



FEN BİLİMLERİ ENSTİTUSU DERGİSİ

Journal of Natural and Applied Sciences

agustos



Cilt: 28

Sayı: 02 / Volume: 28

Issue: 02

e-ISSN: 1308 6529

2024
ISPARTA



SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi

Cilt 28, Sayı 2, Yıl 2024

SÜLEYMAN DEMİREL UNIVERSITY
Journal of Natural and Applied Sciences

Volume 28, Issue 2, Year 2024

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

Mehmet SALTAN, Prof. Dr.
Süleyman Demirel Üniversitesi Adına (Rektör)

BAŞ EDİTÖR

Mert ŞEKERCİ, Doç. Dr.
Süleyman Demirel Üniversitesi (Enstitü Müdürü)

EDİTÖRLER

Mevlüt ERSOY, Doç. Dr.
Süleyman Demirel Üniversitesi

Buket ÇAPALI, Dr. Öğr. Üyesi
Süleyman Demirel Üniversitesi

ALAN EDİTÖRLERİ

Tahir TILKI, Prof. Dr.
Süleyman Demirel Üniversitesi

Abdullah KAPLAN, Prof. Dr.
Süleyman Demirel Üniversitesi

Mehmet GÜRDAL, Prof. Dr.
Süleyman Demirel Üniversitesi

Ayşin SEV, Prof. Dr.
Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi

İsmail Serkan ÜNCÜ, Prof. Dr.
Isparta Uygulamalı Bilimler
Üniversitesi

İrfan KAYMAZ, Prof. Dr.
Erzurum Teknik Üniversitesi

Kübra ÇAMUR, Prof. Dr.
Gazi Üniversitesi

Özgür AKKOYUN, Prof. Dr.
Dicle Üniversitesi

Ramazan ŞENOL, Prof. Dr.
Isparta Uygulamalı Bilimler
Üniversitesi

Selda TEKİN ÖZAN, Prof. Dr.
Süleyman Demirel Üniversitesi

Tendü Hilal GÖKTUĞ, Prof. Dr.
Aydın Adnan Menderes Üniversitesi

Volkan Emre UZ, Prof. Dr.
İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü

Alev Yüksel AYDAR, Doç. Dr.
Manisa Celâl Bayar Üniversitesi

Ali SİLAHTAR, Doç. Dr.
Sakarya Üniversitesi

Ceren KARAMAN, Doç. Dr.
Akdeniz Üniversitesi

Gizem KARAKAN GÜNAYDIN, Doç. Dr.
Pamukkale Üniversitesi

Gür Emre GÜRAKSIN, Doç. Dr.
Afyon Kocatepe Üniversitesi

Hasan ÖZDOĞAN, Doç. Dr.
Antalya Bilim Üniversitesi

Murat VAROL, Doç. Dr.
Akdeniz Üniversitesi

Yiğit Ali ÜNCÜ, Doç. Dr.
Akdeniz Üniversitesi

Yusuf YILMAZ, Dr. Öğr. Üyesi
Pamukkale Üniversitesi

DANIŞMA KURULU

A. K. M. Rezaur Rahman, Prof. Dr.
University of Chittagong, Bangladeş

Feng Qi, Prof. Dr.
Bağımsız Araştırmacı, ABD

Jameel-Un Nabi, Prof. Dr.
University of Wah, Pakistan

Jorge Manuel Cárdenas Callirgos, Prof. Dr.
Universidad Ricardo Palma, Peru

Masoumeh Malek, Prof. Dr.
University of Tehran, Iran

Mohammad Mursaleen, Prof. Dr.
Aligarh Muslim University, Hindistan

Panagiotis Kyratsis, Prof. Dr.
University of Western Macedonia, Yunanistan

S. Abdul Mohiuddine, Prof. Dr.
King Abdulaziz University, Suudi
Arabistan

Snežana M. Urošević, Prof. Dr.
University of Belgrade, Sırbistan

Stojan Radenović, Prof. Dr.
University of Belgrade, Sırbistan

Sadaf Kayani, Doç. Dr.
Mohi-ud-din Islamic University,
Pakistan

Victor Surugiu, Doç. Dr.
Alexandru Ioan Cuza” University of
Iaşi, Romanya

Lucia Mele, Dr.
University of Naples Federico II, İtalya

Sabina Olaru, Dr.
National R&D Institute for Textiles
and Leather, Romanya

TEKNİK EDİTÖRLER

Remzi GÜRFİDAN, Dr.
Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi

Cem Deniz KUMRAL, Öğr. Gör.
Isparta Uygulamalı Bilimler
Üniversitesi

Hilal KARTAL, Öğr. Gör.
Afyon Kocatepe Üniversitesi

DİL EDİTÖRÜ

Nihal ERDEMİR, Doç. Dr.
Süleyman Demirel Üniversitesi

SÜLEYMAN DEMİREL UNIVERSITY JOURNAL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

PRIVILEGE OWNER

Mehmet SALTAN, Prof. Dr.
On Behalf of Süleyman Demirel University (President)

EDITOR IN CHIEF

Mert ŞEKERCİ, Assoc. Prof. Dr.
Süleyman Demirel University (Director of the Institute)

EDITORS

Mevlüt ERSOY, Assoc. Prof. Dr.
Süleyman Demirel University

Buket ÇAPALI, Dr.
Süleyman Demirel University

SECTION EDITORS

Tahir TİLKİ, Prof. Dr.
Süleyman Demirel University

Abdullah KAPLAN, Prof. Dr.
Süleyman Demirel University

Mehmet GÜRDAL, Prof. Dr.
Süleyman Demirel University

Ayşin SEV, Prof. Dr.
Mimar Sinan Fine Arts University

İsmail Serkan ÜNCÜ, Prof. Dr.
Isparta University of Applied Sciences

İrfan KAYMAZ, Prof. Dr.
Erzurum Technical University

Kübra ÇAMUR, Prof. Dr.
Gazi University

Özgür AKKOYUN, Prof. Dr.
Dicle University

Ramazan ŞENOL, Prof. Dr.
Isparta University of Applied Sciences

Selda TEKİN ÖZAN, Prof. Dr.
Süleyman Demirel University

Tendü Hilal GÖKTUĞ, Prof. Dr.
Aydın Adnan Menderes University

Volkan Emre UZ, Prof. Dr.
Izmir Institute of Technology

Alev Yüksel AYDAR, Assoc. Prof. Dr.
Manisa Celâl Bayar University

Ali SİLAHTAR, Assoc. Prof. Dr.
Sakarya University

Ceren KARAMAN, Assoc. Prof. Dr.
Akdeniz University

Gizem KARAKAN GÜNEYDİN, Assoc. Prof. Dr.
Pamukkale University

Gür Emre GÜRAKSIN, Doç. Dr.
Afyon Kocatepe University

Hasan ÖZDOĞAN, Assoc. Prof. Dr.
Antalya Science University

Murat VAROL, Assoc. Prof. Dr.
Akdeniz University

Yiğit Ali ÜNCÜ, Assoc. Prof. Dr.
Akdeniz University

Yusuf YILMAZ, Dr.
Pamukkale University

ADVISORY BOARD

A. K. M. Rezaur Rahman, Prof. Dr.
University of Chittagong, Banglades

Feng Qi, Prof. Dr.
Independent Researcher, ABD

Jameel-Un Nabi, Prof. Dr.
University of Wah, Pakistan

Jorge Manuel Cárdenas Callirgos, Prof. Dr.
Universidad Ricardo Palma, Peru

Masoumeh Malek, Prof. Dr.
University of Tehran, Iran

Mohammad Mursaleen, Prof. Dr.
Aligarh Muslim University, India

Panagiotis Kyratsis, Prof. Dr.
University of Western Macedonia, Greece

S. Abdul Mohiuddine, Prof. Dr.
King Abdulaziz University, Suudi Arabistan

Snežana M. Urošević, Prof. Dr.
University of Belgrade, Serbia

Stojan Radenović, Prof. Dr.
University of Belgrade, Serbia

Sadaf Kayani, Assoc. Prof. Dr.
Mohi-ud-din Islamic University, Pakistan

Victor Surugiu, Assoc. Prof. Dr.
Alexandru Ioan Cuza” University of Iaşi, Romania

Lucia Mele, Dr.
University of Naples Federico II, İtaly

Sabina Olaru, Dr.
National R&D Institute for Textiles and Leather, Romania

TECHNICAL EDITORS

Remzi GÜRFİDAN, Dr.
Isparta University of Applied Sciences

Cem Deniz KUMRAL, Lecturer
Isparta University of Applied Sciences

Hilal KARTAL, Lecturer
Afyon Kocatepe University

LANGUAGE EDITOR

Nihal ERDEMİR, Assoc. Prof. Dr.
Süleyman Demirel University

Sağlık Çalışanlarına Yönelik Kalite Algısının Yapısal Eşitlik Modellenmesi İle İncelenmesi 81-88 <i>Examining The Perception Of Quality For Healthcare Professionals By Structural Equality Modeling</i> Hanım Elveren	81-88
The Proposed Modified Schnute Model 89-95 <i>Schnute Büyüme Modelinde Yeni Bir Modifikasyon</i> Olgun Duran, Deniz Ünal	89-95
Characterization and Optoelectronic Effects of Iridium-Doped ZnO Thin Films for Heterojunction Applications 96-104 <i>Heteroeklem Uygulamaları için İridyum Katkılı ZnO İnce Filmlerin Karakterizasyonu ve Optoelektronik Etkileri</i> Seval Aksoy Pehlivanoglu, Özgür Polat	96-104
Statistical Reliability Evaluation of a k-out-of-n:G System Subject to Competing Failure Processes 105-114 <i>Rakip Bozulma Süreçlerine Maruz Kalan bir n'den k çıkışlı:G Sistemine ait İstatistiksel Güvenilirlik Değerlendirmesi</i> Yeşim Aktaş, Funda İşçioğlu	105-114
Matematik Başarısı ve Yansıtıcı Düşünce Bulanık Modellemesi 115-125 <i>Modeling Mathematics Achievement and Reflective Thinking with Fuzzy Logic</i> Melek Altunbaş	115-125
Assessment of atmospheric pollution by heavy metals using transplanted lichen <i>Pseudevernia furfuracea</i> (L.) Zopf in Niğde Province, Türkiye 126-136 <i>Transplante Liken Pseudevernia Furfuracea (L.) Zopf Kullanılarak Niğde İlinde (Türkiye) Atmosferik Ağır Metal Kirliliğinin Değerlendirilmesi</i> Atıla Yıldız, Volkan Işık, Sevda Sümer Aydın	126-136
Çok Kriterli Karar Vermede Nötrosifik Critic ve Nötrosifik Waspas Entegre Yöntemi Temelli Mutluluk Düzeyi Belirleme Üzerine Bir Uygulama 137-147 <i>On an Application of Happiness Level Determination Based on Neutrosophic Critic and Neutrophic Wasps Integrated Method in Multi-Criteria Decision Making</i> Hamiyet Merkepçi	137-147
The Effects of Weaving Process on the Damage Formation of the E- Glass Yarn 148-153 <i>Dokuma İşleminin E- Cam İplikler Üzerinde Hasar Oluşumuna Etkilerinin İncelenmesi</i> Mehmet Korkmaz, Melih Korkmaz	148-153
Macrosiphum rosae (L.) (Hemiptera: Aphididae) Üzerinde Portakal Yağının Etkisi ve Coccinella septempunctata (Coleoptera: Coccinellidae) 'nın Farklı Dozlara Yönelimi 154-160 <i>The Insecticidal Effect of Orange Oil on Macrosiphum rosae (L.) (Hemiptera: Aphididae) and Orientation of Coccinella septempunctata (Coleoptera: Coccinellidae) to Different Doses</i> Mehmet Sedat Sevinç, Murat Yeşilirmak, Bilal Demir	154-160
$\pi D^* \bar{D}^*$ Üç Mezon Sisteminin Faddeev Denkleminin Sabit Merkez Yaklaşıklık Yöntemi ile İncelenmesi 161-166 <i>Investigation of the $\pi D^* \bar{D}^*$ Three Meson System by the Fixed Center Approximation to the Faddeev Equation</i> Merve Aleyna Akarsu, Melahat Bayar	161-166
Stem and Leaf Anatomies of Some Globularia L. (Plantaginaceae) Taxa Grown in Türkiye and Their Systematic Value 167-176 <i>Türkiye'de Yetiştirilen Bazı Globularia L. (Plantaginaceae) Taksonlarının Gövde ve Yaprak Anatomileri ve Sistematik Önemi</i> Serhan Koray Çifci, Hatice Nurhan Büyükkartal, Gençay Akgül	167-176
Isomorphism Theorems for Crossed Squares of Commutative Algebras 177-188 <i>Değişmeli Cebirlerin Çaprazlanmış Kareleri için İzomorfizm Teoremleri</i> Selim Çetin, Erkan Can	177-188
Cladophora sp. ve Mikoriza Uygulamalarının Mısır Rizosferindeki bazı Toprak Enzimlerine Etkisi 189-196 <i>Cladophora sp. and Arbuscular Mycorrhizal Fungus (AMF) Spore Inoculation on Maize (Zea mays L.) Developmental Parameters and Some Rhizosphere Soil Enzymes</i> Çiğdem Küçük, Pınar Uslu, Göksal Sezen	189-196
Non-Isolated Bidirectional DC-DC Converter Design And Low Power Application for EV Charging Station 197-206 <i>EA Şarj İstasyonu için İzolesiz Çift Yönlü DA-DA Dönüştürücü Tasarımı ve Düşük Güçlü Uygulaması</i> Furkan Üstünsoy, Hasan Hüseyin Sayan, Sadık Yıldız	197-206
Tarihi Yapıya Çağdaş Ek Müdahalesi-Kervansaray Örnekleri 207-220 <i>Contemporary Addition to Historic Building- Caravanserai Examples</i> Esra Şahin, Hicran Hanım Halaç	207-220

Yenilenebilir Enerji Kaynaklarını İçeren Optimal Güç Akışı İçin Uygunluk Mesafe Dengesi Tabanlı Üçgenleme Topolojisi Toplama İyileştiricisi	221-234
<i>Fitness Distance Balance Based Triangulation Topology Aggregation Optimizer for Optimal Power Flow Including Renewable Energy Sources</i>	
Ali Yazıcı, Uğur Güvenç	
A low-voltage, high-performing CMOS transistor based on multiple- output operation transconductance amplifier for current mode KHN Universal filter applications	235-239
<i>Modu KHN Evrensel Filtre Uygulamaları için Çok Çıkışlı Operasyonel Transiletkenlik Amplifikatörüne Dayanan Düşük Voltajlı, Yüksek Performanslı CMOS Transistör Tasarımı ile Gerçekleştirilmesi</i>	
Hüseyin Demirel	
A New Goodness of Fit Test for Complete or Type II Right Censored Samples	240-250
<i>Tam ya da II. Tür Sağdan Durdurulmuş Örneklemeler için Yeni Bir Uyum İyiliği Testi</i>	
Anıl Koyuncu, Mehmet Karahasan	
Bina İçi Radon Birikimi Üzerine bir Araştırma	251-259
<i>A Study on Indoor Radon Accumulation</i>	
Mehmet Ertan Kürkçüoğlu, Özlem Öner, Abbas Alpaslan Koçer	
Elma İçkurdu Zararlısının Kontrolünde Alternatif Yeni Aday Moleküllerin Kenetlenme Metodu ile Belirlenmesi	260-267
<i>Identification of Alternative New Candidate Molecules for the Control of Apple Bract Pest by Docking Method</i>	
Nurcan Ersan Şeker, Vildan Atalay	
Eş Zamanlı İnsülin ve Glukagon Konsantrasyon Artışının Karaciğer Glikoz Üretimine Etkisinin Matematik Model Kullanarak Analizi	268-280
<i>Analysis of the Effect of Simultaneous Increase in Insulin and Glucagon Concentrations on Hepatic Glucose Production Using a Mathematical Model</i>	
Perihan Hatice Aydın, Fatih Karaaslan	
Aldose Reductase Evaluation against Diabetic Complications Using ADME and Molecular Docking Studies and DFT Calculations of Spiroindoline Derivative Molecule	281-292
<i>Spiroindolin Türevi Molekülünün DFT Hesaplamaları ve ADME ve Moleküler Doking Çalışmaları Kullanılarak Diyabetik Komplikasyonlara Karşı Aldoz Redüktaz Değerlendirmesi</i>	
Kenan Gören, Ümit Yıldık	

Sağlık Çalışanlarına Yönelik Kalite Algısının Yapısal Eşitlik Modellemesi ile İncelenmesi

Hanim ELVEREN*¹, Eylem DENİZ²

¹İstanbul İl Sağlık Müdürlüğü, İstatistik, Analiz ve Raporlama Birimi, 12345, İstanbul, Türkiye

²Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, İstatistik Bölümü, 12345, İstanbul, Türkiye

(Alınış / Received: 10.03.2023, Kabul / Accepted: 24.11.2023, Online Yayınlanma / Published Online: 23.08.2024)

Anahtar Kelimeler

Araç değişken,
Kalite,
Kısmi en küçük kareler
yaklaşımı,
Kısmi en küçük kareler
yapısal eşitlik modellemesi
(PLS-SEM),
Sağlıkta kalite algısı,
İstatistik

Öz: Araştırmada kamu hastanesinde çalışanların kalite algılarını ölçmek için kullanılan "Sağlık Çalışanlarının Kalite Algısı Ölçeği"nin alt boyutlarının birbirleriyle olan ilişkilerini belirlemek adına bir model tasarlanmıştır. Araştırmanın evrenini hem grup rolü bakımından hem de binanın fiziksel özellikleri açısından denk olan iki devlet hastanesinde çalışan tüm personel oluşturmaktadır. Katılımcılar oluşturulurken basit tesadüfi örnekleme yöntemi kullanılmıştır. Çalışma toplam 334 katılımcı ile gerçekleştirilmiştir. Önerilen model kısmi en küçük kareler yapısal eşitlik modellemesi (Partial Least Square Structural Equation Model, PLS-SEM) yöntemiyle RStudio programıyla analiz edilmiştir. PLS-SEM analizi neticesinde modelde yer alan değişkenlerden Yönetim ve Liderliğin ($\beta:0,582$) İnsan Kaynakları Kullanımı üzerinde; Yönetim ve Liderlik ($\beta:0,541$) ile İnsan Kaynakları Kullanımının ($\beta:0,281$) Kurum Yararı üzerinde; Yönetim ve Liderlik ($\beta:0,301$) ile Kurum Yararının ($\beta:0,480$) Hasta Yararı üzerinde istatistiksel açıdan anlamlı ve pozitif yönde bir etkiye sahip olduğu ortaya çıkmıştır. Sağlık çalışanlarında kalite algısını artırabilmek için öncelikle Yönetim ve Liderlik ile Kurum Yararı alt boyutunda gerekli iyileştirmelerin yapılması gerekmektedir. Burada yapılacak iyileştirmeler Hasta Yararını hem doğrudan hem de dolaylı olarak etkileyecektir.

