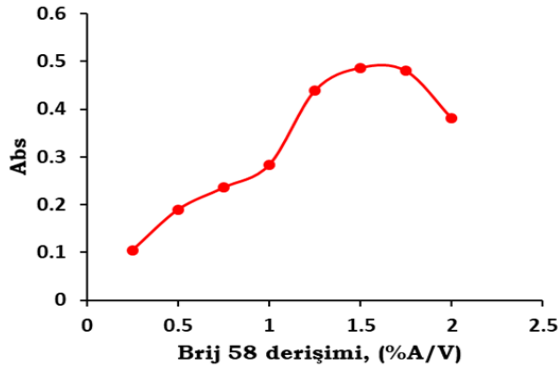
CPE yönteminde, optimizasyon basamaklarından pH önemli bir basamaktır. Çünkü sulu faz ile yüzey aktif madde bakımından zengin faz arasındaki analitin dağılım katsayısını etkileyen parametredir. Bu amaçla, KAR'ın ekstraksiyon verimliliği pH 1 ile pH 11 arasında incelenmiştir. Çözeltinin pH'ı, hidroklorik asit ve sodyum hidroksit ilavesi ve bir pH metre kullanılarak istenilen değere ayarlanmıştır. 525 nm'de KAR absorbansı ölçülmüştür (Şekil 4). pH 1'den 6'ya kadar önce küçük bir artış sonrasında daha yüksek artarak pH 7'de zirve yapıp pH 11'a kadar da absorbansta düşüş olduğu gözlenmiştir. Bu durum, pH'nın 7 civarında 6-8 gibi korunmasının en uygun olduğunu göstermiştir. Bu pH, optimum pH olarak seçilmiştir. Bütün çalışmalar pH 7 yapılmıştır.



Şekil 4. pH'in optimum şartlarda CPE verimliliğine etkisi. 1,5 µg mL⁻¹ KAR.

3.3. Yüze aktif madde derişiminin etkisi

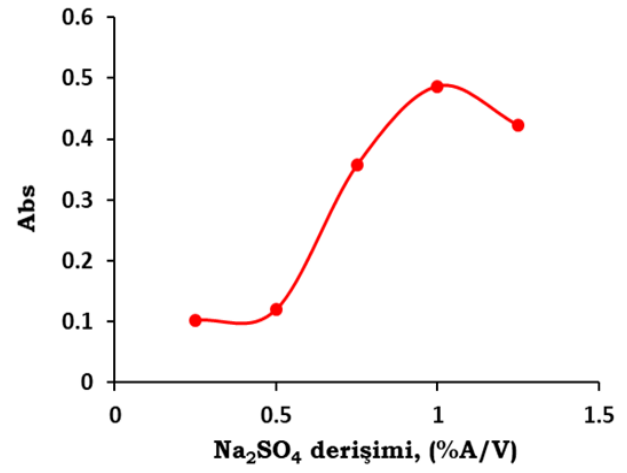
Bu geri kazanım ve zenginleştirme yönteminde yüze aktif madde derişimini optimize etmek; ekstraksiyon verimini arttırmak için gerekli olan önemli parametrelerinden biridir. Bu nedenle, Brij 58'in konsantrasyonunun KAR absorbansı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Sonuçlar Şekil 5'da verilmiştir. Görülebileceği gibi, absorbans Brij 58'in % 1,5 (w/v) 'den daha yüksek derişimlerinde değişmemiş hatta bir miktar düşmüştür.



Şekil 5. Brij 58 derişiminin optimum şartlarda CPE verimliliğine etkisi. 1,5 µg mL⁻¹ KAR.

3.4. Tuz derişiminin etkisi

CPE yönteminde bir diğer önemli optimizasyon basamağı, tuz konsantrasyonudur. Çünkü analitin sulu fazdan yüze aktif madde bakımından zengin faza kütle transferini arttırmaya yani faz ayrılmasına ve bulutlanma noktası sıcaklığını azaltmaya yardımcı olur. Bundan dolayı, NaCl, Na₂SO₄ ve Na₂CO₃ gibi farklı tuzlar denenmiş ve ekstraksiyon işlemi üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Na₂SO₄ dışındaki diğer tuzlar kullanıldığında faz ayrımı olmadı veya yüze aktif madde bakımından zengin faz, ayrılmayacak kadar zayıftı. Bu nedenle, KAR'ın absorbans değerini en yüksek yapan 1,00 g Na₂SO₄ miktarı, optimum tuz miktarı olarak seçildi. Sonuçlar, Şekil 6'de verilmiştir.



Şekil 6. Na₂SO₄ konsantrasyonunun optimum şartlarda CPE verimliliğine etkisi. 1,5 µg mL⁻¹ KAR.

3.5. Denge sıcaklığının ve inkübasyon süresinin etkisi

CPE yönteminde diğer iki önemli optimizasyon basamağı, denge sıcaklığı ve inkübasyon süresidir. 50-90 ° C sıcaklık aralıkları denemeler yapılmıştır ve ekstraksiyon verimliliğinin nispeten yüksek olduğu sıcaklık 60 ° C'de gözlenmiştir. 10-40 dakika arasında inkübasyon süresi çalışılmış ve ekstraksiyon verimliliğinde herhangi bir değişim net olarak gözlenmemiştir. Bu nedenle sıcaklığın reaksiyon ortamını etkileyebileceği sıcaklık dikkate alınarak 10 dakikalık süre yeterli görülmüştür. Bundan sonraki aşamalar, bu koşullar ile gerçekleştirilmiştir.

3.6. Deneysel ve teorik optimizasyon yöntemlerinin karşılaştırılması

Çalışmanın amaçlarından biri de, CCD ve BBD teorik optimizasyon yöntemleri ile klasik deneysel optimizasyon işlemlerini karşılaştırarak çalışılan parametrelerin ne kadar etkili doğru seçildiğini belirlemektir. Ayrıca, çalışma da kullanılan bu teorik optimizasyonların bundan sonraki çalışmalarda kullanılabilirliğini ortaya koymaktır. Çalışmadan elde edilen sonuçlar dikkate alındığında teorik optimizasyon üç boyutlu yüze yanıt diyagramlarına göre (Şekil 2 ve 3) elde edilen sonuçların deneysel optimizasyon ile son derece uyumlu güvenilir sonuçlar verdiği görülmektedir (Tablo 7). BBD sonuçlarının klasik yöntemler ile elde edilen sonuçlarla çok daha yakın ve uyumlu olduğu da fark edilmektedir.

Tablo 7. Her üç yöntem ile elde edilen optimum koşullar

	CCD	BBD	Klasik Deneysel
pH	7,12	7,06	7
Brij 58, %	1,73	1,58	1,5
Tuz (Na ₂ SO ₄), %	1,07	1,04	1
Sıcaklık, °C	61,82	59,63	60

3.7. Analitik performans

Optimal koşullarda ölçülen absorbansa karşı artan KAR konsantrasyonlarının korelasyon grafikleri elde edilmiştir. Dinamik aralık, KAR için $Abs = 0,1842C (\mu\text{g mL}^{-1}) + 0,1937$ ($R^2 = 0,9982$) denklemiyle 0,05 ve 4,00 $\mu\text{g mL}^{-1}$ arasında elde edildi. Yöntemin hassasiyetini incelemek için tekraredilebilirlik (gün içi) ve kesinlik (günler arası) deneyleri yapılmıştır. Tekraredilebilirlik deneyleri için, numuneler her gün ($n=3$), beş kez ($n=5$) analiz edilerek değerlendirilmiştir. Farklı günlerde (3gün) yapılan deneyler karşılaştırıldığında oldukça hassas olduğu bulunmuştur. Standart KAR çözeltisi ($2,000 \mu\text{g mL}^{-1}$) kullanılmıştır. 3 gün yapılan deneyler karşılaştırılarak kesinliğin yüksek hassasiyete olduğu görülmüştür (Tablo 8). KAR için gözlenebilir sınırı (LOD) $0,0018 \mu\text{g mL}^{-1}$ olarak hesaplanmıştır. LOD'dan da anlaşılacağı gibi, geliştirilen yöntemin düşük LOD'ye sahip olması ve bu renklendiricinin çeşitli gıda ve ilaç sektörlerindeki ürünlerinin eser analizlerinde kullanılabilir olduğunu göstermiştir.

Tablo 8. KAR'ın ($2,000 \mu\text{g mL}^{-1}$) gün içi ve günler arası sonuçlarının kesinliği

Parametreler	1 Gün (n=5)	2 Gün (n=5)	3 Gün (n=5)	Günler arası (n=15)
\bar{X}^a	1,994	2,012	2,000	2,002
s^b	0,011	0,013	0,010	0,013
% BSS ^c	0,572	0,648	0,500	0,659

^a \bar{X} , Abs'lerden hesaplanan miktarların ortalaması, ^b s , Standart sapma, ^c % BSS, Yüzde bağıl standart sapma

3.8. Yöntemin şurup örneğine uygulaması

Bu geliştirilen yöntem, KAR'ın spektrofotometrik tayini için bir şurup örneğine uygulanmıştır. Şurup örneğindeki KAR tayini, 'Geliştirilen CPE yöntemi' bölümünde belirtildiği gibi gerçekleştirilmiştir. Geri kazanım deneyleri, CPE'den önce standart KAR çözeltisi ilavesiyle numunelere standart katma uygulanarak gerçekleştirilmiştir. Standart KAR çözeltisi eklenmiş gerçek numune çözeltilerinden KAR'ın geri kazanımı %98,00 ve %102,67 arasında değişmiştir. Bu, geliştirilen yöntemin KAR için CPE yönteminin uygulanabilirliğini göstermektedir (Tablo 9).

Tablo 9. CPE sonrasında Butirol fort® şurup numunesindeki KAR'ın spektrofotometrik tayin sonuçları

Eklenen KAR \pm GS ^a ($\mu\text{g mL}^{-1}$)	Bulunan KAR \pm GS ^a , (%95), ($\mu\text{g mL}^{-1}$)	Geri kazanım ^b
-	$0,98 \pm 0,02$	-
0,5	$1,49 \pm 0,05$	102,00
1,0	$1,96 \pm 0,04$	98,00
1,5	$2,52 \pm 0,02$	102,67

^aGS, güven sınırı, ($\frac{tS}{\sqrt{N}}$); N=5, ^bGeri kazanım = $\frac{(C_2 - C_1)}{C_3} \times 100$

C_1 = Örnek konsantrasyonu, C_2 = Örnek + Eklenen std konsantrasyonu, C_3 =Eklenen std konsantrasyonu

4. Tartışma

Bu çalışma, ticari olarak mevcut şurup örneğinden KAR ekstraksiyonu için CPE'nin kullanımını açıklamaktadır. CPE sonrası KAR'ın spektrofotometrik tayininde ilk kez Brij 58 kullanılmıştır. Geliştirilen CPE

Tablo 10. Literatürde bildirilen CPE sonrasında KAR'ın spektrofotometrik tayini yöntemlerinin mevcut yöntem ile karşılaştırılması

Yüzey aktif Madde	Tuz	pH	İnkubasyon Sıcaklığı, (°C)	İnkübasyon süresi, (dk)	Santrifüj süresi (dk) ve hızı (rpm)	Seyreltme çözücüsü	Tayin aralığı, ($\mu\text{g mL}^{-1}$)	LOD, ($\mu\text{g mL}^{-1}$)	% Geri kazanım	Kaynak
Triton X-114, 1,2 mL, 0,12 M	NaCl, 0,2 mL, 0,01 M	H ₂ SO ₄ , 0,2 M	70	30	10 dk., 3500 rpm	Etanol, 5 mL	0,05-5,00	0,0072	95,00-99,00	[3]
Triton X-100, 1,0 mL, %25	NaCl, 0,75 g	5	60	20	5 dk, 4000 rpm	Su, 1,5 mL	0,05-1,50	0,0150	92,00-102,00	[12]
Triton X-100 5,0 mL, 5 M	NaCl, 2,0 mL, 1 M	5	76	30	-	Su, 5,0 mL	0,02-3,50	0,0170	96,00-103,00	[17]
Zefiramine, 0,12 mL, 0,03 M	NaCl, 1,0 mL, %20	5,5	~25	3	3 dk., 3500 rpm	Su, 0,5 mL	0,0005-0,08	$1,50 \cdot 10^{-4}$	97,50-104,20	[18]
THABr, 62 mg	-	5,5-6,5	~25	-	1 dk., 1500 rpm	-	0,05-0,20	0,006	97,00-102,00	[19]
CTAB, 0,20 mL, 0,2 mM	-	3,5	-	-	10 dk., 3500 rpm	Kloroform, 0,1 mL	0,01-1,20	0,003	95,00-104,00	[20]
Tween 20, 9 mL, %5,6	-	2,53	-	-	-	-	-	1,00	96,30-98,40	[23]
Brij 58, 1,5 mL, %10	Na ₂ SO ₄ , 2 g	6-8	60	10	5 dk, 4000 rpm	Su, 1,0 mL	0,05-4,00	0,0018	98,00-102,67	Mevcut çalışma

tekniklerinin çevre dostu olması, duyarlılığı, seçiciliği, yüksek ekstraksiyon verimi ve düşük maliyeti gibi avantajları vardır. Ayrıca çalışmada, deney tasarım yöntemi olana yanıt yüzey metodolojisinin (RSM) optimizasyon modeli olan CCD ve BBD yöntemleri kullanılarak, KAR'ın spektrofotometrik tayini öncesinde CPE işlemlerinin optimizasyonu incelemiş deneysel veriler ile elde edilen sonuçları desteklediği gözlenmiştir. Optimizasyon incelemesinde kullanılan bu iki modelden BBD deneysel veriler ile olan uyumunun CCD modeline göre biraz daha etkili olduğu gözlenmiştir. Bu yeni KAR tayini yönteminin analitik performansı, literatürde bildirilen benzer diğer yöntemlerle karşılaştırılmıştır (Tablo 10). Çalışmamız, zefiraminin kullanıldığı literatür dışında ($LOD=1,5 \cdot 10^{-4} \mu\text{g mL}^{-1}$) diğer çalışmalara göre hassasiyeti daha yüksek olduğu görülmektedir. Ayrıca, zefiraminin kullanıldığı bu çalışmada, çevre dostu olarak bilen bu ekstraksiyon yönteminde karbon tetraklorür gibi toksik bir çözücünün organik ekstrat olarak kullanılması bir dezavantaj oluşturmuştur. Ayrıca önerilen yöntemin geri kazanım değerleri açısından bu yöntemlere alternatif olabileceğini göstermiştir. Bu yeni geliştirilen yöntem, rutin analizlerde kısa sürede KAR'ın hassas tayini için literatürdeki çalışmalara alternatif bir yöntem olarak kullanımı düşünülebilir.

Etik Beyanı

Bu çalışmada, "Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesi" kapsamında uyulması gerekli tüm kurallara uyulduğunu, bahsi geçen yönergenin "Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiğine Aykırı Eylemler" başlığı altında belirtilen eylemlerden hiçbirinin gerçekleştirilmediğini taahhüt ederiz.

Kaynakça

- [1] Yentür, G., Yaman, M., Bayhan A. 1998. Bazı gıda maddelerine katılan sentetik boyaların miktarlarının araştırılması. *Gıda*, 23(3), 195-199.
- [2] Kim, M., Park, J., Suh, H., Lee, C. 2016. Establishment of an analytical method for azorubine, an undesignated food colorant in Korea. *Journal of Food Hygiene and Safety*, 31(5), 311-318.
- [3] Karatepe, A., Akalın, C., Soylak, M. 2017. Spectrophotometric determination of carmoisine after cloud point extraction using Triton X-114. *Turkish Journal of Chemistry*, 41, 256-262.
- [4] Peksa, V., Jahn, M., Štolcová, L., Schulz, V., Prošek, J., Procházka, M., Weber, K., Cialla-May, D., Popp, J. 2015. Quantitative SERS analysis of azorubine (E 122) in sweet drinks. *Analytical Chemistry*, 87(5), 2840-2844.
- [5] Iammarino, M., Mentanab, A., Centonze, D., Palermob, C., Mangiacottia, M., Chiaravalle, A. E. 2019. Chromatographic determination of 12 dyes in meat products by HPLC-UV-DIODE array detection, *MethodsX*, 6, 856-861.
- [6] Zor, Ş. D., Dönmez, Ö. A. 2018. A Facile HPLC-PDA method for simultaneous determination of paracetamol, methyl paraben, sunset yellow, and carmosine in oral suspensions. *Journal of the Turkish Chemical Society A*, 5(2) 763-774.
- [7] Aşçı, B., Zor, Ş. D., Dönmez, Ö. A. 2016. Development and validation of HPLC method for the simultaneous determination of five food additives and caffeine in soft drinks. *International Journal of Analytical Chemistry*, 2879406.
- [8] Mazdeh, F. Z., Khorrami, A. R., Khatoonabadi, Z. M., Aftabdari, F. E., Ardekani, M. R. S., Moghaddam, G., Hajimahmoodi, M. 2016. Determination of 8 synthetic food dyes by solid phase extraction and reversed-phase high performance liquid chromatography. *Tropical Journal of Pharmaceutical Research*, 15 (1), 173-181.
- [9] Giovine, L. D., Bocca, A. P. 2003. Determination of synthetic dyes in ice-cream by capillary electrophoresis. *Food Control*, 14, 131-135.
- [10] Combeau, S., Chatelut, M., Vittori, O. 2002. Identification and simultaneous determination of Azorubin, Allura red and Ponceau 4R by differential pulse polarography: application to soft drinks. *Talanta*, 56, 115-122.
- [11] Chanlona, S., Joly-Pottuza, L., Chateluta, M., Vittoria, O., Cretier, J. L. 2005. Determination of carmoisine, allura red and ponceau 4r in sweets and soft drinks by differential pulse polarography. *Journal of Food Composition and Analysis*, 18, 503-515.
- [12] Amraeia, A., Niazia, A., Alimoradia, M., Hosseini, M. 2019. Cloud point extraction and simultaneous spectrophotometric determination of allura red and carmoisine using wavelet orthogonal signal correction-partial least squares method. *Journal of Analytical Chemistry*, 74(2), 93-99.
- [13] Turak, F., Dinç, M., Kutlu, Ö. D., Özgür, M. Ü. 2014. Four derivative spectrophotometric methods for the simultaneous determination of carmoisine and ponceau 4r in drinks and comparison with high performance liquid chromatography. *International Journal of Analytical Chemistry*, 650465.
- [14] Kaur, A., Gupta, U. 2012. The review on spectrophotometric determination of synthetic food dyes and lakes. *Gazi University Journal of Science*, 25(3), 579-588.
- [15] Heydari, R., Hosseini, M., Zarabani, S. 2015. A simple method for determination of carmine in

- food samples based on cloud point extraction and spectrophotometric detection. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 150, 786-791.
- [16] Escalera, L. A., Santelli, R. E., Oliveira, E. P., de Carvalho, M. D. B., Bezerra, M. A. 2009. Preconcentration procedure for determining trace amounts of Ni, Cd, Pb and Cu in high-salinity waters after cloud-point extraction. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 89(7), 515-527.
- [17] Pourreza, N., Ghomi, M. 2011. Simultaneous cloud point extraction and spectrophotometric determination of carmoisine and brilliant blue FCF in food samples. *Talanta*, 84(1), 240-243.
- [18] Sarvestani, M. R. J., Doroudi, Z. 2021. Determination of ultra trace amounts of carmoisine in food specimens by ultrasound-assisted surfactant-enhanced emulsification microextraction method coupled with UV-Visible spectrophotometry. *Journal of Chemical Health Risks*, Articles in Press, Accepted Manuscript, Available Online from 09 May 2021.
- [19] Smirnova, S. V., Lyskovtseva, K. A., Pletnev, I. V. 2021. Extraction and determination of synthetic food dyes using tetraalkylammonium based liquid-liquid extraction. *Microchemical Journal*, 162, 105833.
- [20] Elhami, S., Noorzadi, N. 2016. Rapid spectrophotometric determination of trace amounts of azorubine dye in food samples after dispersive liquid-liquid microextraction. *Journal of Indian Chemical Society*, 93, 183-186.
- [21] Faraji, M., Sahneh, B. N., Javanshir, R. 2017. An ion-pair dispersive liquid-liquid microextraction for simultaneous determination of synthetic dyes in ice cream samples by HPLC. *Analytical Bioanalytical Chemistry Research*, 4(2), 213-225.
- [22] Salamat, Q., Yamini, Y., Moradi, M., Karimia, M., Nazraz, M. 2018. Novel generation of nano-structured supramolecular solvents based on an ionic liquid as a green solvent for microextraction of some synthetic food dyes, *New Journal of Chemistry*, 42, 19252.
- [23] Tripathi, M., Khanna, S. K., Das, M. 2004. A novel method for the determination of synthetic colors in ice cream samples. *Journal of AOAC International*, 87(3), 657-663.
- [24] Egorov, V. M., Smirnova, S. V., Pletne, I. V. 2008. Highly efficient extraction of phenols and aromatic amines into novel ionic liquids incorporating quaternary ammonium cation. *Separation and Purification Technology*, 63, 710-715.
- [25] Box, G. E. P., Hunter, W. G., Hunter, J. S. 1978. *Statistics for experimenters*, Wiley, New York, USA.
- [26] Güray, T. 2018. Spectrophotometric determination of sunset yellow (E-110) in powdered beverages and pharmaceutical preparations after cloud point extraction method. *Journal of the Turkish Chemical Society A*, 5(2), 479-492.
- [27] Güray, T., Menevşe, B., Yavuz, A. A. 2020. determination of optimization parameters based on the box-behnkendesign for cloud point extraction of quinoline yellow using Brij 58 and application of this method to real samples. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 243, 118800.
- [28] Güray, T., Alper, Ş. 2019. Spectrophotometric determination of ponceau 4R in syrup and fruit candy after enrichment with cloud point extraction. *Bitlis Eren University Journal of Science*, 8(4), 1243-1249.
- [29] Güray, T. 2019. A novel method for simultaneous analysis of tartrazine and indigo carmine by cloud point extraction using spectrophotometric technique. *International Journal of Chemical Studies*, 7(6), 17-23.

Investigation of the Usability of Foamed Bituminous Mixtures as Bituminous Base Course

Kemal Muhammet ERTEN^{*1}, Serdal TERZİ², Hüseyin AKBULUT³

¹Isparta University of Applied Sciences Yalvaç Technical Sciences Vocational School, Construction Inspection Department, 32200, Isparta, Turkey

²Süleyman Demirel University, Faculty of Engineering, Civil Engineering Department, 32260, Isparta, Turkey

³Afyon Kocatepe University, Faculty of Engineering, Civil Engineering Department, 03204, Afyonkarahisar, Turkey

(Alınış / Received: 14.02.2022, Kabul / Accepted: 09.05.2022, Online Yayınlanma / Published Online: 20.12.2022)

Anahtar Kelimeler

Foamed bitumen,
Triaxial cyclic
compression,
Indirect tensile resilient
modulus,
Asphalt recycling

Abstract: Materials recycled with foam bitumen are promising materials for pavements economically and environmentally. However, there are different opinions in the literature about how these materials are positioned in the pavement. It is clear that their performances will not be suitable for the wearing course, but that they are used for the plant mixture base course because they contain bitumen, and that these materials will be neglected in the evaluation of these materials. In the study, 4 different foam bituminous mixes prepared with a recycled pavement material and a standard bituminous base course mix were compared in terms of the resilient modulus obtained from the uniaxial indirect tensile resilient modulus test. Gradation is the same for three of the mixtures, two of them use cement as a mineral binder, but 70/100 grade bitumen in one of these two productions and 50/70 grade bitumen in the other. In the third mixture, 70/100 grade bitumen and hydrated lime (HL)+fly ash (FA) were used. In the final mixture, 70/100 grade bitumen and cement were used as mineral binders, but gradation was changed. In addition, permanent deformation control for the final production was carried out with a triaxial cyclic compression test. It was concluded that all these variables affect the results, but the resilient modulus values obtained for all were quite close to those obtained from the bituminous base sample. Considering that the foamed bituminous mixtures will be thicker than the bituminous base course in practice, it is considered structurally appropriate to use this layer instead of the bituminous base course.

Köpüklü Bitümlü Karışımların Bitümlü Temel Tabakası Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması

Keywords

Köpük bitüm,
Üç eksenli döngüsel basınç,
Dolaylı çekme esneklik
modülü,
Asfalt geri dönüşümü

Öz: Köpük bitümlü geri kazanılmış malzemeler ekonomik ve çevresel anlamda üstyapılar için umut verici malzemelerdir. Ancak bu malzemelerin üstyapıda nasıl konumlanacağı ile ilgili literatürde farklı görüşler mevcuttur. Performanslarının aşınma tabakası için uygun olmayacağı ancak bitüm ihtiva etmeleri nedeniyle PMT (plant mix temel) tabakası için kullanılmasının da bu malzemelerin değerlendirilmesinde özensiz davranılmış olacağı açıktır. Çalışmada geri kazanılmış bir üstyapı malzemesi ile hazırlanan 4 farklı köpük bitümlü karışım ile standart bir bitümlü temel karışımı tek eksenli dolaylı çekme modülü testinden elde edilen esneklik modülü değerleri açısından kıyaslanmıştır. Karışımlardan üç tanesi için gradasyon aynı olup iki tanesinde mineral esaslı bağlayıcı olarak çimento kullanılmış ancak bu iki üretimin birisinde 70/100 diğesinde 50/70 bitüm kullanılmıştır. 3. karışımda ise 70/100 bitüm ve sönmüş kireç+uçucu kül kullanılmıştır. Son karışımda 70/100 bitüm ve mineral esaslı bağlayıcı olarak çimento kullanılmış ancak gradasyon değiştirilmiştir. İlave olarak son üretim için kalıcı deformasyon kontrolü, üç eksenli tekrarlı basınç testi ile yapılmıştır. Tüm bu değişkenlerin sonuçları etkilediği ancak hepsi için elde edilen esneklik modülü değerlerinin bitümlü temel numunesinden elde edilene oldukça yakın olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Uygulamada, köpük bitümlü karışımların bitümlü temel tabakasına göre daha kalın olacağı da düşünüldüğünde bu tabakanın bitümlü temel yerine kullanılması yapısal olarak uygun görünmektedir.

1. Introduction

Using natural resources more efficiently and sustainably, recycled materials are increasingly used to reduce environmental problems in road construction [1]. In case of using the old pavement as recycled materials, As stated by Yan et al. [2]; RAP (reclaimed asphalt pavement) material can reduce the stress-strain density in the aggregate and bitumen intermediate phase. Thus, it also helps to reduce the need for bitumen. Asphalt Recycling and Reclaiming Association; it has defined different recycling techniques such as Cold Planing, Hot Recycling, Hot In-Place Recycling, Cold Recycling, Full Depth Reclamation [3]. Considering the increase in greenhouse gas emissions by twice every 10 °C in the production of bituminous mixtures [4], cold recycling from these methods undoubtedly stands out due to its environmental advantages [5], [6]. The main logic in recycling with foam bitumen, which is one of the recycling methods in the cold in place, is to increase the surface area of the bitumen to facilitate its mixing into recycled material [7]. However, one of the most important points to be considered here is the recycled material gradation.

ARRA [3], Thompson et al. [8] stated that the percentage passing through No.200 sieves should be between 5 and 15 of the recycled material. Thus, the bitumen will be distributed according to the material and no bitumen lumps will occur [9].

Active filler materials such as cement [10], [11], [12], [13] hydrated lime [14], fly ash [15] used in foam bituminous mixtures improve the mechanical properties of the mixture [10], [16], [17], [18].

Water is used instead of heating to place and compaction cold recycled materials [19]. This water used is an important factor in reaching suitable volumetric properties of cold recycled materials [19], [20]. However, since proper curing conditions cannot be achieved, if the water in the mixture is preserved after compaction aggregate-bitumen and active filler adhesion will not develop as expected [21]. Therefore, curing is one of the important points to be considered in such mixtures.

In determining the optimum bitumen percentage for cold mixtures with foamed bitumen, the ITS test (Indirect Tensile Strength), which is commonly determined according to the dry sample results, is used. The percentage of filler is generally kept low (around 1%) to prevent shrinkage cracks [12].

Adoption of foamed bituminous mixtures is still largely based on empirical studies and lacks universally accepted mix design procedures [22]

Resilient modulus, which is defined as the resistance of pavement materials to flexible deformation under

applied loads [23] and a basic parameter for pavement design [24], is also used to evaluate foam bituminous mixtures. In the resilient modulus test, it is recommended to use a haversine load of 0.1s loading time and 0.9s rest time experimentally to represent the wheel load passing through the pavement in practice for loading [25], [26]. As a result of dynamic loads applied to the pavement, plastic deformation occurs. As the number of load repetitions increases, plastic strains decrease with each load repetition. Strain after 100 to 200 repetitions is practically fully recoverable (flexible) [25].

Because of the repeated wheel loads applied, small irreversible deformations accumulate over time to form a permanent deformation [27]. The main failure mechanism for FBSM (foamed bitumen stabilised materials) is permanent deformation under loading [10]. Especially, the use of high percentage (> 3%) foam bitumen will act as a lubricant between aggregates and reduces the friction angle, thereby increasing shear failure and consequently permanent deformation [12], [28].

Khosravifar et al. [28] has been stated that a layer of foam-stabilized material that is designed appropriately by the structure will be located between granular aggregate base and hot mix asphalt, whereas Wirtgen [12] can be used safely instead of bituminous base course.

In this study, based on the knowledge of the literature, in order to compare foam bituminous mixtures and bituminous base material; MR values were compared by making a uniaxial indirect tensile resilient modulus test on 50/70-70/100 grade bitumens, foam bituminous mixtures prepared using cement-hydrated lime and fly ash type active fillers and the bituminous base course sample prepared to compare them. In addition, for the production of a foamed bituminous mixture, permanent deformation control was performed with a triaxial cyclic compression test. In this study, it is aimed to investigate the usability of foamed bituminous mixtures instead of bituminous base course.

2. Material and Method

The main gradation used in the study is Type A gradation (Rap material gradation, which was also used in our previous studies) [29], [30], [31] seen in Table 1, which is the original gradation of the material scraped off the road (100% RAP). Type B gradation is the same as Type A gradation except for the part that passes through No. 40 sieve. In the foam bituminous mixtures, it is recommended to have a high percentage of fine material in order to spread the bitumen homogeneously into the mixture [3], [8], [12]. For this reason, the material passing through the No.40 sieve was made suitable for the gradation range recommended by Wirtgen [12] by adding new

aggregates from outside and the performances of these two materials were compared. The purpose of using the new aggregate for substitution is that the shortage of fine materials that may occur in the application will be covered with the new aggregate from the outside.

Table 1. Material gradations used in experimental studies

Sieve Size		Gradation Type/Passing (%)	
mm	inch/No	Type-A	Type-B
25	1	100	100
19	3/4	96	96
12,5	1/2	87	87
9,5	3/8	79	79
4,75	No.4	58	58
2	No.10	33	33
0,425	No.40	9	11
0,18	No.80	4	7
0,075	No.200	1,6	4

In mixtures prepared for these two gradations, 70/100 bitumen grade and active filler type cement (1%), which is frequently used in foam bituminous mixtures, was used.

In addition, with Type A gradation, a production was made with 50/70 bitumen to see the effect of bitumen grade and 1% HL+1% FA to see the effect of active filler type.

The amount of mixing water used in the productions was determined by the Modified Proctor test.

Foam bituminous mixtures were prepared in accordance with the procedure for preparing foam bitumen stabilized material (Figure 1) recommended by Wirtgen [12]. The ideal foaming temperature and optimum foaming water of the bitumens used are presented in Table 2. [31]

The meanings of the abbreviations used for production codes are as follows.

2.5: Percentage of foam bitumen

A: Gradation Type
70: 70/100 bitumen grade
C: Cement
HL: Hydrated lime
FA: Fly ash

The reason why bitumen percentage varies in production was made for 5 different (1.9-2.2-2.5-2.8-3.1) bitumen per production code, and the optimum bitumen percentage of that production was determined according to the ITSDRY (Dry Indirect Tensile Strength) values obtained from these productions.

Reproductions were made according to these optimum values for resilient modulus test.

Table 2. Ideal foaming temperature and optimum foaming water for bitumen classes used in the study

Bitumen Grade	Bitumen Penetration	Foamed Temperature	Water Percent
50/70	53,6	170°C	3
70/100	85,2	170°C	2



Figure 1. Foam bitumen stabilized material mixture produced with cement in uncompacted state [31]

Foam bituminous mix samples were kept in the 24-hour mold and then 72 hours in a 40°C drying oven, as suggested by Wirtgen [12], before the resilient modulus test. Due to the active filler in it, the curing period was completed in 28 days by waiting for another 24 days in the laboratory.

2.1. Indirect Tensile Resilient Modulus Test

The test was carried out according to ASTM D7369-11 standard and uniaxially. The samples were loaded in the waveform of the haversine with a 0.1 second load and a 0.9 second rest period. The test was carried out at 25°C and 100 preconditioning was applied to the samples and then the average value of 5 loads was taken as the resilient modulus. The samples were prepared with gyratory compactor in 15cm diameter and 10cm height dimensions, and then cut into 15cm diameter and 5cm height (Figure 2).



Figure 2. indirect tensile resilient modulus test application to foam bituminous mixture

2.2. Triaxial cyclic compression test

According to TS EN 12697-25 standard, this test was carried out to determine the creep properties of

bituminous mixtures and permanent deformation control was performed for the 2.5A70C sample.

The test samples were prepared with gyratory compactor in 10cm diameter and 15cm height dimensions, and then cut into 10cm diameter and 10cm height. The test was carried out in a triaxial load cell at 40°C (Figure 3.). Samples were applied in the wave form of haversine, confining stress 100kPa and axial stress 300 kPa were used (Figure 4.). Total permanent strain obtained by 10000 loading was determined.

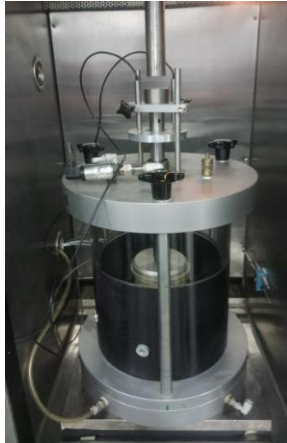


Figure 3. Triaxial cyclic compression test for foam bituminous mixture

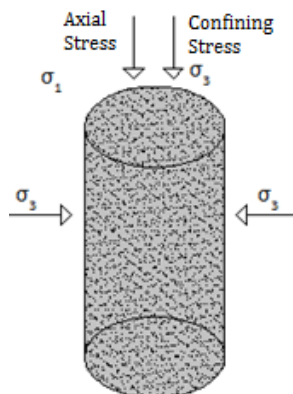


Figure 4. Stress state during permanent deformation test

3. Results and Discussion

According to the data obtained as a result of the test, the graphic shown in Figure 5. has been prepared.

As seen from Figure 5.; In the 1.9B70C production, more fines in the material gradation has decreased compared resilient modulus to the 2.5A70C production. However, since this situation may add flexibility to the mixture of aged bitumen in the RAP material [2], it may be thought that the required substitution was made with the new aggregate instead of the RAP material.

The use of bitumen with different penetration grades in the 2.5A70C and 2.2A50C productions did not make a significant difference in the resilient modulus.

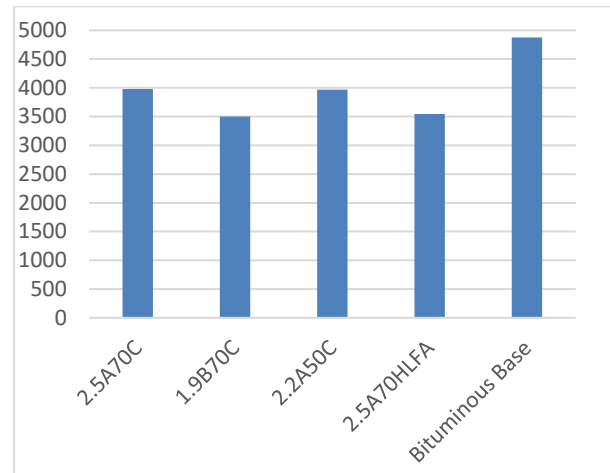


Figure 5. Resilient modulus values for all productions

The use of cement as active filler in the production of 2.5A70C was more positively reflected in the resilient modulus of the mixes than the HL+FA used in the production of 2.5A70HLFA. This situation is caused by the hydration that develops with the prolonged curing time of the cement. The fact that the resilient modulus of 2.5A70HLFA production is higher than that of 1.9B70C production indicates that gradation is more effective than the active filler type.

The result obtained from the bituminous base sample was higher than all foam bituminous mixtures. However, it is probable that the results of the foam bituminous mixtures are quite close to the bituminous base, resulting from the long-term curing strength increase [32].

While the resilient modulus was found with the Indirect Tensile Resilient Modulus Test, a value of 0.00422 mm was obtained as a recoverable vertical deformation. This value was obtained as a result of 105 repetitive loads. A permanent strain of 0.332 mm (2.2%) occurred in the sample after 10000 loading with the Triaxial cyclic compression test. As a result, both values are very low and this is an indication that it is not able to display a completely flexible behavior due to the active fillers and aged bitumen in the sample. Especially one of the main reasons for the result found with Indirect Tensile Resilient Modulus Test to remain at such a low level is the middle 5 cm part of the sample where the lvdt is located as seen in Figure 2. Since the active filler material in the sample rigidizes the mixture depending on the curing, there is no significant deformation especially in this middle section. Similarly, Iwanski and Kowalska [33] mentioned the effect of cement content on increasing the resilient modulus in their studies.

4. Conclusion

In this study; produced for foam bituminous mixtures for two different types of active filler; two different gradations, as 50/70 and 70/100 two different bitumen grades, two different active filler type as

cement and hydrated lime (HL) + fly ash (FA), and produced a standard bituminous base mixture. For production the resilient modulus values of the samples were determined by indirect tensile resilient modulus test and the following conclusions were made according to the results obtained.

More fines of the material under No.40 sieve for gradation had a decreasing effect on the resilient modulus.

The changes made in the bitumen grade did not make a significant change in the results. However, only two different bitumen grades have been compared for this study and it is recommended to experiment with higher penetration bitumen.

Foam bituminous mixtures were subjected to a total of 28 days of curing before the experiment, and due to the increase in the curing time of the active filler products, the resilient modulus control is recommended for shorter curing time.

In this study, HL and FA active filler materials were used together, and this production was close to cemented production. However, it can also be investigated how the use of these materials individually will reflect on the results. It has been determined that foamed bituminous mixtures, especially made with suitable gradation and suitable active filler material, are products with a quality close to the bituminous base.

Considering that the recycle thickness of foam bitumen recycled materials in practice is around 1.5-2 times the average bituminous base course, it is considered structurally appropriate to use these mixtures instead of bituminous base and it is a promising situation for the use of these materials. However, crack behavior should be observed due to the active fillers in the products.

Acknowledgments

This study was supported by SDU (Süleyman Demirel University) scientific research project 4939-D1-17 and KGM-ARGE/2017-1 KGM (General Directorate of highways) project.

REFERENCES

- [1] Isola, M., Betti, G., Marradi, A., Tebaldi, G., 2013. Evaluation of Cement Treated Mixtures with High Percentage of Reclaimed Asphalt Pavement. *Construction and Building Materials*, 48, 238–247.
- [2] Yan, J., Zhu, H., Zhang, Z., Gao, L., Charmot, S., 2014. The Theoretical Analysis of the RAP Aged Asphalt Influence on the Performance of Asphalt Emulsion Cold Recycled Mixes. *Construction and Building Materials*, 71, 444–450.
- [3] ARRA, 2001. *Asphalt Recycling and Reclaiming Association Basic Manual*. 269s, USA.
- [4] Kar, S.S., Swamy, A.K., Tiwari, D., Jain, P.K., 2018. Impact of Recycled Asphalt Pavement on Properties of Foamed Bituminous Mixtures. *The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering*, 13(1), 14–22.
- [5] Turk, J., Pranjic, A.M., Mladenovic, A., Cotic, Z., Jurjavcic, P., 2016. Environmental Comparison of Two Alternative Road Pavement Rehabilitation Techniques: Cold-In-Place-Recycling Versus Traditional Reconstruction. *Journal of Cleaner Production*, 121, 45–55.
- [6] Wozuk, A., Zofka, A., Bandura, L., Franus, W., 2017. Effect of Zeolite Properties on Asphalt Foaming. *Construction and Building Materials*, 139, 247–255.
- [7] Muthen, K.M., 1998. *Foamed Asphalt Mixes Mix Design Procedure*. Rapor No: CR-98/077, 31s.
- [8] Thompson, M.R., Garcia, L., Carpenter, S.H., 2009. Cold in Place Recycling and Full Depth Recycling with Asphalt Products (CIR&FDRWAP). Rapor no: FHWA-ICT-09-036, 28s.
- [9] Buczyński, P., Iwański, M., 2017. Inactive Mineral Filler as a Stiffness Modulus Regulator in Foamed Bitumen-Modified Recycled Base Layers. *Materials Science and Engineering*, 245, 032 042
- [10] Asphalt Academy, 2009. *Technical Guideline: Bitumen Stabilised Materials, TG2 Second edition*, ISBN 978-0-7988-5582-2
- [11] Fadmoro, O.F., Kar, S.S., Tiwari, D., 2022. Characterisation of Foam Bitumen Mixes with Different RAP Content at Elevated Mixing Temperature Using Design of Experiment (DOE) Approach, *International Journal of Pavement Engineering*, DOI: 10.1080/10298436.2021.2020785
- [12] Wirtgen, 2012. *Cold Recycling – Wirtgen Cold Recycling Technology*, Wirtgen Cold Recycling Manual, 368s, Germany.
- [13] Jain, S., Singh, B., 2021. Cold Mix Asphalt: An Overview. *Journal of Cleaner Production*, 280, 20p.
- [14] Zou, J., Isola, M., Roque, R., Chun, S., Koh, C., Lopp, G., 2013. Effect of Hydrated Lime on Fracture Performance of Asphalt Mixture. *Construction and Building Materials*, 44, 302–308.
- [15] Mohammadinia, A., Arulrajah, A., Horpibulsuk, S., Chinkulkijniwat, A., 2017. Effect of Fly Ash on Properties of Crushed Brick and Reclaimed Asphaltin Pavement Base/Subbase Applications. *Journal of Hazardous Materials*, 321, 547–556.

- [16] Brown, S.F., Needham, D., 2000. A Study of Cement Modified Bitumen Emulsion Mixtures, *Asphalt Paving Technologists Proc*, 69, 92–121.
- [17] Dolzycki, B., Jaczewski, M., Szydłowski, C., 2017. The Long-Term Properties of Mineral Cement-Emulsion Mixtures, *Construction and Building Materials* 156, 799–808.
- [18] Graziani, A., Iafelice, C., Raschia, S., Perraton, D., Carter, A., 2018. A Procedure for Characterizing the Curing Process of Cold Recycled Bitumen Emulsion Mixtures. *Construction and Building Materials*, 173, 754–762.
- [19] Graziani, A., Godenzoni, C., Cardone, F., Bocci, M., 2016. Effect of Curing on the Physical and Mechanical Properties of Cold-Recycled Bituminous Mixtures. *Materials & Design*, 95, 358–369.
- [20] Grilli, A., Graziani, A., Bocci, M., 2012. Compactability and Thermal Sensitivity of Cement Bitumen Treated Materials, *Road Materials and Pavement Design*, 13(4), 599–617.
- [21] Fu, P., Jones, D., Harvey, J.T., Halles, F., 2010. An Investigation of the Curing Mechanism of Foamed Asphalt Mixes Based on Micromechanics Principles. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 22(1):29-38
- [22] Arguelles, G.M., Giustozzi, F., Crispino, M., Flintsch, G.W., 2015. Laboratory Investigation on Mechanical Performance of Cold Foamed Bitumen Mixes: Bitumen Source, Foaming Additive, Fiber-Reinforcement and Cement Effect. *Construction and Building Materials*, 93, 241-248.
- [23] Fu, P., Jones, D., Harvey, J.T., Bukhari, S.A., 2009. Laboratory Test Methods for Foamed Asphalt Mix Resilient Modulus. *Road Materials and Pavement Design*, 10:1, 188-212.
- [24] Patel, A., Kulkarni, M.P., Rao, K.V.K., Singh, D.N., Gumaste, S.D., 2008. A Methodology for Determination of Resilient Modulus of Asphaltic Concrete. The 12th International Conference of International Association for Computer Methods and Advances in Geomechanics (IACMAG), 1-6 October, Goa, India.
- [25] Huang, Y.H., 2003. *Pavement Analysis and Design* 2nd Edition, Pearson Prentice Hall, 775, United States of America
- [26] AASHTO T 307-99, 2012. Determining the Resilient Modulus of Soils and Aggregate Materials. American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington DC.
- [27] Sunarjono, S., 2008. The Influence of Foamed Bitumen Characteristics of Cold-Mix Asphalt Properties. The University of Nottingham, Nottingham Transportation Engineering Centre, School of Civil Engineering, Doctor of Philosophy, 311s, Nottingham.
- [28] Khosravifar, S., Schwartz, C.W., Goulias, D.G., 2015. Mechanistic Structural Properties of Foamed Asphalt Stabilised Base Materials. *International Journal of Pavement Engineering*, 16:1, 27-38.
- [29] Erten, K.M., Terzi, S., Akbulut, H., 2020. Effect of Bitumen Grade, Bitumen Percentage and Mineral Binders on Mixture Properties in Foam Bitumen - Stabilized RAP Materials. *Journal of Innovations in Civil Engineering and Technology*, 2(1), 1-11.
- [30] Erten, K.M., Terzi, S., Akbulut, H., 2020. Effect of Active Filler Ratio on Indirect Tensile Strength of Foam Bituminous Mixtures. *International Scientific and Vocational Journal*, 4(1), 60-67.
- [31] Erten, K. M., 2020. Köpük Bitüm ile Yerde ve Soğuk Geri Kazanılmış Bitümlü Sıcak Karışımların Karayolunda Kullanılabilirliği ve Performansının Araştırılması, Süleyman Demirel University, Ph.D. Thesis, Isparta, Turkey, 169p.
- [32] Taha, R., Harthy, A.A., Shamsi K.A. and Zubeidi, M.A., 2002. Cement stabilization of reclaimed asphalt pavement aggregate for road bases and subbases. *Journal of Materials in Civil Engineering*, vol. 14, no. 3, pp. 239-245.
- [33] Iwanski, M., Kowalska, A.C., 2013. Laboratory Study on Mechanical Parameters of Foamed Bitumen Mixtures in the Cold Recycling Technology. *Procedia Engineering*, 57, 433 – 442.

D/L-Homosistein Tamoksifene Dirençli MCF-7/TAMR-1 Meme Kanseri Hücrelerinin Proliferatif Özelliklerini ER Stresi Aracılı Olarak Baskılayabilir

Yalçın ERZURUMLU^{*1}, Hatice Kübra DOĞAN²

¹Süleyman Demirel Üniversitesi, Eczacılık Fakültesi, Temel Eczacılık Bilimleri Bölümü, 32260, Isparta, Türkiye

²Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyomühendislik Bölümü, 32260, Isparta, Türkiye

(Alınış / Received: 14.02.2022, Kabul / Accepted: 30.05.2022, Online Yayınlanma / Published Online: 20.12.2022)

Anahtar Kelimeler

ER stresi,
MCF-7/TAMR-1,
Meme kanseri,
Tamoksifen

Öz: Tamoksifen meme kanseri tedavisinde sıklıkla kullanılan ancak reseptör ifade profillerindeki değişimlere bağlı olarak kullanımı sınırlanan önemli bir tedavi yaklaşımıdır. Her ne kadar tamoksifen klinikte yoğun bir uygulama alanına sahip olsa da meme kanseri hastalarının %20-30'u çeşitli nedenlerle de novo veya tedavi sonrasında tamoksifene karşı direnç geliştirmektedir. Meme kanseri, dünya genelinde kadınlar arasında kansere bağlı ölümlerin ikinci nedenidir ve her yıl birçok kişi meme kanseri nedeniyle yaşamını yitirmektedir. Bu nedenle meme kanseri hücrelerinin tamoksifen duyarlılığını arttırmak üzerine çok sayıda çalışma sürdürülmektedir. Son çalışmalar, endoplazmik retikulum (ER) stresine ilişkin mekanizmaların meme kanserinin ilerlemesinde ve kazanılmış ilaç direncinde önemli anahtar düzenleyiciler olduğuna işaret etmiştir. Bu nedenle ER stresini modüle eden ajanlar meme kanserine yönelik geliştirilecek yeni tedavi yaklaşımları için yoğun olarak araştırılmaktadır. Çalışmalarımızda D/L-homosistein'in tamoksifen ile kombine uygulamasının *in vitro* da tamoksifene direnç gelişimini iyi mimik eden MCF-7/TAMR-1 hücrelerinde ER stresi modülasyonu yolu ile tamoksifen duyarlılığını geliştirdiği belirlenmiştir. Çalışmamızdan elde edilen bulgular meme kanserinde ER stresi ile ilişkili süreçlere etki edebilecek yeni moleküllerin tamoksifen ile kombine edilerek tamoksifen direncine karşı uygulanacak alternatif yaklaşımlar açısından umut vaat ettiğini önermektedir.

D/L-Homocysteine May Suppress Proliferative Properties of Tamoxifen-resistant MCF-7/TAMR-1 Breast Cancer Cells through Modulation of ER Stress

Keywords

ER stress,
MCF-7/TAMR-1,
Breast cancer,
Tamoxifen

Abstract: Tamoxifen is an important treatment approach that is frequently used in the treatment of breast cancer, but its usage is limited due to changes in receptor expression profiles of breast cancer cells. Although tamoxifen has an intense clinical application area, 20-30% of breast cancer patients develop resistance to tamoxifen de novo or after treatment for various reasons. Breast cancer is the second cause of cancer-related death among women worldwide, and many people die from breast cancer each year. For this reason, many studies are continuing to increase the sensitivity of breast cancer cells to tamoxifen. Recent studies have pointed out that mechanisms related to endoplasmic reticulum (ER) stress are important key regulators of breast cancer progression and acquired drug resistance. Thus, agents that modulate ER stress are intensively investigated for new treatment approaches to be developed for cancer. In our studies, combined application of D/L-homocysteine with tamoxifen improves tamoxifen sensitivity of MCF-7/TAMR-1 cells, which well-mimic the development of tamoxifen resistance *in vitro* by ER stress modulation. Our findings suggest that combined treatment of new molecules that can affect the processes associated with ER stress, with tamoxifen, might be promising alternative approaches to be applied against tamoxifen resistance in breast cancer.

*İlgili yazar: yalcinerzurumlu@sdu.edu.tr

1. Giriş

Meme kanseri, dünya genelinde kadınlar arasında kansere bağlı ölümlerin ikinci nedenidir [1]. Meme kanseri hücrelerinin reseptör ifade profillerindeki değişimler kanser progresyonunu doğrudan etkileyerek metastaz ve invazyon gibi süreçleri düzenlemektedir. Ayrıca bu değişimler hücrelerin ilaç direnci geliştirmesi ile doğrudan ilişkilendirilmiştir [2]. Günümüzde hormon reseptörü pozitif meme tümörlerinde, tamoksifen en sık kullanılan ve etkili kemoterapötik ajanlardan biridir [3]. Seçici östrojen modülatörü olan tamoksifen, östrojen antagonisti gibi davranarak östrojenlerin meme dokusundaki östrojen reseptörüne bağlanmasını önlemektedir. Her ne kadar tamoksifen klinikte yoğun bir uygulama alanına sahip olsa da meme kanseri hastalarının %20-30'u çeşitli nedenlerle de novo veya tedaviyi takiben tamoksifene karşı direnç geliştirmektedir [4, 5]. Günümüzde hastalar primer tümörün reseptör durumuna göre hormonal tedavi seçeneğine sahip olabilmektedir. Ancak tamoksifene karşı direnç gelişimi meme kanserinin tedavisinde tamoksifenin etkin kullanımındaki en büyük sınırlamalardan biridir. Son çalışmalar, endoplazmik retikulum (ER) stresine ilişkin mekanizmaların meme kanserinin ilerlemesinde ve kazanılmış ilaç direncinde önemli anahtar düzenleyiciler olduğuna işaret etmiştir [6]. Bu nedenle ER stresini modüle eden ajanlar meme kanserine yönelik geliştirilecek yeni tedavi yaklaşımları için yoğun olarak araştırılmaktadır.

Homosistein metiyonin aminoasidinden türevlenen aminoasit metabolizmasındaki ara ürünlerden birisidir [7-9]. Homosistein'in endotel hücrelerinde ve nöronlarda hücre döngüsünün tutuklanması, yaşlanma ve apoptotik hücre ölümü gibi süreçleri düzenlediği rapor edilmiştir [10-13]. Homosisteinin etki mekanizmalarından birisi de ER stresinin modülasyonu üzerindeki etkileridir [9, 10, 12].

Ökaryotik hücrelerde yeni sentezlenen proteinlerin %30'luk bir bölümü ER'ye bağlı ribozomlarda sentezlenmekte olup yeni sentezlenen bu polipeptit zincirlerinin olgunlaşma süreçleri, ER'de yer alan protein kalite mekanizmaları tarafından sıkı bir şekilde kontrol edilmektedir [14, 15]. Değişen fizyolojik koşullar altında ER, ökaryotik hücreleri tekrar programlamak için doğrudan yanıt oluşturmaktadır. Genotoksik etkiler, oksidatif stres veya hücrenin artan protein sentezi ihtiyacı nedeniyle ortaya çıkan dengesiz protein sentezi durumu ve ER'nin kapasitesinin aşılması gibi nedenler ER stresini olarak adlandırılan ER homeostazının bozulmasını tetiklemektedir [14]. Hücrelerde oluşan bu ER stresinin üstesinden gelineemediği durumlarda ER ilişkili sinyal mekanizmaları aracılı olarak programlanmış hücre ölümü apoptozis tetiklenebilmektedir [15].

Homosisteinin protein katlanması için kritik öneme sahip disülfid bağ oluşumunu bozarak ve katlanmamış

protein yanıtını aktive ederek ER stresine neden olabildiği rapor edilmiştir [10]. İnsan göbek bağı damarı endotel hücreleri (HUVEC) ile yapılan bir çalışmada fizyolojik dozun üzerinde homosistein uygulamasının ER stresini ile ilişkili kritik düzenleyiciler olan GRP78/BiP (78-kDa glucose-regulated protein) ve CHOP/GADD153 (CEBP homology protein/growth arrest and DNA damage-inducible protein 153) gibi ER stres belirteçlerinin ifadelerini indüklediği belirlenmiştir [10]. ER stresinin programlanmış hücre ölümü ve hücre döngüsünün duraksaması gibi süreçlerle yakın ilişkili olduğu bilinmektedir [10, 15]. Özellikle ER stresini ile ilişkili CHOP düzeyindeki artış hücre bölünmesinin tutuklanması ve apoptotik hücre ölümünü indüklediği gösterilmiştir [16, 17].

Son yıllardaki çalışmalar ER stresini ile ilişkili süreçlerin kanser progresyonuna destek verdiğini ortaya koymuştur ve bu mekanizmaların biyokimyasal olarak aktivitelerindeki değişimlerinin pankreas, ovaryum, prostat ve meme kanserinin de dahil olduğu çok sayıdaki kanser tipi ile sıkı ilişkili olduğu gösterilmiştir [18-20]. Ayrıca kemoterapötiklere karşı direnç gelişmesinde ER stresinin etkin bir mekanizma olduğu birçok çalışmada rapor edilmiştir [21, 22].

Çalışmalarımızda meme kanseri hücrelerinde D/L-Homosistein uygulamasının tamoksifen direnci üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Bulgularımız tamoksifene dirençli MCF-7/TAMR-1 meme kanseri hücrelerinde D/L-Homosistein-tamoksifen kombine uygulamasının ER stresinin indüklenmesi ve hücre döngüsünün baskılanmasına neden olarak MCF-7/TAMR-1 proliferasyonunu inhibe ettiğini ortaya koymuştur.

2. Materyal ve Metot

2.1. Hücre kültürü

Çalışmalarda American Type Culture Collection (ATCC)'den temin edilmiş tamoksifen dirençli insan meme kanseri hücreleri olan MCF-7/TAMR-1 %10 FBS içeren Dulbecco's Modified Eagle Medium (DMEM) besi yerinde konvansiyonel hücre kültürü şartlarında (37 °C ve %5 CO₂) kültüre edildi. Kültür işlemlerinde ilave büyüme gereksinimleri için 10 µg/mL rekombinant insan insülini (Gibco) ve 1 µM 4-hydroxytamoksifen (Sigma-Aldrich) kullanılmıştır.

2.2. Proliferasyon tahlili

Hücrelere uygulanan D/L-Homosistein (Santacruz Biotechnology) etanol içerisinde çözündürülerek 1000 kat konsantre stok hazırlandı. Hücrelere 48 saat süre ile 0.1, 0.5, 1 mM D/L-Homosistein ve/veya 2.5 µM tamoksifen uygulaması yapıldı. Kontrol uygulaması olarak eş hacimde çözücü uygulaması gerçekleştirildi. MCF-7/TAMR-1 hücrelerinin hücre proliferasyonundaki değişimler WST-1 hücre proliferasyon reaktifi (Takara) kullanılarak üreticinin

önerdiği protokol kullanılarak gerçekleştirildi. 96 kuyucuklu hücre kültür kaplarına hücreler 5000 hücre/kuyucuk olacak şekilde ekimi yapıldı. 24 saat sonra ajanlar hücrelere 48 saat süre ile uygulandı. Süre sonunda her bir örneğe 20 µl WST-1 ajanı eklendi ve 2 saat süre ile hücre kültür şartlarında inkübasyon işlemi gerçekleştirildi. Takiben mikropłaka okuyucuda (BioTek, Epoch 2) 450nm dalga boyunda absorbans okuması gerçekleştirildi. Her bir örnek 3 teknik ve 3 biyolojik tekrar şeklinde çalışılmış olup sonuçlar grafikte % değişim olarak sunuldu.

2.3. İmmünoblotlama

İmmünoblotlama çalışmaları daha önce rapor edildiği şekilde gerçekleştirilmiştir [23]. MCF-7/TAMR-1 hücreleri RIPA tamponu (50 mM Tris-HCl pH 7.5 içinde 150 mM NaCl, %1 Triton X-100, %0.5 sodyum deoksikolat, %0.1 SDS) ile lizalandı. Lizatlanan örnekler 4 °C'de 20 dakika boyunca 14.000 r.p.m'de santrifüj edildi ve hücre pelleti uzaklaştırılarak süpernatant saklandı. Örneklerdeki toplam protein konsantrasyonunun belirlenmesi için BCA protein tahlil kiti (Takara) kullanıldı. Her bir örnek SDS-PAGE jeline yüklenerek elektroforez işlemi ile proteinler ayrıştırıldı. Takiben protein örnekleri PVDF

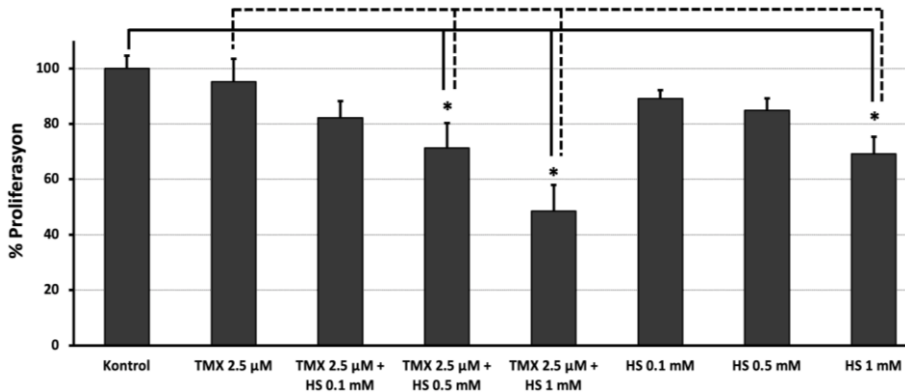
membrana transfer edildi. Transfer işlemi sonrasında sırasıyla blokama, birincil antikor uygulaması, yıkama, HRP konjuge ikincil antikor uygulaması, yıkama ve kemi-görüntüleme işlemi gerçekleştirildi. Protein bantlarının görüntülenmesi için ECL substrat kiti (Bio-Rad) kullanıldı. Protein bantları ChemiDoc XRS+ (Bio-Rad) sisteminde görüntüledi. İmmünoblotlamada anti-BiP, anti-CHOP, anti-p21, anti-p27 antikorları (Proteintech) ve anti-beta Aktin (Proteintech) birincil antikorları kullanıldı.

2.4. İstatistiksel değerlendirme

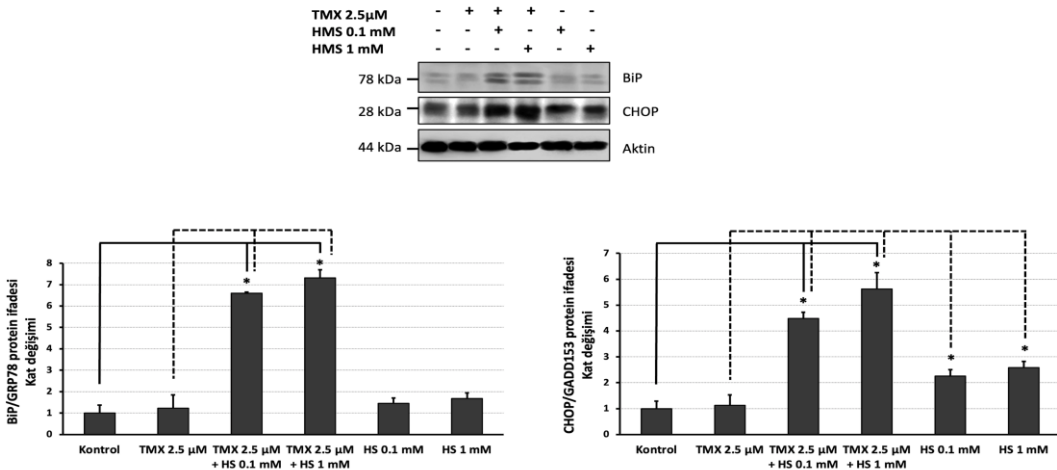
Sonuçlar ortalama ± standart sapma (SD) olarak sunuldu. Gruplar arasındaki farklılıkların istatistiksel anlamlılığı GraphPad Prism 5 yazılımı kullanılarak minimum %95 güven aralığı ile Student t testi ile belirlendi. $p < 0.05$ değeri istatistiksel olarak anlamlı kabul edildi.

3. Bulgular

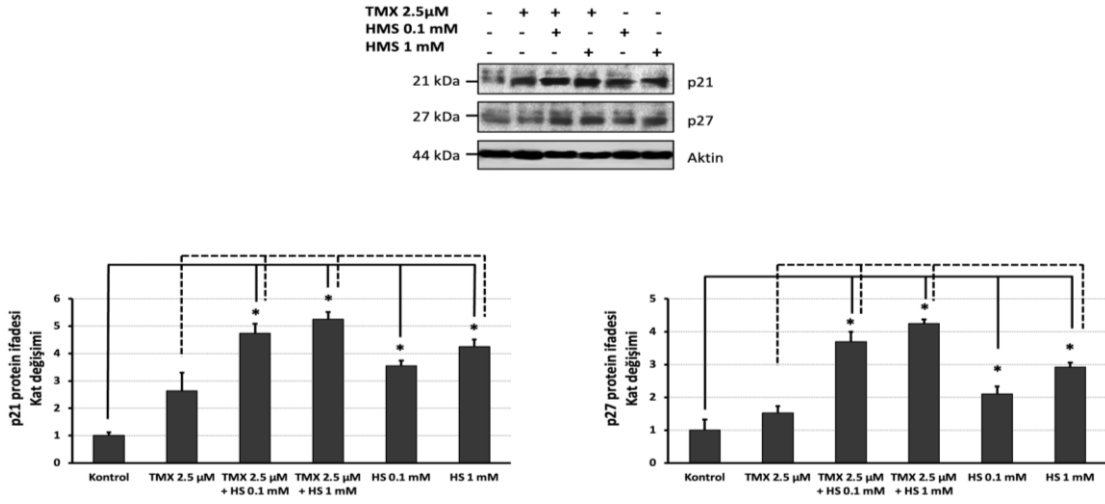
Tamoksifene dirençli MCF-7/TAMR-1 hücrelerine D/L-homosistein uygulamasının tamoksifen duyarlılığı üzerindeki etkisinin değerlendirilmesi amacıyla WST-1 temelli hücre proliferasyon testi gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla MCF-7 / TAMR-1



Şekil 1. D/L-Homosistein uygulaması MCF-7/TAMR-1 hücrelerinin tamoksifen duyarlılığını arttırarak hücre proliferasyonunu baskılar (* $p < 0.05$).



Şekil 2. D/L-Homosistein uygulaması MCF-7/TAMR-1 hücrelerinde ER stresini indüklemektedir. Beta aktin yükleme kontrolü olarak kullanılmıştır. Protein bantları ImageJ yazılımı kullanılarak densitometrik olarak analiz edilmiş ve sonuçlar grafikte kat artışı cinsinden sunulmuştur (* $p < 0.05$).



Şekil 3. D/L-Homosistein uygulaması MCF-7/TAMR-1 hücrelerinde hücre döngüsü akışını tutuklamaktadır. Beta aktin yükleme kontrolü olarak kullanılmıştır. Protein bantları ImageJ yazılımı kullanılarak densitometrik olarak analiz edilmiş ve sonuçlar grafikte kat artışı cinsinden sunulmuştur (* p<0.05).

hücreleri 48 saat süre ile 2.5 µM tamoksifen ve/veya 0.1, 0.5, 1 mM D/L-homosistein'e maruz bırakılmıştır. Bulgularımız tamoksifene ile eş uygulanan D/L-Homosistein'in doz bağımlı olarak MCF-7/TAMR-1 hücrelerinin proliferasyonunu yalnızca tamoksifen uygulanan gruba kıyasla daha etkili olarak baskıladığını göstermiştir. Hücrelerdeki tamoksifen duyarlılığı artışının istatistiksel olarak anlamlı olduğu belirlenmiştir (Şekil 1).

D/L-homosistein'in ER stresi ile ilişkili süreçleri etkilediği rapor edilmiştir [24, 25]. Bu amaçla MCF-7/TAMR-1 hücreleri 24 saat süre ile 2.5 µM tamoksifen ve/veya 0.1 ve 1 mM D/L-homosistein'e maruz bırakılmıştır. Deney sonlandığında ER stresi ile ilişkili olan BiP/GRP78 ve CHOP/GADD153 düzeyleri immünoiblota ile incelenmiştir. Protein sonuçlarımız D/L-Homosistein uygulamasının BiP/GRP78 ve CHOP/GADD153 düzeylerini kontrol grubuna kıyasla anlamlı düzeyde arttırdığını göstermiştir. Ayrıca yalnızca tamoksifen uygulanan grup ile kıyaslandığında tamoksifen ile D/L-Homosistein eş uygulamasının BiP/GRP78 ve CHOP/GADD153 düzeylerini arttırdığı belirlenmiştir (Şekil 2).

Önceki çalışmalarda D/L-homosistein'in hücre bölünmesi döngüsünün baskılanmasına neden olduğu rapor edilmiştir [10]. Buradan hareketle D/L-homosistein'in p21 ve p27 düzeyleri üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Bu amaçla MCF-7/TAMR-1 hücreleri 24 saat süre ile 2.5 µM Tamoksifen ve/veya 0.1 ve 1 mM D/L-homosistein'e maruz bırakılmıştır. Süre sonunda hücreler lizatlanarak hücre döngüsünün baskılanması ile ilişkili siklin inhibitör proteinleri olan p21 ve p27 düzeylerindeki değişimler immünoiblota ile değerlendirilmiştir [26, 27, 28, 29]. Sonuçlarımız D/L-homosistein uygulamasının MCF-7/TAMR-1 hücrelerindeki p21 ve p27 ifade düzeylerini kontrol grubuna ve yalnızca tamoksifen uygulanan gruba kıyasla arttırdığını göstermiştir (Şekil 3).

4. Tartışma ve Sonuç

Çalışmalarımızda D/L-homosistein'in tamoksifene dirençli MCF-7/TAMR-1 meme kanseri hücrelerinin tamoksifen duyarlılığını artırarak hücre proliferasyonunu inhibe ettiği belirlenmiştir. Meme kanseri tedavisinde kullanılan yaklaşımların başında tamoksifenin yer aldığı tedavi yaklaşımları yer almaktadır [30]. Ancak meme kanseri hücreleri reseptör ifadesi açısından heterojenite sergilemektedir. Bu nedenle meme kanseri hücrelerinin sergilediği östrojen reseptörü, progesteron reseptörü veya büyüme faktörü reseptörü ifade profillerine bağlı olarak tercih edilen tedavi yaklaşımları farklılıklar göstermektedir [31]. Seçici östrojen reseptörü modülatörü olan tamoksifen östrojen reseptörlerine östrojen bağlanmasını engelleyerek meme kanseri hücrelerinin karsinojenik özelliklerini baskılamaktadır [31]. Meme ve prostat kanseri de dahil olmak üzere çeşitli kanser tiplerine yönelik uygulanan tedavi stratejilerinde kanser hücreleri ilaç direnci geliştirebilmektedir. Bu durum tedavi protokollerinin en sınırlayıcı basamağını teşkil etmektedir [32]. Bu nedenle yeni keşfedilecek ilaç aday moleküllerine ve kanser hücrelerinin kemoterapötiklere karşı duyarlılığını arttıracak yeni yaklaşımların geliştirilmesine duyulan ihtiyaç devam etmektedir.

D/L-homosistein metiyonin aminoasidinden türetilen tiyol içeren bir aminoasittir [33]. Homosistein'in endotelial hücrelerinde hücre büyümenin tutuklanmasını ve ER stresi induksiyonu aracılı olarak apoptotik hücre ölümünü tetiklediği gösterilmiştir [9, 10, 12]. Bununla birlikte homosistein'in hepatosit hücrelerinin proliferatif özelliklerini ER stresi aracılığıyla inhibe ettiği rapor edilmiştir [25].

Tamoksifene direnç gelişimini iyi mimik eden MCF-7/TAMR-1 meme kanseri hücreleri ile

sürdürdüğümüz çalışmalarda D/L-homosistein uygulamasının hücre proliferasyonunu doz bağımlı olarak önemli ölçüde baskıladığı belirlenmiştir. D/L-homosistein'in tamoksifen ile kombine uygulaması MCF-7/TAMR-1 hücrelerinin proliferatif özelliklerini yalnızca D/L-homosistein ve tamoksifen uygulanan gruba kıyasla daha güçlü düzeyde doza bağlı olarak baskıladığını göstermiştir. Bu bulgular MCF-7/TAMR-1 hücrelerinde D/L-homosistein uygulamasının tamoksifen ile sinerjistik etki sergileyerek tamoksifen duyarlılığını arttırarak meme kanseri hücrelerinin proliferasyonunu baskıladığını önermektedir (Şekil 1).

D/L-homosistein'in ER stresine olan etkisini değerlendirmek üzere BiP/GRP78 ve CHOP/GADD153 protein ifadelerindeki değişimler immüno blotlama ile incelenmiştir. Sonuçlarımıza göre D/L-homosistein uygulaması sonrası MCF-7/TAMR-1 hücrelerinde BiP/GRP78 ve CHOP/GADD153 düzeylerinin kontrol grubuna kıyasla artış gösterdiği belirlenmiştir (Şekil 2). Tamoksifene karşı direnç kazanımında meme kanseri hücrelerinde ER stresinin anahtar rol oynadığı rapor edilmiştir [34]. Bulgularımız tamoksifen ve D/L-homosistein kombine uygulamasına bağlı olarak ER stresinin yalnızca tamoksifen uygulanan gruba kıyasla artmış olduğunu göstermiştir (Şekil 2). ER stresi sürecinde artan CHOP protein düzeylerinin ER stres aracılı apoptotik hücre ölümünü düzenlediği bilinmektedir [35]. Sonuçlarımız tamoksifen ve D/L-homosistein uygulamasına bağlı artan CHOP ifade düzeyleri ile ilişkili olarak MCF-7/TAMR-1 hücrelerinde apoptotik hücre ölümünün indüklendiğini önermektedir. Ancak bu sürecin karakterize edilebilmesi için ileri düzeyde analizlere ihtiyaç duyulmaktadır.

Daha önceki çalışmalarda D/L-homosistein'in hücre döngüsünün tutuklanmasına aracılık ettiği rapor edilmiştir [9, 10]. Bu nedenle çalışmalarımızda iyi bilinen hücre döngüsü inhibitör proteinleri p21 ve p27 düzeyleri immüno blotlama ile incelendi. p21 hücre döngüsü progresyonunda G1/S ve G2/M geçişini sırasıyla CDK4,6/siklin-D ve CDK2/siklin-E inhibisyonu yolu ile baskılamaktadır [26, 27]. p27 CDK2/siklin E diğer siklin kompleksleri ile sürdürdüğü etkileşimler ile hücre döngüsünü G1 fazında sınırlandırmaktadır [28, 29]. Literatürdeki D/L-homosistein'in hücre döngüsünün tutuklanması ilişkili etkileri ile tutarlı olarak; MCF-7/TAMR-1 hücrelerine tamoksifen ve D/L-homosistein eş uygulamasının hücre döngüsü inhibisyonu ile ilişkili siklin bağımlı kinaz inhibitörü p21 ve p27 protein ifade düzeylerini arttırdığı belirlenmiştir (Şekil 3).

Çalışmamızdan elde edilen bulgular D/L-homosistein'in ER stresi induksiyonu ve hücre döngüsünün baskılanması aracılı olarak MCF-7/TAMR-1 hücrelerinin tamoksifen direncini zayıflattığını ve bu yol ile meme kanseri hücrelerinin

proliferatif özelliklerini sınırlandırdığını önermektedir.

Tamoksifen meme kanseri tedavisinde sıklıkla kullanılan ancak reseptör ifade profillerindeki değişimler ve hücrelerde direnç gelişimi gözlenmesi nedeniyle çoğu zaman kullanımı sınırlanan seçici östrojen modülatörüdür. Çalışmamızda D/L-homosistein'in tamoksifen ile kombine uygulamasının *in vitro* da tamoksifene direnç gelişimini iyi mimik eden MCF-7/TAMR-1 hücrelerinde tamoksifen duyarlılığını ilerlettiği belirlenmiştir. Bulgularımız ER stresi ile ilişkili süreçlere etki edebilecek yeni moleküllerin tamoksifen ile kombine uygulamasının meme kanseri hücrelerinde gelişen tamoksifen direncine karşı uygulanacak alternatif yaklaşımlar açısından umut vaat ettiğini önermektedir.

Teşekkür

Bu çalışmadaki bazı analizlerin gerçekleştirilmesinde kullanılan cihazlar ile destek veren Süleyman Demirel Üniversitesi Yenilikçi Teknolojiler Uygulama ve Araştırma Merkezi (YETEM)'ne katkılarından dolayı teşekkür ederiz. Bu çalışmanın sürdürülmesinde Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Biriminden alınan TSG-2021-8302 kod numaralı proje desteğinden faydalanılmıştır.

Etik Beyanı

Bu çalışmada, "Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesi" kapsamında uyulması gerekli tüm kurallara uyulduğunu, bahsi geçen yönergenin "Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiğine Aykırı Eylemler" başlığı altında belirtilen eylemlerden hiçbirinin gerçekleştirilmediğini taahhüt ederiz.

Kaynakça

- [1] Rivenbark, A. G., O'Connor, S. M., Coleman, W. B. 2013. Molecular and cellular heterogeneity in breast cancer: challenges for personalized medicine. *The American journal of pathology*, 183(4), 1113-1124.
- [2] Hong, R., Ma, F., Xu, B., Li, Q., Zhang, P., Yuan, P., Wang, J., Fan, Y., Cai, R. 2014. Efficacy of platinum-based chemotherapy in triple-negative breast cancer patients with metastases confined to the lungs: a single-institute experience. *Anti-Cancer Drugs*, 25(9),1089-1094.
- [3] Viedma-Rodríguez, R., Baiza-Gutman, L., Salamanca-Gómez, F., Diaz-Zaragoza, M., Martínez-Hernández, G., Ruiz Esparza-Garrido, R., Velázquez-Flores, M. A., Arenas-Aranda, D. 2014. Mechanisms associated with resistance to tamoxifen in estrogen receptor-positive breast cancer (review). *Oncology reports*, 32(1), 3-15.

- [4] Chang, M. 2012. Tamoxifen resistance in breast cancer. *Biomolecules & therapeutics*, 20(3), 256–267.
- [5] Dorssers, L. C., Van der Flier, S., Brinkman, A., van Agthoven, T., Veldscholte, J., Berns, E. M., Klijn, J. G., Beex, L. V., Foekens, J. A. 2001. Tamoxifen resistance in breast cancer: elucidating mechanisms. *Drugs*, 61(12), 1721–1733.
- [6] Parkin, D. M., Bray, F., Ferlay, J., Pisani, P. 2005. *Global cancer statistics, 2002*. CA: a cancer journal for clinicians, 55(2), 74–108.
- [7] Welch, G. N., Loscalzo, J. 1998. Homocysteine and atherothrombosis. *The New England journal of medicine*, 338(15), 1042–1050.
- [8] Thambyrajah, J., Townend, J. N. 2000. Homocysteine and atherothrombosis-mechanisms for injury. *European heart journal*, 21(12), 967–974.
- [9] Zou, C. G., Banerjee, R. 2005. Homocysteine and redox signaling. *Antioxidants & redox signaling*, 7(5-6), 547–559.
- [10] Outinen, P. A., Sood, S. K., Pfeifer, S. I., Pamidi, S., Podor, T. J., Li, J., Weitz, J. I., Austin, R. C. 1999. Homocysteine-induced endoplasmic reticulum stress and growth arrest leads to specific changes in gene expression in human vascular endothelial cells. *Blood*, 94(3), 959–967.
- [11] Xu, D., Neville, R., Finkel, T. 2000. Homocysteine accelerates endothelial cell senescence. *FEBS letters*, 470(1), 20–24.
- [12] Zhang, C., Cai, Y., Adachi, M. T., Oshiro, S., Aso, T., Kaufman, R. J., Kitajima, S. 2001. Homocysteine induces programmed cell death in human vascular endothelial cells through activation of the unfolded protein response. *The Journal of biological chemistry*, 276(38), 35867–35874.
- [13] Kruman, I. I., Culmsee, C., Chan, S. L., Kruman, Y., Guo, Z., Penix, L., Mattson, M. P. 2000. Homocysteine elicits a DNA damage response in neurons that promotes apoptosis and hypersensitivity to excitotoxicity. *The Journal of neuroscience*, 20(18), 6920–6926.
- [14] Adams, C. J., Kopp, M. C., Larburu, N., Nowak, P. R., Ali, M. 2019. Structure and molecular mechanism of ER stress signaling by the unfolded protein response signal activator IRE1. *Frontiers in molecular biosciences*, 6, 11.
- [15] Hetz C. 2012. The unfolded protein response: controlling cell fate decisions under ER stress and beyond. *Nature reviews. Molecular cell biology*, 13(2), 89–102.
- [16] Zinszner, H., Kuroda, M., Wang, X., Batchvarova, N., Lightfoot, R. T., Remotti, H., Stevens, J. L., Ron, D. 1998. CHOP is implicated in programmed cell death in response to impaired function of the endoplasmic reticulum. *Genes & development*, 12(7), 982–995.
- [17] McCullough, K. D., Martindale, J. L., Klotz, L. O., Aw, T. Y., Holbrook, N. J. 2001. Gadd153 sensitizes cells to endoplasmic reticulum stress by down-regulating Bcl2 and perturbing the cellular redox state. *Molecular and cellular biology*, 21(4), 1249–1259.
- [18] Madden, E., Logue, S. E., Healy, S. J., Manie, S., Samali, A. 2019. The role of the unfolded protein response in cancer progression: From oncogenesis to chemoresistance. *Biology of the cell*, 111(1), 1–17.
- [19] Robinson, C. M., Talty, A., Logue, S. E., Mnich, K., Gorman, A. M., Samali, A. 2021. An emerging role for the unfolded protein response in pancreatic cancer. *Cancers*, 13(2), 261.
- [20] Romero-Ramirez, L., Cao, H., Regalado, M. P., Kambham, N., Siemann, D., Kim, J. J., Le, Q. T., Koong, A. C. 2009. X box-binding protein 1 regulates angiogenesis in human pancreatic adenocarcinomas. *Translational oncology*, 2(1), 31–38.
- [21] Bahar, E., Kim, J. Y., Yoon, H. 2019. Chemotherapy resistance explained through endoplasmic reticulum stress-dependent signaling. *Cancers*, 11(3), 338.
- [22] King, A. P., Wilson, J. J. 2020. Endoplasmic reticulum stress: an arising target for metal-based anticancer agents. *Chemical Society reviews*, 49(22), 8113–8136.
- [23] Erzurumlu, Y., Ballar, P. 2017. Androgen mediated regulation of endoplasmic reticulum-associated degradation and its effects on prostate cancer. *Scientific reports*, 7, 40719.
- [24] Werstuck, G. H., Lentz, S. R., Dayal, S., Hossain, G. S., Sood, S. K., Shi, Y. Y., Zhou, J., Maeda, N., Krisans, S. K., Malinow, M. R., Austin, R. C. 2001. Homocysteine-induced endoplasmic reticulum stress causes dysregulation of the cholesterol and triglyceride biosynthetic pathways. *The Journal of clinical investigation*, 107(10), 1263.
- [25] Yu, X., Lv, J., Zhu, Y., Duan, L., Ma, L. 2013. Homocysteine inhibits hepatocyte proliferation via endoplasmic reticulum stress. *PLoS One*, 8(1), e54265.
- [26] Gartel A. L. 2006. Is p21 an oncogene?. *Molecular cancer therapeutics*, 5(6), 1385–1386.
- [27] Bertoli, C., Skotheim, J. M., de Bruin, R. A. 2013. Control of cell cycle transcription during G1 and S phases. *Nature reviews. Molecular cell biology*, 14(8), 518–528.
- [28] Lloyd, R. V., Erickson, L. A., Jin, L., Kulig, E., Qian, X., Cheville, J. C., Scheithauer, B. W. 1999. p27kip1: a multifunctional cyclin-dependent kinase inhibitor with prognostic significance in

- human cancers. *The American journal of pathology*, 154(2), 313–323.
- [29] Vlach, J., Hennecke, S., Amati, B. 1997. Phosphorylation-dependent degradation of the cyclin-dependent kinase inhibitor p27. *The EMBO journal*, 16(17), 5334–5344.
- [30] Jordan, V. C. 1992. The role of tamoxifen in the treatment and prevention of breast cancer. *Current problems in cancer*, 16(3), 129–176.
- [31] Manna, S., Holz, M. K. 2016. Tamoxifen action in ER-negative breast cancer. *Signal transduction insights*, 5, 1–7.
- [32] Vasan, N., Baselga, J., Hyman, D. M. 2019. A view on drug resistance in cancer. *Nature*, 575(7782), 299–309.
- [33] Strakova, J., Williams, K. T., Gupta, S., Schalinske, K. L., Kruger, W. D., Rozen, R., Jiracek, J., Li, L., Garrow, T. A. 2010. Dietary intake of S-(alpha-carboxybutyl)-DL-homocysteine induces hyperhomocysteinemia in rats. *Nutrition research*, 30(7), 492-500.
- [34] Ming, J., Ruan, S., Wang, M., Ye, D., Fan, N., Meng, Q., Tian, B., Huang, T. 2015. A novel chemical, STF-083010, reverses tamoxifen-related drug resistance in breast cancer by inhibiting IRE1/XBP1. *Oncotarget*, 6(38), 40692–40703.
- [35] Oyadomari, S., Mori, M. 2004. Roles of CHOP/GADD153 in endoplasmic reticulum stress. *Cell death and differentiation*, 11(4), 381–389.

Mining Housing Features to Classify Housing Unit Price

Betül KAN KILINÇ^{*1}, Simay MİRGEN²,

¹ Eskişehir Technical University, Science Faculty, Department of Statistics, 26470, Eskişehir, Turkey

² Vakıfbank Yunussemre Branch, Yunussemre Ave. Odunpazarı Eskişehir, 26120, Turkey

(Alınış / Received: 15.02.2022, Kabul / Accepted: 28.10.2022, Online Yayınlanma / Published Online: 20.12.2022)

Keywords

Ordinal,
Logistic,
Classification,
Cross-validation

Abstract: In data mining, classification builds an interdisciplinary field upon from statistics, computer science, mathematics and many other disciplines. There are numerous statistical applications where parametric and non-parametric methods are frequently used to train data to estimate mapping function. In this study, two of the most widely used techniques are applied to a real dataset. The goal of the study is to compare the classification success of ordinal logistic regression and the classification trees and to predict a categorical response. For this purpose, the potential factors affecting the housing unit price for sale as being the dependent variable with three classes in Eskişehir were examined. The real data set was split into three as train, validation and test groups. The classification performance of the techniques was demonstrated with 5-fold cross validation technique. According to the results, a more successful classification was made with the classification trees algorithm.

Konut Özellikleri Madencilikle Konut Birim Fiyatlarını Sınıflandırması

Anahtar Kelimeler

Sıralı,
Lojistik,
Sınıflandırma,
Çapraz Geçerlilik

Öz: Sınıflandırma, istatistik, bilgisayar bilimi, matematik ve diğer birçok disiplin arasında veri madenciliği ile ortak bir alan yaratır. Bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki ilişkiyi sınıflandırmak için sıklıkla kullanılan parametrik ve parametrik olmayan pek çok istatistiksel uygulamalar bulunmaktadır. Bu çalışmada yaygın olarak kullanılan iki sınıflandırma tekniği kullanılmıştır. Çalışmanın amacı, sıralı lojistik regresyon ve sınıflandırma ağaçları tekniklerinin sınıflandırma başarısını karşılaştırmaktır. Bu amaçla, Eskişehir’de üç sınıflı bağımlı değişken olarak ele alınan konut birim fiyatlarını konut birim fiyatlarını etkileyen potansiyel faktörler incelenmiştir. Gerçek veri seti, eğitim, doğrulama ve test olmak üzere üç gruba bölünmüştür. Bu tekniklerin sınıflandırma başarısı, 5 katlı çapraz geçerlilik ile gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, daha başarılı bir sınıflandırma, sınıflandırma ağaçları algoritmasıyla elde edilmiştir.

1. Introduction

Classification is one of the main issues in data mining studied by scientists from numerous disciplines. Major classification techniques can be found in a literature search. Among the classification methods, logistic regression and classification trees can be used for classification purpose. The aim of both methods is to determine the relationship between predictors and a particular outcome with the qualitative characteristic and find the best fitting model.

Initial studies for the use of logistic regression model were developed by Berkson (1944) and this model was used by Finney (1971) as an alternative to probit analysis for biological experiments [1,2]. There are many statistical literatures on the dichotomous outcome variable [3,4]. Also, Aranda-Ordaz (1981) and Johnson (1985) studied the goodness of fit for a logistic model [5,6]. The most well-known models produced by several scientists for estimating an ordinal outcome variable are the proportional odds (PO) models [7,8]. Most of these models have their own assumptions and pre-defined underlying

relationships between dependent and predictors. Although this method is popular, it can appropriately not handle with the potential nonlinear relationship between variables [9]. Also, performance of these regression models is affected by outliers and multicollinearity.

Pakgohar et al. (2010) studied Classification and Regression Trees (CART) and Multinomial Logistic Regression to investigate drivers' characteristics in the resulting crash severity [10]. They found that the CART method provided more simpler, precise and easier results to interpret.

Classification and regression trees (CART) are flexible, fast and accurate and often preferred in statistical applications. They can be easily applied and interpreted as they are more robust to the presence of outliers [11,12]. CART is a nonparametric model with no predefined definition of underlying relationships between exploratory variables and the dependent variable. Due to the increasing computational resources after 90' s, the more flexible methods of data mining became available.

Friedman was the first who applied recursive partitioning method [13]. Several applications for classification purpose can be found in a literature search [14,15].

Nagalla et al. (2017) examined the driver's gap acceptance behaviour by using nonparametric data-mining techniques namely, support vector machines, random forests and decision trees [16]. They modeled the gap acceptance behaviour of the driver to predict whether the gap would be accepted or rejected. Similarly, decision trees are used to identify the main factors affecting the severity of road accidents [17].

It is well-known that the tree actually simplifies the classification process. The tree grows by the responses to the questions asked to the independent variables. Hence, they are seen as tree branches so that the variables affecting the dependent variable and the importance of these variables in the model can be examined visually without data complexity.

In this study, it is aimed to compare the modelling success of these two methods by using k-fold cross validation. This paper is organized as follows. Ordinal logistic regression and classification and regression trees methods are described first. Next section introduces how the data are collected from a website. After then, application section includes the results from ordinal logistic regression and classification tree algorithm that were performed to classify a response variable with three classes. Last section presents the conclusion.

2. Methodology

2.1. Ordinal logistic regression

In the logistic regression model, the ordered logistic regression model is used if the dependent variable has at least three categories and the categories are ordered from small to large in a natural order [18-24]. For example, the severity of the disease (from the least severe to the most severe) can be measured on scales such as customer satisfaction (not satisfied, slightly satisfied, very satisfied) [24,25].

Ordinal logistic regression (OLR) model is one of appropriate technique to determine the relationship between dependent variables with unequal ordered categories and independent variables. In order to obtain the ordinal logistic regression model, a link function is used. Logit, probit and cloglog are the link functions often used [26]. For an ordinal logistic regression, the regression coefficients do not depend on the categories of the ordered response, hence the regression coefficients estimated using the link function are the same at each cut-off point (threshold value) [27,28].

An important approach in the formation of the model is that it is assumed to be rearranged from an unobserved continuous latent dependent variable under the influence of the ordered categorical dependent variable. Second, there is the assumption of parallel lines, which is considered the most prominent feature of the ordinal logistic regression model. The parallel regression (lines) assumption is that the regression coefficients (except the intercept) are assumed to be equal in all categories of the ordered dependent variable. That means that the relationship between the predictors and the dependent variable does not vary according to the categories of the dependent variable. In the ordinal logistic regression, when this assumption is hold with $j-1$ logistic comparison for the dependent variable having J categories, there are α_{j-1} cut off points and $j-1$ parameters [29,30].

In an OLR model, the number of categories of the dependent variable are more than two levels. The model estimates the probability being at or below a specific category of the dependent variable given a group of independent variables. The ordinal logistic regression model can be expressed in the logit form as:

$$\begin{aligned} \ln(Y_j) &= \text{logit}(\pi(x)) \\ &= \ln\left(\frac{\pi(x)}{1-\pi(x)}\right) \\ &= \alpha_j + (-\beta_1 x_1 - \beta_2 x_2 - \dots - \beta_p x_p) \end{aligned} \quad (1)$$

where $\pi_j(\mathbf{x}) = \pi(Y \leq j | x_1, x_2, \dots, x_p)$ is the probability of being at or below category j , given a set of predictors, $j=1,2,\dots,J-1$, α_j are the cut points and $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_p$ are the logit coefficients [29-32].

The equal logit slope (proportional odds assumption) can be expressed by Brant test [33].

2.2. Classification and regression trees (CART)

The classification and regression tree algorithm (CART) is a non-parametric statistical technique that is used to analyse and estimate the values of both categorical and continuous dependent variables. It is very common in applications since it does not require any assumptions for the data set. Decision tree models can be used to determine the relationship between variables and to make predictions from the data. In these models, the leaves arise with the responses from the questions of the independent variable. This forms the tree branches visually and show the independent variables that affect the dependent variable.

In classification procedure, the objective is to develop a tree-based model that classifies observations into one of k pre-determined categories. The final tree model can be obtained as a series of conditional probabilities (posterior probabilities) of category membership given a set of covariate values. For each terminal node, a probability distribution for category membership is obtained as in the following where the probabilities are of the form:

$$\hat{P}(C_j | \mathbf{x} \in T_A) \text{ where } \sum_{j=1}^k \hat{P}(C_j | \mathbf{x} \in T_A) = 1 \quad (2)$$

Here, T_A is a terminal node defined by the set of predictors \mathbf{x} .

The terminal nodes are found by a number of binary splits chosen to minimize the overall 'loss' of the resulting tree. One method is to construct classification trees so that the overall misclassification rate is minimized. In classification problems, the prior knowledge is represented by prior probabilities of an observation being from category j , denoted by π_j . Note that, $\sum_{j=1}^k \pi_j = 1$. The modeling process is the cost or loss incurred by classifying an object from category j as being from category i and vice versa. The aim of the classification process regarding to the growth of the tree is to avoid making the most costly misclassifications on our training data set.

There are different criteria to split the tree. In this paper, Gini index is used and can be defined for node c as:

$$\text{Gini}(c) = 1 - \sum_j p^2(j|c) \quad (3)$$

where $p(j|c) = p(j, c)/p(c)$, $p(j, c) = \pi_j N_j(c)/N_j$ and $p(c) = \sum_j p(j, c)$, j ; number of target classes, π_j ; prior probability for class j , $p(j|c)$; conditional probability of a case being in class j provided that is in node m , $N_j(c)$; number of cases of class j of node m , N_j ; number of cases of class j in the root node.

Gini index measures the degree of purity of the node. The tree procedure achieves the maximum purity in the node, hence the best split is the one that minimizes Gini index. This achieves the maximal tree that overfits the data. The complexity of the tree is decreased by pruning the tree [12].

2.3 Confusion matrix

Confusion matrix is a $n \times n$ table that represents the true positives, false positives, true negatives, false negatives and misclassifying counts. Table 1 reports the counts in each cell as defined:

Table 1. 3-class Confusion matrix

Actual	Prediction			False Negative	Recall
	Class 1	Class 2	Class3		
Class 1	c1	c2	c3	c2+c3	c1/(c1+c2+c3)
Class 2	c4	c5	c6	c4+c6	c5/(c4+c5+c6)
Class 3	c7	c8	c9	c7+c8	c9/(c7+c8+c9)
False positive	c4+c7	c5+c8	c6+c9		
Precision	c1/(c1+c4+c7)	c5/(c2+c5+c8)	c9/(c3+c6+c9)		

$$\text{Accuracy: } (c1 + c5 + c9) / \sum_{i=1}^9 c_i \quad (4)$$

The misclassifying counts are all of the counts except $c1$, $c5$ and $c9$. Predictive values (positive and negative) reflect the performance of the prediction. Positive Prediction Value (PPV or precision) represents the proportion of positive samples that are correctly classified to the total number of positive predicted samples. On other hand, Negative

Predictive Value (NPV), inverse precision, measures the proportion of negative samples that are correctly classified to the total number of negative predicted samples. Prevalence is all positives over total samples.

3. Application

In this study, it was aimed to classify the housing unit price by both ordinal logistic regression and classification trees. Then, the comparison of the

classification performance was tested by using 5-fold cross validation. The potential variables that may affect housing unit prices in Eskisehir province, Turkey, were considered for comparisons. The data published from October 2018 to May 2019 on a widely website was used in the analysis. The number of 280 houses for sale in Eskisehir were used. The characteristics of the houses used in the analysis are features are price of houses, age, the type of room, land, bedroom, the number of bathrooms, garage, social environments around (shopping center, hospital, school, sport center, etc.), with/without balcony, the floor of the apartment, with/without elevator and the area where the apartment is located.

The ratio of the house unit price, (TL/m²) was calculated by dividing house prices by their square meters. It was classified into three categories in an ordered structure. To determine the category borders, the housing unit prices which were published online by Central Bank of the Republic of Turkey (TL/m²) for 2018 on March 11, 2019 were used (EVDS, Electronic Data Delivery System). The minimum price 2.118,52 (TL/m²) and the maximum 2.314,83 (TL/m²) were used to create the boundary of the categories such as low, expensive, and moderate elsewhere.

As the ordinal logistic regression has a primary effect on variable selection due to the assumptions it has to provide, the variables that did not provide the parallel regression assumption were ignored. According to the results of parallel lines test, chi-square test statistic was obtained as 30.678 with 10 degrees of freedom ($p=0.000$). This result stated that the null hypothesis was rejected at 0.05 significance level. Then, it was decided to use with the variables that were provided by the test of parallel lines. Hence, the status of garden, the status of elevator and the variable district were used for further comparisons. In all the analysis, SPSS 24.0 and R-Studio 1.0.153 (Mac OS X 10.12.6) were used.

The number of observations and the percentages for the unit price, type, elevator and district are shown in Figure 1. The 'Low' category consists of 137 observations as the 48.93% of all data, the 'moderate' category consists of 81 observations at 28.93%, and the 'High' category consists of 62 observations at 22.14%. Note that the independent variables that are considered to be effective on the unit price are the type (with- coded as 1/without garden-coded as 0), elevator, and district. These three variables were chosen because they provide parallelism assumption. The variable 'garage' was coded as 1 (with property garage), 0 (without the property garage) elsewhere. As shown in Figure 1, there are 245 observations without garden at 87.50% and 35 observations with garden at 12.50%. The variable 'elevator' consists of two categories coded as 1 (with property elevator) and elsewhere 0 (without the property elevator). As

shown in Figure 1, it consists of 127 observations elevator at 45.36% without and 153 observations with elevator at 54.64%. The variable 'district' consists of two locational categories: Odunpazarı or Tepebaşı. It can be also seen from the figure that, 122 apartments located in Odunpazarı at 43.57% and 158 observations in Tepebaşı at 56.43%.

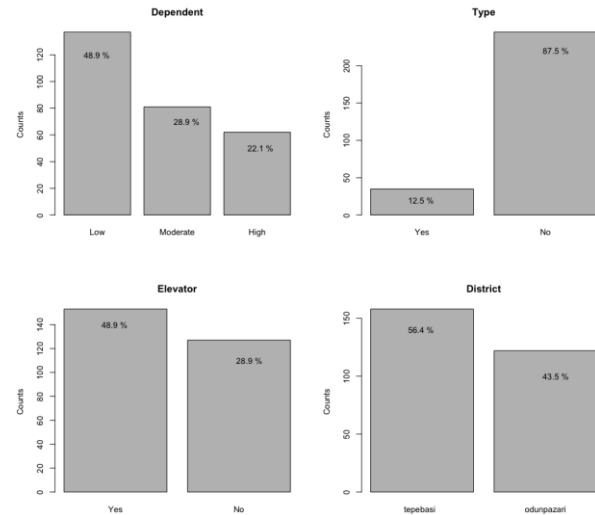


Figure 1. Bar charts for variables: dependent, type (with/without garden), elevator, and district.

In this paper, the comparison of the classification performance of the parametric and nonparametric techniques was discussed and compared. For this purpose, one of the parametric methods, ordinal logistic regression, which is a special form of logistic regression, was used. On the other hand, due to the nature of the dependent variable was categorical, a non-parametric method, the classification trees was performed. There are similar studies that use and compare both techniques for other real World problems such as churn analysis and disease and evapotranspiration prediction [34-36]. In order to demonstrate the performance success of both techniques, the validity of the models was tested by 5-fold cross validation. Using the results, statistical inferences about the best model was explained.

4. Results

The model fitting for the ordinal logistic regression (OLR) is based on likelihood values. The log likelihood value indicates the probability that the dependent variable is estimated well by the estimators. The log Likelihood value is approximately chi-square distributed under the null hypothesis that indicated model was good without estimators, whereas the alternative hypothesis stated that the model was not good without estimators. According to these results, the $-2\log L$ statistic was rejected with a value of $p = 0.000$ at 0.05 (= alpha) significance level (since $p < 0.05$). Therefore, the OLR model with the estimators provided a statistically significant contribution.

In the chi-square goodness of fit test, the null hypothesis states that the model was compatible with the data, whereas the alternative hypothesis asserts the opposite. The results from the test indicated that the chi-square test statistic was obtained as 11.30 with the corresponding p value ($=0.419$). The model was compatible with the data at 0.05 significance level.

In OLR model, the likelihood ratio test is used to test the parallel lines assumption in order to interpret the coefficients and odds ratios. The null hypothesis is constructed as follows: the regression coefficients in the model are the same in all categories of the dependent variable. Considering the likelihood ratio test results, the regression coefficients in the model are the same in all categories of the dependent variable at 0.05 significance level with the

corresponding p value ($=0.080$). That indicated the assumption of parallel lines assumption was hold.

5. Comparison of Modeling Achievements

In order to measure the classification performance of the models obtained by two methods, the data set was split into three sets such as training (50%), validation (25%) and test (25%) [37]. To avoid overfitting 5-fold cross validation was used, after the training and validation data sets were used for modelling. Accordingly, the best performing technique was selected in the validation data set and the performance comparison was reperformed in the test set that was not used before. For the results obtained in the models that were given in Table 2, the one with high accuracy was preferred.

Table 2. Performance criteria for train, validation and test data sets

Model	Train Acc. (%)	Train		Validation Acc.	Validation		Test Acc.	Test	
		Misclassification (%)			Misclassification(%)			Misclassification(%)	
OLR	71.8	28.2		62.7	37.3		64.8	35.2	
CART	73.5	26.5		72.9	27.1		74.1	25.9	

Comparing the results from training sets in Table 1, CT provided a more successful model than the OLR with an accuracy of 0.735. The validation data set was used to choose between two methods. CT algorithm provides and accuracy of 0.729 while ordinal logistic regression has an accuracy of 0.627. The results show similarity in the test data (results obtained from data that has never been used) and support the results in the validation data.

The confusion matrices for the three categories of the dependent variable obtained from both models are shown in Table 3. The additional criterion such as sensitivity, specificity, PPV (positive predictive value), NPV (negative predictive value) and prevalence are provided in the Table 3 both for ordinal logistic regression model and classification tree model.

In the OLR model, the rate of 'Low' cases that are correctly classified from the total number of real 'Low' cases in the data set is 0.8302. Similarly, the rate of 'High' cases that are correctly classified from the total number of real 'High' cases in the data set is 0.8667. However, the rate of 'Moderate' cases that are correctly classified from the total number of real 'Moderate' cases in the data set is 0.00.

In the classification tree model, the rate of 'Low' cases that are correctly classified from the total number of real 'Low' cases in the data set and the rate of 'High' cases that are correctly classified from the total number of real 'High' cases in the data set are 0.8113 and 0.8333, respectively. While the sensitivity for 'Moderate' cases is obtained as 0.00 in the OLR model, the sensitivity for the same cases in the CT model is as 0.48. From here it can be said that the CT model performed better in terms of sensitivity.

Table 3. Confusion matrix for ordinal logistic regression and classification trees model

Criteria	OLR			CT		
	Low	Moderate	High	Low	Moderate	High
Sensitivity (Recall)	0.8302	0.0000	0.8667	0.8113	0.4800	0.8333
Specificity	0.6364	1.000	0.7692	0.7273	0.8916	0.9487
PPV	0.6875	NaN	0.5909	0.7414	0.5714	0.8621
NPV	0.7955	0.7685	0.9375	0.8000	0.8506	0.9367
Prevalence	0.4907	0.2315	0.2778	0.4907	0.2315	0.2778

Specificity means the probability of a negative decision being correct. In the OLR model, the rate of estimating observations that are not in the 'Low' cases but in other cases ('Moderate and High') is 0.6364. The ratio of observations that are not actually in the 'Moderate' cases is estimated as 1,000 but in other cases and the ratio of observations that are not in the 'High' but in other cases is 0.7692. From this it is seen that the decision which is actually negative is

highly likely to be selected as negative. In the analysis of classification trees, specificities were obtained higher than the specificity values in OLR model.

In order to determine the overall frequency of the positive class, the prevalence values are examined. The prevalence values were the same for both OLR and CT models. Kappa statistic that is interpreted as moderate compatibility between the categories [38]

is obtained as 0.41 in OLR model while it is 0.58 in CT model.

Compared to accuracy values obtained from both analyses, the correct classification ratio is 0.648 in the OLR model while it is 0.74 in CT model. Hence the classification trees algorithm overperformed OLR in terms of accuracy.

6. Conclusion

In this study, the housing unit price was predicted by using ordinal logistic regression and classification trees algorithm to compare the classification performance of both techniques. Two appropriate models have been successfully established with the knowledge of the variables such as garden status, elevator status, age, land, the number of rooms, bedroom and bathroom, amenities, balcony status, floor and district are thought to be effective on housing unit prices in Eskisehir. Due to the existence of the independent variables violating the parallel regression assumption, the number of significant variables providing the assumption are considered for further analysis.

For comparisons, the data set was divided into three parts to measure the classification success of the models. Hence, 50% of all data were used as training data to form a model, 25% were used for validation and 25% were used to test the accuracy of classification rules. The best performing method was selected in the validation data set and the performance comparison was re-performed in the 25% data set which was not used before. In the test dataset, the classification success of the model established with the ordinal logistic regression was not better than the classification success of the model established with the classification tree algorithm in terms of accuracy. Accordingly, the more successful model was obtained by classification trees.

Existing data and the results obtained from the successes of these techniques will guide future studies in different areas of application for data with the same characteristics. Also, a future study may include different methods to examine the performance of the methods when missing values are present both in explanatory variables and in the dependent variable.

Author contribution statements

In this study, the contributions of the authors are as follows: The first author in formation of the idea, design and application and reviewing. The second author in collecting data, assessment of the results, reporting the results.

Declaration of Ethical Code

In this study, we undertake that all the rules required to be followed within the scope of the "Higher Education Institutions Scientific Research and Publication Ethics Directive" are complied with, and that none of the actions stated under the heading "Actions Against Scientific Research and Publication Ethics" are not carried out.