Examining The Perception Of Quality For Healthcare Professionals By Structural Equality Modeling

Keywords

Mediator variable,
Quality,
Partial least squares
approach,
Partial least squares
structural equation modeling
(PLS-SEM),
Health quality perception,
Statistics

Abstract: In the research, a model was designed to determine the relationships between the sub-dimensions of the "Healthcare Professionals Quality Perception Scale", which is used to measure the quality perceptions of the employees in public hospitals. The universe of the research consists of all personnel working in two public hospitals, which are equivalent both in terms of group role and physical characteristics of the building. Simple random sampling method was used while creating the participants. The study was carried out with a total of 334 participants. The proposed model was analyzed with the RStudio program using the partial least squares structural equation modeling (Partial Least Square Structural Equation Model, PLS-SEM). As a result of the PLS-SEM analysis, on the Human Resources Use of Management and Leadership ($\beta:0.582$), one of the variables included in the model; On the Institutional Benefit of Management and Leadership ($\beta:0.541$) and Human Resources Utilization ($\beta:0.281$); It was revealed that Management and Leadership ($\beta:0.301$) and Institutional Benefit ($\beta:0.480$) had a statistically significant and positive effect on Patient Benefit. In order to increase the perception of quality in healthcare professionals, first of all, necessary improvements should be made in the sub-dimension of Management and Leadership and Institutional Benefit. Improvements to be made here will affect Patient Benefit both directly and indirectly.

1. Giriş

Dünyada ve Türkiye’de hızla gelişen teknoloji, tedavi yöntemleri, sağlık hizmeti sunumu standartlarındaki iyileştirmeler ve pek çok diğer etkenler sağlık hizmetinde ister istemez rekabet ortamı oluşturmaktadır. Özel, kamu fark etmeksizin her bir sağlık kurumu sürdürülebilirliğini sağlamak amacıyla hizmet kalitesi mümkün olduğunca iyileştirerek zorunlu olan belirli kalite standartlarını sağlamak zorunda kalmıştır. Bu nedenle kalite standartlarının her geçen gün önemi artmakta ve sürekli iyileştirilmektedir [1].

Kaliteye verilen önemin ve rekabet seviyesinin artması sağlık kuruluşlarında öncelikle mevcut olan kalite algısını tespit etmeye, sorunların nedenlerini ve çözüm önerileri araştırmaya teşvik etmiştir. Yapılan araştırmalar incelendiğinde genellikle hastaların memnuniyet ve kalite algılarına önem verildiği görülmektedir. Oysa sağlık sektöründe dış müşteri olarak kabul edilen hastalar kadar iç müşteri olarak düşünülen ve sağlık hizmeti sunumun her aşamasında rolü olan ve hastaların sağlık tesisine bakış açısının oluşmasını doğrudan etkileyen sağlık çalışanlarının da kalite algısını etkileyen faktörlerin ölçülmesi ve eksik görülen noktalarda gerekli iyileştirmelerin yapılması oldukça önemlidir. Tam da bu gerekçeyle bu çalışmada kamu hastanesinde çalışan sağlık personeline uygulanan “Sağlık Çalışanları Kalite Algısı Ölçeği” kullanılmıştır.

Bu araştırmada sağlık çalışanlarının çalıştıkları sağlık tesisi için algıladıkları kalite ölçülerek, ölçeğin alt boyutları arasındaki ilişkileri belirlemek için yapılan regresyon, aracılık analizi gibi çeşitli analizler yardımıyla bir model oluşturulmuştur. Kurulan bu model PLS-SEM yöntemiyle analiz edilerek alt boyutlar arasındaki modelin anlamlılığı, ilişkilerin boyutu ve yönü incelenmiştir. Oluşturulan modelin sağlık sektöründeki yöneticilere sağlık personelinin kalite algısını iyileştirmede yol gösterici olması amaçlanmıştır. Ayrıca literatürde sağlık çalışanlarında kalite algısı üzerine çok fazla çalışma yapılmadığı görülmüş ve sadece hasta ayağına değil sağlık çalışanları ayağına da dikkat çekilmesi hedeflenmiştir.

Kısmi En Küçük Kareler Yapısal Eşitlik Modellemesi (PLS-SEM)

SEM’in özellikle sosyal bilimlerde artan popülerliğine karşı farklı yaklaşımlar önerilerek, SEM ile oluşturulan modellerle daha iyi çıkarımlar yapılması sağlanmıştır. Bu çalışmada bu yaklaşımlardan biri olan varyans analizine dayanan PLS-SEM yöntemi kullanılmıştır. PLS-SEM temel bileşenler analizini ve sıradan en küçük kareler regresyonuna dayalı yol analizini bir araya getirerek bir yapısal eşitlik modelindeki pek çok denklemin parametrelerini tek seferde tahmin eder [2]. PLS-SEM, hem veri dağılımı hakkında hiçbir varsayımı olmaksızın yumuşak bir modelleme

yaklaşımına sahip olması hem de küçük örneklem boyutlarında etkin sonuçlar vermesi açısından son zamanlarda çok tercih edilen bir yöntem haline gelmiştir.

PLS-SEM analizine başlamadan önce yapısal model ve ölçüm modelini belirlemek gerekir. Bunlar belirlendikten sonra analize geçilir. İlk aşama ölçüm modelinin değerlendirilmesi ve gerekli koşulların sağlanıp sağlanmadığının kontrolünün yapılmasıdır. Ölçüm modeli için gerekli koşullar sağlandıktan sonra yapısal modelin değerlendirilmesine geçilebilir. Araştırma yansıtıcı bir ölçüm modeline sahip olduğu için yansıtıcı model ile ilgili kriterlere göre değerlendirme yapılmıştır.

2. Materyal ve Metot

Araştırmanın evrenini, İstanbul ilinde yer alan iki kamu hastanesinde hizmet vermekte olan personel oluşturmaktadır. Basit tesadüfi örnekleme yöntemi kullanılan çalışmada 334 kişi araştırmaya dâhil edilmiştir. Çalışmada kullanılan veri seti kaggle.com veri paylaşım platformundan alınmıştır [3]. Erdem [4] bu veri setine ilişkin tanımlayıcı istatistiklere tezinde yer vermiş, bu çalışmada ise aynı veri setine PLS-SEM uygulanmıştır. Çalışmada yer alan veri toplama aracı “Sağlık Çalışanları Kalite Algı Ölçeği”dir. Bu ölçek, yedi alt faktör ve toplam 70 sorudan oluşmaktadır [5]. Bunlar Yönetim ve Liderlik (YL) (12 madde), İnsan Kaynakları Kullanımı (İKK) (14 madde), Kalite Eğitimi (KE) (6 madde), Ölçme Değerlendirme (ÖD) (6 madde), Kurum Yararı (KY) (10 madde), Personel Yararı (PY) (8 madde) ve Hasta Yararı (HY) (14 madde)’dir. 5’li likert ölçeği ile ölçülmüştür. Bayer ve Baykal [5], ölçeğin geçerlilik ve güvenilirlik analizlerini yapmıştır.

Verilerin analizi için RStudio programı kullanılmıştır. Ölçeğe iç tutarlılık analizi yapılarak Cronbach-alfa (0,987) değerleri elde edilmiştir. İstatistiksel anlamlılık düzeyi $p < 0,05$ olarak kabul edilmiştir. Ölçekten elde edilen puanların normal dağılım durumu Kolmogrov-Smirnov testiyle incelenmiş ve normal dağılmadığı tespit edilmiştir ($p < 0,05$). Bu nedenle verilerin analizinde parametrik olmayan yöntemler tercih edilmiştir. Eksik olan verilere lineer interpolasyon yöntemi ile veri ataması yapılmıştır. Ölçeğin soruları ile verilen cevapların ne kadar ilişkili olduğunu görmek için öncelikle toplanan verilere doğrulayıcı faktör analizi uygulanmıştır. Doğrulayıcı faktör analizinde faktör yüklerinin %70’in üzerinde olması tercih edilir [6]. Buna göre yapılan analiz sonucunda 70 sorudan 29 soru ve dört alt boyut kalmıştır. Bunlar Yönetim ve Liderlik, İnsan Kaynakları Kullanımı, Kurum Yararı ve Hasta Yararı alt boyutlarıdır. Değişkenlerin birbirleri arasındaki yollar, yapılan basit regresyon analizlerinin sonuçları ve alan uzman görüşü ile belirlenmiş ve kurulan modeldeki aracılık rollerinin değerlendirilmesi için Baron ve Kenny [7]’nin önerdiği yöntem

doğrultusunda analiz edilmiştir. Değişkenlerin aracılık ve dolaylı etkileri sobel testiyle test edilmiştir. Oluşturulan model, PLS-SEM yöntemiyle RStudio programında analiz edilmiştir.

3. Bulgular

Araştırma hipotezlerini değerlendirmeden önce değişkenler hakkında fikir sahibi olmak için değişkenlerin ortalama, standart sapma ile Spearman-sıra korelasyonları incelenmiş ve değişkenlerin birbirleriyle pozitif yönde anlamlı ilişkileri olduğu görülmüştür. Değişkenlerin 100 puan üzerinden ortalamaları ve standart sapmaları $YL=71,464\pm 17,384$, $İKK=59,351\pm 22,686$, $KY=70,703\pm 18,577$, $HY=74,919\pm 16,162$ 'dir. Spearman-sıra korelasyon katsayıları en düşük $HY-İKK$ arasında $r=0,497$ ve en yüksek $HY-KY$ arasında $r=0,710$ olup ilişki katsayıları istatistiksel olarak anlamlıdır ($p<0,01$).

Aracı Değişken Hipotezlerine Yönelik Analiz Bulguları

Bağımlı ve bağımsız değişken arasındaki ilişkiyi başka bir hipotetik değişken aracılığıyla inceleyen modellere aracılık modelleri denir. Bir değişkenin aracılık durumunun söz konusu olabilmesi için bağımsız değişkenin bağımlı değişken üzerinde, aracı değişkenin bağımlı değişken üzerinde, bağımsız

değişkenin aracı değişken üzerinde, anlamlı etkisi olmalıdır. Bağımsız ve aracı değişken birlikte regresyon analizine bağımsız değişken gibi eklendiğinde, bağımsız değişkenin bağımlı değişken üzerindeki etkisi anlamlı olarak azalıyorsa kısmi aracılık, tamamen yok oluyorsa tam aracılıktan bahsedilir [8]. "H₁: Yönetim ve Liderlik ile Kurum Yararı arasında İnsan Kaynakları Kullanımı bir aracı değişkendir.", "H₂: Yönetim ve Liderlik ile Hasta Yararı arasında Kurum Yararı bir aracı değişkendir." ve "H₃: İnsan Kaynakları Kullanımı ile Hasta Yararı arasında Kurum Yararı bir aracı değişkendir." hipotezlerini test edebilmek için az önce bahsedilen adımlar uygulanmıştır. Tablo 1'de birinci, ikinci ve üçüncü koşullarımızın sağlandığı regresyon analizinde ilgili bağımsız değişkenlerin β katsayılarının anlamlı çıktığı görülmektedir ($p<0,05$). Hem aracı hem de bağımsız değişkenin birlikte bağımsız değişken olarak katıldığı regresyon analizinde bağımsız değişkenlerin β katsayıları anlamlı çıkmakla beraber bağımlı değişkenlerin üzerindeki açıklayıcılığında düşüş olduğu görülmektedir ($p<0,05$). Aynı analizde aracı değişkenler de anlamlı çıkmıştır. Bu durumda kısmi aracılık durumundan söz edilebilir. Sobel testi sonucunda H₁, H₂ ve H₃ hipotezlerinin reddedilemediği, İKK ve KY değişkeninin kısmi aracı değişken olduğu onaylanmıştır (H₁ için Sobel:9,348, Standart Hata:0,039, $p<0,05$; H₂ için Sobel:12,315, Standart Hata:0,036, $p<0,05$ ve H₃ için Sobel:10,543, Standart Hata:0,028, $p<0,05$).

Tablo 1. Aracı değişken hipotezlerine ilişkin analiz sonuçları

	Bağımsız Değişken	Bağımlı Değişken	R ²	F	β	p
H ₁ hipotezi	Yönetim ve Liderlik	Kurum Yararı	0,488	315,995	0,746	0,000
	İnsan Kaynakları	Kurum Yararı	0,351	179,420	0,485	0,000
	Yönetim ve Liderlik	İnsan Kaynakları	0,337	168,345	0,757	0,000
	Yönetim ve Liderlik	Kurum Yararı	0,541	194,666	0,571	0,000
	İnsan Kaynakları				0,231	0,000
	Sobel Testi			T:9,348	S=0,039	
H ₂ hipotezi	Yönetim ve Liderlik	Hasta Yararı	0,403	224,361	0,590	0,000
	Kurum Yararı	Hasta Yararı	0,473	298,020	0,598	0,000
	Yönetim ve Liderlik	Kurum Yararı	0,488	315,995	0,746	0,000
	Yönetim ve Liderlik	Hasta Yararı	0,520	179,127	0,281	0,000
	Kurum Yararı				0,415	0,000
	Sobel Testi	-		T:12,315	S=0,036	-
H ₃ hipotezi	İnsan Kaynakları	Hasta Yararı	0,223	95,144	0,336	0,000
	Kurum Yararı	Hasta Yararı	0,473	298,020	0,598	0,000
	İnsan Kaynakları	Kurum Yararı	0,351	179,420	0,485	0,000
	İnsan Kaynakları	Hasta Yararı	0,480	152,438	0,071	0,044
	Kurum Yararı				0,547	0,000
	Sobel Testi	-		T:10,543	S=0,028	-

*T: T testi hesap değeri S:Standart hata

Ölçüm Modelinin Değerlendirilmesi

Hem uzman görüşü hem de yukarıda yapılan aracılık ve basit regresyon analizleriyle belirlenen araştırma modeli RStudio programında PLS-SEM yöntemi ile test edilmiştir. PLS-SEM kullanılmasının sebebi ölçekte yer alan soru sayısına göre gözlem sayısının yetersiz

kalmaması ve verilerin normal dağılmasıdır. PLS-SEM analizini uygulamadan önce ölçüm modelinin bazı varsayımları sağlanması gerekmektedir.

Tablo 2'de ölçek sorularından elde edilen faktör yükleri ve varsayımlara ilişkin veriler yer almaktadır.

Tablo 2. Model faktör analizi ve ölçüm modeli değerlendirme kriterlerine ilişkin sonuçlar

Gizil Değişken	Göstergeler	Sorular	Faktör Yükleri	Gösterge Güvenilirliği	t Değeri
HY	Cronbach alfa=0,956; RhoA=0,957; CR=0,962; AVE=0,738; R²=0,524				
	HY2	Kalite çalışmaları hasta güvenliğinin sağlanmasında etkilidir.	0,862	0,744	40,030
	HY3	Kalite çalışmalarıyla hastalara bütüncül hizmet sunumu sağlanır.	0,898	0,806	62,017
	HY4	Hasta güvenliğini tehdit eden bir olay geliştiğinde çalışanlar bunu çekinmeden raporlar.	0,850	0,722	35,556
	HY5	Hasta güvenliğini etkileyen hatalarla ilgili olarak sağlık çalışanlarına eğitim verilir.	0,853	0,727	30,944
	HY6	Hasta güvenliğini etkileyen olaylar kalite bölümü tarafından incelenerek gerekli önlemler alınır.	0,883	0,780	47,813
	HY9	Kalite çalışmaları, hastanenin enfeksiyon oranı, düşme göstergelerini azaltır.	0,849	0,720	38,522
	HY12	Hastalara sağlık bakım gereksinimlerinin ve sonuçlarının değerlendirildiği politikalar/süreçler mevcuttur.	0,841	0,708	40,479
	HY13	Hastalara gereksinimlerine uygun sağlık eğitimi verilir.	0,836	0,699	32,602
HY14	Hastalara, hakları konusunda bilgi verilir.	0,858	0,736	41,963	
YL	Cronbach alfa=0,948; RhoA=0,949; CR=0,957; AVE=0,733				
	YL2	Hastane yönetimi kalite çalışmaları için gerekli olan parasal kaynakları ayırır.	0,824	0,679	36,621
	YL3	Hastane yönetimi kalite çalışmaları için gerekli olan insan kaynağını sağlar.	0,833	0,693	32,939
	YL4	Hastane yönetimi kalite çalışmaları için gerekli komiteleri oluşturur.	0,874	0,763	48,938
	YL5	Hastanenin hizmet ve bakım kalitesini iyileştirmeye yönelik bir vizyon ve misyonu vardır.	0,867	0,752	40,403
	YL6	Hastane yönetimi hizmet ve bakım kalitesini artırmak için gerekli değişimleri gerçekleştirir.	0,875	0,766	57,919
	YL8	Hastane yönetimi kalite çalışmalarında görünen aksaklıkları hızlı şekilde çözümler.	0,860	0,740	52,341
	YL9	Hastane yönetimi kalite hedeflerini tüm çalışanlara benimsetir.	0,856	0,732	45,983
	YL10	Hastane yönetimi, hizmet kalitesine odaklanan bir kurum kültürü oluşturmaya çalışır.	0,861	0,741	50,476
KY	Cronbach alfa=0,962; RhoA=0,963; CR=0,967; AVE=0,767; R²=0,547				
	KY1	Kalite çalışmaları hastanede bilimsel ve çağdaş hizmet sunumunu sağlar.	0,875	0,766	50,867
	KY2	Kalite çalışmalarıyla hastanede teknolojik açıdan en uygun hizmet verilir.	0,893	0,798	64,916
	KY3	Kalite çalışmalarıyla hastanenin müşteri memnuniyetinde sürekli artış sağlanır.	0,886	0,785	54,455
	KY4	Kalite çalışmaları hastanenin laboratuvar, radyoloji vb. tıbbi destek hizmetlerinde gelişme sağlar.	0,875	0,766	37,025
	KY5	Hastanenin kalite belgesine sahip olması hastalar tarafından yeğlenmesinde etkilidir.	0,866	0,751	48,482
	KY7	Kalite çalışmaları hastanenin dış paydaşları (SGK, diğer kurumlar) iş birliği geliştirmesine katkı sağlar.	0,837	0,700	36,851
	KY8	Kalite çalışmaları, hastaneyi yenilikçi düşüncelere açık duruma getirir.	0,910	0,828	76,679
	KY9	Kalite çalışmalarının uygulanması hastaneye yapılan hasta sevk ve transferlerinde yeğleme nedenidir.	0,854	0,730	40,403
	KY10	Kalite çalışmaları hastanenin fizik koşullarının iyileştirilmesini sağlar.	0,852	0,778	50,849
İKK	Cronbach alfa=0,892; RhoA=0,903; CR=0,933; AVE=0,823; R²=0,338				
	İKK10	Kalite geliştirme çalışmalarına katkı sağlayanlar mali olarak ödüllendirilir.	0,855	0,731	38,704
	İKK11	Kalite geliştirme çalışmalarına katılanlar teşekkür mektubu gibi manevi ödül sistemiyle ödüllendirilir.	0,920	0,847	92,768
	İKK12	Kalite çalışmaları, çalışanlar arasında adil bir ödül sistemi oluşturulmasını sağlar.	0,944	0,892	134,873

Gösterge Güvenilirliği: Faktör yüklerinin karesi alınarak gösterge güvenilirliğinin değerleri elde edilmektedir. Faktör yükü 0,70 ve üzeri olan değerler analize dâhil edildiğinden bütün değerler gösterge güvenilirliğinin eşik değeri olan 0,50 değerinden, büyük bir çoğunluğu ise önerilen değer olan 0,708 değerinden büyüktür [9, 10].

İç Tutarlılık Güvenilirliği: Bu güvenilirlik için Cronbach-alfa, RhoA katsayısı ve CR değerlerini incelemek gerekir. Bu değerlerin hepsi tablo 2'de verilmiştir. Cronbach-alfa değerinin 0,50'den büyük olması istenir; CR değerinin eşik değeri olan 0,70'in üzerinde olması beklenir; RhoA değeri Cronbach-alfa ile CR arasında bir değer alır ve 0,70 değerinden büyük olması yeterlidir [11, 12]. Tablo 2'de verilen tüm değerlerin bu değeri aşması modelin güvenilir olduğunu gösterir.

Yakınsak Geçerlilik: Gizil yapıdaki ifadelerin arasındaki yaklaşmanın ölçüsü yakınsak geçerlilikle kontrol edilmektedir. Bunun için de çıkarılan ortalama varyans değerini ifade eden tablo 2'deki AVE değerleri kullanılmaktadır. AVE değerleri 0,50 değerinden büyük olduğu için model yakınsak geçerliliğe sahiptir [13].

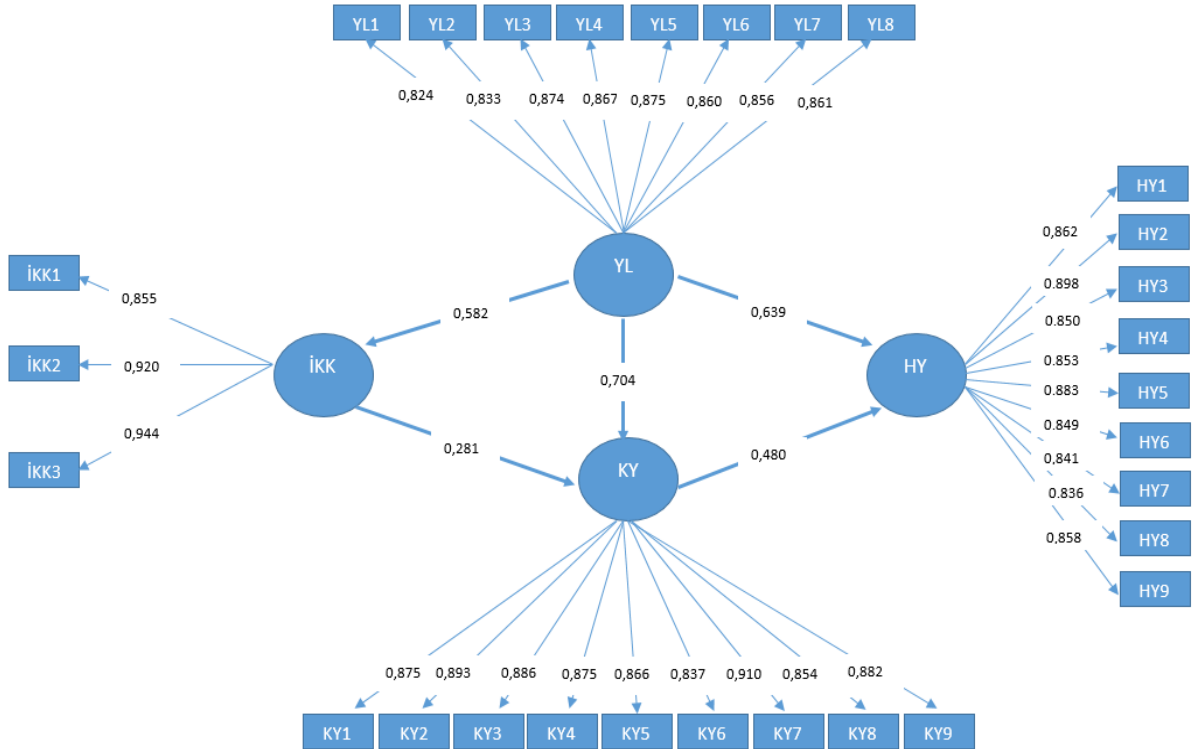
Ayırt Edici Geçerlilik: Bu geçerlilik kavramsal olarak benzeyen iki yapının birbirinden ne derece farklı olduğunu ölçmek için kullanılmaktadır. Bunu test etmek için tablo 3'te yer alan Fornell-Larcker ve Heterotrait-Monotrait (HTMT) kriterleri incelenmiş [14, 15] ve iki kriterin de ayırt edici geçerliliği sağladığı görülmüştür.

Tablo 3. Değişkenler arası ayırt edici geçerlilik kriterleri

	Fornell-Larcker Kriteri				Heterotrait-Monotrait (HTMT) Oranları		
	YL	İKK	KY	HY	YL	İKK	KY
YL	0,856	-	-	-	-	-	-
İKK	0,581	0,907	-	-	0,670	-	-
KY	0,703	0,596	0,876	-	0,736	0,671	-
HY	0,638	0,474	0,691	0,859	0,693	0,598	0,759

Yapısal Modelin Değerlendirilmesi

Yapısal modelin değerlendirilmesi için R^2 , β ve t-değerleri (t değeri > 1,96 ise anlamlıdır) gibi temel ölçümler ile tahmin gücü (Stone-Geisser, Q^2) ve etki büyüklüğü (f^2) değerleri incelenmelidir. Yol katsayıları, varyans etki faktörü (Variance Inflation Factor, VIF), f^2 ve R^2 değerlerini hesaplamak için PLS algoritması; Q^2 değerini hesaplamak için ise blindfolding analizi yapılmıştır. PLS-SEM analizinde hem iç hem de dış modelin önem testi için gerekli olan t değerlerini elde edebilmek için Bootstrap yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde, Bootstrap standart hatalarını vermek için orijinal örneklemden çok sayıda alt örneklem alınır ve bu da yapısal yolun anlamlılık testi için yaklaşık t değerlerini verir. Analiz 5.000 veya tercihen 10.000 bootstrap örneği üzerinden yapılmalıdır [16]. Bu çalışma 10.000 bootstrap örneği üzerinden yapılmıştır. Araştırma modelinde yer alan değişkenler arasındaki ilişkilerin Şekil 1 'de PLS-SEM analiz sonuçlarına yer verilmiştir.



Şekil 1. PLS-SEM yol diyagramı

YL'nin İKK, KY ve HY; İKK'nin KY; KY'nin HY üzerindeki etkilerine ilişkin regresyon analizi

sonuçları RStudio uygulamasından elde edilmiştir. Sonuçlar tablo 4'te mevcuttur.

Tablo 4. Yol katsayıları anlamlılık testi sonuçları (bootstrapping)

Hipotezler	Yollar	Yol Katsayıları (β)	Standart Hata	t Değeri	5% Güven Aralığı	95% Güven Aralığı	Sonuç
H ₄	YL->İKK	0,582	0,040	14,541	0,515	0,645	Desteklendi
H ₅	YL->KY	0,541	0,047	11,478	0,463	0,617	Desteklendi
H ₆	YL->HY	0,301	0,063	4,762	0,198	0,404	Desteklendi
H ₇	İKK->KY	0,281	0,049	5,731	0,199	0,362	Desteklendi
H ₈	KY->HY	0,480	0,064	7,534	0,375	0,583	Desteklendi
		R²	f²	Q²	GOF	VIF	
	YL->İKK	0,393	0,511			1,000	
	YL->KY		0,425			1,511	
	İKK->KY	0,593	0,116	0,407	0,608	1,511	
	YL->HY		0,095			1,978	
	KY->HY	0,562	0,243			1,978	

Parametre tahminlerinin standart değerleri, t hesap değeri ve alfa=0,05 için çift taraflı hipotez testine ilişkin güven aralıkları tablo 4'te verilmiştir. İç model yapı ilişkileri için bütün t değerlerinin 1,96 değerini aştığı ve anlamlı olduğu görülmektedir. YL boyutunun İKK'yi ($\beta=0,582$, $t=14,541$) istatistiksel açıdan anlamlı ve pozitif yönde etkilediği görülmektedir. Bu durum H₄ hipotezini doğrulamaktadır. Benzer şekilde diğer hipotezler de desteklenmektedir.

Ayrıntılı bir PLS-SEM analizi, genellikle bir çoklu bağlantı değerlendirmesini içerir. İç modelin çoklu doğrusal bağlantı sorunlarını değerlendirmek için VIF değeri kontrol edilir [17]. VIF değerlerinin kabul edilebilir sınır değer olan beşten küçük olduğu görülmektedir [18]. Bu durum bağımlı ve bağımsız değişkenler arasında çoklu doğrusal bağlantı problemlerinden bahsedilemeyeceğini göstermektedir.

R² değeri, modelin açıklayıcılık yüzdesini ifade eder. Yılmaz ve ark. [19] çalışmasında anket soruları yardımıyla soyut ifadelerin ölçülmeye çalışıldığı araştırmalarda R² değerinin genellikle bire yakın çıkmadığını ifade etmiştir. Bu ifadeye dayanarak çalışmada bahsedilen değerlerin %30 ve %55 arasında olması olağan olarak değerlendirilebilir. Tablo 4'teki R² değerleri incelendiğinde YL'nin İKK'nin varyansının %39'unu; YL ile beraber İKK'nin KY'nin varyansının %59'unu; YL ile beraber KY'nin ise HY'nin varyansının yaklaşık %56'sını açıkladığı görülmektedir. Bu konu ile ilgili çalışma yapılacağı zaman sağlık yöneticilerinin İKK boyutunun açıklanamayan %61'lik varyansını açıklayan başka faktörlerin de olduğunu ve bunların araştırılması gerektiğine dikkat etmelidirler.

İncelenmesi gereken bir diğer kriter ise modelin tahmin geçerliliği için Q² değerleridir. Blindfolding analizi ile edilen Q² değeri, verilen bir gösterge bloğuna ilişkin bir boyutun verilerini modele dâhil etmeden modelin tahmin gücünü gösteren bir kriterdir [20]. Yapısal modelinin Q² değerinin sıfırdan

büyük olması, tahmin geçerliliğini sağladığını gösterir [13]. Q² değerleri YL (0,513), İKK (0,251), KY (0,414), HY (0,378) olarak bulunmuştur. Genel Q² değeri ise tablo 4'te belirtildiği üzere 0,407'dir. Hepsi sıfırdan büyük olduğu için modelin tahmin geçerliliği sağlanmıştır. Chin [21]'e göre 0,02 zayıf; 0,15 orta; 0,35 yüksek tahmin geçerliliği var demektir. Burada tüm Q² değerleri >0,35 olduğu için tahmin alaka düzeyinin yüksek olduğu söylenebilir.

Modelin f² etki büyüklüğünün dışsal bir örtük değişkenin içsel bir örtük değişkenin R² değerine ne kadar katkıda bulunduğunu gösterir. Chin ve ark. [22], araştırmacının sadece değişkenler arasındaki ilişkinin anlamlı olup olmadığını değil, aynı zamanda bu değişkenler arasındaki etki büyüklüğünü de rapor etmesi gerektiğini açıkça belirtmişlerdir. Etki ölçüsü f² tahmin edici bir gizil değişkenin yapısal düzeyde zayıf (0,02 < f² < 0,14), orta (0,15 < f² < 0,34) veya yüksek (f² > 0,34) bir etkiye sahip olduğunu ifade etmektedir [23]. YL'nin İKK (0,511) ile KY (0,425) üzerinde pozitif ve yüksek, HY (0,095) üzerinde pozitif ve zayıf etkisi bulunmaktadır. İKK'nin KY (0,116) üzerinde pozitif ve orta etkisi bulunmaktadır. KY'nin HY (0,243) üzerinde pozitif ve yüksek bir etkisi vardır.

Tenenhaus ve ark. [24] tarafından önerilen model uyum indekslerinden GoF istatistik değeri 0,608 olarak bulunmuştur. R² ve AVE'lerin ortalamasının geometrik ortalaması ile GoF değeri elde edilir. Bu değer 0,36 değerinin üzerinde olması modelin iyi uyuma sahip olduğunu göstermektedir.

4. Tartışma ve Sonuç

Yorulmaz ve Piro [25] tarafından yapılan çalışmada sağlıkta kalite algısı ölçeği alt boyutlarının birbiriyle olan korelasyonları incelenmiş ve boyutlar istatistiksel açıdan yüksek ve pozitif yönde ilişkili bulunmuştur. Bu araştırmada da alt boyutların korelasyonları benzer sonuçları vermiştir. Alfa=0,01 anlamlılık seviyesinde çalışmada kullanılan alt

boyutlar birbirleriyle pozitif yönde ilişkili bulunmuştur.

Şekil 1’de önerilen yapısal eşitlik modeli Rstudio programı aracılığıyla analiz edilmiştir. Yapılan analiz sonucunda önerilen model çeşitli uyum ölçütleri dikkate alınarak değerlendirilmiş ve modelin uygun olduğu görülmüştür. YL ile İKK arasındaki ilişki katsayısı $\beta=0,582$, YL ile KY arasındaki ilişki katsayısı $\beta=0,541$, YL ile HY arasındaki ilişki katsayısı $\beta=0,301$, İKK ile KY arasındaki ilişki katsayısı $\beta=0,281$, KY ile HY arasındaki ilişki katsayısı $\beta=0,480$ olarak bulunmuştur. Buradan YL alt boyutunda yapılacak olan iyileştirmenin İKK’yi, KY’yi ve HY’yi pozitif yönde etkileyeceği çıkarımı yapılabileceği gibi aynı zamanda bu alt boyutlar üzerinde yüksek bir etkiye sahip olduğu da söylenebilir. Benzer şekilde KY alt boyutunda yapılabilecek iyileştirmelerin HY alt boyutunda pozitif yönde iyileşmeleri artıracığı ayrıca HY üzerinde tek başına yüksek bir etkiye sahip olduğu görülmektedir. Buna ek olarak araştırmada KY alt boyutunun YL ve HY alt boyutları arasında; İKK alt boyutunun YL ile KY alt boyutları arasında yapılan aracılık analizleri sonucunda kısmi aracı değişken rolü oldukları belirlenmiştir.

Yapılan bu araştırma neticesinde sağlık sektöründe sağlık çalışanları tarafından algılanan kalitenin artırılmasında YL boyutunun ne kadar önemli olduğu görülmüştür. Bu nedenle sağlık camiasında çalışan sağlık yöneticilerine çok büyük görevler düşmektedir. Kalite algısını artırabilmek için kalite çalışmaları için gerekli olan insan gücü ve parasal kaynak ayrılması kadar sağlık yöneticilerin bu alanda misyon ve vizyon sahibi olmaları ve yerinde, zamanında gerekli inovasyonları yapabilmesi çok önemlidir. Türkiye’de bu alanda yeterli akademik çalışma yapılmamıştır. Yapılan bu çalışma ile hem literatüre katkıda bulunmak hem de araştırmacıların dikkatini bu alana çekerek daha fazla çalışma yürütülmesini sağlamak hedeflenmiştir.

Araştırmadan elde edilen bulgulardan yola çıkılarak sağlık çalışanlarında kalite algısını artırabilmek için öncelikle YL ile KY alt boyutunda gerekli iyileştirmelerin yapılması gerekmektedir. Burada yapılacak iyileştirmeler HY’yi hem doğrudan hem de dolaylı olarak etkileyecektir. Araştırmada kullanılan veri setine uygulanan doğrulayıcı faktör analizi sonucu sağlık çalışanlarında kalite algısı ölçeğinin sadece dört alt boyutu çalışmaya dâhil edilebilmiştir. Daha farklı grupların dâhil edildiği veya daha büyük alınan örneklem boyutlarında farklı sonuçlar çıkması ile beraber modele yeni boyutların eklenmesi muhtemeldir.

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] Ertaş, H., Çelik, Ö. 2018. Sağlıkta Kalite Standartları Üzerine Nitel Bir Değerlendirme. Sağlık Yönetimi Dergisi, 2(1), 18-40.
- [2] Mateos-Aparicio, G. 2011. Partial Least Squares (PLS) Methods: Origins, Evolution, And Application To Social Sciences. Communications in Statistics – Theory and Methods, 40(13), 2305–2317.
- [3] Kaggle, 2022. Quality Perception in Healthcare Professionals. <https://www.kaggle.com/datasets/fatmaztrker-dem/salk-alanlarında-kalite-alsg>. (Erişim 06.06.2022).
- [4] Erdem, F. 2022. Sağlık Çalışanlarında Kalite Algısı: İki Devlet Hastanesi Karşılaştırma Örneği. Maltepe Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi. İstanbul.
- [5] Bayer N., Baykal Ü. 2018. Sağlık Çalışanları Kalite Algı Ölçeğinin Geliştirilmesi. Journal of Health and Nursing Management, 5(2), 86-99.
- [6] Sönmez Çakır, F. 2019. Kısmi En Küçük Kareler Yapısal Eşitlik Modellemesi (PLS-SEM) ve Bir Uygulama. Sosyal Araştırmalar ve Davranış Bilimleri Dergisi, 5(9), 111-128.
- [7] Baron, R.M., Kenny, D.A. 1986. The Moderator-Mediator Variable Distinction In Social Psychological Research: Conceptual, Strategic, And Statistical Considerations. Journal of Personality and Social Psychology, 51(6), 1173-1182.
- [8] Aksu G., Eser, M. T., Güzeller, C. O. 2017. Açımlayıcı ve Doğrulayıcı Faktör Analizi İle Yapısal Eşitlik Modeli Uygulamaları. Detay Yayıncılık. Ankara, 189-232.
- [9] Hulland, J. 1999. Use Of Partial Least Squares (PLS) In Strategic Management Research: A Review Of Four Recent Studies. Strategic Management Journal, 20(2), 195–204.
- [10] Hair, J.F., Risher, J.J., Sarstedt, M. and Ringle, C. M. 2019. When To Use And How To Report The Results Of PLS-SEM. European Business Review, 31(1), 2-24.
- [11] Bagozzi, R. P., Yi, Y. 1988. On The Evaluation Of Structural Equation Models. Journal of the Academy of Marketing Science, 16(1), 74–94.
- [12] Hair Jr, J.F., Hult, G. T. M., Ringle, C.M. and Sarstedt, M. 2017. A primer on partial least squares structural equation modeling (PLS-SEM).