References

- [1] Berkson, J. 1944. Application of the Logistic Function to Bio-assay. *Journal of the American Statistical Association*, 39(227), 357-365.
- [2] Finney, D.J. 1971. *Probit Analysis*. 3rd, Cambridge University Press. Cambridge.
- [3] Freeman, D.H. 1987. *Applied Categorical Data Analysis*. Marcel Dekker Inc., New York.
- [4] Cox, D.R. 1970. *Analysis of Binary Data*. 2nd, Chapman and Hall, London.
- [5] Aranda-Ordaz, FJ. 1981. On Two Families of Transformations to Additive for Binary Response. *Biometrika*, 68(2), 357-363.
- [6] Johnson, W. 1985. Influence Measures for Logistic Regression: Another Point of View. *Biometrika*, 72(1), 59-65.
- [7] McCullagh, P. 1980. Regression Models for Ordinal Data. *Journal of the Royal Statistical Society. Series B*, 42(2), 109-127.
- [8] Ananth, C.V., Kleinbaum, D.G. 1997. Regression Models for Ordinal Responses: A Review of Methods and Applications. *International Journal of Epidemiology*, 26(6), 1323-1333.
- [9] Blanco, B., Pino-Mejias, R., Lara, J., Rayo, S. 2013. Credit Scoring Models for the Microfinance Industry Using Neural Networks: Evidence from Peru. *Expert System Applications*, 40(1), 356-364.
- [10] Pakgohar, A., Tabrizi, R.S., Khalilli, M., Esmaeili, A. 2010. The Role of Human Factor in Incidence and Severity of Road Crashes Based on the CART and LR Regression: A Data Mining Approach. *Procedia Computer Science*, 3(8), 764-769.
- [11] Twala, B. 2010. Multiple Classifier Application to Credit Risk Assessment. *Expert System Applications*, 37, 3326-3336.
- [12] Breiman, L., Friedman, J., Olsen, R., Stone, C. 1984. *Classification and Regression Trees*. Chapman & Hall, New York.
- [13] Friedman, J.H. 1991. Multivariate Adaptive Regression Splines. *The Annals of Statistics*, 19(1), 1-67.

- [14] Fu, C.Y. 2004. Combining Loglinear Model with Classification and Regression Tree (CART): An Application to Birth Data". *Computational Statistics & Data Analysis*, 45(4), 865-874.
- [15] Timofeev, R. 2004. Classification and regression Trees (CART) theory and applications. Humbolt University, MSc Thesis, Berlin.
- [16] Nagalla, R., Pothuganti, P., Pawar, D.S. 2017. Analyzing Gap Acceptance Behavior at Unsignalized Intersections Using Support Vector Machines, Decision Tree and Random Forests. *Procedia Computer Science*, 109C, 474-481.
- [17] Griselda, L., Juan, De O, Joaquin, A. 2012. Using Decision Trees to Extract Decision Rules From Police Reports on Road Accidents. *Procedia Social and Behavioral Sciences*, 53, 106-114.
- [18] Agresti, A. 2007. *An Introduction to Categorical Data Analysis*, 2nd, Wiley and Sons, New York.
- [19] O'Connell, A.A. 2000. Methods for Modeling Ordinal Outcome Variables. *Measurement and Evaluation in Counseling and Development*, 33(3), 170-193.
- [20] O'Connell, A.A. 2006. *Logistic Regression Models for Ordinal Response Variables*. Thousand Oaks, SAGE, CA USA.
- [21] O'Connell, A.A., Liu, X. 2011. Model Diagnostics for Proportional and Partial Proportional Odds Models. *Journal of Modern Applied Statistical Methods*, 10(1), 139-175.
- [22] Powers, D.A., Xie, Y. 2000. *Statistical Models for Categorical Data Analysis*. Academic Press, San Diego USA.
- [23] Hardin, J.W., Hilbe, J.M. 2007. *Generalized Linear Models and Extensions*, 2nd, Stata Press, Texas USA.
- [24] Montgomery, D.C., Peck, E.A. Vining, G.G. 2013. *Introduction to Linear Regression Analysis*. 5th, Wiley, USA.
- [25] Lawson, C., Montgomery, D.C. 2006. Logistic Regression Analysis of Customer Satisfaction Data. *Quality and Reliability Engineering International*, 22(8), 971-984.
- [26] Liao, T.F. 1994. *Interpreting Probability Models: Logit, Probit, and Other Generalized Linear Models*. Quantitative Applications in the Social Sciences, Sage Publications, 101.
- [27] Chen, C.K., Hughes, J. 2004. Using ordinal regression model to analyze student satisfaction questionnaires. *Association for Institutional Research*, 1, 1-13.
- [28] Breslaw, J., McIntosh, J. 1998. Simulated Latent Variable Estimation of Models with Ordered Categorical Data. *Journal of Econometrics*, 87(1), 25-47.
- [29] Kleinbaum, D.G., Klein, M. 2010. *Logistic Regression: A Self-Learning Text*. 3rd, Springer, New York USA.
- [30] Hosmer, Jr D.W., Lemeshow, S., Sturdivant, R.X. 2013. *Applied Logistic Regression*. John Wiley and Sons, New York USA.
- [31] Long, J.S. 1997. *Regression Models for Categorical and Limited Dependent Variables*. Advanced Quantitative Techniques in The Social Sciences. Sage Publications, 7, 1997.
- [32] Long, J.S., Freese, J. 2006. *Regression Models for Categorical Dependent Variables Using Stata*. 2nd, Stata Press, Texas USA.
- [33] Brant, R. 1990. Assessing Proportionality in The Proportional Odds Model for Ordinal Logistic Regression. *Biometrics*, 46(4), 1171-1178.
- [34] Rai, S., Khandelwal, N., Boghey, R., 2020. Analysis of Customer Churn Prediction in Telecom Sector Using CART Algorithm. 1st International Conference On Sustainable Technologies For Computational Intelligence Book Series: Advances in Intelligent Systems and Computing, 1045, 457-466.
- [35] Liu, Y.F., Ma, B.Y., Wang, Y. 2021. Study on Prediction Model of Stroke Risk Based on Decision Tree and Regression Model. 2021 IEEE International Conference On Big Data (Big Data), December 15-18, Virtual, 4798-4801.
- [36] Tareq, W.K., Shukur, O.B. 2021. Using Cart Approach for Classifying Climatic Status of Mosul City. *Journal Of Agricultural And Statistical Sciences*, 17, 2325-2331.
- [37] Brian, R. 1996. *Pattern Recognition and Neural Networks*, Cambridge University Press, 354s, Cambridge.
- [38] Landis, J.R., Koch, G.G. 1977. The Measurement of Observer Agreement for Categorical Data. *Biometrics*, 33(1), 159-174.

***In vitro* Investigation of Rutin-Loaded PLGA Nanoparticles on *Leishmania infantum* Promastigotes**

Fulya KAHVECİOĞLU ÇETİN^{*1}, Sezen CANIM ATEŞ²

¹İstanbul Yeni Yüzyıl University, Vocational School of Health Care Services, Audiometry Program, 34010, İstanbul, Türkiye

²İstanbul Yeni Yüzyıl University, Faculty of Engineering and Architecture, Department of Biomedical Engineering, 34010, İstanbul, Türkiye

(Alınış / Received: 15.02.2022, Kabul / Accepted: 01.07.2022, Online Yayınlanma / Published Online: 20.12.2022)

Keywords

Leishmaniasis,
Antileishmanial efficacy,
Flavonoid,
Rutin,
PLGA

Abstract: Leishmaniasis is a group of illnesses occasioned *Leishmania (L.)* parasites transmitted by the bites of infected female *Phlebotominae* class flies and it is endemic in 102 countries. It is seen worldwide, particularly in developing countries. In the present study, the antileishmanial efficacy of free rutin and nanoparticles formed by encapsulating flavonoid rutin in a polymer nanoparticle system on *Leishmania infantum* promastigotes were contrasted. The efficacy of rutin-loaded PLGA nanoparticles (RT)_{NPs} on the proliferation of promastigote form of *L. infantum* parasites was examined for the first time by counting the *in vitro* antileishmanial activities of (RT)_{NPs} using the MTT assay and counting on the thoma slide. It has been observed that (RT)_{NPs} significant affect the proliferation of parasites at concentrations of 1000, 750, and 500 µg/ml at 72nd and 96th hours. The viability% value decreased 10-fold at 1000 µg/ml concentration of (RT)_{NPs}. While the IC₅₀ value of promastigote form of *L. infantum* parasites was 29.2 ± 4.5 µg/ml in the specimens treated with RT at varied concentrations, the IC₅₀ value of promastigote form of *L. infantum* parasites was found to be 23.0 ± 2.7 µg/ml in the specimens treated with (RT)_{NPs}. It was observed that the absorbance measurements of (RT)_{NPs} were lower compared to RT at concentrations of 1000, 750, and 500 µg/ml at 48th hour.

Rutin Yüklü PLGA Nanopartiküllerinin *Leishmania infantum* Promastigotları Üzerinde *In vitro* İncelenmesi

Anahtar Kelimeler

Leishmaniasis,
Antileishmanial etkinlik,
Flavonoid,
Rutin,
PLGA

Öz: Leishmaniasis, enfekte dişi *Phlebotominae* sınıfı sineklerin ısırmasıyla bulaşan *Leishmania (L.)* parazitinin neden olduğu bir hastalık grubudur ve 102 ülkede endemiktir. Dünya genelinde bilhassa gelişmekte olan ülkelerde görülmektedir. Bu çalışmada serbest rutin ve bir polimer nanopartikül sistemi içerisine bir flavonoid olan rutin en kapsüle edilerek üretilen nanopartiküllerin *Leishmania infantum* promastigotları üzerindeki antileishmanial etkinliğini karşılaştırıldı. Rutin yüklü PLGA nanopartiküllerinin ((RT)_{NP}) *in vitro* antileishmanial etkililiklerinin MTT analiziyle ve thoma lamında sayım yapılmasıyla, ilk sefer olarak (RT)_{NP}'lerinin promastigot formdaki *L. infantum* parazitlerinin çoğalmasına etkisi incelenmiştir. (RT)_{NP}'lerinin parazitlerin çoğalmasına, 72. ve 96. saatteki 1000, 750 ve 500 µg/ml'lik konsantrasyonlarında büyük oranda etki ettiği görülmüştür. %Canlılık değeri, (RT)_{NP}'lerinin 1000 µg/ml'lik konsantrasyonunda 10 kat azalmıştır. Değişik konsantrasyonlarda RT uygulanan örneklerde, promastigot formdaki *L. infantum* parazitlerinin IC₅₀ değeri 29,2 ± 4,5 µg/ml iken (RT)_{NP}'leri uygulanan örneklerde promastigot formdaki *L. infantum* parazitlerinin IC₅₀ ölçümünün 23,0 ± 2,7 µg/ml olduğu belirlenmiştir. 48. saatteki 1000, 750 ve 500 µg/ml'lik konsantrasyonlarda (RT)_{NP}'lerinin, RT'e kıyasla absorbans ölçümlerinin daha düşük olduğu görülmüştür.

1. Introduction

Leishmaniasis is a group of illnesses occasioned more than 20 *Leishmania* parasites in the protozoa group transmitted by the bites of infected female *Phlebotominae* class flies [1]. Visceral leishmaniasis

(VL) is a systemic disorder that causes high fever, malaise, weight loss, swelling of the spleen, liver and lymph nodes, pancytopenia and anemia. VL, the strongest form of leishmaniasis, which is endemic in 102 countries, is found in many tropical and subtropical regions and war zones, particularly

affected by poverty [1-3]. The annual worldwide prevalence of leishmaniasis is approximately 12 million. In addition, 350 million people are in danger of being infected. Approximately 2 million cutaneous leishmaniasis and 500,000 VL cases are registered each year, and 60,000 deaths from the disease are reported worldwide [4, 5].

Recently, there is concern that the number of people who will get leishmaniasis is increasing due to the lack of an effective enough vaccine, the negative effects of global warming, wars and migrations. Although *Leishmania* parasites have developed resistance to pentavalent antimonials in recent years, chemotherapy is used as the gold standard in infection [1, 3, 5]. It is important to develop new antileishmanial compounds due to the inadequacy of current therapies and severe toxic reactions to conventional drugs [6]. There is immediate essential to discover new natural remedies from herbs such as herbal derivatives (flavonoids) or herbal extracts that are efficient, non-toxic, safe, and cheaper to combat such diseases [6]. Natural compounds are the source of new, potential and discriminating agents for the treatment of neglected tropical diseases, particularly protozoan parasites. Since humans have continued to use plant-derived materials for centuries, it is not surprising that herbal products are used in drug development [7]. Many compounds obtained from plant sources to date have shown antileishmanial activity potential [8].

Flavonoids are a huge group of phenolic secondary metabolites belonging to the family of natural polyphenols [9]. Rutin (RT), a flavonoid, is found mainly in different parts of plants such as fruit pods, leaves, flowers, and roots. Among the plant species, the highest rutin concentrations were found in grapes and buckwheat [10]. RT (3,3',4',5,7-pentahydroxyflavone-3-rutinoside) has been found to have many biological effects such as antimicrobial, antifungal, antioxidant, antidepressant, antiviral, antiprotozoal, antiallergic, antiulcer, anti-diabetes, and anticarcinogenic [3, 11, 12]. RT is a non-oxidizable molecule that is significantly less toxic than other bioflavonoids [13]. Therefore, RT is a promising drug candidate for the therapy of all forms of leishmaniasis with potent antileishmanial activity [7].

Poly Lactic-co-Glycolic Acid (PLGA) nanoparticles (NPs) are one of the most commonly used compounds in nanotechnology and are considered to be the best-known carriers among drug delivery systems. The PLGA macromolecule is preferred because it is biodegradable, biocompatible, and non-toxic. Furthermore, it has the approval of the American Food and Drug Administration as drug delivery systems [14-16]. One of the most important features of PLGA NPs is that it increases the bioavailability and biocompatibility of biologically active molecules such as drugs, peptides, proteins [17].

In order to exhibit their therapeutic effects, drug delivery systems are used to deliver pharmaceutical

and bioactive compounds to exact localizations in a continuous and enhanced manner [12, 14]. Polymeric nanoparticles have lately been evaluated as possible carriers for encapsulation of flavonoids. Because of the colloidal nature of NPs, they can cross various barriers in the body, with the inclusion of the gastrointestinal mucosa and blood-brain barrier [9]. PLGA has been widely used for drug release models. PLGA is one of the maximum effective structures for encapsulation of antimicrobial compounds, particularly given its high hydrophobicity, strong mechanical strength, controlled drug release, biodegradability, biocompatibility, large surface area, and non-toxicity. It also does not require surgical intervention after drug delivery [18].

Current antileishmanial drugs are cause serious side effects and very expensive. It is also known that several *Leishmania* species develop resistance to existing antileishmanial treatments. Hence, there is a serious need to improve new therapeutic targets that are less toxic, more effective, and accessible to the poorest affected population [19]. New oral therapies should be investigated for potential toxicity and emerging drug resistance [20]. It is known that RT limits clinical applications due to its low solubility in water [21]. Therefore, the main objective of the present study, to increase the antileishmanial activity by encapsulating the RT molecule, which has low solubility in water such as quercetin, with drug delivery systems.

The purpose of the present study is to investigate the antileishmanial efficacy of RT and (RT)_{NPs} on promastigote cultures of *L. infantum in vitro*, compare their efficacies, and improve a new model based on PLGA nanoparticulate drug delivery systems in the treatment of VL.

2. Material and Method

2.1. Promastigote cultures of *L. infantum*

The culture of promastigote form of *L. infantum* parasites, which is the VL agent, was carried out in Roswell Park Memorial Institute-1640 (RPMI-1640) media containing 10% FBS in a 27 °C refrigerated oven. Promastigote form of *L. infantum* parasites were cultured within RPMI-1640 medium, which was added with Gentamycin (80 mg/mL), 10% fetal bovine serum, and L-glutamine at 27 °C. An inverted microscope was used to watch the daily growing of promastigote form of *L. infantum* parasites.

2.2. Properties of (RT)_{NPs}

(RT)_{NPs} obtained from Kızılbaş [21] (shown as NP10) were made by single emulsion-solvent evaporation technique. As it described in that article; reaction yield (%), Encapsulation Efficiency (%), Average Particle Size (nm), polydispersityindexes (PDI) and ζ-

Potential Values of NP are respectively 67 ± 3 ; 87 ± 6 ; 570.3 ± 66.13 ; 0.524 ± 0.046 ; -1.80 ± 0.912 [21]. Drug Loading (DL%) value of the nanoparticles used was calculated with the formula given below [22].

$$\%DL = \frac{\text{Amount of Material Encapsulated (mg)}}{\text{The Amount of Dry Nanoparticles Obtained (mg)}} \times 100$$

Powder nanoparticles were dissolved in purified water and a 5 mg/mL solution was made ready for stock. Prior to use, the solution sterilized by sonication and afterwards by filtration with 22 μm filters. Subsequently, drug concentrations were prepared at 10, 25, 50, 100, 250, 500, 750 and 1000 $\mu\text{g/mL}$.

2.3. Investigation of antileishmanial activities of promastigote form of *L. infantum* parasites

Parasites taken from promastigote form of *L. infantum* culture incubated at 27 °C were calculated as $1 \times 10^6/\text{mL}$ and prepared using RPMI-1640 medium enriched with 10% FBS for a minimum of three specimens for each experiment. After 24 hours, RT and (RT)_{NPs} with concentrations of 10-1000 $\mu\text{g/mL}$ were added. Also, specimens containing only parasites were prepared as control groups. The effect of RT and (RT)_{NPs} on proliferation and antileishmanial activity at the 24th, 48th, 72nd, and 96th hours after the application of the determined concentrations were evaluated. Accordingly, the proliferation of promastigote form of *L. infantum* parasites was obtained by determining the parasite numbers in eppendorfs using Thoma slide. In addition, the viability % of parasites were calculated by the MTT (3-(4,5-Dimethylthiazol-2-yl)-2,5-Diphenyltetrazolium Bromide) assay to determine antileishmanial activity.

2.3.1. Proliferation assay

Proliferation was determined by counting viable promastigotes in test tubes with hemocytometry at 24th, 48th, 72nd, and 96th hours. Briefly, 100 μL of promastigote form of *L. infantum* parasites was taken from all test tubes, immobilized with 10% formalin, and counted with a hemocytometer by examining under an inverted microscope. IC₅₀ numbers of all specimens were determined by finding the concentration that inhibited semi of the promastigotes. The antileishmanial effects of the specimens were contrasted considering the IC₅₀ numbers at 24th, 48th, 72nd, and 96th hours of exposure.

2.3.2. Metabolic activity assessment

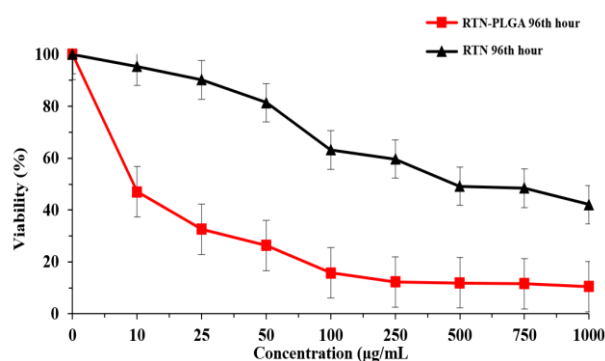
Antileishmanial activities of promastigote form of *L. infantum* parasites of RT and (RT)_{NPs} in different

concentrations were also investigated with MTT assay at the same hours used in proliferation analysis. Accordingly, promastigote form of *L. infantum* parasites were taken from the tubes at the relevant hours and transferred to a 96-well plate. Then, after adding 10 μL of sterile MTT solution (5 mg/mL) to each of, it was left to incubate at 27 °C for 4 hours. In conclusion, 100 μL of DMSO was put inside each of the microplate wells to dissolve the formazan crystals. After waiting in the dark for 30 minutes, the absorbance values of promastigotes in the wells were determined by reading them on an ELISA reader (ThermoLabsystem Multiskan Ascent) at a wavelength of 540 nm.

3. Results

3.1 Proliferation of promastigote form of *L. infantum* parasites

The effects of RT and (RT)_{NPs} on parasite count were calculated at 24th, 48th, 72nd, and 96th hours. As the concentration of RT and (RT)_{NPs} increased, the decrease in viability% values showed its effect on the proliferation of promastigote form of *L. infantum* parasites. In Graph 1, it is seen that concentrations of (RT)_{NPs} are more effective on viability% than concentrations containing RT alone. In addition, it has been determined that in specimens exposed to (RT)_{NPs}, (RT)_{NPs} reduce the number of parasites in all hours compared to the control. While (RT)_{NPs} decreased the metabolic activity values to 1/10th at a concentration of 1000 $\mu\text{g/mL}$, RT alone reduced it to about half. Thus, (RT)_{NPs} have been observed more effective than RT alone.

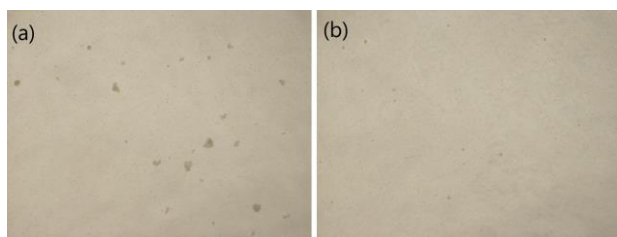


Graph 1. Antileishmanial effects of RT and (RT)_{NPs} on the proliferation of promastigote form of *L. infantum* parasites by calculating viability% values *in vitro* at the 96th hour by counting.

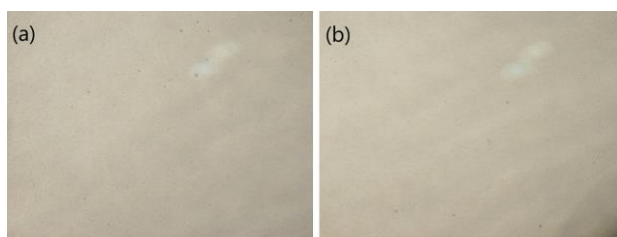
Parasite count decreased as (RT)_{NPs} concentration increased in promastigote form of *L. infantum* cultures examined at the same magnification under an inverted microscope. In addition, parasite clusters decreased (Picture 1).

Promastigote form of *L. infantum* clusters were less in specimens exposed to (RT)_{NPs} compared to RT at the same concentration (Picture 2).

Accordingly, (RT)_{NPs} exhibited a greater antileishmanial efficacy on the proliferation of promastigote form of *L. infantum* parasites than RT alone.



Picture 1. Microscopic images of promastigote form of *L. infantum* parasites exposed to (RT)_{NPs} at (a) 10 µg/mL, (b) 1000 µg/mL concentration at 48th hour (10x)

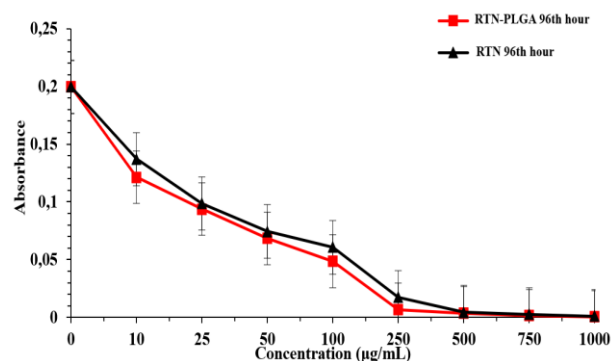


Picture 2. Microscopic images of promastigote form of *L. infantum* parasites exposed to (a) RT and (b) (RT)_{NPs} concentrations of 1000 µg/mL at 96th hour (10x)

3.2. Determination of Metabolic Activity

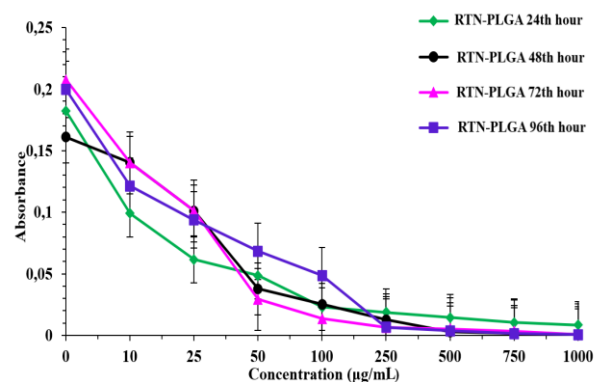
Metabolic activity monitoring was achieved in two methods: optical density and evaluation microscopic examination at 24th, 48th, 72nd, and 96th hours. In specimens exposed to RT and (RT)_{NPs}, clusters of parasites were observed to produce high formazan crystals with signs of viability and metabolic activity below 250 µg/mL and 100 µg/mL, respectively. This shows that RT and (RT)_{NPs} do not reason toxic effects on promastigote form of *L. infantum* parasites when administered at lower concentrations. Likewise, *Leishmania* parasites exposed to the same concentrations of free NPs formed purple colored formazan crystals, demonstrating that the parasites survived. On the other hand, RT and (RT)_{NPs} inhibited the production of formazan crystals at concentrations above 250 µg/mL and 100 µg/mL, respectively, and clumps of dead parasites were seen during microscopic examination. Microscopic examination showed that RT and (RT)_{NPs} were effective in inhibiting the metabolic activity of promastigote form of *L. infantum* parasites at both 750 and 1000 µg/mL concentrations, while parasites healing with free nanoparticles at the exact concentrations were metabolically active. While evaluating the optical density measurements, it was defined that RT and (RT)_{NPs} have inhibitory activities on the metabolic activities of promastigote form of *L. infantum* parasites, and free nanoparticle application didn't lead to any change according to the concentrations examined. It shows that the efficacy of RT and (RT)_{NPs} is because of the increase in concentrations. As seen in

Graph 2, the absorbance values decreased at all concentrations at the 96th hour. It has been determined that the absorbance values of RT and (RT)_{NPs} are significantly reduced compared to the control and are even more effective at high concentrations. The strongest effect was detected in the group exposed to (RT)_{NPs} [23].



Graph 2. Evaluations of antileishmanial effects of RT and (RT)_{NPs} on the metabolic activity rates of promastigote form of *L. infantum* parasites *in vitro* at the 96th hour by MTT

As seen in Graph 3, it was found that the absorbance values of promastigote form of *L. infantum* parasites exposed to (RT)_{NPs} at all concentrations gradually decreased in all hours. This proved to be an increasingly powerful effect in time until the 96th hour. As the concentration increased and the absorbance values decreased more at the 96th hour compared to the 24th hour.



Graph 3. Evaluations of antileishmanial effects of (RT)_{NPs} on the metabolic activity rates of promastigote form of *L. infantum* parasites *in vitro* at the 24th, 48th, 72nd, and 96th hours by MTT

The antileishmanial activities of promastigote form of *L. infantum* parasites in the specimens were compared considering their IC₅₀ numbers after exposure. In specimens with different concentrations of RT, it was determined that the IC₅₀ value of promastigote form of *L. infantum* parasites was 29.2 ± 4.5 µg/mL. In the specimens applied with different concentrations of (RT)_{NPs}, it was defined that the IC₅₀ value of promastigote form of *L. infantum* parasites was 23.0 ± 2.7 µg/mL. Thus, the lower IC₅₀ value of (RT)_{NPs} on promastigote form of *L. infantum* parasites compared to RT proved higher antileishmanial activity.

4. Discussion and Conclusion

The RT molecule, a flavonol, is frequently studied and used for its ability to treat many diseases. In the experiments, the effect of (RT)_{NPs} on the proliferation of promastigote form of *L. infantum* parasites was examined by enumeration in thoma slide and the *in vitro* antileishmanial activities of (RT)_{NPs} by the MTT assay. In line with the results obtained in both methods, as the concentration increased, both viability% values and absorbance values decreased. Thus, it was determined that the results obtained using different methods are compatible with each other.

Natural products of plant origin containing various flavonoids have been studied as antileishmanial candidates [24]. Various flavonoids, such as quercitrin, quercetin, and luteolin, which are abundant dietary flavones, are effective against some *Leishmania* species [25]. Nanocapsulation of RT, an important plant flavonoid, can further increase its effectiveness [26].

The consequences show that for the first time in the world, a new approach to leishmaniasis treatment can be developed based on the use of RT flavonoid loaded nanoparticles. The proliferation effect of (RT)_{NPs} was established at a concentration of 1000 µg/mL, reducing the viability% value 10 times. In the specimens applied with different concentrations of RT and (RT)_{NPs}, the IC₅₀ numbers of promastigote form of *L. infantum* parasites were determined to be 29.2 ± 4.5 µg/mL and 23.0 ± 2.7 µg/mL, respectively. At 48th hour, the absorbance measurements of RT and (RT)_{NPs} at concentrations of 500, 750, and 1000 µg/mL decreased significantly in comparison with lower concentrations. Compared to lower concentrations of RT and (RT)_{NPs}, the absorbance measurements at concentrations of 500, 750, and 1000 µg/mL decreased significantly, at 48th hour. In addition, it has been observed that the absorbance values of (RT)_{NPs} are lower compared to RT. (RT)_{NPs} compared to RT, the increase in the concentration at all hours decreased the viability% of promastigote form of *L. infantum* parasites.

The low IC₅₀ value of RT proves that it is effective against resistant parasites at concentrations that are not poisonous to the host. RT could potentially be used to treat leishmanial infections resistant to commercially available drugs such as antimony [3]. IC₅₀ numbers of RT were found to be 12.64 ± 0.86 µg/mL on susceptible promastigotes of *L. donovani* and 13.07 ± 1.42 µg/mL on resistant promastigotes [3]. In our study, the IC₅₀ value of RT was found as 29.2 ± 4.5 µg/mL on promastigote form of *L. infantum* parasites. Approximately 2 times the RT concentration used on *L. donovani* promastigotes appears to have the same antileishmanial activity when used on promastigote form of *L. infantum* parasites.

In a study by de Medeiros et al. (2019), RT-loaded microparticles showed a faster analgesic effect compared to non-microencapsulated RT [12]. Studies by Mauludin et al. (2009) have shown that the absorption of orally administered RT can be developed using a nanocrystal formulation that can be incorporated into solid dosage forms such as capsules or tablets [27, 28]. RT nanocrystals showed more effective properties than the raw drug in the case of oral administration with prolonged and increased dissolution rate [27, 28].

PLGA NPs have been studied on a large scale, particularly against cancer and infectious diseases, due to their biocompatibility and biodegradable properties that lead to controlled releases for a long time [17, 29, 30]. Active ingredients are bound to the surface or are trapped inside the nanoparticles [29, 31]. In several studies, encapsulation of antigenic molecules into PLGA nanoparticles has been shown to increase their bioavailability while reducing their toxicity [17]. In studies conducted by Abamor (2018), the fact that quercetin loaded NPs are larger compared to free NPs can be accepted as an indicator of efficient and effective encapsulation by quercetin loaded PCL NPs. Abamor (2017) in addition, the biocompatibility of PLGA NPs loaded with caffeic acid phenethyl ester has been verified [32, 33].

Pandey et al. (2018) stated that there are several articles reporting that the encapsulation of various anticancer drugs with PLGA NPs was successfully transmitted *in vitro* and *in vivo*. Treatment with (RT)_{NPs} has been shown to play a serious role in preventing the development of cancer by preventing oxidative stress [34]. In our study, the IC₅₀ value of (RT)_{NPs} on promastigote form of *L. infantum* parasites was determined as 23.0 ± 2.7 µg/mL. Thus, it is seen that the concentrations of (RT)_{NPs} used on promastigote form of *L. infantum* parasites are almost 1/4 compared to quercetin loaded PCL NPs which shows the same antileishmanial activity [35]. In addition, the IC₅₀ value of RT was found to be 29.2 ± 4.5 µg/mL on promastigote form of *L. infantum* parasites. Thus, using RT concentrations of approximately 1/5 compared to quercetin on promastigote form of *L. infantum* parasites shows the same antileishmanial activity. As a result, based on the specimens used at the same concentrations; it was found that both (RT)_{NPs} and RT showed more antileishmanial activity compared to quercetin loaded PCL NPs and quercetin, respectively [35]. In a study by Allahverdiyev et al. (2013), it was shown that titanium dioxide silver (TiO₂@Ag) nanoparticles have antileishmanial efficacy on *L. infantum* and *L. tropica* parasites by inhibiting their biological properties such as viability, metabolic activity, and survival in host cells [36]. From the articles examined, the active molecules were encapsulated in the nanoparticulate drug carrier system, showing more antileishmanial activity and thus, better results were obtained. In our

study, it was determined that (RT)_{NPs} showed more antileishmanial activity compared to free RT.

As a result, this study has shown for the first time that the antileishmanial activities of RT and (RT)_{NPs} are effective against promastigote form of *L. infantum* parasites, and it is believed that it will shed light on other studies on this subject. In addition, it has been shown that the antileishmanial activity of (RT)_{NPs} on promastigote form of *L. infantum* parasites *in vitro* is higher compared to RT alone. It is thought that the results found will guide future *in vivo* studies in investigating the utility of (RT)_{NPs} as drugs.

In conclusion, in order to be used as an alternative to the current treatment of leishmaniasis, *in vivo* antileishmanial efficacy tests of (RT)_{NPs} are recommended on promastigote form of *L. infantum* parasites, which are the VL agent. Due to the antileishmanial activity of the RT and (RT)_{NPs} we used in our study, it is believed that the results of this study can be developed with *in vivo* models and may be useful in terms of being a step for clinical studies.

Acknowledgment

The authors kindly thank to Kadriye Kızılbey for providing us synthesized and characterized RTN and RTN loaded PLGA nanoparticles.

Declaration of Ethical Code

In this study, we undertake that all the rules required to be followed within the scope of the "Higher Education Institutions Scientific Research and Publication Ethics Directive" are complied with, and that none of the actions stated under the heading "Actions Against Scientific Research and Publication Ethics" are not carried out.

References

- [1] WHO, 2016. Weekly epidemiological record. 91(22), 285-296.
- [2] Ghadimi, S. N., Sharifi, N., Osanloo, M. 2020. The leishmanicidal activity of essential oils: A systematic review. *Journal of Herbmед Pharmacology*, 9(4), 300-308.
- [3] Chauhan, K., Kaur, G., Kaur, S. 2018. Activity of rutin, a potent flavonoid against SSG-sensitive and -resistant *Leishmania donovani* parasites in experimental leishmaniasis. *International Immunopharmacology*, 64, 372-385.
- [4] Gutiérrez-Rebolledo, G. A., Drier-Jonas, S., Jiménez-Arellanes, M. A. 2017. Natural compounds and extracts from Mexican medicinal plants with anti-leishmaniasis activity: An update. *Asian Pacific Journal of Tropical Medicine*, 10(12), 1105-1110.
- [5] Abamor, E. S., Allahverdiyev, A. M., Bagirova, M., Rafailovich, M. 2017. Meglumine antimoniate-TiO₂@Ag nanoparticle combinations reduce toxicity of the drug while enhancing its antileishmanial effect. *Acta Tropica*, 169, 30-42.
- [6] Hammi, K. M., Essid, R., Tabbene, O., Elkahoui, S., Majdoub, H., Ksouri, R. 2019. Antileishmanial activity of *Moringa oleifera* leaf extracts and potential synergy with amphotericin B. *South African Journal of Botany*, 129, 67-73.
- [7] Singh, N., Mishra, B. B., Bajpai, S., Singh, R. K., Tiwari, V. K. 2014. Natural product based leads to fight against leishmaniasis. *Bioorganic & Medicinal Chemistry*, 22(1), 18-45.
- [8] Sen, R., Chatterjee, M. 2011. Plant derived therapeutics for the treatment of leishmaniasis. *Phytomedicine*, 18(12), 1056-1069.
- [9] Leonarduzzi, G., Testa, G., Sottero, B., Gamba, P., Poli, G. 2010. Design and development of nanovehicle-based delivery systems for preventive or therapeutic supplementation with flavonoids. *Current medicinal chemistry*, 17(1), 74-95.
- [10] Frutos, M. J., Rincón-Frutos, L., Valero-Cases, E. 2019. Rutin, nonvitamin and nonmineral nutritional supplements, Academic Press, 111-117.
- [11] Ganeshpurkar, A., Saluja, A. K. 2017. The pharmacological potential of rutin. *Saudi Pharmaceutical Journal*, 25(2), 149-164.
- [12] de Medeiros, D. C., Mizokami, S. S., Sfeir, N., Georgetti, S. R., Urbano, A., Casagrande, R., Verri, W. A., Baracat, M. M. 2019. Preclinical evaluation of rutin-loaded microparticles with an enhanced analgesic effect. *ACS Omega*, 4(1), 1221-1227.
- [13] Qu, S., Dai, C., Lang, F., Hu, L., Tang, Q., Wang, H., Zhang, Y., Hao, Z. 2018. Rutin attenuates vancomycin-induced nephrotoxicity by ameliorating oxidative stress, apoptosis, and inflammation in rats. *Antimicrobial Agents and Chemotherapy*, 63(1), e01545-18.
- [14] Silva, M. C. P. D., Brito, J. M., Ferreira, A. D. S., Vale, A. A. M., Santos, A. P. A. D., Silva, L. A., Pereira, P. V. S., Nascimento, F. R. F., Nicolete, R., Guerra, R. N. M. 2018. Antileishmanial and immunomodulatory effect of babassu-loaded plga microparticles: a useful drug target to *Leishmania amazonensis* infection. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2018, 1-14.
- [15] Kemme, M., Heinzl-Wieland, R. 2018. Quantitative assessment of antimicrobial activity of PLGA films loaded with 4-Hexylresorcinol. *Journal of Functional Biomaterials*, 9(1), 4.

- [16] Makadia, H. K., Siegel, S. J. 2011. Poly lactic-co-glycolic acid (PLGA) as biodegradable controlled drug delivery carrier. *Polymers*, 3(3), 1377-1397.
- [17] Derman, S., Mustafaeva, Z. A., Abamor, E. S., Bagirova, M., Allahverdiyev, A. 2015. Preparation, characterization and immunological evaluation: canine parvovirus synthetic peptide loaded PLGA nanoparticles. *Journal of Biomedical Science*, 22(1), 1-12.
- [18] Arasoğlu, T., Derman, S., Mansuroğlu, B., Uzunoğlu, D., Koçyiğit, B. S., Gümüş, B., Acar, T., Tuncer, B. 2017. Preparation, characterization, and enhanced antimicrobial activity: quercetin-loaded PLGA nanoparticles against foodborne pathogens. *Turkish Journal of Biology*, 41, 127-140.
- [19] Ahmad, A., Wei, Y., Syed, F., Khan, S., Khan, G. M., Tahir, K., Khan, A. U., Raza, M., Khan, F. U., Yuan, Q. 2016. *Isatis tinctoria* mediated synthesis of amphotericin B-bound silver nanoparticles with enhanced photoinduced antileishmanial activity: A novel green approach. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 161, 17-24.
- [20] Sousa-Batista, A. J., Escrivani-Oliveira, D., Falcão, C. A. B., Philippon, C. I. M. D. S., Rossi-Bergmann, B. 2018. Broad spectrum and safety of oral treatment with a promising nitrosylated chalcone in murine leishmaniasis. *Antimicrobial agents and chemotherapy*, 62(10), e00792-18.
- [21] Kızılbey, K. 2019. Optimization of Rutin-Loaded PLGA Nanoparticles Synthesized by Single-Emulsion Solvent Evaporation Method. *ACS Omega*, 4(1), 555-562.
- [22] Beyoğlu, G., Araç, Ö., Taşkın, D., Arayıcı, P. P., Kızılbey, K., Derman, S. 2020. Rutin Yüklü Kitosan Nanopartiküllerinin Sentezi, Karakterizasyonu ve Antioksidan Aktivitesinin Değerlendirilmesi. *Eurasian Journal of Biological and Chemical Sciences*, 3(2), 93-99.
- [23] Durak, S., Arasoglu, T., Ates, S. C., Derman, S. 2020. Enhanced antibacterial and antiparasitic activity of multifunctional polymeric nanoparticles. *Nanotechnology*, 31(17), 175705.
- [24] Grecco, S. D. S., Reimão, J. Q., Tempone, A. G., Sartorelli, P., Cunha, R. L., Romoff, P., Ferreira, M. J. P., Fávero, O. A., Lago, J. H. G.. 2012. *In vitro* antileishmanial and antitrypanosomal activities of flavanones from *Baccharis retusa* DC. (Asteraceae). *Experimental Parasitology*, 130(2), 141-145.
- [25] Manjolin, L. C., dos Reis, M. B. G., do Carmo Maquiaveli, C., Santos-Filho, O. A., da Silva, E. R. 2013. Dietary flavonoids fisetin, luteolin and their derived compounds inhibit arginase, a central enzyme in *Leishmania (Leishmania) amazonensis* infection. *Food Chemistry*, 141(3), 2253-2262.
- [26] Bhattacharjee, A., Dhara, K., Chakraborti, A. S. 2016. Argpyrimidine-tagged rutin-encapsulated biocompatible (ethylene glycol dimers) nanoparticles: Synthesis, characterization and evaluation for targeted drug delivery. *International Journal of Pharmaceutics*, 509(1-2), 507-517.
- [27] Mauludin, R., Müller, R. H., Keck, C. M. 2009. Development of an oral rutin nanocrystal formulation. *International Journal of Pharmaceutics*, 370(1-2), 202-209.
- [28] Mauludin, R., Müller, R. H., Keck, C. M. 2009. Kinetic solubility and dissolution velocity of rutin nanocrystals. *European Journal of Pharmaceutical Sciences*, 36(4-5), 502-510.
- [29] Kumari, A., Yadav, S. K., Yadav, S. C. 2010. Biodegradable polymeric nanoparticles based drug delivery systems. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 75(1), 1-18.
- [30] Muthu, M. S., Rawat, M. K., Mishra, A., Singh, S. 2009. PLGA nanoparticle formulations of risperidone: preparation and neuropharmacological evaluation. *Nanomedicine: Nanotechnology, Biology and Medicine*, 5(3), 323-333.
- [31] Bala, I., Hariharan, S., Kumar, M. R. 2004. PLGA nanoparticles in drug delivery: the state of the art. *Critical Reviews™ in Therapeutic Drug Carrier Systems*, 21(5).
- [32] Abamor, E. Ş. 2018. A New approach to the treatment of leishmaniasis: quercetin-loaded polycaprolactone nanoparticles. *Journal of the Turkish Chemical Society, Section A: Chemistry*, 1071-1082.
- [33] Abamor, E. S. 2017. Antileishmanial activities of caffeic acid phenethyl ester loaded PLGA nanoparticles against *Leishmania infantum* promastigotes and amastigotes *in vitro*. *Asian Pacific Journal of Tropical Medicine*, 10(1), 25-34.
- [34] Pandey, P., et al. 2018. Implication of nano-antioxidant therapy for treatment of hepatocellular carcinoma using PLGA nanoparticles of rutin. *Nanomedicine*, 13(8), 849-870.
- [35] Pandey, P., Rahman, M., Bhatt, P. C., Beg, S., Paul, B., Hafeez, A., Al-Abbasi, F. A., Nadeem, M. S., Baothman, O., Firoz Anwar, F., Kumar, V. 2018. Implication of nano-antioxidant therapy for treatment of hepatocellular carcinoma using PLGA nanoparticles of rutin. *Nanomedicine*, 13(8), 849-870.
- [36] Abamor, E. S., Tosyali, O. A., Bagirova, M., Allahverdiyev, A. 2018. *Nigella sativa* oil entrapped polycaprolactone nanoparticles for leishmaniasis treatment. *IET Nanobiotechnology*, 12(8), 1018-1026.

- [37] Allahverdiyev, A. M., Abamor, E. S., Bagirova, M., Baydar, S. Y., Ates, S. C., Kaya, F., Kaya, C., Rafailovich, M. 2013. Investigation of antileishmanial activities of Tio₂@Ag nanoparticles on biological properties of *L. tropica* and *L. infantum* parasites, *in vitro*. *Experimental Parasitology*, 135(1), 55-63.

Hakkari İli Domates ve Biber Üretim Alanlarında Yonca Mozaik Virüsü ve Domates Lekeli Solgunluk Virüsü'nün Belirlenmesi

Nevin AKDURA*¹, Handan ÇULAL KILIÇ²

¹Hakkari Üniversitesi, Eğitim Fakültesi, Matematik ve Fen Bilimleri Eğitimi Bölümü, 30000, Hakkari, Türkiye

²Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü, 32260, Isparta, Türkiye

(Alınış / Received: 04.03.2022, Kabul / Accepted: 15.11.2022, Online Yayınlanma / Published Online: 20.12.2022)

Anahtar Kelimeler

Domates,
Biber,
TSWV,
AMV,
DAS-ELISA

Öz: Hakkari ili domates ve biber üretim alanlarında domates lekeli solgunluk virüsü (Tomato spotted wilt virus, TSWV) ve yonca mozaik virüsü (Alfalfa mosaic virus, AMV)'nün belirlenmesi için yapılan sürveyler 2020 üretim döneminde gerçekleştirilmiştir. Domates ve biber üretim alanlarında sararma, nekroz, mozaik ve şekil bozukluğu simptomu gösteren 184 bitkiden yaprak örneği toplanmıştır. Toplanan yaprak örneklerinde TSWV ve AMV'nin belirlenmesi için Double antibody sandwich enzyme linked immunosorbent assay (DAS-ELISA) yöntemi kullanılmıştır. DAS-ELISA yöntemine göre toplam 184 yaprak örneğinden 26 adedinin TSWV ve 2 adedinin AMV ile enfekteli olduğu saptanmıştır. Toplanan örneklerde karışık enfeksiyona rastlanmamıştır. Bu çalışma Hakkari ili domates ve biber alanlarında TSWV ve AMV'nin tanınması bakımından yapılan ilk çalışmadır.

Detection of Alfalfa Mosaic Virus and Tomato Spotted Wilt Virus in Tomato and Pepper Growing Areas of Hakkari Province

Keywords

Tomato,
Pepper,
TSWV,
AMV,
DAS-ELISA

Abstract: In order to determine of TSWV and AMV in tomato and pepper, surveys were conducted during the growing season of 2020. A total of 184 leaf samples were collected from tomato and pepper plants exhibiting yellowing, necrosis, mosaic and deformation. Collected samples were tested by Double antibody sandwich enzyme linked immunosorbent assay (DAS-ELISA) for detection of Tomato spotted wilt virus (TSWV) and Alfalfa mosaic virus (AMV). As a result of DAS-ELISA test, 26 out of 184 leaf samples were found infected with TSWV, 2 out of 184 leaf samples were found infected with AMV. No mixed infections were found in collected samples. In this study, the presence of TSWV and AMV were revealed for the first time in tomato and pepper areas in Hakkari province.

1. Giriş

Dünya nüfusunun artmasına paralel olarak, gıda maddelerine olan gereksinim de artmaktadır. Geniş tür ve çeşit yelpazesine sahip olan sebzeler dünyanın birçok ülkesinde yetiştirilmekte olup kültür bitkileri arasında çok önemli bir yere sahiptirler. Ülkemizde meyvesi yenen sebzelerin içerisinde ilk sırayı domates ve biber almaktadır [1].

Domates ve biber bitkisi *Solanaceae* familyasının içinde yer almakta ve meyveleri yenen tek yıllık kültür bitkisi olarak tanımlanmaktadır [2, 3].

Ülkemizde 2021 yılı itibari ile 31.8 milyon ton sebze üretimi yapılmaktadır. Bunun içerisinde domates üretim miktarı 174.437 hektar alanda 13 milyon tondur. Biber üretimi ise toplam 77.786 hektar alanda;

160.469 ton çarliston, 1.064.633 ton sivri biber, 420.918 ton dolmalık biber ve 1.445.275 ton kapyra, salçalık biber üretimi gerçekleştirilmektedir [4].

Diğer kültür bitkilerinde olduğu gibi domates ve biberin yetiştiriciliğini de sınırlayan abiyotik ve biyotik faktörler bulunmaktadır. Bu biyotik faktörlerden bitkilerde hastalık oluşturan virüs, fungus ve bakteriler çok önemlidir. Özellikle virüslerin neden olduğu hastalıkların kimyasal mücadele ile kontrol altına alınamaması bu patojenleri daha da önemli kılmaktadır [5, 6].

Domates ve biber yetiştirilen alanlarda görülen en önemli virüslerden biri domates lekeli solgunluk virüsü (TSWV)'dür. TSWV'nin bitkisel ürünlerde %42.1-%100 arasında kayıplara neden olduğu bildirilmektedir [7]. Virüsün 1090 bitki türünü

enfekte ettiği ve üründe ciddi kayıplara neden olduğu bilinmektedir [8, 9].

TSWV, dokuz thrips türü ile taşınmaktadır. Bu türler *Thrips*, *Frankliniella* ve *Scirtothrips* cinsine ait türlerdir. En bilinen türler ise *Frankliniella occidentalis* Pergande ve *Thrips tabaci* Lindeman'dir [10]. Virüs mekanik yollarla taşınabilirken; kök kaynaşması, tohum ve polen ile taşınmamaktadır [11].

Yonca mozaik virüsü (AMV) başta yonca olmak üzere birçok kültür bitkisinde önemli kayıplara neden olmaktadır [12]. AMV *Bromoviridae* familyası *Alfavirus* genusuna dahil bir virüstür. AMV, mekaniksel olarak, yaprak bitleri ile non-persistent tarzda, yabancı ot tohumlarıyla ve küskülle taşınabilmektedir [13]. Kaiser ve Hannan, AMV'nin 600'den fazla bitki türünü enfekte ettiğini bildirmişlerdir [14].

Yapılan ön çalışmalar sırasında domates ve biber üretim alanlarında virüs belirtilerinin gözlenmesi bu çalışmaya yön vermiştir. Günümüze kadar Hakkari ili domates ve biber üretim alanlarında AMV ve TSWV'nin varlığına yönelik çalışma yapılmamıştır. Bu çalışma; bölgede domates ve biber üretim alanlarında AMV ve TSWV'nin serolojik olarak tanımlanmaları bakımından ilk çalışma niteliğindedir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Sürvey Çalışmaları ve bitki örneklerinin toplanması

Arazi çalışmaları, 2020 yılı Ekim ayında Hakkari ili domates ve biber üretim alanlarında yapraklarında mozaik, kloroz, deformasyon, siğil şeklinde oluşumlar, meyvede deformasyon ve bodurluk gibi belirti gösteren bitkilerden yapılmıştır. Örnek alınan bölgeler sebze üretiminin yoğunluğu dikkate alınarak seçilmiştir. Hakkari iline bağlı toplam 8 belde ve köylerden örnekleme yapılarak 184 adet yaprak örneği (94 domates+90 biber) alınmıştır. Yaprak örnekleri, üreticinin ismi, bitkinin türü, örneğin alındığı yer ve tarihin yazıldığı etiket ile polietilen torbalara konulmuş ve buz kutusunda laboratuvara getirilerek derin dondurucuda muhafaza edilmiştir.

2.2. DAS-ELISA testinin uygulanması

Araziden toplanan şüpheli domates ve biber yaprak örneklerinin TSWV ve AMV ile enfekteli olup olmadığının belirlenmesi için DAS-ELISA testi uygulanmıştır.

ELISA çalışmalarında LOEWE (Biochemica GmbH, Almanya) firmasından temin edilen kitler kullanılmış ve firmanın önerileri doğrultusunda çalışmalar yürütülmüştür. Referans olarak kitin içerisinde bulunan pozitif ve negatif kontroller kullanılmıştır.

DAS-ELISA yöntemi şu şekilde uygulanmıştır:

- Kaplama tamponu ile sulandırılarak hazırlanan virüslere özgü antikör ELISA pleytinin kuyucuklarına 200'er µl ilave edilerek+ 4°C'de tüm gece inkubasyona bırakılmıştır ve inkubasyonu takiben pleytler boşaltılıp yıkama tamponu ile 3 kez yıkanmıştır.

- Genel ekstraksiyon tampon çözeltisinde ezilen ve bekletilen örnekler alt alta gelecek şekilde her çukura 200'er µl olarak konularak +4°C'de tüm gece inkubasyona bırakılmıştır.

- Inkubasyonu takiben yıkama tamponu (PBS-Tween Buffer) ile tüm çukurlar 3 kez yıkanmıştır.

- Konjugat tamponu (ECI Buffer) 1:5; konjugatlar (Alkaline phosphatase enzim konjugat) ise 1:100 oranında sulandırılarak hazırlanmış ve her bir çukura 200 µl ilave edilerek 37°C'de inkubasyona bırakılmıştır.

- Substrat tamponu (P-nitrophenly phosphate) ile taze olarak hazırlanan substrattan her bir çukura 200 µl konularak oda sıcaklığında inkubasyona bırakılmış ve renk değişimi gözlenmiştir.

Daha sonra renk değişimine bağlı olarak 30 ve 60 dakika sonra pleytlerin 405 nm dalga boyunda okumaları gerçekleştirilmiştir.

3. Bulgular

3.1. Sürvey sonuçları

Araştırmanın yürütüldüğü Hakkari il merkezinde yapılan sürveyler sırasında domates ve biber üretim alanlarında yer yer yoğun olmak üzere virüs belirtileri gözlemlenmiştir. Bitkilerde mozaik, sararma, nekroz, meyve üzerinde halkalı lekeler, sürgün uçlarında körelme, yanma, yapraklarda kıvrılma, meyvelerde siğil şeklinde oluşumlar ve bitkide bodurlaşma gibi belirtiler dikkati çekmiştir (Şekil 1, 2).



Şekil 1. Biber bitkisinde gözlemlenen genel belirtiler

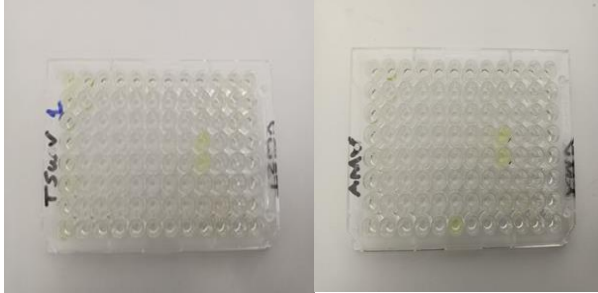


Şekil 2. Domates bitkisinde gözlemlenen mozaik, sararma ve yaprakta kıvrılma belirtileri

3.2. DAS-ELISA testi sonuçları

Hakkari ilçelerinden toplanan 184 adet bitki örneğine (94 domates ve 90 biber) uygulanan DAS-ELISA testi sonucunda bitki örneklerinin 28 adedinin (% 15.21) AMV veya TSWV ile enfekteli olduğu tespit edilmiştir (Tablo 1).

Hakkari ili domates ve biber alanlarından toplanan yaprak örneklerinin TSWV ve AMV bakımından DAS-ELISA yöntemi ile testlenmesi sonucunda pleytte pozitif reaksiyon veren örnekler Şekil 3'de gösterilmiştir.



Şekil 3. ELISA testi sonuçlarının pleytteki görüntüsü.

DAS-ELISA testi sonucunda toplanan domates örneklerinin; 14 tanesinin (% 14.89) TSWV ve 2 tanesinin (% 2.12) AMV ile enfekteli olduğu belirlenmiştir. Toplanan domates örneklerinde karışık enfeksiyona rastlanmamıştır.

DAS-ELISA testi sonuçlarına göre domates üretim alanlarındaki % hastalık oranına oranına baktığımızda Üzümcü yöresinde toplam alınan 16 adet domates örneğinin 1 adedinin AMV, 6 adedinin TSWV ile enfekteli olduğu belirlenmiş ve enfeksiyon oranı %43.75 olarak ortaya konulmuştur. Sırasıyla enfeksiyon oranları Kırıkdağ Beldesinde %30.77, Doğanlı köyünde %16.67, Çimenli köyünde %14.28 ve Otluca Beldesinde %4.0 olarak belirlenmiştir.

AMV enfeksiyon oranı sadece Otluca Beldesi ve Üzümcü köyünde tespit edilmiş enfeksiyon oranları sırasıyla %4 ve %6.25 olarak belirlenmiştir. TSWV enfeksiyonu ise, Üzümcü'de %37.50, Kırıkdağ'da %30.76, Doğanlı'da %16.66 ve Çimenli'de %14.28 olarak hesaplanmıştır. Durankaya Beldesi ile Gelinli ve Geçimli köylerinde herhangi bir enfeksiyona rastlanmamıştır.

Biberlerde ise, ELISA testi sonuçlarına göre toplanan 90 adet biber örneğinin 12'sinin (%13.33) TSWV ile enfekteli olduğu bulunmuştur. Biber örneklerinde AMV enfeksiyonuna rastlanmamıştır. Biber örneklerinde TSWV enfeksiyonu %50 enfeksiyon oranı ile en yüksek Durankaya Beldesinde belirlenmiştir. Sürvey yapılan domates ve biber üretim alanlarında karışık enfeksiyona rastlanmamıştır.

4. Tartışma ve Sonuç

Yeryüzünde oldukça fazla üretilen domates ve biberin belirli oranlarda hastalıklardan etkilendiği önemli bir gerçektir. Özellikle viral hastalıkların kontrolünün zor oluşu ve kimyasal mücadelenin bulunmaması bu hastalıkların önemini daha da artırmaktadır.

Virüslerden kaynaklanan zararın en alt düzeye indirilebilmesi için öncelikle yetiştiriciliği yapılan kültür bitkisinde virüsün bulunup bulunmadığının

Tablo 1. Domates ve biber örneklerinin alındığı yerler, alınan örnek sayısı ve virüslerin bulunma durumları

Örnek Alınan Yerler	Domates					Biber				
	Alınan Örnek Sayısı	AMV	TSWV	Toplam	% Hastalık Oranı	Alınan Örnek Sayısı	AMV	TSWV	Toplam	% Hastalık Oranı
Çimenli	21	0	3	3	14.28	17	0	3	3	17.65
Otluca	25	1	0	1	4.0	24	0	1	1	4.16
Üzümcü	16	1	6	7	43.75	14	0	2	2	14.29
Doğanlı	6	0	1	1	16.67	6	0	0	0	0.00
Gelinli	4	0	0	0	0.00	3	0	1	1	33.33
Kırıkdağ	13	0	4	4	30.77	12	0	2	2	16.67
Durankaya	3	0	0	0	0.00	4	0	2	2	50.00
Geçimli	6	0	0	0	0.00	10	0	1	1	10.00
Toplam	94	2	14	16	17.02	90	0	12	12	13.33

belirlenmesi ve bu virüs hastalığının kontrolüne yönelik önlemler alınması gerekmektedir.

Bu noktadan hareketle çalışma alanına giren Hakkari ili domates ve biber üretilen alanlarda sürveyler yapılarak virüs belirtisi gösteren bitkilerden örnekler alınmıştır. Bu örneklerde TSWV ve AMV varlığı serolojik olarak araştırılmıştır. Araştırma kapsamına giren alanlarda sürveyler sırasında domates ve biber yapraklarında kloroz, nekroz, mozaik, deformasyon, bitki boyunda kısalma, meyve ve yapraklarda şekil bozuklukları gözlemlenmiştir.

TSWV, dünyada ve ülkemizde yapılan çalışmalarda başta domates ve biber olmak üzere çok sayıda bitkide enfeksiyon oluşturduğu bilinmektedir. Virüsün özellikle erken dönemdeki enfeksiyonlarda bitkilerde çok fazla hasara yol açtığı, bitkide şiddetli bodurlaşma ve bitki ölümlere sebep olduğu ifade edilmektedir [15, 16]. Jain vd. TSWV'nin domates, biber ve tütünde önemli zararlar oluşturduğu ve virüsün taşınmasında vektör böceklerden *F. occidentalis* ve *F. fusca*'nın etkili olduğunu belirlemişlerdir [17]. Bunun yanı sıra TSWV'nin çok sayıda yabancı otu da enfektelediği bilinmektedir [6, 18, 19].

Ülkemizde başta domates ve biber olmak üzere farklı kültür bitkilerinde TSWV'nin varlığı ortaya konulmuştur [20-25].

TSWV enfeksiyonu, virüsün ırkına, bitki çeşidine, enfeksiyon zamanı, çevre koşulları, vektör ve yabancı ot yoğunluğuna bağlı olarak geniş bir ekolojide farklılık gösterebilmektedir [26].

Yapılan bu çalışmada, DAS-ELISA yöntemi ile testlenen 94 domates yaprak örneğinin 14 adedinin, 90 biber örneğinden ise 12'sinin TSWV ile enfekteli olduğu belirlenmiştir.

Benzer şekilde Bozdoğan ve Kameroğlu Antalya ilinde farklı sebze türlerinde TSWV'nin belirlenmesi ile ilgili yaptıkları çalışmada alınan toplam 596 bitki örneğinden, 156'sı domateste, 316'sı biber ve 54'ü marul olmak üzere toplam 526 örnekte virüsü tespit etmişlerdir [27].

Yine Antalya ili Kumluca ilçesinde yapılan çalışmada, biberde TSWV enfeksiyon oranını %96.49 olarak bulurken [6], Değirmenci ve Uzunoğlu tarafından Marmara bölgesinde domates üretim alanlarında bu virüsün enfeksiyon oranı %5.5-78.6 olarak tespit edilmiştir [28].

Özdemir ve Erilmez, Denizli ili farklı sebze alanlarında yaptıkları çalışmalarda serolojik testler sonucunda, biber örneklerinde TSWV enfeksiyon oranını %81.13 olarak bildirmişlerdir [29].

Isparta ve Burdur ilinde yapılan çalışmalarda ise, TSWV enfeksiyon oranı %13.61 olarak ifade

edilmektedir [23]. Tokat ili biber alanlarında yapılan çalışmalarda ise testlenen örneklerin %13'ünün TSWV ile enfekteli olduğu bildirilmiştir [30].

Yonca mozaik virüsü dünya da ilk olarak 1931 yılında yoncalarda tespit edilmiş ve günümüze kadar birçok kültür bitkisinde zarar oluşturduğu ortaya konulmuştur [31]. Çok geniş konukçu dizisi vardır. AMV başta yonca başta olmak üzere fasulye, börülce, hıyar, kereviz, patlıcan gibi bitkilerde önemli verim kayıplarına sebep olmasının yanı sıra domates ve biberde de etkili olmaktadır [32]. Etmen 40 yaprak biti türü ile özellikle de *Myzus persicae* ile etkili bir şekilde taşınmaktadır [33].

AMV'nin yonca arazisi yakınlarındaki biberlerde %65'e ulaşan verim kayıplarına neden olduğu; bunun yanı sıra biber tohumları ile %1-5 ile %69 oranında taşındığı rapor edilmiştir [34].

Ülkemizde de yonca mozaik virüsü başta yoncalarda olmak üzere farklı kültür bitkilerinde rapor edilmiştir [12, 35-41].

Demir, Kahramanmaraş'ta yaptıkları çalışmada 171 biber örneğinin DAS-ELISA ile testlenmesi sonucunda, toplanan örneklerdeki AMV enfeksiyon oranını %35.7 olarak belirlerken [35], Buzkan vd., Güneydoğu Anadolu ve Doğu Akdeniz'de bu oranı %25.2 olarak tespit etmişlerdir [36].

Adana ve Mersin'de yonca ve biber üretim alanlarında yapılan çalışmalarda toplanan örneklerdeki AMV hastalık oranı biberde %6.4 olarak belirlenirken, bu oran yoncada %53.3 olarak ifade edilmiştir [37].

Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyeti'nde biber, patates ve yonca üretim alanlarında yapılan bir çalışmada; AMV'li örnek sayısını biberde 63, yoncada 81, patateste 154 olarak bulmuşlardır [41].

Hatay ilinde biberlerde sarılık simptomuna neden olan virüslerin belirlenmesine yönelik yapılan bir çalışmada testlenen örneklerde AMV enfeksiyonuna rastlanmazken, bir örnekte TSWV+CMV (Cucurbitmosaicvirus)+PVY (Potato Y virus) karışık enfeksiyonu tespit edilmiştir [42].

Gerçekleştirilen bu çalışma ile Hakkari ilinde TSWV ve AMV'nin varlığı serolojik yöntem kullanılarak ilk kez tespit edilmiştir. Konukçu bitkilerde görülen belirtiler ile DAS-ELISA testinden elde edilen sonuçlar örtüşmektedir. Ancak semptomlu örneklerin alınmasına rağmen bazı örneklerin negatif çıkması farklı virüslerin olabileceğini düşündürmektedir. Çalışmadan elde edilen sonuçların ileride yapılacak olan çalışmalara katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Ayrıca daha sonra yapılacak çalışmalarda domates ve biberde farklı virüslerin tanınması ve daha detaylı çalışmaların yapılması gerekliliği bulunmaktadır.

Özellikle virüslerin yayılmasında rol oynayan thrips ve yaprak bitleri gibi vektör böceklerle uygun mücadele programlarının benimsenmesi, yabancı ot kontrolünün zorunluluğu, temiz tohum ve fide kullanımı konusunda bölge üreticilerinin bilinçlendirilmesi gerekmektedir.

Teşekkür

Çalışmayı FM21BAP1 No'lu proje ile maddi olarak destekleyen Hakkari Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu'na teşekkür ederiz.

Etik Beyanı

Bu çalışmada, "Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesi" kapsamında uyulması gerekli tüm kurallara uyulduğunu, bahsi geçen yönergenin "Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiğine Aykırı Eylemler" başlığı altında belirtilen eylemlerden hiçbirinin gerçekleştirilmediğini taahhüt ederiz.

Kaynakça

- [1] Yılmaz, E. 2014. Edirne ili sebze üretim alanlarındaki virüs hastalıklarının saptanması üzerine araştırmalar. Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 45s, Tekirdağ.
- [2] Günay, A. 1992. Özel Sebze Yetiştiriciliği, Cilt II. Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü Yayınları, Ankara, 103s.
- [3] Özalp, R., Çelik, İ., Coşkun, A. 2006. Örtüaltı biber yetiştiriciliği. batı akdeniz tarımsal araştırma enstitüsü müdürlüğü, Tarımın Sesi, TMMOB Ziraat Mühendisleri Odası, 9, 18-21.
- [4] TÜİK, 2021. Bitkisel üretim istatistikleri. <http://www.tuik.gov.tr/bitkiselapp/bitkisel.zul>. (Erişim Tarihi: 01.02.2022).
- [5] Arlı-Sökmen, M., Şevik, M. A. 2006. Viruses infecting field grown tomatoes in Samsun province, Turkey. Archives of Phytopathology and Plant Protection, 39, 283-288.
- [6] Yeşil, S., Gömlekli, Ö. 2021. Determination of prevalence and reservoir weed species of tomato spotted wilt tospovirus-tswv on peppers grown in greenhouses in Kumluca district of Antalya, Turkey. Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology, 9, 2565-2570.
- [7] Rosello, S., Diez, M. J., Nuez, F. 1996. Viral diseases causing the greatest economic losses to the tomato crop, the tomato spotted wilt virus-a review. Scienta Horticulturae, 67, 117-150.
- [8] Hanssen, I. M., Lapidot, M., Thomma, B. P. 2010. Emerging viral diseases of tomato crops. Molecular Plant Microbe Interaction, 23, 539-548.
- [9] Salem, N. M., Mansour, A., Badwan, H. 2012. Identification and partial characterization of tomato spotted wilt virus on lettuce in Jordan. Journal of Plant Pathology, 94(2), 431-435.
- [10] Mau, R. F. L., Martin, J. L. 2002. Frankliniella occidentalis (Pergande). www.extentohawaii.edu/kbase/crop/type/f-occid.html. (Erişim Tarihi: 11.12.2021).
- [11] Sherwood, J. L., German, T. L., Moyer, J. W., Ullman, D. E. 2009. Tomato spotted wilt. the plant health instructor. (Erişim Tarihi: 22.10.2021).
- [12] Güller, A., Usta, M., Korkmaz, G. 2022. Bingöl ilinde tanımlanan yonca mozaik virüs (amv) izolatının filogenetik ilişkisi. Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi, 9(1), 166-172.
- [13] Jaspars, E. M. J., Bos, L. 1980. Alfalfa mosaic virus CMI/AAB. Description of Plant Viruses. No. 229.
- [14] Kaiser, W. J., Hannan, R. M. 2005. Alfalfa mosaic. pp. 58-59. Schwartz, H. F., Steadman, J. R., Hall R., Forster, R. L., ed. Compendium of Bean Diseases, American Phytopathological Society, St. Paul, MN.
- [15] Goldbach, R., Peters, D. 1994. Possible causes of the emergence of tospovirus diseases. Sem Virology, 5, 113-120.
- [16] Pappu, H. R., Jones, R. A. C., Jain, R. K. 2009. Global status of tospovirus epidemics in diverse cropping systems: successes gained and challenges that lie ahead. Virus Research, 141, 219-236.
- [17] Jain, R. K., Pappu, S. S., Pappu, H. R., Culbreath, A. K., Tood, J. W. 1998. Molecular diagnosis of tomato spotted wilt tospovirus infection of peanut and other field and green house crops. Plant Disease, 82, 900- 904.
- [18] Parrella, G., Gognalons, P., Gebre-Selassie, K., Vovlas, C., Marchoux, G. 2003. An update of the host range of tomato spotted wilt virus. Journal of Plant Pathology, 227-264.
- [19] Arlı-Sökmen, M., Mennan, H., Şevik, M. A., Ecevit, O. 2005. Occurrence of viruses in field-grown pepper crops and some of their reservoir weeds hosts in Samsun, Turkey, Phytoparasitica, 33(4), 347-358.
- [20] Güldür M. E., Marchouks, M. G. M., Yurtmen, E., Yılmaz, M. A. 1995. Mersin ve çevresinde yetiştirilen domateslerde zararlı yeni bir virüs tomato spotted wilt virus. VII. Türkiye Fitopatoloji Kongresi, 26-29 Eylül, Adana, 303-306.
- [21] Yılmaz, M. A., Baloğlu, S., Özasan, M., Güldür, M. E. 1995. GAP bölgesinde kültür bitkilerinde belirlenen virüsler. GAP Bölgesi Bitki Koruma Sorunları ve Çözüm Önerileri Sempozyumu, 27-29 Nisan, Şanlıurfa, 241-250.

- [22] Şevik, M. A, Arlı-Sökmen, M. 2012. Estimation of the effect of tomato spotted wilt virus (TSWV) infection on some yield components of Tomato. *Phytoparasitica*, 40(1), 87-93.
- [23] Çulal-Kılıç, H., Yardımcı, N., Bal, A., Güneş, A., Deniz, F. 2017. Sensitive detection of tomato spotted wilt virus from pepper plants by DAS-ELISA, RT-PCR and IC-RT-PCR. *Romanian Biotechnological Letters*, 22(5), 12934-12939.
- [24] Fidan, H., Koç, G., Topçu, T. 2016. Anthurium sp.'de tomato spotted wilt virus (TSWV) enfeksiyonu ve moleküler karakterizasyonu. *Alatarım*, 15(2), 28-36.
- [25] Alam, A., Elçi, E. 2021. Evaluation of Eggplant cultivars for tomato spotted wilt orthospovirus (TSWV) disease tolerance in greenhouse conditions. *International Journal of Agriculture, Environment and Food Science*, 5(4), 497-507.
- [26] Zitter, T. A., Hopkins, D. L., Thomas, C. E. 1996. Compendium of cucurbit diseases. *Phytopathological Society*, No: 635.
- [27] Bozdoğan, V., Kamberoğlu, M. A. 2015. Incidence and distribution of tomato spotted wilt tospovirus (tswv) in vegetable crops in antalya province of Turkey. *Journal of Turkish Phytopathology*, 44(1-3), 39-50.
- [28] Değirmenci, K., Uzunoğulları, N. 2007. Marmara bölgesinde domates yetiştiricilik alanlarında sorun olan virüslerin belirlenmesi. *Bitki Koruma Bülteni*, 47(1-4), 72-77.
- [29] Özdemir, S., Erilmez, S. 2007. Denizli ilinde yetiştirilen biber, patlıcan ve marul üretim alanlarında bazı viral etmenlerin saptanması. *Türkiye II. Bitki Koruma Kongresi*, 27-29 Ağustos, Isparta, 114.
- [30] Topkaya Ş. 2021. Tokat ilinde biber alanlarında Tomato spotted wilt virus'ın yaygınlığı ve moleküler karakterizasyonu. *Bitki Koruma Bülteni*, 61-63.
- [31] Weimer, J. L. 1931. Alfalfa mosaic virus (typestrain). *CMI/AAB Description of Plant Viruses*, No. 46.
- [32] Xu, H., Nie, J. 2006. Identification, characterization and molecular detection of *alfalfa mosaic virus* in potato. *Phytopathology*, 96, 1237-1242.
- [33] Ragsdale, D. W., Radcliffe, E. B., Difonzo, C. D. 2001. *Epidemiology and field control of PVY and PLRV*. pp. 237-270. Loebenstein, G., Berger, P. H., Brunt, A. A., Lawson, R.H. ed. 2001. *Virus and virus like diseases of potatoes and production of seed potatoes*. Huwer Academic Publisher, Dordrecht.
- [34] Pernezny, K., Robert, P. D., Murphy, J. F., Goldberg, N. P. 2003. *Compendium of pepper diseases*. The American Phytopathological society, 68, 597-599.
- [35] Demir, M. 2005. Kahramanmaraş'ta Yetiştirilen Kırmızı Biberlerde Yaprakbiti İle Taşınan Virüslerin Saptanması. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş, 25s.
- [36] Buzkan, N., Denir, M., Öztekin, V., Mart, C., Çağlar B. K., Yılmaz, M. A. 2006. Evaluation of the status of capsicum viruses in the main growing regions of Turkey. *Bulletin OEPP*, 36(1), 15-19.
- [37] Çetinkıran, A., Baloğlu, S. 2011. Adana ve Mersin illerinde biber arazilerinde alfalfa mozaik virüsünün araştırılması. *Çukurova Üniversitesi, Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 26(2), 89-98.
- [38] Çulal-Kılıç, H., Yardımcı, N. 2015. Occurrence of alfalfa mosaic virus (AMV) infecting bean crop in Burdur province, Turkey. *Asian Journal of Agriculture and Food Sciences*, 3(2), 173-177.
- [39] Çarpar, H., Sertkaya, E., Sertkaya, G. 2017. Detection of alfalfa mosaic virus (AMV) in potato production areas in Hatay Province, Turkey. *Iğdır Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 7(1), 23-29.
- [40] Usta, M., Güller, A. 2020. Molecular characterization of the coat protein genome of alfalfa mosaic virus (AMV) isolates from alfalfa in Van province. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 10(4), 2366-2377.
- [41] Fidan, H., Adak, N. A., Konuksal, A., Akerzurumlu, E., Yılmaz, M. A. 2012. Occurrence of alfalfa mosaic virus (AMV) diseases on potato crops in Northern Cyprus. *ActaHorticulturae*, 960, 341-346.
- [42] Özdağ, Y., Sertkaya G. 2017. investigation on viruses causing yellowing disease in pepper in Hatay-Turkey. *Journal of Agricultural Faculty of Mustafa Kemal University*, 22(1), 16-22.

Kültürel Miras ve Koruma Olgusunun Döngüsel Ekonomi ve Sürdürülebilirliğe Katkısı: Türkiye Örneğinde Bir Değerlendirme

Gülşen DİŞLİ*¹

¹Necmettin Erbakan Üniversitesi, Güzel Sanatlar ve Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, 42090, Konya,
Türkiye

(Alınış / Received: 09.03.2022, Kabul / Accepted: 21.06.2022, Online Yayınlanma / Published Online: 20.12.2022)

Anahtar Kelimeler

Kültürel miras,
Mimari koruma,
Döngüsel ekonomi,
Sürdürülebilirlik,
Türkiye

Öz: Tarihi yapılar gerek inşa sürecindeki yerel malzeme kullanımı, yapım tekniği, işçilik ve detay özellikleri gerekse buldukları yerleşim, iklim ve topoğrafyayla olan uyumları göz önüne alındığında doğası gereği yaşam döngüsü boyunca sürdürülebilir özellikler göstermektedir. Artan çevre duyarlılığına bağlı olarak ürün, yapı ve bölge ölçeğinde kaynakların verimli kullanımının önemi artmış, özellikle son on yıldır döngüsel ekonomi kavramı sıkça tartışılır olmuştur. Bu araştırmada, kültür varlıkları ve mimari korumanın sürdürülebilirlikle ilişkisi ve üretim, tüketim ve üst geri dönüşümün temelini oluşturduğu döngüsel ekonomiye katkısı araştırılmış, Türkiye'deki kültür varlıkları örneğinde tartışılmıştır. Çeşitli gerekçelerle özgün işlevini yitiren tarihi yapıların yeniden kullanımı, adaptasyonu, yaşam döngüsünü tamamladığında dahi devşirme malzemelerle başka yapılarda yeniden hayat bulması, beşikten beşiğe tasarımın ve döngüsellik katkılarının en önemli göstergeleridir. Bu araştırma, döngüsel ekonomi ve mimari koruma kavramlarının değerlerin korunması ve sürdürülmesi ortak amaçlarına sahip olduğunu açıkça göstermektedir. Ayrıca Türkiye'deki bu yapıların sürdürülebilirliğe ve döngüsel ekonomiye katkıları bakımından değerlendirilmesi, kültürel miras yönetimi ve ekonomik, sosyal, kültürel kalkınma için önemli ve gereklidir.

Contribution of Cultural Heritage and Architectural Conservation to the Circular Economy and Sustainability: An Evaluation in The Case of Turkey

Keywords

Cultural heritage,
Architectural conservation
Circular economy,
Sustainability,
Turkey

Abstract: Considering both the use of local materials, construction techniques, workmanship, and details during the construction phase and their harmony with the settlement, climate, and topography in which they are located, historical buildings show sustainable features throughout their life cycle by nature. Depending on the increasing environmental awareness, the importance of efficient use of resources at the scale of products, structures and regions have increased, and the concept of circular economy has been frequently discussed especially in the last ten years. In this research, the relationship between the sustainability of cultural properties and architectural conservation and its contribution to the circular economy, which is the basis of production, consumption, and upper recycling, was investigated and has been discussed with the cases of cultural properties in Turkey. The reuse and adaptation of historic buildings that have lost their original function for various reasons, and the fact that they come back to life in other buildings with spolia materials even when they have completed their life cycle, are the most important indicators of the design from cradle to cradle and its contribution to circularity. This research clearly shows that the concepts of circular economy and architectural conservation have common aims of preserving and sustaining values. In addition, the evaluation of these properties in Turkey, in terms of their contribution to sustainability and circular economy is important for both qualified cultural heritage management, and economic, social, and cultural development.

1. Giriş

Çevresel sürdürülebilirliğin sağlanmasında kaynakların verimli kullanılması ve yenilikçi yaklaşımların yanı sıra, yapı çevrelerde tarihi yapı stokunun mevcudiyeti de büyük önem arz etmektedir. Yerel, bölgesel, hatta dünya ölçeğinde evrensel değerlere sahip olan kültürel miras yapıları, içinde buldukları çevrenin ekonomik ve sosyal gelişimine katkı sağlamakta, bu yapıların tarih boyunca çeşitli amaçlarla kullanılması, yeniden işlevlendirilmesi ve bulunduğu bağlam içindeki konumu en az mimarisi kadar önem taşımaktadır [1][2]. Altınoluk [2] binalara yeni işlev verilmesinin temel nedenlerini; binaların özgün işlevlerini yitirmeleri ya da orijinal işlevlerinin eskimesi olarak belirtmektedir. İşlevsel eskime, kullanıcıların kalmaması ya da doğal afet, insan kaynaklı, gelişime bağlı nedenlerle yapıların terk edilmesi sonucu olabilmektedir. Her iki durumda da gerek toplumsal, gerekse ekonomik, sosyal ve tarihsel nedenlerle çevresel gelişim içinde bu yapılar için sürdürülebilir çözümler aranması gerekli ve zorunludur [1][2]. Bu nedenle bu araştırma ile ister tescilli ister tescilsiz olsun kültür varlıklarının ve bu yapıları korumanın öncelikle sürdürülebilirliğe katkısı üzerinde durulmuş ve kültürel miras yönetimi ile döngüsel ekonomi arasındaki ilişki detaylı olarak açıklanmıştır. Bu kapsamda; kültürel miras ve korumanın kaynakların verimli kullanılması ve ekonomi ile ilişkisi, enerji verimliliğine katkısı ve toplumsal sürdürülebilirlik ve çevresel gelişime katkı düzeyinin, Türkiye’den miras örnekleri üzerinden tartışılması amaçlanmıştır. Döngüsel ekonomi, özellikle son on yılda gelişmiş ülkelerde sürdürülebilir miras yönetiminde anahtar faktör olmaya başlamış ve kültürel miras ve döngüsel ekonomi ile ilgili çalışmalar hızla artmıştır. Bunlardan Foster, kültürel miras yapılarında koruma ve çevresel etkileri dikkate alarak döngüsellik stratejilerini belirlemeye dair çoğunlukla literatür taramasına dayalı kapsamlı bir araştırma yapmış [1], Ankaralığı ve Dişli, günümüzde müze olarak işlevlendirilen tarihi bir konut yapısının işlevsel sistemlerini döngüsel tasarım ve döngüsel ekonomi bağlamında incelemiştir [3], Huuhka ve Vestergaard ise mimari koruma ve döngüsel ekonomi arasındaki ilişkiyi irdelemiştir [4]. Benzer şekilde Nocca vd. şehirlerde döngüsellik bir parçası olarak kültür varlıklarının fonksiyonel yeniden kullanımına dair bir döngüsel ekonomi metodolojisi üzerine çalışmış [5], Foster vd. [6] ile Foster ve Saleh [7] Avrupa’daki en iyi uygulama örneklerini inceleyerek bina ve şehir düzeyinde sürdürülebilir üretim ve tüketim vizyonu ile döngüsel çevre göstergelerini belirlemeyi amaçlamıştır. Kültürel mirasın ve bu mirası korumanın farklı boyutlarda ekonomiye ve sürdürülebilirliğe olan etkisi ve katkısı ile yaşam döngüsü değerlendirmelerine dair çalışmalar da mevcuttur [8] [9]. Zimmermann vd. CEN TC 350 standartlarının içerdiği yaşam döngüsü çerçevesini baz alarak mevcut binaların değerlendirilmesi için

uyarlamış [10], Amerika Mimarlar Enstitüsü [11] uyarlanabilirlik için tasarım, yeniden yapı için tasarım ve malzemelerin yeniden kullanımında mimarların rolü üzerine yaklaşım ve stratejileri belirlemiştir. Ellen MacArthur Vakfı’nın [12] ve Gravagnuolo vd.’lerinin [13] yapı çevrelerde döngüsellik örneklerle aktardığı çalışması ile Gravagnuolo vd.’lerinin [14] kültürel mirasın döngüsel uyarlanabilir yeniden kullanımı için değerlendirme kriterlerinin belirlendiği araştırması, konuyla ilgili önemli literatür arasındadır. Ancak, Türkiye özelinde döngüsel ekonomi ve miras ilişkisi üzerine yapılan çalışmalar oldukça kısıtlıdır [3]. Çalışmalar çoğunlukla kültürel mirasın sürdürülebilirliği üzerine yoğunlaşmıştır [15]. Bu nedenle, bu çalışma, Türkiye özelinde kültürel miras yönetimi ve koruma kavramlarının döngüsel ekonomi bağlamında tartışılması ve bu yönde farkındalık geliştirilmesi bakımından önemli ve gereklidir.

2. Materyal ve Metot

2021 yılı sonu itibarıyla Türkiye genelinde tescilli kültür varlığı sayısı 119.263’tür. Bunlardan 19’u Dünya Miras Listesinde, 84’ü Geçici Listede yer alan, üstün evrensel niteliklere haiz varlıklardır. Sivil mimarlık örneği sayısı ise 74.424’tür [16][17]. Oldukça zengin bir tarihi yapı stokuna sahip olan Türkiye’de, bu kültür varlıklarının yönetimi ve sürdürülebilir korunması öncelikle mevcut potansiyellerinin açığa çıkarılması ile mümkündür. Bu nedenle bu araştırma kapsamında yapıların yerinde incelenmesini içeren arazi çalışmaları, literatür ve arşiv taraması yöntemleri kullanılarak kültür varlıkları, sürdürülebilirlik ve döngüsel ekonomi stratejileri bağlamında değerlendirilmiştir. Özgün işlevini yitirip yeniden işlevlendirilen ya da halen özgün işlevini sürdüren Türkiye’deki kültür varlıkları ve tarihi çevreler araştırmanın örneğini oluşturmuştur. Belirli bir iklim bölgesi ve yerleşmeye odaklanmaktan ziyade genel olarak varlıklar ele alınmış, böylece sürdürülebilirlik ve döngüsel ekonomi prensiplerine katkılarının daha geniş çerçevede ele alınması amaçlanmıştır. Döngüsel ekonominin temel prensiplerini oluşturan; reddetme, yeniden düşünme, azaltma, yeniden kullanım, yenileme, onarma, yeniden üretim, yeniden işlevlendirme, geri dönüşüm ve yeniden kazanım kavramları [18], kültür varlıkları ve mimari koruma bağlamında tartışılmıştır. Ayrıca, miras ve ekonomi ilişkisi; enerji verimliliğine katkısı /düşük karbon ekonomisi, istihdam, yeni işkolu üretimi, sosyal/kültürel refah ortamının sağlanması, ziyaretçi/turizm ekonomisi ve kapsayıcı büyümeye katkısı bağlamında değerlendirilmiştir. Farklı ülkelerin kendi miras yapıları ile ekonomi ilişkisine dair hazırlanmış olduğu çalışmalar mevcuttur. Bunlardan en yenileri arasında İngiltere’nin Historic England kurumunun 2020 yılında İngiltere için yayınlamış olduğu miras ve ekonomi raporu yer almaktadır [8]. Türkiye için de, kendi özgün miras

değerleri ve zenginliği dikkate alınarak benzer bir çalışmanın döngüsel ekonomi prensipleriyle bütünleştirilerek gerçekleştirilmesi, potansiyellerin açığa çıkarılmasına katkı sağlayabilecektir.

3. Bulgular

3.1. Kültürel Miras Koruma ve Sürdürülebilirlik İlişkisi

Erder [19], anıtlar ve onların korunması olgularının ilk olarak insanoğlunun yerleşik hayata geçmesiyle birlikte ortaya çıktığını savunmakta, Asatekin [20], mimari korumanın, ancak farklı disiplinlerdeki insan katılımının gerçekleşmesi halinde sürdürülebilir bir süreç olduğunu vurgulamaktadır. Her ne kadar koruma ve sürdürülebilirlik kavramları farklı kökenlere sahip olsalar da çok fazla ortak hedefleri mevcuttur [21]. Öyle ki her ikisinin de amaçları arasında doğal kaynakların yönetimi, insan ve doğa arasındaki dengenin uzun süreli devamlılığının korunması ve çevre ile kullanıcı konfor koşullarının niteliğinin artırılması ve devamlılığının sağlanması yer almaktadır. Kültürel mirasın korunması ise her ne kadar daha dar çerçevede konuyu ele alsada benzer hedeflere sahiptir. Yerel malzeme ve tekniklerin, mimari tipolojilerin devamlılığı, malzeme tasarrufu, enerji verimliliğinin sağlanması, iş istihdamı oluşturması, eğitici yönünün olması, refah ortamının sağlanması, arkeolojik, kültürel çeşitlilik ve tarihsel gelişimin ortaya konması ve sürdürülebilirliği bağlamında önemli bir yönetim aracıdır. Ayrıca, kültürel, çevresel, ekonomik, tarihi ve artistik değerlerin sürdürülebilirliği ancak mirasın korunması ile mümkündür [21][22]. Benzer şekilde Young [23], doğal kaynakların uzun vadeli çıkarılması ve tükenmesi, binaların gereksiz yere yıkılmasından kaynaklanan atıkların ve yıkım esnasında ortaya çıkan enerji tüketiminin azaltılmasının ve yeniden kullanım yerine yeni yapılaşma çalışmalarının neden olduğu yoğun arazi kullanımının sosyal, ekonomik ve çevresel maliyetlerinin bertaraf edilmesinin ancak yapıli çevrelerin nitelikli, sürdürülebilir yönetimi sayesinde mümkün olduğunu vurgulamaktadır. Öyle ki, ICOMOS tarafından 2021 yılında yayımlanan "Miras ve Sürdürülebilir Gelişim Hedefleri" başlıklı kılavuzda, bu hedefler beş ana başlıkta toplanmıştır;

"insanların refahını sağlamak için miras yoluyla aktarılan bilgi ve kaynaklar, sürdürülebilir bir yeryüzü için 'kültür-doğa' yaklaşımı ve peyzaja dayalı çözümler, toplumların refahı için miras kaynaklarının paylaşımlı kullanımı, toplumlar arası diyalog ve barışın sağlanması için mirasın birleştirici gücü ve yeni ortaklıklar yaratmak için ortak miras ve onun insan hayatıyla bağlantısı" [24].

Bahse konu rehberde; kültürel miras ve korunması sayesinde içinde buldukları şehirlerin, yerleşimlerin yerel kimliklerinin geliştirilmesi, altyapı hizmetleri, turizmin artması, farklı yatırımlar

ve kültürel ve yaratıcı endüstrilerin gelişimi, istihdam olanaklarının mümkün olabileceği vurgulanmaktadır [24]. Ayrıca, insan ölçeğinde ele alındığında, çeşitli işlevler ve kamusal alanlar yaratması sayesinde tarihi kentsel alanların/peyzajın yaşanabilirliği artırması, sosyal uyumu desteklemesi, sokakların ortak kullanımı, açık ve yeşil alan potansiyeli oluşturması ve farklı topluluklar /mevcut kullanıcılar arasında değişim, entegrasyon, sosyal etkileşim, yakınlık ve dayanışma ortamı oluşturması ve afet risk yönetimi konusunda farkındalığı artırması, sürdürülebilir miras yönetiminin diğer önemli çıktılarıdır [24]. Tarihi yapıların korunması/onarımı/sürdürülmesi ve enerji verimliliğine katkısı üzerine ilk çalışmalar ise 1970'lerde enerji alanında yaşanan sıkıntılarla birlikte ortaya çıkmıştır [25].

3.2. Türkiye'de korumanın tarihsel gelişimi

Türkiye'de 19. yüzyılın ortalarına kadar, ilk olarak Selçuklular döneminde başlayan ve Osmanlı döneminin sonuna kadar devam eden vakıf sistemi, fıkıh kuralları ve şeriat hükümleri, koruma alanında en etkili düzenleyici otoriteler olmuş, özellikle Osmanlı döneminde sürekli bakım ve onarım çalışmaları sayesinde kültür varlıklarının sürekliliği sağlanabilmiştir. Tanzimat'ın ilan edilmesi ve batılılaşma etkisiyle birlikte ise Türkiye'de mimari korumada kurumsallaşma ve yasallaşma çalışmaları hız kazanmıştır [26][27][28][29]. Bunlardan, Ceza Kanunname-i Humayunu (1840), 1848 ve 1849 tarihli Ebniye Nizamnameleri, 1855 yılında Şehremaneti Belediye Hükümlerinin yürürlüğe girmesi, Arazi Kanunnamesi (1858) ve Turuk ve Ebniye Nizamnameleri (1864) mimari koruma alanındaki dolaylı ilk yasal düzenlemelerdir [26]. 1869, 1874, 1884 ve 1906 yıllarında çıkarılan ve kapsayıcılığı daha da artarak geliştirilen Asar-ı Atika Nizamnameleri ise direkt kültür varlıklarının korunmasına dair çıkarılan temel kanunlar olmuştur. Başlangıçta çoğunlukla taşınır kültür varlıkları, müzeliik objeler, kaçakçılık ve arkeolojik kazılar üzerine yoğunlaşan bu yasal düzenlemeler, zamanla tüm İslam dönemi öncesi ve sonrası taşınır ve taşınmazları içerecek şekilde geliştirilmiştir. 1951 yılında Gayrimenkul Eski Eserler ve Anıtlar Yüksek Kurulu (GEEAYK) kurulmuş, 1973 yılında 1710 sayılı Eski Eserler Kanunu kabul edilmiştir. Bu yıllar arasında, mimari koruma çoğunlukla tek yapı ölçeğinde yoğunlaşırken, bahse konu kanunla birlikte ilk defa sit kavramı ve tarihi yapıların çevreleriyle bir bütün olarak korunması gerekliliği gündeme gelmiştir [30]. 1983 yılında yürürlüğe giren 2863 sayılı Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Kanunu'nda [31] kültür varlıkları: "tarih öncesi ve tarihi devirlere ait bilim, kültür, din ve güzel sanatlarla ilgili bulunan veya tarih öncesi ya da tarihi devirlerde sosyal yaşama konu olmuş bilimsel ve kültürel açıdan özgün değer taşıyan yer üstünde, yer altında veya su altındaki bütün taşınır ve taşınmaz varlıklardır" şeklinde tanımlanmaktadır. Oldukça

geniş bir dönemi ve varlıkları içine alan bu tanıma uyan, ülkemizde oldukça fazla kültür varlığı ve çeşitliliği mevcuttur. Bunlardan sadece tescilli olanların sayısı günümüzde yüz yirmi bin [16] civarında olup, henüz tescilli olmayan, gün yüzüne çıkarılmayı bekleyen binlercesi mevcuttur. 2863 sayılı Kanunla tescilli kültür varlıklarının korunması taahhüt altına alınmış, 660 sayılı “Taşınmaz Kültür Varlıklarının Gruplandırılması, Bakım ve Onarımları”na (1999) dair ilke kararında ise bu kültür varlıklarına başlıca müdahale türleri açıkça belirtilmiştir. Gerek Sanayi ve Endüstri devriminin sonuçları, gerekse savaşlar, enerji kaynaklarının azalması, doğal afetler, insan kaynaklı ve gelişime bağlı tehditler sonucu insan ve doğa arasındaki dengenin bozulmasıyla birlikte, dünyada ve Türkiye’de sürdürülebilirliğe dair önemli girişimler başlatılmıştır.

3.3. Kültürel miras yönetimi ve döngüsel ekonomi ilişkisi

Döngüsel ekonomi, kullanımın optimizasyonu, verimli tekrarlı kullanım ve kaynak süresinin uzatılmasına dayanan, böylece israfı azaltan ve aynı zamanda çevresel, finansal ve sosyal refaha katkıda bulunan bir ekonomi olarak tanımlanmaktadır [32]. Döngüsel ekonomi, lineer ekonominin aksine, kapalı döngülü, yenilikçi, atık içermeyen bir süreç olup enerji verimli olmalıdır [9]. Ellen MacArthur Vakfı’na [33] göre döngüsel ekonomi, yenilenebilir enerji kaynakları kullanan ve atık üretmeyen üstün malzeme, ürün ve sistemlerin birleşiminden oluşan bir tür “iş modeli”dir. Benzer şekilde, kültürel miras ve ekonomi; yeni iş, üretim, istihdam, ziyaretçi fırsatları, düşük karbon, inşaat, refah gibi koruma uygulamalarının ulusal ve yerel ekonomiye ve döngüsel ekonomiye katkıda bulunduğu çeşitli yolları tanıtan mirasın korunmasının mali yönleriyle ilgilenir [8]. Bunlardan döngüsel ekonomi, özellikle son on yılda gelişmiş ülkelerde sürdürülebilir miras yönetiminde kilit faktör olmaya başlamış ve kültürel miras ve döngüsel ekonomi ile ilgili çalışmalar hızla artmıştır [1][3][4][5][6][7]. Bunlardan Potting vd.’nin ürün zincirinde döngüsel ekonominin dokuz farklı boyutunu aktardığı çalışması, konuyla ilgili öncü araştırmalar arasındadır [18]. Moreno vd.’nin çalışması da, döngüsel tasarımın kavramsal çerçevesini aktarması açısından önemlidir [34]. Kültür varlıklarının korunması, özgün işlevinde ya da farklı bir işlevde yeniden kullanılması sayesinde atıkların bir kaynağa dönüştürülmesi sağlanmakta, böylece atık içermeyen döngüsel bir ekonomi sisteminde döngünün kapatılması mümkün olmaktadır [8][32]. Ayrıca uyarlanabilir yeniden kullanım, bölgesel yenilenme, iş olanakları, gelir yaratma, turizm olanakları, yerel refahın artması, atık ve yıkım maliyetlerinin önlenmesi ve daha az karbon salınımı sayesinde doğanın, kaynakların, çevrenin, yerleşimin, kültürlerin, tarihin korunması olanaklı olmaktadır [8]. Kültür varlıklarının uyarlanabilir

şekilde yeniden kullanımı için döngüsellik stratejileri dokuz başlık altında belirlenmiştir. Bunlar; reddetme, yeniden düşünme, azaltma, yeniden kullanım, yenileme, onarma, yeniden üretim, yeniden işlevlendirme, geri dönüşüm ve yeniden kazanımdır [1][18]. Yerel, çevre dostu yapı malzemesi ve tasarım çözümlerinin kullanımı ve özel mimari detaylar göz önüne alındığında, tarihi binalar doğal olarak yeşil ve sürdürülebilirdir, böylece düşük karbon ekonomisine katkıda bulunur. Aynı şekilde miras yapılarının mimari olarak korunması, hem insan hem de çevre refahı için güvenli, sağlıklı, yerel, özgün malzeme ve tekniklerin kullanılmasını gerektirmektedir [9]. İnsanlar, kamu ve özel kuruluşlar, STK’lar ve vakıflar gibi çeşitli aktörlerden oluşan kültürel miras yönetiminin karmaşık ve doğrusal olmayan doğası göz önüne alındığında, geleneksel doğrusal yönetim sistemleri bu karmaşık yapıyı ve döngüsel ekonomi ve döngüsellik öngörmek ve analiz etmek için oldukça yetersizdir [9]. Bu nedenle, kültürel miras ve koruma kavramlarının yeniden bu bakış açısıyla düşünülmesi ve ele alınması, varlıkların daha iyi ve sürdürülebilir yönetimi için gereklidir.

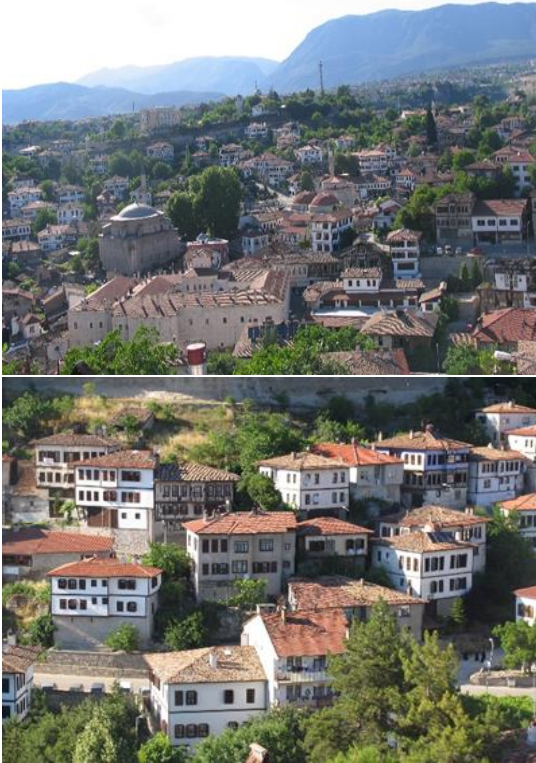
3.4. Türkiye Örneğinde Kültür Varlıkları ve Mimari Korumanın Sürdürülebilirliğe ve Döngüsel Ekonomiye Katkıları

Kültür varlıkları doğaları gereği topluma, çevreye ve ekonomiye duyarlı tasarım ve yapım süreçleri sergilemekte, bu yönleriyle sürdürülebilirliğe ve döngüsel ekonomiye katkı sunmaktadır. Bu bölümde kültürel miras ve tarihi çevre korumanın sürdürülebilirliğe ve döngüsel ekonomiye katkısı; çevresel boyutta (yerleşim ölçeğinde, bina ve mekân ölçeğinde ve yapım sistemleri/malzemeleri/elemanları ölçeğinde), ekonomik boyutta (enerji korunumu, istihdam, yeni iş olanakları, sürekli kullanım, yeniden kullanım vb.) ve toplumsal boyutta (refah, güvenlik, yeni iş fırsatları, katılım vb.) incelenmiştir. Ayrıca, döngüsel ekonominin; reddetme, yeniden düşünme, azaltma, yeniden kullanım, yenileme, onarma, yeniden üretim, yeniden işlevlendirme, geri dönüşüm ve yeniden kazanım prensipleri, Türkiye’deki kültür varlıklarından örneklerle tartışılmıştır.

- Olgyay ve Olgyay [35] bir konut düzeni ve barınak tasarımında enerjinin korunumunu etkileyen başlıca parametreleri; arazi seçimi, yerleşim yapısı, kamusal alanlar, peyzaj, bitkilendirme, konut tipi, genel düzenlemeler, form, hacim, yönelim ve renk olarak sıralamaktadır. Ayrıca, başlıca yapı elemanlarından açıklıklar ve pencereler, duvarlar, çatı, malzeme, gölgeleme elemanları, temel, bodrum ve mekanik elemanların enerji korunumuna etkisinden bahsetmektedir [35]. Bu bağlamda Türkiye’deki kültür varlıkları incelendiğinde; yapılarda özgününde pasif işlevsel sistemlerin (ısıtma, soğutma, doğal

havalandırma, doğal aydınlatma, temiz ve atık su, çatı akaçlama), çevre dostu yerel ve doğal malzemelerin (taş, tuğla, ahşap, kerpiç) ve tekniklerin kullanıldığı gözlenmektedir.

- Yerleşim ölçeğinde doğal çevre verileri, bağlamı ve topoğrafyasıyla uyumlu, birbirinin güneşini, rüzgârını, manzarasını kesmeyen, dış mekân ile ilişki kurulmasına izin veren görsel konforun sağlandığı düzenlemeler mevcuttur. Yapılar araziye yerleştirilirken topoğrafya temel bağlam olarak ele alınmakta, yapıların parsel, sokak, yerleşimdeki/külliye'deki diğer yapılar ve kamusal alanlarla ilişkisi kurgulanarak mevcut çevre koşullarıyla uyum içinde tasarımlar yapıldığı anlaşılmaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. Safranbolu kent dokusu ve topoğrafyayla uyumlu yerleşim düzeni

- Arazi seçimi ve yerleşiminde, en az topoğrafya kadar önemli bölgesel veriler arasında olan iklim de belirleyici unsur olmaktadır. Açıklıklar, yönelmeler, güneş kontrolü/temini (kepenkler, ahşap kafesler, panjurlar), açık/yarı açık alan düzenlemeleri (köşk, eyvan, avlu, revak, divan, dış sofa, taşlık, tahtaboş, balkon, örtmelik), binalar arası ilişkiler, bina formu, kabuğu bu verilere göre yapılmaktadır. Soğuk, ılıman-nemli ve ılıman-kuru bölgelerde ısıtmaya öncelik verilmiş, sıcak-nemli ve sıcak kuru iklim bölgeleri için soğutma öncelikli düzenlemeler söz konusu olmuştur [36]. Örneğin, eyvan, iç avlu, revak, dış sofa, geniş saçak uygulamaları daha çok sıcak-nemli ve sıcak-kuru iklim bölgelerinde yaygınken, iç sofalı plan tipine soğuk iklim bölgelerinde daha fazla rastlanmaktadır. Yine, sıcak kuru iklim

bölgelerinde nem oranını arttırmaya dair tasarımlar mevcuttur. Havuzlar bu amaçla yapılan önemli bileşenler arasındadır. Rüzgâr, farklı iklim bölgelerinde hem korunulması hem de faydalanılması gereken bir unsur olmuştur. Örneğin, soğuk iklim bölgelerinde kuzey cephelede ya hiç açıklık yapılmamış ya da minimumda tutulmuştur, sıcak kuru iklim bölgelerinde ise açıklıklar genelde kuzey yönde yerleştirilen avluya bakacak şekilde verilmiştir. Çatı formları da farklı iklim bölgelerine göre değişkenlik göstermektedir. Eğimli çatılar soğuk, ılıman-nemli, ılıman-kuru bölgelerde gözlenmekte, sıcak-kuru ve sıcak-nemli iklim bölgelerinde düz dam yaygın uygulama olmaktadır [36].

- Tarihi yapının içinde bulunduğu çevrenin sosyo-kültürel yapısı da oldukça belirleyici olup, yapıların yerleşimini, şekillenmesini etkilemiştir. Bu durum özellikle geleneksel konut dokularında daha yoğun algılanabilmektedir.
- Türkiye'de özellikle geleneksel konut dokularının organik, kavisli sokaklar oluşturduğu, hatta yer yer çıkmaz sokakların varlığı gözlenmekte, bu dar sokaklarda yapıların birbirine bakan geniş saçakları, çıkmalar ve sokak ortasından geçen kabaltılar sayesinde, sıcak yaz günlerinde sokaklarda güneş kontrolü/gölgeleme sağlanabilmektedir. Soğuk kış mevsimlerinde ise yüksek avlu duvarları sayesinde hem mahremiyet sağlanmakta, hem de soğuk hava ve rüzgârın kesilmesi amaçlanmaktadır. Sokaklar çoğunlukla hâkim rüzgâr yönüne açılmakta, böylece hava koridoru oluşumu ve sirkülasyonu desteklenmektedir.
- Yapı tasarımı bağlamında gün ışığı ve rüzgâr kullanımının ve ısı/su yalıtımını destekleyici çözümlerin varlığı ve düşük üretim enerjili malzemelerin/yapım sistemlerinin seçildiği (bağdadi duvar uygulaması, kalın kâgir beden duvarları, kerpiç, taş, tuğla, hımış sistem vb. malzeme ve tekniklerin kullanılması, toprak dam uygulaması vb.) gözlenmektedir (Şekil 2).



Şekil 2. Sille'de geleneksel bir konut yapısında duvarda bağdadi uygulaması

- Havalandırılmalı sedirler, farklı yüksekliklerdeki yazlık ve kışık mekân uygulamaları, havuzlar, geleneksel konutlarda kuzey cephede çıkıntı yapacak şekilde yerleştirilen süt dolabı kabinleri, odalarda duvar dibi bacalı ocakların ve bacaların varlığı, tandır ve mangal ısıtma düzenekleri, Divriği evlerinde gözlemlenen kürsübaşı mekânı da doğal havalandırma, serinletme, ısıtma kapsamında gözlemlenen başlıca çözümlerdir (Şekil 3).

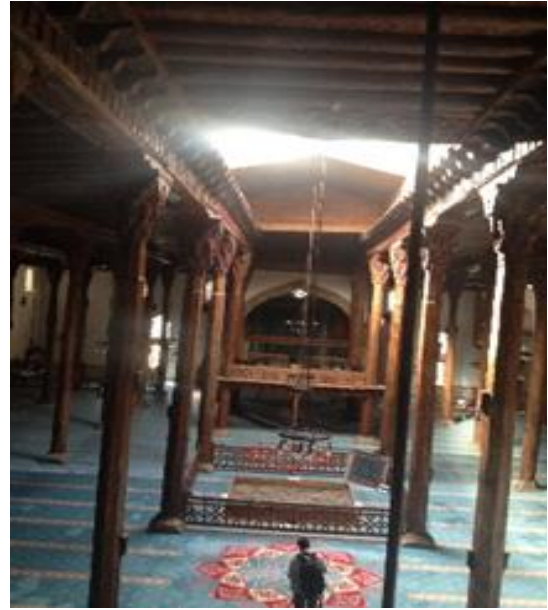


Şekil 3. Divriği, Nuri Demirağ Müzesi'nde (Mühürdarzade Konağı) özgün kürsübaşı mekânı

- Yöney [37] de çalışmasında, yapı duvarlarında kullanılan farklı doğal yapı malzemelerinin enerji tüketimine etkisini incelemiş, bunlardan saman balyasının hem karasal hem Akdeniz iklimlerinde minimum yıllık enerji tüketimi sağladığını ortaya koymuştur. Özellikle İç Anadolu Bölgesi'nde tarihi yapılarda yoğun olarak kullanılan kerpicingin bu iklim bölgelerinde yaz aylarında enerji performansının daha iyi olduğu anlaşılmıştır.
- Tarihi yapılarda; gerek özgün işlevini yitiren tarihi yapıların terkedilmek yerine yeniden işlevlendirilmesi, gerekse geri dönüşüme bir katkı olarak nitelendirilebilecek devşirme malzemelerin yoğun olarak tercih edilmesi, basit, işlevsel mekân organizasyonuna sahip olmaları (tarihi konutlarda ortak sofa kullanımı vb.) ve tüketim ve atık oluşumunun olmaması ya da minimum düzeyde olması malzemenin ve enerjinin korunumuna verilebilecek örneklerdir. Anıtsal ve sivil mimarlık örneği yapıların avlularında bulunan hatta iç mekânlarında yer alan ve çatı/yüzey drenajı ya da su temin sistemleriyle bağlantılı olan kuyu, sarnıç, havuz, karlık mekânları yağmur suyunun toplanması, çeşitli amaçlarla yeniden kullanılması ve su tüketiminin azaltılmasında, hem mekânın serinletilmesine hem de suyun korunumuna katkı sağlayan başlıca uygulamalardır (Şekil 4) (Şekil 5) (Şekil 6).



Şekil 4. Bilecik, Osmaneli, Tokluoğlu Konağı zemin katta mekân içinde yer alan kuyu



Şekil 5. Konya, Beyşehir, Eşrefoğlu Camii karlık kuyusu



Şekil 6. Konya, Alâeddin Camii avlusu karlık kuyusu

- Özellikle Antep ilinde yoğun olarak mevcut olan ve tarihi yapıların bodrum katlarında bulunan kasteller de suyun dağlardan, su kaynağından livaslarla taşınarak getirildiği/toplandığı önemli su toplama mekânlarıdır, ayrıca serinletici etkisiyle yaz aylarında yoğun olarak kullanılmaktadır. Yine, geleneksel tarihi sokak

dokularında, hatta büyük bedesten, çarşı vb. yapıların içlerinde yağmur suyunun toplandığı açık kanallar mevcuttur.

- Çatılarda biriken kar/yağmur suları çörtlenler ve çörtlen zincirleri vasıtasıyla kontrollü olarak zemine indirilmekte, zeminde biriken sular açık su toplama kanalları sayesinde havuz, sarnıç, kuyulara aktarılmaktadır. Mahalle çeşmesinin su arkı/deposu, kuyu vb. ile ilintili olan bu kanallar da suyun korunumunda önemli bir rol üstlenmiştir (Şekil 7).
- Yine, Topkapı Sarayı'nda üst örtü ve yüzey sularını toplamak için avluda yapılan ters armut şeklindeki su kuyularının ve bu kuyuları birbirine bağlayan kanalların varlığı, tarihi yapılarda yağmur suyu şebekesi uygulaması ve suyun korunumuna verilebilecek bir başka örnektir [38].
- Her ne kadar günümüz konfor koşulları için yeterli olmasa da geleneksel konutlarda rutin beden temizliği için akan su çeşmesi yerine dolap içi gusülhanelerin kullanılmış olması da suyun daha az tüketimine kendi dönemi için katkı sağlayan bir unsurdur [39].
- Ayrıca, Selçuklu döneminden itibaren varlığı bilinen, kar ve buz depolamak için kullanılan buzhaneler suyun korunumu, toplanması ve yeniden kullanılmasında önemli ekolojik çözümlerdir [40]. Örneğin, Konya ilinde günümüzde harap vaziyette çok sayıda buzhane, sarnıç mevcuttur [41].



Şekil 7. Şeyh Süleyman Mescidi'nin bodrumunda yer alan sarnıç

Kültür varlıkları ve mirası korumanın sürdürülebilirliğin sosyal yönüne ve döngüsel ekonomiye katkısı değerlendirildiğinde; yapıların özgün işlevini sürdürüyor olması, özgün işlevinde ya da yeniden kullanılmak üzere işlevlendirilmesi sayesinde kullanım ömrünü uzamakta, böylece bu yapılara halkın erişimi sağlanmakta, geleneksel, kültürel ve sosyal değerler canlandırılarak, çevresel faydalar artmaktadır. Yapıya sosyal, kültürel, ekonomik bir işlev verilmesi halinde ziyaretçi sayısı artmakta, yerel ve genel kullanıcılar, işletmeciler arasında sosyal ve sosyo-ekonomik işbirlikleri, ilişkiler kurulmakta, yeni iş fırsatları ve istihdam yaratma olasılığı olabilmektedir. Böylece, hem

toplum için (güvenlik, refah, konfor vb.), hem de rehabilitasyon sürecine dahil olan tüm katılımcılar için (sahipler, mimarlar, tedarikçiler, müteahhitler, miras uzmanları ve zanaatkarlar) önemli kazanımlar elde edilebilmektedir [3].

Tarihi yapıların gerek özgün kullanımının devam etmesi, gerekse yeniden işlevlendirilmesi sayesinde doğadan hammadde çıkarılması, hazırlanması, üretilmesi, nakliyesi aşamaları bertaraf olmakta, bu durum, düşük karbon salınımı, atık yönetimine önemli katkı sağlamaktadır. Mimari korumanın, gürültü kirliliği, kaldırım ve sokakların bozulmasının önlenmesi ve onarımın esaslı değil basit onarım olması halinde yeniyi inşa etmekten daha az zaman almasına katkı sunması da döngüsel ekonomiyle olan ilişkiyi güçlendirmektedir. Çok zaruri hallerde yıkılması gerektiğinde dahi (mail-i inhidam durumu), yıkım molozunun (taş, tuğla, kiremit vb.) başka bir yapının restorasyonunda (gerek direkt yapı malzemesi olarak, devşirme/spolyen olarak, gerekse harç/sıva/derz katkı malzemesi-tuğla kırığı, taş tozu vb. olarak) hayat bulması olasıdır. Restorasyon müdahale yöntemlerinden olan bütünleme, yenileme, yeniden yapım işlemleri, önceden yıkılmış bir yapının devşirme malzemeleriyle ya da özgün yapının kopan/düşen parçalarının birleştirilmesiyle yapılabilmektedir. Örneğin Konya Alaeddin Camii'nde iç mekân sütun ve sütun başlıklarında devşirme malzeme kullanımı gözlenmektedir (Şekil 8). Bu durum yapılan müdahalenin özgünlüğünü arttırdığı kadar, döngüsel ekonominin sıfır atık politikasının yerine getirilmesine de katkı sunmaktadır.



Şekil 8. Konya, Alaeddin Camii sütun(üstte) ve sütun başlıklarında (altta) devşirme malzeme kullanımı.

Tarihi yapıların yeniden işlevlendirilmesi, doğal çevrelerin korunması açısından da önemlidir. Öyle ki, yıkım ve yeniden yapım yerine mevcut/yeniden kullanımın tercih edilmesi ile mevcut peyzaj, bitki örtüsü, hatta o bölgedeki fauna ve floranın, canlı türlerinin devamlılığı, korunumu mümkün olabilmekte, böylece yıkım sonucu çıkacak atıkların çevreye vereceği zarar önlenilmekte, çevresel kirliliğin azaltılmasına katkı sağlanabilmektedir. Ayrıca, gerek anıtsal gerekse geleneksel sivil mimarlık örnekleri çoğunlukla ön, orta ya da arka avluya/bahçeye sahip yapılardır ve bu alanlarda yer alan yeşillik, su öğeleri doğal çevrelerin korunmasında etkilidir. Öyle ki, tarihi darüşşifa yapılarında özgün kullanımalarının devam ettiği dönemlerde bu açık alanlarda hastaların şifa bulması için gerekli olan bitkilerin yetiştirildiğine dair veriler mevcuttur [42]. Tarihi yapıların geniş ahşap saçakları, taş kornişleri, kat silmeleri, kerpi saçakları, yağmur suyunun duvarlara zarar vermeden dışarı akmasına imkân vermektedir. Benzer şekilde, geleneksel konutlarda çoğunlukla avluya yönelen dış sofa plan tipi, havalandırmalı sedirler, eyvanlı yapı çözümleri gibi özel tasarımlar, “uzun vadeli iklim değişikliği planlamasında ve iklim değişikliği için tasarımda önemli döngüsel ekonomi stratejileridir” [1]. Ayrıca, Süleymaniye Camii’nde mevcut olan mihrabın karşısında, üst kotta yer alan is odası, kandil ve şamdanlardan çıkan isleri toplayarak hem caminin iç hava kalitesinin artırılmasını sağlamakta, hem de biriken islerden mürekkep elde edilmesine imkân vererek birden fazla işleve hizmet etmektedir. Benzer şekilde caminin altından geçen dehlizler, hem yapının sıcak yaz aylarında serinlenmesini sağlamakta hem de kışın toprağın ısınımasını kullanarak yapının ısı kontrolüne yardımcı olmaktadır [43] (Şekil 9).

Ayrıca yapı temellerinde uygulanan özel detaylar (galeriler, sütunlar, kemerler, tonozlar, boşluklar/yükseltilmiş döşeme, ahşap tomruk uygulaması, kırık taşlarla yapılan sandık temel duvarları, kalın temel tabanları) hem deprem izolatörü olarak görev yapmış, hem de yapının yer altı suyundan korunması, havalanması, soğutulması, ısıtılmasına olanak sağlamıştır. Galerilerin bu şekilde temiz hava deposu olarak kullanılması hem sağlıklı hem de ekonomiktir, ayrıca günümüz toplu kullanım alanları için ilham vericidir. Özellikle tarihi yapılarda altı boş tahta tabanlar oldukça fazladır. Yine tarihi yapı temellerinde, bahçe ve avlularında gözlemlenen su kuyuları, temel altındaki toprakta oluşabilecek



Şekil 9. Süleymaniye Camii is odası delikleri (üstte) ve yer altı kanallarına giriş sağlayan arka bahçedeki kapak (altta).

yeraltı suyu ve basıncını tahliye etmek, bina içindeki havanın nem oranını ayarlamak, zeminin havalanmasını kolaylaştırmak ve deprem anında rijidliği korumak içindir. Ayrıca bu kuyular yağmur suyunun toplanarak deşarj edilmesine katkı sağlamıştır [38]. Geleneksel Türk konutlarında izbe, bastırık, kiler, depo vb. olarak adlandırılan çoğunlukla ahşap/taş bir merdiven aracılığı ile mutfakla ilintili olarak yapılan mekânlar da hem yiyeceklerin bozulmadan muhafaza edilmesine olanak tanımış, hem de üstteki doğal mekânın havalandırılmasına katkı sağlamıştır. Örneğin geleneksel Sille evlerinde avluda ya da iç mekânda bastırık mekânları yoğun olarak kullanılmıştır (Şekil 10).



Şekil 10. Sille evlerinde avluda bastırık mekânına giriş ve içinden görşeller.

Yapıların ortalarındaki karlık depoları da yanlardan ve tabandan toprağın temiz havasının iç mekâna aktarılması, sıcak yaz günlerinde mekânın serinlemesi ve kar/buz ihtiyacının karşılanması, ortam neminin dengelenmesi, soğuk kış günlerinde ise çatı kar yükünün azaltılmasında etkili çözümler olmuştur. Özellikle büyük anıtsal yapıların kapılarına keçe örtülerek kışın ısı kaybının önlenmesi hedeflenmiştir. Gaziantep tarihi yapılarında yoğun olarak gözlemlenen kuş takaları/taş oyma pencereler sahip olduğu ikili işlev sayesinde hem kuşlara yuva olarak kullanılmakta hem de mekânın her daim havalandırılmasını sağlamaktadır. Bu özel çözümleri ile tarihi yapılar, döngüsel ekonomiye olduğu kadar, kullanıcı refahını artırmaya ve geleneksel yapıım tekniklerini sergilemeye de katkıda bulunmaktadır.

4. Tartışma ve Sonuç

Tarihi yapılar gerek esaslı onarımları gerekse yeniden kullanım, uyarılma, yenileme, iyileştirme, yeniden değerlendirme yoluyla döngüsel ekonominin insan merkezli uygulanmasına katkı sunmaktadır [8]. Döngüsel ekonominin ekoloji temelli ve sıfır atık üretimi teması dikkate alındığında; dayanıklı, sağlıklı, doğal yerel malzeme ve tekniklerin kullanılması sayesinde kültür varlıkları uzun vadeli kaynak sağlanmasına, böylece çevresel yenilemenin gerçekleşmesine olanak tanımakta, yeniden kullanımları sayesinde yeni iş/istihdam olanakları ve yere özgü toplumsal hafızanın yenilenmesini sağlamakta, böylece toplumda işbirliği ve sinerjinin gelişmesine ortam hazırlamaktadır [44]. Ekonomik

refah ve büyüme için önemli bir kaynak olan kültür varlıkları [8] aynı zamanda yukarıda Türkiye özelinde detaylı olarak örneklendirilen somut ve somut olmayan geleneksel bilgi sistemleri sayesinde tarihi, mimari, teknik, teknolojik ve kültürel değerlerin nesillerce aktarılmasına, böylece içinde bulunduğu toplumların yerel kimliklerinin oluşumuna katkı sunmaktadır. Zaman içinde farklı kullanıcılar tarafından el değiştiren ve farklı amaçlarla kullanılan kültür varlıkları, sundukları ekolojik, doğa odaklı çözümler, sürdürülebilir teknik ve malzemeler, çevreye/topoğrafyaya/iklime duyarlı yapıım sistemleri, yönelim ve yerleşim olanakları ile bu toplumların sosyal uyumu, refah düzeyi ve konfor koşullarının gelişiminde de önemli rol üstlenmiştir. Ekonomik, sağlıklı, çevre-duyarlı yaklaşım sergileyen bu çözümler döngüsel ekonominin de temel yapı taşlarıdır. Oldukça zengin kültür varlığı stoğuna sahip olan Türkiye özelinde gerçekleştirilen bu çalışma ile gerek anıtsal gerek sivil mimari ölçeğindeki tarihi yapıların pasif yaşam sistemlerinin özel çözümlerini içerdiği, bu çözümleri ile ekolojik, iklime, topoğrafyaya duyarlı ve çevre dostu olmalarının yanında yeniden kullanılmaları veya onarılarak halen özgün işlevlerinde kullanılıyor olmaları sayesinde toplumsal hafıza ve refaha, turizm, istihdam ve inşaat faaliyetlerine de hizmet ettikleri anlaşılmıştır. Dini, sosyal, barınma vb. farklı işlevlerde kullanılan tarihi yapılar ve çevreler, sadece günümüzde değil geçmişte de aktif olarak kullanılmış ve doğru uygulama ve yatırımlarla gelecek nesillere de hizmet etmeye devam edecektir. Türkiye’de tescilli kültür varlıklarının onarımı için gerek hazine gerekse vakıf kökenli olmaları halinde Vakıflar Genel Müdürlüğü bütçesinden kaynak ayrılmakta, özel/şahıs mülkiyetindeki varlıkların onarımları için de özel fonlarla onarım ve proje destekleri verilmektedir. Böylece yapıların yıkılmayıp onarılarak korunmaları/kullanılmaya devam etmesi sayesinde karbon salınımı, kaynak kullanımı azalmakta, yeşil çevrelerin korunumu ve düşük karbon ekonomisine katkı sağlanmaktadır. Daha yeşil, sürdürülebilir bir çevre ve döngüsel ekonomi politikalarının uygulandığı bir ortam için tarihi yapıların sahip oldukları bu değerlerin ve sürdürülebilir, ekonomik, ekolojik özel çözümlerin günümüz çağdaş yapılarına uyarlanma potansiyellerinin irdelenmesi ve bu geleneksel bilgi sistemlerinin yapılan onarımlar/uyarlamalar esnasında korunarak yaşatılması için azami özenin gösterilmesi önemli ve gereklidir. Böylece, kaynakların uzun süreli kullanımı, onlardan maksimum değer elde edilmesi, minimum kaynak kullanımı ve atık oluşumu ile verimliliği artırmak olasıdır. Yine, döngüsel ekonominin temellerinden olan refah ve katılımcı büyümenin gerçekleştirilebilmesi için öncelikle bu geleneksel bilgi sistemlerinin, sürdürülebilir çözümlerin iyi anlaşılması, tanıtılması ve özel sektör, yerel yönetimler, sivil toplum kuruluşları ve kamu işbirliği ile yaşatılması önemli bir adım olacaktır.

Etik Beyanı

Bu çalışmada, "Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesi" kapsamında uyulması gerekli tüm kurallara uyulduğunu, bahsi geçen yönergenin "Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiğine Aykırı Eylemler" başlığı altında belirtilen eylemlerden hiçbirinin gerçekleştirilmediğini taahhüt ederiz.

Kaynakça

- [1] Foster, G. 2020. Circular Economy Strategies For Adaptive Reuse of Cultural Heritage Buildings to Reduce Environmental Impacts. Resources, Conservation and Recycling, 152 (104507).
- [2] Altınoluk, Ü. 1998. Binaların Yeniden Kullanımı: Program-Tasarım-Uygulama-Kullanım. 1. Baskı. YEM Yayın, İstanbul, 143s.
- [3] Ankaralığıl, B., Dişli, G. 2021. Sustainable and Traditional Technologies in Kutahya Historic Houses and Their Contribution to Circularity: The Case of Lajos Kossuth House. Vitruvio, 6(1), 93-109.
- [4] Huuhka, S., Vestergaard, I. 2020. Building Conservation and the Circular Economy: A Theoretical Consideration. Journal of Cultural Heritage Management and Sustainable Development, 10(1), 29-40.
- [5] Nocca, F., De Toro, P., Voysekhovska, V. 2021. Circular Economy and Cultural Heritage Conservation: A Proposal for Integrating Level(s) Evaluation Tool. AESTIMUM, 78, 105-14.
- [6] Foster, G., Kreinin, H., Stagl, S. 2020. The Future of Circular Environmental Impact Indicators for Cultural Heritage Buildings in Europe. Environmental Sciences Europe, 32(141).
- [7] Foster, G., Saleh, R. 2021. The Adaptive Reuse of Cultural Heritage in European Circular City Plans: A Systematic Review. Sustainability 13(5)(2889).
- [8] Historic England. 2020. Heritage and The Economy, p. 1-33. <https://historicengland.org.uk/content/heritage-counts/pub/2020/heritage-and-the-economy-2020/>. (Erişim Tarihi: 03.01.2022).
- [9] Tomasetta, C. 2017. The Life Cycle Sustainability Assessment Approach Applied To Tangible Cultural Heritage Conservation, DREAMT Doctorate School, PhD Dissertation in Economics and Management of Technology, 153p.
- [10] Zimmermann, R. K., Kanafani, K., Rasmussen, F. N., Ernst Andersen, C., Birgisdottir, H. 2020. LCA-Framework to Evaluate Circular Economy Strategies in Existing Buildings. 2020IOP Conference Series Earth and Environmental Science, November 2020, 588(4):042044.
- [11] The American Institute of Architects. 2020. Buildings That Last: Design For Adaptability, Deconstruction, And Reuse, p. 1-30. https://content.aia.org/sites/default/files/2020/04/Adaptability_Deconstruction_ReUse_Materials_Practice_Guide_V3.3.pdf. (Erişim Tarihi: 03.01.2022).
- [12] Ellen MacArthur Foundation. 2016. Circularity in the Built Environment: Case Studies. A compilation of Case Studies from the CE100. 72 p.
- [13] Gravagnuolo, A., De Angelis, R., Iodice, S. 2019. Circular Economy Strategies in the Historic Built Environment: Cultural Heritage Adaptive Reuse. 18th Annual STS Conference, Critical Issues in Science, Technology and Society Studies, 6-7 May 2019, Graz, Austria, 121-144.
- [14] Gravagnuolo, A., Fusco Girard, L., Ost, C., Saleh, R. 2017. Evaluation Criteria for A Circular Adaptive Reuse of Cultural Heritage. BDC Boll. Del Cent. Calza Bini, 17(2), 185-216.
- [15] Varol, F. 2020. Sustainable Cultural Heritage Management: A Research for Tourism Stakeholders. Afyon Kocatepe University Journal of Social Sciences, 22(4), 1140-1156.
- [16] Kültür ve Turizm Bakanlığı. 2022. Türkiye Geneli Korunması Gerekli Taşınmaz Kültür Varlığı İstatistiği. <https://kvmgm.ktb.gov.tr/TR-44798/turkiye-geneli-korunmasi-gerekli-tasinmaz-kultur-varligi.html>. (Erişim Tarihi: 03.01.2022).
- [17] UNESCO. 2022. Turkey. <https://whc.unesco.org/en/statesparties/tr>. (Erişim Tarihi: 03.01.2022).
- [18] Potting, J., Hekkert, M. P., Worrell, E., Hanemaaijer, A. 2017. Circular Economy: Measuring Innovation in The Product Chain. PBL Publication, The Hague, 45p.
- [19] Erder, C. 2020. Tarihi Çevre Algısı. YEM Yayın, İstanbul, 328s.
- [20] Asatekin, N. G. 2004. Neyi, Niçin, Nasıl Korumalıyız? Kültür Bakanlığı, Ankara, 188s.
- [21] Lubeck, A. 2010. Sustainable Building and Historic Homes Green Restorations, New Society Publishers, Gabriola, BC, 287p.
- [22] Rodwell, D. 2007. Conservation and Sustainability in Historic Cities. Blackwell Publishing, Oxford, UK, 272p.
- [23] Young, A. R. 2012. Stewardship of the Built Environment: Sustainability, Preservation, and Reuse (Metropolitan Planning + Design). Island Press, Washington, 257p.
- [24] Labadi, S., Giliberto, F., Rosetti, I., Shetabi, L., Yildirim, E. 2021. Heritage and The Sustainable Development Goals: Policy Guidance For Heritage And Development Actors. ICOMOS, Paris, 69p.

- [25] Wagner, R. 2011. Finding a Seat at the Table: Preservation and Sustainability. ss. 1-16. Longstreth, R., ed. 2011. Sustainability and Historic Preservation: Toward a Holistic View, University of Delaware Press, Delaware, 136p.
- [26] Madran, E. 1996. Cumhuriyetin İlk Otuz Yılında. Koruma Alanının Örgütlenmesi I. METU Journal of Faculty of Architecture, 16(1-2), 59-97.
- [27] Madran, E. 2002. Tanzimat'tan Cumhuriyet'e Kültür Varlıklarının Korunmasına İlişkin Tutumlar ve Düzenlemeler: 1800-1950. ODTÜ Mimarlık Fakültesi Yayınları, Ankara, 232s.
- [28] Madran, E. 2004. Osmanlı İmparatorluğu'nun Altın Çağlarında Onarım Alanının Örgütlenmesi, 16.-18. Yüzyıllar. ODTÜ Mimarlık Fakültesi Yayınları, Ankara, 176s .
- [29] Dişli, G., Günel, G. 2020. Constitution and Development of High Council of Real Estate Antiquities and Monuments in Turkey and Comparison of its Decisions with Current Resolutions. Grid Architecture Planning and Design Journal, 3(1), 2-27.
- [30] Sarıkaya-Levent, Y. 2009. Tarihi Çevre Koruma Mevzuatına Genel Bir Bakış. Dosya 14.1: Tarihi Çevrede Koruma: Yaklaşımlar, Ugulamalar-1, Haziran 2009, 62-68.
- [31] Kültür ve Turizm Bakanlığı. 1983. 2863 Sayılı Kültür Ve Tabiat Varlıklarını Koruma Kanunu. <https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuatmetin/1.5.2863.pdf>. (Erişim Tarihi: 26.01.2022).
- [32] Department for Environment, Food and Rural Affairs (DEFRA), UK. 2020. Policy Paper Circular Economy Package Policy Statement. <https://www.gov.uk/government/publications/circular-economy-package-policy-statement/circular-economy-package-policy-statement>. (Erişim Tarihi: 27.01.2022).
- [33] Ellen MacArthur Foundation. 2013. The Circular Model, An overview, Ellen MacArthur Foundation Publications.
- [34] Moreno, M., Rios, C., Rowe, Z., Charnley, F. 2016. A Conceptual Framework for Circular Design. Sustainability, 8(9)(937).
- [35] Olgyay, V., Olgyay, A. 1963. Design With Climate: Bioclimatic Approach To Architectural Regionalism. Some Chapters Based On Cooperative Research. Princeton University Press, Princeton, N.J., 224p.
- [36] Kısa Ovalı, P. 2009. 2017. Forming Ecological Design Criteria Systematics in Terms of Climate Regions in Turkey: Kayaköy Settlement Sample, Trakya University, PhD Dissertation in Architecture, 243p.
- [37] Yöney, E. G. 2019. Effect of Natural Wall Materials on Energy Consumption in Continental and Mediterranean Climates, İzmir Institute of Technology, Master's Thesis in Architecture, 150p.
- [38] Bayraktar, A. 2011. Yığma Yapı Mühendisliğinin Gelişim Tarihi, Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımları. Beta Yayınları İstanbul, 291s.
- [39] Dişli, G., Orhan, Ş. B., Duysak, A. 2019. Functional Systems in Historic Houses: A Historic House Case in Konya-İlgın. Journal of Art History 8(2), 407-435.
- [40] Dişli, G., Duysak-Mankır, A. 2021. Geleneksel Akşehir Evlerinde İşlevsel Sistemlerin Ekolojik ve Enerji Etkin Tasarım Ölçütleri Açısından İncelenmesi. Journal of the Academic Studies of Turkish-Islamic Civilization, 16(32), 257-286.
- [41] İbaoğlu, E., Dişli, G. 2021. Konya İli Merkez İlçelerinde Bulunan Tarihi Buzhane, Su Deposu Ve Sarnıçların Tipolojik Bir Analizi. 6th International Congress On Architecture and Design, 25-26 Aralık, 534-543. Güven Plus Grup A.Ş. Yayınları, İstanbul.
- [42] Nemlioğlu, C. 2009. Osmanlı Darüşşifalarının Bahçe Düzeni ve Tıp Bilimine Katkıları. Türk Dünyası Araştırmaları , 183, 305-324.
- [43] Kaygısız, A., Dişli, G. 2021. Mimar Sinan'ın Klasik Dönem Osmanlı Mimarisi Külliye Yapılarında İşlevsel Sistemler: Süleymaniye Külliyesi Örneği. Turkish Online Journal of Design Art and Communication, 11(3), 750-768.
- [44] Gravagnuolo, A. 2021. The Role of Cultural Heritage in Circular Economy Action. ss. 21-22. Potts, A. ed. 2021. European Cultural Heritage Green Paper, Europa Nostra, The Hague & Brussels, 107s.

Trimetil Anilin Temelinde Yeni Sterik Engelli Salisilaldiminlerin Cu(II) ve Pd(II) Komplekslerinin Sentezi ve Karakterizasyonu

Emine AYTAR*¹, Sümeyya HARTAVI¹, Veli Tarık KASUMOV¹

¹Harran Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü, 63000, Şanlıurfa, Türkiye

(Alınış / Received: 16.03.2022, Kabul / Accepted: 07.07.2022, Online Yayınlanma / Published Online: 20.12.2022)

Anahtar Kelimeler

Schiff bazları,
Cu(II) ve Pd(II) metal
kompleksleri,
Anilinler,
İmin sentezi

Öz: Schiff bazları (iminler) kararlı ve kolay sentezlenebilir olma özelliği nedeniyle ilgi duyulan bileşikler arasında yer almaktadır. İminlere gösterilen bu talep birçok biyolojik alanda, kimyasal kataliz reaksiyonlarında, tıp ve eczacılık sektöründe, kimyasal analiz çalışmalarında ve yeni teknolojik sistemlerde kullanımı ile geniş bir uygulama alanına sahip olması açısından dikkat çekmektedir. Bu nedenle bu çalışmada, 2,4,6-trimetilanilin ile 3,5-di-t-bütil-2-hidroksi benzaldehit, 3-t-bütil salisilaldehit ve 5-t-bütil salisilaldehitin reaksiyonundan yeni sterik engelli 3 adet salisilaldimin ligand sistemi sentezlendi. Sonrasında elde edilen bu ligand sistemlerinin Cu(II) ve Pd(II) metal tuzları ile reaksiyonundan 3 adet Cu(II) ve 1 adet Pd(II) kompleks bileşiği olmak üzere toplamda 3 ligand sistemi ve 4 metal kompleks bileşiği sentezlendi. Sentezi gerçekleştirilen trimetil anilin temelli yeni sterik engelli salisilaldimin ligand sistemi ve bu bileşiklerin metal komplekslerinin yapı tayini, Erime Noktası, UV-VIS, FT-IR, Elemental analiz, Manyetik duyarlılık, ¹H ve ¹³C-NMR ile gerçekleştirildi.

The Synthesis and Characterization of Cu(II) and Pd(II) Complexes of New Sterically Hindered Salicylaldimines Based on Trimethyl Aniline

Keywords

Schiff bases,
Cu(II) and Pd(II) metal
complexes,
Anilines,
Synthesis of imine

Abstract: Schiff bases (imines) are among the compounds of interest due to their stable and easily synthesizable features. This demand for imines draws attention in terms of having a wide application area with its use in many biological fields, chemical catalysis reactions, medicine and pharmacy sector, chemical analysis studies and new technological systems. Therefore, in this study; the new sterically hindered three salicylaldimine ligand system were synthesized from reaction of 2,4,6-trimethylaniline with 3,5-di-tert-butyl-2-hydroxy benzaldehyde, 3-tert-butyl salicylaldehyde and 5-tert-butyl salicylaldehyde. Afterwards, 3 Cu(II) and 1 Pd(II) complex compounds from the Cu(II) and Pd(II) metal salts of these ligand systems were synthesized. The Structure determination of new sterically hindered salicylaldimin ligand systems and metal complexes of these compounds based on trimethyl aniline synthesized were performed by Melting Point, UV-VIS, FT-IR, Elemental analysis, Magnetic susceptibility, featured of ¹H and ¹³C-NMR.

1. Giriş

Schiff bazları karbonil bileşiklerinin primer aminlerle kondezasyonu sonucu elde edilen ve yapısında karbon azot çift bağı (-CH=N-) içeren bileşiklerdir [1]. İlk defa 1864 yılında Nobel ödüllü Alman kimyacı Hugo Schiff tarafından sentezlenmiş olan schiff bazı 1930 yılında ise Pfeiffer tarafından ilk defa ligand olarak kullanılmıştır.

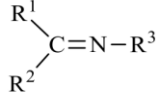
Birçok bilim insanı Schiff bazları konusu ve koordinasyon bileşikleriyle ilgilenmiştir. Koordinasyon kimyası bileşiklerinde schiff bazları çok

sık kullanılan ligantlardandır. Schiff bazı ligantları karbonil bileşiklerinin, özellikle keton ve aldehitlerin primer aminle kondenzasyona girmesiyle meydana gelmektedir. Karbonil bileşikleri ve aminlerin ya da ikisinde aktif fonksiyonel gruplar içermesi aktif şelat grubu oluşturmaktadır. Bundan dolayı bu bazlar kompleks hazırlamada oldukça önemli gruplardandır [2].

Kararlı bir şekilde ve kolaylıkla sentezlenebilir olmaları sebebiyle Schiff bazları (iminler) dikkat çeken bileşikler arasında yer almayı başarmıştır. Bu bileşikler biyolojik uygulamalarda [3, 4], kimyasal

*İlgili yazar: emineaytar@harran.edu.tr

tepkimelerde [5], tıp ve eczacılık uygulama alanlarında [6], katalitik özelliğe sahip olmaları nedeni ile yeni teknolojik sistemlerde kullanılabilirliği gibi birçok uygulama alanında yer almaktadırlar [7-10].



$R^1, R^2, R^3 =$ alkil ya da aril

Şekil 1. Schiff bazlarının genel gösterimi

İminler ve bu bileşiklerin komplekslerinin farklı kalitatif ve kantitatif tayinlerde, radyoaktif bileşiklerin zenginleştirilmesinde, eczacılık alanında ilaç sanayi sektöründe, boya sanayisinde ve plastik endüstrisinde uygulanmasının yaygınlaşması, biyokimyasal aktifliklerinden dolayı çok dikkat çekmesi ve son zamanlarda özellikle sıvı kristal teknolojisinde uygulanabilecek bir çok iminin literatürde yer alması bu bileşiklerle ilgili sentez çalışmalarının önemini daha da artırmıştır[11].

Aromatik aminlerin Schiff bazları, bazı kimyasal reaksiyonlar sonucunda değişik substratlara oksijen taşıyıcı görevi yaparak kemoterapi alanında kullanılmaktadırlar [12]. Bu bileşiklerin metal kompleksleri tarım sektöründe, polimer endüstrisinde polimerler amacıyla antistatik bileşikler olarak kullanılmaktadırlar [16]. Bunların bazı kompleksleri içerisinde yer alan sıvı kristal niteliğinden faydalanılarak uçak endüstrisinde, televizyon ile bilgisayar ekranlarında, saat göstergelerinde de kullanılmaktadırlar [17-19].

Schiff bazı komplekslerinin ayrıca tıp dünyasındaki önemi antikanser aktivite göstermesi nedeni ile giderek artmaktadır. Reaktif olarak kanserle mücadele amacıyla araştırılmaktadırlar [15]. Biyolojik aktivite bakımından önemli olan Cu(II) kompleksleri antitümör, antiviral ile anti inflamatuvar ajan olarak bilinirler. Özellikle iminlerin ligandları ile elde edilen Cu(II) bileşikleri, biyolojik Cu sistemlerinin fiziksel ve kimyasal davranışlarının incelenmesiyle ciddi referans bileşikler oldukları da belirlenmiştir [16].

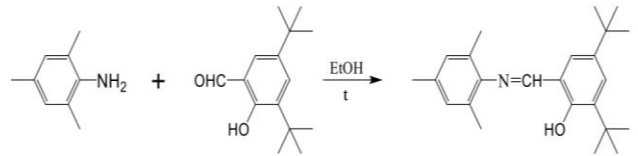
Bu çalışmada, 2,4,6-trimetilanilin ile 3,5-di-t-bütil-2-hidroksi benzaldehit, 3-t-bütil salisilaldehit ve 5-t-bütil salisilaldehitin reaksiyonundan yeni sterik engelli 3 adet salisilaldimin ligandları sentezi gerçekleştirildi. Elde edilen bu schiff bazı ligandlarının Cu(II) ve Pd(II) metal tuzları ile gerçekleştirilen reaksiyonundan 3 adet Cu(II) ve 1 adet Pd(II) bileşikleri olmak üzere toplamda 3 adet ligand ve 4 adet metal kompleks bileşikleri sentezlendi. Sentezi gerçekleştirilen trimetil anilin temelli yeni sterik engelli salisilaldimin ligand ve metal kompleks bileşiklerinin yapı tayini, Erime Noktası, UV-VIS, FT-IR, Elemental analiz, Manyetik duyarlılık, 1H ve ^{13}C -NMR ile karakterize edilerek aydınlatıldı.

2. Materyal ve Metot

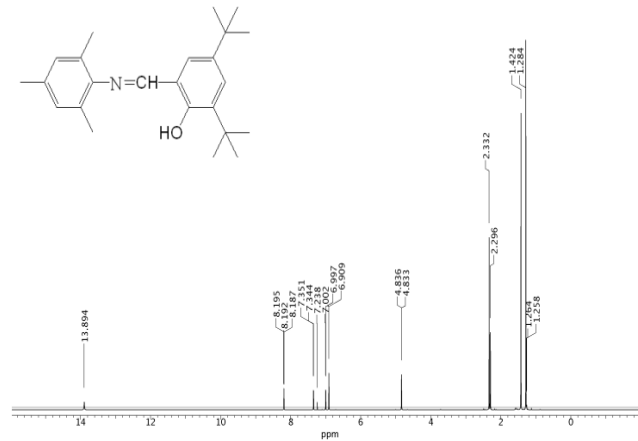
Bu çalışma içerisinde kullanılan tüm kimyasal malzemeler, saflaştırma ve sentez reaksiyonları için kullanılan tüm çözücüler Sigma- Aldrich firmasından temin edildi. Kullanılan kimyasal maddeler: 2,4,6-trimetilanilin, 3,5-di-t-bütil-2-hidroksibenzaldehit, 3-t-bütil-2-hidroksibenzaldehit, 5-t-bütil-2-hidroksibenzaldehit, Cu(Ac) $_2$ H $_2$ O, Pd(ac) $_2$, Asetik asit, Formik asit, Kloroform, Aseton, Asetonitril, Etanol, Metanol. Kullanılan cihazlar: Agilent 1H ve ^{13}C nükleer manyetik rezonans (NMR) 400 Mhz NMR Spektroskopi, Perkin-Elmer RXI FT-IR spektrometre, CHNS-932 (LECO) Elementel Analiz, Perkin Emler Lambda 25 UV-Vis Spektrofotometre, Erime noktası tayin cihazı Stuart Scientific SMP3 Melting Point Apparatus ve Manyetik duyarlılık Sherwood Scientific.

2.1. 2,4-di-t-bütil-6-((mezitilimino)metil)fenol (L^1) ligandının sentezi

100 mL'lik balon içerisinde 0,15 g 2,4,6-trimetilanilin 20 mL etanol ile çözülüp üzerine 0.24 g 3,5-di-t-bütil-2 hidroksibenzaldehit ilave edildi. Katalizör olarak 2-3 damla formik asit eklenerek karışım geri soğutucu altında 8 saat kaynatılarak tepkime sonlandırıldı. Çözelti bir behere alınarak hacmi 1/3 'ü buharlaşmaya kadar çeker ocakta soğumaya bırakıldığında çökelek oluştuğu gözlemlendi. Etil alkolle yıkanarak saflaştırıldı. Daha sonra vakum yapılarak kurutuldu ve madde 0.29 g olarak alındı. Verim: %75; Renk: Sarı; (EN)Erime Noktası: 118°C 1H NMR (400 MHz, CDCl $_3$, δ ppm); 1.32 (6H, CH $_3$); 2.32 (3H, CH $_3$); 5.84(OH); 6.93 (2H, Ar-CH); 7.52-7.48(2H, Ar- CH); 8.39(N=CH). ^{13}C NMR (100.56 MHz, CDCl $_3$, δ ppm): 18.9; 21.9; 31,3; 31,6; 34.4; 34,5; 117.7; 123.7; 126.4; 128.3; 128.9; 129.2; 137.7; 138.4; 150,2; 153.7; 160.0.



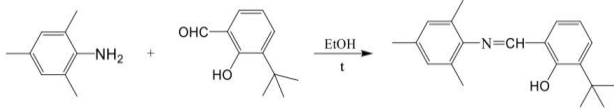
Şekil 2. L^1 bileşiğinin sentez şeması



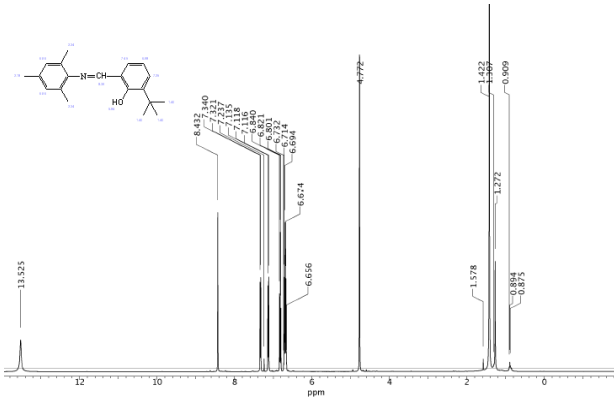
Şekil 3. L^1 ligandına ait 1H -NMR spektrumu

2.2. 2-(*t*-bütil)-6-((mezitilimino)metil)fenol (L²) ligandının sentezi

100 mL'lik balon içerisinde 0,27 g 2,4,6-trimetilanilin 20 mL etanol ile çözülüp üzerine 0,46 g 3-*t*-bütil-2-hidroksibenzaldehit ilave edildi. Katalizör olarak 2-3 damla formik asit eklenerek karışım geri soğutucu altında 10 saat kaynatılarak tepkime sonlandırıldı. Çözelti bir behere alınarak hacmi 1/3 'ü buharlaşınca kadar çeker ocakta soğumaya bırakıldığında çökelek oluştuğu gözlemlendi. Etil alkolle yıkanarak saflaştırıldı. Daha sonra vakum yapılarak kurutuldu ve madde 0,59 g olarak alındı. Verim: % 80; Renk: Sarı; EN: 59,6°C ¹H NMR (400 MHz, CDCl₃, δ ppm); 1.35(6H, CH₃); 2.34 (3H, CH₃); 5.34(OH); 6.91 (2H, Ar-CH); 7.46-7.00-7.34(2H, Ar-CH); 8.34(N=CH). ¹³C NMR (100.56 MHz, CDCl₃, δ ppm): 18.9;21.9; 31.6; 34.1; 118.1; 121.0; 126.4; 128.9; 129.0; 129.2; 130.9; 138.1; 150.2; 156.8; 160.0.



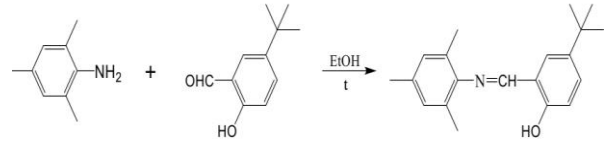
Şekil 4. L² bileşiğinin sentez şeması



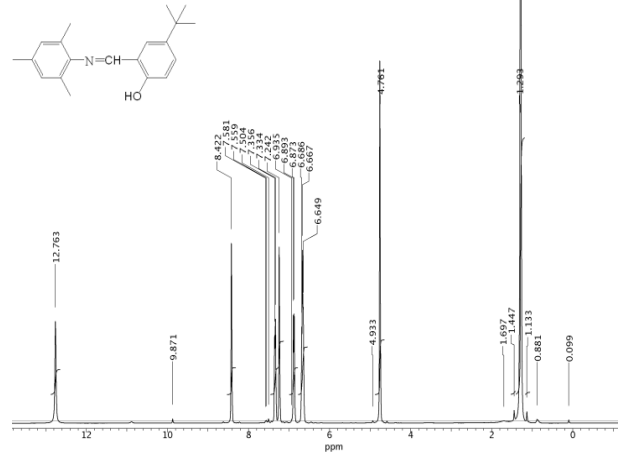
Şekil 5. L² ligandına ait ¹H-NMR spektrumu

2.3. 4-(*t*-bütil)-2-((mezitilimino)metil)fenol (L³) sentezi

100 mL'lik balon içerisinde 0.24 g 2,4,6-trimetilanilin 20 mL etanol ile çözülüp üzerine 0,28 g 5-*t*-bütil-2-hidroksibenzaldehit 20 mL etanol ile çözülüp ilave edildi. Katalizör olarak 2-3 damla formik asit eklenerek geri soğutucu altında 6,5 saat kaynatılarak tepkime sonlandırıldı. Çözelti bir behere alınarak hacmi 1/3 'ü buharlaşınca kadar çeker ocakta soğumaya bırakıldığında çökelek oluştuğu gözlemlendi. Etanolle yıkanarak saflaştırıldı. Daha sonra vakum yapılarak kurutuldu ve madde 0.37 g olarak alındı. Verim: % 69; Renk: Turuncu; EN: 76°C ¹H NMR (400 MHz, CDCl₃, δ ppm); 1.34(6H, CH₃); 2.36 (3H, CH₃); 5.32(OH); 6.97 (2H, Ar-CH); 7.72-7.34-6.94 (2H, Ar-CH); 8.32(N=CH). ¹³C NMR (100.56 MHz, CDCl₃, δ ppm): 18.9; 21.9; 31.3; 34.2; 116.7; 118.1; 126.4; 126.8; 128.9; 129.2; 146.6; 150.2; 158.0; 160.0.



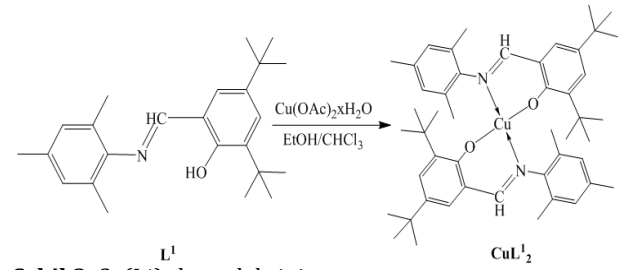
Şekil 6. L³ bileşiğinin sentez şeması



Şekil 7. L³ ligandına ait ¹H-NMR spektrumu

2.4. Cu(L¹)₂ Kompleksinin Sentezi

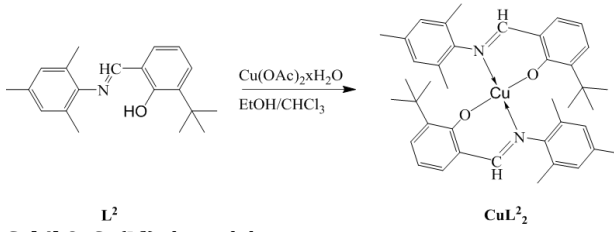
0.25 g L₁ ligandı 40 mL etanolde çözündü. Ayrı bir beherde 0.07 g Cu(Ac)₂H₂O, 10 mL etanolle karıştırılarak ısıtılıp ligandın üzerine ilave edildi. Renk koyu yeşil oldu. Karışım 1-2 saat ısıtılarak 15 mL kalana dek buharlaştırıldı. Çeker ocakta soğumaya bırakılıp çökelti oluştuğu gözlemlendi. Daha sonra çözücü uzaklaştırılarak çökelti cam krozeden filtre edilerek alındı. Etanolle 2-3 kez yıkandı ve sonra kurutuldu. Elde edilen kompleks: 0.26 g, EN: 254.3 °C; Verim: %59 Renk: Koyu yeşil. $\mu_{\text{eff}}=1.84$ B.m.



Şekil 8. Cu(L¹)₂ kompleksinin sentez şeması

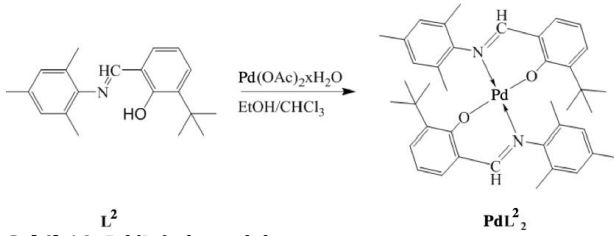
2.5. Cu(L²)₂ Kompleksinin Sentezi

0.30g L₂ ligandı 40 mL etanolde çözündü. Ayrı bir beherde 0.10 g Cu(Ac)₂H₂O 10 mL etanolle karıştırılarak ısıtılıp ligandın üzerine ilave edildi. Renk siyah oldu. Karışım 1-2 saat ısıtılarak 15 mL kalana dek buharlaştırıldı. Çeker ocakta soğumaya bırakılıp çökelti oluştuğu gözlemlendi. Daha sonra çözücü uzaklaştırılarak, çökelti cam krozeden filtre edilerek alındı. Etanolle 2-3 kez yıkandı ve sonra kurutuldu. Elde edilen kompleks: 0.10 g, EN: 162 °C; Verim: %25, Renk: Siyah $\mu_{\text{eff}}=1.75$ B.m.

Şekil 9. Cu(L²)₂ kompleksinin sentez şeması

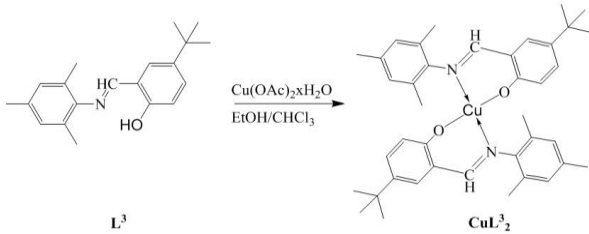
2.6. Pd(L²)₂ Kompleksinin Sentezi

0.296 g L² ligandı 40 mL etanolde çözüldü. Ayrı bir beherde 0.112 g Pd(Ac)₂ direk ligandın üzerine ilave edildi. Renk kırmızı oldu. Üzerine asetik asit eklenip 1-2 saat ısıtılarak 15 mL kalana dek buharlaştırıldı. Çeker ocakta soğumaya bırakılıp çökelti oluştuğu gözlemlendi. Daha sonra çözücü uzaklaştırılarak, çökelti cam krozeden filtre edilerek alındı. Etanolla 2-3 kez yıkayıp kurutuldu. Elde edilen kompleks: 0.177 g, EN:95 °C; Verim: % 43; Renk: Kırmızı

Şekil 10. Pd(L²)₂ kompleksinin sentez şeması

2.7. Cu(L³)₂ Kompleksinin Sentezi

0.29 g L³ ligandı 40 mL etanolde çözüldü. Ayrı bir beherde 0.10 g Cu(Ac)₂H₂O, 10 mL metanolla karıştırılarak ısıtılıp ligandın üzerine ilave edildi. Renk siyah oldu. Karışım 1-2 saat ısıtılarak 15 mL kalana dek buharlaştırıldı. Çeker ocakta soğumaya bırakılıp çökelti oluştuğu gözlemlendi. Daha sonra çözücü uzaklaştırılarak, çökelti cam krozeden filtre edilerek alındı. Etanolla 2-3 kez yıkandı ve sonra kurutuldu. Elde edilen kompleks: 0.171 g, EN:187.5 °C; Verim : % 43 Renk: Siyah $\mu_{\text{eff}}=1.75$ B.m.

Şekil 11. Cu(L³)₂ kompleksinin sentez şeması

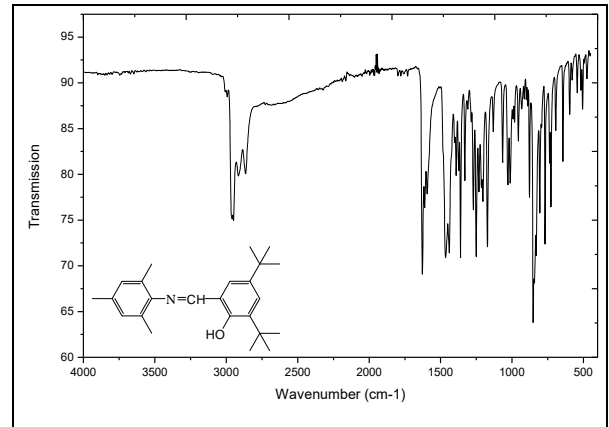
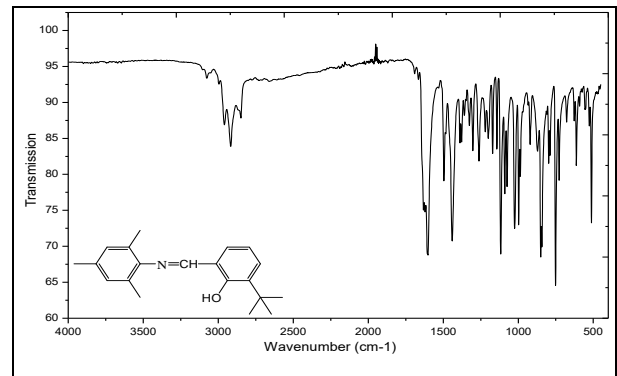
3. Bulgular

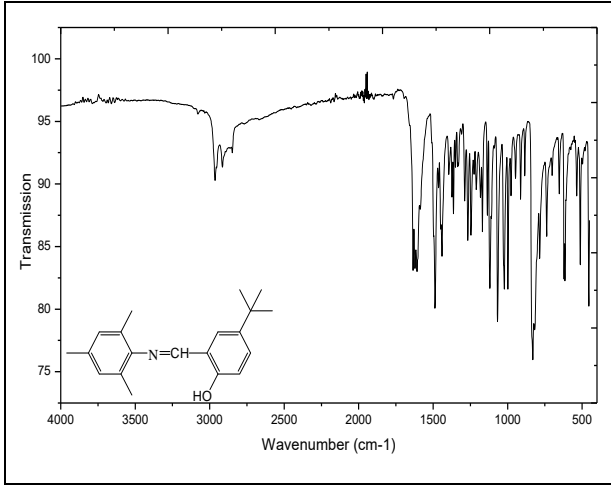
Bu çalışmada 2,4,6-trimetilanilin ile 3,5-di-t-bütil-2-hidroksibenzaldehit, 3-t-bütilsalisilaldehit ve 5-t-bütilsalisilaldehitin reaksiyonundan üç adet imin ligandı ve bu ligand sistemlerinin Cu(II) ve Pd(II) metal tuzları ile gerçekleştirilen reaksiyonundan toplam 3 adet Cu(II) ve 1 adet de Pd(II) metal kompleks bileşiklerini literatürde yeni olarak

sentezlenerek elde edilmiştir. Sentezi gerçekleştirilen tüm bileşiklerin yapı karakterizasyonu Elementel Analiz, Erime Noktası, ¹H-NMR, ¹³C-NMR, Manyetik duyarlılık, UV-Vis ve FT-IR spektroskopisi kullanılarak aydınlatılmış ve ligand bileşiklerinin öngörülen yapısı ile uyum içerisinde olduğu görülmüştür.

Schiff bazı metal komplekslerinin erime noktaları Schiff bazı ligantlarından beklenildiği üzere daha yüksek çıktı. Schiff bazı ligantların erime aralığı 59 – 118 °C arasında iken metal komplekslerinin ise > 95 °C'den büyük olduğu tespit edildi. Schiff bazlarının renklerine bakıldığında sarı, turuncu, olmak üzere çeşitlilik gözlemlendi. Ligand bileşiklerini için yapılan elemental analiz sonuçları ile teorik hesaplanan elemental analiz sonuçları birbirine oldukça yakın olduğu tespit edildi.

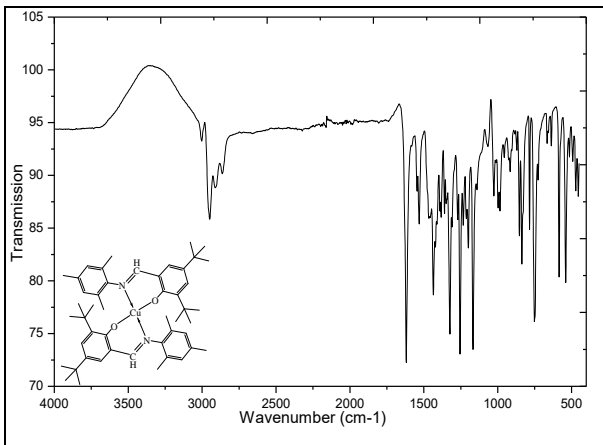
Sentezlenen ligandların FT-IR'de alınan spektrumlarından elde edilen sırasıyla 1605-1627 cm⁻¹ de görülen bandların bileşiklerdeki C=N gruplarına ve 2850-2969 cm⁻¹ de gözlenen bandların ise C-H gruplarına ait olduğu gözlemlendi. Sentezlenen kompleks bileşiklerinin FT-IR'de alınan spektrumlarından elde edilen değerler beklenildiği gibi metal komplekslerinin oluşumuna bağlı olarak sırasıyla 1613-1619 cm⁻¹ de görülen bandların C=N grubuna bağlı olarak, sırasıyla 2852-2954 cm⁻¹ de görülen bandların C-H grubuna bağlı olduğu gözlemlendi. Fonksiyonel gruplarda gözlenen kaymalardaki düşüş kompleks oluşumunun gerçekleştiğini ortaya koydu.

Şekil 12. L¹ ligandının FT-IR spektrumuŞekil 13. L² ligandının FT-IR spektrumu



Şekil 14. L³ ligandının FT-IR spektrumu

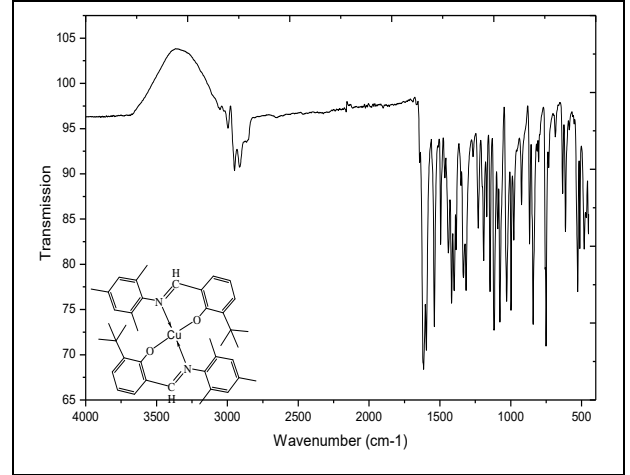
Yapılan çalışmada ligant ve metal kompleks bileşiklerinin UV çalışmaları her bir bileşik için etanolde alındı. Ligantların UV değerleri genel olarak 205-328 nm bölgeleri arasında ve metal komplekslerin UV değerleri genel olarak 267-378 nm bölgeleri arasında pik verildiği gözlemlendi. Ligantların spektrumlarından elde edilen 205-328 nm arasındaki geçişlerin $\pi-\pi^*$ ve $n-\pi^*$ geçişlerine ait olduğu görüldü. Eğer absorptans katsayısı (ϵ) 1000'den büyük ise bu alandaki pik değerlerinin ligand-metal yük transferi (LMCT) geçişlerinden kaynaklandığı bilinmektedir. Bu alanda metalden dolayı belirlenen d-d geçişleri ya da ligandın $n-\pi^*$ absorptans katsayısı daha küçük olduğundan dolayı ligand-metal yük transferi (LMCT) geçişlerin altında kalmaktadır. Metal komplekslerde 267-378 nm aralığındaki pikler ise $\pi-\pi^*$ ve $n-\pi^*$ geçişlerini ortaya koymaktadır. Eğer absorptans katsayısı (ϵ) 1500 üzerindeyse bu alanda bu piklerin ligand-metal yük transferi (LMCT) geçişlerinden kaynaklandığı bilinmektedir. Bu alanda metalden kaynaklı d-d geçişleri veya kompleksin $n-\pi^*$ absorptans katsayısı daha küçük olduğundan dolayı ligand-metal yük transferi (LMCT) geçişlerin altında kalır.



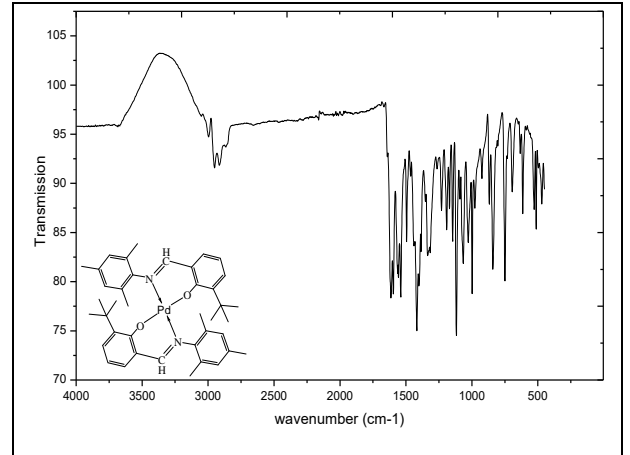
Şekil 15. Cu(L¹)₂ kompleksinin FT-IR spektrumu

Ligantların NMR spektrumları dötro kloroformda (CDCl₃) alınmıştır. Elde edilen kayma değerleri ligand

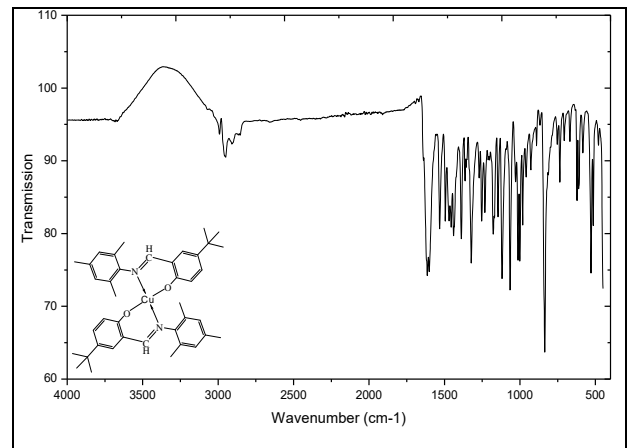
sisteminin amaçlandığı gibi gerçekleştiğini göstermekte ve yapıyı desteklemektedir. Ligantların ¹H-NMR spektrumlarında OH grubuna ait proton piki singlet ligantların kloroformda alınan ¹H-NMR spektrumunda OH grubuna ait proton piki 12.76-13.89 ppm'de singlet, HC=N azometin grubunda proton piki 8.32-8.39 ppm'de singlet aromatik halkaya ait pikler 6.94-7.72 ppm'de multiplet pik şeklinde gözlenmektedir.



Şekil 16. Cu(L²)₂ kompleksinin FT-IR spektrumu



Şekil 17. Pd(L²)₂ kompleksinin FT-IR spektrumu



Şekil 18. Cu(L³)₂ kompleksinin FT-IR spektrumu

4. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada 2,4,6-trimetilanilin ile 3,5-di-t-bütül-2-hidroksibenzaldehit, 3-t-bütülsalisilaldehit ve 5-t-bütülsalisilaldehitin reaksiyonundan literatürde yeni olan üç adet Schiff bazı ligandı ve bu bileşiklerin Cu(II) ve Pd(II) metal tuzları ile reaksiyonundan 3 adet Cu(II), 1 adet de Pd(II) metal kompleksleri sentezlenmiştir. Bileşiklerde yer alan t-bütül gruplarının varlığı ile molekülde meydana gelen sterik etkiye rağmen kompleks oluşumu meydana gelmiştir. Elde edilen trimetil anilin temelinde yeni sterik engelli salisilaldiminlerin Cu(II) ve Pd(II) kompleks bileşiklerinin yapıları Elementel Analiz, Erime Noktası, ¹H-NMR, ¹³C-NMR, Manyetik duyarlılık, UV-Vis ve FT-IR spektroskopisi kullanılarak aydınlatılmıştır. Ligandlar ve komplekslerin FT-IR'de alınan spektrumları incelendiğinde fonksiyonel gruplarda gözlenen kaymalardaki düşüş kompleks oluşumunun gerçekleştiğini ortaya koymaktadır. Bileşiklerin UV değerlerine bakıldığında elde edilen geçişlerin $\pi \rightarrow \pi^*$ ve n- π^* geçişlerine ait olduğu görülmektedir. Ligandların NMR spektrumlarında elde edilen kayma değerleri ligand sisteminin amaçlandığı gibi gerçekleştiğini göstermekte ve yapıyı desteklemektedir. Ligandların ¹H-NMR spektrumlarında OH grubuna ait proton piki singlet ligantların kloroformda alınan ¹H-NMR spektrumunda OH grubuna ait proton piki 12.76-13.89 ppm'de singlet, HC=N azometin grubunda proton piki 8.32-8.39 ppm'de singlet aromatik halkaya ait pikler 6.94-7.72 ppm'de multipl pik şeklinde gözlenmektedir. Bu veriler doğrultusunda bileşiklerin öngörülen yapısı ile uyum içinde olduğu tespit edilmiştir.

Çalışmada sentezlenen bileşikler literatürde ilk olarak sentezlenmiştir. Sentezlenmiş olan bu bileşiklerin biyolojik ve katalitik aktivitelerinin incelenmesiyle yüksek aktivite göstereceği öngörülmüştür. Literatürde yeni olan bu bileşiklerin diğer bilimsel çalışmalarda da referans olacağı öngörülmektedir. Ayrıca salisilaldiminler alanında da yeni olan bu bileşiklerin ilgili alana önemli katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Teşekkür

Bu çalışma da 16195 numaralı proje ve 18205 numaralı proje ile maddi destek sağlayan Harran Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü'ne (HÜBAP) teşekkür ederiz.

Etik Beyanı

Bu çalışmada, "Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesi" kapsamında uyulması gerekli tüm kurallara uyulduğunu, bahsi geçen yönergenin "Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiğine Aykırı Eylemler" başlığı altında belirtilen eylemlerden hiçbirinin gerçekleştirilmediğini taahhüt ederiz.

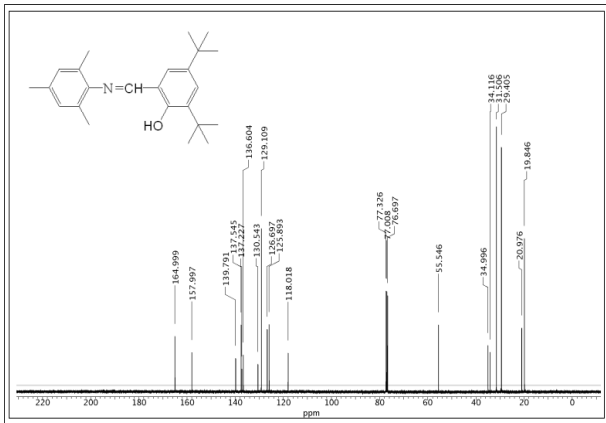
Kaynakça

- [1] Karaca, E. O. 2018. Synthesis of new schiff base compounds and identification of their structures. Journal of Polytechnic-Politeknik Dergisi, 21(1), 245-249.
- [2] Erdemir, S. 2007. Schiff Bazı ve Polimerlerinin Geçiş Metal Komplekslerinin Sentezi ve Karakterizasyonu ve Oksidasyon Olarak Etkilerinin İncelenmesi. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 107s, Adana.
- [3] Fessenden, R. J., Fessenden, J. S. 1990. Organik Kimya. Güneş Kitabevi, 16-192s.
- [4] Sharaby, C. M., Amine, M. F., Hamed, A. A. 2017. Synthesis, structure characterization and biological activity of selected metal complexes of sulfonamide Schiff base as a primary ligand and some mixed ligand complexes with glycine as a secondary ligand. Journal of Molecular Structure, 1134, 208-216.
- [5] Redshaw, C. 2017. Use of Metal Catalysts Bearing Schiff Base Macrocycles for the Ring Opening Polymerization (ROP) of Cyclic Esters. Catalysts, 7(5), 165-176.
- [6] Roberts, D. W., Schultz, T. W., Api, A. M. 2017. Skin Sensitization QMM for HRIPT NOEL Data: Aldehyde Schiff-Base Domain. Chemical Research in Toxicology, 30(6), 1309- 1316.
- [7] Dirisio, R. J., Armstrong, J. E., Frank, M. A., Lake, W. R., McNamara, W. R. 2017. Cobalt Schiff-base complexes for electrocatalytic hydrogen generation. Dalton Transactions, 46, 10418-10425.
- [8] Özbülül, A. 2006. Oligofenol esaslı yeni tip oligomer schiff bazlarının sentezi ve karakterizasyonu, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 95s, Adana.
- [9] Serin, S., Gök, Y. 1980. Hidroksi Schiff Bazı Metal Komplekslerinin Tekstil Boyamacılığında Kullanılabilirliğinin İncelenmesi. Türk Kimya Derneği, 12(3), 325-331.
- [10] Upadhyay, K. K., Kumar, A., Upadhyay, S., Mishra, P. C. 2008. Synthesis, characterization, structural optimization using density functional theory and superoxide ion scavenging activity of some Schiff bases. Journal of Molecular Structure, 873, 5-16.
- [11] Marck, H. F. 1980. Kırk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology. Journal of Polymer Science: Polymer Letters Edition, 3, 468.
- [12] Tarafder, M. T. H., Miah, M. A. L., 1986. Novel Peroxo Complexes of Zirconium Containing Organic-. Ligands. Inorganic Chemistry, 25 (13), 2265-2268.

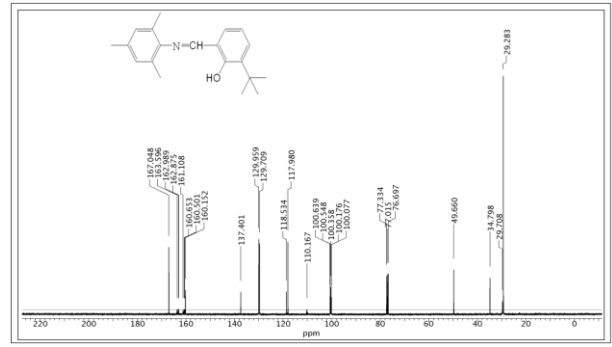
- [13] Allan, J. R., Gardner, A. R., Mccloy, B., Smith, W.E. 1992. Structural and Thermal Studies of the Chlorocomplexes of Cobalt, Nickel and Copper with 2,6- Diaminopyridine and an Assessment of their Suitability as Antistatic Additives for Polyethylene. *Thermoch Acta*, 208, 125-131.
- [14] Öztürk, N. S. 1998. Değişik Piridin Aldehitler ile Çeşitli Anilinlerden Türeyen Schiff Bazlarının Sentezi ve Bazı Geçiş Metal Komplekslerinin Hazırlanması. İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 104s, İstanbul.
- [15] Scovill, J. P., Klayman, D., Franchino, F. 1989. 2-Acetylpyridine Thiosemicarbazones Complexes with Transition-Metals as Antimalarial and Antileukemic Agents. *Journal of Medicinal Chemistry*, 25(10),1261-1264.
- [16] Reddy, S. P., Reddy, H. K. 2000. Transition Metal Complexes of benzil-amonoxime (BMO); X-Ray structure determination of Co(BMO)3. *Polyhedron*, 19, 1687- 1692.
- [17] Gündüz, T. 1987. Enstrümental Analiz. Gazi Kitabevi, 71-185s.
- [18] Vigato, P. A., Tamburini, S. 2004. Thechallenge of cyclic ve acyclic Schiff bases ve relatedderivatives. *Coordination Chemistry Reviews*. 248, 1717-2128.
- [19] Hartavi, S. 2019. Trimetil anilinler temelinde yeni sterik engelli salisilaldiminlerin Cu (II) ve Pd (II) komplekslerinin sentezi ve karakterizasyonu. Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 53s, Şanlıurfa.

Ekler

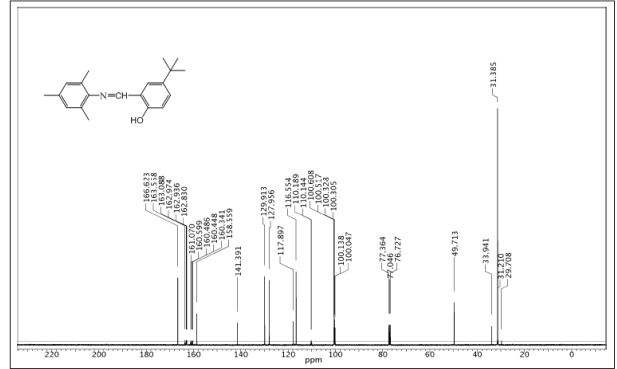
Ek A. Sentezlenen ligand ve metal komplekslerinin ^{13}C -NMR ve UV-VIS spektrumları



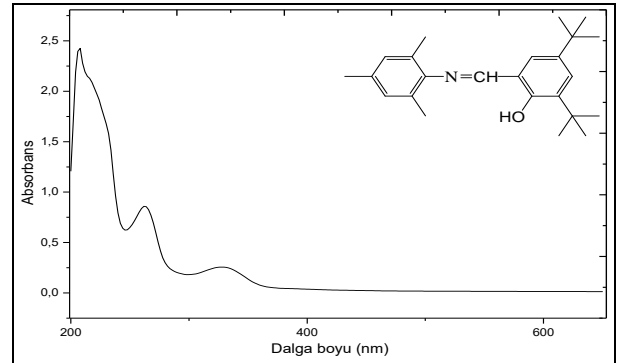
Şekil 1. L¹ ligandına ait ^{13}C -NMR spektrumu



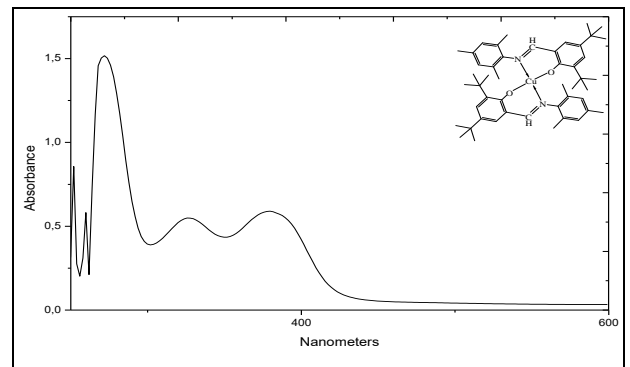
Şekil 2. L² ligandına ait ^{13}C -NMR spektrumu



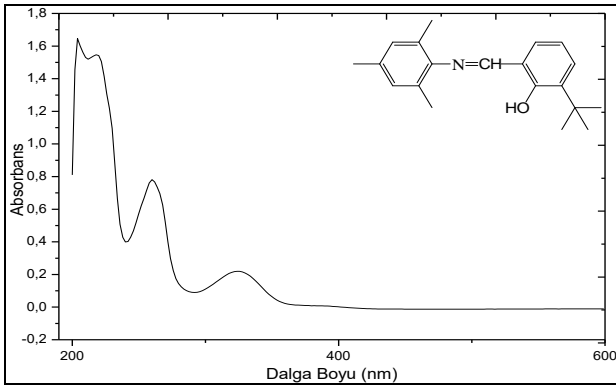
Şekil 3. L³ ligandına ait ^{13}C -NMR spektrumu



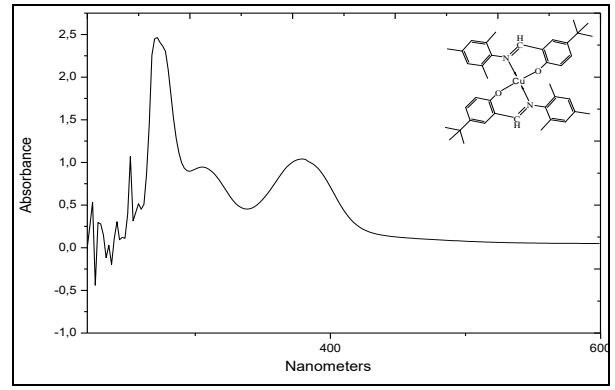
Şekil 4. L¹ ligandının UV-VIS spektrumu



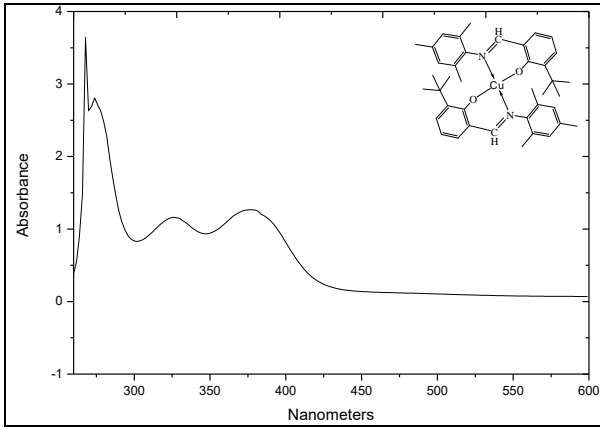
Şekil 5. Cu(L¹)₂ kompleksinin UV-VIS spektrumu



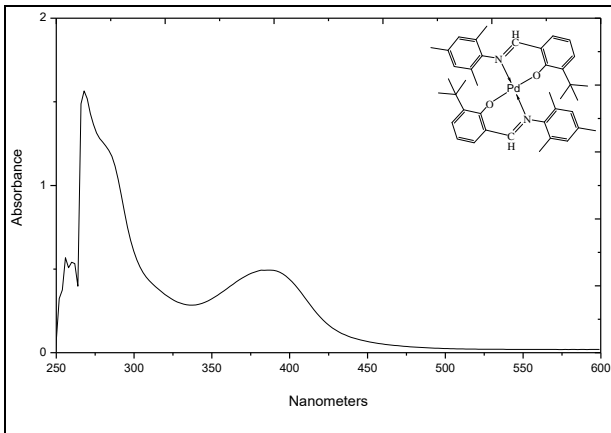
Şekil 6. L² ligandının UV-VIS spektrumu



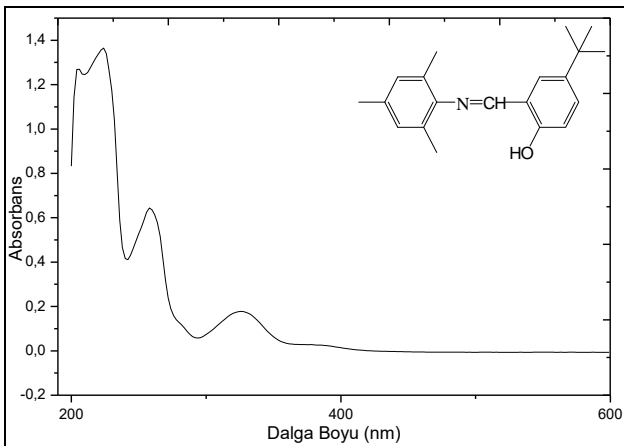
Şekil 10. Cu(L³)₂ kompleksinin UV-VIS spektrumu.



Şekil 7. Cu(L²)₂ kompleksinin UV-VIS spektrumu



Şekil 8. Pd(L²)₂ kompleksinin UV-VIS spektrumu



Şekil 9. L³ ligandının UV-VIS spektrumu

***Lurus kraepelini* (Scorpiones, Luridae) Zehir Bezi Glikoproteinlerinin Histokimyasal Yapısı**

Hanife ÖZCAN*¹, Emel DEMİRBAĞ²

¹Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, 32260, Isparta, Türkiye

²Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, Tıbbi Hizmetler ve Teknikler Bölümü, 32260, Isparta, Türkiye

(Alınış / Received: 10.05.2022, Kabul / Accepted: 05.10.2022, Online Yayınlanma / Published Online: 20.12.2022)

Anahtar Kelimeler

Akrep,
Lurus kraepelini,
Zehir bezi,
Glikoprotein,
Histokimya

Öz: Bu çalışmada *Lurus kraepelini* (von Ubisch, 1922) türü akreplerin zehir bezinin histokimyasal yapısının belirlenmesi amaçlandı. Materyal olarak Isparta'nın Aksu ilçesinden toplanan 50 adet *Lurus kraepelini*'ye ait telsonlar kullanıldı. Zehir kesesinin histolojik yapısı ve glikoproteinlerin histokimyasal yapısı uygun boyama teknikleri kullanılarak belirlendi. Zehir bezinin genel histolojik yapısında zehir kesesinin iç kısmının bağ dokusundan oluştuğu ve bu bağ dokusu içerisinde zehir salgılayan hücreler, destek hücreleri ve mukus hücrelerinin bulunduğu belirlendi. Histokimyasal boyama yöntemleriyle zehir bezinin sülfatlı ve karboksilli asidik, siyalik asitli, nötr ve asidik mukosubstansa sahip olduğu tespit edilerek zehir bezinin her bölgesindeki glikoproteinlerin farklı karakterlere sahip olduğu anlaşıldı. Sonuç olarak zehir bezinde kitin tabakasının nötr, sülfatlı ve asidik; kas tabakasının ve zehir salgı hücrelerinin nötr; epitel salgı hücrelerinin ise asidik mukosubstansı yoğun olarak içerdiği belirlendi. Buna karşın güçlü sülfatlı, zayıf sülfatlı ve sülfat esterli glikoproteinleri içermediği dikkati çekti.

Histochemical Structure of Glycoproteins of *Lurus kraepelini* (Scorpiones, Luridae) Venom Gland

Keywords

Scorpion,
Lurus kraepelini,
Venom gland,
Glycoprotein,
Histochemistry

Abstract: In this study, it was aimed to determine the histochemical structure of the venom gland of *Lurus kraepelini* (von Ubisch, 1922) scorpions. Telsons belonging to 50 *Lurus kraepelini* collected from Aksu district of Isparta were used as material. The histological structure of the venom sac and the histochemical structure of the glycoproteins were determined using appropriate staining techniques. In the general histological structure of the venom gland, it was determined that the inner part of the venom sac consisted of connective tissue, and that venom secreting cells, support cells and mucus cells were found in this connective tissue. By histochemical staining methods, it was determined that the venom gland had sulphate and carboxylic acidic, sialic acid, neutral and acidic mucosubstances, and it was understood that the glycoproteins in each region of the venom gland had different characters. As a result, the chitin layer in the venom gland was neutral, sulfated and acidic; neutral of the muscle layer and venom secretion cells; It was determined that epithelial secretory cells contained acidic mucosubstance intensely. On the other hand, it was noted that it did not contain glycoproteins with strong sulfates, weak sulfates and sulfate esters.

1. Giriş

Akrepler Arthropoda şube, Chelicerata alt şube, Arachnida sınıfı, Scorpiones takımında yer alan eklembacaklılardır [1]. Vücutları kitin tabaka ile örtülüdür. Birçoğu toprakta derinlere inerek yuva yapar. Vücutları oransal olarak büyük olmasına karşın çok yassı yapılı olduğu için dar aralıklar ile ağaç

kabuklarının altlarında, kaya çatlaklarında, taş altlarında ve mağaralarda saklanabilirler [2-5]. Ilık ve nemli habitatlarda yaşadıkları gibi kuraklığın ve sıcaklığın yüksek olduğu ortamlarda da yaşarlar. Hatta yüksek dağlar, derin ve soğuk mağaralar gibi ekstrem şartlara da uyum sağlayabilirler [2,4,6]. Akrepler beslenmek ve üremek için aktif olarak hareket eden canlılardır ve genelde nokturnal türlerdir. Akreplerin

*İlgili yazar: hanife.ozcan09@gmail.com

korunmak ve avlanmak için gelişmiş duyu organlarıyla birlikte, genellikle etkili olan zehirleri vardır.

Yaşayan akrep türlerinin tümü zehirlidir. Akrepler zehirlerini saldırı ve savunma amaçlarıyla kullanmaktadırlar. Hastalık etkeni taşıyıcılar fakat hayvanları ve insanları sokarak zehirleyebilir ve öldürebilirler [4, 7, 11]. Akrep türlerinin çok azının insanlar için öldürücü dozda zehri vardır. Genellikle akrep sokan kişinin akrep zehrine karşı alerjisi yok ise tehlikeli değildir [4].

Akrep zehri şeffaf ve tatsız bir yapısı vardır. Kimyasal reaksiyonlarda asidik özellik gösterir, yeni salgılandığında parlaktır, daha sonra matlaşarak beyaz bir görünüme sahip olur [12]. Akrep zehirleri toksik bir salgıdır ve karmaşık bir yapıya sahiptir. Bu toksik salgı bir kısım proteinler, mukus, nükleotitler, biyogenetik aminler, proteaz, mukosakkaritler, mukoproteinler, organik bileşikler, lipidler inhibitörleri, aminoasitler, serotonin ve histamin gibi moleküller bulundurmaktadır [4, 10, 13, 14].

Lurus kraepelini türü büyük boy akrepler olup 10 cm uzunluğa ulaşabilirler. Tarak dişleri, dişilerde 10-14 erkeklerde 10-16 mm'dir. Renkleri siyahtan koyu griye kadar değişkenlik gösterebilir. Türkiye'nin endemik türlerinden olup Antalya, Mersin, Karaman, Muğla ve Isparta illerinde yayılış gösterir. Ayrıca Yunanistan'ın Kızılhisar Adası'nda da görülür. Tıbbi öneme sahip değildir. Az zehirli akrepler grubundan olup insan sağlığını tehdit etmez [15].

Bu çalışmada *Lurus kraepelini* akrep türünün zehir bezinin histokimyasal yapısının belirlenmesi amaçlanmıştır. Elde edilen bulguların bu alanda yapılacak olan histolojik çalışmalara kaynak teşkil etmesi hedeflenmiştir.

2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada Isparta'nın Aksu ilçesinden toplanan 50 yetişkin akrep *Lurus kraepeli*' ni türüne ait telsonlar materyal olarak kullanıldı. Akreplerin tür teşhisi Celal Bayar Üniversitesi Alaşehir Meslek Yüksekokulu Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü Organik Tarım Programı'nda öğretim üyesi Prof. Dr. Ersen Aydın YAĞMUR tarafından yapıldı. Alınan dokular %10'luk formaldehid solüsyonunda tespit edildikten sonra kitin tabakasının yumuşatılması amacıyla % 5'lik nitrik asit solüsyonunda 5 gün süre ile bekletildi. Dokular daha sonra 24 saat süreyle akarsuda yıkandı. Rutin histolojik doku takibine alınan dokular önce yükselen dereceli etil alkol serisinden (%70, %80, %90, %100 (I), %100 (II), %100 (III) alkol) geçirilerek dehidre edildi. Ksilolde şeffaflaştırıldıktan sonra ksilol-parafinde inkübe edilerek, parafinde bloklandı. Parafin bloklardan 5-6 µm kalınlığında kesitler alındı. Zehir bezi glikoproteinlerinin histokimyasal yapısının belirlenmesi amacıyla alınan kesitlere histokimyasal

boyama yöntemleri uygulandı (Tablo 1). Olympus marka CX41 model mikroskop ile incelemeler gerçekleştirilerek aynı mikroskop ile ilgili bölgelerden mikrofotograf çekimi yapıldı. Uygulanan histokimyasal boyama yöntemleri ve bu yöntemlerin spesifiteleri Tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1. Uygulanan histokimyasal boyama yöntemleri ve spesifiteleri

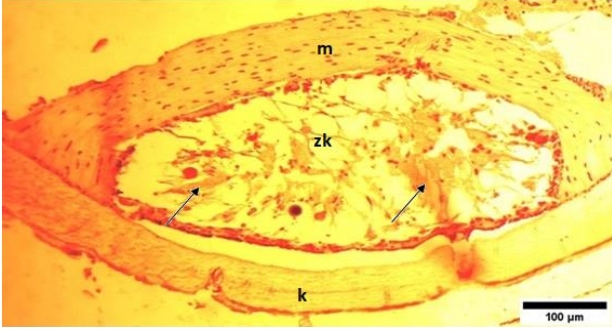
Histokimyasal Yöntem	Glikoprotein
Hemotoksilen Eozin (HE) [16]	Genel histolojik yapının belirlenmesi
KOH/PAS [17]	Siyalik asitli glikoproteinlerin belirlenmesi
Periodic Acid Schiff (PAS) [18]	Nötr glikoproteinlerin belirlenmesi
Alcian Blue (AB) pH 2,5 [19]	Asidik glikoproteinlerin belirlenmesi
PAS/AB pH 2,5 [20]	Nötr ve asidik glikoproteinlerin belirlenmesi
Alcian Blue (AB) pH 0.06 M [21]	Karboksil grup ya da sülfat esterli glikoproteinlerin belirlenmesi
Alcian Blue (AB) pH 0,3 M [21]	Güçlü sülfat ve zayıf sülfatlı glikoproteinlerin belirlenmesi
Alcian Blue (AB) pH 0,5 [19]	Güçlü sülfatlı glikoproteinlerin belirlenmesi
Alcian Blue (AB) pH 1,0 [19]	O-sülfat esterli glikoproteinlerin belirlenmesi
Aldehid Fuchsin (AF) [22]	Sülfatlı asidik glikoproteinlerin belirlenmesi
AF/AB pH 2,5 [23]	Sülfatlı ve karboksilli asidik glikoproteinlerin belirlenmesi
Best's Carmine [24]	Glikojenin belirlenmesi

3. Bulgular

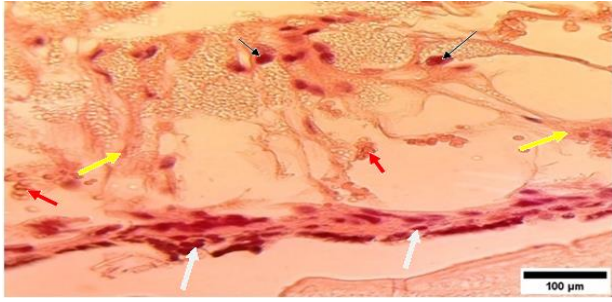
Genel histolojik yapının belirlenmesi için uygulanan boyama yöntemleri sonucunda zehir bezinin histolojik yapısının en dıştan içe doğru kitin, iki loblu zehir keseleri ve bu keseleri iç taraftan çevreleyen kas tabakasından oluştuğu gözlemlendi (Şekil 1). Zehir kesesinin iç kısmının bağ dokusundan oluştuğu, bu bağ dokusu içerisinde zehir salgılayan hücreler, destek hücreleri ve mukus hücrelerinin bulunduğu ve epitelde de epitel salgı hücrelerinin bulunduğu belirlendi (Şekil 2). Zehir salgılayan hücreler çok sayıda granül içermekteydi. Zehir keselerinin birbiriyle aynı yapıya sahip olup birbirinden tamamen ayrılmadığı, keselerin kendilerine özel salgı kanalı bulunduğu ve bu kanalların ortak bir kanala açıldığı gözlemlendi.

Uygulanan histokimyasal boyama yöntemlerinden AB pH 2.5, PAS, AF ve kombine boyalarda bölgeler arasında farklı reaksiyonlar gözlenirken Alcian Blue (AB) pH 0.06 M, AB pH 0.3 M, AB pH 0.5, AB pH 1.0 ve Best's Carmine boyama yöntemlerinde herhangi bir reaksiyona rastlanmadı. Zehir bezinde uygulanan histokimyasal boyama yöntemlerine göre glikoproteinlerin dağılımları ve yoğunlukları Tablo 2' de verilmiştir.

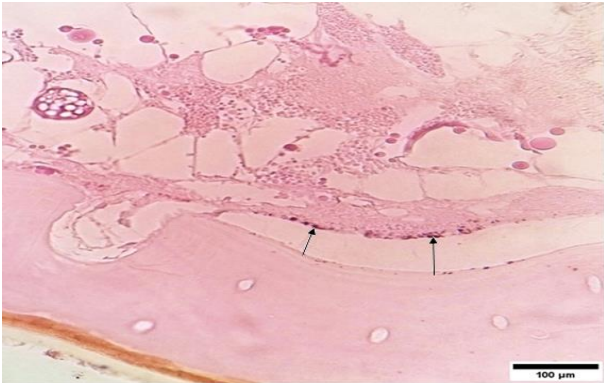
KOH/PAS boyama tekniği uygulanan dokularda zehir kesesi epitel salgı hücrelerinde orta yoğunlukta (Şekil 3), zehir salgı hücrelerinde zayıf reaksiyon gözlemlendi (Şekil 4). Kitin ve kas tabakasında ise reaksiyon gözlenmedi.



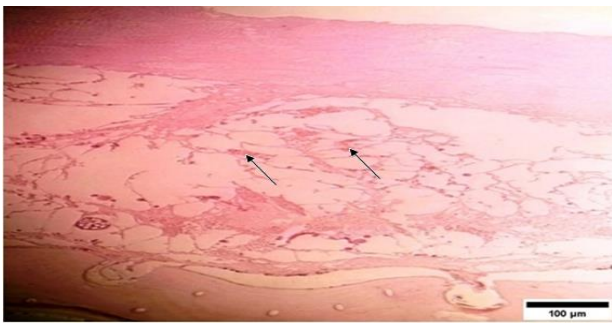
Şekil 1. Zehir bezi. Kas tabakası (m), zehir kesesi (zk) ve kitin tabakası (k). Bağ doku (oklar). HE. Bar 100 µm



Şekil 2. Zehir bezi. Epitel salgı hücreleri (beyaz oklar), zehir salgı hücreleri (siyah oklar), mukus hücreleri (kırmızı oklar), destek hücreleri (sarı ok). HE. Bar 100 µm

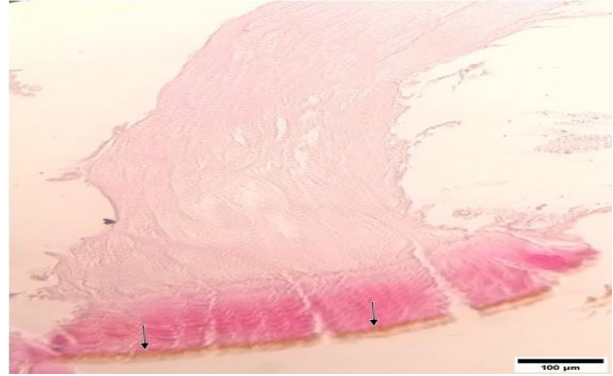


Şekil 3. Zehir bezi. Epitel salgı hücrelerinde siyalik asitli glikoproteinlerin görünümü. Orta yoğunlukta reaksiyon (oklar). KOH/PAS. Bar: 100 µm

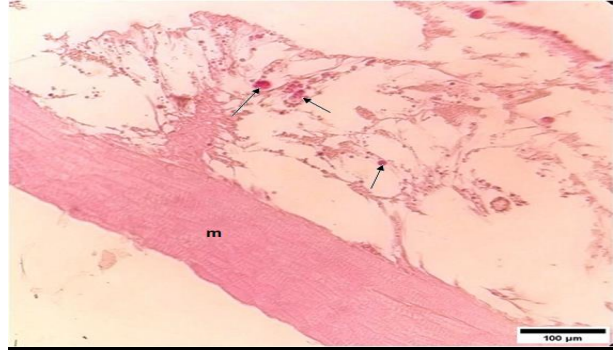


Şekil 4. Zehir bezi. Zehir salgı hücrelerinde siyalik asitli glikoproteinlerin görünümü. Zayıf reaksiyon (oklar). KOH/PAS. Bar: 100 µm

PAS boyama yöntemi uygulanan örneklerde kitin tabakasının endokütikula katmanında (Şekil 5) güçlü reaksiyon gözlemlendi. Kas tabakasında orta yoğunlukta reaksiyon gözlenirken, zehir salgı hücrelerinde güçlü reaksiyon gözlemlendi (Şekil 6). Epitel salgı hücrelerinde ise reaksiyona rastlanmadı.

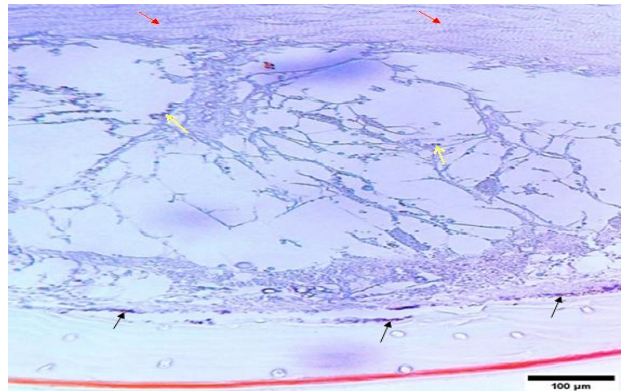


Şekil 5. Kitin tabakasının endokütikula katmanında güçlü PAS pozitif reaksiyon (oklar). PAS. Bar: 100 µm



Şekil 6. Zehir bezi. Zehir salgı hücrelerinde (oklar) güçlü, kas tabakasında (m) orta yoğunlukta reaksiyon. PAS. Bar: 100 µm.

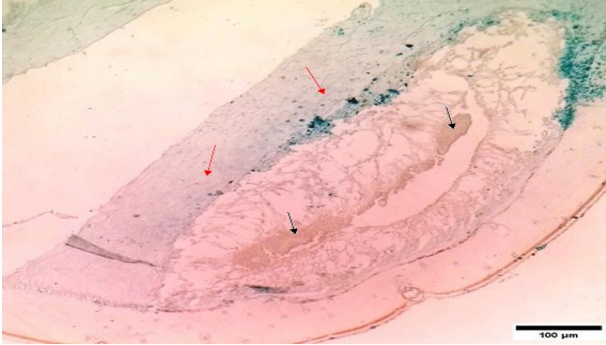
Kas tabakasında, zehir salgı hücrelerinde ve kitin tabakasında zayıf reaksiyon gözlenirken, epitel salgı hücrelerinde orta yoğunlukta reaksiyon gözlemlendi (Şekil 7).



Şekil 7. Zehir bezi. Kas dokusunda (kırmızı oklar) ve zehir salgı hücrelerinde (sarı oklar) zayıf, epitel salgı hücrelerinde (siyah oklar) orta yoğunlukta reaksiyon. AB pH 2.5. Bar: 100 µm.

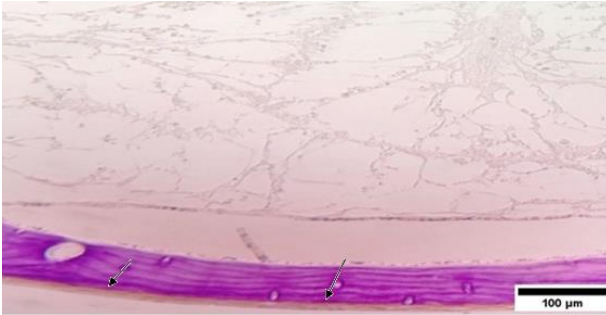
Uygulanan PAS/AB pH 2.5 kombine boyama yönteminde kas dokusunda zayıf AB pH 2.5

pozitivitesi gözlenirken, zehir salgı hücrelerinde zayıf PAS pozitivitesi gözlemlendi (Şekil 8). Kitin tabakası ve epitel salgı hücrelerinde reaksiyon gözlemlenmedi.



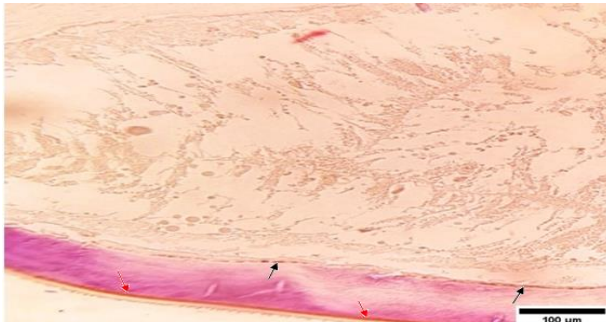
Şekil 8. Zehir bezi. Kas dokusunda zayıf reaksiyon gösteren asidik mukosubstansın görünümü (kırmızı oklar). Zehir salgı hücrelerinde zayıf reaksiyon gösteren nötr mukosubstansın görünümü (siyah oklar). PAS/AB pH 2.5. Bar: 100 µm

AF boyama yöntemine karşı endokütikula katmanında güçlü reaksiyon gözlenirken (Şekil 9); kas tabakası, epitel salgı hücreleri ve zehir salgı hücrelerinde reaksiyon gözlemlenmedi.



Şekil 9. Zehir bezi. Kitin tabakasının endokütikula katmanında sülfatlı asidik mukosubstansın görünümü. Güçlü reaksiyon (oklar). AF. Bar: 100 µm.

Uygulanan AF/AB pH 2.5 kombine boyama yöntemi sonucunda kitin tabakasında AF pozitivitesinin baskın ve güçlü olduğu buna karşın kas tabakasının zayıf AB pH 2.5 reaksiyon gösterdiği belirlendi (Şekil 10). Epitel salgı hücrelerinde zayıf AB pH 2.5 reaksiyon gözlenirken (Şekil 10), zehir salgılayan hücrelerde reaksiyona rastlanmadı.



Şekil 10. Zehir bezi. Epitel salgı hücrelerinde zayıf AB pH 2.5 reaksiyon (siyah oklar). Kitin tabakasının endokütikula katmanında baskın ve güçlü AF reaksiyonu (kırmızı oklar). AF/AB pH 2.5. Bar: 100 µm

Tablo 2. *Lurus kraepelini* zehir bezindeki glikoproteinlerin dağılımı ve yoğunlukları

	Kitin	Kas tabakası	Epitel salgı hücreleri	Zehir salgı hücreleri
KOH/PAS	-	-	++	+
Best	-	-	-	-
Carmine	-	-	-	-
AB pH 0.06	-	-	-	-
AB pH 0.3	-	-	-	-
AB pH 0.5	-	-	-	-
AB pH 1.0	-	-	-	-
AB pH 2.5	+	+	++	+
PAS	+++	++	-	+++
AF	+++	-	-	-
AF/AB pH 2.5	+++	+	+	-

Negatif (-), zayıf reaksiyon(+), orta yoğunlukta reaksiyon(++), güçlü reaksiyon(+++)

4. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada *Lurus kraepelini*'ye ait zehir bezinin histolojik yapısı ile zehir bezi glikoproteinlerinin histokimyasal yapısı ve dağılımı incelendi. Literatürde farklı akrep türlerine ait zehir bezinin hem histolojik hem de histokimyasal yapısına yönelik yapılmış çalışma oldukça sınırlı olup, *Lurus kraepelini* türünün zehir bezi üzerine yapılmış herhangi bir çalışma bulunmamaktadır.

Genel histolojik yapının belirlenmesi için yapılan boyamalarda zehir bezinin genel histolojik yapısının en dıştan içe doğru kitin, iki loblu zehir keseleri ve bu keseleri iç taraftan çevreleyen kas tabakasından oluştuğu gözlemlendi. *Mesobuthus gibbosus* [25] ve *Euscorpium mingrelicus* [26] türlerinde de zehir bezinin bu bölümlerden oluştuğu bildirilmiştir.

Taib ve Jarrar [27] *Leiurus quinquestriatus* türünde [27] ve Navidpour vd. [28] *Odontobuthus doriae*, *Scorpio maurus townsendi*, *Hemiscorpius lepturus* türlerinde yaptıkları çalışmalarda, zehir kesesinin tamamen ayrı ama benzer iki bezden çıkan kanallarla tek bir kanala açıldığını, kütikula ile kaplanan zehir kesesinin epitel salgı hücreleri ve bağ dokusundan oluştuğunu belirlemişlerdir. İç longitudinal kas tabakasının dış sirküler kas tabakasından daha ince olarak gözlemlendiğini ve zehir kesesinin üç tip hücreden oluştuğunu belirtmişlerdir. Bunlar: zehir üreten hücreler, mukus hücreleri ve destek hücreleridir. Bu çalışmada da araştırmacıların [27,28] bildirdiği kütikula içerisinde yer alan zehir kesesinin, bağ dokusu ve epitel hücrelerinden ve zehir kesesinin üç tip hücreden oluştuğu bulgularıyla paralellik gösteren sonuçlar elde edildi.

Taib ve Jarrar [27] *Leiurus quinquestriatus* türünde yaptıkları çalışmada zehir kesesinin zehir salgılayan hücrelerinde güçlü PAS reaksiyonu bulunduğunu bildirmişlerdir. Bu çalışmada da zehir salgılayan hücrelerde PAS pozitif reaksiyon gözlemlendi. Aynı araştırmacılar [27] zehir bezi epitel salgı hücrelerinde

orta yoğunlukta AB pH 2.5 reaksiyonu gözlendiğini ve AB pH 1.0 ve 0.4 boyama yöntemlerinde reaksiyon gözlenmediğini bildirmişlerdir. Bu çalışmada benzer şekilde epitel salgı hücrelerinde orta yoğunlukta AB pH 2.5 reaksiyonu gözlenirken, aynı bölgelerde AB pH 1.0 pozitif reaksiyona rastlanmadı. Ayrıca aynı çalışmada PAS/AB pH 2.5 uygulamasında zehir salgı hücrelerinde orta derecede reaksiyon bulunduğu ve PAS pozitif reaksiyonun daha baskın olduğu, asidik mukosubstansın belirlenmesi için uygulanan Best Carmine boyama yönteminde ise zehir kesesi destek hücrelerinde herhangi bir reaksiyon bulunmadığı belirtilmiştir. Bu çalışmada ise zehir salgı hücrelerinde PAS/AB pH 2.5 zayıf reaksiyon gözlenirken, Best Carmine uygulamasında herhangi bir reaksiyon gözlenmedi.