- 2nd Edition. Thousand Oaks: Sage Publications, CA, 104s
- [13] Chin, W.W. 1998. The Partial Least Squares Approach To Structural Equation Modeling. *Advances in Hospitality and Leisure*, 8(2), 295-334
- [14] Fornell, C., Larcker, D.F. 1981. Evaluating Structural Equation Models With Unobservable Variables And Measurement Error. *Journal of Marketing Research*, 18(1), 39-50.
- [15] Hair, J. F., Hult, G. T. M., Ringle, C. M., Sarstedt, M., Danks, N. P. and Ray, S. 2021. *Partial Least Squares Structural Equation Modeling(PLS-SEM) Using R, Classroom Companion: Business*, 76s.
- [16] Streukens, S., Leroi-Werelds, S. 2016. Bootstrapping and PLS-SEM: A Step-By-Step Guide To Get More Out Of Your Bootstrap Results. *European Management Journal*, 34, 618-632.
- [17] Kwong, K., Wong, K. 2013. Partial Least Squares Structural Equation Modelling(PLS-SEM) Techniques Using SmartPLS. *Marketing Bulletin, Technical Note*, 24(1), 1-32.
- [18] Hair, J. F., Ringle, C. M., Sarstedt, M. 2011. PLS-SEM: Indeed A Silver Bullet. *Journal of Marketing Theory and Practice*, 19(2), 139-151.
- [19] Yılmaz, V., Can, Y., Şen, H. 2018. Küresel Isınma ve Küresel İklim Değişikliğine İlişkin Bilginin Kaygı ile Farkındalık Üzerine Etkisi: Bir Yapısal Eşitlik Model Önerisi. *Researcher: Social Science Studies*, 6(1), 434-450.
- [20] Ali, F., Rasoolimanesh, S. M., Sarstedt, M., Ringle, C. M. and Ryu, K. 2018. An Assessment Of The Use Of Partial Least Squares Structural Equation Modeling (PLS-SEM) In Hospitality Research. *International Journal of Contemporary Hospitality Management*, 30(1), 514-538.
- [21] Chin, W. W. 2010. How To Write Up And Report PLS Analyses. In V. Esposito Vinzi, W. W. Chin, J. Henseler, & H. Wang (Eds.), *Handbook of partial least squares*. Heidelberg: Springer, 655s.
- [22] Chin, W. W., Marcolin, B. L., Newsted, P. R. 1996. A partial Least Squares Latent Variable Modelling Approach For Measuring Interaction Effects: Results from a Monte Carlo Simulation Study and Voice Mail Emotion/Adoption Study. Paper presented at the 17th International Conference on Information Systems, Cleveland, OH., 16(18), 21-41.
- [23] Cohen, J. E. 1988. *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, Inc, New York, 467s.
- [24] Tenenhaus, M., Vinzi, V. E., Chatelin, Y. M. and Lauro, C. 2005. PLS Path Modeling. *Computational Statistics & Data Analysis*, 48(1), 159 - 205.
- [25] Yorulmaz, M., Pirol, M. 2019. Sağlık Çalışanlarında Kalite Algısının Ölçülmesi Üzerine Bir Araştırma. *Sağlıkta Kalite ve Akreditasyon Dergisi*, 2(1), 15-21.

The Proposed Modified Schnute Model

Olgun DURAN¹, Deniz ÜNAL^{*2}

^{1,2}Çukurova Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, İstatistik Bölümü, Adana, Türkiye

(Alınış / Received: 04.02.2023, Kabul / Accepted: 13.12.2023, Online Yayınlanma / Published Online: 23.08.2024)

Keywords

Growth Models,
Schnute Models,
Modified Growth Models

Abstract: Statistical modeling with growth data is the most efficient way to get more objective results and also understand growth. Schnute growth model is a large-scale model that includes many nonlinear growth models, it offers optimum parameter estimates compared to other growth models, especially regardless of whether the growth curve has an asymptotic feature. In recent years, in the literature studies, there are approaches in the theoretical and application fields in which the equations are modified to make sense of growth equations. The purpose of modifying the equations is to convert growth parameters into meaningful parameters such as maximum value, A ; rapid specific rate of growth μ_m and lag time λ . In this study, it is demonstrated that by which mathematical operations the parameters of the Schnute growth model are converted to significant parameters and a new modified Schnute growth model is presented to the literature.

Schnute Büyüme Modelinde Yeni Bir Modifikasyon

Anahtar Kelimeler

Büyüme Modelleri,
Schnute Modeli,
Modifiye Büyüme Modelleri

Özet: Büyüme verileri ile istatistiksel modelleme, daha objektif sonuçlar elde etmenin ve dahası büyümeyi anlamının en etkili yoludur. Schnute büyüme modeli, birçok doğrusal olmayan büyüme modelini içeren büyük ölçekli bir model olup, özellikle büyüme eğrisinin asimptotik özellik taşıyıp taşımadığına bakılmaksızın, diğer büyüme modellerine göre optimum parametre tahminleri sunmaktadır. Son yıllarda, literatür çalışmalarında, teorik ve uygulama alanlarında, büyüme denklemlerini anlamlandırmak için denklemlerin modifiye edildiği yaklaşımlar bulunmaktadır. Denklem modifikasyonunun amacı, büyüme parametrelerini, örneğin, maksimum değer, A ; büyüme oranı μ_m ve gecikme süresi λ gibi anlamlı parametrelere dönüştürmektir. Bu çalışmada, Schnute büyüme modeline ait parametrelerin hangi matematiksel işlemlerle anlamlı parametrelere dönüştürüldüğü gösterilmiş ve modifiye edilmiş yeni bir Schnute büyüme modeli literatüre sunulmuştur.

1. Introduction

Growth doesn't just have to be about living things. Sometimes an increase or decrease (or negative increase) in the number of individuals in a population or an increase (or negative increase) in prices can also be described as growth. All examples such as the growth and reproduction of a bacterium in the laboratory, the increase of a certain population, the differentiation of the size of any mass in the body, the change in the sales amount of a product, an increase and a decrease in inflation, represent a growth. All

these can be modeled mathematically with growth functions. Such mathematical modeling is used to determine the rate of growth, the level it will reach at a given moment, or its lifetime. Lifetime determination can be used not only in organism or in the population, but also even in estimating the failure time of an electronic device. That is, growth functions are used in many different areas from organisms to any increase in cancer cells and from inflation to the lifetime of a household air conditioner [1], [2], [3]. Growth functions examine the time-dependent changes of all these conditions using certain parameters, interpret

* Corresponding Author: olgunduran@gmail.com

them by expressing them with growth curves and make predictions. Thanks to these parameters, it is possible to understand the growth process and to determine the factors that affect growth during this process [4], [5].

The ability to comment on these areas of use and the quantitative status of the organism or perhaps the population studied (at certain times) has led to numerous studies on growth models. [6], [7]. While defining growth for any organism, some quantitative changes in the organism per unit time are considered [8].

For example, data such as length and weight used to determine the age of fish and growth models are obtained. Thanks to these models, decisions can be made about what kind of feed the fish should be fed or when to fish [8]. In the same way, thanks to modeling growth in trees, it is possible to compare the growth characteristics of trees with different factors [9]. Thanks to the growth curves created with growth models, biological development can be understood, and this information can be used in the treatment of diseases [10], [11]. Wide usage areas of growth models include computer science. For example, growth models are used in computer science to model the change in the number of software errors [12].

Also, theses that comprehensively address the growth models used in economics [13] or studies in which asymptotic properties are examined by focusing on the problem of determining models in econometric models are available in the literature [14]. For example, Ridley and Llaugel [15] examined the limits of growth rate and growth by considering the CDR economic growth model. In his book, Kaldor [16] emphasized that the purpose of economic growth theory is to show the nature of growth and mentioned the importance of determining the trend of growth. For this reason, supporting the extensive literature on growth models in economics mainly theoretically and proposing new models to practitioners will allow for both stronger and more detailed applications.

Since the growth models may vary there are many growth models in the literature. Some of these models are linear and some are nonlinear growth models. Linear, Quadratic, Cubic, Negative Exponential, Brody, Gompertz, Logistics, Bertalanffy, Richard, Schnute are the most known growth models. Although the growth rate of a living thing can be constant in certain periods of its lifetime, this feature does not continue throughout its life [17], [1], [5]. That is, the growth model should be able to show growth at different times and situations [18]. Therefore, linear models may be insufficient in modeling the growth of organisms over the lifetime and nonlinear models are preferred instead of these models [17], [19]. In case of growing at decreasing rates, models such as Negative Exponentials and Brody with late-term asymptotes

are used. Models such as Logistics, Gompertz, Bertalanffy and Richard are preferred when there is varying growth rates [20].

Working with nonlinear functions is more difficult in terms of modelling or prediction, and the results are approximated using iteration instead of analytical methods. Complex estimation methods such as Draper and Smith [21] or Marquardt [22] methods may be required [23], [24]. The results obtained with such non-analytical methods can be obtained approximately.

Therefore, by trying to determine the structure of the growth curve with partial derivatives, more effective and more precise parameter estimates may be done. For example, Bilgin and Esenbuğa [20] used partial derivatives of nonlinear growth models such as "Negative Exponential, Brody, Gompertz, Logistics, Bertalanffy and Richard" in the estimation of model parameters.

The origin of all these growth functions is based on Actuarial science. Survival functions are defined by examining the distribution of the random variable $T(X)$ which indicates the lifetime of an individual until the age of X or death at the age of X . The starting point of survival functions is based on basic probability information. The probability of an individual to live more than age x can be described as survival function and can be given as

$$s(x) = 1 - F_X(x), = P(X > x), x \geq 0,$$

where $F_X(x) = P(X \leq x)$, $x \geq 0$ is the distribution function of an individual to live at age $X = x$ [25]. With a similar perspective, $P(T(x) > t)$ is the probability of a person of age x to be alive at age $(x + t)$.

In general terms, the death of the newborn between the ages of x and z can be expressed with the conditional probability as follows,

$$P(x < X \leq z / X > x) = \frac{F_X(z) - F_X(x)}{1 - F_X(x)}.$$

If $x + \varepsilon$, $\varepsilon > 0$ is taken instead of z then the statement will be $P(x < X \leq x + \varepsilon / X > x) = \frac{F_X(x+\varepsilon) - F_X(x)}{1 - F_X(x)}$.

Since $F'_X(x) = f_X(x)$ exists for continuous random variable X , $P(x < X \leq x + \varepsilon / X > x) \cong \frac{f_X(x)\varepsilon}{1 - F_X(x)}$ can be obtained which defines the survival probability of a person at the age x for a short period of ε . In this equation, if the coefficient of ε is expressed as $\frac{f_X(x)}{1 - F_X(x)} = \mu(x) = \frac{-s'(x)}{s(x)}$ and called as force of mortality [25]. The force of mortality can be seen in different forms for different organisms and by using this function, different growth functions can be defined [11], [26], [27], [28], [29], [30].

In this study, in Section 2, Schnute growth model which is a nonlinear growth model is discussed. In section 3, after reviewing the modified Schnute equation defined by Schnute [30], a new Modified Schnute Model is given.

2. Material and Method

Schnute Model [30] can represent the models such as "Chapman-Richards, Gompertz, Richards, Von Bertalanffy" which are frequently used in the literature, with special selection of parameters. This model is obtained with the calculation of $\frac{dy}{dt}$ growth rate according to the size of a living at the age of t being $Y(t)$. The relative value of this growth rate with respect to size can be given as

$$Z = \frac{1}{Y} \frac{dy}{dt} = \frac{d}{dt} \log(Y) \quad (1)$$

and is called as relative growth rate. Since the derivative measures the change of $Y(t)$ with respect to t , so Z defines the rate of growth clearly.

Let us assume that $\frac{1}{Z} \frac{dz}{dt}$ is linear with respect to Z , then it can be expressed as

$$\frac{1}{Z} \frac{dz}{dt} = -(a + bZ) \quad (2)$$

Here a and b are constants and can be positive, negative or null. The relative growth rate indicates the logarithmic growth rate, since the growth curve has an increasing and then decreasing structure. Examining the differential equations giving the relative value of growth rate with time Schnute growth model is obtained in the following form [30],

$$Y(t) = \left[Y_1^b + (Y_2^b - Y_1^b) \frac{1 - e^{-a(t-\tau_1)}}{1 - e^{-a(\tau_2-\tau_1)}} \right]^{\frac{1}{b}}$$

where $b \neq 0$, $a \neq 0$. For different a and b cases Schnute Growth Model is obtained as,

$$Y(t) = Y_1 \exp \left\{ \log \left(\frac{Y_2}{Y_1} \right) \frac{1 - e^{-a(t-\tau_1)}}{1 - e^{-a(\tau_2-\tau_1)}} \right\} \text{ when } b = 0, a \neq 0$$

$$Y(t) = \left[Y_1^b + (Y_2^b - Y_1^b) \frac{(t-\tau_1)}{(\tau_2-\tau_1)} \right]^{\frac{1}{b}} \text{ when } b \neq 0, a = 0$$

$$Y(t) = \left[Y_1 \exp \left\{ \left(\log \frac{Y_2}{Y_1} \right) \frac{t-\tau_1}{\tau_2-\tau_1} \right\} \right] \text{ when } b = 0, a = 0.$$

These equations depend on growth parameters a and b and the size of the organisms $Y_1 = Y(\tau_1)$, $Y_2 = Y(\tau_2)$ at the age of τ_1 , τ_2 respectively. Where τ_1 and τ_2 being the first and second ages which the researcher determined. The special cases of the Schnute growth model given below express the growth equations that are frequently used in the literature [30].

For example;

Gompertz Growth Equation is obtained for $a > 0$ and $b = 0$,

Richards Growth Equation is obtained for $a > 0$ and $b < 0$,

Von Bertalanffy Equation is obtained for $a > 0$ and $b > 0$.

As can be seen from the equations of the growth models, there are regression parameters in the models. Instead of these regression parameters, it may be necessary to use parameters that are more meaningful to obtain the parameter estimates of the model. For this reason, by examining the relation between regression parameters and meaningful parameters theoretically, the modified equations can be obtained. In this study, a New Modified Schnute Equation is proposed (PMS-The Proposed Modified Schnute Model).

3. Results: A New Modified Growth Equation for the Schnute Growth Model

It was mentioned that Schnute Model depends on growth parameters such as, a , b , $Y_1 = Y(\tau_1)$ and $Y_2 = Y(\tau_2)$. These growth parameters should be transformed to meaningful parameters such as μ_m , A and λ , to derive the modified form of Schnute Model. Because the applicability of a growth equation gains convenience by writing it in terms of meaningful parameters. Here, μ_m is maximum specific growth rate; A is maximum growth value, and λ is lag time.

For the derivation of modified form theoretically, the second derivative of the Schnute equation should be examined in order to determine the inflection point.

That is, $\frac{d^2y}{dt^2} = 0$ should be analyzed. Using the following growth rate,

$$Y(t) = \left[Y_1 + (Y_2^b - Y_1^b) \frac{1 - e^{-a(t-\tau_1)}}{1 - e^{-a(\tau_2-\tau_1)}} \right]^{\frac{1}{b}} \quad (3)$$

with $b \neq 0$, $a \neq 0$ and taking the first derivative of this growth rate, the following equation is reached,

$$Y'(t) = \frac{1}{b} \left\{ Y_1^b + \frac{(Y_2^b - Y_1^b) 1 - e^{-a(t-\tau_1)}}{1 - e^{-a(\tau_2-\tau_1)}} \right\}^{\frac{1}{b}-1} \cdot \left\{ a \frac{(Y_2^b - Y_1^b) e^{-a(t-\tau_1)}}{1 - e^{-a(\tau_2-\tau_1)}} \right\}$$

By simplifying above equation, the following form can be reached,

$$Y'(t) = \frac{1}{b} [Y(t)]^{1-b} \frac{a(Y_2^b - Y_1^b)}{1 - e^{-a(\tau_2-\tau_1)}} e^{-a(t-\tau_1)}.$$

Taking the second derivative of a growth function and finding the zero values of this form lead us to reach inflection points of the curve. So, let's find the second derivative as follows,

$$\begin{aligned}
 Y''(t) &= \frac{1}{b} \left(\frac{1}{b} - 1 \right) \\
 &\cdot \left\{ y_1^b + \frac{(Y_2^b - Y_1^b)1 - e^{-a(t-\tau_1)}}{1 - e^{-a(\tau_2 - \tau_1)}} \right\}^{\frac{1}{b}-2} \\
 &\cdot \left\{ a \frac{(Y_2^b - Y_1^b)e^{-a(t-\tau_1)}}{1 - e^{-a(\tau_2 - \tau_1)}} \right\}^2 \\
 &+ \frac{1}{b} \left\{ Y_1^b + \frac{(Y_2^b - Y_1^b)1 - e^{-a(t-\tau_1)}}{1 - e^{-a(\tau_2 - \tau_1)}} \right\}^{\frac{1}{b}-1} \\
 &\cdot \left\{ (-a^2) \frac{(Y_2^b - Y_1^b)e^{-a(t-\tau_1)}}{1 - e^{-a(\tau_2 - \tau_1)}} \right\} \text{ can be found. Similar as} \\
 \text{Schnute [30], to analyze } \frac{d^2y}{dt^2} &= YZ \{ (1-b)Z - a \} \text{ for every } \tau^* \text{ when } b \neq 0, a \neq 0, \text{ the value } Z = \frac{a}{1-b} \text{ can} \\
 \text{be found (since } Y \text{ and } Z \text{ can't be null) by using} &\text{ Equation 1 and 2.}
 \end{aligned}$$

Now, if k which is a function of Y and Z is defined as $k = Y^b(a + bZ)$, then $\frac{dk}{dt} = bY^b \left(\frac{1}{Y} \frac{dy}{dt} (a + bZ) + \frac{dz}{dt} \right)$ is obtained.

As similar approach to Schnute [30], when $\frac{dz}{dt} = -Z(a + bZ)$ and $\frac{dy}{dt} = YZ$ statements are used in equation; it is observed that the first derivative is zero. That is, k is a constant function.

Therefore, $Y = Y_1$ and $Z = Z_1$ can be written. That is; $k = \frac{a(Y_2^b e^{a\tau_2} - Y_1^b e^{a\tau_1})}{e^{a\tau_2} - e^{a\tau_1}}$ is obtained by using $Z_1 = \frac{a(Y_2^b - Y_1^b)}{bY_1^b[1 - e^{-a(\tau_2 - \tau_1)}}$ in the equation of $k = Y^b(a + bZ)$ (Appendix A1-A9).