Siyah akrep (*Androctonus crassicauda*) türünde yapılan bir çalışmada [29] zehir salgı hücrelerinde AF uygulamasında ve AF/AB pH 2.5 kombinasyonunda orta yoğunlukta reaksiyon gözlendiği bildirilmiştir. Yapılan bu çalışmada AF ve AF/AB pH 2.5 kombine uygulamasında zehir salgı hücrelerinde reaksiyon gözlenmedi. Aynı araştırmacılar [29] zehir salgı hücrelerinde PAS uygulamasında güçlü reaksiyon gözlenirken, Best Carmin boyama yönteminde negatif reaksiyon gözlendiğini belirtmişlerdir. Bu çalışmada da araştırmacıların bulgularına paralellik gösteren bulgular elde edildi. Ayrıca aynı çalışmada AB pH 1.0 uygulamasında zehir salgı hücrelerinde orta yoğunlukta ve AB pH 2.5 boyama yönteminde güçlü reaksiyon bulunduğunu belirtmişlerdir. Buna karşın bu çalışmada AB pH 2.5 boyama yönteminde zayıf reaksiyon gözlenirken, AB pH 1.0 uygulamasında ise reaksiyon gözlenmedi.

Sonuç olarak bu çalışmada zehir bezinde kitin tabakasının nötr, sülfatlı ve asidik; kas tabakasının ve zehir salgı hücrelerinin nötr; epitel salgı hücrelerinin ise asidik mukosubstansı yoğun olarak içerdiği belirlendi. Buna karşın güçlü sülfatlı, zayıf sülfatlı ve sülfat esterli glikoproteinleri içermediği dikkati çekti. *Lurus kraepelini* türü akreplerin zehir kesesinin histokimyasal olarak diğer akrep türlerine büyük ölçüde benzediği belirlendi. Ancak farklı akrep türleri arasında gözlenen bazı farklılıkların, akreplerin yaşadıkları farklı çevre koşullarından kaynaklanıyor olabileceği görüşüne varıldı.

Bu çalışmadan elde edilen bulguların akrep yetiştiriciliği ve akrep zehri üretimi ile yapılacak histomorfolojik ve histofizyolojik araştırmalara kaynak teşkil edebileceği düşünülmektedir.

Teşekkür

Bu çalışma Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Biyoloji Anabilim Dalı'nda, Hanife ÖZCAN tarafından, Dr. Öğr. Üyesi Emel DEMİRBAĞ danışmanlığında tamamlanan "*Lurus kraepelini* (Scorpiones, Luridae) Zehir Bezi Glikoproteinlerinin

Histokimyasal Yapısı" başlıklı yüksek lisans tezinden üretilmiştir.

Bu çalışma için bizi yönlendiren son ana kadar bilgi ve tecrübesiyle yol gösteren ve vefatıyla bizleri derinden etkileyen Dr. Öğr. Üyesi Kenan ÇINAR'a teşekkürlerimizi sunarız.

Etik Beyanı

Bu çalışmada, "Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesi" kapsamında uyulması gerekli tüm kurallara uyulduğunu, bahsi geçen yönergenin "Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiğine Aykırı Eylemler" başlığı altında belirtilen eylemlerden hiçbirinin gerçekleştirilmediğini taahhüt ederiz.

Kaynakça

- [1] Alexander, J. O. 1984. Arthropods and Human Skin. Springer Verlag, New York, 197 – 207.
- [2] Özkan, Ö., Karaer, K. Z. 2007. Akreplerin Biyolojisi. Türk Hijyen ve Deneysel Biyoloji Dergisi, 64(1), 51-60.
- [3] Du Plessis, L. H., Elgar, D., Du Plessis, J. L. 2008. Southern African Scorpion Toxins: An Overview. Toxicon, 51(1), 1-9.
- [4] Yağmur, E. A. 2011. Güneydoğu Anadolu Akrep (Arachnida: Scorpiones) Faunası: Sistematığı ve Zoocoğrafyası. Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 220s, İzmir.
- [5] Kamaoğlu, A. 2014. *Calchas nordmanni* Venomunda Bulunan Peptidlerin Antibakteriyel Aktivitesinin Araştırılması. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 48s, Eskişehir.
- [6] Kovařík, F. 2009. Illustrated Catalog of Scorpions. Part I. Introductory Remarks; Keys to Families and Genera; Subfamily Scorpioninae with Keys to Heterometrus and Pandinus Species. Clairon Production, Prague, 170s.
- [7] Smith, K. G. V. 1973. Insects and Other Arthropods of Medical Importance. The Trustees of the British Museum, Natural History, London, 561s.
- [8] Demirsoy, A. 1999. Yaşamın Temel Kuralları Omurgasızlar Cilt II/Kısım I. Metaksan AŞ, Ankara, 792s.
- [9] Possani, L. D., Becerril, B., Delepierre, M., Tytgat, J. 1999. Scorpion Toxins Specific for Na⁺-Channels. European Journal of Biochemistry, 264(2), 287-300.
- [10] Gwee, M. C., Nirthanan, S., Khoo, H. E., Gopalakrishnakone, P., Kini, R. M., Cheah, L. S. 2002. Autonomic Effects of Some Scorpion Venoms and Toxins. Clinical and Experimental Pharmacology and Physiology, 29(9), 795-801.

- [11] Özkan, Ö., Filazi, A. 2004. *Androctonus crassicauda* (Oliver, 1807) Türü Akreplerden Değişik Yöntemlerle Elde Edilen Venomların Farelerde Akut LD50 Miktarlarının Belirlenmesi. Türkiye Parazitoloji Dergisi, 28(1), 50-53.
- [12] Oytun, H. S. 1969. Tıbbi Entomoloji. Ankara Üniversitesi Tıp Fakültesi Yayını, Ankara, 552s.
- [13] Dehesa-Dávila, M., Possani, L. D. 1994. Scorpionism and Serotherapy in Mexico. Toxicon, 32(9), 1015-1058.
- [14] Gwee, M. C. E., Cheah, L. S., Gopalakrishnakone, P., Wong, P. T. H., Gong, J. P., Kini, R. M. 1996. Studies on Venoms From the Black Scorpion *Heterometrus longimanus* and Some Other Scorpion Species. Journal of Toxicology Toxin Reviews, 15(1), 37-57.
- [15] Kovařík, F., Fet, V., Soleglad, M. E., Yağmur, E. A. 2010. Etudes on Iurids, III. Revision of the Genus *Lurus* Thorell, 1876 (Scorpiones: Luridae), with a Description of Two New Species From Turkey. Euscorpius, 2010(95), 1-212.
- [16] Harris, H. F. 1900. On the Rapid Conversion of Haematoxylin into Haematein in Staining Reactions. Journal of Applied Microscopic Laboratory Methods, 3(3), 777.
- [17] Culling, C. F., Reid, P. E., Dunn, W. L. 1976. A New Histochemical Method for the Identification and Visualization of Both Side Chain Acylated and Nonacylated Sialic Acids. Journal of Histochemistry & Cytochemistry, 24(12), 1225-1230.
- [18] McManus, J. F. A. 1948. Histological and Histochemical Uses of Periodic Acid. Stain Technology, 23(3), 99-108.
- [19] Lev, R., Spicer, S. S. 1964. Specific Staining of Sulphate Groups with Alcian Blue at Low pH. Journal of Histochemistry & Cytochemistry, 12(4), 309-309.
- [20] Mowry, R. W. 1956. Alcian Blue Technics for the Histochemical Study of Alcian Carbohydrates. Journal Histochem Cytochem, 4, 407-411.
- [21] Scott, J. E., Dorling, J. 1965. Differential Staining of Acid Glycosaminoglycans (Mucopolysaccharides) by Alcian Blue in Salt Solutions. Histochemie, 5(3), 221-233.
- [22] Gomari, G. 1952. Gomari's Aldehyde Fuchsin Stain. Culling CFA, Allison R. T. and Barr W. T. (Editors.): Cellular Pathology Tecnique, Butterworths, London, 238s.
- [23] Spicer, S. S., Mayer, D. R. 1960. Aldehyde Fuchsin/Alcian Blue. Culling CFA, Allison R. T. and Barr W. T. (Editors): Cellular Pathology Tecnique, Butterworths, London, 233s.
- [24] Bancroft, J. D., Stevens, A., Turner, D.R. 1996. Theory and Praticce of Histological Techniques. Churchill Livigstone, London, 129s.
- [25] Yigit, N., Benli, M. (2007). The Sting of *Mesobuthus gibbosus* (Scorpiones: Buthidae): Morphological and Ultrastructural Characterization. Euscorpius, 2007(61), 1-5.
- [26] Yigit, N., Benli, M. 2008. The Venom Gland of the Scorpion Species *Euscorpius mingrelicus* (Scorpiones: Euscorpiidae): Morphological and Ultrastructural Characterization. Journal of Venomous Animals and Toxins Including Tropical Diseases, 14, 466-480.
- [27] Taib, N. T., Jarrar, B. M. 1993. Histological and Histochemical Characterization of the Venom Apparatus of Palestine Yellow Scorpion, *Leiurus quinquestriatus* Hemprich & Ehrenberg 1828. Tropical Zoology, 6(1), 143-152.
- [28] Navidpour, S., Gharagozloyan, M. M., Pousty, I. 2018. Histological Study on Venom Gland Apparatus in *Odontobuthus doriae* (Scorpions: Buthidae), *Scorpio maurus towsendi* (Scorpiones: Scorpionidea) and *Hemiscorpius lepturus* (Scorpions: Hemiscorpidea) From Iran. Journal of Zoological Research, 2(4), 29-34.
- [29] Jarrar, B. M., Al-Rowaily, M. A. 2008. Histology and Histochemistry of the Venom Apparatus of the Black Scorpion *Androctonus crassicauda* (Olivier, 1807)(Scorpiones: Buthidae). Journal of Venomous Animals and Toxins including Tropical Diseases, 14, 514-526.

Mahremiyet Kavramının Geleneksel Bina Tasarımına Etkisinin Karşılaştırılması: Diyarbakır ve Erzurum Konutları

Ruşen ERGÜN^{*1}, Havva ÖZYILMAZ²

^{1,2}Dicle Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, 21200, Diyarbakır, Türkiye

(Alınış / Received: 21.04.2022, Kabul / Accepted: 28.07.2022, Online Yayınlanma / Published Online: 20.12.2022)

Anahtar Kelimeler

Mahremiyet,
Mekân dizimi,
Erzurum geleneksel evleri,
Diyarbakır geleneksel evleri,
Sürdürülebilirlik

Öz: Toplumsal değerler geleneksel mimarinin şekillenmesindeki en önemli sürdürülebilirlik kriterlerindedir. Mahremiyet olgusu ise ortak toplumsal değerlerin başında gelmektedir. Bu çalışmanın amacı farklı fiziksel ve ekonomik özelliklere sahip Erzurum ve Diyarbakır geleneksel evlerinin tasarımlarında mahremiyet kavramının etkisini karşılaştırmalı olarak analiz etmektir. Analizler başta mekân dizimi (*space syntax*) olmak üzere literatür taraması ve alan çalışması temelinde gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçlarında, iklimin etkisiyle Diyarbakır evlerine kıyasla Erzurum evlerinin çok daha içe dönük olduğu belirlenmiştir. Bunun gibi tasarımsal birçok önemli farklılıklar olmasına rağmen mahremiyet kavramının bina tasarımlarını benzer şekillerde etkilediği mahremiyetleşme katmanlarının benzer olduğu belirlenmiştir. Bu katmanlaşmanın her iki kentin evlerinde de genel olarak avludan odaya doğru olduğu tespit edilmiştir. Bu çalışma, iki bölgedeki fiziksel çevre ve ekonomik özelliklerin birbirinden ne kadar farklı olursa olsun toplumların ortak sosyokültürel değerlerinin geleneksel binaların tasarım mantığını benzer şekilde etkilediğini ortaya çıkarmıştır. Bu durum sosyokültürel özelliklerin geleneksel bina tasarımında etkisini göstermektedir.

Comparison of The Effect of Privacy Concept on Traditional Building Design: Diyarbakır and Erzurum House

Keywords

Privacy,
Space syntax,
Erzurum traditional house,
Diyarbakır traditional house,
Sustainability

Abstract: Social values are one of the most important sustainability criteria in the creation of traditional architecture. The aim of this study is to comparatively analyze the effect of the concept of privacy on the designs of Erzurum and Diyarbakır traditional houses, which have different physical and economic characteristics. Analyses were carried out on the basis of literature review and case study, especially space syntax. As a result of the analysis, it was determined that Erzurum houses are much more introverted compared to Diyarbakır houses due to the effect of the climate. Although there are many important design differences like this, it has been determined that the concept of privacy affects building designs in similar ways, and the layers of privacy are similar. It has been determined that this stratification is generally from the courtyard to the room in the houses of both cities. This study revealed that no matter how different the physical environment and economic characteristics of the two regions are from each other, the common socio-cultural values of the societies affect the design logic of traditional buildings in a similar way. This situation shows the effect of sociocultural features on traditional building design.

1. Giriş

Geleneksel yapılar toplumların kültürel özelliklerine bağlı olarak iklim ve topoğrafya gibi fiziksel çevre koşullarına çözüm üretme mekanizmalarıdır. Bu yüzden geleneksel yapılar buldukları toplum kültürünün bir laboratuvarı niteliğindedir. Toplumsal özelliklere bağlı inşa edilen bu yapılar aynı zamanda

insanı fiziksel ve psikolojik anlamda dış ortamdaki mahremiyetini sağlayan koruyucu bir kabuktur [1]. Mahremiyet tüm toplumlarda görülen evrensel bir davranıştır. [2]. Özellikle bireysel mahremiyet için bu durum geçerli iken mahremiyet kavramı her toplumda farklı şekilde algılanmaktadır. Örneğin islam dininde mahremiyet kadın ve erkeğin ayrımı olarak tanımlanabilir. İslamiyette sadece aynı

*İlgili yazar: rusen.ergun@dicle.edu.tr

aileden olan erkek ve kadının serbest sosyal etkileşimi bulunmaktadır [3]. Bu durum farklı bölgesel özelliklerde bulunan islam topluluklarının yapı mekân organizasyonlarını farklı şekillerde etkilemektedir [4], [5], [6].

Bu çalışmanın amacı; farklı fiziksel çevre koşullarına sahip iki kent olan Erzurum ve Diyarbakır'daki geleneksel evlerin oluşumunda, kültürün mekân konfigürasyonuna etkisinin karşılaştırmalı analiz ve değerlendirmesini yapmaktır. Erzurum ve Diyarbakır birbirinden tamamen farklı iklim ve topoğrafya özelliklerine sahip iki kent olup bu durum yapı tasarımlarında önemli etken rol oynamıştır. Diyarbakır geleneksel evleri Eldem'in [5] tanımladığı Türk evinin tipik bir örneği iken iklimsel özelliklerden dolayı kapalı yapı türündeki Erzurum evleri bu plan tipolojilerinin dışında kalmıştır [7]. Mahremiyet algısının geleneksel yapılarıdaki etkisini, özellikle iklim açısından birbirinden tamamen farklı olan bu iki kent üzerinden karşılaştırmanın daha net sonuçlar vereceği düşünülmektedir. Bu durum çalışma alanı seçiminin en önemli nedenlerindedir. Erzurum ve Diyarbakır geleneksel evlerinden 3'er adet yapı çalışma kapsamına alınmıştır. Çalışma kapsamına alınan yapıların tamamı tescilli durumdadır [8], [9].

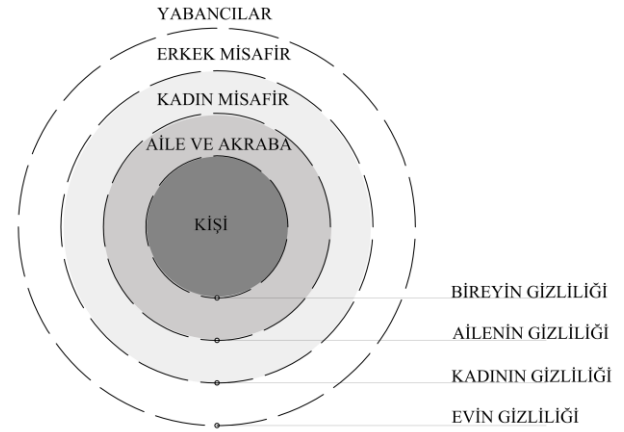
Kültür ve mahremiyetin mekân organizasyonlarına etkisini tespit etmenin en önemli yöntemlerinden biri mekan dizim (space syntax)'dir. (Uluslararası literatürde bu yöntem space syntax olarak kullanıldığı için bu çalışmanın ilerleyen bölümlerinde de bu isim kullanılmıştır). Spaca syntax mekanları sayısallaştırarak kültür ve yapı arasındaki ilişkiyi ortaya çıkaran bir analiz yöntemidir. Çalışmada space syntax tekniğinin yanı sıra kapsamlı literatür taraması ve alan çalışmaları yapılmıştır.

Erzurum ve Diyarbakır geleneksel evlerinin her ikisinde de ortak mekanlar (avlu, oda, tandirevi, geçiş aralıkları vs.) zemin katta olmasından analizler bu katlar üzerinden yapılmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Mahremiyet ve Mekansal Konfigürasyon

İslam dininde mahremiyet, Kur'an, hadis ve sünnetler ışığında kadın aile üyelerinin güvenliğini sağlamak amacıyla dış dünyadan gizleme durumudur. İslam yapıları, başta kadın olmak üzere aile üyelerinin bu kısıtlamayı gevşeterek ve mahremiyet olgusuna zarar vermeden yaşamalarını sağlayacak şekilde bölgenin koşulları da göz önünde bulundurularak tasarlanmıştır [10], [11]. Bahammam [12] bu evlerde mahremiyet olgusunu 4 katman halinde tanımlamış ve merkeze de kişisel mahremiyeti almıştır (Görsel 1), [10].



Şekil 1. Mahremiyetin İslamiyet'e özgü katmanları (Bahammam'dan [12] derlenmiştir)

İslam mimarisinde konut, genellikle avlulu bir yapıda, duvarları yüksek ve haremlik ile selamlık olarak ayrılmıştır. Harem; kadın aile üyeleri ve kadın misafirler için, selamlık ise erkek aile üyeleri ve misafirleri için ayrılmış bölümlerdir [7].

Mahremiyet birçok islam kenti gibi Diyarbakır ve Erzurum geleneksel yapısının oluşumunda da önemli bir etken olmuştur. Geleneksel Diyarbakır evlerinde harem ve selamlık bölümlerinin ayrılması, pencerelerin avluya bakması, evin sadece avlu kapısının dış mekâna açılması gibi özellikler mahremiyet olgusu için geliştirilmiş kriterlere örnek olarak verilebilir. [13]. Erzurum evlerinde "kehriz" olarak bilinen günümüz modern yapı ebeveyn banyolarının benzeri olan gusülhaneler aile içi mahremiyeti sağlamak amacıyla inşa edilmiştir. Bu durum da mahremiyet olgusunun geleneksel Erzurum evlerinin oluşumuna etkisine örnek olarak gösterilebilir [14].

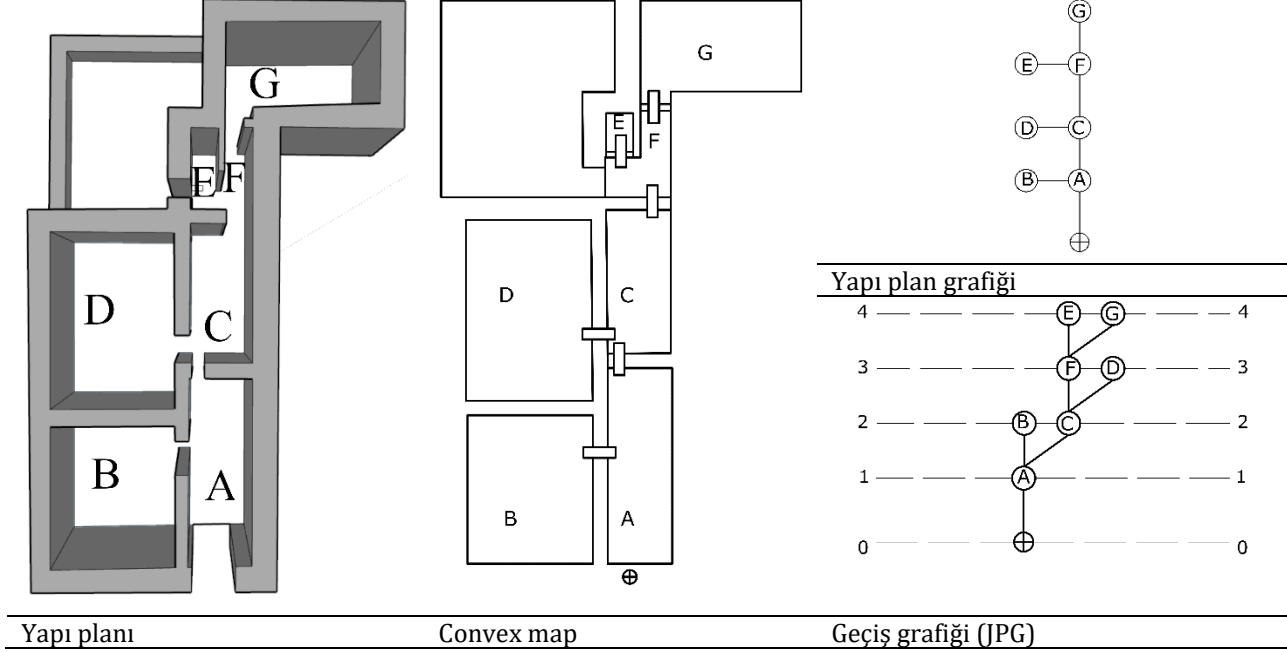
2.1.1 Mekan Dizimi (Space Syntax)

Space syntax tekniği mekan ve toplumun kültürel özellikleri arasındaki ilişkiyi ortaya çıkarmakta yardımcı olan bir analiz tekniğidir [15]. "Graph theory" temelli bu teknik 1984 yılında Hillier ve Hanson tarafından geliştirilmiştir [16]. "Graph theory" mekan ve mantık kavramlarını nokta ve çizgilerden oluşan bir yapıyla ifade eden topoloji olarak da tanımlanabilir [17]. Bu tekniğin uygulanmasında mekanların boyut, şekil gibi fiziksel özellikleri göz ardı edilmektedir [18]. Bu çalışmada da yönelim ve mesafe göz ardı edilerek "nokta" ve "çizgi" arasında oluşan bağlantılara dikkat edilmiştir. Space syntax'ta "Convex space", "axial line" ve "visibility graph" gibi analiz yöntemleri bulunmaktadır. Bu çalışmada "convex map" analizi kullanılmıştır. "Convex map" yapı planı üzerinden mekan sınırlarının belirtildiği ve mekan kapılarının sembolik olarak gösterildiği bir haritalama yöntemidir. "Convex map" üzerinden mekanlar düğüm olarak belirtilip bu mekanların çizgilerle bağlanmasıyla "justified plan graph/geçiş

grafiği”(JPG) oluşturulur [19], [20], [21]. Düğümler arası ilişkiyi gösteren bağlantı çizgilerinin uzunluğunun bir önemi yoktur. Geçiş grafiğinde “kök” olarak da tanımlanan bölüme 0 değeri verilerek mekanlar arası kademelenmeyi gösteren yatay kesik çizgiler çizilir. Bu yatay çizgilerin değerleri her

mekanın “derinlik” seviyesini belirtir. Kök ile direkt bağlantısı olan mekanların derinlik seviyesi 1 olarak belirtilir mekanlar “kök”ten uzaklaştıkça derinlik seviyeleri ardışık olarak artmaktadır [18], [22], (Tablo 1).

Tablo 1. E1 Evi "convex map" analiz diyagramı



Space syntax'ta mekansal konfigürasyonun sayısallaştırılmasında, “connectivity”, “mean depth”, “control value”, “integration” gibi dizinler kullanılır [13].

2.1.2 Derinlik

Bir düğümden başka bir düğüme ulaşmak için atılması gereken adım sayısı olarak tanımlanmaktadır. Bir mekânın derin veya sığ olması ortalama derinlikle (MD) olan kıyaslamasından tespit edilebilir [15]. Bir noktadan diğer noktaya ulaşmak için atılması gereken adım sayısı arttıkça derinlik artar, azaldıkça azalır (Tablo 2).

Ortalama derinlik hesaplaması toplam derinliğin, yapının toplam mekân sayısının (K) 1 eksiğine bölünmesiyle bulunmaktadır.

$$MD = \frac{TD}{(K - 1)}$$

Toplam derinliğin hesaplanmasında ise her derinlik seviyesindeki mekân sayısı (nx) bulunduğu seviyenin derinliğiyle çarpılır ve çıkan tüm sonuçlar toplanır.

$$TD = (0 \times nx) + (1 \times nx) + (2 \times nx) + (3 \times nx) + (4 \times nx) \dots + (X \times nx)$$

2.1.3 Bütünleşme (Integration)

Bütünleşme bir düğüm noktasının diğer düğüm noktaları ile olan bağlantısallık seviyesini gösterir. İntegration (i) değeri arttıkça mekânın bütünleşme seviyesi artar, azaldıkça ayrışma seviyesi artar [23], (Tablo 2). Karşılaştırılan yapıların mekân sayıları arasındaki farka göre iki şekilde hesaplanabilir. Mekân sayıları aynı veya fark az ise relative asymmetry (RA) değeri kullanılarak hesaplanabilir

$$i = \frac{1}{RA}$$

RA değeri ise aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$RA = \frac{2(MD - 1)}{(K - 2)}$$

İntegration değerleri, karşılaştırması yapılan yapıların mekân sayıları arasındaki fark fazla ise real relative asymmetry değerine (RRA) bağlı olarak hesaplanabilir. Çünkü mekân sayısı arasındaki fark arttıkça RA değerlerine göre yapılan ayrışma değer karşılaştırmalarının güvenilirliği azalmaktadır [18].

$$i = \frac{1}{RRA}$$

RRA değeri ise aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$RRA = \frac{RA}{D}$$

RRA değerinin hesaplanmasında gereken ilk veri RA değeri iken bunun yanı sıra D değerinin de bilinmesi gerekmektedir. Bu değer B. Hillier & Hanson [16] tarafından yapıdaki mekan sayısına bağlı olarak D değerleri tablosunda belirtilmiştir.

RRA değerlerinin 1'den küçük ve genel olarak 0,4-0,6 arasında olması mekansal bütünleşmenin yüksek, 1'e yakın ve 1'den büyük olması ise mekansal ayrışmanın fazla olduğunu gösterir [16]. Ayrıca RRA değerlerinin yüksek olması yapıdaki mahremiyetin artmasını sağlayan sosyal hiyerarşinin arttığını göstermektedir [19].

2.1.4 Bağlantısallık (Control Value)

Bağlantısallık bir mekânın diğer mekanlar ile olan bağlantısallığını tespit etmekte kullanılır ve kontrol değeri (CV) olarak tanımlanmaktadır. Mekanların CV değerlerinin yüksek olması mekânın kontrollü olduğunu göstermektedir [17]. Asami vd. [24] CV değerini "Mekanların birincil komşularına uyguladığı gizli çekim gücüne karşı, komşu mekânın gösterdiği göreceli dayanım" olarak tanımlamaktadır. Bu değer mekanların komşu mekân sayısına bağlı olarak farklılık göstermektedir. CV değerinin hesaplanması aşağıdaki formüle göre yapılabilmektedir.

$$CV(a) = \sum_{D(a,b)=1} \left(\frac{1}{Val(b)} \right)$$

Bir mekanın CV değeri yükseldikçe bağlantısallığı artarken, düştükçe bağlantısallığı azalır [18], (Tablo 2).

Tablo 2. Space syntaxta kullanılan analizlerin tanımlaması

Analizler	Değer yükseldikçe	Değer düştükçe
Mean Depth (MD)	Mekan derinliği artar	Mekan derinliği azalır
Relative Assymetry (RA/RRA)	Mekan entegrasyonu azalır	Mekan entegrasyonu artar
İntegration	Mekan entegrasyonu artar	Mekan entegrasyonu azalır
Control Value (CV)	Bağlantısallık artar	Bağlantısallık azalır

2.2. Çalışma Alanı

Çalışma kapsamına alınan yapılar, Diyarbakır ve Erzurum'un geleneksel yapı özelliklerini yansıtan ve geleneksel doku içerisinde bulunan örneklerden seçilmiştir. Erzurum evlerinin tipik örnekleri olarak çalışma kapsamına alınan yapılar E1, E2 ve E3; Diyarbakır evlerinin çalışma kapsamına alınan yapıları ise D1, D2 ve D3 şeklinde kodlanmıştır. E1, Ali Bayram evi; E2, Hanağasıgil evi ve E3 ise Dursun Akal evidir [6]'dan derlenmiştir. D1, Cahit Sıtkı Tarancı evi; D2, Esmâ Ocak evi ve D3 ise Ziya Gökalp evidir [28]'den derlenmiştir. Erzurum evleri kapsamında seçilen Dursun Akal Evi 18. yy. Hanağasıgil Evi ve Ali Bayram Evi ise 19.yy'da inşa edilmiştir [7], [9]. Bu yapıların tamamı Erzurum geleneksel evlerinin ortak plan özelliği olan iç avlu, tandır evi ve oda mekanlarına sahiptir. Çalışma kapsamına alınan Diyarbakır evleri 18.-19.yy arasına tarihlenmektedir.

2.2.1. Konum

Erzurum 39° 55' Kuzey enlemi 41° 16' Doğu boylamında Türkiye'nin Doğu Anadolu bölgesinde bulunmaktadır (Şekil 2). Erzurum havzasının güneydoğusunda, Palandöken Dağları'nın kuzeyinde bulunan Erzurum'un kuruluş M.Ö. 4000 yılına dayanmaktadır. Kafkas yolu ve İran yolu gibi önemli ticaret akslarının üzerinde kurulu olan Erzurum tarih boyunca Pers, Roma, Bizans, Selçuklu ve Osmanlı gibi birçok medeniyetin hakimiyetine girmiştir.



Şekil 2. Şekilde sunulan bilginin açıklaması [2]

Diyarbakır 37° 55' Doğu enlemi 40° 14' Kuzey boylamındadır. Türkiye'nin güneydoğusunda bulunan kent El Cezire olarak da bilinen Mezopotamya bölgesindeki Dicle Nehri ve Karacadağ dağı arasındaki platoya konumlanmıştır. Tarih boyunca önemli bir kent olarak kabul edilen Diyarbakır'ın geleneksel dokusu 5 km uzunluğundaki bir sur ile çevrelenmiştir, Diyarbakır 1950'li yıllardan sonra ise surun dışına doğru genişlemiştir (Şekil 2), [25].

2.2.2 İklim

Diyarbakır ve Erzurum Köppen iklim sınıflandırmasına göre iki farklı grupta bulunmaktadır. Bu sınıflandırmaya göre Diyarbakır Csa (Kış ılık, yazı çok sıcak ve kurak), Erzurum ise Dsb (Kış şiddetli, yazı kurak ve çok sıcak) iklim grubundadır [26].

Erzurum'un kışları soğuk ve kar yağışlıdır. Yıllık ortalama sıcaklığı 5,7 °C olup en soğuk ayı -9,2 °C ile Ocak'tır. Ortalama yağışlı gün sayısı 128,1 olan

Erzurum'un yıllık ortalama yağış miktarı 432,2'dir (Tablo 3).

Tablo 3. Erzurum iklim verileri (1929-202) [29]

Erzurum	Kış			İlkbahar			Yaz			Sonbahar			Yıllık
	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	
Ortalama sıcaklık	-5,8	-9,2	-7,7	-2,5	5,3	10,7	14,8	19,1	19,5	14,8	8,2	1,1	5,7
Ortalama Max. sıcaklık	-0,1	-4	-2,3	2,6	10,9	16,9	21,8	26,5	27,2	22,7	15,2	6,8	11,9
Ortalama Min. sıcaklık	-10,3	-14	-12,6	-7,1	0	4,4	7,3	11,1	11,2	6,4	1,8	-3,8	-0,5
Ortalama güneşlenme süresi (saat)	3,3	4,3	5,1	6,3	7,9	10,2	11,3	1,7	9,1	6,9	4,9	3,1	6,9
Ortalama yağışlı gün sayısı	9,8	9,5	12,1	12,1	15,3	18,2	12,6	7,9	6,6	6,4	10,3	9,7	128,1
Ortalama yağış	22,4	21,8	34,9	34,9	53,7	74,1	48,9	26,9	18	24,4	47,2	33,1	432,2
Ortalama rüzgar hızı	11	11	11	12	12	10	9	9	8	9	9	10	10,08

Diyarbakır'ın yıllık ortalama sıcaklığı 15.9 °C olup en sıcak ayı ortalama 31 °C ile Temmuz'dur. Diyarbakır'ın hakim rüzgar yönü kuzeybatı olup yıllık

ortalama hızı 8,16 km/h'dir. Yıllık ortalama yağışlı gün sayısı 99,6 olup yıllık ortalama yağış miktarı 496,3mm'dir (Tablo 4).

Tablo 4. Diyarbakır iklim verileri (1991-2020) [30]

Diyarbakır	Kış			İlkbahar			Yaz			Sonbahar			Yıllık
	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	
Ortalama sıcaklık	4	1,7	3,7	8,3	13,8	19,3	26	31	30,5	25,1	17,5	9,7	15,9
Ortalama Max. sıcaklık	9,2	6,7	9,1	14,5	20,4	26,6	33,6	38,4	38,2	33,3	25,4	16,3	2,6
Ortalama Min. sıcaklık	0	-2,3	-1	2,5	7	11,2	16,6	21,7	21,1	16	10,1	4,2	8,9
Ortalama güneşlenme süresi (saat)	3,9	4,9	5,6	7,1	9,6	12,2	12,4	11,7	10	7,5	5,5	3,9	7,9
Ortalama yağışlı gün sayısı	12,5	13	12,3	13,5	13,3	10,8	3,7	1,1	0,9	2,1	7,5	9,1	99,6
Ortalama yağış	72	70,7	67,6	66,7	70	44,4	8,7	1,3	1	5,4	33	55,2	496,3
Ortalama rüzgar hızı	7	8	9	9	9	8	9	9	8	8	7	7	8,167

Diyarbakır ve Erzurum kentleri arasında başta ortalama sıcaklık olmak üzere rüzgâr, yağış ve güneşlenme süresi açısından birbirinden önemli derecede farklar bulunmaktadır (Tablo 4).

2.2.3 Geleneksel Erzurum ve Diyarbakır Evleri

Geleneksel Türk evi plan tipi Sedat Hakkı Eldem tarafından 4 ayrı grupta incelenmiştir. Bunlar sofasız plan tipi, dış sofalı plan tipi, iç sofalı plan tipi ve orta sofalı plan tipidir [5]. Sofalı yapı tiplerinin tamamında sofa kapalı mekanların dışında açık mekan olarak tasarlanmıştır.

Geleneksel Erzurum evlerinin temel özelliği soğuk

iklimin etkisiyle dışa kapalı olmalarıdır. Bu evlerdeki avlular geleneksel Türk evinde genel olarak evin kapalı mekanlarının dışında açık avlu sisteminden farklılaşmıştır. Avlu, evin içinde kapalı olarak tasarlanmış, diğer odalara ve tandır evine dağılımı sağlayan geçiş mekanı işlevini almıştır [7]. Asıl işlevi geleneksel Türk evindeki mutfak mekanıyla benzerlik gösteren tandır evi ayrıca aile bireylerinin dinlenme ve yatma mekanı olarak da işlev görür [11]. Yapılarda ahır veya merek gibi evcil hayvanlara ait bazı mekanlarda bulunmaktadır. Bu mekanlar ana yapıyla bağlantılı şekilde inşa edilmiştir. Merek genellikle hayvan yeminin bulunduğu mekan olup bazı durumlarda odunluk olarak kullanılmıştır. Temel yapı malzemesi taş olan bu yapılarda tuğla, toprak ve

ahşap kullanımı da yaygındır [27]. Genellikle 2 katlı olan geleneksel Erzurum evleri cephelerinin zengin bir mimari dili vardır. Avlu, tandır evi ve oda Erzurum evlerinin ortak plan elemanlarıdır [7].

Geleneksel Diyarbakır evleri içe dönük bir tasarıma sahip olup avlu merkez mekandır. Sıcak ve kurak iklim etkisinden dolayı avlu bir iklim düzenleyici olarak işlev görmektedir. Gece soğuk olan hava avluya çöküp kapalı mekanlara yayılırken gündüz ise avludaki sıcak yükselerek dışarıya atılır. Diğer mekanlar avlunun etrafına konumlanır. Bu evler avlunun kanat sayısına göre U, I ve L tipli olarak 3 gruba ayrılır [28]. Kanat sayısına bakılmaksızın dış ortamla tek bağlantı avlu kapısıdır. Avlular iklimsel düzenleyici olmasının yanı sıra yemek pişirme, oturma, nişan yapma ve sebze kurutma gibi sosyal aktivitelerin yapıldığı bir mekandır. Yapı duvarlı 60-70 cm kalınlığında ve bazalt taşından inşa edilmiştir. Yapılar genellikle zemin veya zemin+1 kattan

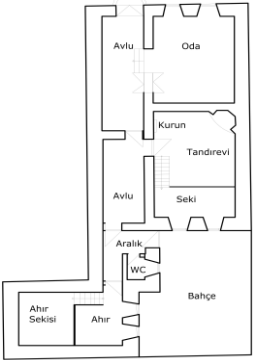
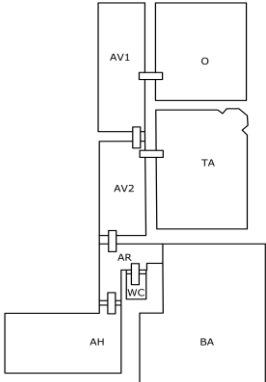
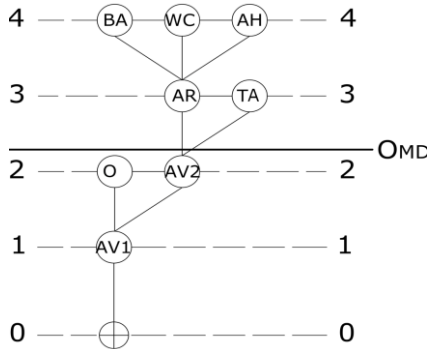
oluşmaktadır. Geleneksel Diyarbakır evlerindeki mutfak, depo, tuvalet ve mahzen gibi mekânlar hizmet alanları, oda, avlu ve revak ise yaşama alanları olarak tanımlanmaktadır [13]

3. Bulgular

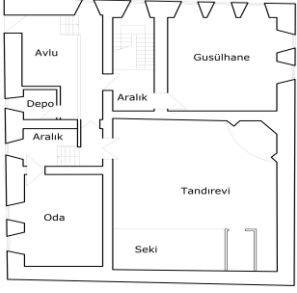
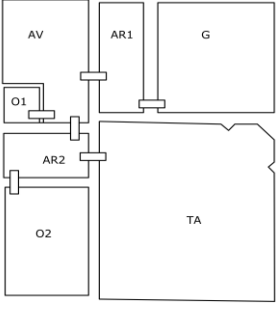
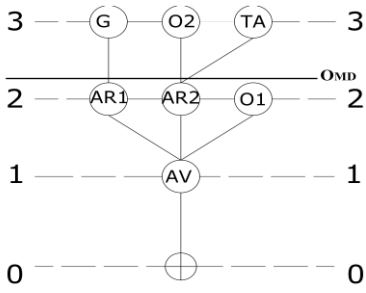
Çalışma kapsamına alınan binalar, UCL Depthmap X paket programı ile yapılan analiz sonuçlarına dayandırılarak "Connectivity", "İntegration" ve "Depth" indeksleri açısından incelenmiştir. Yapıların tamamında giriş mekanları kök mekan olarak seçilmiştir.

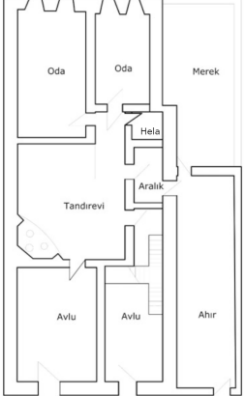
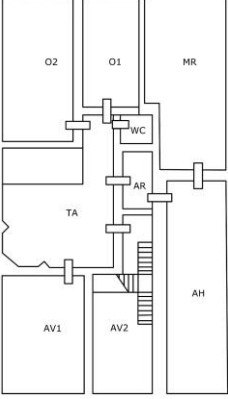
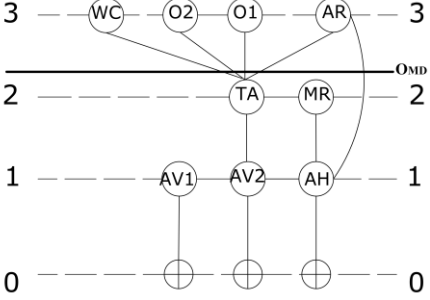
Erzurum geleneksel konutlarında seçilen E1, E2 ve E3 evlerinin bina zemin kat planları, konveks map ve jpg analiz sonuçları Tablo 5-6'da Diyarbakır geleneksel evlerinden seçilen D1, D2 ve D3 evlerinin ise Tablo 7-8'de gösterilmiştir.

Tablo 5. E1 evi mekan analizleri

Ev	Plan	Konveks Map	JPG				
E1 EVİ							
	Ref. Numarası	Mekanlar	MD	RA	<i>i</i>	RRA	CV
	0	Avlu 1	2	0,4	0,8491	1,1776	1,3333
	1	Tandır evi	2,3333	0,5333	0,6268	1,5702	0,3333
	2	Avlu 2	1,5	0,2	1,6982	0,5888	1,8333
	3	Hela	2,5	0,6	0,5660	1,7665	0,3333
	4	Aralık	1,6666	0,2666	1,2736	0,785	2,3333
5	Ahır	2,5	0,6	0,5660	1,7665	0,3333	
6	Oda	2,83	0,7333	0,4631	2,1590	0,5	
	Ortalama	2,1899	0,4761	0,8632	1,4019	0,9999	

Tablo 6. E2 ve E3 evi mekan analizleri

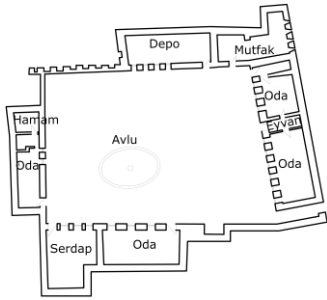
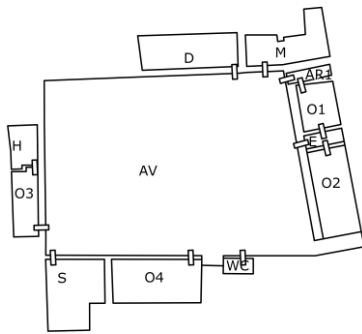
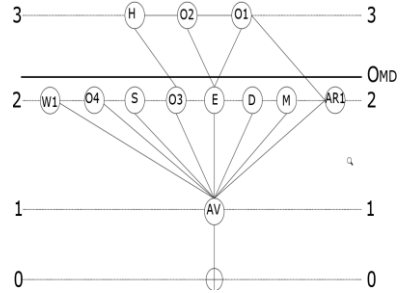
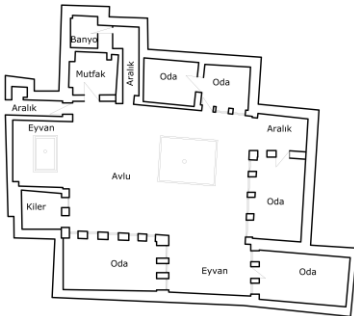
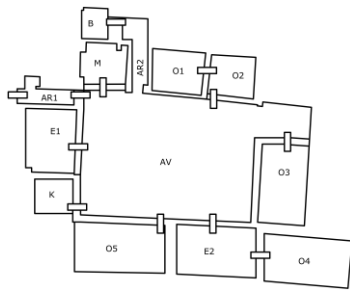
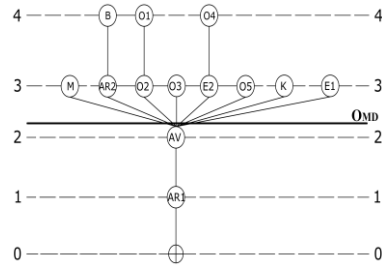
Ev	Plan	Konveks Map	JPG				
E2 EVİ							
	Ref. Numarası	Mekanlar	MD	RA	<i>i</i>	RRA	CV
	0	Gusülhane	2,8333	0,7333	0,4631	2,1509	0,5
	1	Aralık 1	2	0,4	0,8491	1,1776	1,3333
	2	Avlu	1,5	0,2	1,6982	0,5888	1,8333
	3	Oda 1	2,3333	0,5333	0,6368	1,5702	0,3333
	4	Aralık 2	1,6666	0,2666	1,2736	0,7851	2,3333
	5	Oda 2	2,5	0,6	0,5660	1,7665	0,3333
6	Tandirevi	2,5	0,6	0,5660	1,7665	0,3333	
	Ortalama	2,1904	0,4761	0,8446	1,4008	0,9999	

Ev	Plan	Konveks Map	JPG				
E3 EVİ							
	Ref. Numarası	Mekanlar	MD	RA	<i>i</i>	RRA	CV
	0	Merek	3,25	0,6428	0,4927	2,0292	0,5
	1	Ahır	2,375	0,3928	0,8063	1,2401	1,5
	2	Avlu 2	2,25	0,3571	0,8870	1,1273	0,1666
	3	Avlu 1	2,25	0,3571	0,8870	1,1273	0,1666
	4	Hela	2,25	0,3571	0,8870	1,1273	0,1666
	5	Aralık	1,75	0,2142	1,4783	0,6764	0,6666
	6	Oda 1	2,25	0,3571	0,8872	1,1273	0,1666
	7	Oda 2	2,25	0,3571	0,8872	1,1273	0,1666
8	Tandır evi	1,375	0,1071	2,9567	0,3382	5,5	
	Ortalama	2,2222	0,3491	1,1299	1,1022	0,9999	

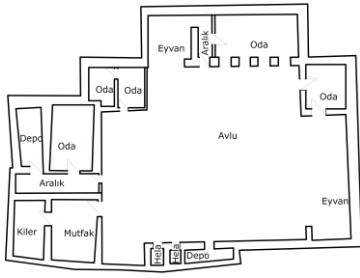
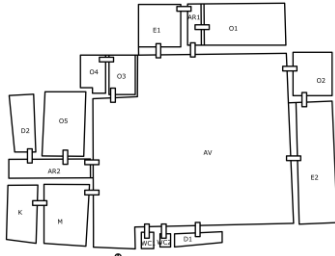
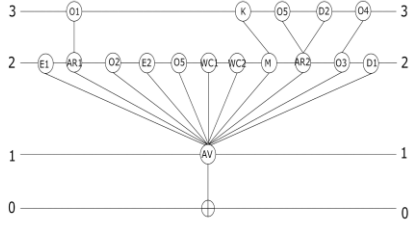
E1 evinde 2 adet avlu, 1'er adet tandır evi, hela, aralık, ahır ve oda; E2 evinde 2'şer adet geçiş aralığı ve oda, 1'er adet gusülhane, avlu, tandır evi; E3 evinde ise 2'şer adet avlu ile oda ve 1'er adet merak, ahır, hela, aralık ve tandır evi bulunmaktadır.

İncelemesi yapılan 3 yapıda avlu, oda, aralık ve tandır evinin ortak mekân olduğu belirlenmiştir. E1 evinin 4 adımda E2 ve E3 evinin ise 3 adımda keşfedildiği ve her üç binanın da ortalama derinliğinin 2 ve 3 arası olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 7. D1 ve D2 evi mekan analizleri

Ev	Plan	Konveks Map	JPG				
D1 EVİ							
	Ref. Numarası	Mekanlar	MD	RA	<i>i</i>	RRA	CV
	0	Depo	2,1818	0,2363	1,2052	0,8296	0,125
	1	Mutfak	2,1818	0,2363	1,2052	0,8296	0,125
	2	Aralık	2	0,2	1,4244	0,7020	0,625
	3	Oda 1	2,5454	0,3090	0,9216	1,0849	0,8333
	4	Eyvan	1,8188	0,1636	1,7409	0,5743	1,625
	5	Oda 2	2,7272	0,3454	0,8246	1,2126	0,3333
	6	Oda 3	2	0,2	1,4244	0,7020	1,125
	7	Hamam	2,9090	0,3818	0,7461	1,3405	0,5
	8	Hela	2,1818	0,2363	1,2052	0,8296	0,125
	9	Oda 4	2,1818	0,2363	1,2052	0,8296	0,125
10	Serdap	2,1818	0,2363	1,2052	0,8296	0,125	
11	Avlu	1,2727	0,0545	5,222	0,1914	6,333	
	Ortalama	2,1818	0,2363	1,5275	0,8296	0,9999	
D2 EVİ							
	Ref. Numarası	Mekanlar	MD	RA	<i>i</i>	RRA	CV
	0	Avlu	1,25	0,4545	6,0616	0,1649	7,5
	1	Mutfak	2,1666	0,2121	1,2989	0,7698	0,1111
	2	Oda 1	2,9166	0,3848	0,7906	1,2647	0,5
	3	Oda 2	2	0,1818	1,5154	0,6598	1,1111
	4	Aralık 2	2	0,1818	1,5154	0,6598	1,1111
	5	Banyo	2,9166	0,3484	0,7906	1,2647	0,5
	6	Oda 3	2,1666	0,2121	1,2989	0,7698	0,1111
	7	Oda 4	2,9166	0,3484	0,7906	1,2647	0,5
	8	Eyvan 2	2	0,1818	1,5154	0,6598	1,1111
	9	Oda 5	2,1667	0,2121	1,2989	0,7698	0,1111
	10	Kiler	2,1667	0,2121	1,2989	0,7698	0,1111
11	Eyvan 1	2,1667	0,2121	1,2989	0,7698	0,1111	
12	Aralık 1	2,1667	0,2121	1,2989	0,7698	0,1111	
	Ortalama	2,2307	0,2580	1,5979	0,8120	0,9999	

Tablo 8. D3 evi mekan analizleri

Ev	Plan	Konveks Map	JPG				
							
D3 EVİ	Ref. Numarası	Mekanlar	MD	RA	<i>i</i>	RRA	CV
	0	Avlu	1,4666	0,0666	3,7656	0,2655	5,8333
	1	Oda 1	3,8666	0,4095	0,6130	1,6313	0,5
	2	Aralık 1	2,9333	0,2761	0,9089	1,1001	1,5
	3	Eyvan 1	2,1333	0,1619	1,5505	0,6449	0,6111
	4	Oda 3	2,2666	0,1809	1,3873	0,7208	1,1111
	5	Oda 4	3,2	0,3142	0,7987	1,2519	0,5
	6	Oda 5	3,0666	0,2952	0,8503	1,1760	0,3333
	7	Depo 2	3,0666	0,2952	0,8503	1,1760	0,3333
	8	Aralık 2	2,1333	0,1619	1,5505	0,6449	2,1111
	9	Oda 2	2,3333	0,1904	1,3179	0,7587	0,6111
	10	Eyvan 2	2,3333	0,1904	1,3179	0,7587	0,6111
	11	Depo 1	2,4	0,2	1,2552	0,7966	0,1111
	12	Mutfak	2,2666	0,1809	1,3873	0,7208	1,1111
	13	Kiler	3,2	0,3142	0,7987	1,2519	0,5
	14	Hela 1	2,4	0,2	1,2552	0,7966	0,1111
	15	Hela 2	2,4	0,2	1,2552	0,7966	0,1111
		Ortalama	2,5916	0,2273	1,3039	0,9057	0,9999

D1 evinde 4 adet oda, 1'er adet depo, mutfak, aralık, eyvan, hamam, hela ve serdap; D2 evinde 5 adet oda, 2'ser adet aralık ve eyvan, 1'er adet avlu, mutfak, banyo ve kiler; D3 evinde 5 adet oda", 2'ser adet aralık, eyvan, depo ve hela ve 1'er adet avlu, mutfak, banyo ve kiler" bulunmaktadır. Çalışma kapsamına alınan Diyarbakır evlerinde avlu, oda, aralık, eyvan ve mutfakın ortak mekanlar olduğu tespit edilmiştir. D1 ve D3 evinin 3, D2 evinin ise 4 adımda keşfedildiği ve üç yapının ortalama mekân derinliklerinin 2 ve 3 arası olduğu belirlenmiştir.

Çalışma kapsamına alınan Erzurum ve Diyarbakır evlerinin tamamında avlu, oda ve aralık mekanlarının ortak olduğu belirlenmiştir.

3.1. Derinlik (Depth) parametresinin Erzurum evlerinde analizi

E1 evi mekânlarının ortalama derinliği 2,1899 olarak belirlenmiştir. Bu değere göre yapılan

karşılaştırmalarda tandır evi, ahır, oda ve hela derin; her iki avlu ve aralık ise sığ mekân olarak nitelendirilebilir. Mekanlar arası derinlik sıralamasında ise en derin mekânın oda; en sığ mekânın ise 2 numaralı avlu olduğu belirlenmiştir.

Mekanların ortalama derinliği 2,1904 olan E2 evinde gusülhane, her iki oda ve tandır evi derin; her iki aralık ve avlu, ise sığ mekân olarak nitelendirilebilir. Mekanlar arası derinlik sıralamasında en derin mekân gusülhane iken en sığ mekân ise avludur.

E3 evi ortalama derinliği ise 2,2222'dir. Ortalama değere göre yapılan değerlendirmede merek, ahır, hela ve her iki oda derin; tandır evi ise sığ mekândır. Avluların derinlik değeri 2,25 olup ortalama derinliğe çok yakın olduğundan derin veya sığ olarak nitelendirilmemiştir. Mekanlar arası derinlik sıralamasına göre merek en derin mekân iken tandır evi en sığ mekândır (Tablo 9).

Tablo 9. Erzurum evleri mekansal derinlik sıralaması

E1 Evi	O>WC>AH>TA>AV1>AR>A2
E2 Evi	G>TA=O2>O1>AR1>AR2>AV
E3 Evi	MR>AH> O1=O2=AV1=AV2=WC>AR>TA

Derinlik analizi yapılan Erzurum evlerinde ahır, oda, hela ve tandır evinin derin; avlu ve geçiş aralıkları ise sığ mekân olarak genellenebilir. Bu mekanların kendi aralarındaki karşılaştırmalarda en derin mekanlar odalar iken en sığ mekanlar ise avlu ve aralıklardır.

3.2. Derinlik (Depth) parametresinin Diyarbakır evlerinde analizi

Derinlik analizi yapılan D1 evinde ortalama MD değeri 2,18 olarak belirlenmiştir. Mekansal derinlik incelemesinde oda 1, oda 2 ve hamam derin; avlu, aralık ve oda 3 ise sığ mekân olarak tanımlanabilir. Mekansal derinlik sıralamasında ise MD değeri diğer mekanlara göre çok düşük olan avlu ve eyvan en sığ mekanlar olarak nitelendirilebilir.

Tablo 10. Erzurum evleri mekansal derinlik sıralaması

D1 Evi	H>O2>O1>WC=O4=S=D=M>O3=AR>EY>AV
D2 Evi	O1=O4=B>M=O5=K=EY1=AR1>EY2=O2=AR2>AV
D3 Evi	O1>K=O4>O5=D2>AR1>D1=WC1=WC2>O2=EY2>M=O3>EY1=AR2>AV

Diyarbakır evlerinde yapılan derinlik analizinde, avlu, eyvan ve hizmet odaları en sığ; duş alma yerleri ve aile has odaları (aile üyelerinin yatma ve dinlenme alanları) en derin mekanlardır. Ayrıca yapılan incelemelerde avlu tüm binalarda en sığ mekân iken aile has odaları ve duş alma yerleri en derin mekanlardır.

3.3. Bütünleşme (Integration) Parametresinin Erzurum evlerinde analizi

E1 evinde yapılan bütünleşme analizinde, en

Tablo 11. Erzurum evleri mekansal bütünleşme değeri

E1 Evi	AV2>AR>AV1>TA>WC=AH>O1
E2 Evi	AV>AR2>AR1>O1>O2=TA>G
E3 Evi	TA>AR>AV1=AV2=WC=O1=O2>AH>MR

Erzurum'daki binaların ortak mekanları üzerinden yapılan bütünleşme analizi karşılaştırmalarında geçiş aralıkları ve avluların en bütünleşik, ahır, tandır evi ve odaların en ayrı mekanlar olduğu belirlenmiştir.

Yapılan analizlerde mekanların %73,91 (17/23)'inin real relative asymmetry değerlerinin 1'den büyük, %8,69 (2/23)'ünün 1'e yakın olması bu binalarda mahremiyet seviyesinin yüksek olmasını sağlayan mekanlar arası hiyerarşinin oldukça fazla olduğunu göstermektedir. Tüm binaların ortalama RRA değerlerinin 1'den büyük olması bu durumu destekler niteliktedir. Bu sonuçlar Erzurum evlerinde mahrem alanlar ve ortak kullanım alanları ayrımının net olduğunu göstermektedir.

3.4. Bütünleşme (Integration) parametresinin Diyarbakır evlerinde analizi

D1 evinde başta avlu olmak üzere eyvan, geçiş aralığı

D2 evi mekansal derinlik analizinde ortalama MD değeri 2,2307'dir. Ortalama derinlik baz alınarak yapılan karşılaştırmalarda oda 1, oda 4 ve banyo en derin mekanlar iken başta avlu olmak üzere diğer mekanlar sığ olarak tanımlanabilir.

D3 evi ortalama MD değeri ise 2,5916'dır. Ortalama MD değeri baz alındığında oda 1, oda 4, oda 5, aralık 1, depo 2 ve kiler derin; avlu, eyvan, helalar, depo 1, her iki eyvan, oda 2-3-5 ve aralık 2 ise sığ mekân olarak nitelendirilebilir. Mekanların ortalama derinlik değerleri karşılaştırıldığında ise en sığ mekanların avlu ve eyvanlar, en derin mekânın ise oda 1 olduğu tespit edilmiştir (Tablo 10).

bütünleşik mekanlar geçiş aralığı ve her iki avlu iken en ayrı mekân ise odadır.

E2 evinde, avlu ve her iki geçiş aralığı bütünleşme değeri en yüksek, gusulhane, tandırevi ve oda ise bütünleşme değeri en düşük mekanlardır.

E3 evinde merek ve ahır en düşük bütünleşme seviyesine sahip iken en yüksek bütünleşme seviyesindeki mekanlar ise tandır evi ve aralık mekanlarıdır (Tablo 11).

ve oda 3'ün en yüksek; oda 1, oda 2 ve hamamın ise en düşük bütünleşme değerine sahip olduğu görülmektedir.

D2 evi mekanlarının bütünleşme değerleri incelendiğinde avlu en yüksek bütünleşme değerine sahip iken eyvan 2, aralık 2 ve oda 2 de bütünleşme seviyesi yüksek mekanlar olarak nitelendirilebilir. Oda 1, oda 4 ve banyo ise bütünleşme değeri düşük mekanlardır.

D3 evi mekanlarında ise diğer iki evde olduğu gibi avlu en yüksek bütünleşme değerine sahiptir. Bunun yanı sıra eyvan 1 ve aralık 2 bütünleşme seviyesi yüksek mekanlar iken oda 4, kiler ve oda 1 bütünleşme seviyesi düşük mekanlardır (Tablo 12).

Tablo 12. Diyarbakır evleri mekansal bütünleşme değeri

D1 Evi	AV>EY>AR=O3>D=M=WC=O4=S>O1>O2>H
D2 Evi	AV>O2=AR2=EY2>M=O3=O5=K=EY1=AR1>O1=B=O4
D3 Evi	AV>EY1=AR2>O3=M>O2=EY2>WC1=WC2=D1>AR1>D2=O5>O4=K>O1

Bütünleşme analizi yapılan Diyarbakır evlerinde tüm binalarda önemli bir sayısal değer farkıyla en bütünleşik mekanların avlular olduğu belirlenmiştir. Bunun yanı sıra yine avlunun elemanı olan eyvan ve geçiş aralıkları bütünleşik mekân, duş alma yerleri ve aile has odaları ise ayrı mekanlar olarak nitelendirilebilir.

Diyarbakır evlerinde yapılan bütünleşme analizlerinde mekanların %78,04 (9/41)'ünün real relative asymmetry değerlerinin 1'e yakın olması bu binalarda mahremiyet seviyesinin yüksek olduğunu göstermektedir. Bu durum Diyarbakır evlerindeki ortak mekân ve mahrem mekân ayrımının net olduğunu göstermektedir.

Tablo 13. Erzurum evleri mekansal bağlantısallık değeri

E1 Evi	AR>AV2>AV1>O1>AH=WC=TA
E2 Evi	AR2>AV>AR1>G>O1=O2=TA
E3 Evi	TA>AH>AR>MR>AV1=AV2=O1=O2=WC

Erzurum evlerinde mekanların kontrol değerleri incelendiğinde genellikle avlu ve geçiş aralıklarının yüksek, hela, oda ve tandirevlerinin düşük bağlantısallık seviyesine sahip olduğu söylenebilir.

3.6. Bağlantısallık (Control Value) parametresinin Diyarbakır evlerinde analizi

D1 evinde başta avlu olmak üzere eyvan ve oda 3'ün yüksek; depo, mutfak, hela, oda 4 ve serdapın düşük kontrol değerlerine sahip olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 14. Erzurum evleri mekansal bağlantısallık değeri

D1 Evi	AV>EY>O3>O1>AR>H>O2>D=M=WC=O4=S
D2 Evi	AV>O1=B=O4>M=AR2=O3=O2=EY1=EY2=O5=K=AR1
D3 Evi	AV>AR2>AR1>O3=M>EY1=O2=E2>O1=O4=K>O5=D2>D1=WC1=WC2

Diyarbakır evleri ile ilgili yapılan analizlerde özellikle avluların çok yüksek seviyede bağlantılı mekanlar olduğu tespit edilmiştir. Bunun yanı sıra eyvan ve geçiş aralıklarının yüksek, hela, duş alma yerleri ve odaların ise düşük seviyede bağlantısallık değerine sahip olduğu söylenebilir.

4. Tartışma ve Sonuç

Çalışmada birbirinden farklı iklim ve topoğrafya gibi fiziksel özelliklere sahip iki kent olan Erzurum ve Diyarbakır geleneksel evlerinin tasarımında kültür-mekân ilişkisinin karşılaştırması yapılmıştır.

3.5. Bağlantısallık (Control Value) parametresinin Erzurum evlerinde analizi

E1 evinde geçiş aralığı ve avluların en yüksek bağlantısallık değerine; ahır, hela ve tandirevinin ise en düşük bağlantısallık değerlerine sahip olduğu tespit edilmiştir.

E2 evinde yapılan bağlantısallık analizinde aralık 2 ve avlunun diğer mekanlarla en bağlantılı yerler olduğu belirlenmiştir. Bunun aksine tandirevi ve her iki odanın bağlantısallık seviyesinin en düşük mekanlar olduğu tespit edilmiştir.

E3 evinde tandirevi, aralık ve ahırın yüksek; hela, oda ve her iki avlunun düşük bağlantısallık değerine sahip olduğu belirlenmiştir (Tablo 13).

D2 evinde yapılan bağlantısallık analizinde avlu en bağlantılı mekân iken; mutfak, geçiş aralıkları, oda 2-3-5 ve iki eyvan bağlantısallık seviyesi en düşük mekanlardır.

D3 evinde yapılan analizde ise avlu ve her iki odanın yüksek, oda 5, depo ve helaların düşük seviyede bağlantılı mekânlar olduğu değerlendirilmesi yapılabilir (Tablo 14).

Bu ilişkinin tespit edilebilmesi için space syntax, literatür taraması ve alan çalışması teknikleri bir arada kullanılmıştır. Analizler karşılaştırmalı olarak derinlik, bütünleşme ve bağlantısallık dizinleri baz alınarak yapılmıştır.

Diyarbakır ve Erzurum evlerinin tamamında en derin mekânların başında aile bireylerinin yatma ve dinlenme gibi özel durumlar için kullandığı odalar gelmektedir. Bunun yanı sıra Erzurum evlerinde ahır, hela ve tandir evi; Diyarbakır evlerinde ise banyo en derin mekânlar arasındadır. Her iki kentteki evlerde de ortak olarak en sığ mekânlar avlu ve geçiş

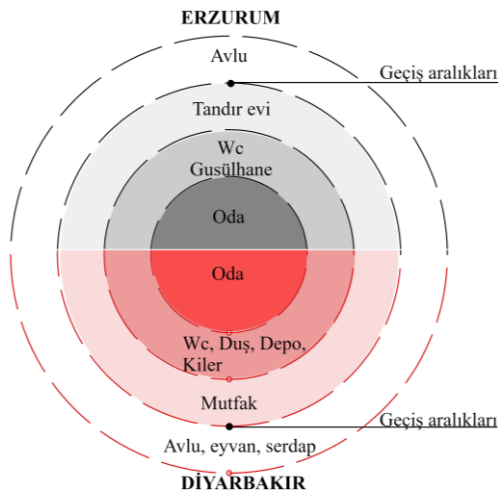
aralıkları iken Diyarbakır evlerinde mutfak gibi hizmet alanları ve avlunun birimi olan eyvan da sığ mekanlar arasındadır.

Diyarbakır ve Erzurum evlerinde geçiş aralıkları ve avlular ortak olarak en bütünleşik mekanlardır. Bunun yanı sıra Diyarbakır evlerinde eyvan da bütünleşik mekân olarak değerlendirilebilir. Her iki kentteki evlerde de aile bireylerinin özel olarak kullandığı odalar en ayırık mekanlardır. Bunun yanı sıra Erzurum evlerinde tandır evi ve ahır, Diyarbakır evlerinde duş alma yerleri ayırık mekanlar olarak nitelendirilebilir.

Diyarbakır ve Erzurum evlerinde bağlantısallık derecesi en yüksek mekânlar avlu ve geçiş aralıklarıdır. Diyarbakır evlerinde ayrıca eyvan da bağlantısallık seviyesi yüksek mekânlardandır. Her iki kentte de hela ve özel odalar bağlantısallık seviyesi en düşük mekânlar iken bunlara ek olarak Diyarbakır evlerinde duş alma yerleri, Erzurum evlerinde tandır evleri de bağlantısallık seviyesi düşük mekânlar arasındadır.

Erzurum evlerinde genel olarak mahremiyet seviyeleri sırasıyla; avlu <tandır evi <hela ve gusülhane <oda, Diyarbakır evlerinde ise bu sıralama genel olarak avlu, eyvan ve serdap <mutfak <hela, duş, depo ve kiler <oda şeklindedir (Erzurum evlerindeki ahır ve merceklerin kullanım amaçlarının bina mekanlarından bağımsız olmasından bu katmanlaşmaya dahil edilmemiştir).

Analiz edilen her iki kentin geleneksel evlerinde de mahremiyet hiyerarşisinin benzerlik gösterdiği ve bina mahremiyetinin geçiş aralıkları haricinde 4 katmandan oluştuğu belirlenmiştir. Bu sonuçlar toplumsal özelliklerin benzerlik gösterdiği ve geleneksel İslam mimarisindeki kişinin mahremiyetinden evin gizliliğine doğru olan katmanlaşmayla benzerlik gösterdiği tespit edilmiştir (Şekil 1), (Şekil 3).



Şekil 3. Erzurum ve Diyarbakır evlerinin genel olarak mahremiyet katmanları (Ruşen Ergün tarafından oluşturulmuştur)

Bu katmanlar mahrem seviyesinin artış sırasına göre;

- Yapının içine girilen ilk mekân olarak avlu ve elemanları
- Yemek pişirme mekânı olarak mutfak ve tandır evi (her iki mekân da özellikle kadın aile üyeleri tarafından kullanılır)
- Hela, duş, gusülhane, depo ve kiler gibi hizmet mekanları
- Çok amaçlı odalar

Bu durum fiziksel koşullar ne kadar farklı olsa da ortak bir kültürel özelliğe sahip olan toplumlarda kültürün bina tasarımını benzer şekillerde etkilediğini göstermektedir

Bu çalışmada fiziksel özellik olarak iklimin üzerinde durulmasının aksine gelecek çalışmalarda fiziksel özelliklerin kapsamı genişletilerek, benzer inançlara sahip toplumların evlerinde buna benzer bir çalışma yapmak araştırmacılara öneri olarak sunulabilir.

Etik Beyanı

Bu çalışmada, "Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesi" kapsamında uyulması gerekli tüm kurallara uyulduğunu, bahsi geçen yönergenin "Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiğine Aykırı Eylemler" başlığı altında belirtilen eylemlerden hiçbirinin gerçekleştirilmediğini taahhüt ederiz.

Kaynakça

- [1] Saruwono, 2012. Shouting in Silence: Expression of Self in Private Homes, *Procedia - Soc. Behav. Sci.*, c. 42, sayı Temmuz 2010, ss. 34-41, doi: 10.1016/j.sbspro.2012.04.164.
- [2] Rapoport, A. 1976 "Socio-cultural aspects of man-environment studies.", içinde *Mutual Interaction of People and Their Built Environment*, Hauge, ss. 7-35.
- [3] Mortada, H. 2003. *Traditional Islamic Principles of Built Environment*. New York: Routledge Curzon.
- [4] Alitajer, S. ve Molavi Nojoui, G. 2016. Privacy at home: Analysis of behavioral patterns in the spatial configuration of traditional and modern houses in the city of Hamedan based on the notion of space syntax", *Front. Archit. Res.*, 5(3) ss. 341-352, doi: 10.1016/j.foar.2016.02.003.
- [5] Eldem, S. H. 1968. *Türk Evi Plan Tipleri*. İstanbul: İTÜ yayınevi.
- [6] Kutlu, I. ve Eray, S. S. 2021. "Geleneksel Midyat Yapıları ve Güncel Restorasyon Problemleri Üzerine Değerlendirme", 7. Çukurova Uluslararası Bilimsel Araştırmalar Kongresi, 7-8 Adana, ss. 866-885.
- [7] Karpuz, H., 1993. *Türk İslam Mesken Mimarisinde Erzurum Evleri*. Ankara: Kültür Bakanlığı.

- [8] Tuncer, O.C. 1999. Diyarbakır Evleri. Diyarbakır, Diyarbakır Büyükşehir Belediyesi Kültür ve Sanat Yayınları.
- [9] Sağlam, T. ve Yurttaş, H. 2020. Geleneksel Erzurum evlerinin istatiki veri analizi, *Türkiyat Araştırmaları Enstitüsü Dergisi*, c.67, ss. 421-458.
- [10] Othman Z., Aird, R. ve Buys, L. 2015, Privacy, modesty, hospitality, and the design of Muslim homes: A literature review, *Front. Archit. Res.*, 4(1) ss. 12–23, doi: 10.1016/j.foar.2014.12.001.
- [11] Hisham, M. *Traditional Islamic Principles of Built Environment*. 2003, London and New York: Taylor & Francis Group.
- [12] Bahammam, A. S. “Architectural Patterns of Privacy in Saudi Arabian Housing”, McGill University, 1987.
- [13] Bekleyen A. ve Dalkılıç N., 2011, The influence of climate and privacy on indigenous courtyard houses in Diyarbakır, Turkey, *Sci. Res. Essays*, 6(4) ss. 908–922, doi: 10.5897/SRE10.958.
- [14] Gök, Y. ve Kayserili, A. 2013, Geleneksel Erzurum Evlerinin Kültürel Coğrafya Perspektifinden İncelenmesi, *Doğu Coğrafya Derg.*, 18(30), ss. 175–216, 2013.
- [15] Hillier, B. 2007. *Space is the machine Bill Hillier- A configurational theory of architecture*. London: Space Syntax Laboratory.
- [16] Hillier, B. ve Hanson, J. 1984. *The Social Logic of Space*. London: Cambridge University Press.
- [17] Huang, B. X., Chiou, S. C. ve W. Y. Li, 2019. Study on Courtyard Residence and Cultural Sustainability: Reading Chinese Traditional Siheyuan through Space Syntax”, *Sustain.*, 11(6), doi: 10.3390/su11061582
- [18] Ostwald, M. J. 2011. The Mathematics of Spatial Configuration: Revisiting, Revising and Critiquing Justified Plan Graph Theory, *Nexus Netw. J.*, 13(2), ss. 445–470, doi: 10.1007/s00004-011-0075-3.
- [19] Gündoğdu, M., 2014. Mekan Dizimi Analiz Yöntemi ve Araştırma Konuları, *Art Sanat*, c. 2, ss. 251–274.
- [20] Klarqvist, B., 1993. A space syntax glossary, *Nord. Arkit.*, c. 2, ss. 11–12, [Çevrimiçi]. Available at: <https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/3779573909551/glossarySS.pdf>.
- [21] Ergün, R. Kutlu, İ. ve Kılınç, C., 2022 “A comparative study of space syntax analysis between traditional Antakya houses and social housing complexes by TOKI”, *Mimarlık Bilimleri ve Uygulamaları Dergisi*, 7(1), 2022, ss. 284-297, doi:10.30785/mbud.1068659.
- [22] Bekar, İ. ve Koç Altuntaş, S., 2021. Kullanıcı Gereksinimleri Özelinde Geleneksel Konutların Mekansal Okumaları, *International Journal of Mardin Studies*, c.1, 2021 ss. 83-103.
- [23] Jiang B., Claramunt, C. ve Klarqvist B., 2000 Integration of space syntax into GIS for modelling urban spaces”, *JAG*, 3(4), ss. 161–171, doi: 10.1016/S0303-2434(00)85010-2.
- [24] Asami, Y., Kubat, A. S. K. Kitagawa, ve S.-I. Iida, 2003. Introducing the third dimension on Space Syntax: Application on the historical Istanbul, içinde 4Th International Space Syntax Symposium, sayı Ocak, ss. 48.1-48.19, [Çevrimiçi]. Available at: <http://www.spacesyntax.org/symposia/SSS4/fullpapers/48AsamiKubatIdapaper.pdf>.
- [25] Dalkılıç, N. ve Bekleyen, A. 2011. “Geçmişin Günümüze Yansıyan Fiziksel İzleri: Geleneksel Diyarbakır Evleri”, içinde *Medeniyetler Mirası Diyarbakır Mimarisi*, İ. Yıldız, Ed. Diyarbakır.
- [26] M.G.M, 2016. Köppen İklim Sınıflandırmasına Göre Türkiye İklimi, Ankara, [Çevrimiçi]. Available at: https://www.mgm.gov.tr/FILES/iklim/iklim_siniflandirmalari/koppen.pdf.
- [27] Özdemir, I. M., Tavşan, C., Özgen, Sağsöz, S. A. ve Kars, F. B. 2008. The Elements of Forming Traditional Turkish Cities: Examination of Houses and Streets in Historical City of Erzurum, *Build. Environ.*, 43(5), ss. 963–982.
- [28] Ayçam, I., Akalp, S. ve Görgülü, L. S. 2020. The application of courtyard and settlement layouts of the traditional diyarbakir houses to contemporary houses: A case study on the analysis of energy performance, *Energies*, 13(3), doi: 10.3390/en13030587.
- [29] M.G.M.,2020. Erzurum mevsim normalleri, T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü. <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?m=ERZURUM>.
- [30] Turkish State Meteorological Service, 2020. “Diyarbakır Climate Data”, *Cities & Holiday Resorts*. <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?m=DIYARBAKIR> (Erişim Tarihi: 08, 2020).

Yığma Yapıların Düzlem İçi Davranışının Kafes Model Yaklaşımı ile Analizi

Yunus GÜNER*¹, Ayhan NUHOĞLU²

^{1,2}Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 35040, İzmir, Türkiye

¹Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 09010, Aydın, Türkiye

(Alınış / Received: 27.04.2022, Kabul / Accepted: 27.07.2022, Online Yayınlanma / Published Online: 20.12.2022)

Anahtar Kelimeler

Yığma yapı,
Eşdeğer kafes model,
Doğrusal olmayan analiz,
Çubuk eleman

Öz: Yığma yapılarda, malzeme parametrelerindeki belirsizliklerin yanı sıra düzensiz duvar örgü biçimi ve taşıyıcı elemanlarda oluşan hasarlar da göz önünde bulundurulduğunda yapısal davranışının ve taşıma kapasitesinin belirlenmesi oldukça karmaşık bir hale gelmektedir. Bu durumlarda nümerik analizlerde basitleştirilmiş yaklaşımların tercih edilmesi, çözüme pratik olarak ulaşılmasına olanak sağlar. Bu çalışmada, yığma taşıyıcı sistemlerin düzlem içi hasar oluşumları ve taşıma kapasiteleri kafes elemanlardan oluşan sayısal analiz modeli kullanılarak belirlenmeye çalışılmıştır. Yığma yapılarda kullanılması açısından yenilikçi bir yaklaşım olarak önerilen bu yöntemde, sadece uzun eksen doğrultusunda yük taşıyan çubuk elemanlar kullanılmaktadır. Böylece oluşturulan eşdeğer hesap modeliyle gerçekleştirilen doğrusal olmayan analizler ile yapıda dış yük etkisinde meydana gelebilecek hasarların ve maksimum taşıma kapasitesinin elde edilmesi amaçlanmıştır. Literatürde daha önce incelenen yığma yapıların esas alındığı çalışmada, yöntemin avantajları ve dezavantajları karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Gerçek yapıdaki süneklik tepkisinin tam olarak temsil edilememesine rağmen, maksimum taşıma kapasitesinin ve hasar oluşum bölgelerinin kabul edilebilir düzeyde doğrulukla belirlenebileceği görülmüştür. Yaygın olarak tercih edilen kapsamlı modelleme prosedürlerine bir alternatif olarak önerilen eşdeğer kafes model yaklaşımının umut verici olduğu sonucuna varılmıştır.

Analysis of In-Plane Behaviour of Masonry Structures by Truss Model Approach

Keywords

Masonry structure,
Equivalent truss model,
Nonlinear analysis,
Frame element

Abstract: In masonry structures, determination of a structural behavior and load-bearing capacity becomes quite complicated when irregular wall bond patterns and the damages developing in load-bearing elements are considered, as well as the unclear in the material parameters. In these cases, preferring simplified approaches in a numerical analysis allows to obtain solution practically. In this study, in-plane damage developments and load-bearing capacities of masonry structure were tried to be determined using a numerical analysis model consisting of truss elements. In this method, which was proposed as an innovative approach in terms of use in masonry structures, frame elements that only load-bearing in the direction of the longitudinal axis were used. Thus, in the structure, it was aimed to obtain the maximum load-bearing capacity and damages that may occur, under external loads with the nonlinear analyzes performed by the equivalent calculation model. In the study based on masonry structures discussed in the literature previously, the advantages and disadvantages of the method were evaluated comparatively. Although the ductility response of a real structure couldn't be fully represented, it was observed that the maximum load-bearing capacity and damage formation zones could be determined with acceptable accuracy. Consequently, the equivalent truss model approach, which is proposed as an alternative to the commonly preferred detailed modeling procedures, is promising.

1. Giriş

Yığma taşıyıcı sistemlerin yapısal davranışlarının

belirlenmesinde bilgisayar ve yazılım teknolojileri ile geliştirilen alternatif modelleme ve analiz teknikleri tercih edilmektedir [1]. Ele alınan yığma yapılar

kendine has sahip oldukları koşullar dikkate alarak çeşitli yaklaşımlara göre sınıflandırılabilir. Buna bağlı olarak geliştirilen sayısal analizlerde esas alınan kabuller de değişiklik göstermektedir. Örneğin, tek açıklıklı dairesel kâgir kemer köprüler [2], antik tiyatro tipi [3] veya ibadethane tarzında inşa edilmiş yapılar [4],[5] karakteristik özelliklerine bağlı olarak spesifik olarak ele alınabilmektedir.

Her bir modelleme yaklaşımının doğrulukla uygulanabilmesi için çeşitli kabuller yapılmakta ve analiz sonuçları da bu durumdan etkilenmektedir. Yapısal davranışın daha gerçekçi olarak elde edilebilmesi için; detaylı modellemeye, yüksek analiz kapasitesine sahip bilgisayarlara, teorik altyapısı gelişmiş yazılımlara, kapsamlı malzeme bilgisine ve konusunda uzman mühendislere ihtiyaç duyulmaktadır. Bunun yanında analiz sürelerinin uzunluğu ve sonuçların doğru yorumlanması hususları da karşılaşılan önemli sorunlar arasındadır. Basitleştirilmiş yaklaşımlarla amaca yönelik sayısal analiz modellerinin tasarlanması, hızlı ve etkili sonuçların alınması hususunda önemlidir. İlerleyen süreçte gerek duyulması halinde daha kapsamlı yaklaşımlar tercih edilmelidir. Nihayetinde, teorik analizlerin ve buradan elde edilecek sonuçların uygunluğu yapılan kabullerin doğruluğu ile orantılı olacaktır [6].

Riskli deprem kuşağında yer alan Anadolu coğrafyası civarında son yüzyılda büyüklüğü 6 ve üzeri olan onlarca deprem meydana gelmiştir. Depremler sonrasında oluşan hasarların giderilmesi için büyük maliyetlerle karşılaşmaktadır [7]. Bu durum göz önünde bulundurulduğunda yapıların hızlıca elden geçirilmesi ve gerekli olacak yapısal tedbirlerin alınması öncelikli konulardandır. Bu kapsamda arşiv ve saha çalışmalarıyla [8],[9] birlikte hızlı ve pratik sayısal analiz modellerinin sürece büyük katkılar sağlayacağı açıktır.

Bu çalışma yiğma yapıların sayısal analizlerinde kafes elemanlardan oluşan eşdeğer analiz modelleri kullanılarak taşıyıcı sistemde meydana gelebilecek düzlem içi hasarların ve maksimum taşıma kapasitesinin pratik olarak belirlenmesi konusunu ele almaktadır. Sayısal analizlerde sadece eksenleri doğrultusunda yük taşıyan çubuk elemanların kullanılmasının çeşitli avantajları beraberinde getirmektedir. Başlıca düğüm noktası serbestliğinin azalması, pratik modelleme, hızlı analiz, basit malzeme davranış modeli ve malzeme parametrelerindeki sadeleşme olarak sıralanabilirler [10]. Bunun yanında elde edilen sonuçların oldukça kolay yorumlanabilmesi açısından kapsamlı modellere göre önemli bir avantaj sağlamaktadır.

Bu çalışma kapsamında ele alınan konu başlıklarından biri olmasa da sayısal analiz süreleri de oldukça önemlidir. Yiğma yapıların modellenmesinde yaygın kullanılan üç boyutlu katı

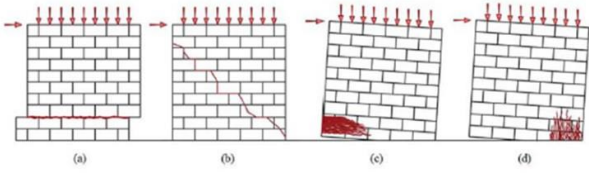
elemanların her biri 8 düğüm noktası ve 48 serbestlik derecesine veya düzlem analizlerde tercih edilen kabuk elemanların her biri 4 düğüm noktası ve 12 serbestlik derecesine sahiptir. Eşdeğer kafes model yaklaşımıyla ise her bir eleman 2 düğüm noktası ve 4 serbestlik derecesine sahiptir. Özellikle kompleks yiğma yapıların tek bir modelle ele alındığı çalışmalarda analiz sürelerinin kısaltılmasında önemli katkılar sunmaktadır [11]. Beraberinde bellek ve depolama alanı ihtiyacı da azalmaktadır.

Kafes giriş yaklaşımının daha yaygın olarak betonarme yapı elemanlarının iki veya üç boyutlu düzlemlerde incelenmesinde ele alındığı farklı çalışmalarda görülmektedir [10],[12]. Tekrarlı yüklemeye etkisindeki betonarme kolonlarda kritik kesme [13] ve tekrarlı yüklemeye etkisinde betonarme kolon ve güçlendirilmiş yiğma duvarın kesme kırılması [14] doğrusal olmayan kafes model yaklaşımıyla araştırılmıştır. Yiğma yapılarda ise çubuk elemanlarla ilgili çalışmalar oldukça sınırlı kalmıştır. Yiğma duvarların elastik davranışları, düzlem çubuk elemanların kullanıldığı duvarın mikro modellemesi ile gerçekleştirilmiştir [15]. Bir başka çalışmada ise düşey taşıyıcı yiğma elemanların düzlem dışı davranışı ele alınmıştır [16]. Öngörülen hasar oluşum formuna dayanarak geliştirilen çubuk eleman benzeri ara yüzey elemanların kullanıldığı hibrit yaklaşım ise farklı bir çalışmanın konusu olmuştur [17]. Kafes elemanların plastik mafsallarla tanımlandığı alternatif bir modelleme yaklaşımı ise Pirsahab et al. [18],[19] tarafından geliştirilmiştir. 2020 yılındaki çalışmada [19] çubuk elemanlar ve yayların birlikte kullanıldığı alternatif bir mikro model yaklaşımının da ele alınmış olduğu görülmektedir. Yiğma yapılarda giriş formundaki çubuk elemanların kullanılması yani eşdeğer çubuk eleman yöntemi daha yaygın olarak çalışmalarda yer bulmuştur [20]. Farklı bir çalışmada ise aynı yöntemin basitleştirilmesinde çubuk elemanlardan yararlanılmıştır [21].

2. Materyal ve Metot

Düzlem dışı davranışın engellendiği yiğma taşıyıcı sistemlerde düzlem içi hasar oluşum formları (Şekil 1), kafes model yaklaşımının temelini oluşturmaktadır. Kayma kesmesi, harç dayanımının yetersiz, düşey yükün nispeten az veya sürtünme katsayısının düşük olmasına bağlı olarak tersinir sismik etkiler sonucunda yatay harç yüzeyinde meydana gelen kesme gerilmelerine bağlı çatlak oluşması ile tarif edilebilir. Bir diğer bozulma türü olan diyagonal kesme hasarı ise, duvarın asal çekme gerilme değerinin çekme dayanımını aştığı durumlarda meydana gelmektedir. Eğilme hasarı olarak adlandırılan üçüncü durumda yüklemeye bölgesinin çapraz alt köşesinde duvarın basınç dayanımının aşılması sonucunda ezilmelerin meydana gelmesi ve taşıma kapasitesinin

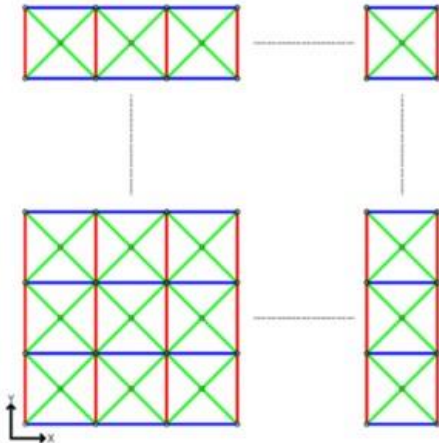
yitirilmesiyle oluşmaktadır. Aynı zamanda diğer alt köşede ise çekme hasarlarının oluşması muhtemeldir.



Şekil 1. Yığma duvarlarda düzlem içi yüklemeye meydana gelen tipik kırılma modları; a) Kayma kesmesi, b) Diyagonal kesme ve c), d) Eğilme hasarları [22].

Bu çalışma kapsamında önerilen kafes model yaklaşımında her bir doğrultudaki çubuk elemanın olası yapısal hasar formlarıyla eşleşmesi öngörülmüştür. Mafsallarla birbirlerine bağlanan doğrusal eksenlerine göre, Şekil 2'de görüldüğü gibi, üç farklı kafes elemandan bahsetmek mümkündür; düşey (kırmızı), yatay (mavi) ve diyagonal (yeşil). Düşey elemanlar eğilme etkisiyle meydana gelebilecek çekme gerilmelerine bağlı açılmaları ve basınç gerilmelerine bağlı ezilmeleri, yatay elemanlar yatay harc boyunca oluşabilecek kayma çatlaklarını ve son olarak da diyagonal elemanlar asal çekme veya basınç kaynaklı oluşabilecek hasarları temsil etmektedir.

Modelleme yaklaşımında çubuk kesit alanlarının belirlenmesi, malzeme modeli ve parametreleri, sınır koşullarının modele ne ölçüde yansıtılabildiği gibi alternatifli durumlar sonuçlar üzerinde oldukça etkilidir. Betonarme yapı elemanlarının analizi için Lu and Panagiotou [23] tarafından önerilen kafes model yaklaşımı, yığma yapılar için geliştirilen yeni prosedürün oluşturulmasında önemli rol oynamıştır.



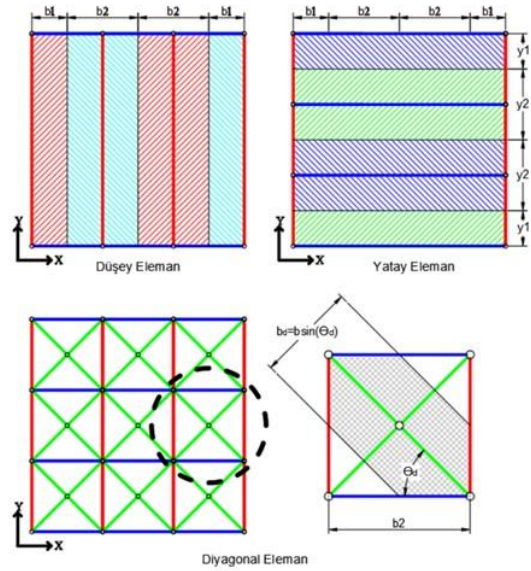
Şekil 2. Kafes model yaklaşımı.

2.1. Kesit alanları

Üç farklı doğrultudaki çubuk elemanlar için etkili kesit alanları taralı bölgelerle Şekil 3'te görüldüğü gibi tanımlanmıştır. Diyagonal çubukların etkili alanlarının belirlenmesinde açının da rolü bulunmaktadır. Yapılardaki düzlem içi diyagonal kesme hasarının normal ve kayma gerilmelerine bağlı olarak asal çekme gerilmelerine dik doğrultuda

oluşması beklenmektedir. Buradan yola çıkılarak açının belirlenmesinde yaklaşık bir yöntem kullanılabilir [24]. Fakat, yığma yapılardaki ana taşıyıcı duvarların genellikle en/boy oranının düşük olması ve narinlikten uzak olmaları nedeniyle daha çok kesme duvarları olarak tanımlanabilirler. Hem modellemenin pratik hale gelmesi hem de literatürde sunulan öneriler dikkate alındığında diyagonal elemanların yatay eksen ile yaptıkları açı yaklaşık 45° olarak kabul görmüştür [11],[19],[24].

Kesit alanları ile ilgili bir diğer önemli nokta ise, düşey elemanların taşıma kapasitesine ek olarak diyagonal elemanlarında taşıyıcı özellik sergilemesi beklenenden daha rijit bir davranışın ortaya çıkmasına neden olabilmektedir. Bu durum ilerleyen bölümde detaylı olarak ele alınmış ve örnekler üzerinden araştırılmıştır.



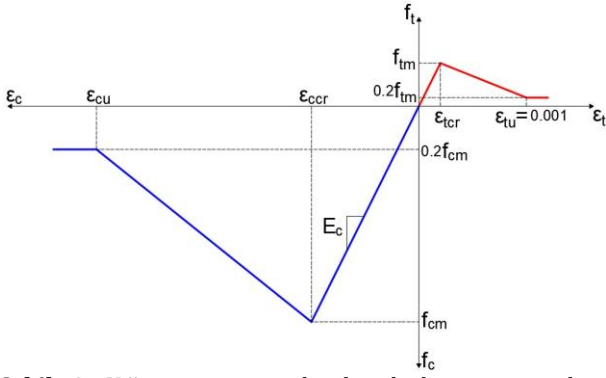
Şekil 3. Kesit alanlarının belirlenmesi [14].

2.2. Malzeme modeli ve parametreleri

Malzeme modelinde yığma yapıların basınç ve çekme dayanımları arasında var olan büyük davranış farklılığının kafes modele yansıtılabilmesi, sonuçların doğruluğu bakımından oldukça önem arz etmektedir. Bu nedenle kullanılan Abaqus yazılımının bünyesinde bulunan *concrete damaged plasticity* [25] malzeme modeli tercih edilmiştir. Esasında beton malzemesi için geliştirilmiş olan malzeme modeli, yığma taşıyıcı elemanlarında betona benzer bir davranış sergilemesi ve hem basınç hem de çekme davranışlarının ayrı ayrı tanımlanabilmesi nedenleriyle tercih edilmiştir. Düşey ve diyagonal elemanlar için basınç elastisite modülü, maksimum basınç ve çekme dayanımları ve lineer ötesi davranış parametrelerine ihtiyaç duyulmaktadır. Yatay elemanlar için ise kayma modülü, maksimum basınç ve kayma dayanımları ve lineer ötesi davranış parametreleri kullanılmaktadır.

Yiğma yapıları ayakta tutan taşıyıcı elemanların imal edildiği malzemelere ait parametrelerindeki değişkenlik sonuçlar üzerinde oldukça etkilidir. Parametrelerin belirlenmesindeki metotlar ve makro yaklaşım için homojenize edilmeleri sonuçlar üzerindeki hassasiyeti önemli oranda değiştirebilmektedir. Bahsedilen husus göz önünde bulundurulduğunda, yiğma yapıların basınç ve çekme etkisindeki davranışı Şekil 4'teki gibi tanımlanmıştır. Literatürde farklı çalışmalarda da benzer eğriliklere sıklıkla rastlanmaktadır [26],[27].

parametreleri sırasıyla basınç elastisite modülü, çekme dayanımı, çatlamış çekme birim deformasyonu, maksimum çekme birim deformasyonu, basınç dayanımı, çatlamış basınç birim deformasyonu ve maksimum basınç birim deformasyonu temsil etmektedir. Maksimum çekme birim deformasyon değeri farklı çalışmalarda 0.001 olarak varsayılabilirliği belirtilmiştir [18],[28]. Dayanım değerleri deneysel çalışmalar sonucunda elde edilirken diğer parametreler Denklem 1-3'teki bağıntılar vasıtasıyla belirlenmektedir.



Şekil 4. Yiğma yapının tek eksenli basınç ve çekme yüklemesi etkisindeki gerilme-birim deformasyon eğrisi [18].

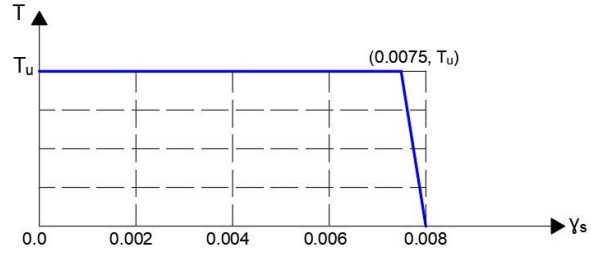
$$\text{---} \quad (1)$$

$$\text{---} \quad (2)$$

$$\text{---} \quad (3)$$

Yatay elemanlara dair kayma davranışı Şekil 5'teki gibi tanımlanmıştır. Düşey eksenindeki maksimum kayma dayanım değeri Mohr-Coulomb teorisi (Denklem 4) dikkate alınarak belirlenebilmektedir. Bu eşitlikte τ_u maksimum kayma dayanımı, σ_v düşey basınç gerilmesi, c kohezyon ve μ sürtünme katsayısı olarak ifade edilmiştir. İlaveten sürtünme katsayısı TBDY'de [29] 0.4 olarak önerilmiştir. Buna karşın denklemdeki parametreler için farklı çalışmalarda alternatif değerler önerilmektedir [30]. Şekil 5'teki yatay eksen, analiz programının sürtünme modelindeki davranışı göz önünde bulundurularak literatürdeki bir çalışmadan [31] ele alınmıştır. Kayma modülünün belirtilmediği durumlarda TBDY'e

[29] göre elastisite modülünün %40'ı olarak alınabilmektedir.



Şekil 5. Yiğma yapının kesme yüklemesi etkisindeki gerilme-birim deformasyon eğrisi [31].

(4)

3. Uygulamalar

Bu çalışma kapsamındaki örnek uygulamalar, daha öncesinde literatürde deneysel ve/veya alternatif nümerik yaklaşımlarla ele alınmıştır. İlgili çalışmalarda geometrik ve malzeme parametre değerlerinden yararlanılarak bir önceki bölümde ifade edilen malzeme yaklaşımları da kullanılarak eşdeğer kafes model ile çalışmalar tekrar analiz edilmiştir. Literatür ve eşdeğer kafes modelden elde edilen sonuçlar karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Şekil değiştirmelerin ihmal edilebilir düzeyde küçük olduğu yiğma yapılarda geometrik nonlineer etkileri göz ardı edilmiştir. Eşdeğer kafes modelde zati ağırlık tüm düğüm noktalarına eşdeğer yük olarak uygulanmıştır. Düşey ve yatay etkilerin birlikte bulunduğu durumlarda, yükleme iki aşamalı uygulanmıştır. İlk olarak düşey yükler, bilahare yatay etkiler analiz modeline yansıtılmıştır. Yiğma yapının taşıma kapasitesi, taban kesme kuvvetine karşılık maksimum tepe deplasmanı arasındaki ilişkiden değerlendirilmiştir. Hasar oluşum bölgeleri ve nedenleri ise çubuk elemanlarda meydana gelen plastik şekil değiştirme üzerinden incelenmiştir.

Alternatif çubuk kesit alanlarının analiz sonuçları üzerindeki etkisinin araştırılabilmesi için Şekil 3'te önerilen yöntemle göre belirlenen çubuk kesit alanları alan katsayıları ile çarpılmış (1.0, 0.667 veya 0.5) ve çubuk kesit alanları bu oranda azaltılmıştır. Kesit alanının değişmesiyle eşdeğer kafes modelin birim hacim ağırlığı ve düşey gerilmeye bağlı değişen kayma dayanımı değerlerinde güncellemeler yapılmıştır.

Kafes model geometrisinin oluşturulmasında detaylı ve yaklaşık olmak üzere iki farklı yaklaşım ele alınmıştır. Her iki yaklaşımda da literatürdeki öneriler göz önünde bulundurularak, diyagonal elemanların yatayla yaptığı açının detaylı modelde 45° civarında, yaklaşık modelde ise tam 45° olması amaçlanmıştır. Detaylı modeldeki temel amaç geometrik olarak gerçek yapı ile birebir uyum sağlanmaya çalışılmasıdır. Mesnetler ise tüm çalışma

boyunca benzerlik göstermiş ve en alt düğüm noktalarının düzlemdeki hareketleri kısıtlanmıştır.

3.1. Uygulama 1

İki farklı çalışmada [18],[32] nümerik yaklaşımlarla incelenmiş olan düzlemdeki boyutu 12.0x7.8 m olan üç katlı yığma yapı, kafes ve kabuk model yaklaşımlarıyla ele alınmıştır (Şekil 6). Her kat seviyesinde betonarme döşeme ile birbirinden ayrılan yığma yapının duvar kalınlığı 0.175 m'dir. Yapıdaki zati ve hareketli yükleri temsilen kat döşeme hizalarından taşıyıcı duvarlara 127.8 kN'luk düşey yük uygulanmıştır. Yapının birim hacim ağırlığı ise 10.8 kN/m³ olarak belirtilmiştir.

Detaylı ve yaklaşık olmak üzere iki farklı kafes model yaklaşımı 1.0, 0.667 ve 0.5 alan katsayılarıyla analizlerde ele alınmıştır. Detaylı kafes modelin geometrik ölçüleri yapı modeliyle birebir olacak şekilde belirlenmiştir. Bu nedenle 3 farklı diyagonal açısına ve toplamda 19 farklı çubuk kesit alanına sahiptir. Buna karşın yaklaşık kafes modelde tüm diyagonaller 45° olarak kullanılmış ve toplamda 10 farklı kesit alanı bulunmaktadır. Eşdeğer kafes modellerde betonarme kat döşemelerinin olduğu bölgelerdeki düğüm noktalarının düşey ve yatay doğrultulardaki hareketleri birbirine bağlanmış ve yüklemeler için bu bölgeler kullanılmıştır. Yatay kuvvet ise ters üçgen formatı oluşturacak şekilde, katlara sırasıyla 0.43, 0.77 ve 1.00 olarak belirtilen

etki katsayı kullanılarak yapıya oransal olarak uygulanmıştır.

Kafes model analizlerine ilaveten sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak oluşturulan kabuk model ile de yapısal analizler gerçekleştirilmiş ve yapının taşıma kapasitesi belirlenmiştir. Buradaki temel amaç kullanılan malzeme modeli ve parametrelerinin kabuk model yaklaşımıyla ne ölçüde farklılıklar ortaya koyacağını tespit etmektedir. Kafes model yaklaşımına benzer sınır koşulları kabuk model için de uygulanmıştır.

Nümerik analizlerde kullanılan malzeme parametreleri Tablo 1-3 arasında belirtilmiştir. Bunlar haricinde betonun elastisite modülü 28000 MPa ve çubuk eleman analiz sonuçları üzerinde etken olmayan fakat malzeme modeli için gerekli diğer parametreler için yazılım tarafından önerilen değerler kullanılmıştır [33].

Tablo 1. Malzeme parametreleri (MPa) [18].

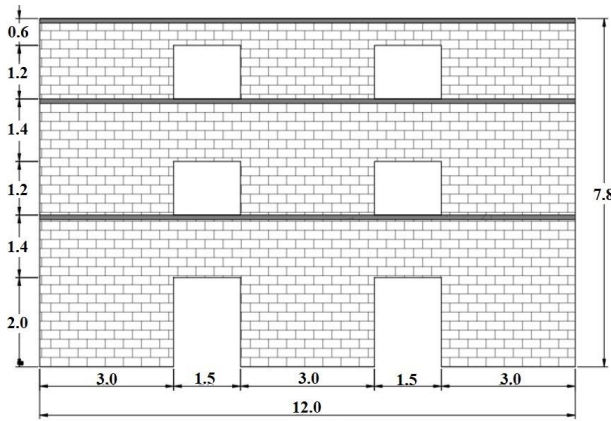
E	G	Poisson	f_{cm}	f_{tm}	c
1650	660	0.25	3	0.06	$1.4 \cdot f_{tm}$

- Poisson oranı kabuk model için belirlenmiştir.

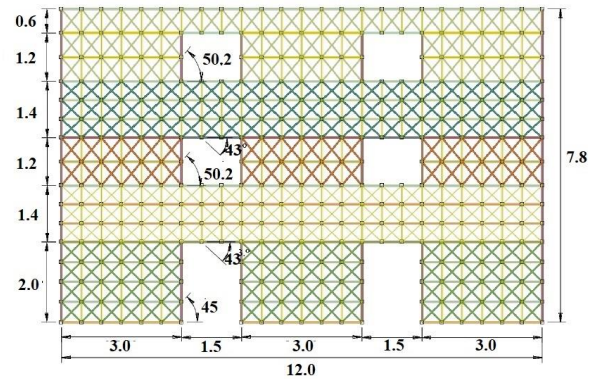
Tablo 2. Detaylı kafes model için düşey gerilmeler ve kayma dayanım değerleri (MPa).

Alan	c						
Alan*1.0	0.084	0.17	0.15	0.10	0.12	0.05	0.10
Alan*0.667	0.084	0.25	0.19	0.15	0.14	0.07	0.11
Alan*0.5	0.084	0.34	0.22	0.20	0.16	0.09	0.12

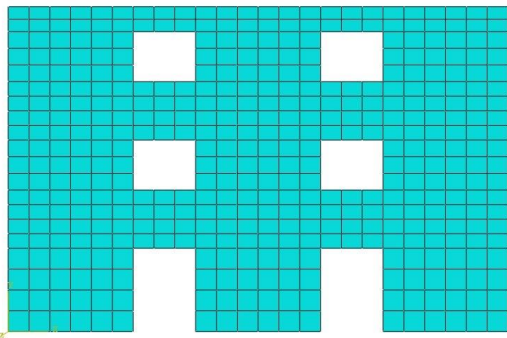
- Düşey gerilmelerin belirlenmesinde boşluklu enkesit alanları kullanılmıştır.



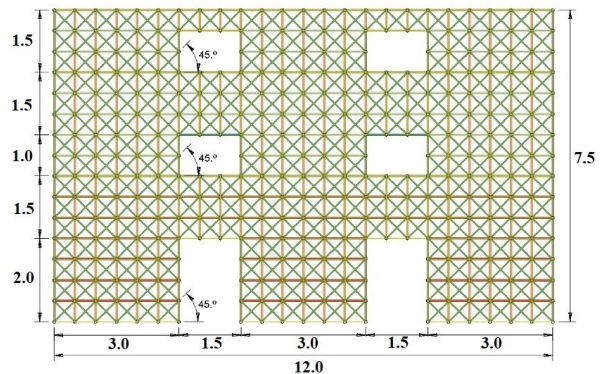
Yapı modeli



Detaylı Kafes Model



Kabuk Model



Yaklaşık Kafes Model

Şekil 6. Yığma yapı [18], kafes ve kabuk model yaklaşımları (m).

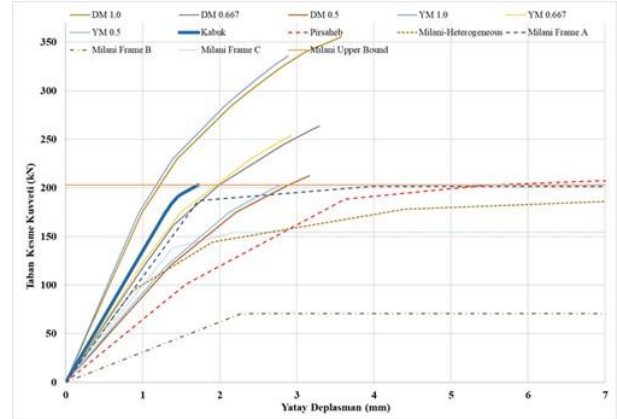
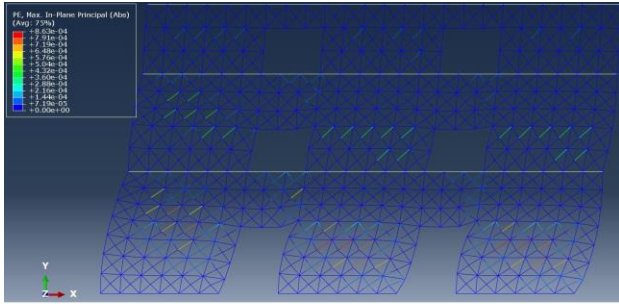
Tablo 3. Yaklaşık kafes model için düşey gerilmeler ve kayma dayanım değerleri (MPa).

Alan	c						
Alan*1.0	0.084	0.17	0.15	0.11	0.13	0.05	0.10
Alan*0.667	0.084	0.25	0.19	0.16	0.15	0.08	0.11
Alan*0.5	0.084	0.34	0.22	0.22	0.17	0.10	0.13

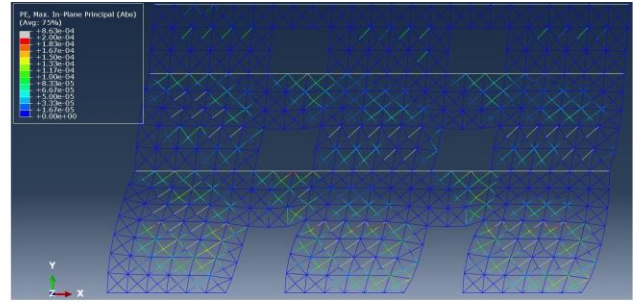
- Düşey gerilmelerin belirlenmesinde boşluklu enkesit alanları kullanılmıştır.

Yiğma yapının taşıma kapasitesi yönünden diğer çalışmalarla kıyaslandığı sonuçlar Şekil 7'de verilmiştir. Alan katsayısının düşürülmesiyle hem yapının başlangıç rijitliğinde hem de maksimum taşıma kapasitesinde aşağı yönlü belirgin değişiklikler meydana gelmiştir. Kabuk model ve diğer çalışmalara ait veriler de göz önünde bulundurulduğunda, alan katsayısının 0.5 olduğu durumda en uyumlu sonuçlar elde edilmiştir. Her iki kafes model yaklaşımının maksimum taşıma kapasiteleri arasında %4.5'lik fark (detaylı model yüksek) olmasına karşın üst sınıra yakın sonuçlar gözlemlenmiştir. Fakat nümerik analiz sonuçlarında

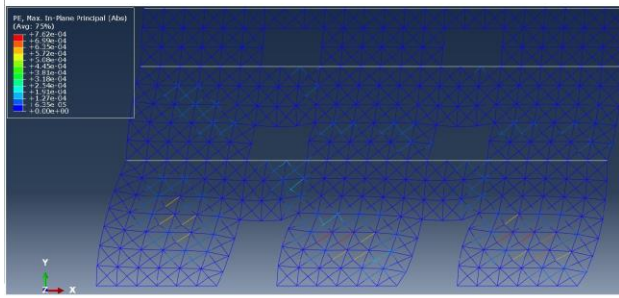
en belirgin eksiklik, süneklik olarak göze çarpmaktadır. Diğer çalışmalarda yaklaşık 30 mm'ye ulaşan yatay öteleme kapasitesi bu çalışmada 3-4 mm civarlarında kalmıştır.

**Şekil 7.** Analiz sonuçları (DM: Detaylı Model; YM: Yaklaşık Model; 1.0, 0.667 ve 0.5 alan katsayılarıdır.)

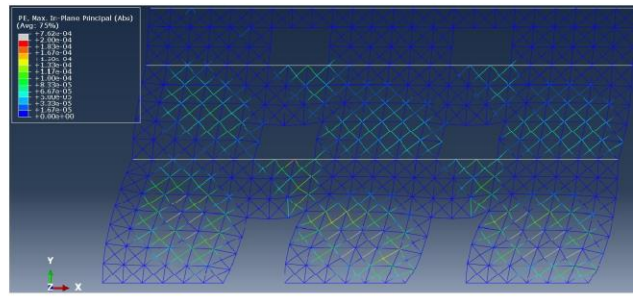
(a)



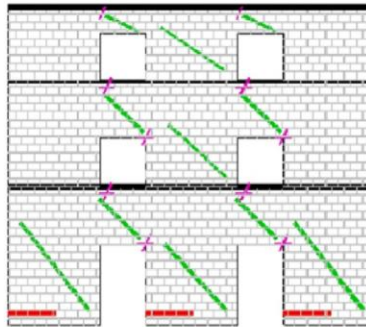
(b)



(c)



(d)



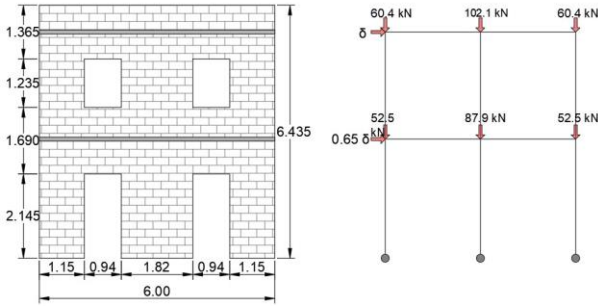
(e)

Şekil 8. Hasar oluşum bölgeleri a) DM b) DM (daraltılmış ölçek) c) YM d) YM (daraltılmış ölçek) e) Pirsahab et al. [18] tarafından gerçekleştirilen çalışma sonucu (yeşil: diyagonal kesme çatlağı; kırmızı: çekme çatlağı; mor: ezilme)

Şekil 8'de ise hasar oluşumlarının yoğunlaştığı bölgeler görülmektedir. Her iki kafes model için de benzer hasar oluşumlarının gözlemlendiği yaklaşımlarda, birinci ve ikinci katlardaki diyagonal kesme hasarlarının belirlenebildiği fakat ezilme ve yatay kayma hasarlarının ise tespit edilemediği görülmektedir. Ölçeğin daraltılmasıyla hasar oluşumları daha belirgin olarak ortaya çıkmakta ve detaylı ve yaklaşık modellere ait hasar oluşumları arasındaki üçüncü kattaki ufak farklılık gözlemlenebilmektedir.

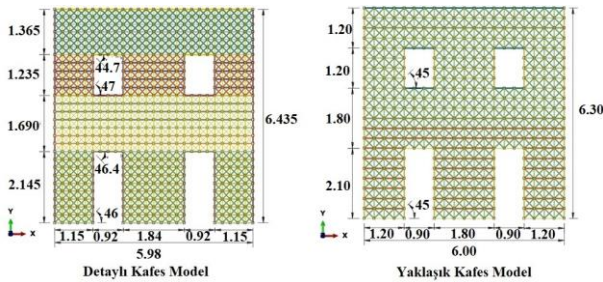
3.2. Uygulama 2

Sangirardi et al. [34] tarafından nümerik ve Magenes et al. [35] tarafından deneysel olarak ele alınan düzlemdeki boyutu 6.000x6.435 m olan iki katlı yığma yapının duvar kalınlığı 0.25 m'dir. Her kat seviyesinde yapı çelik kirişlerle desteklenmiş ve böylece rijit bir kat düzlemi elde edilmiştir. Yiğma yapı ve yükleme durumu Şekil 9'da görülmektedir.



Şekil 9. Yiğma yapı (m) ve yükleme durumu [34].

Birinci uygulamaya benzer şekilde detaylı ve yaklaşık olmak üzere iki farklı kafes model tasarımı (Şekil 10) ile 1.0 ve 0.5 alan katsayıları kullanılmak kaydı ile nümerik analizler gerçekleştirilmiştir. Detaylı model, 4 farklı diyagonal açısına ve toplamda 20 farklı kesit alanına sahiptir. Buna karşın yaklaşık modelde tüm diyagonaller 45° olarak belirlenmiş ve toplamda 8 farklı kesit alanı mevcuttur. Kat döşemelerinin olduğu bölgelerdeki düğüm noktaları düşey ve yatay doğrultulardaki hareketleri birbirine bağlanmış ve yüklemeler için bu bölgeler kullanılmıştır. Bu uygulamaya dair gerçekleştirilen nümerik analizlerde kullanılan malzeme parametreleri Tablo 4-6 arasında verilmiştir.



Şekil 10. Kafes model yaklaşımları (m).

Yapı düşey yüklemelerden sonra yatay doğrultuda tekrarlı yüklemeye maruz bırakılmıştır. Eşdeğer kafes

model ve kabuk yaklaşımları ile deney sonucuna ait taşıma kapasiteleri Şekil 11'de verilmiştir. Deneysel çalışmada tekrarlı yükleme uygulanmış olması nedeniyle detaylı bir yük-deplasman grafiği şeklin yorumlanmasındaki zorluktan dolayı oluşturulamamıştır. Fakat, maksimum taşıma kapasitesinin de içerisinde olduğu ilk 4 döngüde bulunan değerler ele alınmıştır. Aynı zamanda deneysel modelin 3. döngüden sonra taşıma kapasitesinde eğriliğin başladığı orijinal verilerde açık bir şekilde görülebilmektedir [35].

Tablo 4. Malzeme parametreleri (MPa) [34].

E	G	Poisson	f _{cm}	f _{tm}	c
1700	300	0.25	6.2	0.14/1.4	0.14

Tablo 5. Detaylı model için düşey gerilmeler ve kayma dayanım değerleri (MPa).

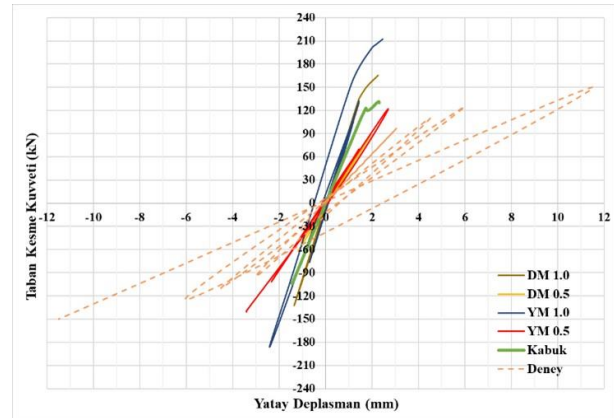
Alan	c				
Alan*1.0	0.14	0.198	0.22	0.104	0.18
Alan*0.5	0.14	0.396	0.30	0.207	0.22

- Düşey gerilmeler sol ve orta taşıyıcı duvar bölümleri için ayrı ayrı belirlenmiş ve ortalamaları kullanılmıştır.

Tablo 6. Yaklaşık model için düşey gerilmeler ve kayma dayanım değerleri (MPa).

Alan	c				
Alan*1.0	0.14	0.20	0.22	0.107	0.18
Alan*0.5	0.14	0.40	0.30	0.214	0.23

- Düşey gerilmeler sol ve orta taşıyıcı duvar bölümleri için ayrı ayrı belirlenmiş ve ortalamaları kullanılmıştır.

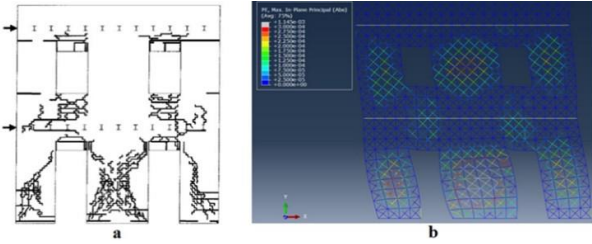


Şekil 11. Analiz sonuçları (DM: Detaylı Model; YM: Yaklaşık Model; 1.0 ve 0.5 alan katsayılarıdır.)

Sayısal sonuçlar değerlendirildiğinde detaylı ve yaklaşık kafes model yaklaşımlarının dayanım ve davranış açısından bir önceki örnek (uygulama 1) kadar iyi bir uyum içerisinde olmadıkları görülmektedir. Yük-deplasman eğrilerindeki sayısal değerler belli bir noktaya kadar birbirine örtüşse de maksimum taşıma kapasiteleri arasında farklar söz konusudur. DM 1, YM 1, DM 0.5 ve YM 0.5 modellerinin maksimum taşıma kapasiteleri sırasıyla 165 kN, 212 kN, 88 kN ve 140 kN'dur. Çubuk kesit alanının azaltılmasıyla eğriliğin deneysel sonuçlara yaklaştığı ve YM 0.5 modelinde %7'lik fark ile maksimum yük taşıma kapasitesinin (150 kN) altında kaldığı görülmektedir. Kabuk modele ait sayısal analiz sonucundan elde edilen 131 kN'luk taşıma

kapasitesinin de azaltılmış alan sonuçlarıyla daha uyumlu olduğunu tespit edilmiştir. Nümerik analiz sonuçlarında elde edilen eğriliklerin deney sonucuna göre başlangıç rijitliğinin yüksek, sünekliliğinin ise düşük olduğu görülmektedir.

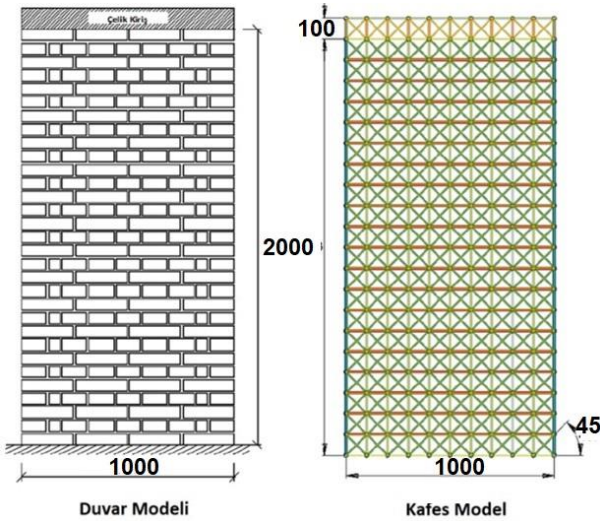
Kafes model yaklaşımında gözlemlenen diyagonal kesme hasarlarının deney sonuçlarıyla ilk katta tamamen, ikinci katta ise kısmen uyumlu olduğu söylenebilir. Fakat, sayısal analizde kayma hasarları tespit edilememiş ve ilaveten ikinci katta pencere seviyesinde diyagonal kesme hasarları meydana gelmiştir. En yakın sonucun elde edildiği YM 0.5 kafes modeline ait hasar oluşum görseli deney sonucuyla birlikte Şekil 12'de verilmiştir. Diğer kafes model yaklaşımlarında da hasar gelişiminin benzer davranışa sahip olduğu görülmüştür.



Şekil 12. Hasar oluşumları a) Deney yapısı [35] b) Yaklaşık kafes model (YM 0.5; daraltılmış ölçek).

3.3. Uygulama 3

Calvi et al. (1992) tarafından gerçekleştirilen deneyler, ilerleyen yıllarda iki ayrı çalışmada nümerik olarak ele alınmıştır [36],[37]. İki sıra tuğla örgüsüne sahip duvarın kalınlığı 0.25 m ve yükseklik/genişlik oranı 2'dir (Şekil 13). En üst bölgede yer alan çelik profil vasıtasıyla 150 kN değerindeki düşey yük yapıya homojen olarak dağıtılmış, akabinde ise tepe kotundan yatay deplasman etkisi uygulanmıştır. Ele alınan prototip duvarın toplam zati ağırlığı ise yaklaşık 9 kN'dur.



Şekil 13. Yiğma duvar [36] ve kafes model (mm).

Yiğma duvarın geometrik ölçülerinin uygun olmasından kaynaklı kafes model yaklaşımında, diyagonal elemanların yatayla yaptığı açı 45° olarak tercih edilmiştir. Rijit çelik plaka da kafes formunda tanımlanmış ve üst iki sıra düğüm noktaları yatay ve düşey yönde hareketleri birbirine bağlanmıştır. Düşey yük en tepe düğüm noktalarına, düşey eleman kesit alanları oranınca dağıtılırken, duvarın zati ağırlığı tüm noktalara uygulanmıştır. Sayısal analizler 1 ve 0.5 olmak üzere 2 farklı alan katsayısıyla ele alınmıştır. Kullanılan malzeme parametreleri ise Tablo 7-8'de belirtilmiştir. Çeliğin elastisite modülü 210 GPa olarak dikkate alınmıştır.

Tablo 7. Malzeme parametreleri (MPa) [37].

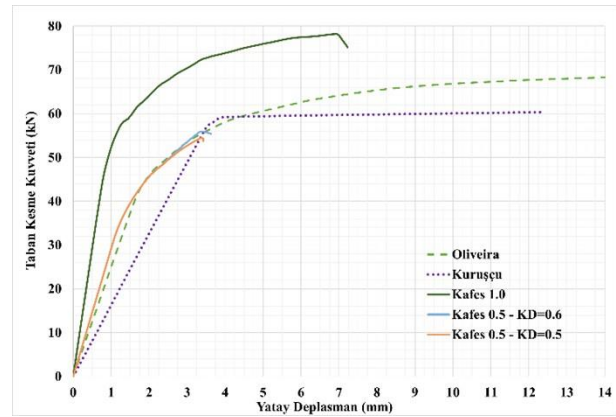
E	G	f _{cm}	f _{tm}	c
2500	0.4*E	5	0.15	0.35

Tablo 8. Kafes model için düşey gerilmeler ve kayma dayanım değerleri (MPa).

Alan	c	(TBDY) [29]		
Alan*1.0	0.35	0.320	0.48	0.1*f _{cm} =0.5
Alan*0.5	0.35	0.636	0.60*	0.1*f _{cm} =0.5

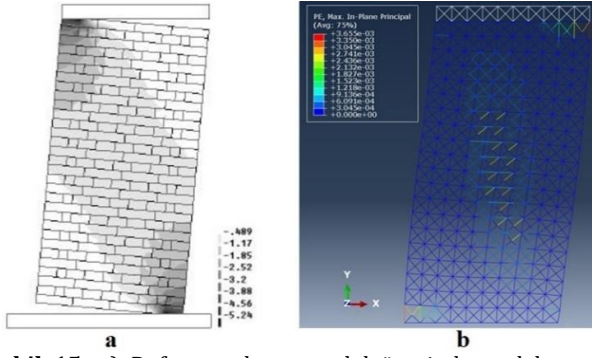
* Yönetmelik sınırlarını aşması nedeniyle, kayma dayanım değeri 0.5 olarak değerlendirilmiştir.

Sayısal analiz sonuçları karşılaştırmalı olarak Şekil 14'te görülmektedir. Çubuk kesit alanının azalmasıyla eşdeğer kafes modelin taşıma kapasitesinde ve sünekliliğinde belirgin bir düşüş meydana gelmiştir. Alan katsayısının 0.5 olduğu kafes model yaklaşımına ait eğri, diğer sayısal çalışmalarla yaklaşık 55.0 kN mertebelerine kadar benzerlik göstermektedir. Bu örnek çalışma kapsamında TBDY'e [29] göre sınırlandırılan kayma dayanım değerinin daha düşük alınmasının sonuç üzerinde belirleyici bir etkisi olmamıştır.



Şekil 14. Analiz Sonuçları (KD: Kayma dayanımı; 1.0 ve 0.5 alan katsayılarıdır.)

Şekil 15'te hasar oluşumlarının yoğunlaştığı bölgeler görülmektedir. Yiğma duvarda hasar oluşumları üst ve alt bölgelerdeki yatay harçlarda açılma formunda meydana gelmiştir. Eşdeğer kafes modelde ise benzer bölgelerde hasar oluşumlarının yoğunlaştığı, bunun yanında diyagonal elemanlarda kesme hasarlarının ortaya çıkmaya başladığı görülmektedir.



Şekil 15. a) Deforme olmuş model üzerinde asal basınç gerilmeleri (MPa) [37] b) Kafes model hasar oluşumu.

4. Tartışma ve Sonuç

Yığma yapıların çubuk elemanlarla idealize edilmesi ve düzlem içindeki doğrusal olmayan davranışlarının irdelenmesi bu çalışmanın odak noktası olmuştur. Böylece oldukça karmaşık problemlerle karşılaşılacak yığma yapıların analizinin daha pratik yaklaşımlar ile gerçekleştirilebilmesi amaçlanmıştır. Bu vesileyle geliştirilen eşdeğer kafes model yaklaşımının bazı eksikleri olmasına karşın ele alınan örneklerde genel olarak tutarlı sonuçlar sergilemiştir.

Kafes model yaklaşımı daha detaylı olarak ele alındığında, karşılaşılacak önemli hususlardan biri kullanılacak çubuk elemanlara dair kesit alanlarının belirlenmesidir. Alan katsayısının 0.5 olarak tercih edilmesiyle toplam kesit alanındaki çakışmaların önüne geçilmiş ve daha makul sonuçlar elde edilmiştir. Fakat taşıma kapasiteleriyle birlikte hasar oluşumları da göz önüne alındığında, kayma dayanım parametresinin kafes model yaklaşımına uygulanmasında iyileştirilmelerin yapılması gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Analizlerde kayma gerilmeleri nedeniyle meydana gelen hasarların açıkça gözlemlenemiyor olması yapının olağandan daha farklı davrandığını göstermektedir. Bunun yanı sıra kafes modelin süneklik davranışının da geliştirilmesinin önemli bir konu olduğu anlaşılmaktadır. Sayısal modelin tanımlanmasında yapılan kabullerin sonuçlar üzerinde doğrudan etken olması nedeniyle kafes model yaklaşımında gerçekleştirilecek olan teknik iyileştirmelerin tüm sonuçlara olumlu katkı sunacağı açıkça söylenebilir.

Yapılardaki asal çekme gerilmeleri 45°'den büyük konumlanmış olsa da diyagonal kesme hasarlarının tespitinde belirgin bir sorun yaşanmamaktadır. Eşdeğer kafes modelin yaklaşık olarak oluşturulmasının sayısal analiz sonuçlarında uyumsuzluk yaratmadığı ve hatta açıdan kaynaklı daha uygun sonuçlar elde edilebildiği görülmüştür. Her ne kadar sonuçlar belli seviyelerde uygun olsa da asal çekme gerilmelerinden kaynaklı daha büyük diyagonal açılar kullanılması sonuçlar üzerinde etken olabileceği ve kafes modelin davranışını değiştirebileceği de düşünülerek, bu kısmın ayrıca çubuk kesit alanlarıyla birlikte ele alınması sonuçların güvenilirliğine katkı sağlayacaktır.

Yığma yapılarda hem fiziki sınır koşullarının uygulanmasındaki zorluklar hem de malzeme parametrelerindeki belirsizlikler elde edilen sonuçların güvenilirliğini her nümerik yaklaşım için tartışmaya açmaktadır. Yeni yaklaşımın avantajları kullanılarak, malzeme parametrelerinin alt ve üst limitleri genişletilerek yapının taşıma kapasitesi için bir aralık belirlenebilir. Ayrıca alternatif sınır koşulları da farklı analizlerde hızlıca ele alınabilir. Mevcut haliyle umut verici olan yeni yaklaşımın geliştirilmesiyle yaygın olarak kullanılabilmesi öngörülmektedir.

Etik Beyanı

Bu çalışmada, "Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesi" kapsamında uyulması gerekli tüm kurallara uyulduğunu, bahsi geçen yönergenin "Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiğine Aykırı Eylemler" başlığı altında belirtilen eylemlerden hiçbirinin gerçekleştirilmediğini taahhüt ederiz.

Kaynakça

- [1] D'Altri, A.M., Sarhosis, V., Milani, G., Rots, J., Cattari, S., Lagomarsino, S., Sacco, E., Tralli, A., Castellazzi, G., De Miranda, S. 2020. Modeling strategies for the computational analysis of unreinforced masonry structures: review and classification. *Archives of Computational Methods in Engineering*, 27, 1153-1185. Doi: 10.1007/s11831-019-09351-x
- [2] Orhan, S.N., Özyazıcıoğlu, M.H. 2015. Tek açıklıklı dairesel kâgir kemer köprülerin göçme yüklerinin limit analiz yöntemleri ile hesaplanması. *Pamukkale Univ Muh Bilim Derg*, 21(3), 88-93. Doi: 10.5505/pajes.2014.28863
- [3] Turer, A., Boz, B. 2008. Computer modeling and seismic performance assessment of historic Aspendos Theatre in Antalya, Turkey. *Engineering Structures*, 30, 2127-2139. Doi: 10.1016/j.engstruct.2007.05.011
- [4] Mosoarca, M., Gioncu, V. 2013. Failure mechanisms for historical religious buildings in Romanian seismic areas. *Journal of Cultural Heritage*, 14S, 65-72. Doi: 10.1016/j.culher.2012.11.018
- [5] Oto, A., Hara, T. 2017. Structural characteristics of Hagia Sophia under consideration of the ribs inside the dome. *Procedia Engineering*, 171, 797-804. Doi: 10.1016/j.proeng.2017.01.366
- [6] Vakıflar Genel Müdürlüğü. 2018. Tarihi Yapılar İçin Deprem Risklerinin Yönetimi Kılavuzu (TYK). Ankara, Türkiye.
- [7] Usta, P., Bozdağ, Ö. 2021. Tarihi Başdurak camisinin deprem analizi. *Pamukkale Univ Muh Bilim Derg*, 27(3), 244-250. Doi: 10.5505/pajes.2020.31384

- [8] Gökarslan, A.B., Çelebi, M.E. 2016. Investigation of the traditional Seljuks and Principalities period baths within the conservation and restoration: the example of Isparta Baths. *Süleyman Demirel University Journal of Natural and Applied Sciences*, 20(1), 80-90. Doi: 10.19113/sdufbed.71792
- [9] Mıhladı, N.Ş., Sancak, E. 2015. Sakarya İli Ali Fuat Paşa Köprüsü (II. Bayezid Köprüsü) üzerinde oluşan yapısal değişiklikler üzerine bir araştırma. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 19(3), 66-73. Doi: 10.19113/sdufbed.00783
- [10] Ilgadi, O.B. 2013. Advanced three-dimensional analysis of concrete structures using nonlinear truss models. The Colorado School of Mines, PhD Thesis, 133p, United States.
- [11] Williams, S.A. 2013. Numerical analysis of reinforced masonry shear walls using the nonlinear truss approach. The Faculty of The Virginia Polytechnic Institute and State University, MSc Thesis, 104p, United States.
- [12] Girgin, S.C. 2019. Kesme etkin betonarme elemanların doğrusal olmayan kafes giriş analojisi ile modellenmesi. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 10(3), 1177-1186. Doi:10.24012/dumf.587804
- [13] Girgin, S.C., Lu, Y., Panagiotou, M. 2013. Nonlinear cyclic truss model for shear-critical reinforced concrete columns. 2nd Turkish Conference on Earthquake Engineering and Seismology (TDMSK-2013), 25-27 September, Hatay, Turkey.
- [14] Moharrami, M., Koutromanos, I., Panagiotou, M. 2015. Nonlinear truss modeling method for the analysis of shear failures in reinforced concrete and masonry structures. Second ATC & SEI Conference on Improving the Seismic Performance of Existing Buildings and Other Structures, 10-12 December, San Francisco, United States. Doi: 10.1061/9780784479728.007
- [15] Kafkas, U. 2015. Yığma duvar elastik davranışının düzlem çubuk elemanlarla mikro modellenmesi. *Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, 99s, Kütahya.
- [16] Ridwan, M., Yoshitake, I., Nassif, A.Y. 2017. Two-dimensional fictitious truss method for estimation of out-of-plane strength of masonry walls. *Construction and Building Materials*, 152, 24-38. Doi: 10.1016/j.conbuildmat.2017.06.138
- [17] Verbrugge, M. 2017. Modelling in-plane behaviour of masonry shear walls through a predefined crack pattern at macro level. Delft University of Technology, MSc Thesis, 77p, The Netherlands.
- [18] Pirsabe, H., Wang, P., Moradi, M.J., Milani, G. 2021. A Multi-Pier-Macro MPM method for the progressive failure analysis of perforated masonry walls in-plane loaded. *Engineering Failure Analysis*, 127, 105528. Doi: 10.1016/j.engfailanal.2021.105528
- [19] Pirsabe, H., Moradi, M.J., Milani, G. 2020. A Multi-Pier MP procedure for the non-linear analysis of in-plane loaded masonry walls. *Engineering Structures*, 212, 110534. Doi: 10.1016/j.engstruct.2020.110534
- [20] Aşıkoğlu, A., Vasconcelos, G., Lourenço, P.B., Panto, B. 2020. Pushover analysis of unreinforced irregular masonry buildings: lessons from different modeling approaches. *Engineering Structures*, 218, 110830. Doi: 10.1016/j.engstruct.2020.110830
- [21] Najafgholipour, M.A. 2018. An equivalent truss model for in-plane nonlinear analysis of unreinforced masonry walls. *Civil Engineering Journal*, 4(4), 828-835. Doi:10.28991/cej-0309136
- [22] Oyguc, R.A. 2017. 2011 Van depremlerinden sonra yığma yapılarda gözlemlenen hasarlar. *BAUN Fen Bil. Enst. Dergisi*, 19(2), 296-315. Doi:10.25092/baunfbed.348482
- [23] Lu, Y., Panagiotou, M. 2014. Three-dimensional cyclic beam-truss model for nonplanar reinforced concrete walls. *Journal of Structural Engineering*, 140(3), 04013071. Doi: 10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0000852
- [24] Gargari, M.M. 2016. Development of novel computational simulation tools to capture the hysteretic response and failure of reinforced concrete structures under seismic loads. The Faculty of The Virginia Polytechnic Institute and State University, PhD Thesis, 243p, United States.
- [25] Abaqus Documentation. Concrete Damaged Plasticity. <https://classes.engineering.wustl.edu/2009/spring/mase5513/abaqus/docs/v6.6/books/usb/default.htm?startat=pt05ch18s05abm36.html#usb-mat-cconcretedamaged> (Erişim Tarihi: 26.04.2022)
- [26] Bansal, N., Rai, D.C. 2017. Behaviour of masonry walls at corners under lateral loads. 13th Canadian Masonry Symposium, 4-7 June, Halifax, Canada.
- [27] Angelillo, M., Lourenço, P.B., Milani, G. 2014. Masonry behaviour and modelling. 1-26 pp. Editor: Angelillo, M. *Mechanics of Masonry Structures*, CISM International Centre for Mechanical Sciences, Springer, Vienna, 341p. Doi: 10.1007/978-3-7091-1774-3_1

- [28] Rai, D.C., Singhal, V., Paikara, S., Mukherjee, D. 2014. Sub-paneling of masonry walls using precast reinforced concrete elements for earthquake resistance. *Earthquake Spectra*, 30(2), 913-937. Doi: 10.1193/102010EQS178M
- [29] Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD). 2018. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBYD). Ankara, Türkiye, Resmî Gazete Sayı: 30364 (Mükerrer).
- [30] Xu, H., Gentilini, C., Yu, Z., Wu, H., Zhao, S. 2018. A unified model for the seismic analysis of brick masonry structures. *Construction and Building Materials*, 184, 733-751. Doi: 10.1016/j.conbuildmat.2018.06.208
- [31] Thuyet, V.N., Deb, S.K., Dutta, A. 2018. Mitigation of seismic vulnerability of prototype low-rise masonry building using U-FREIs. *Journal of Performance of Constructed Facilities*, 32(2), 04017136. Doi: 10.1061/(ASCE)CF.1943-5509.0001136
- [32] Milani, G., Beyer, K., Dazio, A. 2009. Upper bound limit analysis of meso-mechanical spandrel models for the pushover analysis of 2D masonry frames. *Engineering Structures*, 31(11), 2696-2710. Doi: 10.1016/j.engstruct.2009.06.015
- [33] Abaqus Documentation. "Concrete Damaged Plasticity". <https://classes.engineering.wustl.edu/2009/spring/mase5513/abaqus/docs/v6.6/books/key/default.htm?startat=ch03abk27.html#usb-kws-mconcretedamagedplast> (Erişim Tarihi: 26.04.2022)
- [34] Sangirardi, M., Liberatore, D., Addessi, D. 2019. Equivalent frame modelling of masonry walls based on plasticity and damage. *International Journal of Architectural Heritage Conservation, Analysis, and Restoration*, 13(7), 1098-1109. Doi: 10.1080/15583058.2019.1645240
- [35] Magenes, G., Calvi, G.M., Kingsley, G.R. 1995. Seismic testing of a full-scale, two-story masonry building: Test procedure and measured experimental response. University of Pavia, Italy. Doi: 10.13140/RG.2.1.4590.2962
- [36] Kuruşçu, A.O. 2012. Yığma duvar ve temellerde doğrusal olmayan modelleme. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 192s, İstanbul, Türkiye.
- [37] Oliveira, D.V. de C. 2003. Experimental and numerical analysis of blocky masonry structures under cyclic loading. The University of Minho, PhD Thesis, 221p, Portugal, 2003.

Yağ Gülü (*Rosa damascena* Miller)'nde GA₃ Uygulamalarının Verim ve Kalite Özelliklerine Etkisi

Süleyman EFECAN¹, Sabri ERBAŞ^{*1,2}, Murat MUTLUCAN²

¹Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, 32260, Isparta, Türkiye

²Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Gül ve Aromatik Bitkiler Uygulama ve Araştırma Merkezi, 32260, Isparta, Türkiye

(Alınış / Received: 18.05.2022, Kabul / Accepted: 06.09.2022, Online Yayınlanma / Published Online: 20.12.2022)

Anahtar Kelimeler

Rosa damascena Mill,
Gibberellik asit,
Çiçek verimi,
Uçucu yağ oranı,
Uçucu yağ bileşenleri

Öz: Çalışmada yağ gülünde farklı dozlarda GA₃ uygulamasının verim ve kalite özelliklerine üzerine etkisinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışmada yağ gülü bitkilerine tomurcuklanmaya başladığı ve pembe renkli petallerin sepallerden çıkmaya başladığı dönemde ve bu tarihten bir hafta sonra beş farklı dozda (0, 25, 50, 75, 100 ppm) GA₃ uygulanmıştır. Bitkilerden çiçeklenme başında (1-7. gün), ortasında (8-14. gün) ve sonunda (15-21. gün) olmak üzere üç dönemde çiçek hasadı yapılmıştır. Bitkilerde çiçek çapı, petal oranı, 100 çiçek ağırlığı ile çiçek ve uçucu yağ verimi 50 ppm GA₃ dozuna kadar artış göstermiştir. Çiçeklerdeki uçucu yağ oranı 25 ppm dozuna kadar artmış, sonraki dozlarda ise azalmaya başlamıştır. Uçucu bileşenleri, çiçeklenme başlangıcında kontrolden 100 ppm uygulamasına kadar geraniol oranı % 36.69'dan %21.16'ya, çiçeklenme ortasında %27.34'ten %12.93'e ve çiçeklenme sonunda ise %22.33'ten %21.14'e gerilemiştir. Çiçeklenme başlangıcında nonadesen ve nonadesan oranı kontrolden 100 ppm dozuna kadar sırasıyla % 1.44'ten %2.47'ye ve %16.50'ten %23.58'e, çiçeklenme ortasında %1.69'dan % 2.66'ya ve %17.15'ten %21.23'e yükselmiştir. Çiçeklenme sonunda ise nonadesen oranı %2.56'dan %1.87'ye düşerken, nonadesan oranı %20.66'tan %29.45'e yükselmiştir. Sonuç olarak; yağ gülünde yüksek çiçek ve uçucu yağ verimi ile uçucu yağ bileşenlerinin elde edilmesinde 25 ppm GA₃ uygulanması önerilebilir.

The Effect of GA₃ Applications on Yield and Quality Properties in Oil Bearing Rosa (*Rosa damascena* Miller)

Keywords

Rosa damascena Mill,
Gibberellic acid,
Flower yield,
Essential oil content,
Essential oil compounds

Abstract: The aim of the study was to investigate the effect of GA₃ applications on yield and quality characteristics. In the study, GA₃ was applied to oil rose plants at five different doses (0, 25, 50, 75 and 100 ppm) when budding and pink petals began to appear on sepals and one week after this date. Flowers were picked at the beginning of flowering (1-7 days), middle (8-14 days) and at the end of the (15-21 days) flowering season. Flower diameter, petal ratio, 100-flower weight and flower and essential oil yield increased up to 50 ppm GA₃ dose in plants. But number of components in the essential oil increased up to 25 ppm doses, and started to decrease at the consequent GA₃ doses. Geraniol decreased from 36.69% to 21.16% from the control to 100 ppm at the beginning of flowering, from 27.34% to 12.93% in the mid-flowering, and from 22.33% to 21.14% at the end of flowering. Nonadecene and nonadecane at the beginning of flowering increased from 1.44% to 2.47% and 16.50% to 23.58%, respectively, from control to 100 ppm dose, from 1.69% to 2.66 and from 17.15% to 21.23% in mid-flowering. At the end of flowering, nonadecene decreased from 2.56% to 1.87%, while nonadecene increased from 20.66% to 29.45%. Finally; it could be recommended to apply 25 ppm GA₃ to obtain high flower and essential oil yield and its components in oil bearing.

1. Giriş

Yağ gülü (*Rosa damascena* Mill.) çiçeklerinde içerdiği gül yağı ve yüksek kalitede koku molekülleri nedeniyle

özellikle parfüm sektöründe yaygın bir şekilde kullanılan kokulu gül türüdür [1]. Dünyada yağ gülü çiçeği üretimi son yıllarda önemli miktarda artış göstermiş ve 45 bin tona yükselmiş, gül yağı üretimi 6-

*İlgili yazar: sabrierbas@isparta.edu.tr

6.5 ton, konkret üretimi ise 12-14 tona ulaşmıştır. Türkiye dünya gül yağı üretiminin %30'unu, gül konkriti üretiminin %90'ını karşılamaktadır. Yağ güllü tarımının tamamının yapıldığı Göller Yöresinde 2021 yılı verilerine göre en fazla yağ güllü üretim alanı 33.170 da ile Isparta'da (%80.9) bulunurken, sıralamayı 4.005 da ile Burdur (%9.8), 2.750 da ile Afyonkarahisar (%6.7) ve 1.081 da ile Denizli (%2.6) illeri izlemiştir [2].

Yağ güllü bitkisi; yüksek ışık yoğunluğunun olduğu, tomurcuklanma zamanına kadar yeterli yağışa sahip, çiçeklenme döneminde (Mayıs ve Haziran) kuraklık, don veya yüksek sıcaklık olaylarının olmadığı, sabahın erken saatlerinde bitkilerin üzerine çığ düşen bölgelerde başarılı ve ekonomik bir şekilde yetiştirilmektedir. Sabahın erken saatlerinde (06:00-10:00) günlük toplanan yağ güllü çiçekleri geleneksel bakır imbiklerde, fabrika tipi bakır veya krom-nikel kazanlarda su distilasyonu tekniği ile damıtılarak gül yağı ve gül suyu elde edilmektedir. Ayrıca ekstraksiyon tesislerinde n-hekzan ekstraksiyonu ile konkret ve konkritten de etil alkol ekstraksiyonu ile absöüt elde edilir [3-5]. Normal fabrika koşullarında, 3-4 ton taze gül çiçeğinin damıtılmasıyla 1 kg gül yağı (ortalama uçucu yağ verimi %0.035), 350-400 kg taze gül çiçeğinin n-hekzan ekstraksiyonu ile 1 kg konkret (ortalama konkret verimi %0.25) ve 1 kg konkritten de etil alkol ekstraksiyonu ile 0.5-0.6 kg absöüt (ortalama absöüt verimi %55-60) elde edilmektedir [1].

Aroma ve koku endüstrisi, her yıl büyüyen milyar dolarlık bir pazardır. Uçucu yağlar, aroma ve koku endüstrileri tarafından kullanılan bileşiklerin çoğunu oluşturur. Uçucu yağ üretimi sadece genetik faktörlere ve bitkilerin gelişim aşamasına değil, aynı zamanda çevresel faktörlere de bağlıdır. Uçucu yağ ürünlerini ve bunların kalitelerini iyileştirmek için tarımsal tekniklerinin geliştirilmesi gereklidir. Uçucu yağ üretimini etkileyen diğer faktörler arasında bitki büyüme düzenleyicileri veya bitki hormonları bulunur. Bitkilerin içsel seviyeleri ve dışsal uygulama, uçucu yağ üretimini ve kimyasal bileşimi etkileyebilir [6]. Aromatik bitkilerin drog ve uçucu yağ verimlerinin artırılmasında bitki büyüme düzenleyicilerden faydalanılması yönünde araştırmalar yapılmaktadır [7, 8].

Yağ güllünde büyüme düzenleyicileri ile yapılan çalışmalarda çiçek verimi ve kalitesi üzerine çok farklı sonuçlar alınmıştır. Kinetin uygulamasının çiçek sayısını artırdığı ancak çiçeklenmeyi engellediği rapor edilmektedir [9]. Çiçeklenme öncesinde bitkilerin yapraklarında gibberellik asit benzeri aktivite yüksek iken, sitokinin aktivitesinin çiçeklenme döneminde daha yüksek seviyelerde seyrettiği bildirilmektedir [10, 11]. Eteral uygulamasının çiçeklenmeyi teşvik ettiği fakat uçucu yağ içeriğini azalttığı [9], 2-kloroetil fosfonik asitin yağ güllünde dal sayısını ve çiçek verimini arttırdığını veya etafon büyümenin ilk

dönemlerinde uygulandığında çiçeklenme ve çiçeklerdeki uçucu yağ içeriğini artırdığı [12], gibberellinlerin yapraklanma döneminde uygulandığında vejetatif sürgün büyümesini etkilediği ve çiçeklenmeyi uyardığı [13] rapor edilmektedir. Safari vd. [14] yağ güllünde en yüksek bitki boyunu ethrel, kinetin, naftalin asetik asit (NAA) ve kontrol uygulamalarında, en yüksek uçucu yağ oranı ve çiçek verimini kontrol ve ethrel dışındaki uygulamalarda tespit etmişlerdir. Mevcut çalışma yağ güllünde GA₃ uygulamalarının verim ve kalite özelliklerine üzerine olan etkilerinin belirlenmesi amacıyla yürütülmüştür.

2. Materyal ve Metot

Çalışmada 2010 yılında dikilen 10. verim yaşındaki yağ güllü bitkileri materyal olarak kullanılmıştır. Araştırmanın tarla denemeleri 2021 yılında Isparta ili Keçiborlu ilçesinin Ardıçlı köyünde bulunan çiftçi arazisinde, laboratuvar denemeleri ise Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümünde yürütülmüştür.

Araştırmanın yürütüldüğü yağ güllü bahçesi kesme tekniği yöntemine göre 2 m sıra arası olacak şekilde 2010 yılında dikilmiş ve 3. yılından sonra ekonomik verim alınmaya başlanmıştır. Bu yıldan sonra araştırmanın yürütüleceği 2021 yılına kadar önerilen bakım, gübreleme ve ilaçlama programı uygulanmıştır. Her yıl şubat ayında bitkilerde çırpma budama yapılmış ve bahçe damla sulama ile sulanmıştır. Kış ayında 40 kg/da 10-18-12 + (20 SO₃) taban gübresi, bitkilerin uyandırdığı dönemde 1 L fulvik asit, 2 kg 10-52-10 (N-P-K) ve 1 kg mikro besin gübrelenmesi [bor 1.3 w/w, bakır 2.2 w/w, demir 7 w/w, mangan 8 w/w, molibden 0.03 w/w, çinko 4.3 w/w], yapraklanma ve çiçeklenme başlangıcından 15 gün öncesine kadar 3 dönemde ve her dönemde 2 kg/da mikro besin içerikli gübreler damlama sulama ile verilmiştir. Diğer taraftan bitkilerde yaprak uçları görülmeye başladığı dönemde 15 kg/da bordo bulamacı atılmış ve yağ güllünde yoğun rastlanan yaprak biti, gül koşnili, gül filiz arısı, külleme, pas ve kara leke ile mücadele için önerilen pestisitler standart uygulama şeklinde uygulanmıştır.

Deneme yürütüldüğü 2021 yılında parsellerde yukarıda bahsedilen standart bakım, gübreleme ve hastalık-zararlı mücadele işlemleri yapıldıktan sonra bitkilerin tomurcuklanmaya başladığı ve pembe renkli petallerin sepal yapraklar arasından çıkmaya başladığı dönemde (çiçeklenme döneminden bir hafta önce) ve bu tarihten bir hafta sonra 0, 25, 50, 75 ve 100 ppm dozunda gibberellik asit (GA₃) uygulanmıştır. Hormonun etkinliğini artırmak için uygulama sabahın erken saatlerinde sırt pülverizatörü yardımı ile yapılmıştır. Hormonun bitki yüzeyine daha kolay yapışması için %0.01 oranında tween 20 eklenmiştir. Kontrol parsellerine sadece saf su püskürtülmüştür. Her bir uygulama dozu parseli 10 m uzunluğunda 3 sıradan oluşmuş ve çalışma 3 tekerrürlü olarak

yürütülmüştür. Her bir uygulama dozu için bir parsel alanı 10 m x 6 m x 3 tekerrür = 180 m²'dir. Çiçeklenme dönemi olan Mayıs ve Haziran aylarında parsellerden çiçekler sabahın erken (06:00-08:00) saatlerinde elle toplanmış ve ağırlıkları tartılmıştır. Çiçeklenme başında (1-7. gün), ortasında (8-14. gün) ve sonunda (15-21. gün) olmak üzere üç dönemde toplanan çiçeklerde aşağıdaki özellikler incelenmiştir: petal oranı (petal oranı %=(petal ağırlığı/çiçek ağırlığı) x 100), çiçek çapı (cm), sürgündeki tomurcuk sayısı (adet), 100 çiçek ağırlığı (g), çiçek verimi (kg/da), uçucu yağ oranı ve bileşenleri (%), uçucu yağ verimi (kg/da), konkret verimi ve randımanı ile absöüt verimi ve randımanı.

Üç farklı hasat döneminde parsellerden toplanan taze çiçekler su distilasyonu işlemine tabi tutulmuştur. Distilasyon işlemi 500 g taze çiçek Clevenger hidrodistilasyon cihazında 5 L'lik balona doldurulmuş ve üzerine 1.5 L saf su ilave edilerek 3 saat süreyle damıtılmıştır [15]. Elde edilen gül yağlarının uçucu yağ bileşenleri SDÜ Yenilikçi Teknolojiler Araştırma ve Uygulama Merkezinde bulunan GC-MS (Gas chromatography/Mass spectrometry) cihazında (QP-5050 quadrapole detektörlü Shimadzu 2010 Plus) belirlenmiştir. GC-MS çalışma koşulları: Kapiler kolon olarak CP-Wax 52 CB (50 m x 0.32 mm, 0.25 µm)'nin kullanıldığı analizlerde fırın sıcaklık programı dakikada 10 °C artarak 60 °C'den 220 °C'ye ulaşmış ve 220 °C'de 10 dakika kadar bekletilmiştir. Toplam analiz süresi 60 dakika, enjektör sıcaklığı 240 °C ve detektör sıcaklığı 250 °C'dir. Taşıyıcı gaz olarak helyum (2 mL/dakika, split 1:20) gazı kullanılmıştır. Bileşenlerinin tanımlanmasında Wiley, Nist, Tutor, FFNSC kütüphanesinden yararlanılmıştır.

Her hasat döneminde toplanan taze yağ güllü çiçeklerinden, oda sıcaklığında nem içeriğinin azalması için bir süre dinlendirildikten sonra [16] 50 g tartılmış ve oda sıcaklığında n-hekzan ile üç kez 30, 25 ve 20 dk sürelerde çiçek ağırlığının 3 katı n-hekzan kullanılarak yıkanmıştır. Toplanan solvent 50 °C'de rotary evaporatörde uzaklaştırılmış ve yarı katı halde gül konketri elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlardan konkret verimi (100 kg çiçekten elde edilen konkret miktarı) ve konkret randımanı (1 kg gül konketri elde

etmek için kullanılacak çiçek miktarı) hesaplanmıştır [1]. Elde edilen gül konketri %96'lık saf etil alkol ile 35-40 °C sıcaklıkta 8 saat süreyle tüketilmiştir. 10 g konkret için 100 ml etil alkol kullanılmıştır. Et il alkol solusyonu -20 °C'de 1 gece bekletilmiş ve bekleme sonunda hızlı bir şekilde vakum altında filtre edilmiştir ve kristalleşen parafinlerin ile sabit yağ ve yağ asitlerinin filtrede kalması sağlanmıştır. Daha sonra etil alkol rotary evaporatörde 55 °C'de uzaklaştırılmış ve absöüt elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlardan absöüt verimi (100 kg konketri den elde edilen absöüt miktarı) ve absöüt randımanı (1 kg gül absöütü elde etmek için kullanılacak konkret miktarı) hesaplanmıştır [1].

Çalışmada incelenen özelliklere ilişkin verilerin varyans analizleri Tesadüf Bloklarında Bölünmüş Parseller Deneme Desenine göre 3 tekerrürlü olarak SAS [17] istatistik programı yardımıyla yapılmış ve ortalamalar arasındaki farklılıklar LSD (%5) ile bulunmuştur. Ayrıca toplam çiçek verimi ve uçucu yağ verimi için tesadüf bloklarına göre istatistiksel analizde yapılmıştır.

3. Bulgular ve Tartışma

Yağ güllünde GA₃ uygulamasının agronomik ve kalite özellikleri üzerine etkisine ilişkin varyans analiz sonuçları Tablo 1'de sunulmuştur. Çalışmamızda çiçek çapı, petal oranı, 100 çiçek ağırlığı, çiçek verimi, uçucu yağ verimi, uçucu yağ oranı, konkret ve absöüt verimi ve randımanı için hasat zamanı ve dozlar arasında p<0.01 düzeyinde farklılık tespit edilmiştir. Hasat zamanı x Doz interaksyonuna bakıldığında uçucu yağ verimi ve absöüt randımanı için p<0.01, petal oranı, sürgündeki tomurcuk sayısı, çiçek verimi ve uçucu yağ oranı için p<0.05 düzeyinde farklılık belirlenmiştir. Diğer taraftan toplam çiçek ve uçucu yağ verimi için dozlar arasında p<0.01 düzeyinde farklılık gözlenmiştir (Tablo 1).

Çalışmamızda çiçeklenme periyodu boyunca çiçek çapının azaldığı tespit edilmiştir. Çiçeklenme başında (ÇB) 6.35 cm olan çiçek çapı çiçeklenme sonunda (ÇS) 5.74 cm'ye düşmüştür. Diğer taraftan GA₃ uygulamaları sonrasında en yüksek çiçek çapının 25

Tablo 1. Yağ güllünde agronomik ve kalite özellikleri üzerine hasat zamanı ve GA₃ uygulamalarının etkisine ilişkin varyans analiz sonuçları

Kaynak	SD	ÇÇ	PO	STS	100ÇA	ÇV		UYV		UYO	Konkret		Absöüt	
						TBBPD	TB	TBBPD	TB		V	R	V	R
Blok	2	8.1**	9.9**	1.7	35.5**	3.4*	3.9	0.3	0.2	1.1	5.1*	3.7*	7.5**	8.9*
Hasat zamanı (HZ)	2	45.3**	201.9**	0.4	946.2**	2850.0**		1793.7**		71.7**	305.2**	239.9**	1104.9**	1075.1**
Hata-1	4													
Doz (D)	4	19.3**	14.9**	0.8	89.6**	34.7**	38.8**	79.7**	54.1**	42.1**	495.0**	350.3**	18.9**	20.8**
HZ x D	8	0.1	2.5*	2.7*	1.9	3.1*		3.5**		2.7*	1.7	1.2	5.4	7.1**
Hata-2	24													
VK (%)		4.3	0.9	5.2	1.6	3.2	1.8	5.4	3.8	6.3	2.2	2.5	0.8	0.9

*, P<0.05; **, P<0.01; SD: serbestlik derecesi; VK: varyasyon katsayısı; SD: Serbestlik Derecesi; ÇÇ: Çiçek Çapı; PO: Petal Oranı; STS: Sürgündeki Tomurcuk Sayısı; ÇV: Çiçek Verimi; UYV: Uçucu Yağ Verimi; UYO: Uçucu yağ Verimi; TBBPD: Tesadüf Bloklarında Bölünmüş Parseller Deneme Deseni; TB: Tesadüf Blokları; V: Verim; R: Randıman

ve 50 ppm GA₃ uygulamaları sonucunda elde edildiği (sırasıyla 6.22 ve 6.28 cm), en düşük çiçek çapının ise 100 ppm GA₃ uygulamasından (5.37 cm) elde edildiği tespit edilmiştir (Tablo 2). Yağ gülünde GA₃ çiçeklenmenin kontrolünde önemli bir büyüme düzenleyicidir. Bu nedenle yağ gülü gibi mevsimlik çiçek açan güllerde sadece çiçeklenme döneminde düşük seviyelerde bulunmakta, daha sonraki dönemlerde ise dokularda GA₃ seviyesi arttığından dolayı çiçeklenme baskılanmaktadır [18-20]. GA₃ uygulamasının çiçeklenme başlangıcında yapıldığında çiçek sapı ve çiçek tomurcuğu büyümesine katkıda bulunduğu ve hatta düşük dozlarda dışsal GA₃ uygulamaları ile çiçek sapı absisyonu ve tomurcuk kaybını azalttığı rapor edilmiştir [21-23]. Ancak, gibberellinler yüksek dozlarda uygulandığında çiçeklenmeyi engellediği ve bitki başına çiçek sayısını ve bitkideki çiçek oranını azalttığı bildirilmiştir [21, 23, 24]. Yağ gülünde GA₃ uygulamasının tarımsal özellikleri üzerine etkisi ile ilgili çalışma bulunmamakta ve yapılan çalışmalar çoğunlukla süs güllerindedir. Arun vd. [25] GA₃ uygulamalarının tomurcuk uzunluğunu, çiçek çapını arttırdığını ve birim alanda en fazla kesme çiçek ürettiğini gözlemlemişlerdir. Sadanand vd. [26] 200 ppm GA₃ uygulamasıyla gülde tomurcuk çapı ve boyunun en yüksek değerlere ulaştığını rapor etmişlerdir.

Çiçeklenme periyodu boyunca petal oranının azalmış olup, çiçeklenme başında %74.8 olan petal oranı çiçeklenme sonunda %70.3'e düşmüştür. Diğer taraftan GA₃ dozları incelendiğinde; en yüksek petal oranı 50 ppm GA₃ uygulamasından (%74.4), en düşük petal oranı ise 100 ppm GA₃ uygulamasından (%72.0) elde edilmiştir. Hasat zamanı x doz interaksyonuna göre çiçeklenme başında ve sonunda 25 ve 50 ppm uygulamalarından en yüksek petal oranı belirlenirken, çiçeklenme ortasında (ÇO) 0-75 ppm arasındaki GA₃ uygulamalarında tespit edilmiştir (Tablo 2). Yağ gülü çiçeklerinde petal yapraklar diğer çiçek organlarına göre yaklaşık 4 kat fazla uçucu yağ içerdiğinden petal oranı arttıkça uçucu yağ veriminin de yüksek olması beklenir. Normal yağ gülünde petal oranı ortalama %75 olduğundan, tarımsal uygulamalar ile bu değerden daha yüksek petal oranına sahip olan çiçekler elde edilmesi büyük önem taşımaktadır [27]. Ancak petal oranı ortalama %75 oranında olsa da hasat zamanına ve iklime bağlı olarak değişiklik gösterebilmektedir. Nitekim Baydar vd. [28], taze olarak toplanan gül çiçeklerinin ağırlıkça %71.6'sını petal (taç) yapraklar ve %28.4'ünü erkek ve dişi organlarla çanak yaprakları içeren sepal yapraklar oluşturduğunu rapor etmiştir. Çalışmamızda %75 ve üzerinde petal oranı çiçeklenme başında 25 ve 50 ppm uygulamalarında, çiçeklenme ortasında ise kontrol ve 50 ppm uygulamalarında elde edilmiştir.

Güllerde GA₃ uygulamaları petal yaprakların kuru ve taze ağırlıklarını arttırdığı, gül çiçeği yaşlanmasını engellediği, örneğin hücre zarı bütünlüğünü koruma ve hücre zarı geçirgenliğini kontrol etme gibi taç

yaprağındaki hücre zarı özellikleri üzerindeki doğrudan etkilerden kaynaklanabileceğini rapor etmişlerdir [22]. Hindistan'da sera koşullarında 3 yaşındaki kesme güllere (cv. Taj Mahal) GA₃ (200, 250 ve 300 ppm) uygulamasının etkisinin incelendiği çalışmada çiçek başına düşen taç yaprağı sayısı, taç yaprağı uzunluğu ve taç yaprağı genişliğini 300 ppm GA₃ uygulamasından elde edildiği rapor edilmiştir [29]. Arun vd. [25] GA₃ uygulamaların tomurcuk uzunluğunu, çiçek çapını arttırdığını ve birim alanda en fazla kesme çiçek ürettiğini gözlemlemişlerdir. Diğer taraftan Hashemabadi ve Zarchini [30] artan GA₃ dozlarının çiçeklerin hypanthium uzunluğunda önemli bir artış gösterdiğini bildirmişlerdir. Çalışmamızda kontrol grubunda çiçeklenme başı ve ortasına göre çiçeklenme sonunda petal oranının azaldığı görülmektedir. Bu durum çiçeklenme sonuna doğru gidildikçe hava sıcaklıklarının yükselmesi ve nisbi nemin düşmesine bağlı olarak, yağ gülü çiçeklerinde nem kaybının artmasından kaynaklanabilir. Nitekim Baydar vd. [27], yağ gülünde hasat zamanına bağlı olarak çiçek ağırlıklarının ve uçucu yağ oranının değiştiğini rapor etmişlerdir. Diğer taraftan GA₃ uygulamaları çiçek çapını artışının çiçeklerdeki petal oranını arttırdığı düşünülmektedir. Ancak yapılan çalışmalarda daha yüksek dozlarda GA₃ uygulamasının çiçeklenmeyi olumsuz yönde etkilediği rapor edildiği için 100 ppm dozunda petal oranının düşmesinin temel nedeni olarak gösterilebilir.

GA₃ uygulaması sonrasında da sürgündeki tomurcuk sayısında bir farklılığın olmadığı gözlenmiştir. Hasat zamanı x Doz interaksyonuna göre 0, 25 ve 75 ppm dozlarında hasat zamanına göre bir farklılık gözlenmezken, 50 ve 100 ppm uygulamalarında istatistiksel olarak farklılık tespit edilmiştir. Sürgündeki tomurcuk sayısı 50 ppm uygulamasında 18.5 ile 20.7 adet/sürgün arasında değişmiş olup, çiçeklenme başlangıcından çiçeklenme ortasına kadar sürgündeki tomurcuk sayısının arttığı ve sonrasında azaldığı tespit edilmiştir. 100 ppm uygulamasında ise en düşük değer çiçeklenme ortasındaki sürgünlerden elde edilmiştir (Tablo 2). Hasat zamanı ve GA₃ dozlarının genel olarak sürgündeki tomurcuk sayısını değiştirmede, uygulama zamanının sürgündeki ana tomurcukların bezelye iriliğinde olduğu dönemde uygulanmasından kaynaklanabilir. Zira bu dönemde sürgündeki tomurcuk teşekkülünün önceden oluştuğu ve GA₃ uygulamasının tomurcuk sayısından çok çiçek özelliklerine etki ettiği düşünülmektedir. Diğer taraftan hasat zamanına göre 50 ve 100 ppm uygulamalarında görülen farklılığın örnekleme farklılıklarından kaynaklanabilir. Her ne kadar çalışmamızda GA₃ uygulaması ile sürgündeki tomurcuk sayısında farklılık gözlenmese de yapılan çalışmalarda dışsal GA₃ uygulamalarının erken dönemde tomurcuk kaybını engellediği rapor edilmektedir [21-23]. Ancak parsellerimizde uygulanan standart gübreleme programı nedeniyle besin elementi yetersizliğin bağlı olarak kontrol

Tablo 2. Yağ gülünde agronomik ve kalite özellikleri üzerine hasat zamanı ve GA₃ uygulamalarının etkisi

Hasat Zamanı	Çiçek çapı						Petal oranı					
	0	25	50	75	100	Ort.	0	25	50	75	100	Ort.
ÇB	6.42	6.61	6.67	6.23	5.83	6.35 A¹	74.1 Ab ¹	75.7 Aa	76.3 Aa	74.3 Ab	73.7 Ab	74.8 A
ÇO	5.91	6.21	6.27	5.73	5.73	5.89 B	75.0 Aa	74.0 Bab	75.0 Ba	74.7 Aa	73.2 Ab	74.4 A
ÇS	5.44	5.84	8.89	5.27	4.93	5.74 C	69.6 Bb	71.1 Ca	71.7 Ca	69.9 Bb	69.3 Bb	70.3 B
Ort.	5.92 B	6.22 A	6.28 A	5.74 B	5.37 C		72.9 C	73.6 B	74.4 A	73.0 BC	72.0 D	
Sürgündeki tomurcuk sayısı						100 çiçek ağırlığı						
ÇB	20.5 Aab	20.8 Aab	19.8 ABab	19.2 Aab	21.0 Aa	20.3	286.7	299.0	321.7	297.0	285.7	298.0 A
ÇO	20.2 Aab	19.6 Aab	20.7 Aa	20.6 Aa	18.6 Bb	19.9	255.3	276.3	288.7	273.3	267.3	272.2 B
ÇS	20.4 Aa	21.0 Aa	18.5 Bb	20.3 Aa	20.6 Aa	20.2	217.0	238.7	251.3	231.7	223.7	232.5 C
Ort.	20.4	20.5	19.7	20.0	20.0		253.0 D	271.3 B	287.2 A	267.3 B	258.9 C	
Çiçek verimi						Uçucu yağ verimi						
ÇB	214.6 Bb	226.1 Bab	231.0 Ba	217.3 Bab	193.2 Bc	216.4 B*	62.2 Bab	67.6 Ba	58.5 Bb	46.6 Bc	37.3 Bd	54.4 B*
ÇO	403.6 Ac	424.5 Aab	438.5 Aa	412.3 Abc	373.4 Ad	410.5 A	139.6 Ab	151.3 Aa	132.0 Ac	126.2 Ac	108.3 Ad	131.5 A
ÇS	179.3 Cb	199.6 Ca	211.2 Ca	178.0 Cb	180.0 Cb	189.6 C	52.6 Ca	57.4 Ca	58.8 Ba	42.7 Bb	34.7 Bc	49.3 C
Ort.	265.9 C	283.4 B	293.6 A	269.2 B	248.9 D		84.8 B	92.1 A	83.1 B	71.8 C	60.1 D	
Ort.	797.5 C	850.2 B	880.8 A	807.5 C	746.6 D		254.4 B	276.3 A	249.3 B	215.6 C	180.3 D	
Uçucu yağ oranı						Konkret verimi						
ÇB	0.029 Ba	0.030 Ba	0.025 Bb	0.021 Cc	0.019 Bc	0.025 B	0.26	0.28	0.22	0.20	0.20	0.23 B
ÇO	0.034 Aa	0.035 Aa	0.030 Ab	0.030 Ab	0.029 Ab	0.032 A	0.29	0.31	0.24	0.22	0.22	0.26 A
ÇS	0.029 Ba	0.028 Ba	0.028 Aa	0.024 Bb	0.019 Bc	0.025 B	0.24	0.25	0.20	0.18	0.18	0.21 C
Ort.	0.031 A	0.031 A	0.027 B	0.025 C	0.022 D		0.26 B	0.28 A	0.22 C	0.20 D	0.20 D	
Konkret randmanı						Absolüt verimi						
ÇB	372.9	348.4	449.9	490.4	495.9	431.5 B	68.3	67.9	67.4	67.0	67.1	67.5 A
ÇO	338.9	316.8	408.9	445.8	450.8	392.3 C	64.7	64.9	64.9	64.5	64.1	64.6 B
ÇS	414.3	387.1	499.8	544.9	551.1	479.4 A	60.5	59.7	58.7	57.8	56.6	58.6 C
Ort.	375.4 C	350.8 D	452.9 B	493.7 A	499.3 A		64.4 A	64.2 AB	63.5 B	63.1 C	62.6 D	
Absolüt randmanı						¹ Aynı harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki farklılıklar istatistiksel olarak önemli değildir. Hasat zamanı×doz interaksyonu için küçük harfler dozlar arasındaki farklılıkları, büyük harfler ise hasat zamanı arasındaki farklılıkları ifade etmektedir.						
ÇB	1.46 Cc	1.47 Cbc	1.48 Cab	1.49 Ca	1.49 Ca	1.47 C						
ÇO	1.54 Bb	1.54 Bb	1.54 Bb	1.55 Bab	1.56 Ba	1.54 B						
ÇS	1.65 Ae	1.67 Ad	1.70 Ac	1.72 Ab	1.76 Aa	1.70 A						
Ort.	1.55 D	1.56 D	1.57 C	1.58 B	1.60 A							

parsellerinde bile tomurcuk kaybının yaşanmadığı görülmektedir.

Yağ gülünde çiçekli sürgünlerin, çiçekli olmayan sürgünlerden daha fazla sitokinin benzeri maddeler içerdiği rapor edilmiştir. Ayrıca, sürgünler, yaklaşık olarak tomurcuk patlama zamanında sitokinin-kinetin (10 ppm) ile muamele edildiğinde, muamele edilmiş bitkiler muamele edilmemiş sürgünlerden daha fazla çiçek ürettiği bildirilmektedir. Ancak kinetine tepki olarak çiçek açan sürgünlerin sayısındaki artışın, sürgünlerin dallanmasındaki bir artıştan mı yoksa potansiyel olarak vejetatif sürgünlerin çiçekli sürgünlere dönüşmesinden mi kaynaklandığı açık değildir [11]. Diğer taraftan Misra vd. [31], palcobutrazol (PP₃₃₃) uygulaması ile bitkilerin vejetatif gelişiminin azaldığı ve çiçek tomurcuğu oluşumunun ve çiçeklenmenin arttığını rapor etmişlerdir. Aynı zamanda PP₃₃₃ uygulanan parsellerde en yüksek çiçekli sürgün sayısının PP₃₃₃ + NO₃ formu azot ve MnCl₂ uygulamasından (26 adet/bitki) elde edildiğini rapor etmiştir. Çalışmamızda parsellere standart miktarda mangan içerikli gübrelemenin yapılması sürgünlerdeki çiçek sayısında farklılık oluşmamasının diğer bir nedeni

olabilir. Erken dönemlerde GA₃ uygulamasının yağ gülü ve diğer bitkilerde çiçek sayısını arttırdığı rapor edilmektedir. Aziz [32], 30 ppm'lik bir GA₃ konsantrasyonunun yağ gülünde çiçeklenmeyi arttırdığını, Rohamare vd. [33], *Trachyspermum ammi* L. Bitkisinde en yüksek birim alandaki dal sayısının 100 ppm GA₃ uygulamasından elde edildiğini, Rani ve Singh [34], 150 ppm'de GA₃'ün sümbülteberde çiçek sayısını arttırdığını bildirmiştir.

Çiçeklenme periyodu boyunca 100 çiçek ağırlığı azalmış ve çiçeklenme başında 298.0 g olan 100 çiçek ağırlığı çiçeklenme sonunda 232.5 g düşmüştür. GA₃ uygulamalarına göre ise en yüksek 100 çiçek ağırlığının 50 ppm GA₃ uygulamasında olduğu (287.2 g), en düşük ise kontrol uygulamasında (253.0 g) olduğu tespit edilmiştir (Tablo 2). Yağ gülünde uygun dozlarda GA₃ uygulaması çiçek sapı absisyonu, tomurcuk düşmesinin engellenmesi, çiçek sapı ve çiçek tomurcuğu büyümesi gibi tomurcuk ve çiçeklerde önemli iyileşmeler sağlayabilmektedir [21-24]. Yapılan araştırmalarda farklı süs gülü türlerinde 100-200 ppm GA₃ uygulaması ile tomurcuk çapı ve boyunun en yüksek değerlere ulaştığı ve çiçek ağırlığının arttığını bildirilmiştir [30, 35].

Yağ güllü tarımında çiçek veriminin artırılması en önemli yetiştiricilik amaçlarından birisidir. Çalışmamızda çiçeklenme başında ortalama 216.4 kg/da taze çiçek toplanırken, çiçeklenme ortasında 410.5 kg/da ve çiçeklenme sonunda 189.6 kg/da çiçek toplanmıştır. GA₃ uygulamalarına göre ise toplam çiçek verimi en yüksek 50 ppm uygulamasından (880.8 kg/da), en düşük ise 100 ppm uygulamasından (746.6 kg/da) elde edilmiştir. GA₃ dozlarının artışına paralel olarak 50 ppm dozuna kadar çiçek verimi artış göstermiş sonraki dozlarda ise azalmaya başlamıştır (Tablo 2). Yağ güllünün çiçek verimi; bahçenin rakımı ve bakışı, yaşı ve budaması, sulama ve gübreleme, iklim ve toprak durumu gibi faktörlere bağlı olarak 250-1.000 kg arasında değişir. Genel olarak 5 da büyüklüğünde bir gül bahçesinden yaklaşık 3.5 ton kadar çiçek toplanır ve toplanan bu çiçekler damıtıldığında sadece 1 kg gül yağı üretilir [36]. Yağ güllünde çiçeklenme periyodu boyunca toplanan çiçek miktarı eşit oranda olmayıp sezon ortasında en yüksek çiçek toplama verimine ulaşmaktadır. Nitekim Baydar vd. [28] yağ güllünde 20-24 günlük çiçeklenme sezonu boyunca toplanan çiçek miktarının %15-20'sinin çiçeklenme başlangıcında, %55-65'inin çiçeklenme ortasında ve %20-25'inin ise çiçeklenme sonunda toplandığını rapor etmiştir. Çalışmamızda genel ortalamaya göre toplanan çiçeklerin %26.5'i çiçeklenme başında, %50.2'si çiçeklenme ortasında ve %23.2'si çiçeklenme sonunda elde edilmiştir.

Yağ güllünde farklı büyüme düzenleyicileri ile yapılan çalışmalarda çiçek verimi üzerine farklı sonuçlar alınmıştır. Kinetin uygulamasının çiçek sayısını artırdığı ancak çiçeklenmeyi engellediği, etereal uygulamasının ise çiçeklenmeyi teşvik ettiği fakat uçucu yağ içeriğini azalttığını [9], 2-kloroetil fosfonik asitin yağ güllünde dal sayısını ve çiçek verimini artırdığını [11], etafon büyümenin ilk dönemlerinde uygulandığında çiçeklenme ve çiçeklerdeki uçucu yağ içeriğini artırdığı [12] rapor edilmiştir. Thakur ve Kumar [37], yağ güllü bitkilerine budama sonrasında bitkilerin 10-12 yapraklı olduğu dönemde (çiçek tomurcuğu teşekkülünün olduğu dönem) 15 mg/L difenil üre, 30 ve 35 mg/L kinetin uygulamasıyla taze çiçek veriminin kontrole kıyasla sırasıyla %56.0, 41.6 ve 35.8 oranında artırdığını bildirmişlerdir. Saffari vd. [38] budama zamanı ve bitki gelişim düzenleyicilerin etkisini inceledikleri çalışmada en yüksek uçucu yağ içeriği Kinetin (%0.062), NAA (%0.062), Cycocel (%0.061), Alar (%0.061), en yüksek çiçek verimi Kinetin (660.7 g/bitki), NAA (650.1 g/bitki), Cycocel (646.8 g/bitki), Alar (650.8 g/bitki) uygulamasıyla elde edildiğini bildirmişlerdir.

Güllerde GA₃ uygulama zamanlarının bitkilerde vejetatif ve generatif büyümeyi etkilediği birçok araştırmacı tarafından rapor edilmiştir. Gibberellinlerin yapraklanma döneminde uygulandığında vejetatif sürgün büyümesini etkilediği ve çiçeklenmeyi uyardığı [13] bildirilmiştir. Diğer taraftan Farooqi vd. [11] yağ güllü bitkilerine vejetatif dönem, tomurcuk

oluşumu ve çiçeklenme dönemi olmak üzere üç dönemde GA₃ (10 ve 50 ppm) uygulamış ve GA₃'ün güllerde bitki boyunu teşvik ettiğini bildirmiştir. GA₃ uygulamasının (50 ppm) yağ güllünde bitki boyunu arttırdığı ve çiçeklenme periyodunu kısalttığı Saffari vd. [14] tarafından da bildirilmiştir.

Güllerde özellikle çiçeklenme zamanında içsel GA₃ konsantrasyonu belirli bir eşik seviyesinin altında kaldığında çiçek oluşumunun devam ettiği ancak bu eşğin üzerine çıktığında engellendiği bir model rapor edilmiştir. Bu nedenle, çiçek tomurcuk patlamasında, gibberellik asit konsantrasyonlarının eşğin altında tutulduğu takdirde çiçek açmasının devam ettiğini bildirilmiştir [39]. Süs gülleri üzerine yapılan bazı çalışmalarda [30, 40, 41] 200 ppm GA₃ ile en yüksek çiçek veriminin alındığı rapor edilmektedir. Diğer taraftan "Super Star" güllerde 100 ve 200 ppm dozlarında GA₃ uygulaması sonucunda daha fazla sayıda birincil ve ikincil sürgün üretildiği ve GA₃ uygulamasının çiçek çapının boyutu üzerinde belirgin bir etkisinin olduğu [42] "Raktagandha" kesme gül çeşidinde 500 ppm GA₃ uygulaması sürgün uzunluğunu önemli ölçüde artırdığını [43], yine başka bir çalışmada 'Raktagandha' süs güllü çeşidinde 300 ppm GA₃ uygulamasının çiçek verimini %11-20'ye kadar azalttığını [44] bildirilmiştir. Çalışmamızda 50 ppm GA₃ uygulamasına kadar çiçek veriminin arttığı ve bu dozdan sonra içsel GA₃ eşik değerinin üzerine çıkarak verimin azaldığı tahmin edilmektedir.

Çiçeklerde uçucu yağ oranı en fazla çiçeklenme ortası dönemde (%0.032) tespit edilmiş, çiçeklenme başı ve sonunda ise (%0.025) benzer sonuçlar alınmıştır. Baydar vd. [28] yağ güllünde hasat zamanı boyunca çiçeklerdeki uçucu yağ oranının çiçeklenme ortasına kadar yükseldiği, çiçeklenme sonuna doğru ise azaldığını rapor etmişlerdir. Göktürk Baydar ve Baydar [45] çiçeklenme sezonu boyunca uçucu yağ oranının azalış gösterdiğini (%0.040'tan %0.032'ye) bildirmişlerdir. Sonuçlarımız araştırmacıların sonuçları ile benzerlik göstermiştir. Diğer taraftan çalışmamızda çiçeklenme başında hava sıcaklığının düşük olması uçucu yağ sentezini olumsuz etkilediği, çiçeklenme ortasında ise uygun nispi nem ve sıcaklığa bağlı olarak uçucu yağ sentezinin arttığı ve çiçeklenme sonunda ise artan hava sıcaklığı ile çiçeklerden uçucu yağ kaybının fazla olmasından dolayı uçucu yağ oranının düştüğü düşünülmektedir. GA₃ uygulaması çiçeklerde uçucu yağ sentezini olumsuz etkilemiştir. Kontrol ve 25 ppm GA₃ uygulamasında uçucu yağ oranı %0.031 olarak belirlenirken, doz artışına paralel olarak uçucu yağ oranı azalmış ve 100 ppm GA₃ uygulamasında uçucu yağ oranı %0.022'ye kadar gerilemiştir. GA₃ uygulaması ile çiçeklenme başı ve ortasında kontrol ve 25 ppm uygulamasında en yüksek uçucu yağ oranı belirlenirken, çiçeklenme sonunda kontrol, 25 ve 50 ppm uygulamalarında en yüksek uçucu yağ oranı tespit edilmiştir. Yağ güllünde çiçekler bütün olarak damıtıldığında %0.035 oranında, sadece petaller damıtıldığında %0.057 oranında ve petaller dışında

kalan sepal+dişi ve erkek organ kısımlar damıtıldığında %0.013 oranında uçucu yağ elde edildiği bildirilmektedir [28]. Yağ gülünde ilkbaharda tomurcuk patlamasından kısa bir süre sonra ve çiçeklenme başlangıcı döneminde gibberellik asit konsantrasyonlarının düşük olduğu bu nedenle çiçeklenmenin teşvik edildiği, çiçeklenme dönemi sona erdiğinde ise içsel gibberellik asit seviyesinin artışına paralel olarak çiçeklenmenin engellendiği bildirilmektedir. Çalışmamızda dışsal GA₃ uygulaması ile artan doza paralel olarak, özellikle 50 ppm'e kadar, içsel gibberellik asit konsantrasyonunun eşik değeri sınırları içerisinde kaldığı, dolayısıyla çiçek özelliklerinin iyileştiği ve çiçek veriminin arttığı düşünülmektedir. Diğer taraftan artan çiçek verimine karşılık uçucu yağ oranının düştüğü, daha da artan GA₃ dozunun çiçeklenmenin de olumsuz etkilenmesi ile uçucu yağ sentezinin de azaldığı düşünülmektedir. Ayrıca GA₃ uygulaması çiçeklerin hypanthium uzunluğunu arttırabilir [30] ve bu durumda yüksek dozlarda hypanthium irileşmesine bağlı olarak çiçek çapları küçülebilir, bu durumda uçucu yağ oranı düşük olan hypanthiumun çiçekte hacimce oransal artışının da uçucu yağ oranını azaltabilir. Zira çalışmamızda 100 ppm GA₃ uygulamasının çiçeklerde çiçek çapını, petal oranını, çiçek verimini azalttığı ve dolayısıyla uçucu yağ oranının azaldığı bulunmuştur. Yağ gülünde GA₃ uygulamasının uçucu yağ içeriğini azalttığı farklı araştırmacılar tarafından da rapor edilmiştir [9, 11, 38].

Endüstriyel açıdan yağ gülü tarımında birim alandan yüksek uçucu yağ veriminin alınması hedeflenmektedir. Uçucu yağ veriminin arttırılması için hem çiçek veriminin hem de uçucu yağ oranının arttırılması gerekmektedir. Aynı zamanda yüksek uçucu yağ verimi ve kalitesi için yağ gülünün bahçelerden erken toplanması kadar damıtma tesislerinde de erken damıtılması önemlidir. Çalışmamızda çiçeklenme başında distilasyon ile ortalama 54.4 g/da uçucu yağ verimi alınırken, çiçeklenme ortasında 131.5 g/da ve çiçeklenme sonunda 49.3 g/da uçucu yağ elde edilmiştir. GA₃ uygulamalarına göre ise en yüksek uçucu yağ verimi 25 ppm uygulamasından (276.3 g/da), en düşük uçucu yağ verimi ise 100 ppm uygulamasından (180.3 g/da) elde edilmiştir. 25 ppm GA₃ uygulaması kontrole kıyasla uçucu yağ verimini %8.6 oranında arttırırken, 100 ppm uygulaması %29.1 oranında azaltmıştır (Tablo 2). Isparta ilinde yağ gülü yetiştirme sezonu olan Mayıs ve Haziran aylarında çiçeklenme başlangıcı ve ortasında sabahın erken saatlerinde çiğ düşmekte ve çiçeklenme sonuna doğru havaların ısınmasıyla birlikte çiçeklerde nem kaybı ve uçucu yağ kaybı yaşanmaktadır. Diğer taraftan çiçeklenme başı ve ortası dönemde sabahın erken saatlerinde hasat yapılmakta ve çiçekler fabrikaya getirilerek özellikle çiçek hasadının yoğun olarak yapıldığı çiçeklenme ortasında hasattan sonra çiçekler fabrikalara getirilerek bekletilmektedir. Çiçeklenme sonuna doğru havanın daha da ısınması ile birlikte çiçekler damıtmaya kadar bekleme süresi boyunca daha fazla

sıcaklığa maruz kalmakta ve uçucu yağ kaybı çiçeklenme başı ve ortası döneme göre daha fazla olmaktadır [1, 27, 28, 45]. Nitekim çalışmamızda da benzer sonuçlar görülmüştür. Diğer taraftan GA₃ uygulamasının uçucu yağ oranını azaltması uçucu yağ veriminde yüksek oranda düşüş yaşanmasının nedeni olabilir.

Hasat zamanına göre en yüksek konkret verimi ve randımanı çiçeklenme ortası dönemden sırasıyla %0.26 ve 392.3 kg/kg çiçek olarak elde edilmiştir. En düşük konkret verimi %0.21 ve konkret randımanı 479.4 kg/kg çiçek ile çiçeklenme sonunda ölçülmüştür. GA₃ uygulamaları arasında 25 ppm uygulamasında en yüksek konkret verimi (%0.28) ve randımanı (350.8 kg/kg çiçek) elde edilmiştir. Bu uygulamaya ile kontrole kıyasla konkret veriminde %7.9 artış sağlamış ve konkret randımanında ise %6.6 oranında daha az çiçek kullanarak 1 kg konkret elde edilmesine olanak sağlamıştır. Ancak bu dozdan sonra yapılan diğer uygulamalarda konkret verimi önemli oranda azalmıştır. En yüksek dozda (100 ppm) %0.20 oranında konkret verimi elde edilmiştir. Bu oran konkret randımanında 499.3 kg çiçekten 1 kg konkret elde edilmesi anlamına gelmektedir. Yani kontrole kıyasla 1 kg konkret elde etmek için 123.9 kg daha fazla çiçek kullanılması gerekmektedir (Tablo 2). Yağ gülü çiçeğinden *n*-hekzan ekstraksiyonu kullanılarak elde edilen konkret verimlerinin Türkiye [4], Bulgaristan [46] ve Pakistan'da [16] yaklaşık %0.25 (400 kg taze çiçekten 1 kg) olduğu bildirilmiştir. Erbaş ve Baydar [1] Isparta koşullarında yetiştirilen yağ gülü çiçeklerinden %0.30 oranında (336.2 kg çiçekten 1 kg) konkret randımanı elde etmiştir. Çalışmamızda GA₃ uygulaması ile çiçeklerde uçucu yağ oranının azalmasına bağlı olarak konkret veriminin azaldığı ve böylece konkret randımanının yükseldiği düşünülmektedir.

Hasat zamanına göre en yüksek absöüt verimi (%67.5) çiçeklenme başında elde edilmiş ve çiçeklenme sonuna doğru azalmıştır. Bir kg absöüt üretmek için çiçeklenme başında 1.47 kg konkret gerekli iken, çiçeklenme sonuna doğru bu miktar 1.70 kg konkrete yükselmiştir. GA₃ uygulamaları absöüt verimini olumsuz etkilemiş ve doz artışına paralel olarak absöüt verimi azalmıştır. Kontrol parsellerinde %64.4 olarak elde edilen absöüt randımanı 100 ppm uygulanan parsellerde ise %62.6 olarak tespit edilmiştir. Absöüt veriminin azalmasına paralel olarak absöüt randımanı ise doz artışı ile birlikte azalmıştır (Tablo 2). Yağ gülü konkretinden elde edilen gül absöütü verimlerinin %62 ile %68 arasında değiştiği rapor edilmiştir [3-5]. Ancak nadiren %50'ye kadar düştüğü rapor edilse de [46], Erbaş ve Baydar [1] farklı çözücüler kullanılarak elde edilen yağ gülü konkretlerinden etil alkol ekstraksiyonu ile %52.1-70.9 arasında absöüt verimleri elde etmişler, en yüksek absöüt veriminin %70.9'e kadar ulaştığını ve 1.41 kg konkretten 1 kg absöüt elde edildiği rapor etmişlerdir. Khan ve Rehman [16] yağ gülü

çiçeklerinden elde edilen konkrretlerden çiçek üzerinden %0.03 absööl verimi tespit etmişlerdir.

Çiçeklenme başlangıcında ve ortasında elde edilen uçucu yağlarda 33 adet bileşen tespit edilirken, çiçeklenme sonunda 41 adet bileşen belirlenmiştir. Yağ güllünün en önemli monoterpen alkollerini olan β-sitronellol çiçeklenme başlangıcından çiçeklenme sonuna kadar %18.34'ten %21.59'a artarken, geraniol oranını ise %36.69'dan %22.23'e gerilemiştir. Diğer taraftan nerol oranını ise çiçeklenme periyodu boyunca artış göstermiş ve en yüksek nerol oranını çiçeklenme ortası dönemde (%7.88) tespit edilmiştir. Hidrokarbon yapısındaki bileşenler incelendiğinde; nonadesan ve nonadesen oranları çiçeklenme periyodu boyunca sırasıyla %1.44 ve %16.50'den %2.56 ve %20.66'ya çıkmıştır. Ancak eikosan, heneikosan ve trikosan oranları çiçeklenme periyodu boyunca azalış göstermiştir. Mutagenik ve alerjik reaksiyonlara neden olduğu ileri sürülen ve fenilpropanoid olan metil öjenol standart endüstriyel prostele elde edilen gül yağında çoğunlukla %0.5-2.0 civarında bulunmaktadır. Çalışmamızda ise çiçeklenme periyodu boyunca %0.70-0.85 arasında değişmiştir (Tablo 3).

Yapılan diğer çalışmalarda Baydar vd. [28] çiçeklenme sezonu boyunca sitronellol oranının %19.3'ten %37.7'ye arttığını, geraniol oranının %42.4'ten %13.0'e ve nerol oranının %9.8'den %4.0'e azaldığını rapor etmişlerdir. Araştırmacılar kaliteye olumsuz etkisi olan metil öjenol oranının ise %0.7'den %1.7'ye artış gösterdiği saptamışlardır. Diğer taraftan Göktürk Baydar ve Baydar [45] yağ güllünde hasat zamanına göre linalool hariç, diğer bütün uçucu yağ bileşenlerinin etkilendiğini rapor etmiştir. Hasat zamanına göre geraniol ve nerol içeriğinin çiçeklenme periyodu boyunca sırasıyla %6.2 ve %37.1 oranında azaldığını, sitronellol içeriğinin ise %29.7 oranında arttığını rapor etmişlerdir. Sonuçlarımız diğer raporlarla benzerlik göstermekte ve yağ bileşenlerinde görülen farklılıkların iklim ve zamana bağlı değiştiği düşünülmektedir. Ayrıca çalışmamızda geranioldeki azalmanın çiçeklenme periyodu boyunca artan sıcaklığa bağlı olarak sitronellole dönüşmesinden kaynaklandığı söylenebilir. Zira Göktürk Baydar ve Baydar [45] bu iki bileşik arasında negatif ve geraniol ve nerol arasında da pozitif bir ilişki olduğunu rapor etmişlerdir.

GA₃ uygulamaları yağ güllünde uçucu yağ bileşenlerini de önemli bir şekilde etkilemiştir. GA₃ uygulaması çiçeklenme başlangıcı döneminde çiçeklerde sentezlenen bileşen sayısını arttırmıştır. Diğer taraftan çiçeklenme ortasında 75 ve 100 ppm dozlarında, kontrole kıyasla daha fazla bileşen tespit edilirken, çiçeklenme sonunda ki özelliikle 75 ve 100 ppm dozlarında bileşen sayısı azalmıştır. Bütün çiçeklenme periyotlarında artan GA₃ dozları geraniol oranını önemli bir şekilde düşürmüştür. Çiçeklenme başlangıcında kontrolden 100 ppm uygulamasına

kadar geraniol oranını %36.69'dan %21.16'ya, çiçeklenme ortasında %27.34'ten %12.93'e ve çiçeklenme sonunda ise %22.33'ten %21.14'e gerilemiştir. Ancak GA₃ uygulamaları çiçeklenme başı ve ortasında sitronellol oranını 75 ppm'e kadar, çiçeklenme sonunda ise 50 ppm'e kadar arttırmış, sonraki dönemlerde ise doz artışına göre ise azalma göstermiştir. Diğer taraftan çiçeklenme başında nerol oranını kontrole kıyasla 75 ppm'e kadar, çiçeklenme sonunda 25 ppm'e kadar artış gösterirken, sonraki dozlarında azalmıştır. Çiçeklenme ortasında ise nerol oranını artan GA₃ dozlarıyla dalgalı bir değişim göstermiştir. GA₃ uygulamaları hidrokarbon grubundaki bileşenleri de etkilemiştir. Çiçeklenme başlangıcında nonadesen ve nonadesan içerikleri uygulama dozları arttıkça yükselmiştir. Çiçeklenme başlangıcında bu iki bileşenin oranını kontrolden 100 ppm dozuna kadar sırasıyla %1.44'ten %2.47'ye ve %16.50'ten %23.58'e, çiçeklenme ortasında %1.69'dan %2.66'ya ve %17.15'ten %21.23'e yükselmiştir. Çiçeklenme sonunda ise nonadesen oranını %2.56'dan %1.87'ye düşerken, nonadesan oranını %20.66'dan %29.45'e yükselmiştir. Diğer taraftan heneikosan içerikleri de bütün hasat dönemlerinde GA₃ uygulama dozları boyunca artış göstermiştir (Tablo 3).

Gül uçucu yağında az miktarda bulunan, fakat önemli bir bileşik olan metil öjenol GA₃ uygulamaları sonucunda çiçeklenme başlangıcında kontrolden (%0.70) 75 ppm dozuna (%0.81) kadar artış gösterirken, 100 ppm uygulamasında (%0.64) ise azalmıştır. Çiçeklenme ortasında uygulamalara bağlı olarak %0.75-0.88 arasında değişim göstermiştir. Ancak çiçeklenme sonunda kontrolde %0.87 oranında belirlenen metil öjenol 25 ppm GA₃ uygulamasında %0.93'e yükselirken, yüksek dozlarda %0.25-0.30 seviyelerine kadar gerilemiştir (Tablo 3).

Günümüzde yağ güllünün uçucu yağının kalitesi uluslararası boyutta AFNOR NF T 75-345: 1986 ve ISO 9842: 2003 standartlarına göre belirlenmektedir. ISO 9842: 2003 standartlarına göre gül yağında nerol'ün %5.0-12.0, β-sitronellol'ün %20.0-34.0, geraniol'ün %12.0-22.0, heptadekan'ın %1.0-2.5, nonadekan'ın %8.0-15.0 ve heneikosan'ın %3.0-5.5 arasında olması, fenil etil alkol'ün ise <%3.5'tan düşük olması istenmektedir. Ancak, gül yağı üreten ülkelerin her biri farklı çevresel koşullar (nem, toprak, sıcaklık) ve yetiştirme tekniklerine (hasat zamanı, gübreleme, sulama, budama zamanı, büyüme düzenleyici uygulamaları vs.) sahip oldukları için agronomik ve kalite özelliklerinde varyasyonlar ortaya çıkabilmektedir.

Yağ güllünde çiçeklenme periyodu boyunca uçucu yağ oranını ve bileşenleri önemli bir şekilde değişmektedir. Baydar vd. [28] petallerin kapalı ve çanak yapraklar tarafından sıkıca sarılı olduğu dönemden (1. dönem) petallerin tam olarak açılmış ve stamenlerin koyu sarı-kahve renkte olduğu döneme (5. dönem) kadar beş

Tablo 3. Yağ güllünde uçucu yağ bileşenleri üzerine hasat zamanı ve GA₃ uygulamalarının etkisi

RI ^a	Bileşen	Çiçeklenme başlangıcı					Çiçeklenme ortası					Çiçeklenme sonu				
		0	25	50	75	100	0	25	50	75	100	0	25	50	75	100
936.1	α-Pinene	0.12		0.06	0.12		0.04	0.11		0.06		0.04	0.03	0.21	0.14	
989.2	β-Myrcene	0.09	0.03	0.07	0.11		0.03	0.14		0.07		0.05	0.02	0.07	0.04	
1099	Linalool	0.66	0.69	0.56	0.43	0.24	0.36	0.65	0.32	0.46	0.29	0.25	0.39	0.15	0.33	
1173	Nonanal		0.06	0.03												
1125	cis-Rose oxide	0.08	0.14	0.12	0.10	0.04	0.03	0.18	0.06	0.11	0.06	0.05	0.10	0.03		
1115	Phenethyl alcohol						0.06					0.08	0.08			
15.79	trans-Rose oxide		0.07	0.04				0.08		0.04		0.05				
1177	4-Terpineol	0.21	0.31	0.27	0.22	0.13	0.18	0.37	0.15	0.20	0.12	0.17	0.24	0.06		
1187	α-Terpineol	0.12	0.12	0.13	0.14		0.13	0.12		0.13		0.09				
1228	Nerol	2.99	4.53	5.72	6.91	6.28	7.88	8.70	6.19	7.72	5.71	6.06	8.25	7.23	6.20	6.35
1236	β-Citronellol	18.34	20.08	21.23	22.38	17.76	19.96	29.47	25.64	24.64	21.05	21.59	22.96	19.58	18.25	16.25
1242	Z-Citral (Neral)	1.51	2.17	2.40	2.63	0.97	2.07	3.62	2.76	2.39	1.88	2.22	2.74	0.99	0.71	
1255	Geraniol	36.69	30.47	29.32	28.16	21.16	27.34	25.96	22.97	23.77	21.14	22.33	21.80	16.60	15.49	12.93
1452	E-Citral	0.84	1.36	1.46	1.56	0.81	1.44	1.91	1.52	2.18	1.27	1.56	1.78	0.53	0.66	0.89
1352	Citronellyl acetate	0.77	0.78	0.79	0.79	0.81	0.66	0.96	0.83	0.75	0.77	0.70	0.78	0.18	0.15	
1363	Neryl acetate					0.05					0.05					
1375	Linalool acetate	0.32	0.49	0.61	0.72	0.75	0.36	0.60	0.58	0.52	0.81	0.53	0.39	0.09	0.08	0.16
1390	β-Elementene	0.12	0.15	0.15	0.14	0.06	0.12	0.16	0.14	0.12	0.15	0.15	0.16	0.06		
1401	Methyl eugenol	0.70	0.73	0.77	0.81	0.64	0.87	0.86	0.74	0.88	0.73	0.75	0.93	0.27	0.25	0.30
1420	β-Caryophyllene	0.51	0.63	0.59	0.54	0.43	0.51	0.82	0.67	0.56	0.73	0.64	0.69	0.28	0.47	0.41
1440	α-Guaiene	0.35	0.49	0.46	0.42	0.30	0.38	0.62	0.50	0.42	0.54	0.48	0.46	0.17	0.28	0.24
1451.8	cis-Geranylacetone						0.06			0.04	0.07	0.04	0.09	0.02		
1453	α-Humulene	0.24	0.32	0.29	0.26	0.24	0.27	0.38	0.34	0.27	0.38	0.34	0.33	0.13	0.16	0.19
1480	Germacrene-D	1.03	1.36	1.23	1.09	0.99	1.14	1.36	1.34	1.09	1.55	1.43	1.22	0.48	0.69	0.61
1486	β-Selinene						0.03						0.04			
1504.1	α-Bulnesene	0.32	0.32	0.32	0.32	0.24	0.31	0.42	0.37	0.32	0.42	0.40	0.36	0.11	0.25	
1500	Pentadecane	0.12	0.21	0.21	0.20	0.18	0.22	0.29	0.29	0.28	0.34	0.33	0.24	0.14		
1504	α-Farnesene		0.05	0.03			0.06			0.05	0.07	0.07	0.05	0.02		
1550	Nerolidol						0.03									
1600	Hexadecane		0.07	0.05	0.03	0.05	0.08	0.06		0.05		0.06	0.07	0.07		
1612.3	Tetradecanal	0.04	0.07	0.04			0.05									
1988	(E)-9-Eicosene		0.05	0.03		0.06	0.05		0.06	0.06	0.08	0.05	0.05	0.03		
1700	Heptadecane	2.15	1.86	2.12	2.38	2.51	1.95	2.34	2.74	2.63	3.00	3.09	2.27	3.68	3.52	3.38
1228	Octadecane	0.14	0.17	0.19	0.21	0.26	0.19	0.13	0.20	0.19	0.24	0.23	0.22	0.47	0.41	0.36
1816.5	Hexadecanal	0.10	0.12	0.06		0.05	0.08						0.06	0.12		
1890	Z-5-Nonadecene	1.44	1.80	2.00	2.19	2.47	1.69	1.61	2.30	2.11	2.66	2.56	1.75	2.00	1.24	1.87
1900	Nonadecane	16.50	15.75	16.19	16.62	23.58	17.15	12.35	17.99	17.37	21.23	20.66	17.89	23.12	26.25	29.45
2000	Eicosane	1.43	1.47	1.34	1.21	2.13	1.53	0.77	1.33	1.25	1.66	1.53	1.52	3.50	4.74	2.94
2100	Heneicosane	8.69	8.93	7.83	6.72	11.76	8.67	3.99	7.25	6.74	8.99	8.39	8.60	11.00	13.35	14.23
2150	Citronellyl valerate						0.02							0.08		
2200	Docosane	0.11	0.18	0.13	0.07	0.27	0.18		0.09	0.04	0.15	0.15	0.16	0.41	0.30	0.17
2289	(Z)-9-Tricosene		0.14	0.14	0.14	0.32	0.18		0.19	0.14	0.25	0.25	0.16	0.38	0.25	
2300	Tricosane	2.01	2.10	1.75	1.40	2.75	2.05	0.70	1.54	1.43	2.04	1.82	1.84	4.61	4.77	5.32
2400	Tetracosane		0.09	0.03		0.12	0.08				0.06		0.07	0.21		
2500	Pentacosane	0.67	0.80	0.64	0.47	0.83	0.72	0.16	0.47	0.49	0.75	0.59	0.56	1.53	1.15	0.96
2605	Hexacosane													0.06		
2700	Heptacosane	0.60	0.75	0.60	0.44	0.64	0.68	0.13	0.40	0.41	0.69	0.55	0.50	1.31	0.87	0.93
2800	Nonacosane		0.12	0.10	0.07	0.09	0.10				0.08			0.16		
TOPLAM		100.00	100.00	100.00	100.00	99.97	99.99	100.02	99.97	99.98	100.01	100.02	100.03	99.99	99.91	99.31
Bileşen sayısı		33	40	41	34	35	44	32	30	37	35	33	41	41	24	25

RI: Alikonma indeksleri bir dizi C₇-C₃₀ doymuş n-alkan standardı kullanılarak Restek Rxi®-5Sil MS kolonunda belirlenmiştir.

farklı hasat zamanında yağ gülü çiçeklerinde uçucu yağ oranının ve kalitesinin değişimini incelemişlerdir. Araştırmacılar uçucu yağ oranı 1. dönem çiçeklerde %0.008'den, 4. dönem çiçeklerde (petaller kupa şeklinde açılmış ve stamenlerin açık sarı renkte olduğu dönem) %0.043'e kadar yükseldiğini ve 5. dönem çiçeklerde ise 0.043'e gerilediğini rapor etmişlerdir. Uçucu yağda sitronellol oranının çiçek gelişme süresi boyunca %2.3'ten 4. döneme kadar %43.5'e yükselmiş ve 5. dönemde ise %23.3'e gerilediği, geraniol oranının ise %3.4'ten 5. döneme kadar %33.6'ya yükseldiğini rapor etmişlerdir. Diğer taraftan metil öjenol içeriği çiçek gelişim süresi

boyunca sürekli artış (%0.1'den %1.2'ye) göstermiştir. Ancak 1. dönem çiçeklerde ana koku moleküllerinin nonadesan, nonadesen ve heneikosan olduğu ve çiçek gelişim süresi boyunca üç bileşenin sürekli olarak önemli bir şekilde azaldığını rapor etmişlerdir.

Parfüm ve kozmetik endüstrisinin en önemli ham maddelerinden birisi olan Türk gül yağlarında metil öjenol oranı çoğunlukla %2'nin (bazen %4'ün) üzerine çıkmaktadır. Bilhassa toplanması ve damıtılması gecikmiş, fermente olmuş güllerden elde edilen gül yağlarında metil öjenol oranı artmakta, diğer yandan

çiçek hasadı sırasında özellikle tam açılmamış çiçeklerin toplanması, çiçek hasadının sabahın erken saatlerinde yapılması, bekletilmeden taze olarak damıtılması ve distilasyon süresinin gereğinden fazla uzatılmaması metil öjenol miktarını düşürmektedir [28, 45]. Gül yağındaki metil öjenolün asıl kaynağının çiçeğin petalleri haricindeki kısımlar, özellikle de stamenler olduğu tespit edilmiştir [47]. Standart gül yağında sadece %1.26 oranında belirlenen metil öjenol, petallerde iz düzeyde (%0.004) iken stamenlerde %5.49 oranında bulunmuştur [48].

Çalışmamızda özellikle 100 ppm GA₃ uygulamasının çiçeklenmeyi olumsuz etkilediği ve çiçeklerdeki içsel GA₃ seviyesi eşiğinin üstüne çıktığı, bu nedenle özellikle uçucu yağlardaki hidrokarbon yapısındaki bileşiklerin oransal olarak arttırdığı düşünülmektedir. Zira Baydar vd. [28] çiçek gelişim döneminin erken dönemlerinde hidrokarbon bileşenlerinin daha yüksek konsantrasyonlarda olduğunu bildirmiştir. Diğer taraftan düşük dozlarda GA₃ uygulamasının çiçeklenmeyi hızlandırdığı ve bu nedenle özellikle 25 ve 50 ppm dozlarında kontrole kıyasla uçucu yağın ana bileşeni olan sitronellol ve geraniolün sentezini de arttırdığı düşünülmektedir.

Sonuç olarak; yağ gülünde yüksek çiçek ve uçucu yağ verimi ve uluslararası standartlara uygun (ISO 9842: 2003) uçucu yağ bileşenlerinin elde edilmesinde 25 ppm GA₃ uygulanması önerilebilir. Ancak çalışmanın tek yıllık olması nedeniyle takip eden yıllarda tekrar GA₃ uygulaması yapılması sonuçların güvenilirliğini arttıracaktır. Ayrıca GA₃ uygulanan parsellerde herhangi bir uygulama yapılmadan bitkilerde agronomik ve kalite ölçümlerinin bir sonraki yıl tekrarlanarak bitkilerin gibberellik aside tepkisinin ölçülmesi de gerekmektedir.

Teşekkür

Bu çalışma Süleyman EFECAN'ın Yüksek Lisans tezinden türetilmiştir.

Etik Beyanı/Declaration of Ethical Code

Bu çalışmada, "Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesi" kapsamında uyulması gerekli tüm kurallara uyulduğunu, bahsi geçen yönergenin "Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiğine Aykırı Eylemler" başlığı altında belirtilen eylemlerden hiçbirinin gerçekleştirilmediğini taahhüt ederiz.

Kaynakça

[1] Erbaş, S., Baydar, H. 2016. Variation in Scent Compounds of Oil-Bearing Rose (*Rosa damascena* Mill.) Produced by Headspace Solid Phase Microextraction, Hydrodistillation and Solvent Extraction. Records of Natural Products, 10(5), 555-565.

- [2] Anonim, 2021. Türkiye İstatistik Kurumu. <http://www.tuik.gov.tr> (Erişim Tarihi: 31.12.2021).
- [3] Aydınli, M., Tutas, M. 2003. Production of Rose Absolute from Rose Concrete. Flavour and Fragrance Journal, 18(1), 26-31.
- [4] Kürkçüoğlu, M., Başer, K. H. C. 2003. Studies on Turkish Rose Concrete, Absolute and Hydrosol. Chemistry of Natural Compounds, 39(5), 457-464.
- [5] Ayçi, F., Aydınli, M., Bozdemir, O. A., Tutas, M. 2005. Gas Chromatographic Investigation of Rose Concrete, Absolute and Solid Residue. Flavour and Fragrance Journal, 20, 481-486.
- [6] Prins, C. L., Vieira, I. J. C., Freitas, S. P. 2010. Growth Regulators and Essential Oil Production. Brazilian Journal of Plant Physiology, 22(2), 91-102.
- [7] El-Keltawi, N. E., Croteau, R. 1987. Influence of Foliar Applied Cytokinins on Growth and Essential Oil Content of Several Members of the Lamiaceae. Phytochemistry, 26(4), 891-895.
- [8] Ansari, S. H., Qadry, J. S., Jain, V. K. 1988. Effect of Plant Hormones on the Growth and Chemical Composition of Volatile Oil of *Cymbopogon*. Indian Journal of Forestry, 11(2), 143-145.
- [9] Farooqi, A. H. A., Sharma, S., Naqvi, A. A., Khan, A. 1993. The Effect of Kinetin on Flower and Oil Production in *Rosa damascena*. Journal of Essential Oil Research, 5(3), 305-309.
- [10] Sharma, M. L. 1982. Cultivation of Rose and Manufacture of its Products in India. pp. 537-544. Atal, C. K., Kapur, B. M. ed. Cultivation and utilization of aromatic plants. Jammu, India: Regional Research Laboratory, CSIR.
- [11] Farooqi, A. H. A., Shukla, Y. N., Sharma, S., Bansal, R. P. 1994. Relationship Between Gibberellin and Cytokinin Activity and Flowering in *Rosa damascena* Mill. Plant Growth Regulation, 14, 109-113.
- [12] Farooqi, A. A., Srikant, S. 1990. Effect of Growth Retardants on Flowering of *Rosa damascena* Mill. Proceedings of the international congress of plant physiology, New Dehli, India, 2, 1355-1369.
- [13] Bernier, G. 1988. The Control of Floral Evacuation and Morphogenesis. Annual Reviews of Plant Physiology and Plant Molecular Biology, 39, 175-219.
- [14] Safari, V. R., Khalighi, A., Lesani, H., Babalar, M., Obermaier, J. F. 2004. Effects of different plant growth regulators and time of pruning on yield components of *Rosa damascena* Mill. International Journal of Agriculture & Biology, 6(6), 1040-1042.