$Y = \left(\frac{k}{(a+bZ)} \right)^{1/b}$ can be found from the equation $k = Y^b(a + bZ)$. It is observed here that Y is a function of Z , in this case, there is a Y^* for every Z^* . So, $Y^*(t) = \left(\frac{k}{a+bZ^*} \right)^{1/b}$ can be written. Using $Z^* = \frac{a}{1-b}$ and $k = \frac{a(Y_2^b e^{a\tau_2} - Y_1^b e^{a\tau_1})}{e^{a\tau_2} - e^{a\tau_1}}$,

$$Y^*(t) = Y(\tau^*) \left[(1-b) \frac{(Y_2^b e^{a\tau_2} - Y_1^b e^{a\tau_1})}{e^{a\tau_2} - e^{a\tau_1}} \right]^{\frac{1}{b}}$$

$$Y^*(t) = [(1-b)M]^{\frac{1}{b}} \tag{4}$$

is obtained, where $M = \frac{(Y_2^b e^{a\tau_2} - Y_1^b e^{a\tau_1})}{e^{a\tau_2} - e^{a\tau_1}}$.

If $Y^*(t) = Y(\tau^*)$ is expressed in Equation 3, then

$$\begin{aligned}
 Y^*(t) &= Y(\tau^*) = \left\{ (1-b) \frac{(Y_2^b e^{a\tau_2} - Y_1^b e^{a\tau_1})}{e^{a\tau_2} - e^{a\tau_1}} \right\} \\
 &= \left\{ Y_1^b + (Y_2^b - Y_1^b) \frac{1 - e^{-a(t-\tau_1)}}{e^{a\tau_2} - e^{a\tau_1}} e^{a\tau_2} \right\} \tag{5}
 \end{aligned}$$

is obtained. Thus, from the Equation 4 and 5;

$$e^{-a(t-\tau_1)} = be^{-a\tau_2} \frac{(Y_2^b e^{a\tau_2} - Y_1^b e^{a\tau_1})}{(Y_2^b - Y_1^b)} \tag{6}$$

is obtained. The inflection point, $t = \tau^*$ is obtained by taking t from the Equation 6:

$$\tau^* = \tau_1 + \tau_2 - \frac{1}{a} \log \left[b \frac{(Y_2^b e^{a\tau_2} - Y_1^b e^{a\tau_1})}{(Y_2^b - Y_1^b)} \right]$$

Using the Equation 4 and 6; maximum specific growth rate (the slope of the inflection point) can be found as follows:

$$Y'(\tau^*) = \mu_m = \frac{a}{1-b} (1-b)^{\frac{1}{b}} \left(\frac{Y_2^b e^{a\tau_2} - Y_1^b e^{a\tau_1}}{e^{a\tau_2} - e^{a\tau_1}} \right)^{\frac{1}{b}}$$

$$\mu_m = a(1-b)^{\frac{1}{b}-1} M^{\frac{1}{b}}$$

Finally, the tangent equation with slope μ_m at $(\lambda, 0)$ is used to find the lag time parameter λ .

If $Y = 0, Y_1 = Y(\tau^*), m = \mu_m = Y'(\tau^*), x = \lambda, X_1 = \tau^*$ are taken in tangent equation $Y - Y_1 = m(X - X_1)$, then

$$-Y(\tau^*) = Y'(\tau^*)(\lambda - \tau^*) \tag{8}$$

is obtained. By using the Equation 4 and 7;

$$-[(1-b)M]^{\frac{1}{b}} = a(1-b)^{\frac{1}{b}-1} M^{\frac{1}{b}} (\lambda - \tau^*) \tag{9}$$

and

$$\lambda = \tau^* - \frac{(1-b)}{a} \tag{10}$$

can be reached.

Taking $\tau^* = \tau_1 + \tau_2 - \frac{1}{a} \log \left[b \frac{(Y_2^b e^{a\tau_2} - Y_1^b e^{a\tau_1})}{(Y_2^b - Y_1^b)} \right]$ in Equation 10,

$$\begin{aligned}
 a\tau_1 + a\tau_2 - \log \left[b \frac{(Y_2^b e^{a\tau_2} - Y_1^b e^{a\tau_1})}{(Y_2^b - Y_1^b)} \right] - a\lambda &= (1-b) \\
 e^{a\tau_1} e^{a\tau_2} e^{a\lambda} &= b \frac{(Y_2^b e^{a\tau_2} - Y_1^b e^{a\tau_1})}{(Y_2^b - Y_1^b)} \tag{11}
 \end{aligned}$$

and

$$(Y_2^b - Y_1^b) = bM(e^{a\tau_2} - e^{a\tau_1})e^{-a\tau_1 - a\tau_2 + a\lambda + (1-b)} \tag{12}$$

are obtained.

Discussing the Schnute formula given in Equation 3 theoretically,

$$\begin{aligned}
 Y(t) &= \left[Y_1 + (Y_2^b - Y_1^b) \frac{1 - e^{-a(t-\tau_1)}}{1 - e^{-a(\tau_2-\tau_1)}} \right]^{\frac{1}{b}} \\
 &= \left[Y_1^b + (Y_2^b - Y_1^b) \frac{(e^{at} - e^{a\tau_1})e^{a\tau_2}}{e^{at}(e^{a\tau_2} - e^{a\tau_1})} \right]^{\frac{1}{b}} \\
 Y(t) &= \left[\frac{e^{a\tau_2}e^{a\tau_1}(Y_1^b - Y_2^b)}{e^{at}(e^{a\tau_2} - e^{a\tau_1})} + M \right]^{\frac{1}{b}} \\
 Y(t) &= \left[\frac{(Y_2^b - Y_1^b)}{e^{at}(e^{-a\tau_2} - e^{-a\tau_1})} + \left(\frac{Y'(\tau^*)}{a(1-b)^{\frac{1}{b}-1}} \right)^{\frac{1}{b}} \right]^{\frac{1}{b}} \quad (13)
 \end{aligned}$$

can be found. Using $M = \left[\frac{Y'(\tau^*)}{a(1-b)^{\frac{1}{b}-1}} \right]^{\frac{1}{b}}$ in Equation 13, the following result is found,

$$Y(t) = \left[\frac{(Y_2^b - Y_1^b)}{e^{at}(e^{-a\tau_2} - e^{-a\tau_1})} + \left(\frac{Y'(\tau^*)}{a(1-b)^{\frac{1}{b}-1}} \right)^{\frac{1}{b}} \right]^{\frac{1}{b}}.$$

Similarly, using $Y'(\tau^*) = \mu_m$ and M in Equation 12,

$$\begin{aligned}
 Y(t) &= \left[\frac{bM(e^{a\tau_2} - e^{a\tau_1})e^{-a\tau_1 - a\tau_2 + a\lambda + (1-b)}}{e^{at}(e^{-a\tau_2} - e^{-a\tau_1})} + \left(\frac{Y'(\tau^*)}{a(1-b)^{\frac{1}{b}-1}} \right)^{\frac{1}{b}} \right]^{\frac{1}{b}} \\
 &= \left[\left(\frac{Y'(\tau^*)}{a(1-b)^{\frac{1}{b}-1}} \right)^{\frac{1}{b}} - \frac{bMe^{a\lambda + (1-b)}}{e^{at}} \right]^{\frac{1}{b}} \\
 &= \left[\left(\frac{Y'(\tau^*)}{a(1-b)^{\frac{1}{b}-1}} \right)^{\frac{1}{b}} - b \left(\frac{Y'(\tau^*)}{a(1-b)^{\frac{1}{b}-1}} \right)^{\frac{1}{b}} e^{a\lambda + (1-b) - at} \right]^{\frac{1}{b}}
 \end{aligned}$$

$$Y(t)_{\text{proposed}} = \left[\frac{\mu_m^{\frac{1}{b}}(1 - be^{a\lambda + 1 - b - at})}{a^{\frac{1}{b}}(1-b)(1-b)} \right]^{\frac{1}{b}}$$

can be reached which can be called as Proposed Modified Schnute (PMS) Growth Equation for $a \neq 0$ and $b \neq 0$.

4. Conclusion

When dealing with datasets with a sigmoidal growth curve, working with mathematically significant parameters may not work as well as meaningful parameters in modeling the data set. Therefore, it would be more accurate to make statistical predictions with growth models containing significant parameters.

In this study, meaningful parameters are obtained with some theoretical calculations in order to define the modified Schnute growth model. Thus, a new form for the modified Schnute function has been proposed to the literature. The remarkable point here is due to the elimination of the asymptotic approach restriction in the classical Schnute growth model. Since this restriction is removed, A , which is the common parameter of modified growth equations, is not included in the newly proposed modified Schnute (PMS) growth model.

It is possible to perform comparative analysis of meaningful parameters (A , μ_m and λ) with modified equations. This study has been prepared theoretically and does not include analyses made by statistical methods. In future studies, it is aimed to compare the parameter estimates of the PMS growth model and other modified growth models. Thus, it will be possible to predict the determination of the growth model that best describes the data set.

References

- [1] Y. Akbaş, Büyüme Eğrisi Modellerinin Karşılaştırılması., Hayvansal Üretim. 36, 73-81, 1995, pp. 73-81.
- [2] W. S. Kendal, Gompertzian Growth as a Consequence of Tumor Heterogeneity., Mathematical Biosciences, 73(1): 103-107., 1985.
- [3] Gilligan C. A., Mathematical Modeling and Analysis of Soilborne Pathogens. In Epidemics of Plant Diseases; Mathematical Analysis and Modeling, Heidelberg, Germany: Springer-Verlag, 96-142., 1990.
- [4] Brown, J. E., Fitzhugh Jr, H. A., & Cartwright, T. C. (1976). A comparison of nonlinear models for describing weight-age relationships in cattle. Journal of Animal Science, 42(4), 810-818.
- [5] A.M. Kshirsagar, W.B. Smish, Growth Curves., Marcel Dekker, Inc., 1-57., 1995.
- [6] Trenkle, A., & Marple, D. N. (1983). Growth and development of meat animals. Journal of Animal Science, 57(suppl_2), 273-283.
- [7] Owens, F. N., Dubeski, P., & Hanson, C. F. (1993). Factors that alter the growth and development

- of ruminants. *Journal of animal science*, 71(11), 3138-3150.
- [8] M. E. Tıraşın, Balık Popülasyonlarının Büyüme Parametrelerinin Araştırılması., *Doğa – Tr. J. of Zoology* 17, 29-TÜBİTAK, 1993.
- [9] Bredenkamp, B. V., & Gregoire, T. G. (1988). A forestry application of Schnute's generalized growth function. *Forest science*, 34(3), 790-797.
- [10] v. L. Bertalanffy, *Quantitative Laws in Metabolism and Growth.*, The University of Chicago Press, *The Quarterly Review of Biology*, 32(3): 217-231., 1957.
- [11] J. F. Richards, A Flexible Growth Function for Empirical Use., *Journal of Experimental Botany*, 10 (29): 290-300 Published by: Oxford University Press., 1959.
- [12] Yamada, S., Ohba, M., & Osaki, S. (1983). S-shaped reliability growth modeling for software error detection. *IEEE Transactions on reliability*, 32(5), 475-484..
- [13] L. Taylor, A stagnationist model of economic growth., *Cambridge Journal of Economics*, 9(4), 383-403., 1985.
- [14] Yang, Y., Doğan, O., & Taspınar, S. (2022). Model selection and model averaging for matrix exponential spatial models. *Econometric Reviews*, 41(8), 827-858.
- [15] Ridley, D., & Llaugel, F. (2022). Generalized Four-Dimensional Scientific CDR Economic Growth Model: Expected Value, Average, and Limits to Growth. *Theoretical Economics Letters*, 12(3), 924-943.
- [16] N. Kaldor, A model of economic growth., *The economic journal*, 67(268), 591-624., 1957.
- [17] Perotto, D., Cue, R. I., & Lee, A. J. (1992). Comparison of nonlinear functions for describing the growth curve of three genotypes of dairy cattle. *Canadian Journal of Animal Science*, 72(4), 773-782.
- [18] K. J. Vanclay, *Modelling Forest Growth and Yield.*, Cab International, Wallingford, ISBN 0851989136, 312p., 1994.
- [19] Fekedulegn, D., Mac Siúrtáin, M. P., & Colbert, J. J. (1999). Parameter Estimation of Nonlinear Models in Forestry. *Silva Fennica*, 33(4), 327-336.
- [20] Bilgin, Ö. C., & Esenbuğa, N. (2003). Doğrusal olmayan büyüme modellerinde parametre tahmini. *Hayvansal Üretim*, 44(2).
- [21] Draper, N. R., & Smith, H. (1998). *Applied regression analysis* (Vol. 326). John Wiley & Sons.
- [22] D. Marquardt, An Algorithm for Least Squares Estimation of Nonlinear Parameters., *Journal of the Society of Industrial Applied Mathematics* 2: 431-441., 1963.
- [23] D. A. Ratkowsky, *Nonlinear Regression Modelling*, Marcel Dekker, Inc., New York. 276p., 1983.
- [24] A. Ratkowsky D, *Handbook of Nonlinear Regression.*, New York: Marcel Dekker, Inc., 1990.
- [25] N. L. Bowers, H. Gerber, J. Hiskman, D. Jones ve C. Nesbitt, *Actuarial Mathematics.*, Society of Actuaries. Schaumburg, IL 753., 1997.
- [26] A. De Moivre, *Miscellanea Analytica de Seriebus et Quadraturis.*, J. Tonson and J. Watts, London., 1730.
- [27] B. Gompertz, On the Nature of the Function Expressive of the Law of Human Mortality and on a New Mode of Determining the Value of Life Contingencies., *London Phil. Trans. Roy. Soc.* 115: 513-585., 1825.
- [28] S. Brody, *Bioenergetics and Growth.*, Hafner, NewYork., 1945.
- [29] Liang, T. C., & Balakrishnan, N. (1992). A characterization of exponential distributions through conditional independence. *Journal of the Royal Statistical Society Series B: Statistical Methodology*, 54(1), 269-271.
- [30] J. Schnute, A Versatile Growth Model with Statistically Stable Parameters., *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 38: 1128-1140., 1981.

[31] W. M. Makeham, On the Law of Mortality and the Construction of Annuity Tables., J. Inst. Actuaries and Assur. Mag. 8(6): 301-310., 1860.

Appendices

Appendix A

Let's assume that $\frac{dz}{-Z(a+bZ)} = dt$.

$$\frac{-1}{Z(a+bZ)} = \frac{A(a+bZ)+BZ}{Z(a+bZ)} = \frac{\frac{1}{a}}{Z} + \frac{\frac{b}{a}}{(a+bZ)} = dt \text{ is obtained.}$$

The operations are continued through relative growth rate $Z(t)$.

$$-\frac{dz}{Z} + \frac{bdz}{(a+bZ)} = a dt$$

The statement is regularized, its integral is taken, and the Equation 3 is found.

$$-\log Z + \log(a + bZ) = at$$

$$\log\left(\frac{a+bZ}{Z}\right) = at + c \tag{A1}$$

$$c = \left(\log\frac{a + bZ_1}{Z_1}\right) - a\tau_1$$

Using C in (A1) and solving for initial condition of

$$Z(\tau_1) = Z_1,$$

$$\log\left(\frac{a + bZ}{Z}\right) - \log\left(\frac{a + bZ_1}{Z_1}\right) = at - a\tau_1$$

$$\frac{1}{a} \log\left\{\left(\frac{a+bZ}{Z}\right)\left(\frac{Z_1}{a+bZ_1}\right)\right\} = (t - \tau_1) \tag{A2}$$

may observed. Then,

$$\left(\frac{a + bZ}{Z}\right)\left(\frac{Z_1}{a + bZ_1}\right) = e^{a(t-\tau_1)}$$

$$Z = \frac{aZ_1 e^{-a(t-\tau_1)}}{a+bZ_1[1-e^{-a(t-\tau_1)}]} \tag{A3}$$

When the Equation 2 is used instead of Z in (A3),

$$\frac{d}{dt}(\log Y) = \frac{aZ_1 e^{-a(t-\tau_1)}}{a+bZ_1[1-e^{-a(t-\tau_1)}]} \tag{A4}$$

$$\frac{d}{dt}(\log Y) = \frac{baZ_1 e^{-a(t-\tau_1)}}{b\{a+bZ_1[1-e^{-a(t-\tau_1)}]\}} \text{ can be obtained.}$$

Taking the integration of the following equation and using the initial condition of $Y(\tau_1) = Y_1$

$$\frac{d}{dt}(\log Y) = \frac{1}{b} \frac{d}{dt} [\log\{a + bZ_1(1 - e^{-a(t-\tau_1)})\}]$$

$$\frac{d}{dt} \left[\log Y - \frac{1}{b} [\log\{a + bZ_1(1 - e^{-a(t-\tau_1)})\}] \right] = 0$$

$$\log Y - \frac{1}{b} [\log\{a + bZ_1(1 - e^{-a(t-\tau_1)})\}] = c_1 \tag{A5}$$

$$c_1 = \log Y_1 - \frac{1}{b} [\log(a)]$$

can be found. Then the following is obtained:

$$\log Y - \frac{1}{b} [\log\{a + bZ_1[1 - e^{-a(t-\tau_1)}]\}] = \log Y_1 - \frac{1}{b} \log(a)$$

$$\log \frac{Y}{Y_1} = \frac{1}{b} \log \left[\frac{a + bZ_1[1 - e^{-a(t-\tau_1)}]}{a} \right]$$

$$Y(t) = Y_1 \left[\frac{a + bZ_1[1 - e^{-a(t-\tau_1)}]}{a} \right]^{\frac{1}{b}} \tag{A6}$$

Since $Y(\tau_2) = Y_2$ and $\lim_{b \rightarrow 0} (1 + \beta b)^{\frac{1}{b}} = e^\beta$ then

$$Y_2 = Y_1 \left[\frac{a + bZ_1[1 - e^{-a(\tau_2-\tau_1)}]}{a} \right]^{1/b}$$

$$Z_1 = \frac{a(Y_2^b - Y_1^b)}{bY_1^b[1 - e^{-a(\tau_2-\tau_1)}]} \tag{A7}$$

for $b \neq 0$, $a \neq 0$. Using (A7) in Y_2 and writing this new form in (A6).