- [15] European Pharmacopoeia, 1975. Maissonneuve Sainte Ruffine, 3, 68.
- [16] Khan, M. A., Rehman, S. U. 2005. Extraction and Analysis of Essential Oil of *Rosa* Species. International Journal of Agriculture and Biology, 7, 973-974.
- [17] SAS Institute, 1999. INC SAS/STAT User's Guide Release 7.0, Cary, NC, USA.
- [18] Hackett, W. P. 1987. Juvenility, Maturation and Rejuvenation in Woody Plants. Horticultural Reviews, 7, 109-155.
- [19] Colasanti, J., Sundaresan, V. 2000. 'Florigen' Enters the Molecular Age: Long-Distance Signals that Cause Plants to Flower. Trends in Biochemical Sciences, 25(5), 236-240.
- [20] Zhao, D., Yu, Q., Chen, C., Ma, H. 2002. Genetic Control of Reproductive Meristems. pp. 89-141. McManus, M. T., Veit, B. E. ed. Meristematic Tissues in Plant Growth and Development. Sheffield Academic Press. Sheffield.
- [21] Mor, Y., Zieslin, N. 1987. Plant Growth Regulators in Rose Plants, Horticultural Reviews, 9, 53-73.
- [22] Bianco, J., Garello, G., Le Pege-DEgivy M. T. 1991. Gibberellins and Abscisic Acid in Reproductive Organs of *Rosa hybrida*. Acta Horticulturae, 298, 75-82.
- [23] Bris, L. 2003. Hormones in Growth and Development. pp. 364-369. Encyclopedia of Rose Sciences. Elsevier Academic Press.
- [24] Agbaria, H., Zamski, E., Zieslin, N. 2001. Effects of Gibberellin on Senescence of Rose Flower Petals. Acta Horticulturae, 547, 269-279.
- [25] Arun, D. S., Ashok, A. D., Rengasamy, P. 2000. Effect of Some Growth Regulating Chemicals on Growth and Flowering of Rose 'First red' Under Greenhouse Conditions. Journal of Ornamental Horticulture, 3(1), 51-53.
- [26] Sadanand, D. A., Ashok, A. D., Rangaswamy, P. 2000. Effect of Some Growth Regulating Chemicals on Growth and Flowering of Rose cv. First Red under Greenhouse Conditions. Journal of Ornamental Horticulture, 3(1), 51-53.
- [27] Baydar H., Kazaz S., Erbaş S. 2016. Variations in Floral Characteristics and Scent Composition and the Breeding Potential in Seed Derived Oil Bearing Roses (*Rosa damascena* Mill). Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 40, 560-569.
- [28] Baydar H., Kazaz S., Erbaş S. 2013. Yağ gülü (*Rosa damascena* Mill)'nde Morfogenetik Ontogenetik ve Diurnal Varyabiliteler. Süleyman Demirel Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 8, 1-11.
- [29] Singh, A. K., Kumar, P., Sisodia, A., Padhi, M. 2019. Effect of GA₃ and Salicylic Acid on Growth and Flowering in Rose Grown under Protected Condition. Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry, 8(5), 462-465.
- [30] Hashemabadi, D., Zarchini, M. 2010. Yield and Quality Management of Rose (*Rosa hybrida* cv. Poison) with Plant Growth Regulators. Plant Omics, 3(6), 167-171.
- [31] Misra, A., Srivastava, N. K., Kumar, R., Khan, A. 2005. Effect of Paclobutrazol (PP₃₃₃) on Flower Quality and Quantity of *Rosa damascena*. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 36, 477-486.
- [32] Aziz, S. 2014. Effect of Foliar Application of GA₃ and Macronutrients on Growth and flowering of Rose Species. M.Sc. Thesis, University of Agriculture, Institute of Horticultural Sciences Faisalabad, Pakistan.
- [33] Rohamare, Y., Nikam, T. D., Dhumal, K. N. 2013. Effect of Foliar Application of Plant Growth Regulators on Growth, Yield and Essential Oil Components of Ajwain (*Trachyspermum ammi* L.). International Journal of Seed Spices, 3(2), 34-41.
- [34] Rani, P., Singh, P. 2013. Impact of Gibberellic Acid Pre-Treatment on Growth and Flowering of Tuberose (*Polianthes tuberosa* L.) cv. Prajwal. Journal of Tropical Plant Physiology, 5(1), 33-41.
- [35] Muthukumar, S., Ponnuswami, V., Jawaharlal, M., Ramesh, A. K. 2012. Effect of Plant Growth Regulators on Growth, Yield and Exportable Quality of Cut Roses. International Journal of Science and Research, 7(4), 733-738.
- [36] Baydar, H., Kazaz, S. 2013. Yağ Gülü & Isparta Gülcülüğü. Gülbirlik Yayınları, Isparta.
- [37] Thakur, M., Kumar, R. 2020. Foliar Application of Plant Growth Regulators Modulates the Productivity and Chemical Profile of Damask Rose (*Rosa damascena* Mill.) under Mid-Hill Conditions of the Western Himalaya. Industrial Crops and Products, 158, 1-9.
- [38] Saffari, V. R., Khalighi, A., Lesani, H., Babalar, M., Obermaier, J. F. 2004. Effects of Different Plant Growth Regulators and Time of Pruning on Yield Components of *Rosa damascena* Mill. International Journal of Agriculture and Biology, 6(6), 1040-1042.
- [39] Roberts, A. V., Blake, P. S., Lewis, R., Taylor, J. M., Dunstan, D. J. 1999. The Effect of Gibberellins on Flowering in Roses. Journal of Plant Growth Regulation, 18(3), 113-119.
- [40] Nanjan, K., Muthuswamy, S. 1975. Growth and Flowering of Edward Rose (*Rosa barboniana* Desp.) to Certain Growth Regulator Spray. South Indian Horticulture, 23, 94-99.
- [41] Maharana, T., Pani, A. 1982. Effect of Post Pruning Spraying of Different Growth Regulators on the

- Growth and Flowering of Hybrid Rose. Bangladesh Horticulture, 10(1), 87-88.
- [42] Bhattacharjee, S. K., Ranjan, R. 1995. Influence of Growth Regulators on *Rosa hybrida* cv. "Super Star". Scientific Horticulture, 4, 151-156.
- [43] Bhadacharjee, S. K. 1993. Studies on the Effect of Gibberellic Acid on Growth, Flowering, Flower Quality and Post-Harvest Life of *Rosa hybrida* cv. "Raktagandha". Indian Rose Annual, 11, 77-83.
- [44] Bhattacharjee, S. K., Singh, U. C. 1995. Growth and Flowering Response of *Rosa hybrida* 'Raktagandha' to Certain Growth Regulator Sprays. The Orissa Journal of Horticulture, 83, 275-281.
- [45] Göktürk Baydar, N., Baydar, H. 2005. The Effects of Harvest Date Fermentation Duration and Tween 20 Treatment on Essential Oil Content and Composition of Industrial Oil Rose (*Rosa damascena* Mill.). Industrial Crops and Products, 21, 251-255.
- [46] Garner, J., Buil, P. 1976. Evolution of the Composition of the Rose Essential Oils and Concrete during the Production Campaign. Aerosol, 58, 537-540.
- [47] Rusanov, K., Kovacheva, N., Rusanova, M., Atanassov, I. 2012. Reducing Methyl Eugenol Content in *Rosa damascena* Mill. Rose Oil by Changing the Traditional Rose Flower Harvesting Practices. European Food Research and Technology, 234(5), 921-926.
- [48] Baydar, H., Erbaş S. 2016. Yağ Gülü (*Rosa damascena* Mil)'nde Tepe Boşluğu Katı Faz Mikro Ekstraksiyonu HS SPME ve Konvansiyonel Su Distilasyonu Yöntemleri ile Elde Edilen Uçucu Bileşenlerin Karşılaştırılması. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 20, 27-36.

Medyan Sıralı Küme Örneklemesinde Normal Dağılımın Konum Parametresi İçin Shrinkage Tahmin Edicileri

Kübra GÜRSOY¹, Meral EBEGİL^{*2}, Yaprak Arzu ÖZDEMİR², Fikri GÖKPINAR²

¹Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstatistik Anabilim Dalı, 06500, Ankara, Türkiye

²Gazi Üniversitesi, Fen Fakültesi, İstatistik Bölümü, 06500, Ankara, Türkiye

(Alınış / Received: 25.05.2022, Kabul / Accepted: 21.09.2022, Online Yayınlanma / Published Online: 20.12.2022)

Anahtar Kelimeler

Sıralı Küme Örneklemesi,
Medyan Sıralı Küme
Örneklemesi,
Ortalama Hata Kare,
Shrinkage Tahmin Edicisi

Öz: Yığına ilişkin bir çıkarıma yapabilmek için genellikle yığın parametrelerinin sapmasız tahmin edicileri kullanılır. Sapmasız tahmin edicilerin büyük varyansa sahip olmaları durumunda, shrinkage tahmin edicileri gibi sapmalı tahmin ediciler tercih edilebilir. Bu çalışmada, normal dağılımın konum parametresi için shrinkage tahmin edicileri, sıralı küme örneklemesi ve medyan sıralı küme örneklemesi kullanılarak elde edilmiştir. Ayrıca sıralı küme örneklemesi ve medyan sıralı küme örneklemesi altında elde edilen shrinkage tahmin edicilerinin ortalama hata kareleri teorik olarak elde edilmiştir. Önerilen tahmin edicilerin etkinliklerini incelemek amacıyla farklı durumlar altında Monte Carlo simülasyon çalışması ile ortalama hata kareleri hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, medyan sıralı küme örneklemesi kullanılarak elde edilen shrinkage tahmin edicilerinin sıralı küme örneklemesi ve basit tesadüfi örnekleme altında elde edilen shrinkage tahmin edicilerinden daha etkin olduğu gözlemlenmiştir.

Shrinkage Estimators for the Location Parameter of the Normal Distribution in Median Ranked Set Sampling

Keywords

Ranked Set Sampling,
Median Ranked Set
Sampling,
Mean Square Error,
Shrinkage Estimator

Abstract: Unbiased estimators of the population parameters are often used to make an inference about the population. In cases where unbiased estimators have large variance, biased estimators such as shrinkage estimators may be preferred. In this study, shrinkage estimators of the location parameter of the normal distribution were obtained under ranked set sampling and median ranked set sampling. In addition, mean square errors of shrinkage estimators were obtained theoretically under ranked set sampling and median ranked set sampling. In order to examine the efficiency of the estimators, the mean square errors were calculated under different conditions using Monte Carlo simulation study. According to the results, it was observed that the shrinkage estimators obtained under median ranked set sampling were more efficient than the shrinkage estimators obtained under ranked set sampling and simple random sampling.

1. Giriş

Yığına ilişkin bir çıkarıma yapabilmek için öncelikle yığın parametrelerinin tahmin edilmesi gerekir. Bu amaçla parametrelerin sapmasız tahmin edicileri sıkça kullanılır. Sapmasız tahmin edicilerin büyük varyansa sahip olmaları durumunda, sapmalı tahmin ediciler kullanılabilir. Bu tahmin ediciler sapmalı ancak ortalama hata kare (OHK)'si daha küçüktür. Sapmalı tahmin edicileri elde etme yöntemlerinden bir tanesi shrinkage tahmin yöntemidir. Shrinkage tahmin yöntemi, parametrenin önsel bilgisini kullanan ve bu önsel bilgi ile parametrenin tahmin edicisine belli bir ağırlık veren bir yöntemdir

[1,2,3,4,5]. Thompson (1968) yığın ortalamasının en iyi doğrusal sapmasız tahmin edicisi (ENDOST)'nin OHK değerini shrinkage faktörü yardımıyla küçülterek daha iyi bir tahmin edici elde etmiştir [1]. Diğer taraftan, bazı araştırmalarda örnek birimlerinin ilgilenilen değişken bakımından ölçümünün emek, zaman ve maliyet anlamında pahalı olduğu durumlarla karşılaşılabilir. Bu durumda, yığına en iyi şekilde temsil edecek küçük çaplı bir örnekle çalışmaya imkan tanıyan bir örnekleme yöntemine gereksinim duyulur [6]. Bu tür bir örnekleme yöntemi olarak, Sıralı Küme Örneklemesi (SKÖ) ile SKÖ'nün çeşitli modifikasyonları önerilmiştir [7]. Önerilen SKÖ yöntemlerinin parametre

tahminlerinde Basit Tesadüfi Örneklemeye (BTÖ) yöntemi ile karşılaştırıldığında daha yüksek etkinlik değerlerine sahip olduğu gözlenmiştir. SKÖ yönteminde örneklemleme işlemi iki aşamada yapılmaktadır. İlk aşamada gözlem birimleri hassas ölçüm gerektirmeden görsel olarak veya yardımcı bir değişkene göre sıralanmakta olup, elde edilen tahminler sıralama hatalarına karşı duyarlıdır. SKÖ yöntemlerinden biri olan Medyan Sıralı Küme Örneklemesi (MSKÖ) ise özellikle tek modlu olan simetrik dağılımlar için daha etkin tahminlerin elde edilmesini sağlayan ve her bir kümedeki medyan değerlerinin ölçülmesine dayanan bir yöntemdir.

McIntyre 1952 yılında meralardaki ortalama ürün miktarını tahmin etmek üzere, SKÖ'ni önermiştir [7]. Önerilen bu yöntemin teorisi ilk olarak Takahashi ve Wakimoto (1968) tarafından oluşturulmuştur [8]. SKÖ'de sıralama hatası durumu ise Dell ve Clutter (1972) tarafından incelenmiştir [9]. MacEachern ve diğ. (2002) ise SKÖ'de varyans tahmin edicisini önermişlerdir [10].

Muttalak (1997), tek modlu olan simetrik dağılımlarda yığın ortalamasını tahmin etmek ve SKÖ'de sıralama hatasını azaltmak için MSKÖ yöntemini önermiştir. Bu yöntem, özellikle normal dağılımda ortalamanın tahmininde SKÖ'ye göre daha etkin sonuçlar vermektedir [11]. Daha sonra Muttalak(1998) yığın ortalamasının regresyon tahmini için de MSKÖ'yü kullanmıştır [12]. Chen (2003), çeyrekliklerin tahmin edilmesinde SKÖ ve MSKÖ'yü kullanarak, MSKÖ ile bulunan tahmin edicilerin BTÖ ile bulunan tahmin edicilerden daha etkin olduğunu göstermiştir [13]. Jemain ve Al-Omari (2008), çok aşamalı MSKÖ' yü yığın ortalamasını tahmin etmekte kullanmışlardır [14]. SKÖ ve MSKÖ ile örnek seçimi yapılarak, normal ve üstel dağılıma sahip yığın ortalamasının hipotez testi Tseng ve Wu (2007) tarafından yapılmıştır [15]. Muttalak ve diğ. (2010), simetrik dağılımlarda yığın ortalamasını tahmin etmek için MSKÖ kullanarak shrinkage ve önsel test işlemine dayalı yeni bir tahmin metodu önermişlerdir [16]. Koyuncu (2018), bir ve iki yardımcı değişken kullanarak MSKÖ ve neoterik SKÖ'de yeni regresyon tahmin edicileri önermiştir [17]. Önerilen tahmin edicilerin SKÖ'ye göre daha etkin oldukları belirlenmiştir. Ebeğil ve diğ. (2021) regresyon analizinde çoklu bağlantı olması durumunda MSKÖ ile shrinkage tahmin edicilerini elde ederek, bu tahmin edicileri BTÖ ve SKÖ ile elde edilen tahmin edicilerle karşılaştırmışlardır [18]. Bunun sonucunda, MSKÖ kullanılarak bulunan shrinkage tahmin edicilerinin daha etkin sonuçlar verdiği gösterilmiştir. Ayrıca Koyuncu ve Al-Omari (2021), genelleştirilmiş sağlam regresyon tahmin edicilerini SKÖ ve MSKÖ altında incelemişlerdir [19].

Bu çalışmada, öncelikle shrinkage tahmin yöntemi tanıtılarak, normal dağılımın konum parametresi için shrinkage tahmin yöntemi ile elde edilen sapmalı tahmin ediciler SKÖ ve MSKÖ altında elde edilmiştir.

Daha sonra, bu tahmin edicilerin OHK'leri bulunarak, farklı durumlardaki değerlerini incelemek üzere simülasyon çalışması yapılmıştır. Simülasyon çalışması ile MSKÖ altında önerilen tahmin edicinin bilinen BTÖ ve SKÖ altında önerilen tahmin edicilere göre OHK'leri elde edilmiştir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Shrinkage tahmin yöntemi

Shrinkage tahmin yöntemi kullanılarak sapmalı ve daha küçük varyanslı yeni bir tahmin edici, parametre için daha önceden belirlenen sapmasız bir tahmin edicinin OHK'sinin shrinkage faktörü olarak adlandırılan c gibi bir sabitle çarpılması yardımıyla elde edilir [1]. Bu çalışmada ise, Thompson (1968) tarafından önerilen shrinkage tahmin yöntemi kullanılarak normal dağılımın konum parametresi için farklı shrinkage tahmin edicileri önerilmiştir.

Thompson (1968), yığın ortalamasının ENDOST'unu kullanarak, bir "önsel bilgi" doğrultusunda shrinkage tahmin edicisini elde etmiştir.

θ parametresi için, yeni bir shrinkage tahmin edicisi aşağıdaki gibi önerilmiştir [1, 2]. θ parametresi için, yeni bir shrinkage tahmin edicisi c sabiti ve dolayısıyla onun tahmin edicisi olan \hat{c} değeri ile aşağıdaki gibi elde edilir [1, 2].

$$\hat{\theta}_s = \hat{c}\hat{\theta} + (1 - \hat{c})\theta_0 \quad (1)$$

Burada c ve \hat{c} $[0, 1]$ arasında değer alır. $\hat{\theta}$, θ parametresinin tahmin edicisi ve θ_0 , θ parametresinin önsel değeridir. Eşitlik 1'de gerekli işlemler yapıldığında Eşitlik 2'ye ulaşılır.

$$\hat{\theta}_s = \hat{c}(\hat{\theta} - \theta_0) + \theta_0 \quad (2)$$

Yukarıda önerilen tahmin edicide yer alan c parametresi, OHK'yı en küçükleyecek şekilde belirlenir [1]. Buradan, $\hat{\theta}_s$ tahmin edicisine ait OHK aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\begin{aligned} E[c(\hat{\theta} - \theta_0) - (\theta - \theta_0)]^2 \\ = c^2[V(\hat{\theta}) + \{E(\hat{\theta} - \theta_0)\}^2] \\ - 2c(\theta - \theta_0)^2 + (\theta - \theta_0)^2 \end{aligned} \quad (3)$$

Eşitlik 3'ün c 'ye göre türevi alınıp sıfıra eşitlendiğinde, shrinkage faktörü aşağıdaki gibi elde edilir.

$$c = \frac{(\theta - \theta_0)^2}{V(\hat{\theta}) + (\theta - \theta_0)^2} \quad (4)$$

c shrinkage faktörünün,

$$\hat{c} = \frac{(\hat{\theta} - \theta_0)^2}{(\hat{\theta} - \theta_0)^2 + \widehat{Var}(\hat{\theta})} \quad (5)$$

şeklinde oluşturulan tahmin edicisi Eşitlik 2'de yerine yazıldığında Eşitlik 6'daki shrinkage tahmin edicisi elde edilir.

$$\hat{\theta}_s = \frac{(\hat{\theta} - \theta_0)^2}{(\hat{\theta} - \theta_0)^2 + \widehat{Var}(\hat{\theta})} (\hat{\theta} - \theta_0) + \theta_0 \quad (6)$$

Sonuç olarak, normal dağılımın μ parametresine için önerilen shrinkage tahmin edicisi, \bar{X} örnek ortalaması istatistiği ve $\hat{\theta} = \bar{X}$ olmak üzere, Eşitlik 7'deki gibi oluşturulabilir.

$$\hat{\mu}_s = \frac{(\bar{X} - \mu_0)^2}{(\bar{X} - \mu_0)^2 + s^2/n} (\bar{X} - \mu_0) + \mu_0 \quad (7)$$

2.1.1. Normal dağılımın μ parametresi için shrinkage tahmin edicisi

X rassal değişkeni ortalaması μ ve varyansı σ^2 olan normal dağılıma sahip olsun. μ parametresinin ENDOST'u örnek ortalaması istatistiği \bar{X} ' dir. Burada önsel bilgi $\mu_0 = 0$ olduğunda, μ parametresinin farklı bir tahmin edicisi $\hat{\mu} = c\bar{X}$ olarak ele alınabilir. Bu durumda risk fonksiyonu olarak kullanılan OHK' yi en küçükleyecek c değeri, Eşitlik 4' de gerekli işlemler yapıldığında Eşitlik 8' deki ifade elde edilir.

$$c = \frac{\mu^2}{\mu^2 + \sigma^2/n} \quad (8)$$

Sonuç olarak, μ parametresi için yeni bir tahmin edici,

$$\hat{\mu}_s = \frac{\mu^2}{\mu^2 + \sigma^2/n} \bar{X} \quad (9)$$

şeklinde elde edilir.

2.1.2. Normal dağılımın μ parametresinin shrinkage tahmin edicisi için OHK'nin elde edilmesi

Bu bölümde μ parametresine ilişkin shrinkage tahmin edicisinin OHK'sinin, μ parametresinin ENDOST'u olan örnek ortalaması \bar{X} 'nin OHK'sinden daha küçük olduğu gösterilmiştir. Shrinkage tahmin edicisinin OHK değeri Eşitlik 10'da verilmiştir.

$$OHK(c\bar{X}) = E(c\bar{X} - \mu)^2 \quad (10)$$

Eşitlik 8'deki c değeri OHK fonksiyonunda yerine yazıldığında,

$$OHK(c\bar{X}) = E(c\bar{X} - \mu)^2 = \frac{\mu^2 \sigma^2/n}{\mu^2 + \sigma^2/n} \quad (11)$$

sonucuna ulaşılır. $OHK(\bar{X}) = Var(\bar{X}) = \sigma^2/n$ olduğu bilinmektedir. Buradan hareketle, $OHK(c\bar{X}) \leq OHK(\bar{X})$ eşitsizliği yazılabilir.

c shrinkage faktörü hem μ parametresinin hem de σ^2 parametresinin bir fonksiyonudur. Bu nedenle hem μ hem de σ^2 yerine tahmin edicileri kullanılarak c shrinkage faktörünü tahmin etmek mümkündür. μ parametresi yerine örnek ortalaması istatistiği \bar{X} ve σ^2 parametresi yerine ise örnek varyansı istatistiği;

$$S^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \quad (12)$$

kullanılarak, c için bir tahmin elde edilebilir. Böylece;

$$\hat{\mu}_s = c\bar{X} = \frac{\bar{X}^2}{\bar{X}^2 + S^2/n} \bar{X} \quad (13)$$

ifadesine ulaşılır.

2.1.3. SKÖ altında normal dağılımın μ parametresinin shrinkage tahmin edicisine ilişkin OHK

SKÖ'de örnek seçim işlemi iki aşamada gerçekleştirilir. İlk aşamada rasgele örneğe seçilen m^2 birim, m çaplı m kümeye rasgele dağıtılarak, her bir küme içindeki birimler hassas olmayan ucuz ve kolay bir ölçümle sıralanır. Daha sonra, küme sırasına göre i' inci kümedeki i' inci sırada yer alan birim ölçüm için seçilir ($i = 1, 2, \dots, m$). Böylece m^2 büyüklüğündeki bir örnekten m adet birim seçilerek hassas ölçümleri yapılır. Bu işlem gerekli n örnek çapını elde etmek üzere r kez tekrarlanabilir ($n=mr$).

SKÖ altında yığın ortalaması μ' nün tahmin edicisi aşağıdaki gibi elde edilir.

$$\bar{X}_{SKÖ} = \frac{1}{mr} \sum_{j=1}^r \sum_{i=1}^m X_{i(i:m)j} \quad (14)$$

Burada, $X_{i(i:m)j}$ sıralamada hata yapılmadığı varsayımı altında, j' inci tekrarda m çaplı i' inci kümedeki i' inci sıra istatistiğini ($i = 1, 2, \dots, m$ ve $j = 1, 2, \dots, r$) ifade etmektedir. $i.$ sıra istatistiğinin ortalaması $\mu_{(i:m)}$ olmak üzere, $\bar{X}_{SKÖ}$ tahmin edicisinin varyansı

$$Var(\bar{X}_{SKÖ}) = \frac{\sigma^2}{rm} - \frac{1}{m^2 r} \sum_{i=1}^m (\mu_{(i:m)} - \mu)^2 \quad (15)$$

şeklinde elde edilir [20].

SKÖ'de konum parametresi μ için shrinkage tahmin yöntemine ilişkin OHK'yi elde etmek üzere, öncelikle μ parametresinin farklı bir tahmin edicisi $\hat{\mu} = c\bar{X}_{SKÖ}$ kullanılmıştır. Buradan, OHK'yi en küçükleyecek c değeri Eşitlik 16'daki gibidir.

$$c = \frac{\mu^2}{V(\bar{X}_{SKÖ}) + \mu^2} = \frac{\mu^2}{\sigma^2/n - \frac{1}{nm} \sum (\mu_{(i)} - \mu)^2 + \mu^2} \quad (16)$$

SKÖ ile Shrinkage tahmin edicinin OHK' sı Eşitlik 17'deki gibi ifade edilir

$$OHK(c\bar{X}_{SKÖ}) = E(c\bar{X}_{SKÖ} - \mu)^2 \quad (17)$$

Bu fonksiyonda c değeri yerine yazıldığında, Eşitlik 18 elde edilir.

$$\begin{aligned} OHK(c\bar{X}_{SKÖ}) &= E \left[\frac{\mu^2 \bar{X}_{SKÖ}}{\sigma^2/n - \frac{1}{nm} \sum (\mu_{(i)} - \mu)^2 + \mu^2} - \mu \right]^2 \\ &= c \left(\sigma^2/n - \frac{1}{nm} \sum (\mu_{(i)} - \mu)^2 \right) \\ &= cV(\bar{X}_{SKÖ}) \end{aligned} \quad (18)$$

Yani $0 < c \leq 1$ olmak üzere $OHK(c\bar{X}_{SKÖ}) = cV(\bar{X}_{SKÖ}) \leq OHK(c\bar{X})$ olacaktır [21].

SKÖ altında elde edilen shrinkage faktörleri;

$$\begin{aligned} S_1 &= c=1 \\ S_2 &= c = \mu^2 / (V(\bar{X}_{SKÖ}) + \mu^2) \\ S_3 &= \hat{c} = \mu^2 / (\hat{V}(\bar{X}_{SKÖ}) + \mu^2) \\ S_4 &= \hat{c} = \bar{X}_{SKÖ}^2 / (V(\bar{X}_{SKÖ}) + \bar{X}_{SKÖ}^2) \\ S_5 &= \hat{c} = \bar{X}_{SKÖ}^2 / (\hat{V}(\bar{X}_{SKÖ}) + \bar{X}_{SKÖ}^2) \end{aligned}$$

olarak tanımlanır.

2.1.4. MSKÖ altında shrinkage tahmin edicisi için OHK'nin elde edilmesi

MSKÖ ile örnek seçim işlemi örnek çapının tek ve çift olduğu durumlara göre değişkenlik göstermektedir. İlk aşamada rasgele örneğe seçilen m^2 birim, m çaplı

m kümeye rasgele dağıtılarak, her bir küme içindeki birimler hassas olmayan ucuz ve kolay bir ölçümle sıralanır. Örnek çapının tek olduğu durumda her bir kümedeki medyan değeri hassas ölçüm için seçilirken, örnek çapının çift olduğu durumda ilk $m/2$ kümedeki $(m/2)$. sıradaki birim ve geriye kalan $m/2$ kümedeki $[(m/2) + 1]$. sıradaki birim hassas ölçüm için çekilir. Bu işlemler r kez tekrarlanırsa, $n = mr$ gözlem birimi ilgilenilen değişkene göre hassas ölçüm için seçilmiş olur (Muttlak, 1997). m tek olduğu durumda yığın ortalamasının tahmin edicisi

$$\bar{X}_{MSKÖ} = \frac{1}{mr} \sum_{j=1}^r \sum_{i=1}^m X_{i(\frac{m+1}{2}:m)_j} \quad (19)$$

ve bu tahmin edicinin varyansı

$$Var(\bar{X}_{MSKÖ}) = \frac{1}{mr} \sigma^2 \binom{m+1}{2:m} \quad (20)$$

şeklinde oluşur.

m çift olduğu durumda ise yığın ortalamasının tahmin edicisi Eşitlik 21'deki gibi,

$$\bar{X}_{MSKÖ} = \frac{1}{mr} \sum_{j=1}^r \left[\sum_{i=1}^{\frac{m}{2}} X_{i(\frac{m}{2}:m)_j} + \sum_{i=(\frac{m}{2}+1)}^m X_{i(\frac{m}{2}+1:m)_j} \right] \quad (21)$$

ve bu tahmin edicinin varyansı ise

$$Var(\bar{X}_{MSKÖ}) = \frac{1}{2mr} \left[\sigma^2 \binom{m}{2:m} + \sigma^2 \binom{m}{2+1:m} \right] \quad (22)$$

olarak elde edilir.

μ parametresinin farklı bir tahmin edicisi $\hat{\mu} = c\bar{X}_{MSKÖ}$ olarak ele alınmıştır. Burada $0 < c \leq 1$ dir. Buradan, OHK' yi en küçükleyecek c değeri Eşitlik 23'deki gibi elde edilir.

$$c = \frac{\mu^2}{V(\bar{X}_{MSKÖ}) + \mu^2} \quad (23)$$

MSKÖ altında shrinkage tahmin edicisinin OHK' si Eşitlik 24'deki gibi elde edilir.

$$OHK(c\bar{X}_{MSKÖ}) = E(c\bar{X}_{MSKÖ} - \mu)^2 \quad (24)$$

Eşitlik 19'da verilen c değerinde m tek iken Eşitlik 20'de verilen varyans formülü yerine yazıldığında, OHK yi en küçükleyecek c değeri Eşitlik 25'deki gibi oluşur.

$$c = \frac{\mu^2}{\frac{1}{mr} \left(\sigma^2 \binom{m+1}{2:m} \right) + \mu^2} \quad (25)$$

m tek iken Eşitlik 25' deki c değeri Eşitlik 24' deki OHK fonksiyonunda yerine yazıldığında,

$$\begin{aligned}
 & OHK(c\bar{X}_{MSK\hat{O}}) \\
 &= E \left[\frac{\mu^2}{\frac{1}{mr} \left(\sigma^2 \left(\frac{m+1}{2}; m \right) \right) + \mu^2} \bar{X}_{MSK\hat{O}} - \mu \right]^2 \\
 &= c \left[\frac{1}{mr} \left(\sigma^2 \left(\frac{m+1}{2}; m \right) \right) \right] \\
 &= cVar(\bar{X}_{MSK\hat{O}})
 \end{aligned} \quad (26)$$

elde edilir.

Benzer şekilde, Eşitlik 23' de verilen c değerinde m çift iken Eşitlik 22'de verilen varyans formülü yerine yazıldığında, OHK yi en küçükleyecek c değeri Eşitlik 27' deki gibi oluşur.

$$c = \frac{\mu^2}{\frac{1}{2mr} \left(\sigma^2 \left(\frac{m}{2}; m \right) + \sigma^2 \left(\frac{m+1}{2}; m \right) \right) + \mu^2} \quad (27)$$

m çift iken Eşitlik 27' deki c değeri Eşitlik 26' daki OHK fonksiyonunda yerine yazıldığında;

$$\begin{aligned}
 & OHK(c\bar{X}_{MSK\hat{O}}) \\
 &= E \left[\frac{\mu^2 \cdot \bar{X}_{MSK\hat{O}}}{\frac{1}{2mr} \left(\sigma^2 \left(\frac{m}{2}; m \right) + \sigma^2 \left(\frac{m+1}{2}; m \right) \right) + \mu^2} - \mu \right]^2 \\
 &= c \left[\frac{1}{2mr} \left(\sigma^2 \left(\frac{m}{2}; m \right) + \sigma^2 \left(\frac{m+1}{2}; m \right) \right) \right] \\
 &= cVar(\bar{X}_{MSK\hat{O}})
 \end{aligned} \quad (28)$$

Eşitlik 28'deki sonuca ulaşılır.

Ayrıca MSKÖ altında elde edilen shrinkage faktörleri;

$$\begin{aligned}
 S_1 &= c = 1 \\
 S_2 &= c = \mu^2 / (V(\bar{X}_{MSK\hat{O}}) + \mu^2) \\
 S_3 &= \hat{c} = \mu^2 / (\hat{V}(\bar{X}_{MSK\hat{O}}) + \mu^2) \\
 S_4 &= \hat{c} = \bar{X}_{MSK\hat{O}}^2 / (V(\bar{X}_{MSK\hat{O}}) + \bar{X}_{MSK\hat{O}}^2) \\
 S_5 &= \hat{c} = \bar{X}_{MSK\hat{O}}^2 / (\hat{V}(\bar{X}_{MSK\hat{O}}) + \bar{X}_{MSK\hat{O}}^2)
 \end{aligned}$$

olarak tanımlanır.

3. Bulgular

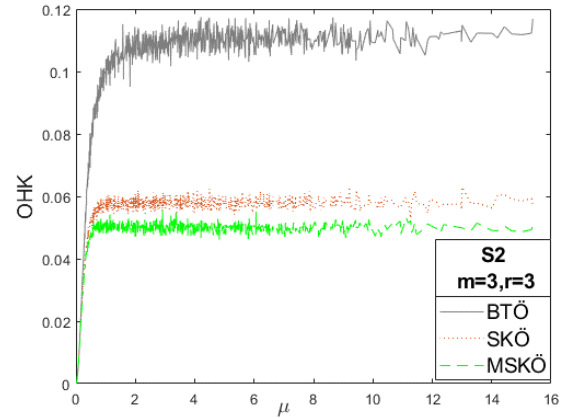
3.1. Simülasyon Çalışması

Bu bölümde, SKÖ ve MSKÖ yöntemleri altında elde edilmiş shrinkage tahmin edicileri ele alınmıştır.

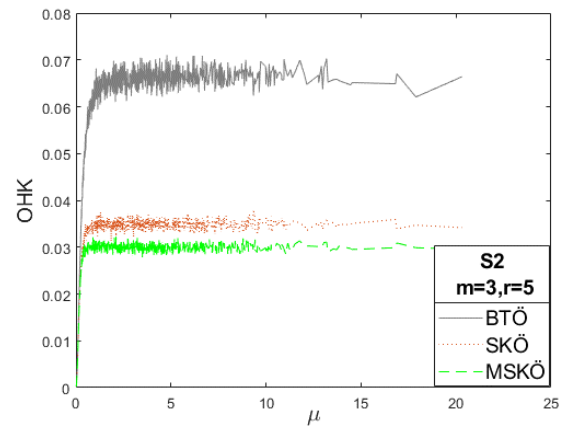
Monte Carlo simülasyon yöntemi kullanılarak, bu tahmin edicilerin BTÖ yöntemi altında elde edilmiş shrinkage tahmin edicisine göre etkinlikleri incelenmiştir. Standart Normal dağılımdan, küme sayısı $m=3,5,7$ ve tekrar sayısı $r=3,5,7$ olacak şekilde 3000 tekrarlı veri üretilmiştir. SKÖ, MSKÖ ve BTÖ yöntemleri altında bulunan tahmin edicilerin OHK değerleri aşağıdaki adımlar izlenerek hesaplanmıştır.

- 1) Belirlenen standart normal dağılım altında, BTÖ, SKÖ ve MSKÖ yöntemlerine uygun olacak şekilde belirlenen küme çapı ve tekrar sayısına göre tesadüfî olarak örnek birimleri üretilir.
- 2) Seçilen örneklerden yığın ortalamasına ilişkin shrinkage tahmin edicisi hesaplanır.
- 3) 1. ve 2. adım 3000 kez tekrarlanarak yığın ortalamasına ilişkin tahmin değerlerinin ortalama, varyans ve OHK değerleri hesaplanır.

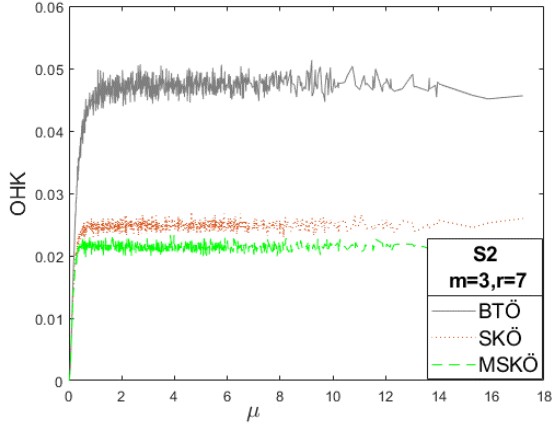
SKÖ, MSKÖ ve BTÖ yöntemleri ile normal dağılımın konum parametresi için elde edilen S2, S3, S4, S5 faktörlü shrinkage tahmin edicilerinin OHK değerleri Şekil 1-36 arasında gösterilmektedir.



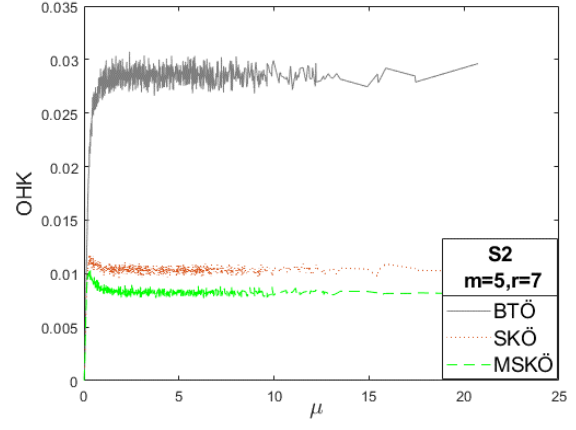
Şekil 1. BTÖ, SKÖ ve MSKÖ ile μ parametresi için elde edilen S2 faktörlü shrinkage tahmin edicilerinin $m=3, r=3$ iken OHK değerleri



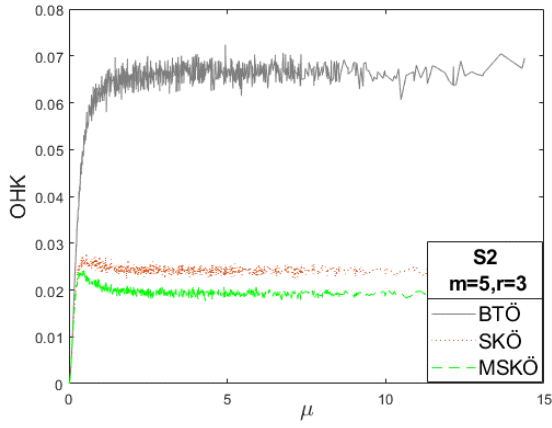
Şekil 2. BTÖ, SKÖ ve MSKÖ ile μ parametresi için elde edilen S2 faktörlü shrinkage tahmin edicilerinin $m=3, r=5$ iken OHK değerleri



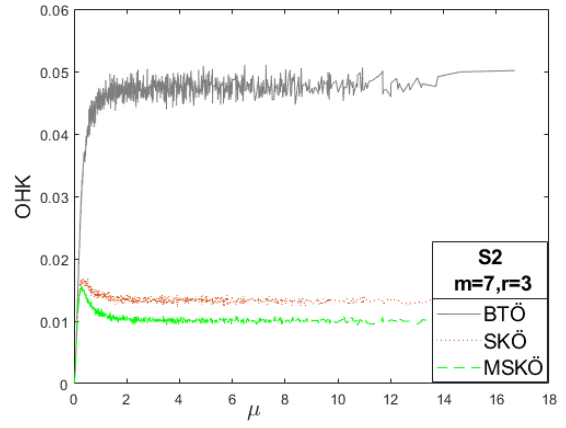
Şekil 3. BTÖ, SKÖ ve MSKÖ ile μ parametresi için elde edilen S2 faktörlü shrinkage tahmin edicilerinin $m=3, r=7$ iken OHK değerleri



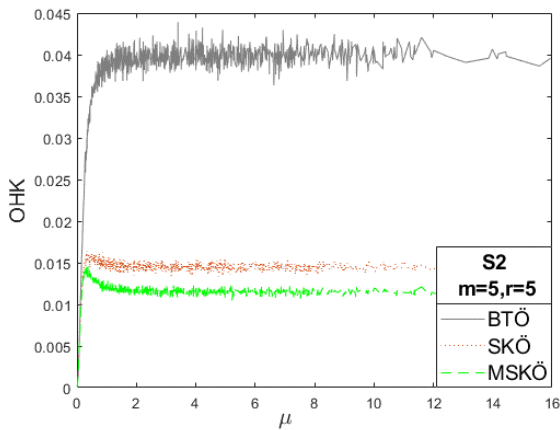
Şekil 6. BTÖ, SKÖ ve MSKÖ ile μ parametresi için elde edilen S2 faktörlü shrinkage tahmin edicilerinin $m=5, r=7$ iken OHK değerleri



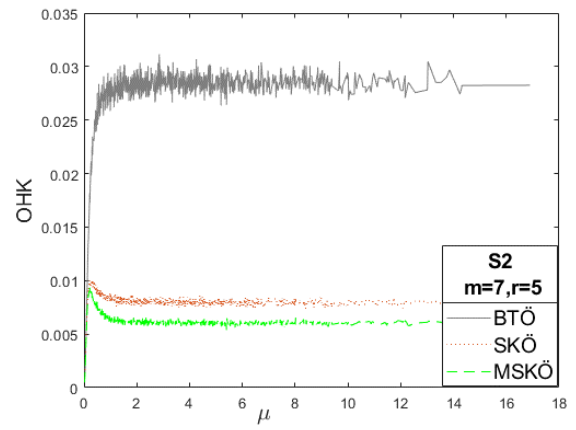
Şekil 4. BTÖ, SKÖ ve MSKÖ ile μ parametresi için elde edilen S2 faktörlü shrinkage tahmin edicilerinin $m=5, r=3$ iken OHK değerleri



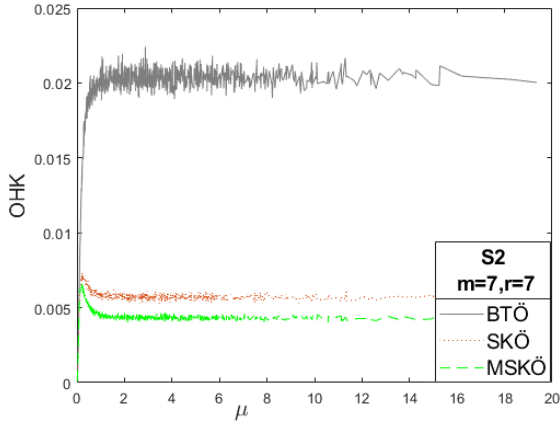
Şekil 7. BTÖ, SKÖ ve MSKÖ ile μ parametresi için elde edilen S2 faktörlü shrinkage tahmin edicilerinin $m=7, r=3$ iken OHK değerleri



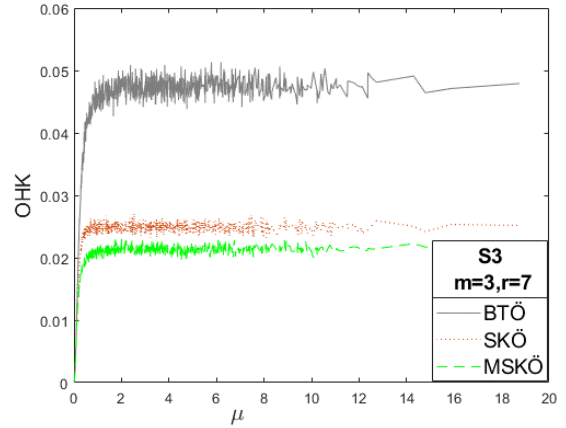
Şekil 5. BTÖ, SKÖ ve MSKÖ ile μ parametresi için elde edilen S2 faktörlü shrinkage tahmin edicilerinin $m=5, r=5$ iken OHK değerleri



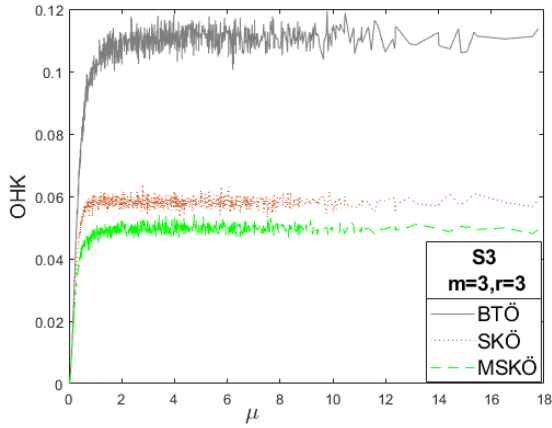
Şekil 8. BTÖ, SKÖ ve MSKÖ ile μ parametresi için elde edilen S2 faktörlü shrinkage tahmin edicilerinin $m=7, r=5$ iken OHK değerleri



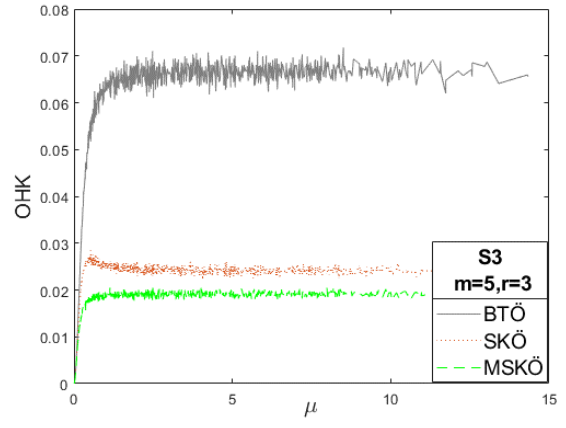
Şekil 9. BTÖ, SKÖ ve MSKÖ ile μ parametresi için elde edilen S2 faktörlü shrinkage tahmin edicilerinin $m=7, r=7$ iken OHK değerleri



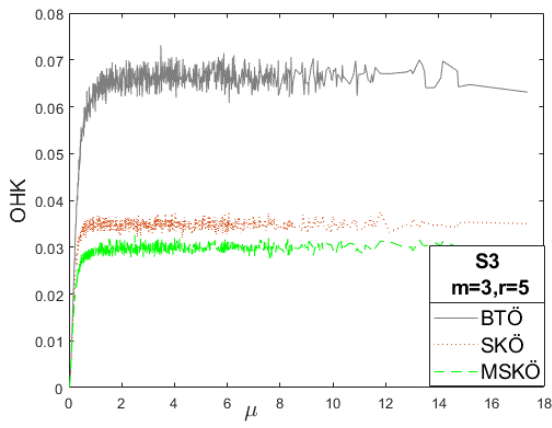
Şekil 12. BTÖ, SKÖ ve MSKÖ ile μ parametresi için elde edilen S3 faktörlü shrinkage tahmin edicilerinin $m=3, r=7$ iken OHK değerleri



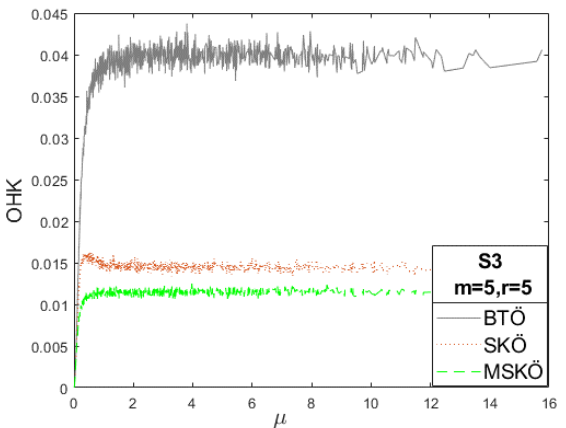
Şekil 10. BTÖ, SKÖ ve MSKÖ ile μ parametresi için elde edilen S3 faktörlü shrinkage tahmin edicilerinin $m=3, r=3$ iken OHK değerleri



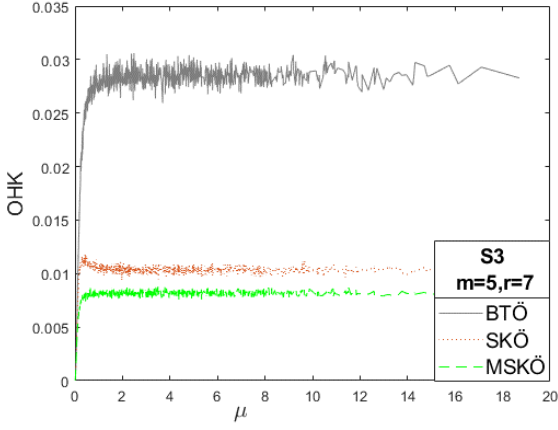
Şekil 13. BTÖ, SKÖ ve MSKÖ ile μ parametresi için elde edilen S3 faktörlü shrinkage tahmin edicilerinin $m=5, r=3$ iken OHK değerleri



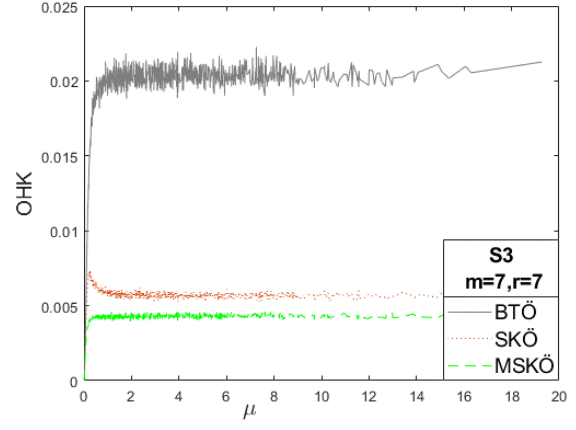
Şekil 11. BTÖ, SKÖ ve MSKÖ ile μ parametresi için elde edilen S3 faktörlü shrinkage tahmin edicilerinin $m=3, r=5$ iken OHK değerleri



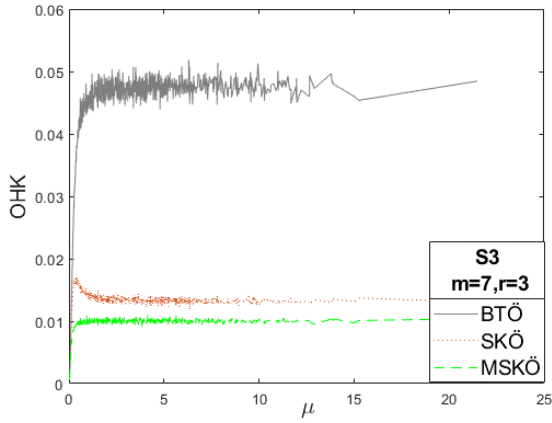
Şekil 14. BTÖ, SKÖ ve MSKÖ ile μ parametresi için elde edilen S3 faktörlü shrinkage tahmin edicilerinin $m=5, r=5$ iken OHK değerleri



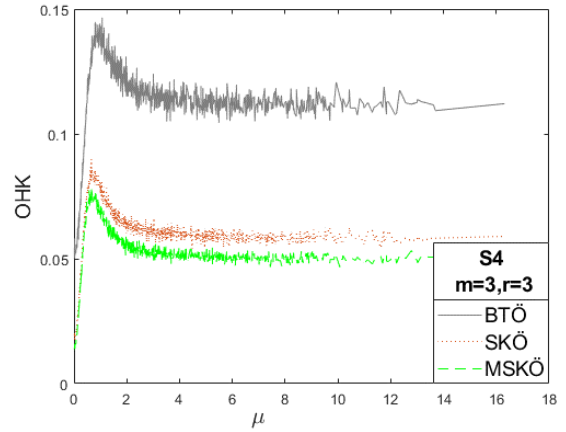
Şekil 15. BTÖ, SKÖ ve MSKÖ ile μ parametresi için elde edilen S3 faktörlü shrinkage tahmin edicilerinin $m=5, r=7$ iken OHK değerleri



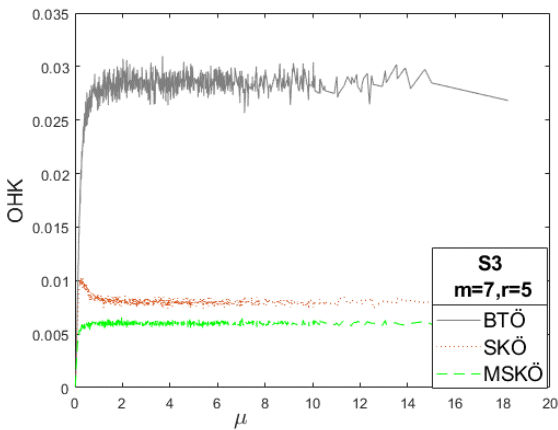
Şekil 18. BTÖ, SKÖ ve MSKÖ ile μ parametresi için elde edilen S3 faktörlü shrinkage tahmin edicilerinin $m=7, r=7$ iken OHK değerleri



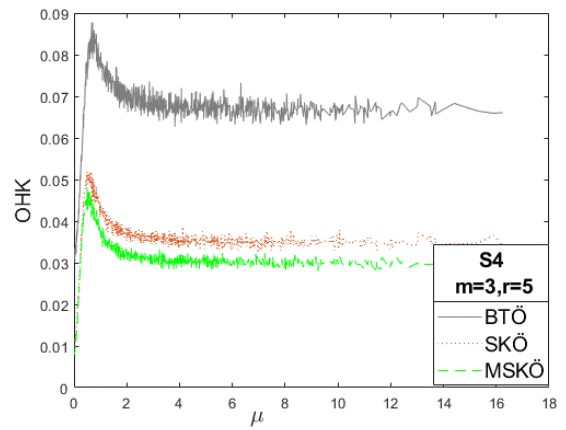
Şekil 16. BTÖ, SKÖ ve MSKÖ ile μ parametresi için elde edilen S3 faktörlü shrinkage tahmin edicilerinin $m=7, r=3$ iken OHK değerleri



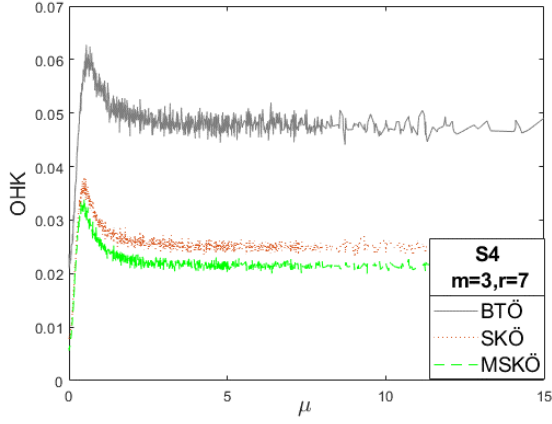
Şekil 19. BTÖ, SKÖ ve MSKÖ ile μ parametresi için elde edilen S4 faktörlü shrinkage tahmin edicilerinin $m=3, r=3$ iken OHK değerleri



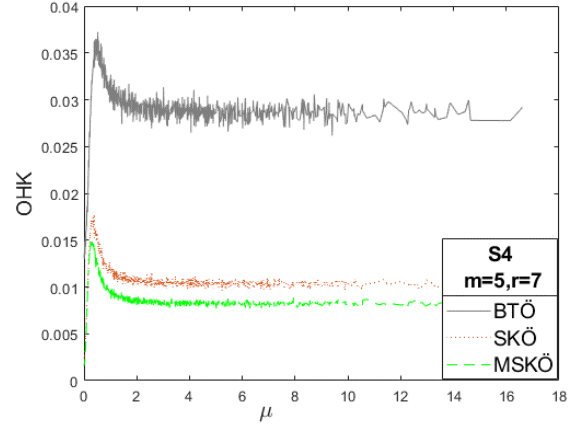
Şekil 17. BTÖ, SKÖ ve MSKÖ ile μ parametresi için elde edilen S3 faktörlü shrinkage tahmin edicilerinin $m=7, r=5$ iken OHK değerleri



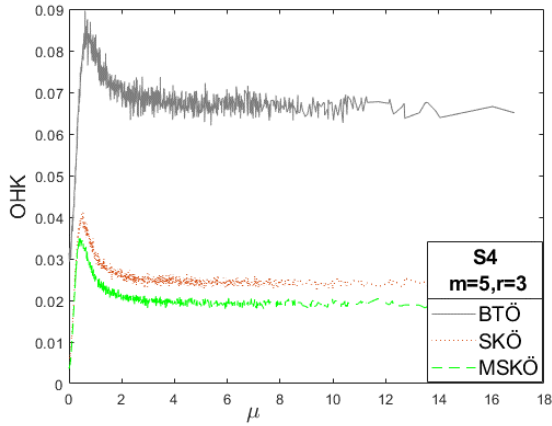
Şekil 20. BTÖ, SKÖ ve MSKÖ ile μ parametresi için elde edilen S4 faktörlü shrinkage tahmin edicilerinin $m=3, r=5$ iken OHK değerleri



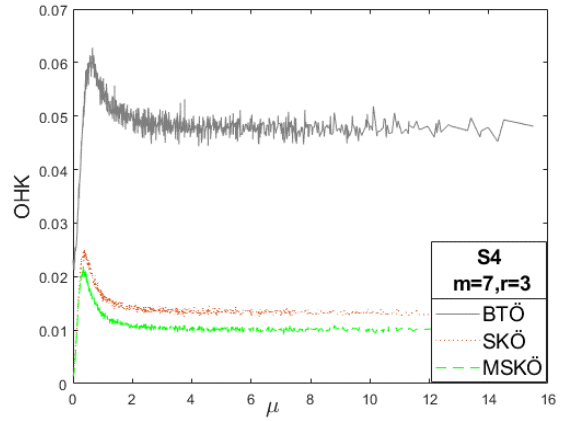
Şekil 21. BTÖ, SKÖ ve MSKÖ ile μ parametresi için elde edilen S4 faktörlü shrinkage tahmin edicilerinin $m=3, r=7$ iken OHK değerleri



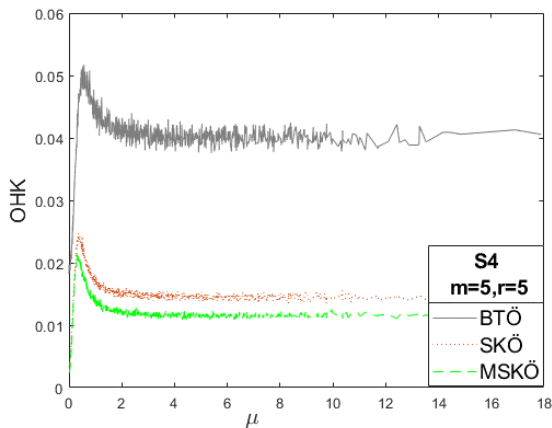
Şekil 24. BTÖ, SKÖ ve MSKÖ ile μ parametresi için elde edilen S4 faktörlü shrinkage tahmin edicilerinin $m=5, r=7$ iken OHK değerleri



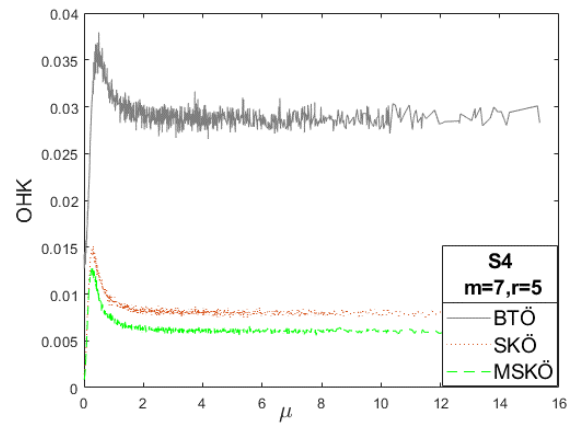
Şekil 22. BTÖ, SKÖ ve MSKÖ ile μ parametresi için elde edilen S4 faktörlü shrinkage tahmin edicilerinin $m=5, r=3$ iken OHK değerleri



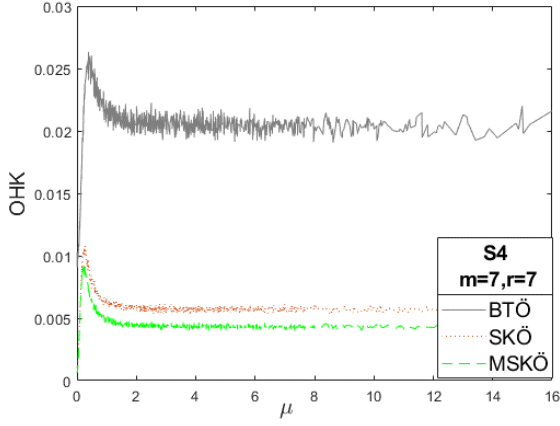
Şekil 25. BTÖ, SKÖ ve MSKÖ ile μ parametresi için elde edilen S4 faktörlü shrinkage tahmin edicilerinin $m=7, r=3$ iken OHK değerleri



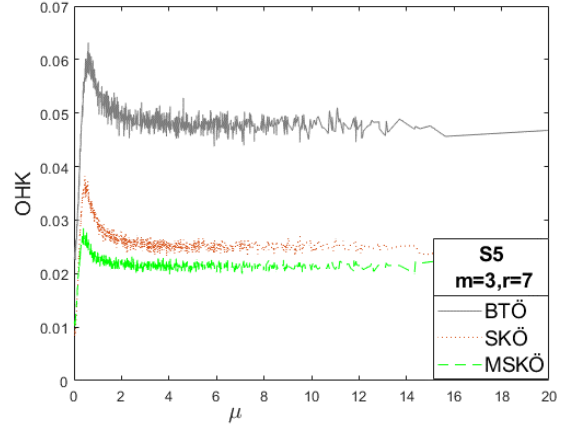
Şekil 23. BTÖ, SKÖ ve MSKÖ ile μ parametresi için elde edilen S4 faktörlü shrinkage tahmin edicilerinin $m=5, r=5$ iken OHK değerleri



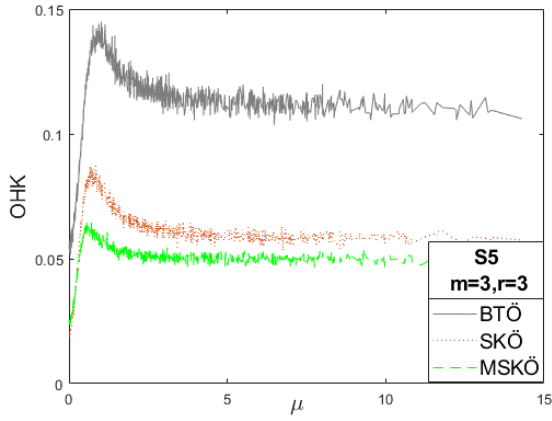
Şekil 26. BTÖ, SKÖ ve MSKÖ ile μ parametresi için elde edilen S4 faktörlü shrinkage tahmin edicilerinin $m=7, r=5$ iken OHK değerleri



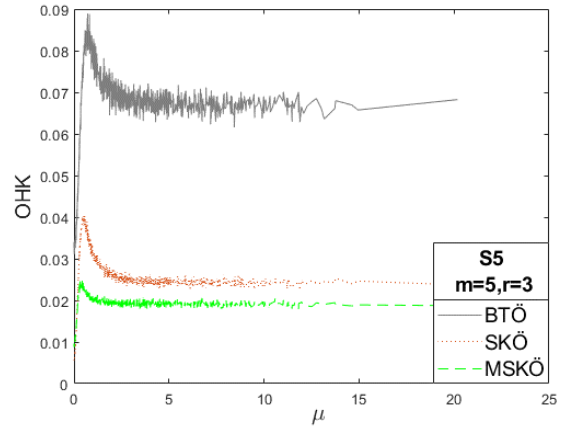
Şekil 27. BTÖ, SKÖ ve MSKÖ ile μ parametresi için elde edilen S4 faktörlü shrinkage tahmin edicilerinin $m=7, r=7$ iken OHK değerleri



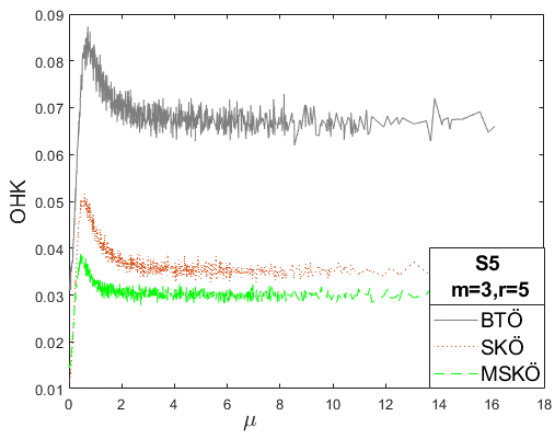
Şekil 30. BTÖ, SKÖ ve MSKÖ ile μ parametresi için elde edilen S5 faktörlü shrinkage tahmin edicilerinin $m=3, r=7$ iken OHK değerleri



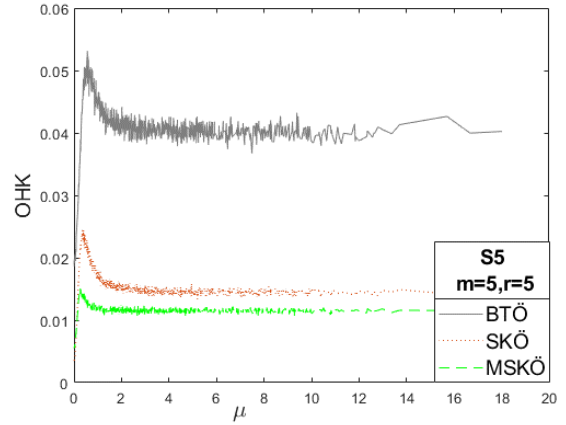
Şekil 28. BTÖ, SKÖ ve MSKÖ ile μ parametresi için elde edilen S5 faktörlü shrinkage tahmin edicilerinin $m=3, r=3$ iken OHK değerleri



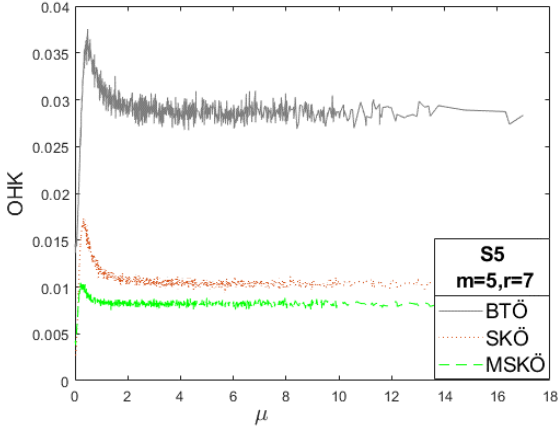
Şekil 31. BTÖ, SKÖ ve MSKÖ ile μ parametresi için elde edilen S5 faktörlü shrinkage tahmin edicilerinin $m=5, r=3$ iken OHK değerleri



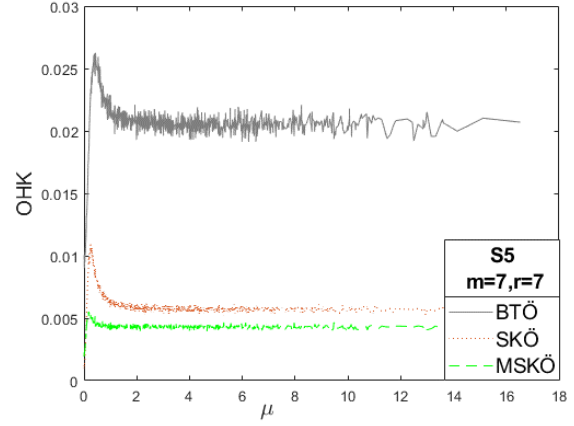
Şekil 29. BTÖ, SKÖ ve MSKÖ ile μ parametresi için elde edilen S5 faktörlü shrinkage tahmin edicilerinin $m=3, r=5$ iken OHK değerleri



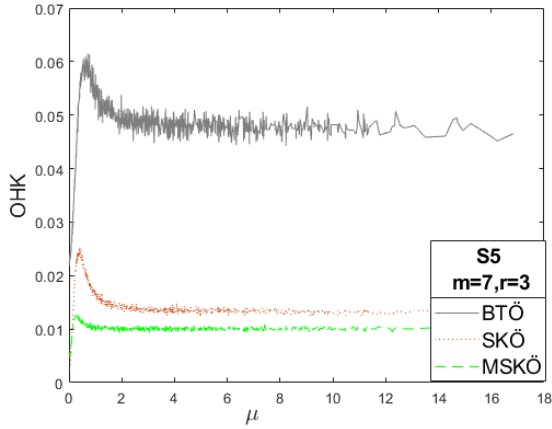
Şekil 32. BTÖ, SKÖ ve MSKÖ ile μ parametresi için elde edilen S5 faktörlü shrinkage tahmin edicilerinin $m=5, r=5$ iken OHK değerleri



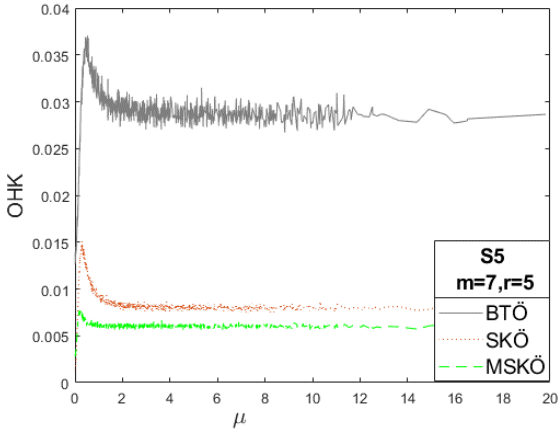
Şekil 33. BTÖ, SKÖ ve MSKÖ ile μ parametresi için elde edilen S5 faktörlü shrinkage tahmin edicilerinin $m=5, r=7$ iken OHK değerleri



Şekil 36. BTÖ, SKÖ ve MSKÖ ile μ parametresi için elde edilen S5 faktörlü shrinkage tahmin edicilerinin $m=7, r=7$ iken OHK değerleri



Şekil 34. BTÖ, SKÖ ve MSKÖ ile μ parametresi için elde edilen S5 faktörlü shrinkage tahmin edicilerinin $m=7, r=3$ iken OHK değerleri



Şekil 35. BTÖ, SKÖ ve MSKÖ ile μ parametresi için elde edilen S5 faktörlü shrinkage tahmin edicilerinin $m=7, r=5$ iken OHK değerleri

Küme çapı $m=3,5,7$ ve tekrar sayıları $r=3,5,7$ olmak üzere, tüm mümkün (m,r) değerleri için Şekil 1-9'da S2, Şekil 10-18'de S3, Şekil 19-27'de S4 ve Şekil 28-36'da S5 faktörlü shrinkage tahmin edicilerinin OHK değerleri verilmiştir. Tüm durumlar için MSKÖ altında önerilen tahmin edicinin SKÖ ve BTÖ'ye göre bulunan tahmin ediciden daha etkin olduğu görülmektedir. Bunun yanında, küme sayısı sabit kalırken tekrar sayısı arttıkça OHK değerleri incelenen tüm tahmin ediciler için azalmaktadır.

Örneğin Şekil 10'da, MSKÖ için elde edilen S3 faktörlü tahmin edicinin OHK değeri 0,05 civarında iken Şekil 12'den görüldüğü gibi küme sayısı $m=3$ sabit ve tekrar sayısı $r=7$ iken aynı tahmin edici için OHK 0,02 civarına düşmektedir. Benzer şekilde tekrar sayısı sabit kalırken küme çapı arttığında da OHK değeri azalmakta ve bu azalış tekrar sayısının arttığı durumdan daha fazla olmaktadır. Örneğin Şekil 10'da MSKÖ için elde edilen tahmin edicinin OHK değeri 0,05 civarında iken, Şekil 16'dan görüldüğü gibi aynı tahmin edici için OHK değeri 0,01 civarına düşmektedir. Genel olarak, küme sayısı ve tekrar sayısı arttıkça, incelenen tüm tahmin ediciler için OHK değeri azalmaktadır.

Ayrıca en etkin sonuç, $m=7, r=7$ iken elde edilmektedir. Bu küme çapı ve tekrar sayısı için S3 faktörlü MSKÖ yöntemi ile elde edilen shrinkage tahmin edicisinin diğer S faktörlerine göre daha düşük OHK değerleri verdiği Şekil 18'in Şekil 9, 27 ve 36 ile karşılaştırılması sonucunda açıkça görülmektedir.

4. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada, Thompson (1968,a) tarafından önerilen shrinkage tahmin edicisi dikkate alınarak, normal dağılımın konum parametresine ilişkin SKÖ ve MSKÖ altında shrinkage tahmin edicileri teorik olarak elde edilmiştir. Elde edilen tahmin ediciler, BTÖ yöntemi ile bulunan shrinkage tahmin edicileri ile OHK'ları bakımından Monte Carlo simülasyon çalışması yardımıyla karşılaştırılmıştır. Böylece, hangi örnekleme yöntemi altında elde edilen tahmin edicinin daha etkin olduğu tespit edilmeye çalışılmıştır.

Yapılan simülasyon çalışması sonucunda MSKÖ yöntemi kullanılarak elde edilen shrinkage tahmin edicisinin SKÖ ve BTÖ ile bulunan shrinkage tahmin edicilerine göre daha küçük OHK'lere sahip olduğundan dolayı daha etkin sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Bu nedenle, MSKÖ yönteminin shrinkage tahmin edicisini elde etmede SKÖ ve BTÖ yöntemine tercih edilebileceği sonucuna varılmıştır. Ayrıca aynı S faktörlü shrinkage tahmin edicisi için tekrar sayısı sabit kalıp küme sayısı arttıkça, OHK değerleri küme sayısının sabit kalıp tekrar sayısının arttığı durumdan daha fazla azalmaktadır. Bir diğer deyişle, küme sayısının artması, tahmin edicilerin etkinliğini arttırmada tekrar sayısından daha fazla rol oynamaktadır.

Etik Beyanı

Bu çalışmada, "Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesi" kapsamında uyulması gerekli tüm kurallara uyulduğunu, bahsi geçen yönergenin "Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiğine Aykırı Eylemler" başlığı altında belirtilen eylemlerden hiçbirinin gerçekleştirilmediğini taahhüt ederiz.

Kaynakça

- [1] Thompson, J. R. (1968). Some shrinkage techniques for estimating the mean. *Journal of the American Statistical Association*, 63(321), 113-122.
- [2] Mehta, J. S., & Srinivasan, R. (1971). Estimation of the mean by shrinkage to a point. *Journal of the American Statistical Association*, 66(333), 86-90.
- [3] Jani, P. N. (1991). A class of shrinkage estimators for the scale parameter of the exponential distribution. *IEEE Transactions on Reliability*, 40(1), 68-70.
- [4] Kourouklis, S. (1994). Estimation in the 2-parameter exponential distribution with prior information. *IEEE Transactions on Reliability*, 43(3), 446-450.
- [5] Özdemir, Ş. (2012). Shrinkage tahmin ediciler sınıfı üzerine bir çalışma. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 98s, Ankara.
- [6] Özdemir, Y. A. (2005). Sıralı Küme Örneklemesiyle Doğrusal Regresyon Modelinde Parametre Tahminlerinin İncelenmesi, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 186s, Ankara.
- [7] McIntyre, G. A. (1952). A method of unbiased selective sampling, using ranked sets. *Aust. J. Agric. Res.* 3, 385-90.
- [8] Takahasi, K., & Wakimoto, K. (1968). On unbiased estimates of the population mean based on the sample stratified by means of ordering. *Annals of the Institute of Statistical Mathematics*, 20(1), 1-31.
- [9] Dell, T. R., & Clutter, J. L. (1972). Ranked set sampling theory with order statistics background. *Biometrics*, 545-555.
- [10] MacEachern, S. N., Öztürk, Ö., Wolfe, D. A., & Stark, G. V. (2002). A new ranked set sample estimator of variance. *Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Statistical Methodology)*, 64(2), 177-188.
- [11] Muttlak, H. A. (1997). Median ranked set sampling. *J Appl Stat Sci*, 6, 245-255.
- [12] Muttlak, H. A. (1998). Median ranked set sampling with concomitant variables and a comparison with ranked set sampling and regression estimators. *Environmetrics: The official journal of the International Environmetrics Society*, 9(3), 255-267.
- [13] Chen, Z., Bai, Z., & Sinha, B. (2003). *Ranked set sampling: theory and applications* (Vol. 176). Springer Science & Business Media.
- [14] Jemain, A. A., Al-Omari, A., & Ibrahim, K. (2008). Some variations of ranked set sampling. *Electronic Journal of Applied Statistical Analysis*, 1(1), 1-15.
- [15] Tseng, Y., Wu, S., (2007). Ranked- Set- Sample-based Tests for Normal and Exponential Means. *Communication in Statistics: Simulation and Computation*.36: 761-782.
- [16] Muttlak, H. A., Ahmed, S. E., & Al-Momani, M. (2010). Shrinkage estimation in replicated median ranked set sampling. *Journal of Statistical Computation and Simulation*, 80(11), 1185-1196.
- [17] Koyuncu, N. (2018). Regression estimators in ranked set, median ranked set and neoteric ranked set sampling. *Pakistan Journal of Statistics and Operation Research*, 89-94.

- [18] Ebegil, M., Özdemir, Y. A., & Gökpınar, F. (2021). Some Shrinkage estimators based on median ranked set sampling. *Journal of Applied Statistics*, 1-26.
- [19] Koyuncu, N., & Al-Omari, A. I. (2021). Generalized robust-regression-type estimators under different ranked set sampling. *Mathematical Sciences*, 15(1), 29-40.
- [20] Özdemir, Y. A., Ebegil, M. and Gökpınar, F. (2017). A test statistic based on ranked set sampling for two normal means. *Communications in Statistics-Simulation and Computation*, 46(10), 8077-8085.
- [21] Gürsoy, K. (2019), Medyan sıralı küme örneklemesi kullanılarak shrinkage tahmini, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 98s, Ankara.

A Heterocyclic Compound Hispidulin: Theoretical Investigation by DFT/TD-DFT Methods and Molecular Docking Studies

Ahmet Çağrı ATA¹, Ashlan Aycan TANRIVERDİ¹, Ümit YILDIKO², İsmail ÇAKMAK³

¹Kafkas University, Institute of Science and Technology, Department of Chemistry, 36100, Kars, Türkiye

²Kafkas University, Faculty of Engineering – Architecture, Department of Bioengineering, 36100, Kars, Türkiye

³Kafkas University, Faculty of Arts and Sciences, Department of Chemistry, 36100, Kars, Türkiye

(Alınış / Received: 04.06.2022, Kabul / Accepted: 09.10.2022, Online Yayınlanma / Published Online: 20.12.2022)

Keywords

Hispidulin,
DFT,
TD-DFT,
Molecular Docking

Abstract: Flavonoids are polyphenolic plant secondary metabolites with biological properties including Alzheimer's disease (AD) inhibition activities. Numerous studies have been conducted on naturally occurring flavonoids modified to obtain effective drugs for the management of AD. In this study, DFT/B3PW91, TD-DFT/B3LYP methods of target molecule hispidulin 4',5,7-Trihydroxy-6-Methoxyflavone (THMF) and LANL2DZ (d,p), 6-311G (d,p) basic HOMO-LUMO energy calculations, optimized molecular geometry, molecular electrostatic potential surface (MEPS), non-linear optics (NLO), charge transfer within the molecule and mulliken atomic charges structure were determined and the results were displayed. Moreover the identification of the mechanism of action of the tested compound based on the structure-activity relationship with the molecular docking process is to provide important information to be considered for further research, and thus to design new, more efficient and selective systems.

Bir Heterosiklik Bileşik Hispidulin: DFT/TD-DFT Metotları ile Teorik Olarak İncelenmesi ve Moleküler Yerleştirme Çalışmaları

Anahtar Kelimeler

Hispidulin,
DFT,
TD-DFT,
Moleküler Yerleştirme

Öz: Flavonoidler, Alzheimer hastalığı (AD) inhibisyon aktiviteleri de dahil olmak üzere biyolojik özelliklere sahip polifenolik bitki ikincil metabolitleridir. AH yönetimi için etkili ilaçlar elde etmek için modifiye edilmiş doğal olarak oluşan flavonoidler üzerinde çok sayıda araştırma yapılmıştır. Bu çalışmada, hedef molekül hispidulin 4',5,7-Trihidroksi-6-Metoksiflavon (THMF)'in DFT/B3PW91, TD-DFT/B3LYP yöntemleri ve LANL2DZ (d,p), 6-311G (d,p) temel setleri kullanılarak HOMO-LUMO enerji hesaplamaları, optimize edilmiş moleküler geometri, moleküler elektrostatik potansiyel yüzey (MEPS), doğrusal olmayan optik (NLO), molekül içindeki yük transferi ve mulliken atomik yükleri yapısı belirlendi ve sonuçlar görüntülendi. Ayrıca, moleküler yerleştirme işlemiyle yapı-aktivite ilişkisine dayalı olarak test edilen bileşiğin etki mekanizmasının tanımlanması, daha sonraki araştırmalar için dikkate alınması gereken önemli bilgiler sağlamak ve bu sayede yeni, daha verimli ve seçici sistemleri tasarlamaktır.

1. Introduction

Alzheimer's disease (AD) is classically the most common type of dementia, a multifaceted neurodegenerative disease with typical cognitive symptoms and neuroanatomical changes. AD, the most common neurodegenerative brain disease causes dementia and death in the elderly population [1,2]. The preliminary studies have demonstrated beneficial effects of flavone-based compounds in various cell cultures against AD [3]. Flavonoids are polyphenolic heterocyclic compounds found in abundance in plants.

Flavonoids are an important class of heterocyclic natural organic compounds. Hispidulin which has AD activity is a natural flavone. Today, natural products are gaining more and more attention due to their AD activity and low toxicity. Hispidulin, a natural flavone; It has many biological activities such as antiplatelet, anticonvulsant, anti-inflammatory, antifungal and anti-osteoporotic, especially in AD [4]. Based on the available literature, it can be seen that hispidulin is an important complementary medicine for the treatment and prevention of AD [5].

* Corresponding author: ahmetata1024@gmail.com

In addition to experimental studies involving the effects of flavonoids in AD, the well-known electronic structure principle is of great importance in the development of drugs. For this purpose, DFT / TD-DFT should be considered as powerful tools. Theoretical tools such as DFT and molecular docking provide important information about the AD behavior and drug properties of molecular systems. Theoretical tools such as DFT and molecular docking provide useful information about drug properties of molecular systems. The electronic parameters of this molecule depend on the charge distribution on the hispidulin molecular rings. The electronic properties of naturally occurring flavonoids such as hispidulin were investigated based on quantum chemical calculations. The electronic properties of hispidulin, a natural flavonoid were investigated according to quantum chemical calculations [6].

In the field of new applications, we predicted the drug design of hispidulin as a research on this subject. Pharmaceutical technology allows the use of hispidulin in many fields such as nonlinear optics and energy storage. There are theoretical computational studies to investigate the electronic parameter properties of the conjugated π system (HOMO-LUMO, stimulation energies) [7-10] in the hispidulin compound. DFT and TD-DFT methods are the leading methods used in modeling the molecule in hispidulin compound [11]. Molecular docking, binding mechanism of ligand-protein interactions was carried out.

2. Material and Method

2.1. Computer calculations for DFT/TD-DFT methods

Quantum calculations were made for the structural and chemical properties of hispidulin using DFT and TD-DFT methods. All quantum chemical calculations of the molecule were determined using DFT/TD-DFT methods, B3PW91 / LANL2DZ (d, p) and B3LYP /6-311G (d, p) basic set and Gaussian 09 package program [12] and its electronics, geometry and structural properties were determined. The plotted molecule data was displayed in GaussView 6.0 [13].

2.2. Computer simulations for molecular docking

Molecular docking study for ligand-enzyme interactions and the compound's potential to bind to protein as an inhibitor was performed with Schrödinger's Maestro Molecular Modeling platform (version 11.8) (The Ligand-protein docking approach was realized with the glide docking module) [14]. The crystal structures of β -Secretase 1 (BACE-1) (PDB:4FM7), glutaminyl cyclase (QC) (PDB: 6Y11) enzymes were downloaded from PDB database [15,16]. Preparation and ligand docking placement studies were carried out using ligprep module, protein

prep, receptor grid box modules. Inhibition performance, docking score, and binding conformations were determined. Docking study results were visualized with the Discovery Studio 2016 client (Visualizer 2005) [17].

3. Results

3.1. Geometry optimization

It is a variable function consisting of parameters in a molecular system, and this function is called Potential Energy Surface (PES). PES has many maximum and minimum points [18]. Geometry optimization is the state of the molecule where the energy is minimum and most stable. The optimized geometric structure of hispidulin is given in Figure 1.

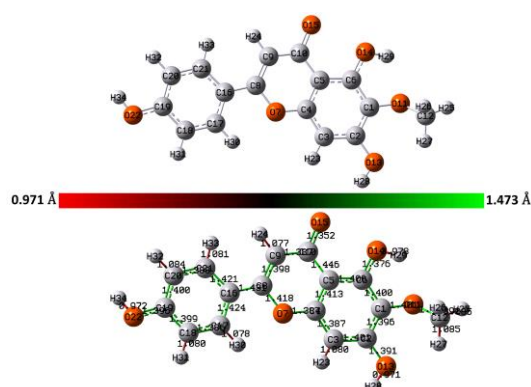


Figure 1. Optimized molecular structure of hispidulin.

Optimizations and energy calculations were made separately in a single calculation with the same basis set. Its optimized structure for the hispidulin molecule is shown in Figure 1 and all parameters are listed in Table 1. Here there are very minor differences between the B3PW91 / LANL2DZ (d, p) and B3LYP /6-311G (d, p) base set values. This optimized structure showed that it has minimum potential energy. It was studied by comparing two optimized base sets of hispidulin. The optimized bond lengths and bond angles obtained in the aromatic ring are within normal values. C-C bond lengths for B3LYP are 1.385 – 1.446 Å and C-O bond lengths for B3PW91 are 0.975 – 1.467 Å and for the oxygen atom in the aromatic ring 1.386 – 1.410 Å. C-H lengths in the aromatic ring 1.080 – 1.084 Å. All C-C-C angles are between 117° and 122°. The C-C-H angle in the compound is 119° - 121°, C-C-O 117° - 122° and O-C-H 104-110°.

3.2. Molecular reactivity analyzes

The DFT method offers important information in investigating the structural properties of the molecule. The position and energy of the HOMO-LUMO orbitals of the molecule are vital in reactivity, and active sites based on electron exchange are involved in reactions. [19]. The HOMO orbitals of the hispidulin molecule are located in the benzene part of the molecule, while the LUMO orbitals are located in the aromatic region of the

Table 1. The theoretically obtained some parameters and values of hispidulin molecule.

Atom Groups	Bond Lengths (Å)		Atom Groups	Bond Angles (°)	
	B3PW91	B3LYP		B3PW91	B3LYP
C1-C2	1.40	1.39	C1-C2-C3	119.96	120.17
C1-C6	1.41	1.39	C1-C2-O13	117.54	117.58
C1-O11	1.40	1.40	C1-C6-C5	121.32	121.46
C2-C3	1.39	1.40	C2-C3-C4	118.85	119.35
C2-O13	1.38	1.39	C2-C1-C6	120.17	119.70
C3-C4	1.39	1.38	C2-C3-H23	121.95	121.58
C3-H23	1.08	1.08	C2-O13-H28	112.13	111.89
C4-C5	1.41	1.41	C3-C2-O13	122.48	122.23
C4-O7	1.39	1.38	C4-C5-C6	116.12	117.15
C5-C6	1.41	1.40	C4-C3-H23	119.18	119.06
C5-C10	1.48	1.44	O7-C8-C9	120.11	117.97
C6-O14	1.36	1.37	O7-C8-C16	112.20	113.57
O7-C8	1.39	1.41	C8-C9-C10	123.77	122.38
C8-C9	1.36	1.39	C8-C9-H24	120.69	119.13
C8-C16	1.47	1.43	O11-C12-H25	105.24	104.93
C9-C10	1.46	1.38	O11-C12-H26	110.35	110.20
O11-C12	1.46	1.47	C16-C21-H33	120.44	120.31
C12-H25	1.09	1.08	C17-C18-C19	119.68	120.18
C12-H26	1.09	1.09	C17-C18-H31	121.42	121.20
C12-H27	1.09	1.08	C18-C19-O22	116.98	117.11
O13-H28	0.97	0.97	C19-C20-C21	119.71	120.15
O14-H29	0.98	0.97	C19-C18-H31	118.88	118.61
C16-C17	1.41	1.42	C19-O22-H34	112.59	111.85
C16-C21	1.41	1.42	C19-C20-H32	120.46	120.16
C18-C19	1.40	1.39	C20-C21-H33	118.51	118.45
C18-H31	1.08	1.08	C20-C19-O22	122.88	122.96
C19-C20	1.40	1.39	C21-C20-H32	119.82	119.68

Atom Groups	Dihedral Angles (°)		Atom Groups	Dihedral Angles (°)	
	B3PW91	B3LYP		B3PW91	B3LYP
C1-C2-C3-C4	1.29	1.47	C5-C6-O14-H29	-176.58	-175.67
C1-C2-O13-H28	-176.05	-177.53	C18-C19-C20-C21	-0.005	0.01
C3-C4-O7-C8	-179.40	-179.66	H30-C17-C18-H31	0.01	0.005
O7-C8-C9-H24	-179.80	179.85	H32-C20-C21-H33	-0.05	0.01
C1-O11-C12-H27	65.25	100.68	C18-C19-O22-H34	-179.92	-179.90

Table 2. Calculated global chemical reactivity parameters of hispidulin molecule.

	E_{HOMO}	E_{LUMO}	ΔE	I	A	η	s	μ	χ	ω
B3PW91	-6.1956	-1.9717	4.2239	6.1956	1.9717	2.1119	1.0559	-4.0836	4.0836	3.9480
B3LYP	-5.8911	-2.2610	3.6301	5.8911	2.2610	1.8150	0.9075	-4.0760	4.0760	4.5767

*IP: Ionization Potential ($-E_{\text{HOMO}}$); EA: Electron Affinity ($-E_{\text{LUMO}}$); ΔE : Energy Gap, χ : Electronegativity; η : Chemical Softness; δ : Chemical Hardness; ω : Electrophilicity Index

Table 3. For the hispidulin compound; calculated dipole moments (μ), polarizability (α) and initial hyperpolarizability (β) components.

Parameter	B3PW91	B3LYP	Parameter	B3PW91	B3LYP
μ_x	-1.7021	-2.3754	β_{xxx}	-32.9209	-38.1515
μ_y	-5.2213	-5.3701	β_{xyy}	86.6308	85.7021
μ_z	1.1592	1.1692	β_{xyx}	-2.1561	-0.7157
$\mu(D)$	5.6128	5.9873	β_{yyy}	-126.3533	-121.5803
α_{xx}	-88.7194	-88.9430	β_{xxz}	47.0164	46.6971
α_{yy}	-129.3166	-131.6313	β_{xyz}	-5.7841	-5.9735
α_{zz}	-130.1194	-130.6571	β_{yyz}	-4.5679	-3.6232
α_{xy}	-25.9039	-25.2835	β_{xzz}	24.5948	22.8018
α_{xz}	7.1129	6.4845	β_{yzz}	0.8623	0.7933
α_{yz}	0.0039	0.1898	β_{zzz}	1.0215	0.3141
α (au)	-116.0518	-117.0771	β (esu)	5.9×10^{-31}	5.8×10^{-31}

molecule. These results mean that molecules perform electron acceptor through aromatic, while electron donor via benzene. The localized state of the HOMO-LUMO energies for the hispidulin molecule is given in Figure 2. The HOMO and LUMO values of hispidulin obtained using DFT / TD-DFT methods are -6.1956 -

1.9717 eV and -5.8911 - -2.2610 eV, respectively. HOMO-LUMO orbitals play an important role in the chemical behavior and reactivity of the molecule.

Global reactivity descriptors are criteria used in the reactivity of the molecule, including many parameters

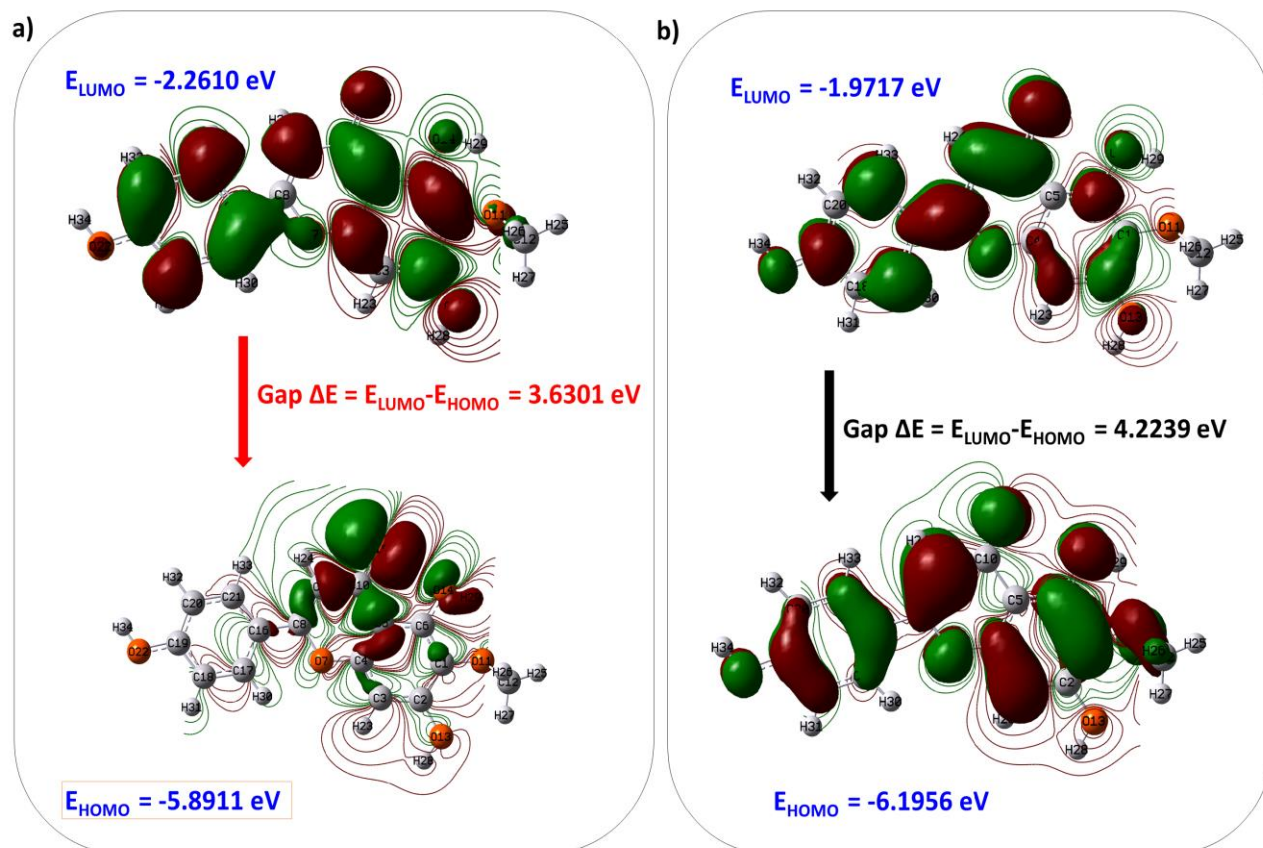


Figure 2. HOMO-LUMO energy diagrams of Hispidulin

such as IP, ΔE and χ . Chemical reactivity indices are given in Table 2.

The dipole moment, an important property of the molecule, is the energy between structural strength and chemical reactivity [20].

The dipole moment, polarizability (α) and first hyperpolarizability (β) calculations of the hispidulin molecule are given in Table 3.

3.3. Molecular electrostatic potential surface (MEPS)

MEPS is a powerful tool that provides information about a molecule's electrostatic potential, electronegativity, and partial charges on different atoms. The MEPS map shows many reactive regions of the compound, such as shape, size, and identifies these areas with color codes [18]. The surface map is defined by colors ranging from red to blue, that is, from electron-rich to lesser regions [21].

In the MEPS map of Hispidulin, the red colored parts are concentrated around the negative electrostatic potential regions of the oxygen atoms, while the blue colored parts are concentrated around the positive electrostatic potential regions of the carbon and hydrogen atoms (Figure 3).

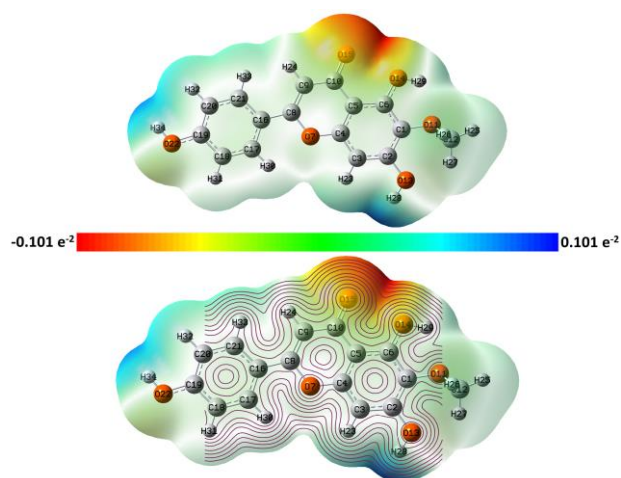


Figure 3. MEPS mappings for hispidulin

3.4. Mulliken atomik charges

Mulliken atomic charges depend on the electronic charge on the atoms forming the bonding ability of a molecule and play an important role in characterizing the electronic charge distribution in the molecule [22]. Mulliken atoms of hispidulin have been calculated using LANL2DZ (d, p) and 6-311G (d, p) basis sets. The charge distribution of carbon and oxygen atoms in the hispidulin molecule calculated by the DFT / TD-DFT method is directly observed in Figure 4 with the color of the spheres. (color index and range given),

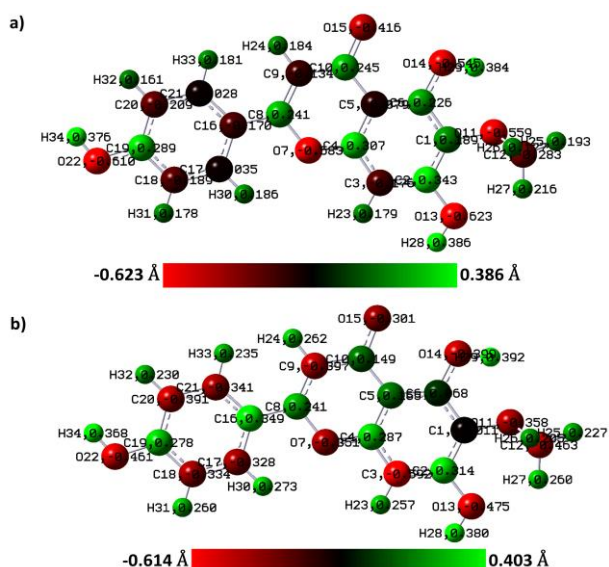


Figure 4. The Mulliken atomic charges in DFT/TD-DFT optimized geometry of hispidulin.

3.5. Molecular docking studies

Molecular docking is essential to investigate the ligand-receptor interaction mechanism and to understand their binding states. [23]. The enzyme structure was added with codes from the Research Collaboratory for Structural Bioinformatics (RCSB) protein database (PDB). ([http // www.rcsb.org/pdb](http://www.rcsb.org/pdb)). [24] While dementia is currently diagnosed in more than 50 million people worldwide, it is estimated to increase to over 150 million by 2050 [25].

Post-mortem analyzes of AD patient brains revealed that amyloidogenic plaques are composed of N-

terminal modified A β peptides that are highly inhibited due to cyclization of glutamate residues that make up each part of a pyroglutamic acid. [25].

They are amyloid- β (A β) peptides and are insoluble. In the hypothesis, elevated A β production and reduced clearance are a molecular problem and cause AD. There is proteolytic cleavage within the endosome mediated by the β -domain of amyloid precursor protein (APP), β -Secretase 1 (BACE-1). Characterization in in vitro studies expressed the enzyme BACE-1, which is the rate limiter for the production of A β peptides and a good choice for inhibition of AD [26].

The formation of pyroglutamic acid (pGlu) of A β peptides is catalyzed enzymatically (in the pathophysiological side reaction of monoZn(II)). According to the literature, gastrin or orexin in the secretory pathway is part of hormone maturation, namely glutaminyl cyclase (QC), the neurotensin enzyme that is physiologically amenable to peptides. It is speculated that overexpression of QC is what causes the increased formation of toxic A β peptide species. To reduce cellular toxicity, QC needs to be lowered or inhibited. That is, human QC plays a vital role in the pathogenesis of AD in the early onset steps. Hence, it is presented as a meet the expectation drug candidate in the quest to reduce aging [25].

In fact, molecular docking was applied here to find preferred binding sites of ligands with the receptor. This practice has adequately validated empirical research. The interaction of 3D (Figure 6) and 2D (Figure 5a) is shown as a result of the hispidulin - BACE-1 molecular docking study. The glide score for

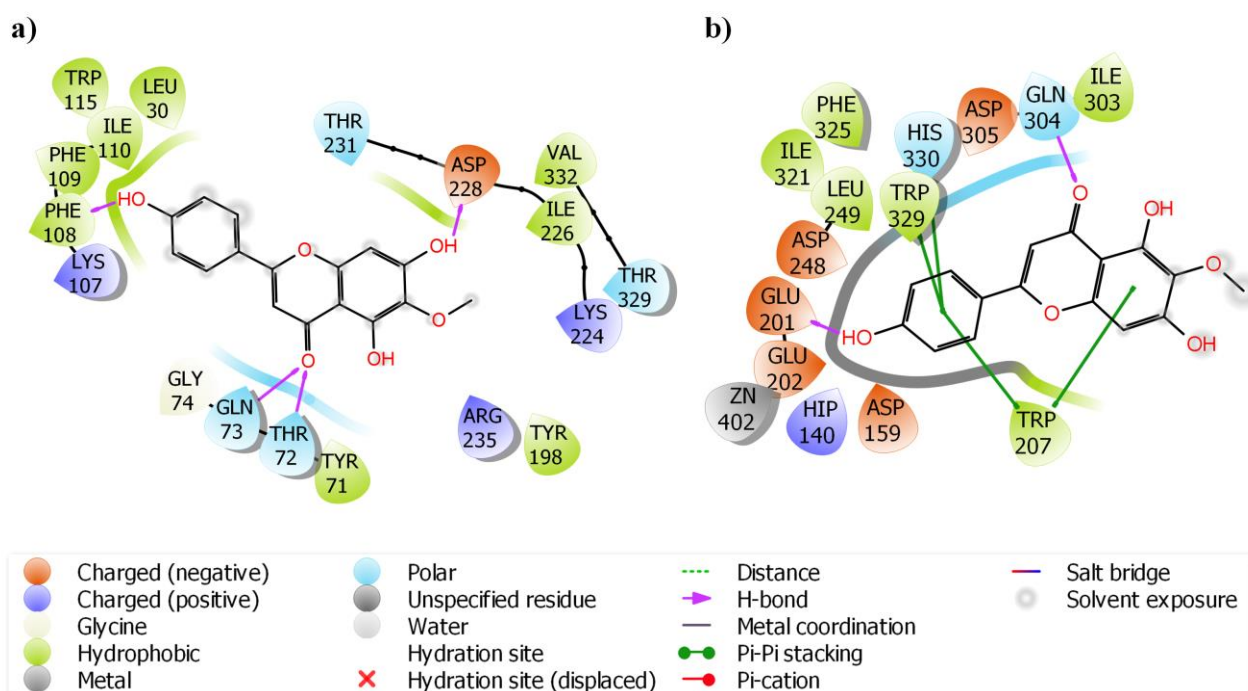


Figure 5. 2D view of a) Hispidulin - BACE-1 and b) Hispidulin - QC enzyme interactions.

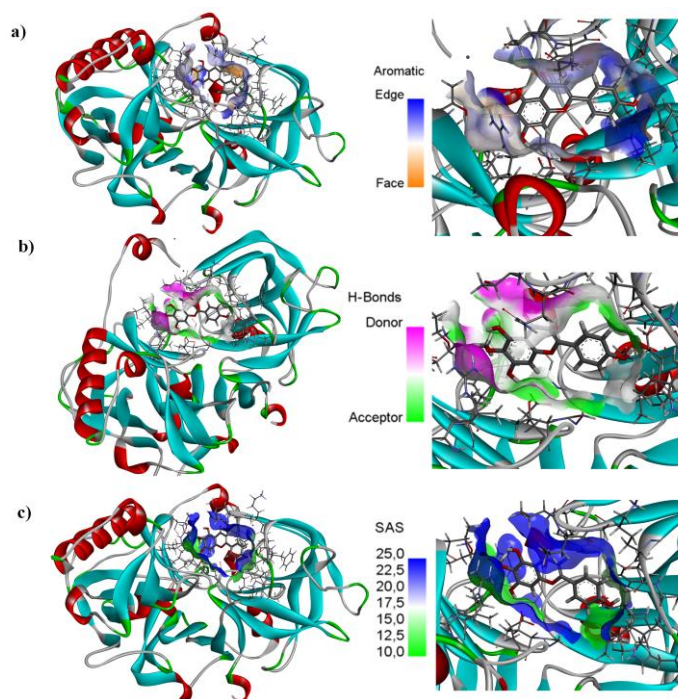


Figure 6. a) 3D view of the aromatic surface on the receptor b) 3D view of hydrogen bond donor/acceptor surface on the receptor and c) 3D view of the SAS surface on the receptor of hispidulin-BACE-1 enzyme interactions.

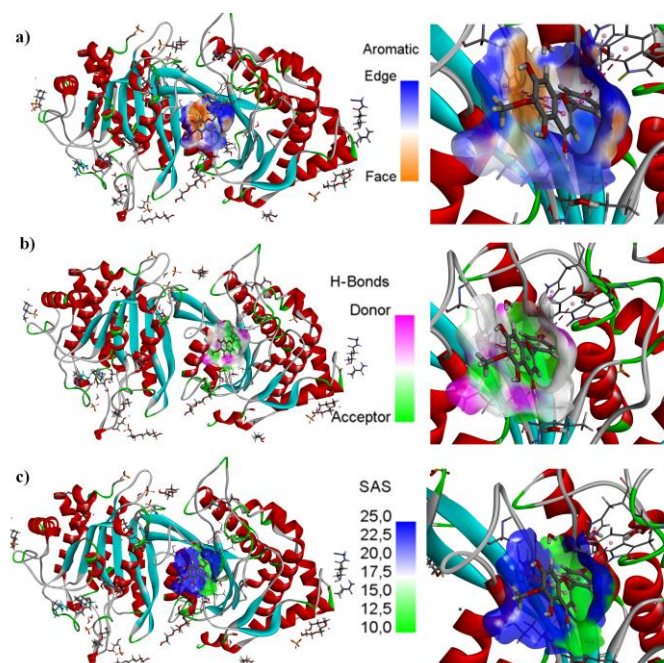


Figure 7. 3D view of a) The aromatic surface on the receptor b) Hydrogen bond donor/acceptor surface on the receptor and c) The SAS surface on the receptor of hispidulin-QC enzyme interactions.

binding affinity with hispidulin - BACE-1 was calculated as -5.318 kcal/mol. Here, considering the bonding mechanism, conventional hydrogen bond ASP A:228 1.90 Å and PHE A:108 1.78 Å in hydrogen bonded to hydroxyl, conventional hydrogen bonds bonded to oxygen ARG A:235 2.91 Å, THR A:72 2.57 Å, GLN A:73 is 2.38 Å.

The interaction of 3D (Figure 7) and 2D (Figure 5b) is presented as a result of the hispidulin-QC molecular docking study. Hispidulin-QC glide score was determined as -9.096 kcal/mol. It is understood from

this value that the docking compatibility is high. Here, if we look at the bonding mechanism, Pi-Pi T-shaped TRP A:207 5.07 Å, TRP A:329 5.99 Å and HIS A:330 5.19 Å, also Pi-Pi stacked TRP A:207 4.98 Å and Pi-Pi stacked TRP A:207 4.98 Å and It is 5.57 Å. Carbon hydrogen bond bonded to oxygen and hydrogen of hydroxyl is ILE A:303 2.58 Å and GLN A:304 2.57 Å, also conventional hydrogen bond GLN A:304 1.90 Å and GLU A:201 1.69 Å. Finally, the metal-acceptor ZN A:402 attached to the hydrogen of the hydroxyl is 2.09 Å.

4. Discussion and Conclusion

With this study, it is aimed to discover new drug active ingredient candidate compounds for the fight against AD or to reveal the necessary studies to reach precursor compounds. DFT and TD-DFT quantum calculations (energy properties, dipole moment calculations, MEPS maps and Mulliken atomic charges) of the molecule whose geometry is minimized in the gas phase have been made. As a result of this study, which included one compound and 2 sets of enzymes, good placement results were achieved. Ligands were placed in the catalytic active site of the enzymes analyzed according to their binding affinity and docking results in the interaction mode. At the molecular level, the best interaction in the ligand-protein structure and docking affinity score was observed in the QC enzyme. According to all these results, it may be promising as well as making an important contribution to new studies..

Declaration of Ethical Code

In this study, we undertake that all the rules required to be followed within the scope of the "Higher Education Institutions Scientific Research and Publication Ethics Directive" are complied with, and that none of the actions stated under the heading "Actions Against Scientific Research and Publication Ethics" are not carried out.

References

- [1] Brookmeyer, R., Johnson, E., Ziegler-Graham, K., Arrighi, H. M. 2007. Forecasting the global burden of Alzheimer's disease. *Alzheimer's & dementia*, 3(3), 186-191.
- [2] Karantzoulis, S., Galvin, J. E. 2011. Distinguishing Alzheimer's disease from other major forms of dementia. *Expert review of neurotherapeutics*, 11(11), 1579-1591.
- [3] Ozturk, O., Farouk, F. M., Ooi, L., Law, C. S. W., Muhammed, M. T., Aki-Yalcin, E., Yeong, K. Y. 2022. Synthesis of novel carboxamide-and carbonylhydrazide-benzimidazoles as selective butyrylcholinesterase inhibitors. *Molecular Diversity*, 26(5), 2863-2876.
- [4] Phosrithong, N., Samee, W., Nunthanavanit, P., Ungwitayatorn, J. 2012. *In vitro* antioxidant activity study of novel chromone derivatives. *Chemical Biology & Drug Design*, 79(6), 981-989.
- [5] Jalili-Baleh, L., Babaei, E., Abdpour, S., Bukhari, S. N. A., Foroumadi, A., Ramazani, A., Khoobi, M. 2018. A review on flavonoid-based scaffolds as multi-target-directed ligands (MTDLs) for Alzheimer's disease. *European journal of medicinal chemistry*, 152, 570-589.
- [6] Berk, Ş., Kaya, S., Akkol, E. K., Bardakçı, H. 2022. A comprehensive and current review on the role of flavonoids in lung cancer: experimental and theoretical approaches. *Phytomedicine*, 153938.
- [7] Zagal, J. H., Griveau, S., Silva, J. F., Nyokong, T., Bedioui, F. 2010. Metallophthalocyanine-based molecular materials as catalysts for electrochemical reactions. *Coordination Chemistry Reviews*, 254(23-24), 2755-2791.
- [8] Urbani, M., de la Torre, G., Nazeeruddin, M. K., Torres, T. 2019. Phthalocyanines and porphyrinoid analogues as hole-and electron-transporting materials for perovskite solar cells. *Chemical Society Reviews*, 48(10), 2738-2766.
- [9] Cabir, B., Yildiko, U., Ağırtaş, M. S., Horoz, S. 2020. Computational DFT calculations, photovoltaic properties and synthesis of (2R, 3S)-2, 3, 4-trihydroxybutoxy substituted phthalocyanines. *Inorganic and Nano-Metal Chemistry*, 50(9), 816-827.
- [10] Lo, P-C., Rodríguez-Morgade, M. S., Pandey, R. K., Ng, D. K., Torres, T., Dumoulin, F. 2020. The unique features and promises of phthalocyanines as advanced photosensitisers for photodynamic therapy of cancer. *Chemical Society Reviews*, 49(4), 1041-1056.
- [11] Yildiko, Ü., Ata, A. Ç., Tanriverdi A. A., Çakmak, İ. 2021. Investigation of novel diethanolamine dithiocarbamate agent for RAFT polymerization: DFT computational study of the oligomer molecules. *Bulletin of Materials Science*, 44(3), 186.
- [12] Frisch, M. 2019. Gaussian09. <http://www.gaussian.com> (Erişim Tarihi: 05.01.2021).
- [13] Dennington, R., Keith, T. A., Millam, J. M. 2016. GaussView, version 6.0.16. Semichem Inc., Shawnee Mission, KS.
- [14] Madhavi Sastry, G., Adzhigirey, M., Day, T., Annabhimoju, R., Sherman, W. 2013. Protein and ligand preparation: parameters, protocols, and influence on virtual screening enrichments. *Journal of Computer-Aided Molecular Design*, 27(3), 221-234.
- [15] Brodneý, M. A., Barreiro, G., Ogilvie, K., Hajos-Korcsok, E., Murray, J., Vajdos, F., Ambrose, C., Christoffersen, C., Fisher, K., Lanyon, L., Liu, J., Nolan, C. E., Withka, J. M., Borzilleri, K. A., Efremov, I., Oborski, C. E., Alison Varghese, A., O'Neill, B. T. 2012. Spirocyclic sulfamides as β -secretase 1 (BACE-1) inhibitors for the treatment of Alzheimer's disease: Utilization of structure based drug design, watermap, and CNS penetration studies to identify centrally efficacious inhibitors. *Journal of Medicinal Chemistry*, 55(21), 9224-9239.

- [16] Kupski, O., Funk, L. M., Sautner, V., Seifert, F., Worbs, B., Ramsbeck, D., Meyer, F., Diederichsen, U., Buchholz, M., Schilling, S., Demuth, H. U., Tittmann, K. 2020. Hydrazides are potent transition-state analogues for glutaminyl cyclase implicated in the pathogenesis of Alzheimer's disease. *Biochemistry*, 59(28), 2585-2591.
- [17] BIOVIA Discovery Studio D. SYSTÈMES BIOVIA Corporate Europe, BIOVIA 334 Cambridge Science Park Cambridge. 2016 <http://accelrys.com/products/collaborative-science/biovia-discovery-studio/> (Erişim Tarihi: 05.01.2021).
- [18] Erol, M., Çelik, İ., Kuyucuklu, G. 2021. Bazı yeni 2, 5-disüstitüe benzoksazol türevlerinin sentezi, antimikrobiyal aktivite, moleküler doking ve dft çalışmaları. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 27, 605-614.
- [19] Üstün, E., Şahin, N. 2021. Molecular docking and dft analysis of methallyl substituted n-heterocyclic carbene salts for potential anticancer activity. *Ordu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 11(2), 186-192.
- [20] Bhuvaneswari, R., Bharathi, M. D., Anbalagan, G., Chakkaravarthi, G., Murugesan, K. S. 2018. Molecular structure, vibrational spectroscopic (FT-IR, FT-Raman), NBO, HOMO and LUMO analysis of morpholinium oxalate by density functional method. *Journal of Molecular Structure*, 1173, 188-195.
- [21] Mary, Y. S., Yalcin, G., Mary, Y. S., Resmi, K. S., Thomas, R., Önkol, T., Kasap, E. N., Yildiz, I. 2020. Spectroscopic, quantum mechanical studies, ligand protein interactions and photovoltaic efficiency modeling of some bioactive benzothiazolinone acetamide analogs. *Chemical Papers*, 74(6), 1957-1964.
- [22] Altun, K., Yıldiko, Ü., Tanriverdi, A. A., Çakmak, İ. Structural and spectral properties of 4-(4-(1-(4-Hydroxyphenyl)-1-phenylethyl) phenoxy) phthalonitrile: Analysis by TD-DFT method, ADME analysis and docking studies. *International Journal of Chemistry and Technology*, 5(2), 147-155.
- [23] Bernetti, M., Cavalli, A., Mollica, L. 2017. Protein-ligand (un) binding kinetics as a new paradigm for drug discovery at the crossroad between experiments and modelling. *MedChemComm*, 8(3), 534-550.
- [24] Yıldiko, Ü., Türkan, F., Tanriverdi, A. A., Ata, A. C., Atalar, M. N., Cakmak, İ. 2021. Synthesis, enzymes inhibitory properties and characterization of 2-(bis (4-aminophenyl) methyl) butan-1-ol compound: Quantum simulations, and in-silico molecular docking studies. *Journal of the Indian Chemical Society*, 98(11), 100206.
- [25] Kupski, O., Funk, L. M., Sautner, V., Seifert, F., Worbs, B., Ramsbeck, D., Tittmann, K. 2020. Hydrazides are potent transition-state analogues for glutaminyl cyclase implicated in the pathogenesis of Alzheimer's disease. *Biochemistry*, 59(28), 2585-2591.
- [26] Brodney, M. A., Barreiro, G., Ogilvie, K., Hajos-Korcsok, E., Murray, J., Vajdos, F., O'Neill, B. T. 2012. Spirocyclic sulfamides as β -secretase 1 (BACE-1) inhibitors for the treatment of Alzheimer's disease: Utilization of structure based drug design, watermap, and CNS penetration studies to identify centrally efficacious inhibitors. *Journal of medicinal chemistry*, 55(21), 9224-9239.

Kınık (İzmir) ve Soma (Manisa) Arasındaki Bölgenin Neojen Stratigrafisi, Ortamsal Yorumlanması ve Paleocoğrafik Evrimi

Onur ALKAÇ*¹, Hayrettin KORAL²

¹Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 23100, Elazığ, Türkiye

²İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 12345, İstanbul, Türkiye

(Alınış / Received: 24.06.2022, Kabul / Accepted: 19.11.2022, Online Yayınlanma / Published Online: 20.12.2022)

Anahtar Kelimeler

Batı Anadolu,
Neojen Stratigrafisi,
Jeokronoloji,
Paleocoğrafya

Öz: Çalışma alanının da yer aldığı kuzeydoğu Ege, Neojen öncesi dönemde kuzeyde Neotetis'in kuzey kolunun kapanmasını denetleyen K-G yönlü sıkışma rejimi etkisiyle yükselmiştir. Neojen'de, Batı Anadolu levhacığının keskin dönüşle güneybatıya yönelmesiyle, sıkışmayı karşılamak amacıyla gerilme rejimi etkisine girmiştir. Serravaliyen'de geniş alanlarda gösel havzalar gelişerek, meydana gelen sedimantasyona karasal volkanizma eşlik etmiştir. Miyosen yaşlı Soma Formasyonu'na Adilköy Volkanitleri dayk şeklinde yerleşmiştir. Orta Miyosen'den itibaren çökelen Deniz Formasyonu'nun sedimanlarıyla yanal yönde geçişli veya üzerleyen Kalemköy Volkanitleri yüzeylemiştir. Bu çalışmada Kınık (İzmir) ve Soma (Manisa) arasındaki Neojen yaşlı sedimanter birimler ve onlara eşlik eden karasal volkanizma ürünlerinin birbirleriyle olan stratigrafik ilişkilerinin ortaya çıkarılması amaçlanmıştır. Adilköy (22.2 My) ve Kalemköy Volkanitleri 'nden (25.5 My - 17.7 My) yapılan ⁴⁰K/⁴⁰Ar yaş analizlerine göre bölgedeki Neojen volkanik aktivitesi, Geç Oligosen'den başlayıp Orta Miyosen'e kadar devam etmektedir. Sonuç olarak arazi gözlemleriyle saptanan stratigrafik ilişkiler, jeokronoloji ve sismik yansıma kesitleri, volkanizmanın Orta - Geç Miyosen'e kadar etkin olduğunu göstermektedir. Böylece Neojen yaşlı sedimantasyonun en genç çökelim yaşı Orta Miyosen olmalıdır.

Neogene Stratigraphy, Environmental Interpretation and Paleogeographic Evolution of the Region between the Kınık (İzmir) and the Soma (Manisa) Districts

Keywords

Western Anatolian,
Neogene Stratigraphy,
Geochronology,
Paleogeography

Abstract: The northeast Aegean, in which the study area is located, was uplift in the pre-Neogene period by the effect of a N-S oriented compressional regime that controlled the closure of the northern branch of Neotethys in the north. In the Neogene, the Western Anatolian platelet has been under the effect of extensional regime in order to meet the compression, with a sharp turn to the southwest. Lacustrine basins developed in large areas from the Serravalian, and terrestrial volcanism accompanied the sedimentation that occurred in these basins. Adilköy Volcanites emplaced in the form of dykes within the Miocene Soma Formation. In the Middle Miocene, the Kalemköy Volcanites, which are interbedded or overlain to the sediments of the Deniz Formation, have cropped out. In this study, it is aimed to reveal the stratigraphic relations of Neogene sedimentary units and their accompanying terrestrial volcanism products with each other between Kınık (İzmir) and Soma (Manisa). According to the ⁴⁰K/⁴⁰Ar age analyzes made from the Adilköy Volcanites (22.2 Ma) and Kalemköy Volcanites (25.5 Ma - 17.7 Ma), the Neogene volcanic activity in the region starts from the Late Oligocene and continues until the Middle Miocene. As a result, the stratigraphic relationships determined by field observations, geochronology and seismic reflection sections show that the volcanism was active until the Middle - Late Miocene. Thus, the youngest depositional age of Neogene sedimentation should be Middle Miocene.

1. Giriş

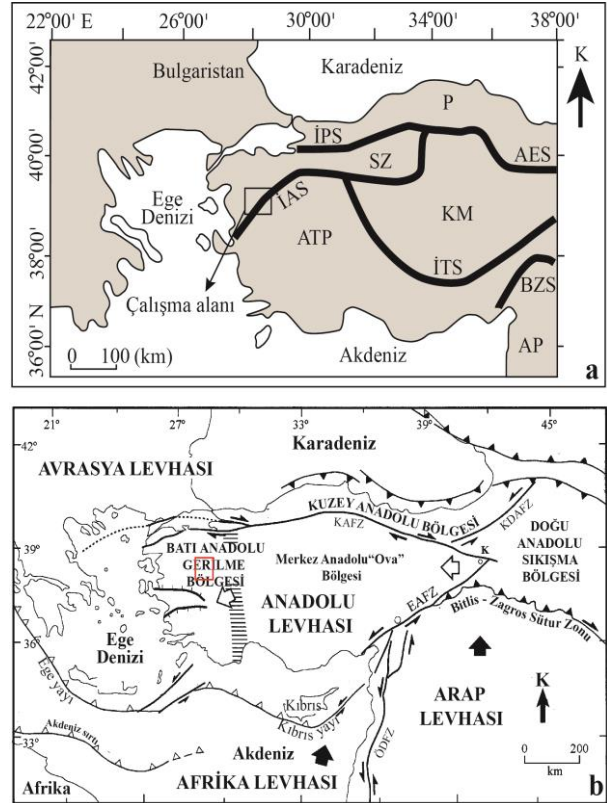
Çalışma alanı, Anatolid – Torid bloğu zonlarından Bornova Fliş Zonu ile Anatolid – Torid bloğu kuzey sınırı olan İzmir – Ankara kenet kuşağı geçişi arasındaki alanı kapsamaktadır (Şekil 1a). Geç Paleosen - Erken Miyosen’de Anatolid-Torid platformu ile Sakarya kıtasının çarpışmasıyla ilişkili olarak, K - G yönlü sıkışma rejiminin etkisiyle İzmir-Ankara-Erzincan iç okyanusu kapanmaya başlamıştır [1]-[6]. Eosen öncesi dönemde, İzmir’in Kınık ilçesi ile Manisa’nın Soma ilçesi ve dolaylarını içeren çalışma alanının da dahil olduğu kuzeydoğu Ege bölgesinde, sıkışmanın etkisiyle kıta içi genişlemeli tektonik rejime bağlı olarak çok sayıda KD - GB ve D - B yönünde grabenler oluşmuştur [7]-[9]. Bu dönemde geniş alanda gelişen havzalarda çökelen gölsel sedimanlara karasal volkanizma eşlik etmiştir [10]-[22]. İnceleme alanında linyit yatakları da içeren Miyosen yaşlı sedimanter birimler içerisinde sub-volkanik bazaltik karakterli Adilköy Volkanitleri dayk şeklinde yerleşmiştir. Orta Miyosen’den itibaren sedimantasyonla beraber karasal volkanizmanın artmasına bağlı olarak, sedimanlar ile yanal – düşey sınır ilişkisine sahip piroklastik volkanitler, andezit ve trakiandezitten oluşan Kalemköy Volkanitleri yüzeylenmektedir. Bu çalışmada Neojen yaşlı sedimanter birimler ve onlara eşlik eden volkanizma ürünlerine ait örnekler, arazi gözlemleri, petrografik ve jeokronolojik verilerle karşılaştırılarak, Neojen dönemine ait sedimanter ve volkanik kayaç gruplarının tanımlanması ve birbirleriyle olan ilişkilerinin ortaya çıkarılması amaçlanmıştır.

2. Bulgular

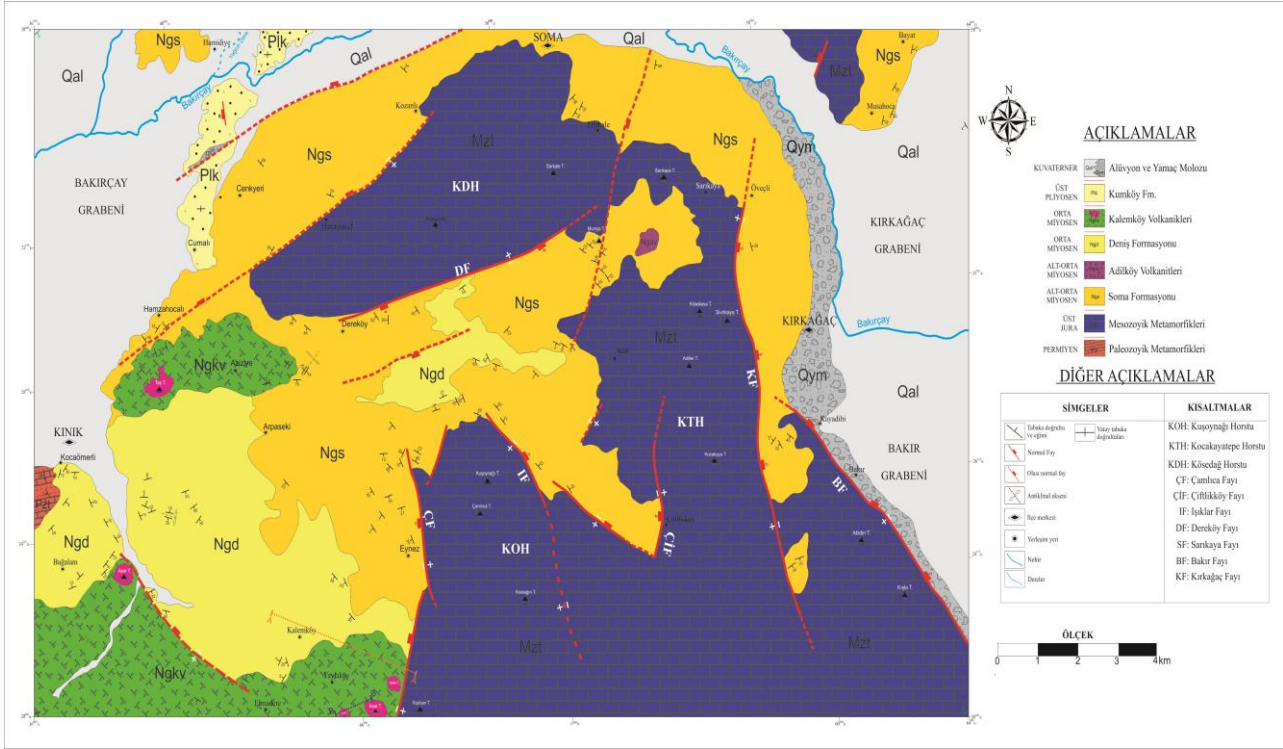
2.1. Jeolojik Özellikler

Türkiye, Fanerozoik boyunca okyanuslar tarafından ayrılmış kıtasal parçaların bir araya gelmesiyle oluşmuş ve altı adet tektonik birliğe ayrılmıştır. Bu tektonik birlikler Rodop – Istranca Zonu, İstanbul Zonu, Sakarya Zonu, Kırşehir Masifi, Anatolid – Torid Bloğu ve Arap Platformu’dur [2]. Çalışma alanının da yer aldığı kuzeydoğu Ege, Neojen öncesi (Paleosen – Erken Eosen) dönemde kuzeyde Sakarya kıtasına ait tektonik birimler ile güneydeki Anatolid – Torid bloğuna ait tektonik birimler arasında yer alır ve Neotetis’in kuzey kolunun kapanmasını denetleyen K-G yönlü sıkışma rejimi etkisi altında yükselerek günümüzdeki morfolojisini kazanmıştır [3],[5],[6],[9],[23]. Sakarya kıtasına ait Permo-Karbonifer yaşlı killi şist, grovaklar ile Bornova Karmaşığı’na ait Mesozoik yaşlı kristalize kireçtaşları bölgenin yükselim alanlarını temsil eden temel kaya birimlerini oluşturmaktadır [11], [24]-[27], [28]-[31].

Neojen döneminde (Erken Miyosen’den itibaren) Kuzeybatı Anadolu, gerilme tektoniği rejimi etkisine girmiştir ve çalışma alanı batı Anadolu gerilme bölgesi içerisinde yer almaktadır (Şekil 1b). Serravaliyen (12 my)’den itibaren geniş alanlarda gölsel havzalar gelişmiş ve göl havzalarında meydana gelen sedimantasyona karasal volkanizma eşlik etmiştir [4], [10]-[13],[17]. Miyosen boyunca KD – GB ve D – B yönünde gelişmiş Bakırçay, Dereköy, Kırkağaç ve Bakır grabenlerinde çökelen gölsel sedimanlar Erken – Orta Miyosen yaşlı Soma Formasyonu ile Orta Miyosen yaşlı Deniz Formasyonu olarak isimlendirilmiştir (Şekil 2). Karasal volkanizma ürünleri, Soma Formasyonu ile sokulum halinde olan eş yaşlı Adilköy Volkanitleri ve Deniz Formasyonu ile yanal ve düşey sınır ilişkisine sahip Orta Miyosen yaşlı Kalemköy Volkanitleri’dir (Şekil 2). Tüm bu istiflerin üzerinde Geç Pliyosen yaşlı Kumköy Formasyonu bulunmaktadır. Bölgede bulunan bütün birimler Kuvaterner yaşlı alüvyal çökeller ve yamaç molozları tarafından uyumsuz olarak örtülmektedir (Şekil 2).



Şekil 1. (a) Türkiye'nin başlıca tektonik birlikleri ve suture zonları [32]-[37]. İPS: İnter-Pontid Suture Zonu. İAS: İzmir-Ankara Suture Zonu. AES: Ankara -Erzincan Suture Zonu. İTS: İç Torid Zonu. BZS: Bitlis-Zagros Suture Zonu. P: Pontidler (Istranca, İstanbul, Sakarya). SZ: Sakarya Zonu. KM: Kırşehir Masifi. ATP: Anatolid – Torid Platformu. AP: Arap Platformu; (b) Türkiye'nin Neotektonik birlikleri [38] ve çalışma alanının konumu (kırmızı kare).

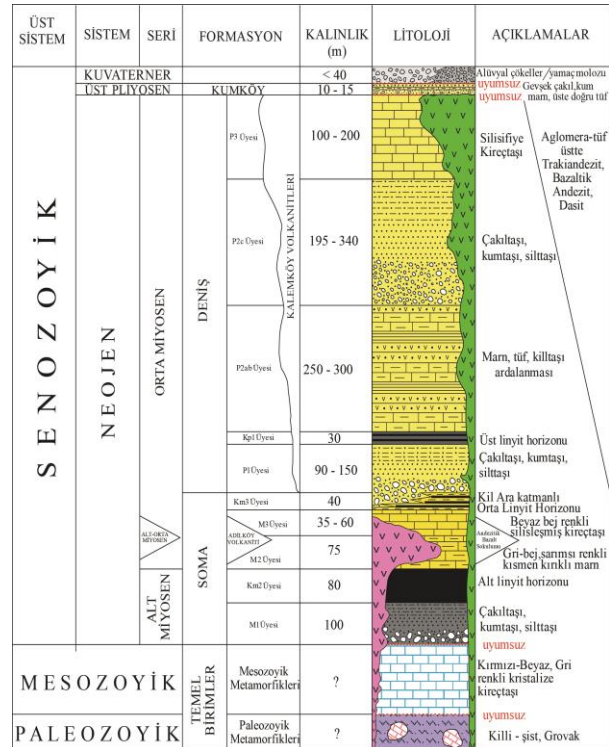


2.2. Stratigrafik Özellikler

2.2.1. Soma Formasyonu

Birim adını Soma ilçesinden almış olup ilk defa Nebert [39] tarafından adlandırılmıştır ve çalışma alanında D-B uzanımlı yaklaşık 90 km²'lik alanda yayılım göstermektedir. Soma Formasyonu tabandan tavana doğru beş farklı üyeye ayrılmaktadır [24], [26], [29], [31], [39]-[43]. Tabanda organik maddece zengin göl ortamını karakterize eden konglomera, kumtaşı ve kiltaşlarından oluşan M1 Üyesi ile başlar, üste doğru Alt linyit seviyesi olarak tanımlanmış Km2 Üyesi, birbiriyle yanıl ve düşey geçişli marnlarla karakteristik M2 Üyesi, kireçtaşlarından oluşan M3 Üyesi ve ince linyit katmanları ile kiltası ardalanmalı orta kömür damarı olan Km3 Üyesi ile son bulmaktadır (Şekil 3). Soma Formasyonu'nun kalınlığı 250 m - 400 m arasındadır. Birim üzerine Deniz Formasyonu uyumlu ve/veya yanıl yönde geçişlidir. Kleinsorge [44], yaprak izleri ve fosillerle dayanarak Soma Formasyonu'nun yaşını Erken - Orta Miyosen'e dahil etmiştir. Takahashi ve Jux [36] ise, spor ve polen içeriğine göre Soma Formasyonu içinde yer alan alt seviyelerdeki organik maddelerde Erken Miyosen, üst seviyelerdeki organik maddelerden yaptığı yaş analizlerinde ise Orta Miyosen yaşlarını tespit etmiştir. Soma Formasyonu'nun tüm üyeleri incelendiğinde, karasal ortamı karakterize ettiği

görülmüştür. Birim yelpaze deltası, karbonat gölü ve göl kenarı karbonat düzlüğü ile birleşik akarsu ortamında çökelmiştir [32].



Şekil 3. Çalışma alanının genelleştirilmiş stratigrafik kesiti [34].

2.2.1.1. M1 Üyesi

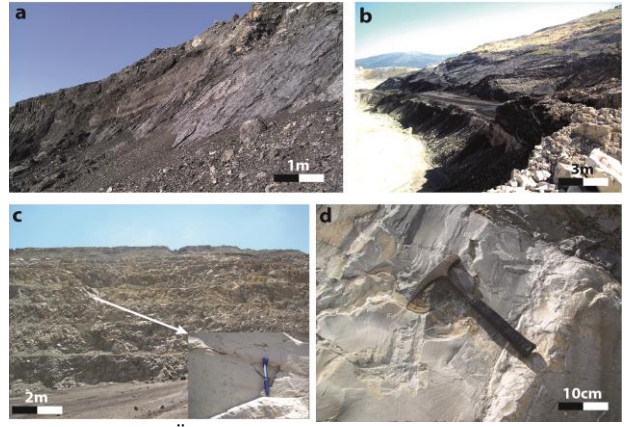
Temel kayalar üzerine uyumsuzlukla gelmektedir. En altta konglomeralarla başlayıp üste doğru daha ince taneli çökeller, kumtaşları ve kiltası araldanmaları ile devam etmektedir. Tabanını yeşilimsi gri renkli, blok boyutunda çakıltaşları oluşturmaktadır. Çakıltaşları temele ait grovak, kireçtaşları ve radyolaritlerden türemiştir [33]-[34]. Üst seviyelerde ise yer yer linyitli, organik maddece zengin laminalı kiltalarına geçiş göstermektedir. Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu'nun (TKİ) Soma açık ocak işletmelerinde birimin orta ve üst seviyeleri net olarak görülmektedir (Şekil 4a). Kalınlığı 1 m - 100 m arasında değişen birim, üstünde yer alan Km2 Üyesi'yle düşey yönde geçişlidir. Üyeye ait çakıltaşları alüvyal yelpaze çökellerinin iç ve orta yelpaze bölümünün kanal dolgu fasiyeslerini, kumtaşları ve sittaşları ise görsel kıyı çökellerini temsil etmektedir [35]. Palinolojik verilere göre üyenin yaşı, Erken Miyosen (Geç Burdigaliyen) (17 My - 18 My) olarak belirlenmiştir [36]

2.2.1.2. Km2 Üyesi

Üye, altındaki M1 Üyesi ile dereceli geçişli olup aralarında net bir sınır ayrımı yapılamamaktadır. Birim içerisindeki linyit genellikle sert, parlak yüzeye sahiptir (Şekil 4b) ve üyenin kalınlığı 10 m - 80 m arasında değişmektedir. Üstündeki M2 Üyesiyle uyumlu sınırı bulunmaktadır. İnci vd. [32]'nin yapmış oldukları detaylı fasiyes çalışmalarında birimin çökeltme ortamı, alüvyal yelpazenin yakınsak bölgelerinden geçici göl ve bataklık ortamına geçiş olarak yorumlanmıştır. Üyenin yaşı Takahashi ve Jux [36] tarafından yapılan palinolojik çalışmalara göre Erken Miyosen (Geç Burdigaliyen) olarak saptanmıştır.

2.2.1.3. M2 Üyesi

M2 Üyesi homojen bir yapıya sahip olup yer yer orta-kalın tabakalı, genelde masif marnlarla temsil olmaktadır. Taze yüzeyleri gri-yeşil renkli, alterasyon renkleri koyu gri- yeşil renkli kül rengindedir (Şekil 4c ve Şekil 4d) ve kalınlığı ortalama 30 m - 75 m arasında değişmektedir. Üyenin sınırlı üst bölümleri, karbonat oranının artmasına bağlı olarak M3 Üyesi'ne ait kireçtaşlarına geçmektedir. Böylece M2 Üyesi'yle ile üzerinde yer alan M3 Üyesi arasındaki dokanak düşey yönde geçişlidir. Ancak bu geçişin kalınlığı 0,5 m - 2 m arasında değişir. Üye göl fasiyesinin derin kısımlarına ait çökellerden oluşmaktadır [32]. Brinkmann vd. [24], M2 Üyesi'nde yaptıkları tane fosil incelemelerinden birimin yaşını Geç Miyosen (Tortoniyen) olarak tanımlamışlardır. Ardından İnci [31], paleontolojik çalışmalarda belirledikleri biyozonlarda birimin yaşını Orta Miyosen olarak saptamıştır.



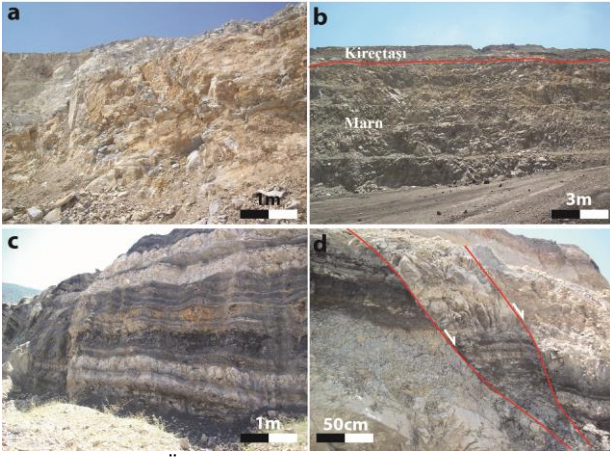
Şekil 4. (a) M1 Üyesi'nin kiltası ve organik seviyece zengin üst seviyesinden görünüm. (Bakış yönü güneybatı; UTM: 47084D / 26754K); (b) Soma Formasyonu'na ait Km2 Üyesi'nin organik maddece zengin üst linyit seviyesi (Bakış yönü kuzeydoğu; UTM: 47079D / 26574K); (c) M2 Üyesi'nin gri-yeşil renkli marnlarından görünüm. Alterasyon yüzeyleri sarı- koyu gri renkli olarak görülmektedir (Bakış yönü güneydoğu; UTM: 48758 D / 28407 K); (d) M2 Üyesi'nde gözlenen yüzeyi altere olmuş sarı-koyu gri renkli marnlar (Bakış yönü güneydoğu; UTM: 49400 D / 29162 K).

2.2.1.4. M3 Üyesi

Üye, genelde orta-kalın tabakalı, taze yüzeyleri kirli beyaz - bej renkli kireçtaşlarından oluşmaktadır (Şekil 5a). Birimin özellikle açık ocak işletmelerinde temel birimlerle olan faylı dokanağa yakın kesimleri deforme bir yapıya sahiptir. Kireçtaşları içerisinde gözlenen çakıl içerikli killerin, kireçtaşlarının çökeltimi esnasında havza kenarındaki temel kayalardan aşınan malzemelerin ani sellenmelerle havza içerisinde istiflenmesiyle oluşmuştur [37]. Bu nedenle üye içerisinde kalınlığı 10 m ye varan killi kireçtaşı ve yer yer yeşilimsi renkli çakıllı kiltası ara tabakalanmaları saptanmıştır. Birimin kalınlığı 10 m - 60 m arasında değişmektedir. M3 Üyesi üzerinde Km3 Üyesi uyumlu olarak bulunmaktadır. Birim, altındaki M2 Üyesi'nin üzerine uyumlu geçişli geldiğinden yaşı Orta Miyosen olarak kabul edilmiştir (Şekil 5b).

2.2.1.5. Km3 Üyesi

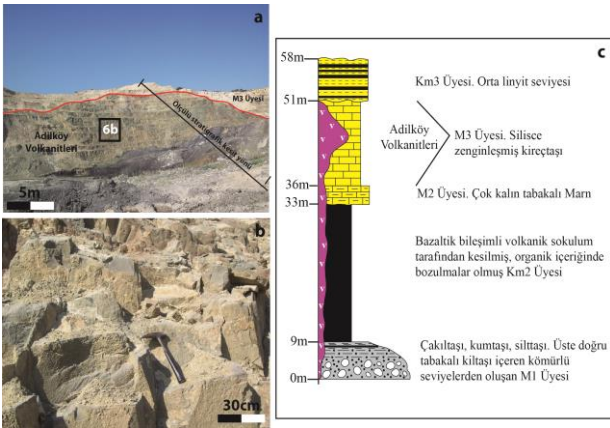
Birim kireçtaşı, marn, kiltası ve linyit araldanmalıdır (Şekil 5c). İçerisinde bulunan yoğun kiltaları nedeniyle yumuşak çökeltme deformasyonuna ve faylanmaya maruz kalmıştır (Şekil 5d). Nebert [26]' e göre Km3 Üyesi, M3 Üyesi'nin üst bölümünde çökeltmiştir. Kalınlığı 5 m - 30 m arasında değişmektedir. Km3 Üyesi'yle ile üzerinde yer alan Deniz Formasyonu arasında uyumlu bir stratigrafik ilişki vardır. Çökeltme ortamı sığ karbonat çamurlarının çökeldiği göl ve ufak göller içeren birleşik nehir sistemi ve çoğunlukla az kurumuş orman bataklıklarıdır [31]. Palinoloji çalışmaları sonucunda Km3 Üyesi'nin yaşı Orta Miyosen (Langiyen-Serravaliyen) olarak belirlenmiştir [36].



Şekil 5. (a) M3 Üyesi kireçtaşlarında gözlenen temelle olan tektonik dokanağa yakın birimlerindeki kırık ve çatlaklı yapılar (Bakış yönü kuzeydoğu; UTM: 52373D / 32000K); (b) M2 Üyesi'nin marnları ile M3 Üyesi'nin kireçtaşı seviyelerinin düşey yönde geçişi (Bakış yönü güneybatı; UTM: 48741D / 28036K); (c) Km3 Üyesi'nin kalker, kiltası, marn, linyit ardalanmalı seviyeleri (Bakış yönü kuzeybatı; UTM: 48458D / 28407K); (d) Km3 Üyesi içerisinde gözlenen eğim atımlı normal faylardan görünüm (Bakış yönü kuzeybatı; UTM: 52636D / 31925K).

2.2.2. Adilköy Volkanitleri

Adilköy Volkanitleri ilk defa Ercan vd. [39] tarafından Adilköy ve çevresinde "Adilköy Bazaltı" olarak isimlendirilmiştir. Hem arazi gözlemleri hem de petrografik çalışmalar bu volkanitlerin bazaltik andezit türü kayalardan oluştuğunu göstermektedir [34], [45], [47]-[48]. İnceleme alanının güneybatısında TKİ Ege Müessesesi Müdürlüğü'ne ait Soma açık ocak işletmelerinde Sarıkaya tepe çevresinde aktif olarak kullanılmayan linyit ocağında Soma Formasyonu içerisine dayk şeklinde yerleştikleri görülmüştür (Şekil 6a ve Şekil 6b). Adilköy Volkanitleri'ne ait bazaltik kayalarda yoğun alterasyon hakimdir, killeşme, karbonatlaşma, ikincil kalsit oluşumları ve hematitleşmeler gözlenmektedir (Şekil 6c).



Şekil 6. (a) Soma Formasyonunu ve formasyonu kesen Adilköy Volkanitleri'ne ait bazaltik dayktan görünüm (Bakış yönü güneydoğu); (b) Bazaltik bileşimli volkanik sokulumun yakından görünümü; (c) Kesit güzergâhı boyunca alınmış ölçülü stratigrafik kesit.

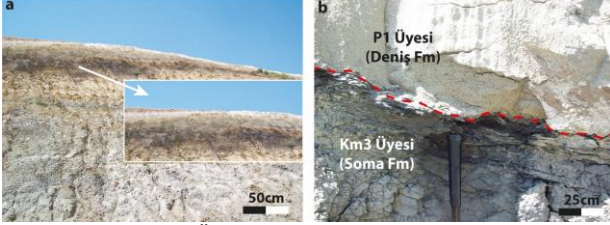
2.2.3. Deniz Formasyonu

Deniz Formasyonu ismini Soma'nın kuzeybatısında bulunan Deniz köyünden almaktadır ve ilk defa Nebert [26] tarafından adlandırılmış olup Dereköy Grabeni boyunca, çalışma alanının KB, GB, KD bölgelerinde yaklaşık 75 km² lik alanı kapsamaktadır. Formasyon alttan üste doğru akarsu sisteminde gelişmiş kaba ve ince taneli kırıntılı kayalar, organik maddece zengin kömürlü seviyeler, volkanoklastik çökeller ve sığ gösel karbonat kayalarıyla karakteristiktir. Bu çalışmada birim litolojik farklılıkları sebebiyle 5 üyeye ayrılmıştır. Bunlar; tabanda kumtaşı-silttaşı- alacalı kilttaşlarından oluşan P1 Üyesi ile başlar, üste doğru sırasıyla üst kömür horizon seviyesi olan KP1 Üyesi, Marn-Kiltası-tüf ardalanmalı P2ab Üyesi, konglomera-kumtaşı-kiltası ardalanmalı P2c Üyesi ve Silisifiye kireçtaşı- tüf ardalanmalı P3 Üyesi'yle son bulmaktadır. Deniz Formasyonu'na ait çökellerin kalınlığı 400 m - 900 m arasında olup altındaki Soma Formasyonu üzerine uyumlu ve/veya yanal yönde geçişlidir. Aynı dönemde ve sonrasında devam eden volkanik faaliyetlerle taşınan malzemeler ise Deniz Formasyonu'nu uyumsuz olarak örtmektedir. Nebert [26] makrofosil, ostrakod ve polenlerden yaptıkları yaş tayinlerini dikkate alarak formasyonun yaşını Alt Pliyosen olarak saptamışlardır. Takahashi ve Jux [36] organik maddece zengin KP1 Üyesi içerisinden aldıkları spor ve polenlerden yaş analizi yapmış, birimin yaşını Geç Miyosen olarak tayin etmişlerdir. Deniz Formasyonu'nun çökeltme ortamı, litolojik içeriklerine göre alüviyal yelpaze, akarsu, bataklık ve göl ortamlarının yanı sıra [32] kömür alanlı havzada gerçekleşen volkanizma ile beraber geliştiği bilinmektedir [31]. Bu çalışmada formasyonun üzerini hem örten hem de yanal geçişli Kalemköy Volkanitleri'nden alınan örneklerden yapılan ve ileride detaylı bahsedilecek olan, ⁴⁰K/⁴⁰Ar yaş analizlerine bağlı olarak birimin yaşının en geç Orta Miyosen olması gerekmektedir.

2.2.3.1. P1 Üyesi

Üye, Soma Formasyonu birimleri ile yanal ve düşey yönde geçişli olup Deniz Formasyonu'nun taban seviyelerini oluşturmaktadır. Tabanda gevşek çimentolu kumtaşı ve silttaşı, üste doğru alacalı kilttaşları ve gri-yeşil renkli serizitli kumtaşı - kiltası ardalanmalarıyla karakteristiktir. En üst seviyelerinde organik maddece zengin kilttaşları ve KP1 Üyesi'ne düşey yönde geçişli oldukları görülmektedir (Şekil 7a). Birim, çalışma alanında 5 m - 150 m arasında değişen kalınlıklara sahip olup Soma Formasyonu'nun en üst seviyelerini oluşturan Km3 Üyesi üzerine uyumlu olarak çökelmiştir. İki formasyon arasındaki stratigrafik ilişkinin en iyi gözlemlendiği yüzeylemeler TKİ açık ocak kömür işletmelerine ait yüzeylemelerde olup burada kanal dolgusu şeklinde gelişmiş Deniz Formasyonu'na ait P1 Üyesi, Soma Formasyonu'na ait Km3 Üyesi

üzerine geçişli olarak yerleştiği görülmüştür (Şekil 7b). P1 Üyesi'ne ait çökeller, kötü boylanma gösteren çakıl boyutu bileşenler ve kiltası birlikteliğinin yanı sıra kumtaşı-kiltası ardalanmalarından oluştuğundan, birimin menderesli akarsu sisteminde gelişmiş flüvyal kanal ve taşkın ovası ortamlarında oluştuğu sonucuna varılmıştır [32].



Şekil 7. (a) P1 Üyesi'nin KP1 üst kömür horizonuna geçişinden görünüm (Bakış yönü kuzeydoğu; UTM: 49067D / 29146K); (b) KM3 üyesi (Soma Formasyonu) ile P1 Üyesi (Deniş Formasyonu) arasındaki sınır (Bakış yönü güneybatı; UTM: 49029D/29360K).

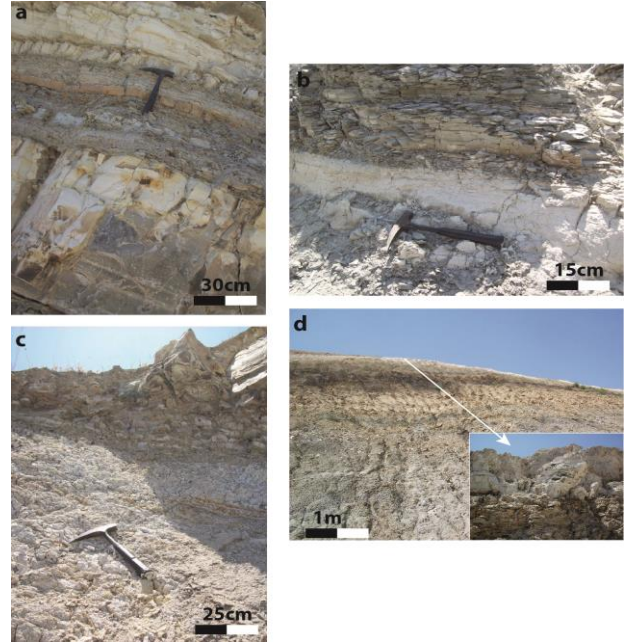
2.2.3.2. KP1 Üyesi

Organik maddece zengin olan üst kömür horizonu seviyesi olarak tanımlanan üye, genel olarak kahverengi-siyah renklidir. Birim altında bulunan akarsu çökellerinden oluşan P1 Üyesi ile marn-kiltası-tüf ardalanmalı P2ab Üyesi'ne geçişte ara katman olarak gözlenmekte olup kalınlığı 2 m - 30 m arasındadır. Organik maddece zengin olan üye, kiltaları ve laminalı marnlar ile ardalanmalıdır. Kömür seviyeleri, bitki parçaları, ağaç kökleri, gastrapod kabukları ve linyit parçaları içermektedir. Birimin çökeltme ortamı, karbonatça zengin geniş alanlarda hızlıca gömülmüş sığ göl çökelleri ve alloktan turba bataklığı olarak yorumlanmıştır [32].

2.2.3.3. P2ab Üyesi

Çalışma alanında yaklaşık olarak 4 km² lik alanda yüzeyleyen birimi ilk defa Nebert [40], P2 Üyesi olarak isimlendirmiş olup üç farklı litolojiye ayırmıştır. Bunlar; marnlardan oluşan P2a, volkanoklastiklerden oluşan P2b, ve çakıltaşı seviyeleri olarak gözlenen P2c üyeleridir. Tan vd. [35] ise P2 Üyesi'ni marn ve tüf ardalanmalı P2ab Üyesi, çakıltaşı seviyelerinden oluşanlarını da P2c Üyesi olarak ayırmış ve adlandırmıştır. Bu çalışmada da Tan vd. [35]' in adlandırılmasına uyularak P2 Üyesi'nin yalnızca marn ve tüf ardalanmalı seviyeleri için P2ab Üyesi tanımlaması kullanılmıştır. P2ab Üyesi, marnlar ile başlayıp üste doğru kiltası-marn ardalanması şeklinde devam etmektedir (Şekil 8a). Marnlar orta-kalın tabakalı gri-yeşil-bej renkli ve orta sertliktedir (Şekil 8b). Marnlar arasındaki tüfler beyaz renkli, alterasyon rengi ise sarımsı kahverengidir (Şekil 8c). Üst kesimlerinde tüf ve tüftler tümüyle egemen olmaktadır (Şekil 8d). Tüfler andezitik karakterde olup, piroklastik yapı gösteren cam tüfleridir [26]. P2ab Üyesi altındaki KP1 Üyesi ile düşey yönde geçişli olup üzerine çakıltaşı-kumtaşı

ardalanmalarından oluşan P2c Üyesi uyumlu olarak yerleşmiştir.



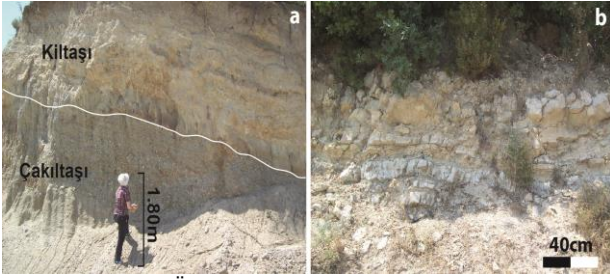
Şekil 8. (a) P2ab Üyesi'nin alt seviyelerinde gözlenen kiltası-marn ardalanmaları (Bakış yönü güneybatı; UTM: 48424D/28205K); (b) P2ab Üyesi'ne ait gri-bej renkli marnlardan görünüm (Bakış yönü güneybatı; UTM: 48424D/28205K); (c) ve (d) P2ab Üyesi'nin üst seviyelerinde görülen volkanoklastikler (Bakış yönü güneybatı; UTM: 48824D/28205K).

2.2.3.4. P2c Üyesi

P2c Üyesi gri-yeşil, gri-bej renkli çakıltaşı, sarı-kahverengi kumtaşı ve kiltası ardalanmalarından oluşur (Şekil 9a). Çakıltaşları, zayıf kalsit çimentolu, kötü boylanmalı ve iyi derecede yuvarlaklaşmıştır. Kumtaşları ise iri-orta taneli, gevşek çimentolu ve düzensiz tabakalanmalıdır. Kiltaları ise gri-yeşil renkli olup kumtaşları ile aralarında bazı seviyelerde bej renkli ince kireçtaşı bantları gözlemlenmektedir. Üyenin çalışma alanında kalınlığı 5 m - 340 m arasında olup çökeltme ortamı, Dereköy Grabeni'nin kuzeyinde oluşan volkanik faaliyetlerle taşınan volkanoklastik malzemenin yelpaze, alüvyal düzlük ve göl ortamlarında sedimanter çökellerle beraber istiflenmesi olarak yorumlanmıştır.

2.2.3.5. P3 Üyesi

Birim, silisifiye kireçtaşı - tüf ardalanmasından oluşmaktadır. Beyazımsı - bej renkli olup tabakalar yatay ya da yataya yakın eğime sahiptir (Şekil 9b). Tabaka kalınlıkları ince ve ortadır. Tüfler beyaz-kirli beyaz renkte ve gevşek yapıdadır. Üyenin kalınlığı 100 m - 200 m arasında değişmektedir. P3 Üyesi altında bulunan P2c Üyesi üzerine uyumlu gelirken, üzerinde yer alan volkanik birimler ise birimi uyumsuz olarak örtmektedir. İnci [31]'nin yaptığı detaylı fasiyes çalışmalarında P3 Üyesi, gölsel ortamda çökelmiş karbonat göl çökellerini temsil ettiği şeklinde yorumlanmıştır.



Şekil 9. (a) P2c Üyesinin çakıltası ve kiltası (Bakış yönü kuzeydoğu; UTM: 45404D/23446K); (b) P3 Üyesi'ne ait silisifiye kireçtaşları (Bakış yönü kuzeydoğu; UTM: 38095D/23627K).

2.2.4. Kalemköy Volkanitleri

Önceki çalışmalarda Kozak-Yuntdağ Volkanitleri ve Dededağ Volkanitleri olarak isimlendirilen [41]-[42] birim, bu çalışmada inceleme alanının güneybatısında yüzeyleyen aynı yaştaki farklı petrografik özelliklere sahip volkanik kayaç toplulukları için “Kalemköy Volkanitleri” olarak isimlendirilmiştir. Kalemköy Volkanitleri, arazi gözlemleri ve petrografik özelliklerine göre dasit, riyolit, riyodasit, trakiandezit, andezit türü volkanik kayaçlardan oluştuğu saptanmıştır. Çalışma alanında gözlenen dasitik birimler volkanoklastikler ve lav akıntıları türünde olup (Şekil 10a), Neojen yaşlı sedimanter birimleri örttüğü görülmüştür. Aglomeraları oluşturan çakıl-blok boyutunda değişen bileşenler, kırmızı, yeşil, siyah renkli olup, bazalt ve andezit kayaç parçalarından oluşmaktadır (Şekil 10b). Birimin andezit-trakiandezitik türü volkanik kayaçları çalışma alanının güneybatısında gözlemlenmektedir (Şekil 10c). Volkanik kayaların yüzeylerinde, epidotlaşma, kloritleşme gibi alterasyonlar saptanmıştır. Andezit türü volkanik kayaçlar, Elmadere kuzeyinde gri- kiremit rengi andezit, andezitik bazalt, gri-pembemsi trakiandezitlerle temsil edilmektedir (Şekil 10d). Kalemköy Volkanitleri'nin bazı yüzeylemelerinde volkanoklastikleri kesen bazaltik dayklar gözlenmektedir (Şekil 10e).

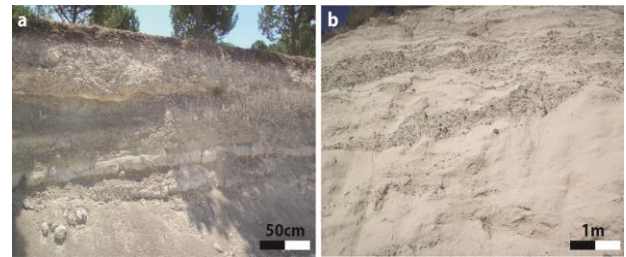
2.2.5. Kumköy Formasyonu

Birim ilk defa İnci vd. [32] tarafından adlandırılmıştır ve çalışma alanında yaklaşık 10 km²'lik alanda yüzeyleme vermektedir. Tabanda gevşek kumtaşları ile başlar, üste doğru çakıl taşlarına geçmektedir (Şekil 11a). Çakılların, Soma Formasyonu'na ait marn ve Deniz Formasyonu'na ait silisli çökellerden kaynaklandığı görülmektedir ve birime ait çökeller, kalsiklastik ve silisiklastik, gevşek çimentolu malzemelerden oluşmuştur (Şekil 11b). Formasyonun kalınlığı 10 m – 15 m arasında değişmekte olup altındaki Orta Miyosen yaşlı Deniz Formasyonu ile ve üzerinde bulunan Kuvaterner çökelleri ile açısız uyumsuzdur. Nebert [26]'in Pleyistosen yaşını verdiği birim için Yeşilyurt ve Taner [33], karakteristik gastropod faunasına dayanarak Geç Pliyosen (Romaniyen) yaşını

vermiştir. Kumköy Formasyonu'nun ortamsal yorumu için İnci vd. [32] detaylı fasiyes çalışmaları yapmış, alüvyal yelpaze, akarsu kanalları, yakınsak/ıraksak taşkın düzlüğü ve karbonat gölü fasiyes toplulukları olarak gruplandırılmıştır.



Şekil 10. (a) Volkanoklastik akıntıdan görünüm (UTM: 43886 D/29355K); (b) Kalemköy Volkanitleri'nin volkanoklastik çökelleri (UTM: 41402 D /21640K); (c) Kalemköy Volkanitleri'nin trakiandezitik birimleri (UTM: 40748D/22305K); (d) Kalemköy Volkanitleri'nin andezitik birimleri (UTM: 43478D/22512K); (e) Volkanoklastikleri (VK) kesen bazaltik dayklardan (BD) görünüm (Bakış yönü güneydoğu; UTM: 42937D721145K).



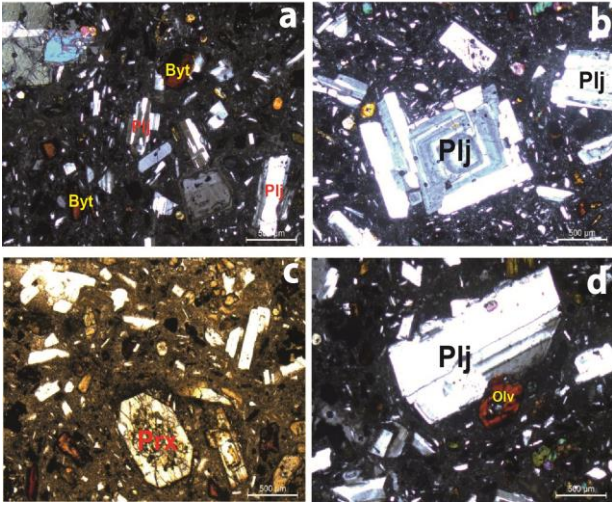
Şekil 11. Kumköy Formasyonu'na ait çökeller (Bakış yönü kuzeybatı). (a) Kumköy Formasyonu'nun çakıl, kum kil boyutu tanelerinden oluşan akarsu çökelleri (UTM: 41822D/35306K); (b) Kumköy Formasyonu'na ait akarsu çakılları ve bol ince silisli çökelleri (UTM: 41990K/32650D).

2.2.6. Alüvyal Çökeller

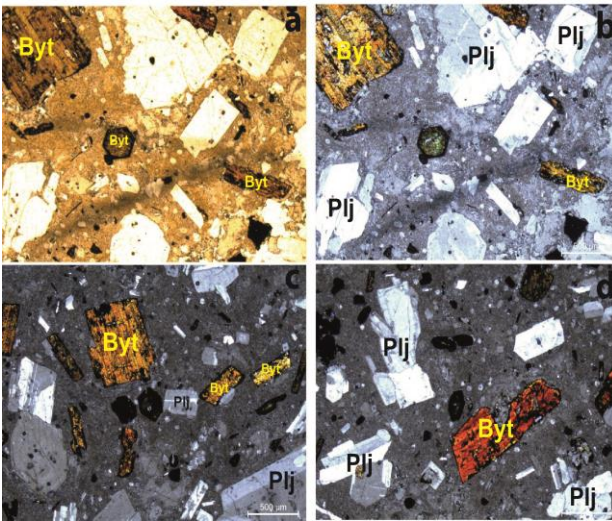
Kuvaterner yaşlı genç alüvyonlar, güncel alüvyal yelpaze ve yamaç molozları bu çökelleri oluşturmaktadır. Gevşek çimentolu, çakıl boyutundan kil boyutuna kadar değişen bileşenlerden meydana gelmektedir.

2.3. Petrografik Özellikler

Çalışma alanında gözlenen Neojen yaşlı volkanik kayaç gruplarına ait el örneklerinden hazırlanan ince kesitler polarizan mikroskop altında incelendiğinde, camsı hamur içerisinde porfiri dokuya sahip (Şekil 12a) andezit ve trakiandezit türü kayaçlarda, kalsiyumca zengin plajiyoklaz zonlanmaları (Şekil 12b), albit kapantıları bulunan, demirce zengin piroksen (Şekil 12c) ve olivinler (Şekil 12d) ile biyotitler gözlenmektedir. Biyotitler genellikle öz şekilli, nadiren yarı öz şekillidir (Şekil 13a ve Şekil 13b). Ayrıca biyotitlerin dilinimleri demiroksitce altere olduklarından görülememektedir (Şekil 13c ve Şekil 13d).

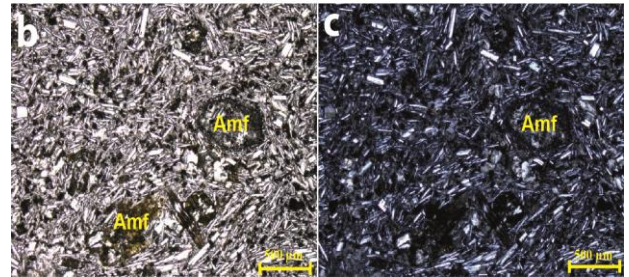
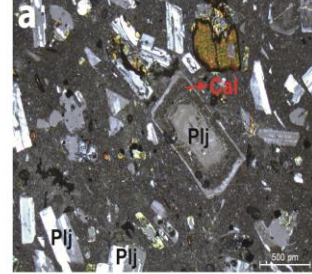


Şekil 12. (a) Camsı -Porfirik doku. Camsı hamur içerisinde porfiri plajiyoklaz (Plj) ve biyotit (Byt) mineralleri (500µm büyütme; çapraz ışık); (b) Kalsiyum miktarının artmasına bağlı olarak gelişmiş, kalsiyumca zengin plajiyoklaz zonlanmaları (500µm büyütme; çapraz ışık); (c) Demirce zengin altere piroksen (Prx) ve olivinlerden (d) görünüm (500µm büyütme; çapraz ışık; Plj: Plajiyoklaz, ,Olv: Olivin).



Şekil 13. Öz şekilli ve yarı öz şekilli biyotitlerin (Byt) ince kesit görüntüsü (500µm büyütme, (a) düzlemsel ışık; (b) Çapraz ışık); (c) Biyotit (Byt) ve plajiyoklazların (Plj) ince kesit görüntüsü; (d) lateral, demirce altere biyotitlerin ince kesit görüntüsü (500µm büyütme; çapraz ışık).

Bazı volkanik kayaçlar mikritik yapıya sahiptir ve porfiri halinde bulunan plajiyoklazlar içerisinde zonlanmalar kalsit bozunmalarına uğramıştır (Şekil 14a). Bu tür bozunmalar trakiandezitden andezite geçişi temsil etmektedir. Bazaltlar ise akışkan dokuya sahip olup, plajiyoklaz mikrolitleri ve altere olmuş demirce zengin amfibol mineralleri içermektedir (Şekil 14b ve Şekil 14c).



Şekil 14. (a) Plajiyoklaz zonlanmalarında gözlenen kalsit bozunmalarının ince kesit görüntüsü (500µm büyütme, çapraz ışık; Plj: Plajiyoklaz, Kal: Kalsit); (b) ve (c) mikrolit doku ve içerisinde gözlenen altere amfibollerin (Amf) ince kesit görüntüsü (b: düzlemsel ışık, c:çapraz ışık; 500µm büyütme).

2.4. Jeokronolojik Özellikler

Adilköy ve Kalemköy Volkanitleri önceki araştırmacılar tarafından göreceli olarak jeokimya ve stratigrafik özelliklerine göre farklı yaşlarda tanımlanmıştır. Araştırmacılar Adilköy Volkanitleri'ni Erken - Orta Miyosen [22], Kalemköy Volkanitleri'ni ise Kozak - Yuntadağ Volkanitleri [41] ve Dededağ Volkanitleri [42] tanımlamalarıyla Geç Miyosen yaşlı olarak tayin etmişlerdir. Bu çalışmada bölgedeki volkanik kayaçlar yoğun alterasyona sahip olduklarından mineralizasyon yaşını bulmak için binoküler mikroskop yardımıyla seçtiğimiz biyotitlerden yaş tayini için örnekler alınmıştır. Adilköy Volkanitleri'nden alınan A-1 no lu bir örnek ve Kalemköy Volkanitleri'nden alınan iki örnekten (AN-1 ve AN-2 no lu örnekler), Almanya'da Georg-August Universität Göttingen Geowissenschaftliches Zentrum der Abt. Isotopengeologie laboratuvarında Prof. Dr. Klaus Wemmer tarafından $^{40}\text{K}/^{40}\text{Ar}$ yaşlandırılması yapılmıştır. Böylelikle bölgede gelişen volkanizmanın ilk olarak 25,5 milyon yıl önce (Şattiyen) başladığı görülmüştür (Tablo 1). Adilköy Volkanitleri için 22,2 milyon yıl (Burdigaliyen) ve Kalemköy Volkanitleri için 17 milyon yıl (Langiyen-Serravaliyen) yaşları elde edilmiştir.

Tablo 1. Adilköy ve Kalemköy Volkanitleri'ne ait örneklerin $^{40}\text{K}/^{40}\text{Ar}$ analiz sonuçları.

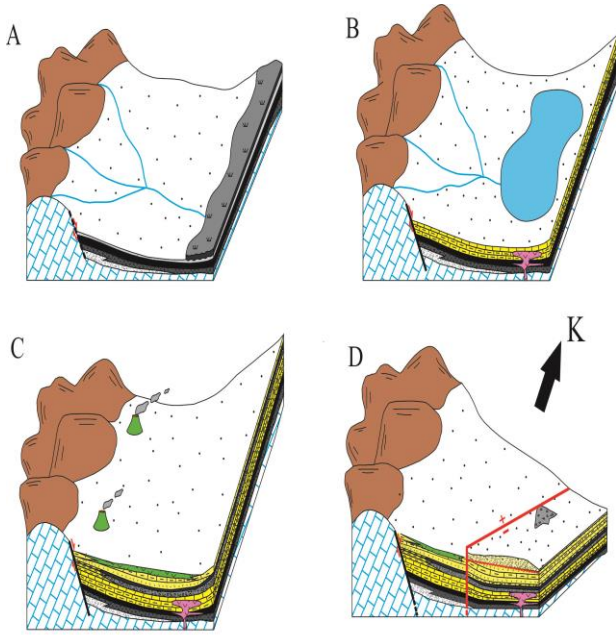
Örnek	Spike	K ₂ O	⁴⁰ Ar	⁴⁰ Ar	Yaş (My)	2s-Hata (My)
A-1	4829	1.42	1.02	18.91	22.2	1.3
B-1	4849	1.82	1.51	3.63	25.5	1.4
AN-2	4844	4.04	2.24	57.01	17.1	0.4

3. Tartışma

3.1. Bölgenin Jeolojik Evrimi ve Ortamsal Yorumlanması

Neojen öncesi dönemde, Geç Kretase – Erken Eosen periyodunda, K – G yönlü sıkışmalı rejimin etkisiyle, kuzeyde Sakarya kıtasına ait tektonik birimlerle güneyde Anatolid – Torid bloğuna ait tektonik birimlerin yakınlaşmasına bağlı olarak Neotetis okyanusunun kuzey kolu kapanmıştır [1], [5]. Batı Anadolu ve çalışma alanının da yer aldığı kuzeydoğu Ege, Torid – Anatolid bloğu zonlarından Bornova Fliş Zonu ile bloğun kuzey sınırını oluşturan İzmir – Ankara- Erzincan kenet kuşağı [3] geçişi arasında yer almaktadır ve devam eden sıkışma rejiminin etkisiyle kıtasal yükselimle bu dönemde şekillenmiştir [3], [5], [6], [23]. Neotetis okyanusunun kuzey kolunun kapanma süreci, çalışma alanı çevresindeki temel kaya birimleri niteliğindeki Sakarya kıtasına ait Permo-Karbonifer yaşlı killi şist, grovaklar ile Bornova Karmaşığı'na ait Mesozoyik yaşlı kristalize kireçtaşlarının kıtasal yükselimlerine neden olmuş ve bölgenin bugünkü paleocoğrafyasının oluşumunu sağlamıştır. Erken Miyosen'den itibaren devam eden sıkışma rejimi etkisiyle, yükselim alanlarındaki sıkışma deformasyonunu karşılayabilmek için kıta içi genişlemeli rejim ve buna bağlı normal faylanmaların sonucu olarak çok sayıda KD – GB ve D – B yönlü grabenler oluşmuştur [7]- [9]. Çalışma alanındaki Dereköy, Kırkağaç, Bakır ve Bakırçay grabenleri de bu dönemde oluşmuştur [34]. KD – GB doğrultusunda uzanan grabenler içerisinde ilk olarak Erken – Orta Miyosen yaşlı Soma Formasyonu'nun temel birimi olan, az oranda organik madde içeren, çakıltaşlarından oluşan M1 Üyesi çökelmiştir. Az oranda organik madde ve kötü boylanmalı çakıltaşı birliktelikleri birimin, menderesli akarsu ortamında çökeldiği yorumunu yaptırmaktadır (Şekil 15a) ki İnci vd. [32] yaptıkları detaylı fasiyes çalışmalarıyla bu görüşü desteklemektedir. Ayrıca Soma Formasyonu'nun tabanında organik maddece zengin seviyelerin azlığı, henüz bataklık ortamının tam olarak gelişmediğini göstermektedir. Formasyonun üst seviyelerinde çakıltaşlarının yanı sıra kumtaşı, silttaşı ve kıltaşı gibi ince taneli litolojilerin artması, akarsu rejiminin değişimine bağlı olarak ortam enerji yoğunluğunun azalmasına işaret etmektedir. Bu süreçte organik madde miktarı artmasıyla, Km2 Üyesi olarak adlandırılan kömürlü seviyeler 80 m kalınlığa

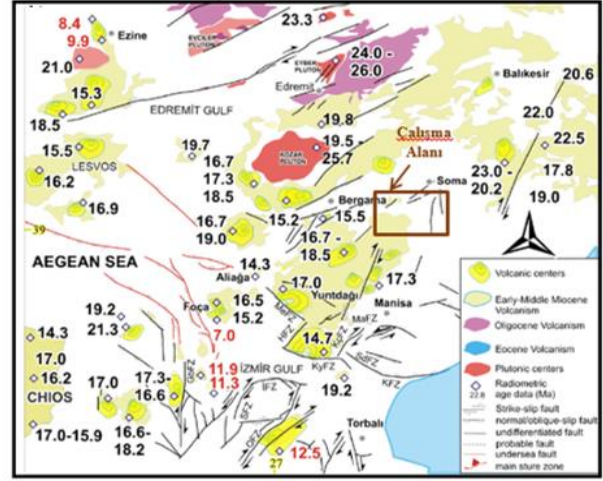
kadar ulaşmış olması, Erken – Orta Miyosen periyodunda yoğun bataklık rejiminin hakim olduğu yorumunu yaptırmaktadır (Şekil 15a). Orta Miyosen'de M2 Üyesi'ni temsil eden kalın tabakalı marn ve M3 Üyesi olarak adlandırılan kireçtaşları, Miyosen başlarında hakim olan akarsu rejimi, Erken – Orta Miyosen'de yerini bataklık rejimine ve Orta Miyosen başlarında ise bataklık rejiminin de yerini göl rejimine bıraktığını göstermektedir (Şekil 15b). Soma Formasyonu'na ait çökellerin sedimantasyonuna eş yaşlı olarak karasal volkanizma eşlik etmiş ve formasyonun içerisine bazaltik karakterli Adilköy Volkanitleri sokulumla yerleşmiştir (Şekil 15b). Adilköy Volkanitleri'nden elde edilen $^{40}\text{K}/^{40}\text{Ar}$ jeokronolojik yaş verisi, arazi gözlemlerini desteklemektedir. Orta Miyosen'de göl rejiminin etkisinin devam etmesine bağlı olarak kumtaşı, silttaşı ve kıltaşı egemen grabenler içerisine Deniz Formasyonu'nun taban seviyelerini oluşturan P1 Üyesi çökelmiştir. Aynı dönemde bazı bölgelerde su seviyesinin azalmasına bağlı olarak, Deniz Formasyonu'nun Kp1 Üyesi'ne ait az oranda organik maddece zengin seviyelerin varlığı, göl rejiminin hakimiyetinde kısa süreli olarak bataklık rejiminin geliştiğini göstermektedir. Formasyonun üst seviyelerinde marn, tuf ve kıltaşı aralanmalarına sahip P2ab Üyesi çökelmiştir. Volkanoklastik çökellerin varlığı, bu süreçte volkanizmanın sedimantasyona etkisini sürdürdüğü olarak yorumlanmaktadır (Şekil 15c). Devam eden süreçte kötü boylanmalı çakıltaşı ve kıltaşlarından oluşan P2c Üyesi'nin çökelmiş olması grabenler içerisinde akarsu rejiminin etkin olduğunu (Şekil 15c), formasyonunun en üst seviyelerinde ince tuf bantlı karbonat çökellerinden oluşan P3 Üyesi'nin varlığı ise Orta Miyosen'de hakim rejimin göl ortamı olduğuna işaret etmektedir. Aynı seviyelerde sedimantasyona eşlik eden karasal volkanizmanın artmasıyla, Deniz Formasyonu'yla yanall yönde geçişli ve/veya onu üzerleyen andezit, trakiandezit, volkanoklastik karakterli Kalemköy Volkanitleri çalışma alanında yüzelemektedir (Şekil 15c). Deniz Formasyonu'nun sedimanter kayalar ile Kalemköy Volkanitleri'nin stratigrafik ilişkisine dair bulgular, volkanik kayalardan alınan kayaç örneklerinden yapılan $^{40}\text{K}/^{40}\text{Ar}$ jeokronolojik yaş analizleriyle de desteklemektedir. Miyosen sonlarına doğru etkin sıkışma rejimi etkisiyle, bölgede morfolojik yükselimler artmış, su seviyelerinin azalmasına bağlı olarak çökmezlik dönemi başlamıştır. Pliyosen sonlarına doğru Kumköy Formasyonu'na ait farklı kökenli, kötü boylanmalı, zayıf çimentolu çakıltaşları, çakıllı kumtaşı, marn ve kıltaşlarının varlığı, bu dönemde grabenler içerisinde yeni bir akarsu rejiminin etkin olduğunu göstermektedir (Şekil 15d). Formasyon içerisinde gözlenen eğim atımlı normal fayların etkilediği diskordans düzeyleri üzerinde güncel yamaç molozları gelişmiştir (Şekil 15d).



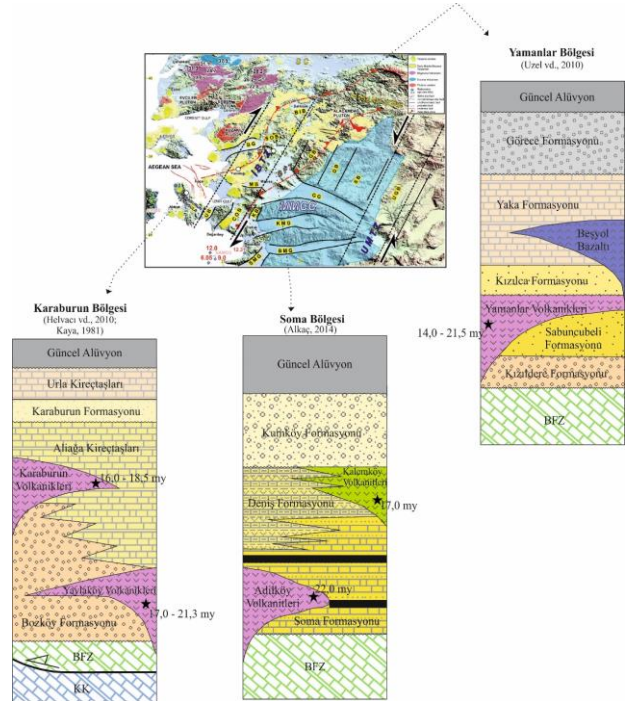
Şekil 15. Çalışma alanının paleocoğrafik evrim modeli (A: Erken Miyosen dönemi, B: Erken-Orta Miyosen dönemi, C: Orta Miyosen dönemi, D: Geç Pliyosen- Günümüz).

3.2. Yorum

Batı Anadolu'da volkanik faaliyet, Geç Paleosen - Erken Eosen döneminde Anatolid - Torid platformu ile Sakarya kıtasının çarpışmasıyla ilişki olarak, İzmir-Ankara - Erzincan okyanusunun kapanmasına neden olan çarpışma sonrası magmatizma ile başlamıştır [1]-[2]. Çalışma alanının da dahil olduğu kuzeydoğu Ege'de, Neojen yaşlı grabenlerin çevresindeki volkanik kayalar hemen hemen aynı dönemde oluşmuşlardır (Şekil 16). Ekstansiyon ile ilişki volkanizmaların ürünü olan bu kayalar, Batı Anadolu'da graben oluşumlarının önemli bir tektonomagmatik izleyicisidir [46]. Miyosen yaşlı grabenlerin genel stratigrafisine bakıldığında sedimanter çökellerle yanal geçişli ve/veya dayk şeklinde yerleşmiş ya da örten volkanik kayaların mevcut olduğu görülmektedir. Bu durum Miyosen dönemi boyunca tüm Ege'deki grabenler içerisinde sedimantasyona eşlik eden etkin bir volkanizmanın varlığına işaret etmektedir (Şekil 17). Çalışma alanının kuzeydoğu ve güneybatısındaki Adilköy ve Kalemköy Volkanitleri içerisinden alınan örnekler $^{40}\text{K}/^{40}\text{Ar}$ yaş analizi yöntemiyle yaşlandırılmış olup bölgede volkanik faaliyetin Geç Oligosen'den başlayıp (25,5 My; Şattiyen) Orta Miyosen' e kadar (17 My; Langiyen - Serravaliyen) devam ettiği saptanmıştır.

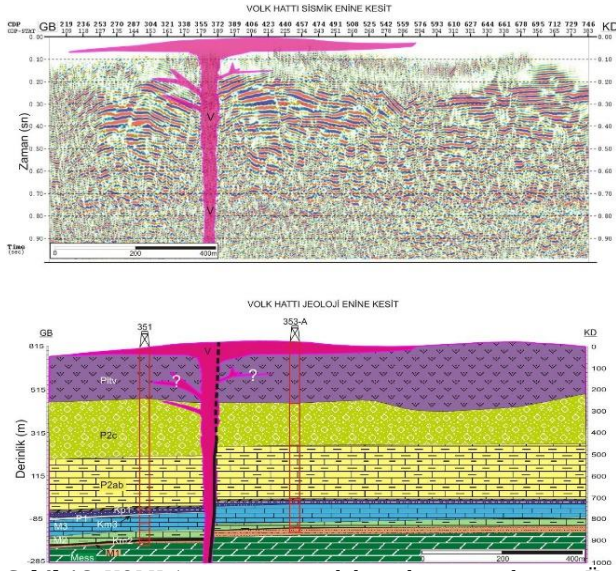


Şekil 16. Batı Anadolu'da yüzlek veren Miyosen volkanik kayalarının dağılımı ve radyometrik yaşları [47] Yaş verileri; [45], [48] - [58].



Şekil 17. Ege bölgesindeki Neojen yaşlı havzaların genel stratigrafisi ve bu havzalarla eş yaşlı volkanizma ile stratigrafik ilişkisi [34] (BFZ: Bornova Fliş Zonu, KK: Karakaya Karmaşığı).

Saatçılar vd. [43]' nin Dereköy grabeninin güneybatısından yapmış oldukları Volk-1 nolu KD - GB yönlü sismik yansıma kesitinde Deniz Formasyonu birimlerini kesen ve sill şeklinde yerleşen volkanik malzeme, volkanizmanın Orta - Geç Miyosen'e kadar etkin olduğunu göstermektedir (Şekil 18). Ayrıca arazi gözlemlerine dayalı saptanan stratigrafik ilişkiler, jeokronolojik veriler ve sismik yansıma kesitlerine bakıldığında Deniz Formasyonu'nun en genç çökelim yaşı Orta Miyosen olmalıdır yorumu yapılabilmektedir.



Şekil 18. VOLK-1 yansıma sismik hattı boyunca alınmış, Üst Miyosen'e kadar çıkan volkanizmanın yayılımını gösteren sismik ve jeolojik enine kesit [43].

4. Sonuçlar

Çalışma alanının da yer aldığı Kuzeydoğu Ege, Neojen öncesi (Paleosen – Erken Eosen) dönemde kuzeyde Sakarya kıtasına ait tektonik birimler ile güneydeki Anatolid-Torid bloğuna ait tektonik birimler arasında yer alır ve Neotetis'in kuzey kolunun kapanmasını denetleyen K-G yönlü sıkışma rejimi etkisiyle yükselerek günümüzdeki morfolojisini kazanmıştır. Neojen döneminde (Erken Miyosen'den itibaren) ise Kuzey Anadolu Fayı ile Doğu Anadolu Fayı'nın sınırladığı Anadolu levhacığının Karlıova birleşme noktasından başlayarak, Batı Anadolu'da oldukça keskin dönüşle güneybatıya yönelmesinin sonucunda sıkışmayı karşılamak amacıyla gerilme tektoniği rejimi etkisine girmiş olup Serravaliyen (12 my)'den itibaren geniş alanlarda gölsel havzalar gelişerek, göl havzalarında meydana gelen sedimantasyona karasal volkanizma eşlik etmiştir. Miyosen yaşlı grabenlerin genel stratigrafisine bakıldığında sedimanter çökellerle yanal geçişli ve/veya dayk şeklinde yerleşmiş ya da örten volkanik kayaların mevcut olduğu görülmektedir. Bu durum Miyosen dönemi boyunca tüm Ege'deki grabenler içerisinde sedimantasyona eşlik eden etkin bir volkanizmanın varlığına işaret etmektedir. Bu çalışma kapsamında Neojen yaşlı sedimanter birimler ve onlara eşlik eden volkanizma ürünlerine ait örnekler, arazi gözlemleri, petrografik ve jeokronolojik verilerle karşılaştırılarak, Neojen dönemine ait sedimanter ve volkanik kayaç gruplarının tanımlanması ve birbirleriyle olan ilişkileri ortaya çıkarılmıştır.

Miyosen boyunca KD-GB ve D-B yönünde gelişmiş Bakırçay, Dereköy, Kırkağaç ve Bakır grabenlerinde çökelen gölsel sedimanlar Erken – Orta Miyosen yaşlı Soma Formasyonu ile Orta Miyosen yaşlı Deniz Formasyonu olarak isimlendirilmiştir. Formasyon tabanda organik maddece zengin göl ortamını karakterize eden çakıltaşı, kumtaşı ve kilttaşlarından

oluşan M1 Üyesi ile başlar, üste doğru Alt linyit seviyesi olarak tanımlanmış Km2 Üyesi, birbiriyle yanal ve düşey geçişli marnlarla karakteristik M2 Üyesi, kireçtaşlarından oluşan M3 Üyesi ve ince linyit katmanları ile kiltası araldanmalı orta kömür damarı olan KM3 Üyesi ile son bulmaktadır. Neojen yaşlı karasal volkanizma ürünü olan Adilköy Volkanitleri Soma Formasyonu içerisine dayk şeklinde yerleştikleri görülmüştür ve bazaltik karakterli kayalarda yoğun alterasyon hakimdir. Deniz Formasyonu ise tabanda kumtaşı-silttaşı- alacalı kilttaşlarından oluşan P1 Üyesi ile başlar, üste doğru sırasıyla üst kömür horizon seviyesi olan KP1 Üyesi, Marn-Kiltası-tüf araldanmalı P2ab Üyesi, konglomera-kumtaşı-kiltası araldanmalı P2c Üyesi ve Silisifiye kireçtaşı- tüf araldanmalı P3 Üyesi'yle son bulmaktadır. Diğer bir karasal volkanizma ürünü olan Kalemköy Volkanitleri ise Deniz Formasyonu ile yanal geçişli ve/veya onu örtmektedir. Tüm bu istiflerin üzerinde Üst Pliyosen yaşlı Kumköy Formasyonu bulunmaktadır ve bölge stratigrafisinin en üstünde Kuvaterner yaşlı alüvyal çökeller ve yamaç molozları yer almaktadır.

Çalışma alanının kuzeydoğu ve güneybatısındaki Adilköy ve Kalemköy Volkanitleri içerisinden alınan örnekler $^{40}\text{K}/^{40}\text{Ar}$ yaş analizi yöntemiyle yaşlandırılmış olup bölgede volkanik faaliyetin Geç Oligosen'den başlayıp (25,5 My; Şattiyen) Orta Miyosen'e kadar (17 My; Langiyen – Serravaliyen) devam ettiği saptanmıştır. Saatçılar vd. [43] 'nin Dereköy grabeninin güneybatısından yapmış oldukları Volk-1 nolu KD – GB yönlü sismik yansıma kesitinde Deniz Formasyonu birimlerini kesen ve sill şeklinde yerleşen volkanik malzeme, volkanizmanın Orta – Geç Miyosen'e kadar etkin olduğunu göstermektedir. Ayrıca arazi gözlemlerine dayalı saptanan stratigrafik ilişkiler, jeokronolojik veriler ve sismik yansıma kesitlerine bakıldığında Deniz Formasyonu'nun en genç çökelim yaşı Orta Miyosen olmalıdır yorumu yapılabilmektedir.

Teşekkür

Bu çalışma İstanbul Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yürütücü Sekreterliği'nin 19129 numaralı yüksek lisans araştırma projesi ile desteklenmiştir. Arazi çalışmaları boyunca yardımlarını esirgemeyen TKİ Ege Linyit İşletmeleri Müdürlüğü'ne ve Dr. Yiğit KURT'a teşekkürü borç bilirim. Makalenin daha iyi hale gelmesini sağlayan yapıcı eleştirilerinden dolayı isimleri saklı hakemlere de teşekkür ederim.

Etik Beyanı/Declaration of Ethical Code

Bu çalışmada, "Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesi" kapsamında uyulması gerekli tüm kurallara uyulduğunu, bahsi geçen yönergenin "Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiğine Aykırı Eylemler" başlığı altında belirtilen eylemlerden hiçbirinin gerçekleştirilmediğini taahhüt ederiz.

Kaynakça

- [1] Harris, N.B.W., Kelley S., Okay A.I. 1994. Post-collisional magmatism and tectonics in northwest Anatolia. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 117, 241-252.
- [2] Okay, A.I, Tüysüz, O. 1999. Tethyan sutures of Northern Turkey. In: Durand, B., Jolivet, L., Horthváth, F., Séranne, M. (Eds.), *The Mediterranean Basin: Tertiary Extension within the Alpine Orogen*. Geological Society, London, Special Publication 156, 475-515.
- [3] Şengör, A.M.C., Yılmaz, Y. 1981. Tethyan Evolution of Turkey: A Plate Tectonic Approach. *Tectonophysics*, 75, 181-241.
- [4] Şengör, A.M.C. 1987. Cross-faults and differential stretching of hanging walls in regions of low angle normal faulting: examples from western Turkey. From Coward, M.P., Dewey, J.F., Hancock, P.L. (eds), *Continental Extensional Tectonics*, Geological Society Special Publication, 28, 575-589.
- [5] Okay, A.I., Satır, M., Maluski, H., Siyako, M., Monie, P., Metzger, R., Akyüz, S. 1996. Paleo- and Neo- Tethyan events in Northwestern Turkey: Geologic and geochronologic constraints. *The Tectonic Evolution of Asia*, 420-441.
- [6] Okay, A.I., Satır, M. 2000. Coeval plutonism and metamorphism in a latest Oligocene metamorphic core kompleks in northwest Turkey. *Geological Magazine*, 5, 495-516.
- [7] Koçyiğit, A. 1984. Tectono-stratigraphic Characteristics of Hoyran Lake Region (Isparta Bend), *Geology of the Taurides, Interna. Symp.*, 53-67, Ankara.
- [8] Westaway, R. 1990. Blok rotation in western Turkey. 1. Observational evidence *Journal of Geophysical Research*, 95, 19857 - 19884.
- [9] Yılmaz, Y, Genç, S.C., Gürer, O.F., Bozcu, M., Yılmaz, K., Karacık, Z., Altunkaynak, Ş., Elmas, A. When did the western Anatolian grabens begin develop? In: Bozkurt, E., Winchester, J.A. and Piper, J.D.A. (eds), *Tectonics and Magmatism in Turkey and Surrounding Area*. Geological Society, Special Publications, London, 173, 353-84.
- [10] Şengör, A.M.C. 1979. The North Anatolian Transform Fault: its age, offset and tectonic significance. *Journal of the Geological Society*, London, 136, 269-82.
- [11] Şengör, A.M.C., Görür, N., Şaroğlu, F. 1985. Strike-Slip Deformation Basin Formation and Sedimentation: Strike-Slip Faulting and Related Basin Formation in Zones of Tectonic Escape: Turkey As A Case Study. *Society of Economic Paleontologists and Mineralogist, Special Publication*, 37, 227-264.
- [12] Seyitoğlu, G., Scott, B.C. 1991. Late Cenozoic crustal extension and basin formation in West Turkey. *Geological Magazine*, 128, 155-166.
- [13] Seyitoğlu, G., Scott, B.C. 1992. Late Cenozoic volcanic evolution of the NE Aegean region. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 54, 157-176.
- [14] Seyitoğlu, G., Scott, B.C. 1994. Late Cenozoic basin development in west Turkey. Gördes basin: tectonics and sedimentation. *Geological Magazine*, 131, 631-637.
- [15] Seyitoğlu, G, Scott, B.C. 1996. Age of Alaşehir Graben (West Turkey) and its tectonic implications. *Geological Journal*, 31, 1-11.
- [16] Seyitoğlu, G. 1997. Late Cenozoic tectono-sedimentary development of the Selendi and Uşak- Güre basins: a contribution to the discussion on the development of east-west and north trending basins in western Anatolia. *Geological Magazine*, 134, 163-175.
- [17] Bozkurt, E. 2003. Origin of NE-trending basins in western Turkey. *Geodinamica Acta*, 16, 61-81.
- [18] Purvis, M., Robertson, A.H.F. 2004. A pulsed extension model for the Neogene Recent E-W trending Alaşehir Graben and the NE-SW trending Selendi and Gördes Basins, western Turkey. *Tectonophysics*, 391, 171-201.
- [19] Ersoy, E.Y., Helvacı, C., Sözbilir, H. 2010. Tectono-stratigraphic evolution of the NE-SW trending superimposed Selendi Basin: implications for Late Cenozoic crustal extension in western Anatolia, Turkey. *Tectonophysics*, 488, 210-232.
- [20] Ersoy, E. Y., Helvacı, C., Palmer, M.R. 2011. Stratigraphic, structural and geochemical features of the NE-SW trending Neogene volcano-sedimentary basins in western Anatolia: implications for associations of supradetachment and transtensional strike-slip basin formation in extensional tectonic settings. *Journal of Asian Earth Science*, 41, 159-183.
- [21] Karaoğlu, Ö., Helvacı, C., Ersoy, E.Y. 2010. Petrogenesis and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ geochronology of the volcanic rocks of the Uşak- Güre basin, western Turkey. *Lithos*, 119, 193-210.
- [22] Karaoğlu, Ö. 2014. Tectonic controls on the Yamanlar volcano and Yuntdağı volcanic region, western Turkey: implications for an incremental deformation. *Journal of Volcanology*, 274, 16-33.
- [23] Okay, A.I., Siyako, M. 1991. İzmir Balıkesir arasında İzmir-Ankara Neo-Tetis kenarının yeni konumu, Türkiye ve Çevresinin Tektoniği-Petrol Potansiyeli. *Ozan Sungurlu Sempozyumu Bildirileri, Ozan Sungurlu Bilim, Eğitim ve Yardım Vakfı*, sayfa 333-355, Ankara. 1991.

- [24] Brinkmann, R., Feist, R., Marr, W.U., Nickel, E., Schlimm, W., Walter, H.R. 1970. Soma Dağlarının Jeolojisi. M.T.A. Dergisi, 74, 41-56.
- [25] Brinkmann, R. 1972. Mesozoic troughs and crust structure in Anatolia. Geol. Soc. Am. Bull. 83, 819-826.
- [26] Nebert, K. 1978. Linyit içeren Soma Neojen Bölgesi, Batı Anadolu. M.T.A. Dergisi, 90, 20-69.
- [27] Güvenç, T., Konuk, T. 1981. Sedimentation and fracturation during Triassic and Aegean-Anatolian Fracturation Zone. *Yerbilimleri, Bull. Ins. EARTH Sci., Hacettepe Üniversitesi*, 7, 43-53.
- [28] Erdoğan, B. 1990. İzmir-Ankara zonunun İzmir-Ankara zonunun İzmir ile Seferihisar arasındaki bölgede stratigrafik özellikleri ve tektonik evrimi. TPJD Bülteni, 2(1), 1-20.
- [29] İnci, U. 1998a. Lignite and carbonate deposition in Middle Lignite succession of the Soma Formation, Soma coalfield, Western Turkey. *International Journal of Coal Geology*, 37, 287-313.
- [30] İnci, U. 1998b. Synvolcanic alluvial sedimentation in lignite-bearing Soma basin. *Tr. J. Earth Sci.*, 7, 63-78.
- [31] İnci, U. 2002. Depositional evolution of coal succession in the Soma coalfield, Western Turkey. *International Journal of Coal Geology*, 51 (1), 1-29.
- [32] İnci, U., Koçyiğit, A., Bozkurt, E., Arpalıyığıt, İ. 2001. Kırkağaç ve Soma (Manisa) Grabenleri Kenar Faylarının Kinematik Analizi Ve Depremsellik. *Yer Deniz Ve Atmosfer Bilimleri Araştırma Grubu, YDABÇAG-199Y013 no lu TUBİTAK projesi.*
- [33] Yeşilyurt, S.K., Taner, G. 1999. Manisa (Soma) yöresi (Batı Anadolu) Neojen Stratigrafisi ve Molluska Faunası. I. Batı Anadolu Hammade Kaynakları Sempozyumu, 157-16.
- [34] Alkaç, O. 2014. Kınık (İzmir) dolayının Neojen stratigrafisi ve neotektonik özellikleri. İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 165s. İstanbul.
- [35] Tan, T., Ertürk, İ., Bekmezci, F., Altınay, A. 2008. Manisa-Soma – Eynez, İzmir – Kınık – Yaylaköy Sahası 05.04.2007 tarihli sözleşme raporu, M.T.A. Rapor numarası 2007-33 38, Ankara.
- [36] Takahashi, E., Jux, U. 1991. Miocene playnomorphs from lignites of Soma Basin. *Nat. Sci. Bull. Fac. Lib. Arts*, 32 (1), 7-165.
- [37] Kahraman, B. 2011. Güney Soma (Manisa KD'su – Türkiye) Neojen Havzası'nın Tektonik Özellikleri. Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 56 s. Ankara.
- [38] Bozkurt, E. 2001. Neotectonic of Turkey – a synthesis, *Geodinamica Acta*, 3-30.
- [39] Ercan, T., Güney, E., Çevikbaş, A., Ateş, M., Küçükayman, A., Can, B., Erkan, M. 1984. Bigadiç çevresinin (Balıkesir) jeolojisi magmatik kayaların petrolojisi ve kökensel yorumu. M.T.A Raporu, derleme no. 7601, Ankara.
- [40] Nebert, K. 1959. Bakırçay'ın güneyinde bulunan linyit kömürü ihtiva eden Soma (Manisa vilayeti) Neojen sahasının jeolojik durumları hakkında rapor. M.T.A. Raporu No. 3019, Ankara.
- [41] Krushensky, R.D. 1976. Volcanic rocks of Turkey. *Bulletin of Geological Survey, Japan* 26–393.
- [42] Dindi, F. 2011. Soma havzası ve çevresindeki neojen yaşlı volkanik kayalarının petrografisi ve jeokimyası. DokuzeYLül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 81s. İzmir.
- [43] Saatçılar, R., Yılmaz, M., Toyga, AR., İnan, S., Kösebalaban, A., Anaç, S., Duran, H., Onbaşı, M., Ersoy, M., Atasayar, M., Ergüder, İ., Duygun, F., Ergintav, S., Dikbaş, A., Yalçın, M.N., Okandan, E., Yürüm, Y., Demirbağ, E. 2010. Underground Coal Determination By Integrated (Reflection and WVSP) Seismic in The Miocene Soma Basin (Western) Turkey. 27 th Annual Pittsburgh Coal Conference İstanbul, Sözlü Bildiri, Türkiye.
- [44] Kleinsorge, H. 1941. Manisa vilayeti, Soma linyit zuhuru ve civarının jeolojisi, M.T.A yayınları, seri A no. 5, Ankara.
- [45] Borsi, J., Ferrara, G., Innocenti, F., Mazzuoli, R. 1972. Geochronology and petrology of recent volcanics in the eastern Aegean Sea (West Anatolia and Levos Iceland). *Bulletin of Volcanology*, 36, 473-496.
- [46] Çoban, H., Karacık, Z., Ece, O.I. 2012. Source contamination and tectonomagmatic signals of overlapping Early to Middle Miocene orogenic magmas associated with shallow continental subduction and asthenospheric mantle flows in Western Anatolia: a record from Simav (Kütahya) region, *Lithos*, 140, 119-144.
- [47] Karaoğlu, Ö. 2014, Tectonic controls on the Yamanlar volcano and Yuntdağı volcanic region, western Turkey: implications for an incremental deformation, *Journal of Volcanology*, 274, 16-33.
- [48] Ercan, T., Satır, M., Kreuzer, H., Türkecan, A., Günay, E., Çevikbaş, A., Ateş, M., Can B. 1985. Batı Anadolu Senozoyik volkanitlerine ait yeni kimyasal, izotopik ve radyometrik verilerin yorumu. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 28, 121-136.
- [49] Ercan, T., Steinitz, G., Dora, A., Sarıfakıoğlu, E., Adis, C., Walter, H-J., Yıldırım, T. 1995, Biga Yarımadası ile Gökçeada, Bozcaada ve Tavşan Adalarındaki (KB Anadolu) Tersiyer Volkanizmasının Özellikleri, *Bulletin Mineral Research and Exploration Institute (Turkey)*, 177, 55-86.

- [50] Pe-Piper, G., Piper, D.J.W., Kotopouli, C.N., Paganos, A.G. 1995. Neogene volcanoes of Chios, Greece: The relative importance of subduction and back-arc extension, *Geology*. Society of London, Special Publish, 53, 371-387.
- [51] Pe-Piper, G. and Piper, D.J.W. 1992. Geochemical variation with time in the Cenozoic high-K volcanic rocks of the island of Lesbos, Greece: Significance for shoshonite petrogenesis, *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 53, 371-387.
- [52] Aldanmaz, E., Pearce, J.A., Thirlwall, M.F. and Mitchell, J.G. 2000. Petrogenetic evolution of late Cenozoic, post-collision volcanism in western Anatolia, Turkey, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 102, 67-95.
- [53] Emre, T., Sözbilir, H. 2005. Küçük Menderes grabeni doğu ucundaki andezitlerin (Başova-Kiraz/İzmir) jeolojisi, petrografisi ve jeokimyası, *Bulletin Mineral Research and Exploration Institute (Turkey)*, 131, 1-19.
- [54] Innocenti, F., Agostini, S., Di Vincenzo, G., Doglioni, C., Manetti, P., Savaşçın, M.Y. ve Tonarini, S, 2005, Neogene and Quaternary volcanism in Western Anatolia: magma sources and geochemical evolution, *Marine Geology*, 221, 397-421.
- [55] Karacık, Z., Yılmaz, Y., Pearce, J.A. 2007. The Dikili-Çandarlı volcanics, Western Turkey; magmatic interactions as recorded by petrographic and geochemical features. *Turkish Journal of Earth Science*, 16, 493-522.
- [56] Altunkaynak, Ş., Genç, S.C. 2008, Petrogenesis and time-progressive evolution of the Cenozoic continental volcanism in the Biga Peninsula, NW Anatolia (Turkey), *Lithos*, 102, 316-340.
- [57] Helvacı, C., Ersoy, E.Y., Sözbilir, H., Erkül, F., Sümer, Ö., Uzel, B. 2009, Geochemistry and $^{40}\text{Ar} / ^{39}\text{Ar}$ Geochronology of Miocene volcanic rocks from the Karaburun Peninsula: implications for amphibolite-bearing lithospheric mantle source, Western Anatolia. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 185, 181-202.
- [58] Ersoy Y. E., Dindi F., Karaoğlu Ö., Helvacı C. 2012, Soma Havzası ve Çevresindeki Miyosen Volkanizmasının Petrografik ve Jeokimyasal Özellikleri, *Batı Anadolu, Türkiye, Yerbilimleri dergisi* 33(1), 59-80.

Kamusal Bir Mekânsal Örgütlenmedeki Avlunun Mekânsal Özellikleri Bakımından Değerlendirilmesi: Diyarbakır Yenışehir Belediyesi Hizmet Binası Örneği

Latife ÖLKER¹, Ayhan BEKLEYEN²

¹ Muş Alparslan Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, 49250, Muş, Türkiye

² Dicle Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, 21280, Diyarbakır, Türkiye

(Alınış / Received: 30.06.2022, Kabul / Accepted: 07.10.2022, Online Yayınlanma / Published Online: 20.12.2022)

Anahtar Kelimeler

Avlu,
Avlulu mekânsal örgütlenme,
Kamusal avlu,
Kullanıcı değerlendirmesi,
Avlunun özellikleri

Öz: Antik dönemlerden günümüze sıcak iklimin baskın olduğu coğrafyalarda üretilen yapılı çevrelerdeki avlular, çevrelerindeki kapalı yaşam alanları için doğal havalandırma ve aydınlatma sağlayan anlamlı boşluklar, doğanın iç mekâna taşındığı manzara ve iklimsel konforu artıran özel mekânlardır. Özellikle sıcak ve kurak bir iklime sahip olan Türkiye'nin güneydoğusundaki tarihi yaşam alanları, avlunun odağında yer aldığı mekânsal örgütlenmelerle doludur. Ancak bu mekânsal örgütlenmeleri bünyesinde barındıran kamu binalarının sayısı günümüzde oldukça sınırlıdır. Bu amaçla, mimari projesi ödül alan ve avlulu bir mekân örgütlenmesine sahip bir kamu binası olan Diyarbakır'daki Yenışehir Belediyesi Hizmet Binası, avlusu özelinde incelenmeye değer bulunmuştur. Temel amaç olarak bu çalışma, günümüz kullanıcılarının avlulu mekân örgütlenmelerine ve özellikle avluya yönelik algılarının belirlenmesine odaklanmaktadır. Veriler 57 kullanıcıya uygulanan anket uygulaması ve yarı yapılandırılmış görüşmeler yoluyla elde edilmiştir. Bu çalışmada kamusal özellikler taşıyan avlunun, kullanıcıları bakımından kullanıcılarında pozitif bir izlenim yarattığı belirlenmiştir. Avlunun özellikle sıcak iklimlerde gelecek bina tasarımlarında bir katalizör görevi üstlenebilecek güçlü bir potansiyele sahip olduğu, kullanıcı değerlendirmeleri ile ortaya çıkmaktadır.

Evaluation of the Courtyard in Terms of Spatial Characteristics in a Public Spatial Configuration: Example of Diyarbakır Yenisehir Municipality Service Building

Keywords

Courtyard,
Courtyard spatial
configuration,
Public courtyard,
User evaluation,
Features of courtyard

Abstract: Courtyards in built environments, which have been built in geographies where the hot climate is dominant since ancient times, are meaningful cavities that provide natural ventilation and lighting for the indoor living spaces around them, landscapes in which nature is carried indoors, and special spaces that increase climatic comfort. The historical living areas in southeast Turkey, which has a particularly hot and arid climate, are full of spatial configurations in which the courtyard is at the center. However, the number of public buildings incorporating these spatial configurations is quite limited today. For this purpose, Yenışehir Municipality Service Building in Diyarbakır, which is a public building with an award-winning architectural project and a space configuration with a courtyard, was found worthy to be examined specifically for its courtyard. As a main purpose, this study focuses on today's users on the spatial configurations with courtyard and especially on determining their perceptions of the courtyard. The data were obtained through the questionnaire application applied to 57 users and semi-structured interviews. In this research, it has been determined that the courtyard, which has public features, creates a positive impression on its users in terms of its use. It is revealed by user reviews that the courtyard has a strong potential to act as a catalyst in future building designs, especially in hot climates.

1. Giriş

Antik dönemlerden günümüze avlulu mekân örgütlenmeleri, dünyanın birçok coğrafyasının yapıları çevrelerinde yaygın olarak kullanılmıştır [1-4]. Bu mekân örgütlenmeleri deneme ve yanılma yoluyla elde edilen binlerce yıllık deneyimlerin uzantılarıdır [5-7]. Özellikle sıcak iklimin hüküm sürdüğü sıkışık yerleşimlerin mekânsal planlamalarında bu örgütlenme, yaşanabilir geleneksel çevreler için ideal bir çözüm olmuştur [8,9]. Ayrıca olumsuz hava koşullarından korunmak için bir boşluk etrafında organize edilen avlulu mekânsal çözüm, yapıları çevrelerin biçimlenmesinde dünyanın her yerinde kullanılmıştır [10].

Avlulu mekân örgütlenmesine ismini veren avlu mekânı; sadece yapıları çevrede yer alan bir boşluktan ibaret değildir. Üstü açık ve doğayla doğrudan etkileşim içinde olan avlu; içindeki ağaç ve bitkilerle, ayrıca havuz gibi bir su ögesi ile sakin ve huzurlu bir yerdir [11]. Bu özelliği ile avlu, mekânsal örgütlenmedeki diğer mekânlar için bir manzara niteliğindedir. Ayrıca varlığı ile bu mekân, bitişikteki diğer mekânlara sağladığı ışık ve hava ile onların mekânsal konforunu da artırmaktadır.