Schnute Growth model is expressed as following for $b \neq 0$, $a \neq 0$

$$Y(t) = \left[Y_1^b + (Y_2^b - Y_1^b) \frac{1 - e^{-a(t-\tau_1)}}{1 - e^{-a(\tau_2-\tau_1)}} \right]^{\frac{1}{b}} \tag{A9}$$

Characterization and Optoelectronic Effects of Iridium-Doped ZnO Thin Films for Heterojunction Applications

Seval AKSOY PEHLIVANOGLU*¹, Ozgur POLAT²

¹Sinop Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, 57000, Sinop, Türkiye

²Tallinn Avrupa Okulu, Tehnika 18, 10149, Tallinn, Estonya

(Alınış / Received: 18.08.2023, Kabul / Accepted: 18.01.2024, Online Yayınlanma / Published Online: 23.08.2024)

Keywords

ZnO,
Ir doping,
sol gel spin coating,
AFM,
photodiodes

Abstract: In this investigation, the sol-gel spin coating technique was utilized to fabricate ZnO and ZnO films doped with Iridium (Ir) onto p-Si substrates. The objective was to analyze their optical and morphological characteristics and assess their potential for heterojunction applications. Morphological inspection and optical evaluation were carried out by Atomic Force Microscopy (AFM) and Ultraviolet-visible (UV-VIS) studies, respectively. With the incorporation of Ir, the optical band gap of ZnO films reduced from 3.21 eV to 3.08 eV. Analysis of AFM images revealed that Ir substitution led to a reduction in the roughness of the surface of the fabricated films. The optoelectrical features of the heterojunction structures were examined under varying illumination levels and in dark conditions. Upon evaluating the optoelectrical characteristics of the produced diodes, it was observed that the ideality factor (n) and the barrier height (Φ_B) declined, while series resistance (R_s) increased with the introduction of Ir. These findings emphasize that the inclusion of Ir into the ZnO structure has a discernible impact on optical parameters.

Heteroeklem Uygulamaları için İridyum Katkılı ZnO İnce Filmlerin Karakterizasyonu ve Optoelektronik Etkileri

Anahtar Kelimeler

ZnO,
Ir katkılama,
sol-jel döndürmeli kaplama,
AFM,
fotodiyotlar

Özet: Bu çalışmada, İridyum (Ir) katkılı ZnO ve ZnO filmleri, sol-jel spin kaplama tekniği kullanılarak p-Si alttaşlar üzerine kaplanmıştır. Amaç, optik ve morfolojik özelliklerini analiz etmek ve heteroeklem uygulamaları için potansiyellerini değerlendirmektir. Morfolojik inceleme ve optik değerlendirme sırasıyla Atomik Kuvvet Mikroskobu (AFM) ve Ultraviyole-görünür (UV-VIS) çalışmaları ile gerçekleştirilmiştir. Ir'nin katkılanmasıyla, ZnO filmlerin optik bant aralığı 3,21 eV'den 3,08 eV'ye düşürüldü. AFM görüntülerinin analizi, Ir ikamesinin üretilen filmlerin yüzey pürüzlülüğünde bir azalmaya yol açtığını ortaya çıkardı. Heteroeklem yapılarının optoelektriksel özellikleri, değişen aydınlatma şiddetleri altında ve karanlık koşullarda incelenmiştir. Üretilen diyotların optoelektrik özellikleri değerlendirildiğinde idealite faktörü (n) ve bariyer yüksekliğinin (Φ_B) düştüğü, Ir'nin devreye girmesiyle seri direncin (R_s) arttığı gözlemlenmiştir. Bu bulgular, Ir'nin ZnO yapısına dahil edilmesinin optik parametreler üzerinde fark edilebilir bir etkiye sahip olduğunu vurgulamaktadır.

1. Introduction

For years, there has been extensive attention in the utilization of third-generation wide-bandgap (WBG) semiconductors like GaN, SiC, and ZnO due to their efficient applicability in optoelectronic devices that

operate at shorter wavelengths. Among these materials, GaN takes the first place in the field of commercial use. The most important reason for this is that it has an ultra-WBG (~ 6.2 eV). While undoped GaN has a band gap of about 3.4 eV, AlGaN obtained when doped with Al can have a band gap of 6.2 eV. The

* Corresponding author: saksoy@sinop.edu.tr

difficulties encountered due to the difficulty of obtaining p-type conductivity with high Al doping have enabled the use of ZnO semiconductor material, which has many similarities, instead of GaN in new-generation device applications. In addition to the mentioned similarities, ZnO also has many advantages over GaN. [1]. For example, ZnO demonstrates characteristics such as reduced growth temperature requirements, decreased expenses, a heightened resistance to radiation, and a more substantial exciton binding energy. In addition to these advantages, ZnO has features such as a large gap (3.37 eV), high excitement energy (60 meV), exhibiting piezoelectric material behavior, being biocompatible, and synthesizing as nanomaterial by many methods. These properties are the kind of properties that will cause ZnO to be included in many studies in the future [2]. Variation of band gap of these materials is a critical parameter that determines the commercial viability of [1]. This attribute holds significance across various application domains, particularly in cases where photon absorption or emission is involved, such as in solar cells, photodetectors, solid-state light emitters, and laser systems. The adjustability of the band gap is crucial for enabling optoelectronic devices to function effectively across various wavelengths, allowing for their development and precise control. Band gap tuneability is also a defining feature in the design of heterojunction structures. Considering the importance of optical band gaps for device design, materials with easily controllable band gaps take a step forward in scientific studies. ZnO is just such a material. Responding to the doping process with a band gap change, ZnO has been highly preferred by researchers. When the literature is searched, it is seen that B, Ni, Sb, Zr, Ir, Co, Cu, Mn, Sn, Al, Cd, Fe, and Mg are used as dopants [3-17]. When the studies are examined, it has been reported that some of these dopants increase (B, Ni, Sb, Zr) the band gap value, while some decrease it (Ir, Co, Cu, Mn, Sn, Al, Cd), while others both increase and decrease it (Fe, Mg) according to the amount of dopant. Typically, in theory, a band gap represents the distinction between the valence band, which holds electrons, and the conduction band, as commonly comprehended. Fundamentally, the band gap represents the least amount of energy needed for an electron to engage in conduction. For this reason, it is a very effective parameter on conductivity [18] A few studies using Ir, one of the dopants mentioned above, are found in the literature. The first of these studies was made by M. Zubkins et al. [7]. The researchers utilized the DC reactive magnetron co-sputtering technique to fabricate thin films of both undoped and ZnO:Ir under room temperature conditions. They then examined how the structural, optical, and electrical characteristics of these thin films varied based on the dopant used. They documented that the optical band gap remained constant across different iridium concentrations. They indicated that the shift in conduction type occurred from being n-type to p-type

when the iridium concentration reached values between 12.4% and 16.4%. Another study was carried out by N. Babajani and S. Jamshidi [8]. The authors synthesized undoped and ZnO:Ir nanoparticles by sonochemical method and explored the optical, morphological, and photocatalytic properties of nanoparticles depending on the amount of Ir dopant. While they found the band gap of the undoped ZnO nanoparticle to be 3.25 eV, they stated that the band gap value decreased to 2.72 eV with the increasing amount of doped (15%Ir-ZnO). Finally, M. Dhanalakshmi et al. [9] synthesized undoped and ZnO:Ir nanocomposites by a one-pot hydrothermal method. They examined how the dopant concentration influenced the structural, morphological, optical, and photocatalytic characteristics of the nanocomposites. They presented that the band gap, which was 3.19 eV, decreased to 2.94 eV with the increasing Ir dopant. When the relevant literature is reviewed, there is an urgent need for studies that can inspire research in this area with a perspective on the future use of ZnO:Ir nanofilm on issues that have not yet been studied and need to be clarified. The present research presents a study based on bandgap engineering and the development of heterojunctions, inspired by several previous studies on Ir doping [7-9,19,20]. This study tries to present the applicability of Ir-doped ZnO nanofilms in heterojunction devices, which has not been encountered in the literature so far. Valence state and Pauling electronegativity are two important parameters that change optical properties, for instance, optical band gap and conductivity of Ir [19,20]. Since Zn and Ir displacements with Pauling electronegativity of 1.65 and 2.20, respectively, are estimated in the current study, anticipated outcomes involve alterations in the optical and electrical attributes of ZnO due to the introduction of iridium. In this ongoing research, thin films of iridium-doped ZnO (6%) were produced on p-Si substrates using the sol-gel spin coating technique. The optical band gap of the films was determined using the specular reflection spectrum. Atomic force microscopy studies were carried out to analyze the surface morphology of the films. Heterojunctions of n-ZnO:Ir/p-Si were manufactured, and the electrical behaviors of the acquired diodes were studied, contingent on the degree of Ir doping.

2. Materials and Methods

2.1. Deposition of films and fabrication of Ir:ZnO/p-Si photodiodes

Thin films of ZnO, both without doping and with iridium (Ir) doping, were deposited onto p-Si substrates using the sol-gel spin coating method. The initial substance employed was zinc acetate dihydrate ($\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$), commonly referred to as ZnAc, and as the dopant source, anhydrous Iridium (III) chloride (IrCl_3) was utilized. To create the ZnAc

solution, 2-methoxyethanol ($C_3H_8O_2$) was used as the solvent, with monoethanolamine (C_2H_7NO , MEA) serving as a stabilizing agent. The ratio of MEA to ZnAc was maintained at 1:1, and the solution concentration was set at 0.5 M. The Ir/Zn mole ratios were 0% and 6%. Acetic acid was introduced into the solution, which was then dripped onto a p-Si substrate spinning at 3000 rpm for 30 seconds via a spin coater. The films that were applied underwent a drying procedure within a furnace at 300°C for a duration of 10 minutes. This process of coating and drying was repeated two times. Following this, the films were subjected to annealing in an air environment at 500°C for a duration of 1 hour, carried out using a tube furnace. After completing the process of depositing the film, aluminum (Al) electrodes with excellent electrical conduction properties and a thickness of 150 nm were applied to the film using thermal evaporation. This was accomplished by using a shadow mask for precise placement. For the back contact, a silver paste was utilized. The resulting diodes were denoted as ZIRO0 for the n-ZnO/p-Si heterojunction and ZIRO6 for the n-ZnO:Ir 6%/p-Si heterojunction diodes. The schematic representation of the diode structure can be found in Figure 1.

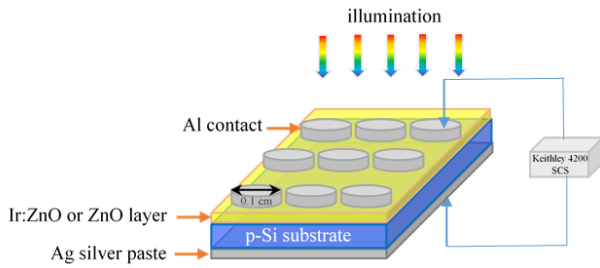


Figure 1. Schematic illustration of heterojunction photodiodes

2.2. Characterization of films

To conduct photo-electrical evaluations on the films, the process of aluminum evaporation was executed utilizing a vacuum thermal evaporation system named Vaksis PVD (Handy-MT/101T). Modifications in the surface structure of the films were investigated through the utilization of Atomic Force Microscopy (AFM) in both its two-dimensional and three-dimensional modes. Optical properties have been analyzed using a spectrophotometer (Shimadzu 2450 UV). KEITHLEY 4200 SCS/CVU has been utilized to analyze the current-voltage (I-V) behavior of the photodiodes. Measurements were conducted under different levels of illumination using a solar simulator (Asahi-HAL320) equipped with a 1.5AM filter.

3. Results

Figure 2 illustrates the spectra of diffuse reflectance percentages for the examined films. Notably, the reflectance of Ir-doped ZnO thin film displays an elevation. This augmentation in diffuse reflectance percentage in ZnO due to Ir doping can be attributed to i) Defects and Trapping Centers: The introduction of Ir into the ZnO structure could potentially introduce defects or centers for trapping. These entities might emerge within the ZnO crystal lattice. As a result, they can function as sites that scatter incident light, leading to an amplified scattering effect and subsequently causing an increase in diffuse reflectance. ii) Surface Morphology: Ir doping holds the capacity to impact the surface attributes of the ZnO film. This influence on surface characteristics can manifest in smoother surfaces, which are discussed below. Such smoother surfaces are adept at enhancing the scattering of light, which ultimately contributes to a higher level of diffuse reflectance.

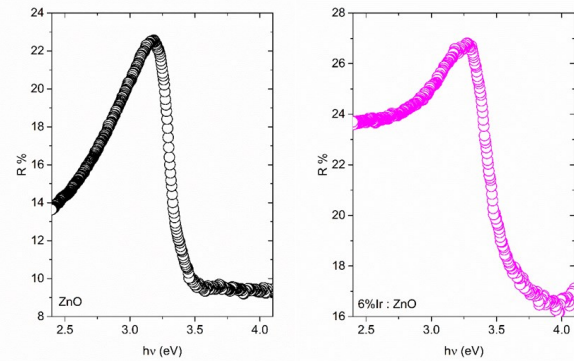


Figure 2. Spectral measurements of diffuse reflectance for both the undoped and iridium-doped ZnO thin films.

The determination of band gap values, denoted as E_g , is accomplished through the utilization of the Kubelka-Munk function. This approach involves the use of diffuse reflectance (R) spectrum data. The Kubelka-Munk function is employed with the following equation to calculate the E_g value [21]:

$$\left(\frac{F(R)hn}{t}\right)^2 = B(hn - E_g) \quad (1)$$

In this formula, $F(R)$ represents the Kubelka-Munk function, while t signifies thickness. The determination of E_g values involved identifying the point on the linear segment of the graph in Figure 3 where it intersects the energy axis. The calculated E_g values extracted from the Kubelka-Munk relation are 3.21 eV for ZIRO0 and 3.08 eV for ZIRO6. This analysis

indicates a reduction in the E_g value upon introducing the Ir dopant.

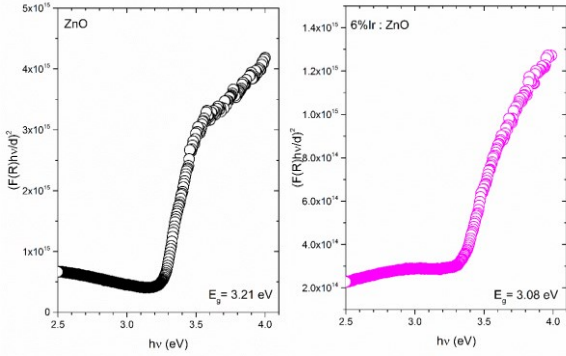


Figure 3. The optical energy gaps of thin films made from ZnO and ZnO with iridium substitution.

Figure 4 presents both 2D and 3D AFM visuals illustrating the topographical alterations and surface roughness variations in ZIRO0 and ZIRO6 thin films. These images demonstrate the impact of Ir doping on surface characteristics. The surface roughness measurements for the thin films reveal values of 65.12 nm for undoped ZnO and 7.41 nm for ZnO doped with 6% Ir. It has been demonstrated that surface roughness holds an inverse relationship with the films' surface energy [22,23]. Hence, the decrease in surface roughness observed in the Ir-doped film could be associated with a raise in surface energy, promoting the development of smoother surfaces within the studied films.

For a comprehensive exploration of the band diagrams of the deposited films, it is possible to compute the potentials at the conduction edge (E_{CB}) and valence edge (E_{VB}) using the equations provided below.

$$E_{VB} = \chi - E_e + \frac{1}{2}E_g \quad (2)$$

$$E_{CB} = E_{VB} - E_g \quad (3)$$

$$E_0 = -(\chi - E_{CB}) \quad (4)$$

In this context, the symbols E_g , χ , E_e and E_0 represent the optically derived band gap value, the absolute electronegativity value of ZnO (approximately 4.35 eV), the energy of a free electron at the hydrogen level (around 4.5 eV), and the vacuum level, respectively. The band position diagram computed for the films is depicted in Figure 5.

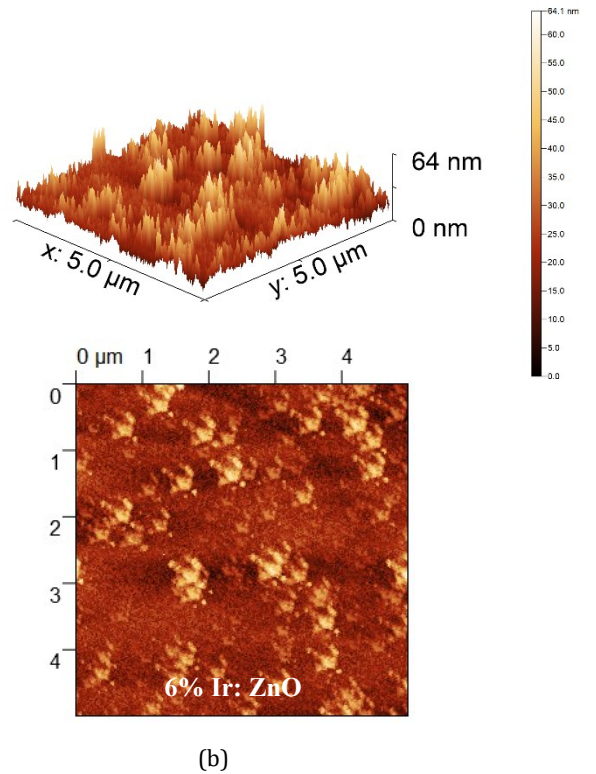
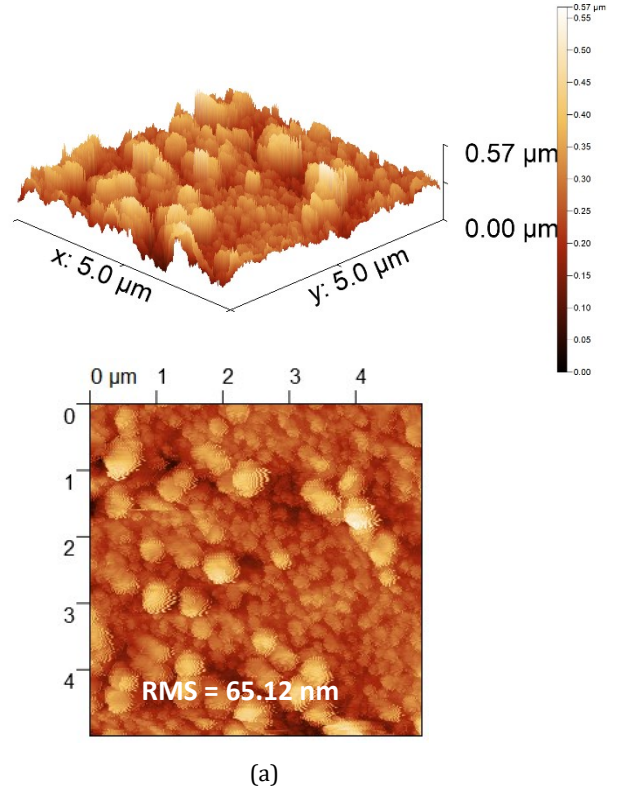


Figure 4. The provided images depict Atomic Force Microscopy (AFM) scans in both two-dimensional (2D) and three-dimensional (3D) views of ZnO thin films on an n-Si substrate. These films include both undoped and Ir-doped samples.

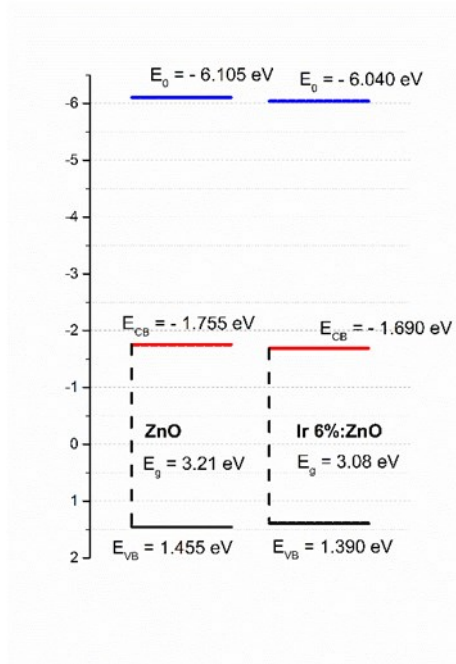


Figure 5. The positions of the conduction and valence band edges in the thin films of ZnO and ZnO doped with Ir

Figure 6 displays the experimental semi-logarithmic current-voltage (I-V) behaviors of the manufactured photodiodes. These measurements have been performed at room temperature under different light intensities and in the absence of light. The aim was to deduce the electrical characteristics of the diodes. The non-linear patterns observed can be elucidated through the application of the thermionic emission model, which is expressed by the following equation [24].

$$I = I_0 \left[\left(\exp \frac{qV}{nkT} \right) - 1 \right] \quad (5)$$

Here, I_0 , q , n , k , T , and V represent the saturation current, elementary charge, ideality factor of the diode, Boltzmann constant (in Kelvin), and applied voltage, correspondingly.

$$I_0 = AA^*T^2 \exp \left(-\frac{q\Phi_b}{kT} \right) \quad (6)$$

In this equation, A represents the contact area of the diode (approximately $7.85 \times 10^{-3} \text{ cm}^2$), A^* stands for the Richardson constant specific to ZnO ($A^* = 32 \text{ A/cm}^2\text{K}^2$), and Φ_b signifies the Schottky barrier height, which can be calculated using Equation (6). The values of n and Φ_b acquired from the I-V plot have been compiled in Table 1.

Table 1. The computed electrical and optoelectrical parameters of the fabricated photodiodes.

	n		Φ_B (eV)			R_s (kΩ)		
	(I-V)	(dV/dlnI)	(I-V)	(Norde)	(H-I)	(Norde)	(dV/dlnI)	(H-I)
ZnO	5.90	6.77	0.52	0.82	0.68	2.86	7.89	27.95
6% Ir: ZnO	4.48	6.18	0.47	0.81	0.45	4.29	7.90	27.86

The expected n values for an ideal contact should ideally be unity. However, n values exceeding 1 indicate deviations from the expected ideal contact, offering insights into how the incorporation of Ir into

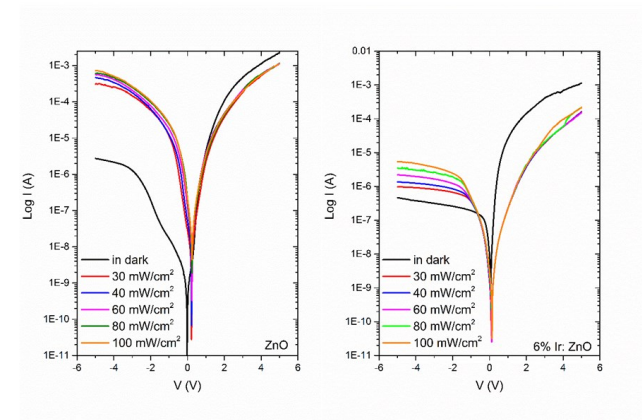


Figure 6. Current-voltage behaviors of the photodiodes in both absence of light (dark) and the presence of illumination.

ZnO affects diode performance. This effect is not solely ascribed to the degradation of surface conditions due to the inclusion of Ir, but also stems from diminished crystal quality, a factor that notably affects the excellence of the metal-semiconductor junction. Hence, the presence of consistent barrier height and the existence of interface states might help elucidate the occurrence of n surpassing unity, even without significant changes in barrier height. Table 1 emphasizes that the barrier height (Φ_b), as derived via using the I-V characteristics, decrease as Ir is introduced into the photodiodes.

To ascertain the diode's series resistance and barrier height, the Norde method was employed, as defined by the subsequent equation [25],

$$F(V) = \frac{V_0}{\gamma} - \frac{kT}{q} \left(\frac{I(V)}{AA^*T^2} \right) \quad (7)$$

Here, γ is a number (unitless) larger than n . $I(V)$ represents the current derived from the I-V characteristic. Figure 7 illustrates the graph depicting $F(V)$ against voltage for the diode.

Within the Norde method, the definition of the barrier height is as follows,

$$\Phi_B = F(V_0) + \frac{V_0}{\gamma} - \frac{kT}{q} \quad (8)$$

where $F(V_0)$ corresponds to the lowest value of $F(V)$. The determination of the series resistance (R_s) is based on the subsequent equation:

$$R_s = \frac{kT(\gamma - n)}{qI_1} \quad (9)$$

In this equation γ is the integer (unitless) bigger than n , q denotes an electron charge and I_1 shows the current acquired from the minimum point of $F(V)$. The Φ_B values of the photodiodes were determined as 0.81 eV and 0.82 eV for ZIRO0 and ZIRO6, respectively. The R_s values of the photodiodes were calculated as 2.86 k Ω and 4.29 k Ω for ZIRO0 and ZIRO6, respectively. While Φ_B values calculated using this method almost did not change with the dopant, it was observed that the value of R_s increased with the dopant.

In diodes, the presence of R_s typically results from factors such as the resistances of top and bottom contacts, layer resistances, non-uniform interface states, and variations in barrier height.

This value is closely connected to the difference in work functions between Si (4.97 eV) and ZnO (4.25 eV), resulting in a gap of 0.72 eV.

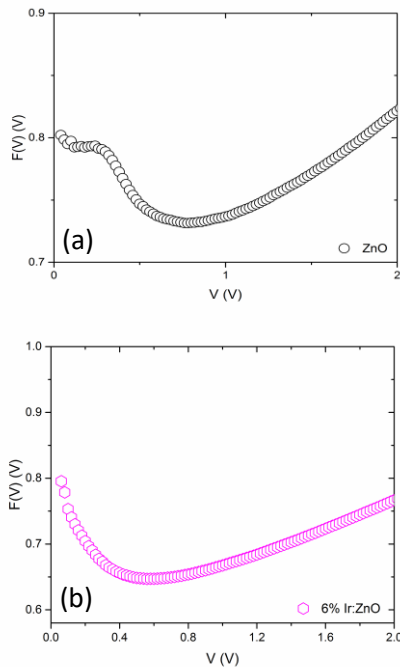


Figure 7. $F(V) - V$ plots of photodiodes

The value of R_s , crucial for metal-semiconductor contact assessment and a significant factor contributing to the departure from ideal diode behavior, has the potential to influence diode

electrical performance. The approach to ascertain this involves employing Cheung's technique, specifically in the range of elevated current where the linear nature of the I-V characteristic deviates. This method, capable of deriving both n and Φ_B values, characterizes the forward-biased I-V response of a component that includes series resistance, using the following equation:

$$I = I_0 \exp\left(\frac{q(V - IR_s)}{nkT}\right) \quad (10)$$

The equations provided below is utilized to find the n , R_s and Φ_B values,

$$\frac{dV}{d(\ln I)} = IR_s + \frac{nkT}{q} \quad (11)$$

$$H(I) = n\Phi_B + IR_s \quad (12)$$

$$H(I) = V - \frac{nkT}{q} \ln\left(\frac{I}{AA^*T^2}\right) \quad (13)$$

The plots depicting the forward-bias $dV/d(\ln I)$ -I characteristics of the heterojunction diodes are displayed in Figure 8. The intersection point furnishes the n value for these diodes. The computed n values are detailed in Table 1. The differences observed between the n values derived from the forward-biased semi-log I-V plots and those obtained from the $dV/d(\ln I)$ -I plots can be attributed to undesired interface states and variations in the voltage ranges utilized in the calculations. Nonetheless, in both approaches, the n value decreased with the introduction of Ir doping.

The graphs illustrating the relationship between $H(I)$ and I are presented in Figure 8. The gradient of this plot provides the R_s value, while the point of intersection yields the Φ_B value. The computed values are detailed in Table 1. The Φ_B values obtained with the standard TE theory, the Norde method and the $H(I) - I$ plot decreased with the Ir doping, but the calculated Φ_B values showed numerical differences with each other.

This distinction is commonly linked to the non-uniformity of the barrier and the less-than-ideal characteristics of the diodes.

The determined R_s values derived from both the R_s plots and the $H(I)$ function are notably elevated. The calculated R_s values show slight discrepancies between the two calculation methods, possibly attributable to variations in barrier height uniformity [26,27]. The R_s value of p-n heterojunction diodes is influenced by factors beyond the conductivity of the deposited thin films; it is also affected by contact resistance and the presence of the SiO₂ oxide layer

[28]. Achieving a low R_s value is crucial for attaining optimal performance in device applications.

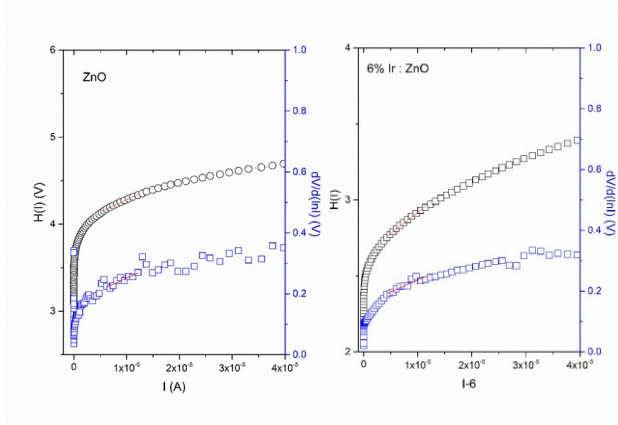


Figure 8. The plots depict the forward bias $dV/d(\ln I) - I$ and $H(I) - I$ relationships.

As evident from Table 1, a disparity exists between the R_s and Φ_B values acquired through the Cheung and Norde methods. This divergence in outcomes can be attributed to the distinct applicability of both methods across various forward voltage ranges [29,30]. While Cheung’s approach is confined to the nonlinear sector of forward bias, the Norde method extends across the complete forward bias segment of the $I-V$ plot. The increased R_s (series resistance) values within the diodes can be ascribed to the nature of the rear ohmic contact and the layers formed from inorganic/organic materials on the silicon substrate [28,31]. Moreover, R_s can be regarded as the Ohmic loss encompassing the entire device. As a result, the R_s values of the diodes are impacted not only by the conductivity of ZnO films, but also by elements like electrodes, connections between metal and inorganic components, and unintended probe resistance [32].

As depicted in Figure 6, it is evident that all the manufactured photodiodes exhibit non-linear $I-V$ characteristics and rectifying behavior, as demonstrated by rectification ratio ($RR = I_F/I_R$), (dark, ± 5 V) values ranging from 10^2 to 10^3 , as illustrated in Figure 9. Additionally, the $I-V$ traits of the diodes are notably affected because of Ir doping. The highest RR value, amounting to 2.42×10^3 at ± 5 V, was obtained from the ZIRO6 diode. The raised RR (rectification ratio) values noted in the fabricated diodes can be explained by the augmented carrier concentration within the thin films. This can stem from the substitution of Ir^{4+} ions at Zn^{2+} lattice sites or the enhancement of the interface between the thin films and p-Si, as elaborated upon in references [33,34]. As observed in Figure 9, the RR values of the photodiodes exhibit a reduction with increasing illumination intensity, manifesting a non-linear pattern. It is interpreted that electrons within the valence band of the illuminated photodiodes traverse into the conduction band due to light absorption. This phenomenon signifies the manifestation of photoconductive characteristics in the photodiodes.

The subsequent equation was employed to investigate the photoconduction process of the heterojunction diodes [35];

$$I_{ph} = AP^\delta \quad (14)$$

In this context, I_{ph} represents the photocurrent, while A stands for a constant. The variables P and δ signify illumination intensity and illumination coefficient, respectively. The δ value is uncovered from the gradient of the log (I_{ph}) plotted against log (P), and it provides insights into the photocurrent mechanism of the device.

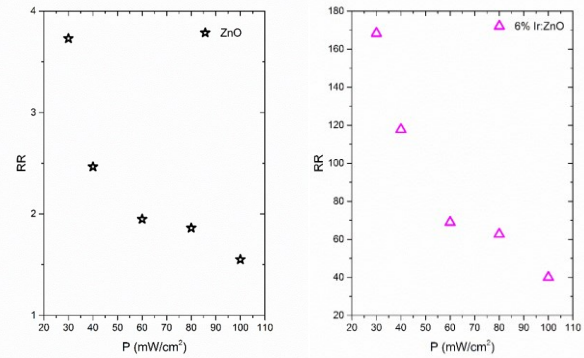


Figure 9. The rectification ratio undoped and Ir doped ZnO fabricated photodiodes under various light power concentrations.

The graph depicting the logarithm of I_{ph} against the logarithm of P is presented in Figure 10. The δ values obtained were 0.633 for ZnO/p-Si and 1.407 for Ir:ZnO/p-Si heterojunction photodiodes. When δ equals 0.5 or 1, the photoconduction process in the diodes is associated with a bimolecular recombination process or a monomolecular recombination process, respectively. When the δ values fall within the interval of 0.5 to 1, the mechanism governing photoconductivity is associated with the presence of a continuous array of trapping sites within the band structure. Nevertheless, when the calculated δ value surpasses 1, the photoconductivity mechanism exhibits a behavior that is characterized by super linear tendencies, as elucidated in references [36,37,38].

The photoresponsivity (R), a pivotal parameter in photodiode characterization, can be computed using the subsequent equations:

$$R = \frac{I_p - I_d}{P \times A} \quad (15)$$

In this equation, I_p stands for photocurrent, I_d represents dark current, P signifies illumination power intensity, and A corresponds to the active area of the photodiode (7.85×10^{-3} cm²). The obtained photoresponsivity values of photodiodes are illustrated in Figure 11. The photoresponsivity values

of the ZIRO6 tend to increase with increasing illumination intensity. The increased photoresponsivity is attributed to a substantial intrinsic barrier potential. This heightened intrinsic potential improves the transportation process and the dissociation of charges within the p-n heterojunction configuration [39,40].

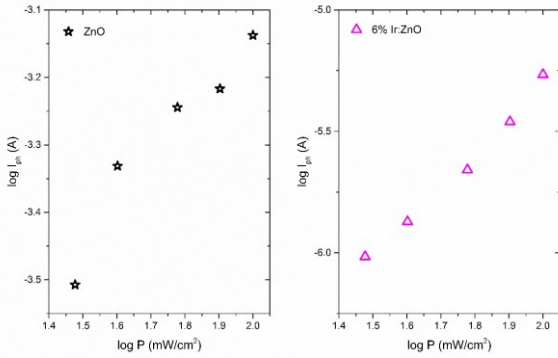


Figure 10. The m values were 0.633 (for ZnO) and 1.407 (for 6% Ir:ZnO).

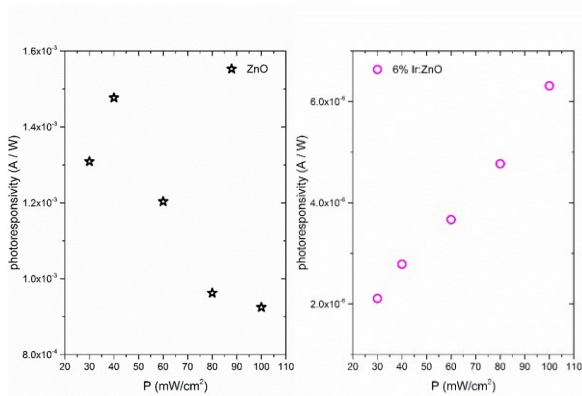
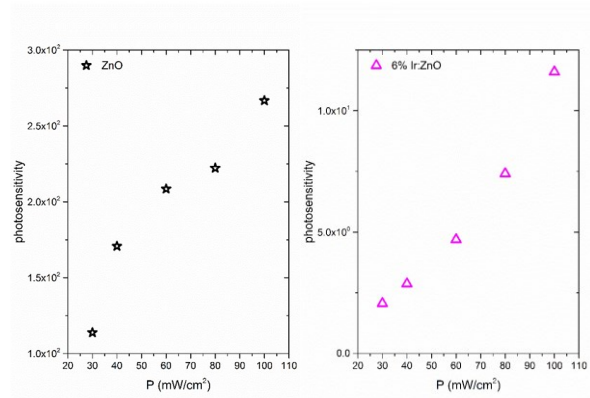


Figure 11. The photoresponsivity of the manufactured photodiodes under varying light power levels.

Photosensitivity serves as a crucial parameter in the context of photosensor applications, quantified by the ratio of photocurrent to dark current (I_{ph}/I_{dark}). As depicted in Figure 12, the photosensitivity values of the photodiodes demonstrate an upward trend with rising illumination intensity. Notably, both manufactured photodiodes exhibit higher reverse currents when subjected to illumination compared to measurements taken in darkness. These findings collectively suggest that the photodiodes showcase photoconductive behavior.

Figure 12. Graphs illustrating the relationship between photosensitivity and illumination intensity of the diodes.



4. Discussion and Conclusion

Consequently, the sol-gel spin coating approach has been employed to fabricate heterojunction diodes comprising both ZIRO0 and ZIRO6. This study revealed the impact of Ir substitution on surface structures. Specifically, the surface roughness of ZnO, initially at 65.12 nm, demonstrated a reduction to 7.41 nm with a 6% Ir doping concentration. Furthermore, the introduction of Ir was found to induce a decrease in the E_g of ZnO, shifting it from 3.21 eV to 3.08 eV. Electrical data obtained under various illumination intensities and dark conditions were utilized to analyze the optoelectronic properties of the photodiode. Notably, n values exceeding 1 were observed, potentially attributed to the degradation of surface conditions and the compromised crystal quality resulting from Ir doping. Moreover, the barrier height (Φ_B), as determined from $I - V$ characteristics, demonstrated a decrease in value upon Ir inclusion in the photodiodes. The calculated series resistance (R_s) values for ZIRO0 and ZIRO6 were 2.86 k Ω and 4.29 k Ω , respectively. Theoretical approaches, including the standard TE theory, the Norde method, and the $H(I) - I$ plot, yielded decreasing Φ_B values with Ir doping. However, numerical disparities among the calculated Φ_B values were observed, often attributed to barrier inhomogeneity and the non-ideal behavior of the diodes. Furthermore, Ir-doped ZnO photodiodes exhibited higher rectification ratios compared to their undoped counterparts. Interestingly, the photoresponsivity of fabricated Ir-doped photodiodes was noted to be lower than that of undoped ZnO photodiodes at varying light power levels. Additionally, the undoped ZnO photodiode showcased photosensitivity compared to the Ir-doped photodiode.