Sıcak iklimlerdeki yapıları çevrelerin biçimlenmesinde iklimin önemli bir etkisi vardır. İklimin olumsuz etkilerini enerji verimi bakımından en iyi dengeleyen bina formu içinde avlu, stratejik bir mekânsal özelliğe sahiptir [12]. Bünyesindeki ağaç, bitki ve su öğeleriyle iç ortamının soğutulduğu ve nemlendirildiği avlu, hava koşullarını dengeleyen bir mikro iklime sahiptir [13-15]. Güneşin hareketleri doğrultusunda avlu, günün her saatinde mutlaka gölgeli bir alanı bünyesinde barındırmaktadır [16]. Bu özelliğiyle bile bu mekân, içinde bulunduğu mekân örgütlenmesine katkı sağlamaktadır.

Günümüzde özellikle rüzgâr hızı ve hava hareketlerinin kullanıcı konforu bakımından önemli bir etkiye sahip olduğu bilinmektedir. Bu doğrultuda en fazla enerji harcamaları, bina iklimlendirmesine ayrılmaktadır [17]. Sıcak iklimlerde özellikle yaz aylarında soğutma giderlerine harcanan enerji oldukça fazladır. Mekanik havalandırmayı azaltan ve doğal havalandırmayı destekleyen avlulu mekân örgütlenmeleri ise bu anlamda ön plana çıkmaktadır [17,18]. Ayrıca kamu binaları gibi çok birimli ve çok sayıda çalışanın kullandığı çalışma alanlarının konforuna iklimsel olarak fayda sağlayan avlulu mekân örgütlenmelerinin merkezinde yer alan avlular, kamusal kullanımları bakımından da günümüzde önem kazanmaktadır.

Özellikle Türkiye'deki sıcak iklim bölgelerinde geleneksel ve erken cumhuriyet dönemlerinde üretilen avlulu mekân örgütlenmelerine sahip kamu binaları (Örneğin; Diyarbakır'daki Tekel İçi Fabrikası (bugün 75. Yıl Çocuk ve Gençlik Merkezi

olarak kullanılmaktadır), Asker Hastanesi ve Muallim Mektebi (bugün Gaffar Okan Lisesi olarak kullanılmaktadır)) görülmesine karşın, günümüzde bu mekânsal organizasyonu bünyesinde barındıran kamu binası sayısı oldukça sınırlıdır. Bu amaçla, 2005 yılında açılan ulusal mimari proje yarışmasında birincilik ödülü alan ve hizmete açıldığı 2016 yılında 16. Ulusal Mimarlık Ödülleri arasında Yapı Dalı Ödülü'nü kazanan [19] Yenişehir Belediyesi Hizmet Binası, bu çalışma kapsamında avlusu özelinde incelenmeye değer bulunmuştur. Temel amaç, günümüz kullanıcılarının avlulu mekân örgütlenmelerine ve özellikle avluya yönelik algılarının belirlenmesine odaklanmaktadır. Günümüzde üretilen avlulu mekân örgütlenmelerine yönelik kullanıcı algılarına ya da değerlendirmelerine odaklanan herhangi bir araştırma bulunmamaktadır. Bu nedenle çalışmanın ilgili literatürdeki boşluğa katkı sağlaması hedeflenmektedir.

2. Materyal ve Metot

Bu çalışma kapsamında incelenen avlulu mekân örgütlenmesine yönelik mekânsal bilgi ile kullanıcı ve algılarına yönelik verinin toplanması ve elde edilmesi yönünde kullanılan yöntem aşağıda belirtilmektedir.

2.1. Örnek Bir Avlulu Mekân Örgütlenmesi

Avlulu mekân örgütlenmesine sahip ve Türkiye'nin güneydoğusundaki geleneksel mimarinin mekânsal özelliklerini bünyesinde saklayan modern bir bina olan Diyarbakır'ın Yenişehir Belediyesi Hizmet Binası, avlusu özelinde incelenmiştir. Çok sayıda belediye çalışanı ile görüşme fırsatı sunan bu kamusal ortam, hizmet binasının avlusunun değerlendirilmesine önemli bir avantaj sağlamıştır. Ayrıca projesinin bir mimari tasarım yarışması ile elde edilmesi, bu avlulu binanın araştırma kapsamının öznesi olmasına zemin hazırlamıştır.

Yenişehir Belediyesi Hizmet Binasının tasarım süreci 2005 yılında açılan ulusal bir mimari proje yarışması ile başlamaktadır. Bu yarışma için Diyarbakır'ın tarihi yerleşmesinin (Suriçi) batıya açılan ulaşım aksı (Urfa Kapı'dan Tren Garı'na uzanan İstasyon Caddesi) üzerindeki büyük bir arazi, hizmet binasının uygulanacağı alan olarak seçilmiştir. Uygur Mimarlık tarafından önerilen mimari proje ise düzenlenen bu yarışmada birincilik ödülü almıştır. Çeşitli ekonomik ve siyasal nedenlerle ödül alan proje, bu arsada uygulanamamış ve 2012 yılında binanın şehrin yeni gelişen kuzey bölümünde konumlanmasına karar verilmiştir (Şekil 1). Diyarbakır'ın kuzeybatısındaki Elazığ Caddesine bitişik bir konumda planlanan hizmet binası, eklenen yeni ihtiyaçlarla birlikte yeniden tasarlanmış, uygulanmış ve 2016 yılında hizmete açılmıştır (Şekil 2) [19]. Yenişehir Belediyesi Hizmet Binası, aynı yıl 16. Ulusal Mimarlık Ödülleri arasında Yapı Dalı Ödülü'nü kazanan eserler arasında yerini almıştır.



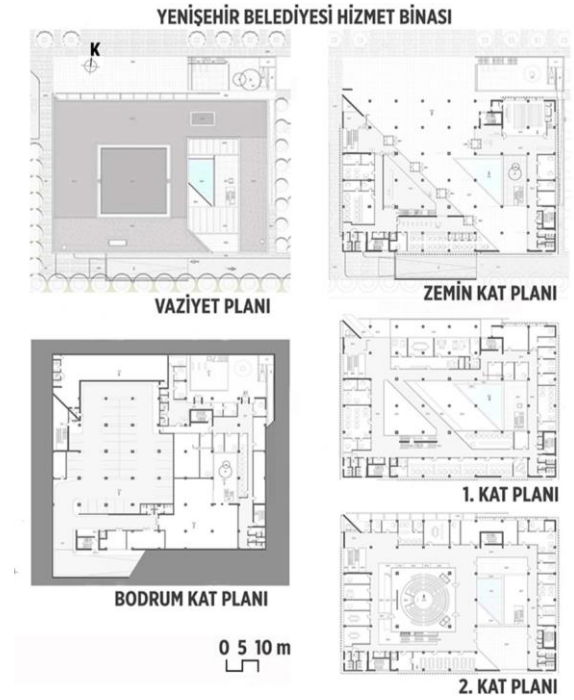
Şekil 1. Yenişehir Belediyesi Hizmet Binasının Diyarbakır Kenti içindeki konumu [20]



Şekil 2. Yenişehir Belediyesi Hizmet Binasının kuzeybatıdan görünüşü

Bu bina, avlulu bir mekân örgütlenmesine sahiptir (Şekil 3). Binanın tasarımında, kentin tarihsel birikimine vurgu yapan, kent morfolojisinin sürdürülebilirliğini referans alan ve yerel değerleri önemseyen bir anlayış dikkat çekmektedir. Bodrum katı dâhil dört katlı kare formlu binanın tasarımı, ortasındaki avlunun çevresinde gelişmektedir. Otopark, sığınak ve teknik bölümlere ait mekânlar bodrum katında yer almaktadır. Avlu, binanın zemin katında merkezi bir konumdadır. Kuzeybatı ve güneydoğu aksının iki açık ucundan dışarıya bağlanan avlu, hem bir geçiş hem de sosyal bir alan olarak binaya girişin sağlandığı önemli bir konumdadır. Avlunun güneydoğu (Şekil 4) ve kuzeybatı (Şekil 5) yönlerinden dışa açılan geçitler, iklimsel olarak avluda bir rüzgâr holü oluşturmaktadır (Şekil 6). Yeşil öğeler olarak içinde sadece büyük saksılı bitkiler bulunan avlunun bir kenarında üçgen formlu sığ bir havuz dikkat çekmektedir (Şekil 7). Bodrum katına su sızdığı için havuza su doldurulmamaktadır. Zemininde kullanılan gözenekli taş kaplamalar arasındaki derz boşlukları ise açık bırakılmıştır (Şekil 7). Binanın zemin ve birinci katlarında bulunan ofisler, toplantı ve çok amaçlı salonların zemini taş kaplama, duvar ve strüktür elemanları brüt beton ve cam, tavanları ise ahşap asma tavan ile kaplanan kapalı alanlar, binanın tüm kapalı mekânlarının benzer görüntülerini

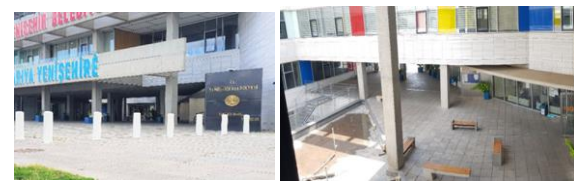
oluşturmaktadır (Şekil 8). Birinci katın döşemesinde açılan galerilerle katlar arasında ve iç kısımdaki koridorlarla da avlu arasında güçlü bir görsel ilişkinin sürekliliği sağlanmaktadır. Binanın en üst (ikinci) katında ise dairesel oturma düzenine sahip bir meclis salonu bulunmaktadır (Şekil 9). Dış sınırlarının tamamen cam olması bu mekânın aydınlık düzeyinin oldukça fazla olmasına katkı sağlamaktadır. Bu saydam mekânın çevresindeki koridorlardan ise yemek ve toplantı salonlarına, büyük bir terasa, başkan ve diğer çalışanların ofislerine ulaşılmakta, ayrıca iç avlunun görsel bağlantısı da bir panorama oluşturmaktadır. Binanın mermer olan dış cephesindeki açıklıklar ise güneş kırıcılar ile aşırı sıcak yaz güneşine karşı kontrol edilmektedir.



Şekil 3. Yenişehir Belediyesi Hizmet Binasının kat planları [19]



Şekil 4. Yenişehir Belediyesi Hizmet Binasının güneydoğudan görünüşü



Şekil 5. Kuzeybatıdan avluya giriş (solda) ve avludan binaya giriş (sağda)



Şekil 6. Güneydoğudan avluya giriş (solda) ve avludan güneydoğu girişi (sağda)



Şekil 7. İçindeki havuzu (solda), zemin kaplaması (ortada) ve iç boşluğu (sağda) ile avlu



Şekil 8. Binanın iç görüntüleri



Şekil 9. İkinci kattaki meclis salonu [21] (solda) ve teras (sağda)

2.2. Veri Toplama Araçları

Yenişehir Belediyesi Hizmet Binası'nın avlulu mekân örgütlenmesinin odağında konumlanan avlu hakkındaki kullanıcı algılarına yönelik değerlendirmeler için burada görev yapan çalışanlarından bilgi toplanması planlanmıştır. Binanın sürekli kullanıcıları olan çalışanlarından bilgi toplamak için anket tekniğinin kullanılmasına karar verilmiş ve bir anket formu hazırlanmıştır. Bunun için öncelikle Dicle Üniversitesi'nin Sosyal ve Beşeri Bilimler Etik Kurulu Başkanlığından (26.03.2021 tarih ve 48391 sayılı) etik kurul onayı ile Yenişehir Belediyesi İdaresi'nin bilgisi ve izni alınmıştır. 2021 yılında yapılan anket uygulamasına katılan kullanıcılar, rastgele seçilen 57 belediye çalışanından oluşmaktadır.

Avlulu mekân örgütlenmesini her gün kullanan kullanıcıların (çalışanların) avluyu nasıl algıladıklarının belirlenmesi için hazırlanan anket formu iki bölümden oluşmaktadır. Kullanıcıların demografik özelliklerinin belirlendiği ilk bölüm, dört

sorudan (cinsiyet, yaş, öğrenim durumu, kullanım süresi) oluşmaktadır. Anket formunun ikinci bölümü ise kamu binasının önemli bir mekânı olan avluya yönelik hazırlanan 40 sorudan meydana gelmektedir. Tasarım, fiziksel, işlevsel, estetik, ısısal konfor ve iç hava kalitesi gibi çeşitli özellikleri ölçmek için hazırlanan bu sorular, dört aşamadan (kesinlikle katılıyorum, katılıyorum, katılmıyorum, kesinlikle katılmıyorum) oluşan Likert tipi derecelendirme ölçeğinin kullanıldığı cevap seçeneklerini içermektedir.

Ortalama 10-15 dakika içinde doldurulan anket formunun en son sorusu ise açık uçludur. Bu soru, kullanıcıların "avluda yapmak istedikleri değişikliklere" yönelik tercihlerinin belirlenmesine odaklanmaktadır.

2.3. Verinin Değerlendirilmesi

Kullanıcıların katıldığı anket uygulamasından elde edilen veriler, analizleri için SPSS programına aktarılmıştır. Anket verilerinin Cronbach alfa (α) güvenilirlik testi sonucu 0,928 bulunmuştur. Bu güvenilirlik katsayısı, anketin yüksek güvenilirlikte olduğunun bir göstergesidir [22].

Anket sorularına verilen yanıtların değerlendirilmesinde aşağıdaki memnuniyet endeksi formülü kullanılmıştır [23]. Soruların yanıtlarına ilişkin seçeneklere (kesinlikle katılıyorum, katılıyorum, katılmıyorum ve kesinlikle katılmıyorum) karşılık gelen ağırlık dereceleri (W_i) sırasıyla 4, 3, 2 ve 1 puanları ile ifade edilmektedir. Aşağıdaki kullanıcı memnuniyet endeksi (S_j) formülündeki n_i sembolü, memnuniyet düzeyine ilişkin performansa yönelik her bir ağırlık derecesine (w_{ij}) kullanıcıların verdiği yanıtların sayısını ifade etmektedir.

$$S_j = \left(\sum_{i=1}^{i=4} w_{ij} n_i \right) / \left(\sum_{i=1}^{i=4} n_i \right) \quad (1)$$

İlgili performans düzeyine yönelik kullanıcılardan elde edilen yanıtların ağırlıklı ortalaması 3,50 ve üzerinde ise kullanıcının çok memnun, bu ortalama 2,50 ile 3,49 arasında ise kullanıcının memnun olduğu öngörülebilmektedir. Bu değer 1,50 ile 2,49 arasında ise kullanıcının memnun olmadığı, ortalamanın 1,49 ve altında olduğu durumda ise kullanıcının hiç memnun olmadığı sonucu çıkarılabilmektedir [23].

3. Bulgular

İncelenen ilgili binanın kullanıcılarının özellikleri ve onların avluya yönelik değerlendirmelerinden oluşan bulgular aşağıdaki başlıklar altında verilmiştir.

3.1. Kullanıcı Özellikleri

Alan çalışmasına katılan 57 belediye çalışanının çoğu erkeklerden (%68) oluşmaktadır. Daha çok 25-34 yaşları arasında (%58) olan katılımcıların çoğu, üniversite mezunu (%65) bireylerden oluşmaktadır. Ayrıca çalışanların birçoğunun (%79) üç yıl ya da daha fazla bir süre incelenen binada çalıştıkları belirlenmiştir (Tablo 1).

Tablo 1. Anket çalışmasına katılan kullanıcıların özellikleri

Kullanıcı Özellikleri		N	%
Cinsiyet	Kadın	18	31,6
	Erkek	39	68,4
Yaş	25-34	33	57,9
	35-44	13	22,8
	45-54	8	14,0
	55 ve üzeri	3	5,3
Öğrenim Durumu	İlkokul	1	1,8
	Lise	13	22,8
	Lisans	37	64,9
	Yüksek lisans	4	7
	Doktora	2	3,5
Çalışma Süresi	6 ay	1	1,8
	1 yıl	1	1,8
	2 yıl	10	17,5
	3 yıl ve üzeri	45	78,9

3.2. Kamusal/Kentsel Bir Alan Niteliğindeki Avlunun Kullanıcı Memnuniyet Seviyeleri Üzerinden Değerlendirilmesi

İncelenen binanın hem tasarımı hem de fiziksel özellikleri bakımından çalışanları tarafından beğenildiği (3,40) belirlenmiştir. Bina tasarımının önemli bir parçası olan ve bina formunun bir sonucu olarak ortaya çıkan kamusal/kentsel bir alan olan avlunun genel biçimsel özellikleri (3,23) ve barındırdığı ambiyans bakımından beğenilen (3,28) mekânsal özellikler taşıdığı bulunmuştur (Tablo 2). Bina biçimi ile avlu arasında, çalışan beğenisini öne çıkaran bazı önemli biçimsel özellikler de belirlenmiştir. Binanın kuzey yönündeki üç katlı kısmın zemin katının büyük bir bölümü, bir geçit gibi açıldığı için avlunun bu kısma taşan bölümlerinin üstü doğal olarak kapalıdır. Özellikle bu kısmın gölgeli bir alan niteliği taşımasının yanında, halkı ana bina girişine yönlendiren bu geçidin kuzeybatı egemen rüzgâr yönüne açık olması, çalışanları tarafından bir avantaj olarak görülmekte ve avlunun serinliğine katkı sağladığı belirtilmektedir. Daha küçük olan benzer bir başka geçit de avlunun güneydoğusunda bulunmaktadır. Bu anlamda avlunun üstünün açık olması (3,25) kullanıcı tarafından beğenilmektedir. Kuzeybatısındaki geçitten avluya dolan hâkim rüzgâr, güneybatı geçidinden dışarı çıkmaktadır. İnsanlar da binanın kapalı bölümlerine geçmek için bu rüzgâr akışı üzerinden avluya girmektedir. Bu hava akışı, gölgeli alanlar (geçitler) arasındaki avlunun serin olmasını daha da artırmaktadır. Bu tasarımsal çözüm, Bahrami'nin [24] avluda gölgeli alanların, Heidari'nin

[25] avluda hava akışının oluşturması ve güneşten korunması tezini de desteklemektedir [24-26].

Kamusal bir giriş niteliğindeki avluyu dışa bağlayan bu geçitler, hem rüzgârı hem de halkı avluya taşımaktadır. Bu anlamda geçitlerden sonra gökyüzüne açılan bir boşluğun varlığı (avlu), kullanıcılar tarafından beğenilmektedir. Bu çalışma kapsamında avlunun üstünün kapalı olması yönündeki bir soruya çalışanların verdiği yanıtların, olumsuz (2,50) nitelikler taşıdığı da saptanmıştır (Tablo 2). Ayrıca "avlunun üst kısmının güneşi kontrol edecek biçimde tasarlanması" yönündeki tasarımsal fikirleri de kullanıcıların olumlu (3,23) karşıladığı bulunmuştur (Tablo 2). Beğeni ortalaması biraz düşse de kullanıcıların "avlunun üst kısmının kışın kapanan, yaz mevsiminde ise açılan bir sistem ile çözümlenmesine" yönelik (2,88) bir fikre de açık oldukları bu çalışma kapsamında keşfedilmiştir (Tablo 2).

Avlunun hacmi, onun "kapalılık" değerini göstermektedir. Bu değer ise avlunun nasıl algılandığı ile ilgilidir [27]. Yenişehir Belediyesi Hizmet Binası'nın avlusu; boyutu (3,09), yüksekliği (3,00) ve içinde kullanılan yapı malzemesi (2,84) bakımından kullanıcı tarafından beğenilmektedir (Tablo 2). Avlunun tabanında kullanılan taş malzeme, genelde tüm Orta Doğu'da yaygın olarak kullanıldığı Abdulac, [28] avlu yazın ıslatıldığında, oluşan buharlaşma iç ortamın hızlı soğumasına katkı bulunduğunu ifade etmektedir. Ayrıca avlunun çevresindeki mekânların yapay aydınlatmasına katkı sağladığı (2,75), çalışanları tarafından da desteklenmektedir. Ayrıca kullanıcılar arasında avluya bakan bir mekânda çalışmak istediğini beyan edenlerin sayısı da (2,88) yadsınamayacak oranlardadır (Tablo 2).

İşlevsel (3,11) ve estetik (2,93) olarak avluyu beğenen çalışanların oranı yüksektir (Tablo 2). Ağaç, çeşitli bitki ve çalılardan oluşan yeşil alanlar, çok eski dönemlerden beri avlulardaki cennet misali bir ortamın vazgeçilmez parçaları olmuştur [29]. Hatta bu öğelerin avluda kullanımını Ulric ve Parsons [30] doğayla doğrudan etkileşim içinde bulunmanın bir göstergesi olarak tanımlamaktadır. Yeşil öğelerin avluya görsel bir estetik sağladığı görüşünde uzlaşan çalışanlar (3,09), bu binanın avlusundaki saksılar içinde sunulan yeşil öğelerin yetersizliğini düşük memnuniyet seviyesi (2,49) ile göstermektedir (Tablo 2). Çalışanlar, yeşil öğelerin psikolojik olarak rahatlatıcı (2,91) ve dinlendirici (2,86) bir özelliğe sahip olduğunu özellikle vurgulamaktadır (Tablo 2).

Avludaki havuz da yeşil öğeler gibi oldukça önemli bir yere sahiptir. Havuzun avluya görsel bir estetik sağladığı (3,10) konusunda güçlü bir tutuma sahip olan çalışanlar, bu bina bileşenini hem rahatlatıcı (3,12) hem de dinlendirici (3,11) bir unsur olarak değerlendirmektedir (Tablo 2). Kullanımı bakımından avlunun daha çok serin (3,11) olduğu

için yaz (3,00) aylarında kullanıldığı, soğuk (3,14) ve ıslak olduğu için kış (2,91) ve bahar (2,88) aylarında daha az kullanıldığı belirlenmiştir (Tablo 2).

Kamusal avluların sosyal çevreyi desteklediği [31] ve avlu gibi sınırlı alanların kullanıcılarına güven verdiği ve kendilerini iyi hissetmelerini sağladığı bilinmektedir [32]. Bu çalışma kapsamında incelenen avlu da belediye çalışanları tarafından insanlar arasındaki iletişimi destekleyen (3,04) ve sosyal ilişkilere katkı sağlayan (3,07) bir mekân olarak değerlendirilmektedir (Tablo 2). Avlu, kullanıcı tarafından oturma alanları bakımından yeterli (2,75) ve ortam olarak güven verici (2,93) bulunmaktadır (Tablo 2). Erişimin kolay olarak algılandığı (3,19) avlu, aynı zamanda “herkes için kullanım” özellikleri bakımından kullanıcı memnuniyetini düşüren (2,68) bazı sorunları da bünyesinde barındırmaktadır

(Tablo 2). Özellikle açık alanların dolgunsuz derzlerden oluşan zemin kaplaması; kullanıcıları tarafından “yerinden çıkan parçalar sallandığı için yürümeyi zorlaştırdığı” yönünde değerlendirilmektedir. Özellikle yaşlı ve engellilerin bu durumdan tedirgin oldukları belirtilmektedir.

Isısal konfor bakımından çalışanların avluyu beğendiği (2,91), havuzun (3,23) ve yeşil öğelerin (3,11) özellikle yaz mevsiminde bu ortamın serin olmasına katkı sağladığı görüşünde oldukları belirlenmiştir (Tablo 2). Ayrıca iç hava kalitesi bakımından (3,07) ve günün her saatinde avluda gölgeli bir alanın bulunmasından da çalışanların oldukça memnun olduğu (3,07) bulunmuştur (Tablo 2). Avlunun bina bütünü içinde konforlu bir çevre yarattığı, kullanıcılarla yapılan görüşmelerde sık tekrar edilen beğeniler olarak keşfedilmiştir.

Tablo 2. Kamu binası/avlusuna yönelik kullanıcı memnuniyet seviyeleri

	Kesinlikle Katılıyorum	Katılıyorum	Katılmıyorum	Kesinlikle Katılmıyorum	Ortalama Değer	Memnuniyet
	4	3	2	1		
Tasarım ve Fiziksel Parametreler						
1. Binanın tasarımından genel olarak memnunum.	31	20	4	2	3,40	M
2. Binanın avlusunu genel olarak beğeniyorum.	24	27	4	2	3,28	M
3. Avlunun boyutu yeterlidir.	18	27	11	1	3,09	M
4. Avlu, bina ile bütünlük sağlamaktadır.	20	31	5	1	3,23	M
5. Avlunun bina içindeki konumunu (yerini) beğeniyorum.	20	31	5	1	3,23	M
6. Avlunun üst kısmının açık/kapalı olmasını beğeniyorum.	20	32	4	1	3,25	M
7. Avlunun açık olan üst kısmının güneşi kontrol edecek biçimde tasarlanması memnuniyet vericidir.	20	31	5	1	3,23	M
8. Avlunun üst kısmının kapalı olmasını isterdim.	5	11	23	18	2,05	MD
9. Avlunun üst kısmının kışın kapanan yazın açılan bir sistem ile çözümlenmesini isterdim.	17	23	10	7	2,88	M
10. Avlunun duvar yüksekliği rahatsız edici değildir.	16	30	6	5	3,00	M
11. Avluda kullanılan malzemeleri beğeniyorum (zemin, duvar).	16	22	13	6	2,84	M
12. Avlu, çevresindeki mekânların aydınlanmasını sağlıyor.	11	27	13	6	2,75	M
13. Avluya bakan bir mekânda çalışmak isterdim.	16	21	17	3	2,88	M
İşlevsel ve Estetik Parametreler						
14. İşlevsel olarak bu binanın avlusunu beğeniyorum.	18	30	7	2	3,11	M
15. Avludaki ağaç, bitki, çalı gibi yeşil öğeler yeterlidir.	16	11	15	15	2,49	MD
16. Avludaki ağaç, bitki, çalı gibi yeşil öğeler psikolojik olarak rahatlatıcıdır.	19	19	14	5	2,91	M
17. Avludaki ağaç, bitki, çalı gibi yeşil öğeler dinlendirici bir işleve sahiptir.	18	20	12	7	2,86	M
18. Avludaki havuz, psikolojik olarak rahatlatıcıdır.	19	29	6	3	3,12	M
19. Avludaki havuz, dinlendiricidir.	19	28	7	3	3,11	M
20. Yazın avlu oldukça kullanışlıdır (serin olduğu için).	18	28	10	1	3,11	M
21. Avluyu genel olarak yaz aylarında kullanıyorum.	18	24	12	3	3,00	M
22. Avluyu genel olarak bahar aylarında kullanıyorum.	14	26	13	4	2,88	M
23. Kışın avlu çok kullanışlı değildir (soğuk ve ıslak olduğu için).	17	23	12	5	2,91	M
24. Avluya erişim (ulaşım) kolaydır.	21	29	4	3	3,19	M
25. Avlu, engellilerin kullanımına uygun tasarlanmıştır.	13	21	15	8	2,68	M
26. Avlu, oturma alanları bakımından yeterlidir.	14	20	18	5	2,75	M

Tablo 2 (devam)

	Kesinlikle Katılıyorum	Katılıyorum	Katılmıyorum	Kesinlikle Katılmıyorum	Ortalama Değer	Memnuniyet
	4	3	2	1		
İşlevsel ve Estetik Parametreler (devam)						
27. Avlu, insanlar arasındaki iletişimi desteklemektedir.	13	33	11	0	3,04	M
28. Avlu, sosyal ilişkileri olumlu etkilemektedir.	15	31	11	0	3,07	M
29. Avlu, güven verici bir işleve sahiptir.	12	30	14	1	2,93	M
30. Estetik olarak bu binanın avlusunu beğeniyorum.	14	30	8	5	2,93	M
31. Ağaç, bitki ve çalı gibi yeşil öğeler avluya görsel bir estetik sağlar/sağlıyor.	19	28	6	4	3,09	M
32. Havuz, avluya görsel bir estetik sağlar/sağlıyor.	16	33	6	2	3,10	M
Termal Konfor ve İç Hava Kalitesi						
33. Isısal konfor bakımından bu binanın avlusunu beğeniyorum.	16	24	13	4	2,91	M
34. Avlu, yazın serindir.	23	28	5	1	3,28	M
35. Avlu, kışın soğuktur.	19	28	9	1	3,14	M
36. Havuz, avlunun serin olmasını sağlar/sağlıyor.	20	31	5	1	3,23	M
37. Ağaç, bitki ve çalı gibi yeşil öğeler avlunun serin olmasına katkıda bulunur / bulunmaktadır.	18	29	8	2	3,11	M
38. Günün her saatinde avluda gölgeli bir alan vardır.	16	32	6	3	3,07	M
39. İç hava kalitesi bakımından bu binanın avlusunu beğeniyorum.	17	32	3	5	3,07	M

M: Memnunum, MD: Memnun değilim

Avluda değişiklik yapma şansına sahip olmaları durumunda çalışanların çoğunun (%68), avluda bir ya da birkaç değişiklik yapmak istedikleri belirlenmiştir (Tablo 3). Daha çok avludaki oturma alanlarının ve yeşil öğelerin artırılması, herkes tarafından daha rahat kullanılabilmesi için zemin döşemesinin yeniden yapılması, yalıtımı doğru yapılmadığı için bodrum katına sızmayı engellemek amacıyla su doldurulamayan havuzun aktif hale getirilmesi, avlunun boyutunun artırılması, içinde farklı renk ve malzemelerin kullanılması gibi istekler, çalışanların yapmak istedikleri değişikliklerden bazılarıdır (Tablo 3).

Tablo 3. Avlunun değiştirilmesine yönelik istek ve görüşler

Avlunun Değiştirilmesine Yönelik İstek	Kesinlikle Katılıyorum	Katılıyorum	Katılmıyorum	Kesinlikle Katılmıyorum	Ortalama Değer
	4	3	2	1	
40. Avluda değişiklik yapmak isterdim.	22	17	11	7	2,95
Avluda Yapılması İstenilen Değişikliklere Yönelik Görüşler					
Yeşil öge miktarının artırılması					
Oturma alanlarının artırılması					
Herkes tarafından daha rahat kullanılabilmesi için zemin döşemesinin yeniden yapılması					
Havuzun su doldurularak kullanıma açılması					
Avlunun boyutunun artırılması					
Avluda farklı renk ve malzemelerin kullanılması					

4. Tartışma ve Sonuç

Avlulu bir mekân örgütlenmesine sahip bir kamu binası olan Diyarbakır'daki Yenişehir Belediyesi Hizmet Binası, bu çalışma kapsamında avlusu özelinde incelenmiştir. Çevresindeki binanın çeşitli birimlerinde çalışan belediye çalışanları tarafından değerlendirilen avlunun olumlu, olumsuz ve eksik yönleri aşağıda belirtilmektedir.

Geleneksel olarak bir avlunun üstünün açık olması, onun varlığı ile eş değerdir. İncelenen bu binanın kullanıcı değerlendirmeleri de bu yöndedir. Ancak güneşin etkisini azaltmak için avlunun üst kısmının güneşe karşı kısmen de olsa kontrol edilebilmesini sağlayacak mimari elemanların varlığı yönündeki bir fikrin, kullanıcıları tarafından olumlu karşılandığı belirlenmiştir. Bu bulgu gelecek avlu çözümleri için önemli bir ipucu olabilir. Sadece güneşe karşı değil aynı zamanda yağışlı havalarda da avlunun üstünün bazı bölümlerinin kapalı olması, bu mekânın etkin kullanımına katkı sağlayacaktır. Bu çalışmada, avlu çevresindeki kütlelerin zemin katlarının bazı bölümlerinin boşaltıldığı kısımlar (geçitler), hem avlunun bir parçası haline gelmekte hem de üstü kapalı ve gölgeli alanlar oluşturmaktadır. Tıpkı eskinin yarı açık alanları (eyvan ya da geçitler) gibi. Avlunun iki tarafındaki geçitler, hem hâkim rüzgâra (kuzey ve kuzeybatı) açık konumları ile serin havayı hem de avluyu genişleten üstü kapalı ve yarı açık konumları ile halkı odaktaki mekâna (avlu) taşımaktadırlar. Bu anlamda bu binanın avlu tasarımı, gelecekte üretilecek avlulu mekân

örgütlenmeleri için ilham verici önemli özellikleri bünyesinde saklamaktadır. Ayrıca, mevsimsel kullanımına katkıda bulunabilecek esnek ve değiştirilebilir hareketli üst örtülerle avlu ve çevresi kış mevsimi de dahil daha kullanılabilir bir alana dönüştürülebilir.

Tarihi binalardaki örnekleri ile karşılaştırıldığında avlunun hem yeşil hem de su öğeleri gibi özlemle aranan bazı özellikleri bünyesinde saklaması beklenmektedir. Bu binanın avlusundaki bu öğeler, kullanıcı beklentilerini tam olarak karşılayamamaktadır. Çünkü bu öğeler, avlunun iç ambiyansının özel bileşenleridir. Hem geçici çözümler (saksı içindeki bitkiler) hem de uygulamadan kaynaklanan sorunlar (su sızdıran havuzun boşaltılması, yerinden çıkan ve sallanan dış ortamdaki zemin kaplamasının yürümeyi zorlaştırması) bu özel bileşenlerin eksikliğini ortaya koymaktadır. Günümüzde yapılacak bilinçli müdahaleler, bu sorunların kolayca giderilebileceğine işaret etmektedir. Gelecekteki avlulu mekân örgütlenmelerinde, özellikle avlunun sert zemin (taş kaplama) alanının azaltılması ve yeşil öğeler için daha büyük alanların varlığı kullanıcı memnuniyetini de olumlu yönde etkileyecektir. Yüksek iççilik kalitesinin göstergesi olan havuzlar ve hareketli su öğeleri de kullanıcı memnuniyeti bakımından avlunun kullanımına büyük katkı sağlayabilir.

Çevresindeki mekânlara doğal ışık ve hava sağlayan avlunun, ayrıca çevresindeki mekânların soğumasına katkı sağlayan bir hava akış koridorunun da parçası olması, iç hava kalitesine de fayda sağlayacaktır. Bu binanın avlu tasarımına yönelik kullanıcı değerlendirmeleri de bu özel noktaya işaret etmektedir. Ayrıca avlulu bir mekânsal örgütlenmenin avlu odaklı değerlendirildiği bu çalışmada da gösterildiği gibi, avlunun, sadece bir boşluktan ibaret olmadığı açıktır. Özellikle sıcak ve kuru bir iklime sahip alanlarda üretilecek mekânsal örgütlenmelerin tasarımında, avlunun; güneş kontrolü, hava akışı, doğal aydınlatma ve havalandırma bakımından çevresindeki kapalı ve yarı açık mekânların konforu bakımından etkin bir biçimde kullanılabilir özellikleri bünyesinde barındırdığı gözden kaçırılmamalıdır. Özellikle kamuya açık avlu çözümlerinin, avlulu mekânsal örgütlenmelerin tasarımında bir katalizör görevi üstlenebilecek güçlü bir potansiyele sahip olduğu, kullanıcı değerlendirmeleri ile ortaya çıkmaktadır.

Teşekkür

Bu çalışma, Arş. Gör. Latife Ölker'in, Prof. Dr. Ayhan Bekleyen danışmanlığında Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü bünyesinde tamamlanan yüksek lisans tezinden üretilmiştir.

Etik Beyanı/Declaration of Ethical Code

Bu çalışmada, "Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesi" kapsamında uyulması gerekli tüm kurallara uyulduğunu, bahsi geçen yönergenin "Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiğine Aykırı Eylemler" başlığı altında belirtilen eylemlerden hiçbirinin gerçekleştirilmediğini taahhüt ederiz.

Kaynakça

- [1] Abdulac, S., Traditional housing design in the Arab countries. In: Sevchenko M.B. (ed.), Urban Housing, 1982, pp. 2-9. Cambridge: Aga Khan Program for Islamic Architecture.
- [2] Naumann, R. 1991. Eski Anadolu Mimarlığı, Ankara: Türk Tarih Kurumu Basımevi, Ankara.
- [3] Al-Azzawi, S. 1994. Indigenous Courtyard Houses: A Comprehensive Checklist for Identifying, Analysing and Appraising Their Passive Solar Design Characteristics Regions Of The Hot-Dry Climates. Renewable Energy, 5(5-8), 1099-1123.
- [4] Bekleyen, A., Eskiye Yeniye Uyarlama: Yerel Mimarideki Özgünlüğü Çağdaş Mimaride Yorumlama. A. Bekleyen ve N. Dalkılıç (Eds.), Tarihi Çevrede Yapılaşma Deneyimleri, s. 79-111, İstanbul: Birsan Yayınevi, 2018.
- [5] Bekleyen, A. ve Dalkılıç, N., 2007. Modernite ile Yerelin Birleştirilmesi (Diyarbakır Örneği): Geçmişte İklim'e Göre Biçimlendirilen Konutlardan Günümüz Konutlarına Taşımalar Yapılabilir Mi? Mimarlığın Geleceği, Gelecek İçin Mimarlık: 19. Uluslararası Yapı ve Yaşam Kongresi, Murat Taş (Editör), s. 277-288, Bursa: TMMOB Mimarlar Odası/Bursa Şubesi.
- [6] Bekleyen, A. ve Dalkılıç, N. 2011. The Influence of Climate and Privacy on Indigenous Courtyard Houses in Diyarbakır, Turkey. Scientific Research and Essays, 6(4), 908-922.
- [7] Bekleyen, A. ve Dalkılıç, N. 2012. Design With Climate-What Can We Learn From The Past to Cope With Climate in Terms of Design Strategy and Usage Style of Courtyard Houses? Middle-East Journal of Scientific Research, 11(3), 357-366.
- [8] Warren, J., Fethi, İ. 1982. Traditional Houses in Baghdad, Horsham, England: Coach Publishing House Ltd.
- [9] Melikoğlu, Y., Bekleyen, A. 2021. Şanlıurfa'nın Geleneksel Rüzgâr Yakalayıcıları: Kaybolan bir geleneğin günümüze kadar gelen örnekleri. El-Çezerî Fen ve Mühendislik Dergisi, 8(1); 268-286.

- [10] Rapoport, A. 1969. House Form and Culture, Printed in the United States of America.
- [11] Edwards, B., Sibley, M., Hakmi, M., Land, P. 2006. Courtyard Housing: Past, Present And Future, Taylor & Francis, USA.
- [12] Taleghani, M., Behboud, K. T., Heidari, S. 2010. Energy Efficient Architectural Design Strategies In Hot-Dry Area Of Iran: Kashan, Emirates Journal for Engineering Research, 15 (2), 85-91.
- [13] Khanzadeh, M. 2012. İran Mimarisinde avlunun önemi; Geleneksel Tebriz evlerinin açık alan tipleri üzerinden analizi ve sınıflandırılması. Hacettepe Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İç Mimarlık ve Çevre Tasarımı Ana sanat Dalı, Sanatta yeterlik tezi, Ankara.
- [14] Khajehzadeh, İ., Vale, B., Yavari, F. A. 2016. Comparison of the Traditional Use of Court Houses in Two Cities, International Journal of Sustainable Built Environment, 5 (2): 470-483.
- [15] Akın, C. T., Bekleyen, A., Yıldırım, M. 2016. Preservation Initiatives for the Truncated Pyramid-Shaped Traditional Houses of Siirt, Turkey, Frontiers of Architectural Research, 5(3), 360-370.
- [16] Bekleyen, A. 2019. Geleneksel Konut Mimarisindeki Avlulu Mekân Örgütlenmesinin Günümüzdeki Yorumları, TÜBAV Bilim, 12 (1): 1-13.
- [17] Yaşa, E. 2010. Avlulu bina biçiminin farklı iklim bölgelerinde iklimsel performansa göre optimizasyonu için geliştirilen bir yöntem. İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Yapı Bilimleri Programı, Doktora tezi, İstanbul.
- [18] Yaşa, E. 2004. Avlulu binalarda doğal havalandırma ve soğutma açısından rüzgâr etkisi ile oluşacak hava akımlarına yüzey açıklıklarının etkisinin deneysel incelenmesi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek lisans tezi, İstanbul.
- [19] Yenişehir Belediye Binası.
<https://uygurmimarlik.com.tr/site/tr/projects/diyarbakir-yenisehir-belediye.html> (Erişim Tarihi: 25.01.2022).
- [20] Google Earth.
https://www.google.com/maps/d/u/0/viewer?mid=1oX0wnFU_Fg9evr1J6Dxl_nxE30&hl=tr&ll=37.91088999999995%2C40.23674300000001&z=17 (Erişim Tarihi: 25.01.2022).
- [21] Meclis Salonu.
<https://www.arkitera.com/proje/diyarbakir-yenisehir-belediye-binası/> (Erişim Tarihi: 25.01.2022).
- [22] Pallant, J. 2005. SPSS Survival Manual. Sydney: Allen & Unwin.
- [23] Hassanain, M. A., Iftikhar, A. 2015. Framework model for post-occupancy evaluation of school facilities, Structural Survey, 33(4/5), 322-336.
- [24] Bahrami, S. 2006. Energy efficient buildings in warm climates of the Middle East: Experience in Iran and Israel, Thesis for the fulfilment of the Master of Science in Environmental Management and Policy Lund, Sweden,
- [25] Heidari, S. 2010. A deep courtyard as the best building form for desert climate, an introduction to effects of air movement (Case study: Yazd), Desert, 15, 19-26, Online at <http://jdesert.ut.ac.ir>.
- [26] Al-Hafith, O., Satish, B. K., Bradbury, S., Wilde, P. 2017. The impact of courtyard compact urban fabric on its shading: Case study of Mosul city, Iraq. Energy Procedia, 122, pp. 889-894.
- [27] Çiğdem, A. 2016. Klasik Dönem Osmanlı mimarisinde avlu tipolojilerinin incelenmesi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek lisans tezi, Trabzon.
- [28] Abdulac, S. 1982. Traditional housing design in the Arab countries, In M. B. Sevcenko (Ed.), In urban housing, pp. 2-9, Cambridge, Massachusetts: Aga Khan Program for Islamic Architecture.
- [29] Bekleyen, A. 2019. Geleneksel konut mimarisindeki avlulu mekân örgütlenmesinin günümüzdeki yorumları. TÜBAV Bilim Dergisi, 12(1), 1-13.
- [30] Ulrich, R. S., Parsons, R. 2020. Influences of passive experiences with plants on individual well being and health, The Role of Horticulture in Human Well-Being and Social Development.
- [31] Zhang, D. 2015. Courtyard Housing and Cultural Sustainability, Toronto, Canada.
- [32] Rigolon, A. 2010. European Design Types for 21st Century Schools: An Overview, CELE Exchange 2010/3, <https://doi.org/10.1787/5kmh36gpvmbx-en>

Application of Kashuri Fundo Transform to Decay Problem

Haldun Alpaslan PEKER^{*1}, Fatma Aybike ÇUHA²

¹Selçuk University, Faculty of Science, Department of Mathematics, 42130, Konya, Turkey

²Selçuk University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, 42130, Konya, Turkey

(Alınış / Received: 10.08.2022, Kabul / Accepted: 14.10.2022, Online Yayınlanma / Published Online: 20.12.2022)

Keywords

Integral transform,
Kashuri Fundo transform,
Inverse Kashuri Fundo
transform,
Decay problem

Abstract: Recently, it has become quite common to investigate the solutions of problems that have an important place in scientific fields by using integral transforms. The most important reason for this is that this transform allows the simplest and least number of calculations to be made while reaching the solutions of the problems. In this study, we are looking for a solution to the decay problem, which has a very important place in fields such as economics, chemistry, zoology, biology and physics, by using the Kashuri Fundo transform, which is one of the integral transforms. In order to reveal the ease of use of this transform in reaching the solution, some numerical applications were examined. The results of these numerical applications reveal that the Kashuri Fundo transform is quite efficient in reaching the solution of the decay problem.

Kashuri Fundo Dönüşümünün Bozunma Problemine Uygulanması

Anahtar Kelimeler

İntegral dönüşümü,
Kashuri Fundo dönüşümü,
Ters Kashuri Fundo
dönüşümü,
Bozunma problemi

Öz: Son zamanlarda, bilimsel alanlarda önemli bir yere sahip olan problemlerin çözümlerinin integral dönüşümleri kullanılarak araştırılması oldukça yaygın hale gelmiştir. Bunun en önemli nedeni, bu dönüşümün problemlerin çözümüne ulaşırken en basit ve en az sayıda hesaplamaya yapılmasına olanak sağlamasıdır. Bu çalışmada ekonomi, kimya, zooloji, biyoloji ve fizik gibi alanlarda çok önemli bir yere sahip olan bozunma problemine integral dönüşümlerden biri olan Kashuri Fundo dönüşümü kullanılarak çözüm aranmaktadır. Çözüme ulaşmada bu dönüşümün kullanım kolaylığını ortaya koymak için bazı sayısal uygulamalar incelenmiştir. Bu sayısal uygulamaların sonuçları, Kashuri Fundo dönüşümünün bozunma probleminin çözümüne ulaşmada oldukça verimli olduğunu ortaya koymaktadır.

1. Introduction

Differential equations have a very important place in the mathematical modeling of problems in many different fields, especially in applied mathematics and engineering. Most problems in these areas are modeled via differential equations and made more understandable. One of these problems, the problem of decay, has a very important place in scientific fields. The decay problem [1-3] is mathematically defined as

$$\frac{dN(t)}{dt} = -kN(t) \quad (1)$$

with initial condition as

$$N(0) = N_0 \quad (2)$$

where $N(t)$, N is the amount of the substance at t and the amount of the substance at $t = 0$ is N_0 .

The importance of the decay problem in the scientific field has led to the suggestion of various methods to solve these problems. Integral transforms are also included among these methods. These transforms can be considered as very useful methods, especially in terms of providing great convenience in solving initial value problems. The solutions of decay problem using various integral transformations in the literature also confirm this [4-14]. In this study, we investigate the solution of the decay problem by using Kashuri Fundo transform [15], which is one of the integral transformations and provides great convenience in solving differential equations.

Kashuri Fundo transform, like other integral transformations, transforms differential equations

whose solutions seem complicated into algebraic equations, and provides ease of finding solutions with simpler operations. When the literature is examined, it is possible to come across studies showing that the Kashuri Fundo transform is a very useful method in searching for solutions to different mathematical models encountered in many fields [16-22]. At the same time, the success of finding approximate solutions to some models that seem complex or difficult to solve by blending them with other methods such as Adomian decomposition method and homotopy perturbation method in the literature has been demonstrated by studies [23-28].

2. Material and Method

2.1. Kashuri Fundo Transform

Definition 1: We consider functions in the set F defined as

$$F = \left\{ \begin{array}{l} f(t) | \exists M, k_1, k_2 > 0 \text{ such that} \\ |f(t)| \leq M e^{\frac{|t|}{k_1}}, \\ \text{if } t \in (-1)^i \times [0, \infty) \end{array} \right\} \quad (3)$$

For a function belonging to this set, M must be finite number and k_1, k_2 may be finite numbers or infinite [15].

Definition 2: Kashuri Fundo transform denoted by the operator $K(.)$ is defined as

$$K[f(t)](v) = A(v) = \frac{1}{v} \int_0^\infty e^{-\frac{t}{v}} f(t) dt, \quad (4)$$

$$t \geq 0, \quad -k_1 < v < k_2$$

Inverse Kashuri Fundo transform is denoted by $K^{-1}[A(v)] = f(t), \quad t \geq 0$ [15].

Theorem 1 (Sufficient Conditions for Existence of Kashuri Fundo Transform): If $f(t)$ is piecewise

continuous on $[0, \infty)$ and of exponential order $\frac{1}{k^2}$, then $K[f(t)](v)$ exists for $|v| < k$ [15].

Theorem 2 (Linearity Property): Let $f(t)$ and $g(t)$ be functions whose Kashuri Fundo integral transforms exists and c be a constant. Then,

$$K[(f \pm g)(t)] = K[f(t)] \pm K[g(t)] \quad (5)$$

$$K[(cf)(t)] = cK[f(t)] \quad (6)$$

hold [15].

Theorem 3 (Kashuri Fundo Transform of Derivatives of the Function $f(t)$): Let's assume that the Kashuri Fundo transform of $f(t)$ is $A(v)$. Then,

$$K[f'(t)] = \frac{A(v)}{v^2} - \frac{f(0)}{v} \quad (7)$$

$$K[f''(t)] = \frac{A(v)}{v^4} - \frac{f(0)}{v^3} - \frac{f'(0)}{v} \quad (8)$$

$$K[f^{(n)}(t)] = \frac{A(v)}{v^{2n}} - \sum_{k=0}^{n-1} \frac{f^{(k)}(0)}{v^{2(n-k)-1}} \quad (9)$$

are valid [15].

Table 1. Kashuri Fundo Transform of Some Special Functions [15,26].

$f(t)$	$K[f(t)] = A(v)$
1	v
t	v^3
t^n	$n!v^{2n+1}$
e^{at}	$\frac{v}{1-av^2}$
$\sin(at)$	$\frac{av^3}{1+a^2v^4}$
$\cos(at)$	$\frac{v}{1+a^2v^4}$
$\sinh(at)$	$\frac{av^3}{1-a^2v^4}$
$\cosh(at)$	$\frac{v}{1-a^2v^4}$
t^α	$\Gamma(1+\alpha)v^{2\alpha+1}$
$\sum_{k=0}^n a_k t^k$	$\sum_{k=0}^n k! a_k v^{2k+1}$

3. Results

In this section, having been applied the Kashuri Fundo transform to the general form of the decay problem, sample applications to demonstrate the effectiveness of this transform will be provided.

3.1. Kashuri Fundo Transform for Decay Problem

If we apply the Kashuri Fundo transform to the equation (1), we have

$$K\left[\frac{dN(t)}{dt}\right] = K[-kN(t)] \tag{10}$$

in which the Kashuri Fundo transform of the first derivative on the left-hand side of the equation (10) exists. If we substitute the equivalent in equation (7) here, we find

$$\frac{A(v)}{v^2} - \frac{N(0)}{v} = -kA(v). \tag{11}$$

If we substitute the initial condition into the equation (11) and rearranging this equation, we get

$$A(v) = N_0\left(\frac{v}{1 + kv^2}\right). \tag{12}$$

Having applied the inverse Kashuri Fundo transform bilaterally to the equation in (12) and then from table 1, we find

$$N(t) = N_0e^{-kt} \tag{13}$$

which is exactly coincides with the existing results obtained by other works [4-14].

3.2. Applications

Application 1: Any radioactive substance is known to decay in proportion to the amount available. Consider that 500 mg of a radioactive substance is initially available and after five hours the radioactive substance has lost 25 percent of its available mass. Find the half-life of this radioactive substance.

We can express the mathematical model of the above-mentioned problem as follows:

$$\frac{dN(t)}{dt} = -kN(t) \tag{14}$$

where N represents the amount of radioactive substance at t and k is the constant of proportionality. Assume that the initial amount at $t = 0$ is N_0 .

Having applied bilaterally the Kashuri Fundo transform to the equation in (14), we acquire

$$K\left[\frac{dN(t)}{dt}\right] = K[-kN(t)]. \tag{15}$$

Now, arranging equation (15) according to equation (7), we have

$$\frac{K[N(t)]}{v^2} - \frac{N(0)}{v} = -kK[N(t)]. \tag{16}$$

Substituting the condition $N(0) = N_0 = 500$ for $t = 0$ in equation (16), we get

$$K[N(t)] - 500v = -v^2kK[N(t)]. \tag{17}$$

Rearranging equation (17), we have

$$K[N(t)] = \frac{500v}{1 + kv^2}. \tag{18}$$

Having applied bilaterally the inverse Kashuri Fundo transform to the equation in (18), we obtain

$$N(t) = 500K^{-1}\left[\frac{v}{1 + kv^2}\right] \tag{19}$$

$$N(t) = 500e^{-kt}. \tag{20}$$

Since 25 percent of the available mass of this radioactive substance is lost at $t = 5$, we have

$$N = 500 - 125 = 375. \tag{21}$$

Using this in equation (20), we get

$$375 = 500e^{-5k} \tag{22}$$

$$e^{-5k} = 0.75 \tag{23}$$

$$k = -\frac{1}{5} \ln 0.75 = 0.0575. \tag{24}$$

We are looking for t when $N = \frac{N_0}{2} = 250$, so from equation (20) we get,

$$250 = 500e^{-kt}. \tag{25}$$

Now, substituting the value of k found in equation (24) into the equation (25), we obtain the required half-life of the radioactive substance.

$$250 = 500e^{-0.0575t} \tag{26}$$

$$e^{-0.0575t} = 0.5 \tag{27}$$

$$t = -\frac{1}{0.0575} \ln 0.5 \tag{28}$$

$$t = 12.05 \text{ hours} \tag{29}$$

which is exactly coincides with the result obtained by other method [8].

Application 2: Any radioactive matter is known to decay in proportion to the amount available. Find the half-life of the radioactive matter for the case where 100 mg of radioactive matter is initially available and after six hours the radioactive matter has lost 30 percent of its available mass.

The mathematical model of the problem expressed here is the same as equation (14) in application 1. Therefore, the expression of the Kashuri Fundo transform of this model will be as in equation (16).

Substituting the condition $N(0) = N_0 = 100$ for $t = 0$ in equation (16), we get

$$K[N(t)] - 100v = -v^2 kK[N(t)]. \tag{30}$$

Rearranging equation (30), we have

$$K[N(t)] = \frac{100v}{1 + kv^2}. \tag{31}$$

Having applied the inverse Kashuri Fundo transform bilaterally to the equation in (31), we acquire

$$N(t) = 100K^{-1}\left[\frac{v}{1 + kv^2}\right] \tag{32}$$

$$N(t) = 100e^{-kt}. \tag{33}$$

Now let's continue the solution using the information that the radioactive matter lost 30 percent of its available mass at $t = 6$.

$$\begin{aligned} N &= 100 - 30 \\ &= 70 \end{aligned} \tag{34}$$

Using this in equation (33), we get

$$70 = 100e^{-6k} \tag{35}$$

$$e^{-6k} = 0.7 \tag{36}$$

$$k = -\frac{1}{6} \ln 0.7 = 0.059. \tag{37}$$

We are looking for t when $N = \frac{N_0}{2} = 50$, so from equation (33) we get,

$$50 = 100e^{-kt}. \tag{38}$$

Now, substituting the value of k found in equation (37) into the equation (38), we obtain the required half-life of the radioactive matter.

$$50 = 100e^{-0.059t} \tag{39}$$

$$e^{-0.059t} = 0.5 \tag{40}$$

$$t = -\frac{1}{0.059} \ln 0.5 \tag{41}$$

$$t = 11.75 \text{ hours} \tag{42}$$

which is fully agree with the existing result obtained by other method [11].

Application 3: It is known that the rate of degradation of a given substance in a given solution at any instant is proportional to the amount present in the solution at that moment. It is known that there are 27 grams of substance in a solution initially and 8 grams of this substance remain after three hours. How much substance remains in the solution after another one hour has passed?

We can express the mathematical model of the above-mentioned problem as follows:

$$\frac{dm(t)}{dt} = -pm(t) \tag{43}$$

where m grams represents the amount of the substance left in the solution at any time t and p is the proportionality constant. Assume that the amount of the substance in the solution at $t = 0$ is m_0 .

Having applied bilaterally the Kashuri Fundo transform to the equation in (43), we obtain

$$K\left[\frac{dm(t)}{dt}\right] = K[-pm(t)]. \tag{44}$$

Now, arranging equation (44) according to equation (7), we have

$$\frac{K[m(t)]}{v^2} - \frac{m(0)}{v} = -pK[m(t)]. \tag{45}$$

Substituting the condition $m(0) = m_0 = 27$ for $t = 0$ in equation (45), we get

$$K[m(t)] - 27v = -v^2 pK[m(t)]. \tag{46}$$

Rearranging equation (46), we have

$$K[m(t)] = \frac{27v}{1 + pv^2}. \quad (47)$$

Having applied bilaterally the inverse Kashuri Fundo transform to the equation in (47), we acquire

$$m(t) = 27K^{-1} \left[\frac{v}{1 + pv^2} \right] \quad (48)$$

$$m(t) = 27e^{-pt}. \quad (49)$$

Using the other given condition at $t = 3$, i.e. $m(3) = 8$, from equation (49) we have

$$8 = 27e^{-3p} \quad (50)$$

$$e^{-3p} = \frac{8}{27} \quad (51)$$

$$e^{-p} = \left(\frac{8}{27} \right)^{\frac{1}{3}}. \quad (52)$$

Now if we find $m(t)$ for $t = 4$ using equation (49), we get

$$m(4) = 27e^{-4p} \quad (53)$$

$$m(4) = 27 \left(\frac{8}{27} \right)^{\frac{4}{3}} \quad (54)$$

$$m(4) = \frac{16}{3} \text{ grams} \quad (55)$$

which is same as the result obtained by other method [12].

4. Discussion and Conclusion

In this study, we successfully applied the Kashuri Fundo transform to the decay problem. In order to demonstrate that the Kashuri Fundo transform is a very convenient method for solving differential equations, we reinforced its application to the decay problem with several numerical examples. By these applications, it has been revealed that decay problem can be solved without complex calculations using Kashuri Fundo transform. Due to the easy to use and effectiveness, many problems involving differential equations can be easily solved using this transform.

Declaration of Ethical Code

In this study, we undertake that all the rules required to be followed within the scope of the "Higher Education Institutions Scientific Research and Publication Ethics Directive" are complied with, and that none of the actions stated under the heading "Actions Against Scientific Research and Publication Ethics" are not carried out.

References

- [1] Bronson, R., Costa, G. B. 2006. Schaum's Outline of Differential Equations. 3rd, McGraw-Hill, 408s.
- [2] Gorain, G. C. 2014. Introductory Course on Differential Equations. Alpha Science International, Narosa, 598s.
- [3] Kapur, J. N. 2005. Mathematical Modelling. 2nd, New-Age International Pvt Ltd Publishers.
- [4] Aggarwal, S., Asthana, N., Singh, D. P. 2018. Solution of Population Growth and Decay Problems by Using Aboodh Transform Method. International Journal of Research in Advent Technology, 6(10), 2706-2710.
- [5] Aggarwal, S., Gupta, A. R., Asthana, N., Singh, D. P. 2018. Application of Kamal Transform for Solving Population Growth and Decay Problems. Global Journal of Engineering Science and Researches, 5(9), 254-260.
- [6] Aggarwal, S., Gupta, A. R., Singh, D. P., Asthana, N., Kumar, N. 2018. Application of Laplace Transform for Solving Population Growth and Decay Problems. International Journal of Latest Technology in Engineering, Management & Applied Science, 7(9), 141-145.
- [7] Aggarwal, S., Pandey, M., Asthana, N., Singh, D. P., Kumar, N. 2018. Application of Mahgoub Transform for Solving Population Growth and Decay Problems. Journal of Computer and Mathematical Sciences, 9(10), 1490-1496.
- [8] Aggarwal, S., Sharma, N., Chauhan, R. 2018. Solution of Population Growth and Decay Problems by Using Mohand Transform. International Journal of Research in Advent Technology, 6(11), 3277-3282.
- [9] Aggarwal, S., Singh, D. P., Asthana, N., Gupta, A. R. 2018. Application of Elzaki Transform for Solving Population Growth and Decay Problems. Journal of Emerging Technologies and Innovative Research, 5(9), 281-284.

- [10] Aggarwal, S., Sharma, S. D., Gupta, A. R. 2019. Application of Shehu Transform for Handling Growth and Decay Problems. *Global Journal of Engineering Science and Researches*, 6(4), 190-198.
- [11] Aggarwal, S., Sharma, S. D., Kumar, N., Vyas, A. 2020. Solutions of Population Growth and Decay Problems Using Sumudu Transform. *International Journal of Research and Innovation in Applied Science*, 5(7), 2454-6194.
- [12] Rao, R. U. 2017. ZZ Transform Method for Natural Growth and Decay Problems. *International Journal of Progressive Sciences and Technologies*, 5(2), 147-150.
- [13] Mansour, E. A., Kuffi, E. A., Mehdi, S. A. 2021. Solving Population Growth and Decay Problems Using Complex SEE Transform. *7th International Conference on Contemporary Information Technology and Mathematics*, 18-19 August 2021, Mosul, 243-246.
- [14] Singh, G. P., Aggarwal, S. 2019. Sawi Transform for Population Growth and Decay Problems. *International Journal of Latest Technology in Engineering, Management & Applied Science*, 8(8), 157-162.
- [15] Kashuri, A., Fundo, A. 2013. A New Integral Transform. *Advances in Theoretical and Applied Mathematics*, 8(1), 27-43.
- [16] Kashuri, A., Fundo, A., Liko, R. 2013. On Double New Integral Transform and Double Laplace Transform. *European Scientific Journal*, 9(33), 82-90.
- [17] Kashuri, A., Fundo, A., Liko, R. 2015. New Integral Transform For Solving Some Fractional Differential Equations. *International Journal of Pure and Applied Mathematics*, 103(4), 675-682.
- [18] Helmi, N., Kiftiah, M., Prihandono, B. 2016. Penyelesaian Persamaan Diferensial Parsial Linear Dengan Menggunakan Metode Transformasi Artion-Fundo. *Buletin Ilmiah Matematika, Statistika dan Terapannya*, 5(3), 195-204.
- [19] Dhange, N. D. 2020. A New Integral Transform and Its Applications in Electric Circuits and Mechanics. *Journal of Emerging Technologies and Innovative Research*, 7(11), 80-86.
- [20] Güngör, N. 2021. Solving Convolution Type Linear Volterra Integral Equations with Kashuri Fundo Transform. *Journal of Abstract and Computational Mathematics*, 6(2), 1-7.
- [21] Cuha, F. A., Peker, H. A. 2022. Solution of Abel's Integral Equation by Kashuri Fundo Transform. *Thermal Science*, 26(4A), 3003-3010.
- [22] Peker, H. A., Cuha, F. A., Peker, B. 2022. Solving Steady Heat Transfer Problems via Kashuri Fundo Transform. *Thermal Science*, 26(4A), 3011-3017.
- [23] Kashuri, A., Fundo, A., Kreku, M. 2013. Mixture of a New Integral Transform and Homotopy Perturbation Method for Solving Nonlinear Partial Differential Equations. *Advances in Pure Mathematics*, 3(3), 317-323.
- [24] Shah, K., Singh, T. 2015. A Solution of the Burger's Equation Arising in the Longitudinal Dispersion Phenomenon in Fluid Flow through Porous Media by Mixture of New Integral Transform and Homotopy Perturbation Method. *Journal of Geoscience and Environment Protection*, 3(4), 24-30.
- [25] Shah, K., Singh, T. 2015. The Mixture of New Integral Transform and Homotopy Perturbation Method for Solving Discontinued Problems Arising in Nanotechnology. *Open Journal of Applied Sciences*, 5(11), 688-695.
- [26] Subartini, B., Sumiati, I., Sukono, Riaman, Sulaiman, I. M. 2021. Combined Adomian Decomposition Method with Integral Transform. *Mathematics and Statistics*, 9(6), 976-983.
- [27] Peker, H. A., Cuha, F. A. 2022. Application of Kashuri Fundo Transform and Homotopy Perturbation Methods to Fractional Heat Transfer and Porous Media Equations. *Thermal Science*, 26(4A), 2877-2884.
- [28] Johansyah, M. D., Supriatna, A. K., Rusyaman, E., Saputra, J. 2022. Solving the Economic Growth Acceleration Model with Memory Effects: An Application of Combined Theorem of Adomian Decomposition Methods and Kashuri-Fundo Transformation Methods. *Symmetry*, 14(2), 192, <https://doi.org/10.3390/sym14020192>.

Bell Regresyon Modelinde Liu tipi Tahmin Edici

Melike IŞILAR¹, Yakup Murat BULUT^{*2}

¹Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 26040, Eskişehir, Türkiye

²Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Fakültesi, İstatistik Bölümü, 26040, Eskişehir, Türkiye

(Alınış / Received: 20.05.2022, Kabul/Accepted: 28.06.2022, Online Yayınlanma/Published Online: 20.12.2022)

Anahtar Kelimeler

Bell Regresyon,
Sayım verileri,
Aşırı yayılım,
Çoklu iç ilişki,
Liu tipi tahmin edici

Öz: Bu çalışmada, sayım verilerini modellemek için kullanılan Poisson regresyon modeline alternatif olarak tanımlanan Bell regresyon modelinde çoklu iç ilişki olması durumunda kullanılan yanlı tahmin edicilere alternatif bir tahmin edici önerilmiştir. Bell regresyon modeli aşırı yayılım probleminin çözümü için kullanılan bir modeldir. Bell regresyon modelinin parametreleri genellikle en çok olabilirlik (EÇO) tahmin edicisi kullanılarak tahmin edilmektedir. Fakat, çoklu iç ilişki problemi olması durumunda EÇO tahmin edicisinin performansı düşmektedir. Bu sebeple, Bell Liu-tipi tahmin edicisi önerilmiştir. Önerilen Bell Liu tipi tahmin edicinin performansı Bell Ridge ve Bell Liu tahmin edicileri ile Monte Carlo simülasyon çalışması yardımıyla karşılaştırılmıştır. Ayrıca, simülasyon çalışmasına desteklemek için gerçek veri örneği verilmiştir.

Liu-type Estimator in the Bell Regression Model

Keywords

Bell regression,
Count Data,
Overdispersion,
Multicollinearity,
Liu type estimator

Abstract: This study proposes a new estimator used in the case of multicollinearity problems in the Bell regression model that is an alternative model for the Poisson regression model. The Bell regression model is used to solve the overdispersion problem. Generally, the maximum likelihood estimation (MLE) method is used to estimate the parameters of the Bell regression model. But, the performance of the MLE decreases when the multicollinearity problem occurs. Therefore, the Bell liu-type estimator is proposed. Monte Carlo simulation study is conducted to compare the performance of the proposed estimator with Bell Ridge and Bell Liu estimators. Additionally, the real data example is given to support the simulation study.

1. Giriş

Regresyon analizi bağımsız değişken ve bağımlı değişken arasındaki ilişkiyi matematiksel olarak modelleyerek gerekli çıkarımların yapılmasında yaygın olarak kullanılan istatistiksel analizdir. Regresyon analizinde bağımlı değişken her zaman sürekli değişkenlerden oluşmaz. Çoğu zaman kesikli değerler de alabilmektedir. Sayma verisi olarak adlandırılan bu veri tipleri ile uygulamada yaygın olarak karşılaşılmaktadır. Sayma verileri, kategorik veriler ve sürekli çarpık dağılım gösteren veriler için lineer regresyon modeli kullanmak doğru olmaz. Bu tür durumlarda genelleştirilmiş regresyon modellerinden veri yapısına uygun olan modelin kullanılması doğru sonuçların elde edilebilmesi için uygun olmaktadır.

Sayma verilerinin modellenmesinde yaygın olarak Poisson regresyon modeli (PRM) kullanılmaktadır. Poisson dağılımının beklenen değer ve varyans eşit

olarak elde edilmektedir. Bu nedenle PRM' nin varsayımlarından biri beklenen değer ve varyansın birbirine eşit olmasıdır. Uygulamada elde edilen verilerin çoğunda bu varsayım sağlanamamaktadır. Genellikle varyans değeri beklenen değerden büyük çıkmaktadır. Bu durum ise aşırı yayılım varsayımı olarak adlandırılmaktadır. Aşırı yayılıma sahip sayma verilerinin modellenmesinde PRM' nin kullanılması elverişli olmamaktadır [1]. Aşırı yayılım gösteren sayma verilerinin modellenmesinde karma dağılımlara bağlı ya da alternatif dağılımlara ait modellerinin kullanılması önerilmiştir. Negatif binom regresyon modeli (NBRM) bunlardan biridir. Karma bir dağılım olan negatif binom dağılımı aşırı yayılım probleminin bir çözümüdür. PRM' nin yaygın olarak tercih edilme sebeplerinden birisi Poisson dağılımının tek parametresi olmasından dolayı işlem kolaylığı sağlamasıdır. Bu nedenle sayma verilerinin modellenmesinde Poisson ve negatif binom dağılımına alternatif olarak Castellares vd. tarafından Bell dağılımı (BD) ve bu dağılım temelinde Bell

*İlgili yazar: ymbulut@ogu.edu.tr

regresyon modeli (BRM) önerilmiştir [2]. PRM' nin tek parametresi olması ve NBRM nin aşırı yayımlı sayma verilerini modelleme avantajlarının ikisine de sahiptir. Bu nedenle son yıllarda yaygın olarak bu modellere alternatif olarak BRM kullanılmaya başlanmıştır. BRM geliştirilmiş lineer modellerden (GLM) biridir. GLM parametrelerin tahmin edilmesinde yaygın olarak En Çok Olabilirlik (EÇO) tahmin edicisi kullanılmaktadır. Bunun nedeni regresyon analizinin varsayımlarının sağlanması durumunda EÇO tahmin edicisi en iyi tahmin edici olma özelliğine sahiptir.

Regresyon analizinin genel olarak varsayımlarından birisi bağımsız değişkenlerin lineer olarak bağımsız olmasıdır. Doğadan elde edilen veri setlerinin genel olarak çoğunda bağımsız değişkenler arasında yüksek bir lineer ilişki bulunmaktadır. Bu durum çoklu iç ilişki problemi olarak adlandırılmaktadır. Çoklu iç ilişki problemi olması durumunda EÇO tahmin edicisinin varyansı artmaktadır. Bu durumda parametreye ait güven aralığı genişler, hipotez testlerinde yanlış karar verilebilmektedir. Parametrelerin tahminleri ise beklenen durum ile ters işaretli çıkabilmektedir. Kısacası çoklu iç ilişki problemi olması durumunda EÇO tahmin edicisi güvenilir olmayan sonuçlar vermektedir [3].

Çoklu iç ilişki probleminin bazı araştırmacılar tarafından küçük veri problemi olarak değerlendirilmektedir [4]. Bu nedenle bu problemin çözümü olarak ek veri toplamak önerilmiştir [5]. Fakat araştırmacılar için ek veri toplamak maliyet ve zaman açısından problem yaratabilmektedir. Ayrıca ek veri toplanması durumunda da elde edilen yeni gözlemlerde aynı ilişki yapısında olabilmektedir. Bu durumda ek veri toplamak çoklu iç ilişki problemini çözmemektedir. Bu problemin çözümü için alternatif olarak yüksek ilişki olan değişkenlerin modelden çıkarılması önerilmiştir. Bu durum ise modelden çıkartılan değişkenden elde edilebilecek bilgi kaybına neden olmaktadır. Ayrıca Lipovetsky ve Conklin ise çalışmasında iki değişken arasında ne kadar yüksek ilişki bulunursa bulunsun bu değişkenlerin birbirinin ikamesi olamayacağını söylemektedir [6]. Elde mevcut veri yapısını koruyarak çoklu iç ilişki probleminin çözüm yöntemi için yanlı tahmin ediciler üzerine çalışmalar yapılmaktadır. EÇO tahmin edicisi yansız bir tahmin edicidir. Bu problem söz konusu olduğunda yansız olan EÇO tahmin edicisinin varyansı artmaktadır. Parametrelerin tahmini için çoklu iç ilişki olması durumunda yanlı fakat varyansı daha küçük alternatif tahmin ediciler mevcuttur. Bu yanlı tahmin edicilerin hata kareler ortalaması (MSE) değeri EÇO tahmin edicisinin MSE değerinden daha küçük elde edilmektedir. Bu amaçla literatürde farklı regresyon modelleri için birçok yanlı tahmin ediciler önerilmiştir.

Literatürde yaygın olarak kullanılan yanlı tahmin edicilerden biri Hoerl ve Kennard tarafından önerilen Ridge tahmin edicisidir [7]. İlk olarak lineer model için

önerilen bu tahmin edici daha sonra pek çok GLM üyesi modeller için tanımlanmıştır. PRM için Månsson ve Shukur, NBRM için Månsson, BRM için ise Amin vd. tarafından tanımlanmıştır [8-10].

Ridge tahmin edicisi yanlılık parametresine bağlı olan bir tahmin edicidir. Çoklu iç ilişki durumunda $X'X$ matrisinin tersinin alınamaması problemini bu matrise bir k sabiti ekleyerek çözmektedir. Kısacası eklenen yan değeri ile varyans değerini küçültmektedir. Kısacası yan değeri arttıkça varyans değeri azalmaktadır. Bu tahmin edici, varyans değerindeki azalış yanın karesi değerindeki artıştan fazla olduğu sürece EÇO tahmin edicisinden daha iyi sonuç vermektedir.

Ridge tahmin edicisinde k parametresinin tahmin edilmesi problemi ile karşılaşmaktadır. k parametresi tahmin edicinin lineer bir fonksiyonu olarak elde edilememektedir. Bu nedenle günümüzde hala pek çok k parametresi için tahmin ediciler önerilmektedir. Tahmin edicinin performansı veriye bağlı olarak parametrenin tahmin edicisine göre değişmektedir. Bu nedenle Liu tarafından parametresi tahmin edicinin lineer bir fonksiyonu olarak elde edilebilen yeni bir tahmin edici önerilmiştir [11]. Önerilen bu tahmin edici Akdeniz ve Kaçıranlar tarafından Liu (Lineer Unified) tahmin edicisi (LE) olarak adlandırılmıştır [12]. LE d büzülme parametresine bağlı bir tahmin edicidir. Parametre uzayını büzerek çoklu iç ilişki problemini çözmektedir. NBRM için LE Månsson tarafından önerilmiştir [13]. Kurtoğlu ve Özkale GLM için genel olarak Liu tahmin edicisini tanımlamışlardır [14]. LE' nin RE' ye avantajı parametrenin tahmin edicinin doğrusal bir fonksiyonu olarak elde edilebilmesidir. Bu amaçla Liu tarafından d büzülme parametresinin tahmini için MSE' yi minimum yapan en uygun tahmin edici önerilmiştir [11]. Daha sonra RE' nin k parametresinin tahmin edicilerine benzer yapıda en uygun d parametresine alternatif tahmin ediciler önerilmiştir. Qasim vd. önce Gamma regresyon modelinde alternatif d parametreleri önermiş ve daha sonra bu tahmin edicilerin performanslarını PRM' de karşılaştırmıştır [15-16]. Majid vd. ise çalışmasında farklı d parametresinin performanslarını BRM için karşılaştırmışlardır [17].

RE ve LE' nin farklı avantajları ve dezavantajları vardır. RE çoklu iç ilişki durumunda ($X'X$) matrisinin tersinin alınamamasından dolayı bu matrisin köşegen elemanlarına k yanlılık değeri ekleyerek matrisin tersinin alınabilmesine olanak sağlamaktadır. LE is parametre uzayının büzerek tahmin edicinin varyansının küçültülmesine olanak sağlamaktadır. RE aslında yan miktarını arttırarak varyansı azaltan bir tahmin edicidir. Kısacası çoklu iç ilişkinin şiddeti ne kadar yüksek ise o kadar yanlı bir tahmin değeri ile bu problem çözülebilmektedir. Her ne kadar varyansı büyük bir tahmin edici yerine yanlı fakat MSE değeri daha küçük bir tahmin edici bu problemin çözümü

olsa da uygulama da araştırmacılar yan değerinin yüksek olmasını istememektedir. Bu nedenle Liu lineer regresyon modeli için RE ve LE tahmin edicilerinin avantajlarını birleştirerek Liu tipi tahmin edicisini (LTE) önermiştir [18]. PRM ve NBRM için LTE ise sırasıyla Asar vd. (2015) ve Asar (2018) tarafından önerilmiştir [19-20].

Bu çalışmanın amacı BRM için çoklu iç ilişki probleminin çözümü için alternatif bir tahmin edici önermektir. Bell Ridge tahmin edicisi (BRE) ve Bell Liu tahmin edicisi (BLE) tahmin edicilerinden daha etkin sonuçlar veren Bell Liu tipi tahmin edicisi (BLTE) önerilmiştir.

Bu çalışma kapsamında 2. Bölümde Bell Regresyon modeli anlatılmıştır. BRE' de parametreleri tahmin etmek için literatürde var EÇO, BRE ve BLE verilmiştir. Bu tahmin edicilere alternatif önerdiğimiz Liu tipi tahmin edicisi tanımlanmıştır. Önerilen tahmin edicinin literatürde var olan tahmin edicilere göre performansı teorik olarak karşılaştırılmıştır. 3. Bölümde ele alınan tahmin edicilerin performansları simülasyon çalışması ve gerçek veri örneği üzerinde MSE kriterine göre karşılaştırılmıştır. 4. Bölümde ise yapılan çalışmada elde edilen sonuçlar verilmiştir.

2. Materyal ve Metot

Bu bölümde öncelikle BRM ve parametre tahmini için EÇO tahmin edicisi incelenmiştir. Daha sonra BRE ve BLE tahmin edicileri incelenerek, BLTE önerilmiştir. BLTE nin performansı EÇO, BRE ve BLE ile teorik olarak karşılaştırılmıştır.

2.1. Bell regresyon modeli ve EÇO tahmin edicisi

BD'nin olasılık yoğunluk fonksiyonu $\nu > 0$ olmak üzere,

$$\Pr(Y = y) = \frac{\nu^y e^{\nu} B_y}{y!}, \quad y = 0, 1, 2, \dots \quad (1)$$

şeklinindedir. Burada $\nu > 0$ ve B_y , Bell (1934) tarafından tanımlanan Bell sayısıdır. Bell sayısı Eşitlik (2)' de verildiği gibi hesaplanmaktadır [21].

$$B_n = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{k^n}{k!} \quad (2)$$

BD' nin beklenen değer ve varyansı ise sırasıyla Eşitlik (3) ve (4)' te verilmiştir.

$$E(y) = \nu e^{\nu} \quad (3)$$

$$\text{Var}(y) = \nu(1 + \nu)e^{\nu} \quad (4)$$

Regresyon modellerinde bağımlı değişkenin ortalaması modellendiği için BRM tanımlanırken BD yeniden parametrize edilerek Eşitlik (5) kullanılmaktadır.

$$\Pr(Y = y) = \exp\{1 - e^{W_0(\theta)}\} \frac{W_0(\theta) \theta B_y}{y!} \quad (5)$$

Burada $\theta = \nu e^{\nu}$ ve $W_0(\cdot)$, Lambert fonksiyonu olmak üzere $\nu = W_0(\theta)$ ' dir.

GLM' de parametre tahminleri için yaygın olarak EÇO tahmin edicisi kullanılmaktadır. Bu amaçla BD' nin log-olabilirlik fonksiyonu Eşitlik (6)' da verildiği gibidir.

$$\ell = \sum_{i=1}^n y_i \log \theta_i + \sum_{i=1}^n (1 - e^{\theta_i}) + \log B_{y_i} - \log \left(\prod_{i=1}^n y_i! \right) \quad (6)$$

Eşitlik (6)' da verilen denklemin maksimizasyonu için β' ya göre türevinin alınıp sıfıra eşitlenmiş ve Eşitlik (7) elde edilmiştir.

$$\frac{\partial}{\partial \beta} \ell = \sum_{i=1}^n [x_i (1 + \exp\{x_i' \beta\}) (y_i - \mu_i)] = 0 \quad (7)$$

Log-olabilirlik fonksiyonunun sıfıra eşitlenmesi ile elde edilen β kapalı bir formda elde edilememektedir. Bu nedenle β' nin çözümü için iteratif yöntemler kullanılmaktadır. GLM' de EÇO tahmin edicisi için yaygın olarak ağırlıklandırılmış en küçük kareler (IRWLS) yöntemi kullanılmaktadır. β parametresinin EÇO tahmin edicisi Eşitlik (8)' de verilmiştir.

$$\hat{\beta}_{EÇO} = (X' \hat{W} X)^{-1} X' \hat{W} \hat{z} \quad (8)$$

Burada $\hat{W} = \text{diag}\{w_1, w_2, \dots, w_n\}$ ve $\hat{V} = \text{diag}\{v_1, v_2, \dots, v_n\}$ olmak üzere $w_i = \left(\frac{d\mu_i}{d\beta}\right)^2 / v_i$ ve $v_i = \mu_i [1 + W_0(\mu_i)]$ olarak hesaplanmaktadır.

Yanlı tahmin edicilerde yanlılık parametrelerinin hesaplanmasında kanonik formlar kullanılmaktadır. β parametresini kanonik formda yazabilmek için $\alpha = Q' \beta$ şeklinde dönüşüm uygulanmaktadır. Burada Q , herhangi bir ortogonal matris olarak alınabilir. Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde genel olarak Q matrisi $X' \hat{W} X$ matrisinin öz vektörlerinden oluşan matris olarak alınmaktadır. Kanonik dönüşüm yapıldığında EÇO tahmin edicisinin matris hata kareler ortalaması (MMSE) ve skaler hata kareler ortalaması (MSE) denklemleri sırasıyla Eşitlik (9) ve (10)' da verilmiştir.

$$\text{MMSE}(\hat{\beta}_{EÇO}) = T^{-1} \quad (9)$$

$$\text{MSE}(\hat{\beta}_{EÇO}) = \text{tr}\{Q \Lambda^{-1} Q^{-1}\} = \sum_{j=1}^l \frac{1}{\lambda_j} \quad (10)$$

Burada $T = X' \hat{W} X$ ve l toplam parametre sayısı olmak üzere λ_j , $X' \hat{W} X$ matrisinin j . özdeğeridir.

2.2. Ridge ve Liu tahmin edicileri

Hoerl ve Kennard tarafından lineer model için önerilen RE daha sonra pek çok GLM modeli için özel olarak tanımlanmıştır. Amin vd. tarafından tanımlanan Bell Ridge tahmin edicisi (BRE)

$$\hat{\beta}(k) = (X'WX + kI)^{-1}X'WX\hat{\beta}_{E\check{C}O} \quad (11)$$

şekindedir [10]. Burada $k > 0$ olmak üzere yanlılık parametresidir. k 'nin tahmini için birçok farklı çalışmada farklı tahmin ediciler mevcuttur. Simülasyon çalışması ve gerçek veri uygulamasında kullanılan tahmin edici Eşitlik (13)'te verilmiştir.

$$\hat{k} = \frac{1}{\hat{\alpha}'\hat{\alpha}} \quad (12)$$

BRE'nin MMSE ve MSE denklemleri Eşitlik (13) ve (14)'te verilmiştir.

$$MMSE(\hat{\beta}_{BRE}) = T_k^{-1}TT_k^{-1} + k^2T_k^{-1}\beta\beta'T_k^{-1} \quad (13)$$

$$MSE(\hat{\beta}_{BRE}) = \sum_{j=1}^l \frac{\lambda_j}{(\lambda_j + k)^2} + k^2 \sum_{j=1}^l \frac{\alpha_j^2}{(\lambda_j + k)^2} \quad (14)$$

Burada $T_k = T + kI$ dir.

RE tahmin edicisine alternatif olarak önerilen LE'nin Kurtuğlu ve Özkale tarafından GLM için genel tanımlamasının BRM için gösterimi Eşitlik (15)'te verilmiştir [14].

$$\hat{\beta}(d) = (X'WX + I)^{-1}(X'WX + dI)\hat{\beta}_{E\check{C}O} \quad (15)$$

Burada $0 < d < 1$ olmak üzere büzülme parametresidir.

$$MMSE(\hat{\beta}_{BLE}) = T_1^{-1}T_{d^+}T_1^{-1} + (1-d)^2T_1^{-1}\beta\beta'T_1^{-1} \quad (16)$$

$$MSE(\hat{\beta}_{BLE}) = \sum_{j=1}^l \frac{(\lambda_j + d)^2}{(\lambda_j + 1)^2} + (1-d)^2 \sum_{j=1}^l \frac{\alpha_j^2}{(\lambda_j + 1)^2} \quad (17)$$

Burada $T_1 = T + I$ ve $T_{d^+} = T + dI$ dir.

Liu tarafından LE için önerilen en uygun d tahmin edicisi için Eşitlik (17)'nin türevi alınarak sıfıra eşitlenmesi ile Eşitlik (18) elde edilmektedir [11].

$$\hat{d} = 1 - \frac{\sum_{j=1}^l \frac{1}{\lambda_j(\lambda_j+1)^2}}{\sum_{j=1}^l \frac{\hat{\alpha}_j^2}{(\lambda_j+1)^2}} \quad (18)$$

2.3. Liu tipi tahmin edicisi

BRE ve BLE nin avantajlarını birleştirerek bu tahmin edicilerden daha etkin sonuçlar elde etmek amacıyla Bell Liu tipi tahmin edici (BLTE) önerilmektedir. Genel formu ile BLTE tahmin edicisi Eşitlik (19)'da verilmiştir.

$$\hat{\beta}^*(k, d) = (X'WX + kI)^{-1}(X'WX - dI)\hat{\beta}_{E\check{C}O} \quad (19)$$

Burada $\hat{\beta}^*$, β nin herhangi bir tahmin edicisi olarak alınabilir. Genel olarak $\hat{\beta}^*$ lineer regresyon modelinde en küçük kareler tahmin edicisi, GLM' de EÇÖ tahmin edicisi olarak alınmıştır. Bazı çalışmalarda $\hat{\beta}^*$ için $\hat{\beta}(k)$ da alınmıştır [18,22]. Bu çalışmada $\hat{\beta}^* = \hat{\beta}_{E\check{C}O}$ olarak alınmıştır. Bu durumda BLTE Eşitlik (20)'de verildiği gibidir.

$$\hat{\beta}(k, d) = (X'WX + kI)^{-1}(X'WX - dI)\hat{\beta}_{E\check{C}O} \quad (20)$$

Burada $k > 0$, yanlılık parametresi ve $-\infty < d < \infty$, büzülme parametresidir.

Önerdiğimiz tahmin edicinin k ve d parametrelerine göre limit durumları ise aşağıdaki gibidir:

$$\begin{aligned} \bullet \lim_{d \rightarrow 0} \hat{\beta}(k, d) &= \hat{\beta}(k) \\ \bullet \lim_{\substack{d \rightarrow 0 \\ k \rightarrow 0}} \hat{\beta}(k, d) &= \hat{\beta}_{E\check{C}O} \end{aligned}$$

BLTE'nin MMSE ve MSE denklemleri sırasıyla Eşitlik (21) ve (22)'de verilmiştir.

$$MMSE(\hat{\beta}_{BLE}) = T_k^{-1}T_{d^-}T_k^{-1} + (d+k)^2T_k^{-1}\beta\beta'T_k^{-1} \quad (21)$$

$$MSE(\hat{\beta}_{BLE}) = \sum_{j=1}^l \frac{(\lambda_j - d)^2}{(\lambda_j + k)^2} + (k+d)^2 \sum_{j=1}^l \frac{\alpha_j^2}{(\lambda_j + k)^2} \quad (22)$$

Burada $T_{d^-} = T - dI$ dir.

BLTE'd k parametresi için BRE'de kullanılan herhangi bir tahmin edici kullanılabilir. Bu tahmin edicilere alternatif olarak Liu tarafından Eşitlik (23)'te verildiği gibi önerilen tahmin edici de kullanılabilir.

$$\hat{k}^* = \frac{\lambda_{max} - 100\lambda_{min}}{99} \quad (23)$$

BLTE'de d parametresi için BLE'ye benzer şekilde optimal tahmin edici kullanılmıştır. Bunun için Eşitlik (22)'de verilen MSE denkleminin d 'ye göre türevi alınıp sıfıra eşitlenmiştir. Buradan elde edilen d parametresinin tahmin edicisi Eşitlik (24)'te verilmiştir.

$$\hat{d}^* = \frac{\sum_{j=1}^l \frac{1 - k\hat{\alpha}_j^2}{(\lambda_j + k)^2}}{\sum_{j=1}^l \frac{1 + \lambda_j\hat{\alpha}_j^2}{\lambda_j(\lambda_j + k)^2}} \quad (24)$$

Bu çalışmada $\hat{\beta}_1(k, d)$ olarak Eşitlik (12)'de verilen, $\hat{\beta}_2(k, d)$ olarak Eşitlik (23)'te verilen k tahmin edicileri ve bunlara bağlı tahmin edilen d parametrelerinin kullanıldığı iki tane BLTE tahmin edicisi kullanılmıştır.

3. Bulgular

Bu bölümde farklı örnek hacmi, değişken sayısı ve korelasyon katsayılarına göre tahmin edicilerin

performansları simülasyon çalışması ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca teorik karşılaştırma ve simülasyon çalışmasındaki sonuçlar gerçek veri seti uygulaması ile desteklenmiştir.

Tablo 1. $p = 3$ için MSE değerleri

		$\hat{\beta}$	$\hat{\beta}(k)$	$\hat{\beta}(d)$	$\hat{\beta}_1(k, d)$	$\hat{\beta}_2(k, d)$
50	0.90	6.8802	5.9904	5.5255	4.7262	5.0202
	0.95	9.3248	7.6369	7.0127	6.2237	6.6565
	0.99	32.0634	23.6150	24.9113	20.2162	21.4814
100	0.90	5.3233	4.8808	4.6213	3.7521	3.9991
	0.95	6.5322	5.7394	5.3188	4.5758	4.9516
	0.99	16.8403	12.7250	12.5056	10.6863	11.4449
150	0.90	5.0779	4.7782	4.6111	3.6701	3.9161
	0.95	5.6629	5.1172	4.8216	3.9919	4.3529
	0.99	12.4667	9.8160	9.1608	8.2255	8.8671
200	0.90	4.9806	4.7509	4.6095	3.6411	3.8545
	0.95	5.3417	4.9408	4.7085	3.8515	4.2079
	0.99	10.4849	8.4414	7.6911	7.0666	7.6188
250	0.90	4.8174	4.6366	4.5317	3.5648	3.7726
	0.95	4.9903	4.6538	4.5552	3.6091	3.9413
	0.99	9.0794	7.3960	6.6436	6.1122	6.6356
300	0.90	4.6850	4.5401	4.4569	3.4565	3.7554
	0.95	4.8375	4.5548	4.5064	3.5190	3.8444
	0.99	7.8437	6.4718	5.8674	5.2988	5.7827

Tablo 2. $p = 5$ için MSE değerleri

		$\hat{\beta}$	$\hat{\beta}(k)$	$\hat{\beta}(d)$	$\hat{\beta}_1(k, d)$	$\hat{\beta}_2(k, d)$
50	0.90	9.7366	8.6117	7.9871	5.8113	6.8906
	0.95	14.6611	12.1683	11.4927	8.3554	10.0047
	0.99	58.2158	43.6769	49.5360	30.6494	37.0113
100	0.90	7.7481	7.2077	6.8588	4.9884	5.8321
	0.95	9.6856	8.5715	8.0077	5.7673	7.0265
	0.99	28.6504	21.8586	23.0618	15.1196	18.3236
150	0.90	7.0249	6.6879	6.4508	4.7638	5.5287
	0.95	8.0716	7.3551	6.8868	5.0038	6.0729
	0.99	21.4129	16.9065	16.3678	11.8731	14.3666
200	0.90	6.7516	6.5023	6.3321	4.7400	5.4338
	0.95	7.5534	7.0259	6.6856	4.8556	5.8794
	0.99	16.2291	13.0311	12.4108	8.9703	10.9976
250	0.90	6.5210	6.3287	6.2116	4.6153	5.2626
	0.95	7.0128	6.6007	6.3242	4.7819	5.5508
	0.99	14.9050	12.1819	11.5252	8.5824	10.3605
300	0.90	6.3162	6.1531	6.0519	4.5608	5.1538
	0.95	6.9157	6.2614	6.2272	4.6898	5.1881
	0.99	13.0292	10.8914	10.2808	7.6680	9.2868

Tablo 3. $p = 7$ için MSE değerleri

		$\hat{\beta}$	$\hat{\beta}(k)$	$\hat{\beta}(d)$	$\hat{\beta}_1(k, d)$	$\hat{\beta}_2(k, d)$
50	0.90	14.1267	12.8730	12.2195	9.0956	11.5774
	0.95	20.9727	18.1303	17.0990	11.6897	15.1683
	0.99	83.0918	63.5483	72.9760	38.8755	52.8858
100	0.90	12.9342	12.3180	11.9297	8.8961	10.5664
	0.95	15.7958	14.4914	13.9819	10.0500	12.5013
	0.99	42.4081	33.4052	35.1552	20.8655	28.0555
150	0.90	11.7057	11.3180	11.0428	8.4840	9.8822
	0.95	13.1157	12.2855	11.7975	8.5251	10.6248
	0.99	34.2448	28.3299	28.8530	19.4427	24.5913
200	0.90	10.7084	10.4381	10.2514	7.8817	9.1668
	0.95	12.5138	11.9080	11.4970	8.4343	10.3915
	0.99	25.9335	21.6665	21.3201	14.3705	18.6911
250	0.90	10.0983	9.8916	9.7504	7.5911	8.6945
	0.95	12.1013	11.6411	11.3165	8.4074	10.2616
	0.99	22.4882	19.3318	18.8294	13.1063	16.8073
300	0.90	9.9062	9.7361	9.6274	7.5049	8.6064
	0.95	10.9796	10.6037	10.3522	7.6096	9.3357
	0.99	20.3048	17.6517	16.7645	12.1625	15.4642

3.1. Simülasyon çalışması

Simülasyon çalışmasında Bell dağılımına uygun bağımlı değişken ve çoklu iç ilişkili bağımsız değişkenlerden oluşan veri setleri üretilerek BRM kurulmuştur. Üretilen veri setleri için EÇO, BRE, BLE ve BLTE kullanılarak bu tahmin edicilere ait MSE değerleri karşılaştırılmıştır.

İlk olarak bağımsız değişkenler arasında lineer ilişki olması için McDonald ve Galerneau tarafından Eşitlik (25)' da verilen denklem kullanılmıştır [23].

$$x_{ij} = (1 - \rho^2)^{1/2} z_{ij} + \rho z_{ip} \quad (25)$$

Burada ρ^2 bağımsız değişkenler arasındaki korelasyon katsayısı ve z_{ij} standart normal dağılımdan üretilmiş rassal sayılardır. Bağımlı değişken vektörü $y_i \sim Bell(W_0(\exp\{\beta_0 + x_{i1}\beta_1 + \dots + x_{i4}\beta_4\}))$ olacak şekilde üretilmiştir. Simülasyon çalışmasında β vektörü $\beta'\beta = 1$ olacak şekilde seçilmiştir [24].

Simülasyon çalışmasında bağımsız değişken sayısı, $p = 3,5,7$ örnek hacmi, $n = 50, 100, 150, 200, 250, 300$ ve $\rho = 0.9, 0.95, 0.99$ alınarak simülasyon tekrar sayısı 2000 olarak seçilmiştir. Çalışmada R programının *bellreg* paketi kullanılmıştır [25]. Tahmin edicilere ait MSE değerleri ise Eşitlik (26) kullanılarak hesaplanmıştır.

$$MSE(\hat{\alpha}_i^*) = \frac{1}{2000} \sum_{k=1}^{2000} (\hat{\alpha}_i^* - \alpha)'(\hat{\alpha}_i^* - \alpha) \quad (26)$$

Simülasyon çalışmasından elde edilen sonuçlar Tablo 1-3' te verilmiştir.

- Simülasyon tablolarından elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenmiştir.
- Tüm tahmin edicilerin MSE değerleri örnek hacmi arttıkça azalmaktadır.
- Bağımsız değişkenler arasındaki ilişki arttıkça tahmin edicilerin MSE değerleri artmaktadır.
- Bağımsız değişken sayısı arttıkça aynı korelasyon değerleri için ilişkili değişken sayısı arttığından

dolayı tahmin edicilerin MSE değerleri artmaktadır.

- Tüm tablolarda aynı korelasyon değeri ve aynı örnek hacmi için tüm BLTE tahmin edicilerinin MSE değerleri BRE ve BLE' den daha küçüktür.

Önerilen BLTE arasında $\hat{\beta}_1(k, d)$, $\hat{\beta}_2(k, d)$ ' den daha etkin sonuçlar vermektedir.

3.2. Gerçek veri uygulaması

Çalışmanın bu kısmında önerilen tahmin edicinin performansı gerçek veri set sonuçları ile incelenmiştir. Amin vd. nin çalışmalarında kullandıkları Myers vd.' nin kitabından alınan Mine fracture verisi kullanılmıştır [10, 26]. Mine fracture verisi batı Virginia' da Appalachian bölgesindeki kömür yataklarındaki madenlerde meydana gelen yalanma veya kırık sayılarını araştırmak için yapılan gözlemlerden elde edilen bir veri setidir [10]. Veri seti 44 gözlem ve dört bağımsız değişkenden oluşmaktadır. Bağımsız değişkenler sırasıyla ayak cinsinden iç yük kalınlığı, daha önce kanılmış alt dikişin yüzde ekstraksiyonu, alt dikiş yüksekliğini ve madenin açıldığı zamanı göstermektedir. Veri için hesaplanan koşul sayısı 296.5585 olduğu için veri setinde çoklu iç ilişki problemi söz konusudur. Bu veri seti için EÇO, BRE, BLE ve BLTE' ye ait parametre tahminleri, tahminlerin standart hataları ve tahmin edicilerin MSE değerleri Tablo 4' te verilmiştir

Tablo 4 incelendiğinde veri setinde çoklu iç ilişki olduğundan dolayı BRE ve BLE tahmin edicileri ile elde edilen MSE değerleri EÇO tahmin edicisinin MSE değerinden daha küçüktür. Bu çalışmada önerilmiş olan BLTE ile BRE ve BLE' den daha etkin sonuçlar elde edilmiştir.

4. Tartışma ve Sonuç

Uygulamada yaygın olarak karşılaşılan veri tiplerinden birisi sayma verileridir. Sayım verilerinin modellenmesinde yaygın olarak PRM kullanılmaktadır. Fakat aşırı yayımlı sayma verilerinin modellenmesinde PRM uygun bir model olmamaktadır. Bu modelin alternatifi olarak kullanılan NBRM' ye alternatif olarak son yıllarda

Tablo 4. Mine Fracture veri seti için analiz sonuçları

	$\hat{\beta}$	$\hat{\beta}(k)$	$\hat{\beta}(d)$	$\hat{\beta}_1(k, d)$	$\hat{\beta}_2(k, d)$
$\hat{\beta}_0$	-0.00294 (1.38907)	-0.00294 (1.24013)	-0.00294 (0.47412)	-0.00291 (0.00291)	-0.00294 (0.00063)
$\hat{\beta}_1$	-0.01126 (0.00106)	-0.01126 (0.00106)	-0.01126 (0.00106)	-0.01001 (0.00094)	-0.01126 (0.00106)
$\hat{\beta}_2$	0.01819 (0.01684)	0.01819 (0.01519)	0.01819 (0.00736)	0.00740 (0.00239)	0.01819 (0.00489)
$\hat{\beta}_3$	-0.02384 (0.00679)	-0.02384 (0.00673)	-0.02383 (0.00653)	-0.00197 (0.00281)	-0.02384 (0.00650)
$\hat{\beta}_4$	-4.00835 (0.02179)	-3.57855 (0.02177)	-1.36813 (0.02167)	-0.00839 (0.00179)	-0.00182 (0.02166)
	1.93033	1.53868	0.22574	0.00414	0.00108
MSE($\hat{\beta}$)	1.93033	1.53868	0.22574	0.00414	0.00108

yaygın olarak BRM kullanılmaya başlanmıştır. Negatif binom dağılımından daha esnek bir dağılım ve tek parametresi bulunmasından dolayı işlem kolaylığı sağlamasından dolayı daha NBRM' den daha kullanışlı bir model olarak tercih edilebilmektedir.

Regresyon analizinde sıklıkla karşılaşılan problemlerden biri olan çoklu iç ilişki probleminin çözümü için BRM modeli için BRE ve BLE literatürde önerilmiştir. Bu çalışma da bu tahmin edicileri de kapsayan ve avantajlarını birleştirerek yeni bir tahmin edici önerilmiştir. Önerilen BLTE ile BLE ve BRE' den daha etkin sonuçlar elde edilmiştir. Bu sonuçlar farklı senaryolar altında hazırlanan simülasyon çalışmasından elde edilen tablolarda açıkça gösterilmiştir. MSE kriterine göre karşılaştırılan tahmin ediciler içinde en küçük MSE değeri tarafımızdan önerilen BLTE' ye aittir. Ayrıca çalışmada verilen gerçek veri örneğinde elde edilen sonuçlar da simülasyon sonuçlarını desteklemektedir.

Çoklu iç ilişki bulunan sayım verilerinin modellenmesinde BRM' de BLTE tahmin edicisi ile daha etkin sonuçlar elde edilebileceği ortaya konulmuştur.

Teşekkür

Makalemizin ıyleştirilme sürecinde değerli görüş ve önerileri ile katkı veren editörlere ve hakemlere teşekkür ederiz.

Etik Beyanı

Bu çalışmada, "Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesi" kapsamında uyulması gerekli tüm kurallara uyulduğunu, bahsi geçen yönergenin "Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiğine Aykırı Eylemler" başlığı altında belirtilen eylemlerden hiçbirinin gerçekleştirilmediğini taahhüt ederiz.

Kaynakça

- [1] Lemonte, A., Moreno-Arenas, G., & Castellares, F. 2020. Zero-inflated Bell regression models for count data. *Journal of Applied Statistics*, 47(2), 265-286.
- [2] Castellares, F., Ferrari, S., Lemonte, A. 2018. On the Bell distribution and its associated regression model for count data. *Applied Mathematical Modelling*, 56, 172-185.
- [3] Asar, Y., Genç, A. 2016. New shrinkage parameters for the Liu-type logistic estimator. *Communications in Statistics - Simulation and Computation*, 45(3), 1094-1103.
- [4] Farrar, D. E., Glauber, R. R. 1967. Multicollinearity in Regression Analysis: The Problem Revisited, *The Review of Economics and Statistics*, 49 (1), 92-107.

- [5] Silvey S. 1969. Multicollinearity and Imprecise Estimation. *Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Methodological)*, 31 (3), 539-552.
- [6] Lipovetsky S., Conklin, W. M. 2001. Multiobjective Regression Modifications for Collinearity. *Computers and Operations Research*, 28, 1333-1345.
- [7] Hoerl, A., Kennard, R. 1970. Ridge regression: Biased estimation for nonorthogonal problems. *Technometrics*, 42(1), 80-86.
- [8] Månsson, K., Shukur, G. 2011. A Poisson ridge regression estimator. *Econ. Model.* 28, 1475-1481.
- [9] Månsson, K. 2012. On ridge estimators for the negative binomial regression model. *Economic Modelling*, 29, 178-184.
- [10] Amin, M., Akram, M., Majid, A. 2021. On the estimation of Bell regression model using ridge estimator. *Communications in Statistics-Simulation and Computation*.
- [11] Liu, K. 1993. A new class of biased estimate in linear regression. *Communications in Statistics - Theory and Methods*, 22(2), 393-402.
- [12] Akdeniz, F., Kaçıranlar, S. 1995. On the almost unbiased generalized Liu estimator and unbiased estimation of the bias and MSE. *Communications in Statistics-Theory and Methods*, 24(7), 1789-1797.
- [13] Urgan N., Tez M. 2008. Liu estimator in logistic regression when the data are collinear. The 20th international conference, EURO mini conference, Continuous Optimization and Knowledge-based Technologies, 323-327.
- [14] Kurtoğlu F., Özkale M. 2016. Liu estimation in generalized linear models: application on gamma distributed response variable. *Statistical Papers*, 57(4), 911-928.
- [15] Qasim, M., Amin, M., Amanullah, M. 2018. On the performance of some new liu parameters for the gamma regression model. *Journal of Statistical Computation and Simulation*, 88(16), 3065-3080.
- [16] Qasim, M., Kibria, B., Månsson, K., Sjölander, P. 2019. A new Poisson Liu Regression Estimator: method and application. *Journal of Applied Statistics*.
- [17] Majid, A., Amin, M., Akram, M. N. 2021. On the Liu estimation of Bell regression model in the presence of multicollinearity, *Journal of Statistical Computation and Simulation*.
- [18] Liu, K. 2003. Using Liu-type Estimator to Combat Collinearity. *Communications in Statistics-Theory and Methods*, 32(5), 1009-1020.

- [19] Asar, Y., Karaibrahimoğlu, A., Başbozkurt, H. Genç, A. 2015. Developing a Liu-type estimator for the Poisson Regression. 9th International Statistics Congress, Antalya.
- [20] Asar, Y. 2018. Liu-Type Negative Binomial Regression: A Comparison of Recent Estimators and Applications. In Trends and Perspectives in Linear Statistical Inference, 23-39. Cham: Springer.
- [21] Bell, E. 1934. Exponential numbers. The American Mathematical Monthly, 41(7), 411-419.
- [22] Ertaş, H., Kaçiranlar, S., Güler, H. 2017. Robust Liu type estimator for regression based on M-estimator. Communication in Statistics - Simulation and Computation, 46(5), 3907-3932.
- [23] McDonald, G., Galarneau, D. 1975. A monte carlo evaluation of some ridge-type estimators. Journal of the American Statistical Association, 70(350), 407-416.
- [24] Newhouse, J., Oman, S. (1971). An evaluation of ridge estimators. Rand Corporation (p-716-PR), Santa Monica., 1-16.
- [25] Team, R. C. (tarih yok). R: A language and environment for statistical computing. Vienna, Austria: <http://www.R-project.org>.
- [26] Myers, R., Montgomery, D., Vining, G., Robinson, T. 2012. Generalized Linear Models with Applications in Engineering and the Sciences. Second Edition, Wiley, A John Wiley&Sons, Inc., Publication.