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] Zhang, T., Li, M., Chen, J., Wang, Y., Miao, L., Lu, Y., He, Y., 2022. *Materials Science & Engineering R* 147 100661.
- [2] Sharma, P., Hasan, M. R., Mehto, N. K., Deepak, Bishoyi, A., Narang, J., 2022. *Sensors International* 3, 100182.
- [3] Atay, F., Gultepe, O., 2022. *Applied Physics A* 128:99.
- [4] Agrohiya, S., Dahiya, S., Goyal, P. K., Rawal, I., Ohlan, A., Punia, R., and Maan, A. S., 2022. *ECS Sensors Plus*, 1 043601.
- [5] Mahajan, L.M., 2023. *Materials Today: Proceedings* 73 464–467.
- [6] Khan, A. R., Ramzan, M., Imran, M., Zubair, M., Shahab, S., Ahmed, S. J., Ferreira, F. and Iqbal, M. F., 2023. *Coatings*, 13(1), 34.
- [7] Zubkins, M., Kalendarev, R., Gabrusenoks, J., Plaude, A., Zitolo, A., Anspoks, A., Pudzs, K., Vilnis, K., Azens, A., J. Purans, 2017. *Thin Solid Films* 636 694–701.
- [8] Babajani, N., Jamshidi, S., 2019. *Journal of Alloys and Compounds* 782 533-544.
- [9] Dhanalakshmi, M., Saravanakumar, K., Lakshmi Prabavathi, S., Muthuraj, V., 2020. *Inorganic Chemistry Communications* 111 107601.
- [10] Dhyani, A. M., Nautiyal, A., Kumar, N., Rathi, S., Kumar, D., 2023. *Materials Today: Proceedings* 73 195–199.
- [11] Joshi B. C., and Chaudhri, A. K., 2022. *ACS Omega*, 7, 21877–21881.
- [12] Caglar, Y., Ilican, S., Caglar, M., Yakuphanoglu, F., 2010. *J Sol-Gel Sci Technol* 53:372–377.
- [13] Yadav, A. B., Rawat, G., Sannakashappanavar, B. S., 2022. *Materials Today Communications* 31 103751.
- [14] Sengun, P., Tumerkan Kesim, M., Caglar, M., Savaci, U., Turan, S., Sahin, İ., Suvaci, E., 2020. *Powder Technology* 374 214–222.
- [15] Yakuphanoglu, F., Ilican, S., Caglar, M., Caglar, Y., 2010. *Superlattices and Microstructures* 47 732743.
- [16] Elsheikh, N. Y., Battisha, I. K., Arais, A. A., Shams, M.S. 2022. *Egypt. J. Chem.* Vol. 65, No. SI:13B pp. 949 – 957.
- [17] Talu, S., Boudour, S., Bouchama, I., Astinchap, B., Ghanbaripour, H., Saeed Akhtar, M., Zahra, S., 2022. *Microsc Res Tech.* 85:1213–1223.
- [18] Zekry, A., 2019. *Electronic Devices with Physical Insight*, Ain Shams University, LAP LAMBERT Academic Publishing, May 16.
- [19] Polat, O., Caglar, M., Coskun, F.M., Coskun, M., Caglar, Y., Turut, A., 2020. *Vacuum* 173, 109124.
- [20] Polat, O., Coskun, F.M., Yildirim, Y. et al. 2023. *Appl. Phys. A* 129, 198.
- [21] Kubelka, P., Munk, F., 1931. A contribution to the optics of pigments. *Z. Technol. Phys.* 12, 593–599.
- [22] Chi, P.W., Wei, D.H., Wu, S.H., Chen, Y.Y., Yao, Y.D., 2015. *RSC Adv.*, 5 pp. 96705-96713.
- [23] Chao, C.H., Chi, P.W., Wei, D.H., 2016. *J. Phys. Chem. C*, 120, pp. 8210-8219.
- [24] Sze, S.M., 1981. *Physics of Semiconductor Devices*. 3rd. WILEY. 578s.
- [25] Norde, H., 1979. *J. Appl. Phys.* 50 5052.
- [26] Li, Y., Li, Y., Zhang, J., Tong, T., Ye, W., 2018. *J. Phys. D. Appl. Phys.* 51, 095104.
- [27] Polat, O., Coskun, M., Efeoglu, H., Caglar, M., Coskun, F.M., Caglar, Y., Turut, A., 2021. *J. Phys. Condens. Matter* 33, 035704.
- [28] Ilican, S., Caglar, M., Aksoy, S., Caglar, Y., 2016. *J. Nanomater.* 2016, 6729032.
- [29] Karatas, S., Yildirim, N., Türüt, A., 2013. *Superlattice. Microst.* 64 483–494.
- [30] Aksoy Pehlivanoglu, S., 2021. *Physica B: Condensed Matter* Volume 603, 15 February, 412482.
- [31] Giri, P., Chakrabarti, P., 2016. *Superlattice. Microst.* 93 248–260.
- [32] Ko, C.J., Lin, Y.K., Chen, F.C., Chu, C.W., 2007. *Appl. Phys. Lett.* 90, 063509.
- [33] Xu, X., Shukla, S., Liu, Y., Yue, B., Bullock, J., Su, L., Li, Y., Javey, A., Fang, X., Ager, J.W., 2018. *Phys. Status Solidi Rapid Res. Lett.* 12 1700381.
- [34] Postica, V., Hoppe, M., Gr€ottrup, J., Hayes, P., Robisch, V., Smazna, D., Adelung, R., Viana, B., Aschehoug, P., Pauporte, T., Lupan, O., 2017. *Solid State Sci.* 71 75–86.
- [35] Bube, R.H., 1960. *Photoconductivity of Solids*, Wiley, New York.
- [36] Khusayfan, N.M., 2016. *J. Alloys Compd.* 666 501–506.
- [37] Mekki, A., Dere, A., Mensah-Darkwa, K., Al-Ghamdi, A., Gupta, R.K., Harrabi, K., Farooq, W. A., El-Tantawy, F., Yakuphanoglu, F., 2016. *Synth. Met.* 217 43–56.
- [38] Kazim, S., Ali, V., Zulfequar, M., Mazharul Haq, M., Husain, M., 2007. *Phys. B Condens. Matter* 393 310–315.
- [39] Amiruddin, R., Santhosh Kumar, M.C., 2017. *Nanosci. Nanotechnol. Lett.* 9 489–495.
- [40] Tan, L., Curtis, M.D., Francis, A.H., 2003. *Chem. Mater.* 15 2272–2279

Statistical Reliability Evaluation of a k-out-of-n:G System Subject to Competing Failure Processes

Funda İŞÇİOĞLU*¹, Yeşim AKTAŞ²

¹Ege Üniversitesi, Fen Fakültesi, İstatistik Bölümü, 35040, İzmir, Türkiye

²Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 35040, İzmir, Türkiye

(Alınış / Received: 15.05.2023, Kabul / Accepted: 02.04.2024, Online Yayınlanma / Published Online: 23.08.2024)

Keywords

Competing failure process,
Shock models,
k-out-of-n system,
Reliability analysis,
Gamma distribution.

Abstract: Many systems in real life can experience failure in two categories such as a soft failure process or a catastrophic failure process. Therefore, failure processes are competing since either failure can cause the system to fail. In this study, a reliability analysis of a k-out-of-n:G system which is exposed to a competing failure process is investigated based on different distribution assumptions for a shock magnitude, a damage size and a wear volume due to continuous degradation. Besides, unlike the researches in this field, in a more statistical frame, the reliability results are also examined in detail by considering normal distribution assumption. The reliability results are discussed based on a change in parameters, number of shocks and time. Graphical illustrations are also provided to observe the parameter effects explicitly on the reliability of the system.

Rakip Bozulma Süreçlerine Maruz Kalan bir n'den k çıkışlı:G Sistemine ait İstatistiksel Güvenilirlik Değerlendirmesi

Anahtar Kelimeler

Rakip bozulma süreçleri,
Şok modelleri,
n den k çıkışlı sistem,
Güvenilirlik analizi,
Gamma dağılımı.

Özet: Gerçek hayatta birçok sistem, yıkıcı olmayan bozulma veya yıkıcı bozulma süreçleri gibi bozulmaları iki kategoride deneyimleyebilirler. Her iki arıza da sistemin bozulmasına sebep olabileceğinden arıza süreçleri rekabet halindedir. Bu çalışmada, rakip bozulma süreçlerine konu olan şok büyüklüğü, hasar boyutu, sürekli bozulmaya sebep olan aşınma hacmi için farklı dağılım varsayımlarına dayalı n'den k çıkışlı:G sistem yapısının güvenilirlik analizine yer verilmektedir. Bunun yanında, bu alandaki çalışmalardan farklı olarak, güvenilirlik sonuçları normal dağılım varsayımı altında istatistiki açıdan daha ayrıntılı olarak incelenmiştir. Güvenilirlik sonuçları şok sayısı, zaman ve parametrelerdeki değişim dikkate alınarak tartışılmıştır. Sistem güvenilirliği üzerindeki parametre etkilerini açık bir şekilde gözlemek için sonuçlar ayrıca grafikler ile de sunulmuştur.

Nomenclature:

$N(t)$ number of shocks arrived at t
For a soft failure process;
 $X(t)$ wear volume at t as a result of a continuous degradation
 $G(x;t)$ cumulative distribution function (cdf) of $X(t)$
 $X_S(t)$ total wear volume at t
 $F_X(x;t)$ cdf of $X_S(t)$
 Y_j damage size contributing to soft failure
 $f_Y(y)$ probability density function (pdf) of Y_j
 $f_Y^{<k>}(y)$ probability density function (pdf) of the sum of k i.i.d Y_j variables
 $K(t)$ cumulative shock damage size at t .
 H critical wear degradation failure threshold
For a catastrophic failure process;

W	size/magnitude of the j th shock load
$F_W(v)$	cdf of W_j
D	threshold for catastrophic failure
Φ	cdf of the standard normal random variable

1. Introduction

Many engineering systems can experience different shocks during their degradation process. These systems and their units therefore can fail due to those shocks along with their natural degradation process. In this respect a competing failure process concept is arisen. A soft failure or a catastrophic failure process can make the system fail in case of a competing failure process. The two failure processes have some threshold values and when they are exceeded the system or the units fail. In both of the failure processes, the failures are affected by the same random shock and this makes the processes dependent. Also, whenever one of the thresholds of each failure processes is exceeded, the system fails and that's why the failure processes are competing. The reliability research of systems under the influence of competing failure processes and shocks is worthy of interest especially in the field of reliability engineering. There has been plenty of studies regarding the shock models and competing failure processes in the literature. Gut [1] defined a cumulative shock model and proposed limit theorems for the failure and working times of a system. Eryilmaz and Kan [2] examined an extreme shock model in two stages. In the initial stage, the sizes of the shock are small in some degree, but in the following stage, the system experience more larger shocks due to an abrupt change in the environment. Then, the mean time to failure and reliability achievements were done considering an extreme shock model based on a random change point in that study. Wang et al. [3] obtained a function of reliability based on different failure modes which were catastrophic, deterioration and failure due to shocks. They also classified the effect of shocks on the system in two categories. In one of them, they considered an increased failure rate after a shock arrived and in the other one they took into account a random change in the degradation after the occurrence of the shock. An engineering application was given to support the model examined. Li and Pham [4] proposed a generalized multi-state model which considers shocks arriving at random and multi-competing failures. Two degradation processes were taken into account. In the model proposed, a reliability evaluation of a system was done by obtaining the system state probabilities considering both of the degradations. Peng, Feng and Coit [5] dealt with a reliability optimization problem of a surface-micromachined microengines influenced by wear degradation. Song et al. [6] considered the reliability analysis problem of a k-out-of-n structure which was exposed to multiple failure processes. Different from the previous studies failure times of the units are

dependent. A soft failure or a catastrophic failure process can cause each unit to fail. Since the units fail due to the occurrence of either of the failure processes, those failure processes are considered as competing. Pham et al. [7] developed a model for predicting the working probability of a k-out-of-n:G structure assuming that components were subjected to several stages of degradation and a catastrophic failure. State-dependent transition rates were used and also some functions for the reliability and MTTF were provided. Besides, another model was improved in Song et al. [8] in which s-dependent failure times of degraded components influenced by a shared shock were considered. The model was so useful for the reliability evaluation of many systems with several components that experience s-dependent competing failure processes. Rafiee et al. [9] also dealt with the working probability of a system under the influence of competing failure processes with one exception that is the changing failure rate. In complex systems, the system turns out to be capable of being affected from fatigue and deteriorates more quickly, in consequence of withstanding shocks. Therefore, four different shock patterns that could result with an increased degradation rates were considered within the study and the problem was discussed within this respect. Cha et al. [10] examined the dependency between the two competing processes where failures were categorized as the failures resulted from the accumulated wear and the catastrophic failure. An and Sun [11] classified the shock loads into two. According to their contribution, some shock loads especially which are beyond the threshold value cause the system's sudden failure. However, some of them which are between the certain level and shock threshold just cause sudden degradation increments. Under these circumstances a new reliability model was proposed under competing failures. Fan et al. [12] considered competing failures in which there was a dependency among the random shocks and the degradation process. The dependence effect was searched with reference to some classification of the shocks. The results were supported by a realistic application. Che et al. [13] took into account the reliability analysis problem based on mutually dependent degradation and shock processes in case of a competing failure process. The intensity of the shocks had a connection with the number of arrival shocks. Therefore, different from the previous studies, in this study Poisson process was not used to describe the arrival of the shocks. A multi-component system was considered by Shen et al. [14]. They took into account a reliability issue in which the deterioration behavior of a particular component can influence another component. A recursive method was

proposed for the working probability evaluation problem of a series system. Moreover, a simulation was conducted to find the approximated failure times of a k-out-of-n system. Qiu and Cui [15] evaluated the reliability by considering two-stage dependent failures. The dependence of the stages were due to the shared non-homogenous Poisson modeled shock process. A reliability issue of a multiple dependent failure processes with a varied failure threshold was considered by Jiang et al. [16]. Different from the previous researches considering fixed threshold levels, within this study the threshold level of a catastrophic failure was affected by the shock process. In Wang et al. [17] a new age- and state-dependent competing risks model which took into account of random shocks was proposed. As a new contribution the overall degradation was affected by the current state and the degradation rates were accelerated by the shocks.

In almost all the the studies considering multiple dependent failure processes, besides the theoretical contributions, especially the applications were obviously conducted only under normal distribution assumptions. However, from the statistical point of view, some other distributions can be used to model the failure processes in nature. For instance; it is widely known that an electrical lamp's lifetime is exponentially distributed. In addition to the natural degradation process of the lamp, there can be some voltage increases that can affect the failure process of the lamp. Those increases result some wear outs for the lamp besides its natural deterioration. In addition, they can also lead the system to fail. Therefore, in the reliability evaluation of the lamp, competing failure processes can be handled. This particular study, therefore, seeks to examine different distribution assumptions for the failure processes and their resulting effects on the working probability of a k-out-of-n system and its units. Besides, this study also aims to investigate the effects of the distribution parameters, the required and the total number of units in the system and the time change on the reliability and present the results within a more detailed frame. In section II, the indeed explanation of a competing failure process is given with reference to the literature and the model assumptions in this study are provided as well. In Section III, statistical reliability evaluation of a unit and a k-out-of-n system under normal distribution assumptions is done in detail by considering both soft failure and catastrophic failure processes, respectively. Section IV includes again a detailed statistical reliability evaluation problem of both a unit and a k-out-of-n system which is exposed to a competing failure process under different distribution assumptions than a normal distribution. Finally in section V, the major findings of the study are

presented and suggestions are made for further studies.

2. Multiple Competing Failure Processes and Random Shocks

The two failure modes are generally used in the literature; one is a catastrophic failure in which units corrupted by some instantenous exterior shocks, the other one is a failure based on a degradation process in which units fail due to a physical deterioration. Therefore, it is important to examine probabilistic or stochastic models of systems exposed to competing failure processes lean on degradation and random shocks. Many researchers has been working on the problem of combining these two competing failure modes.

Shock models are also worth of interest in reliability researches and have great importance in the reliability evaluation of units or systems exposed to competing failure processes. Shock models in reliability analysis can be classified based on the time interval between two successive shocks or the damage size grew out of an single random shock and the system failure function. In shock modeling, the system is affected by shocks with random magnitudes and which occur at random times. Thus, shocks usually has a Poisson process. To supply mathematical formulations for the reliability models of systems exposed to shocks many researchers provide many papers. Three classical random shock models are substantially used in the literature; cumulative, extreme and δ -shock models (Gong et al. [18], Lorvand et al. [19], Tuncel and Eryilmaz [20], Eryilmaz [21]). In this study, we consider a cumulative and an extreme type of a shock model. Besides, in real lifetime applications it is generally accepted that a graceful deterioration and a discrete random shock affect the system and makes it deteriorate. The failure processes are assumed to be independent in many of the studies regarding competing risks of degradation. However, in reality the degradation can increase with a sudden jump or with the increase in the degradation rate as a result of a shock. Therefore, due to this fact the processes is considered as dependent.

In the study of Song et al. [6], a working probability evaluation problem is discussed under two dependent failure processes. One of the failure processes is the soft failure process. It is resulted from both a lasting degradation and an additional suddenly terminating damage due to a shock process. The other one is the catastrophic failure which is resulted from an instantaneous stress from the same shock process. In real life applications of many systems and reliability studies, those two failure modes are handled together. Therefore, probabilistic and stochastic modeling of those competing and dependent failure processes

which consists of both the random shocks and continuous degradation simultaneously is worth of notice. It is important to represent some assumptions regarding the model taken into account in Song et al. [6] in this part of the study as follows;

Assumptions of the Model:

1. Whenever $X_s(t)$ is beyond a threshold value H , soft failure exists (according to a cumulative shock modeling).
2. Whenever W_j itself goes beyond the maximum strength D , catastrophic failure exists (according to an extreme shock modeling).
3. Poisson process explains the arrival of the random shocks.
4. The system is nonrepairable.
5. The system works when at least k units exist due to both soft failure and catastrophic failure processes.

2.1. Modeling catastrophic failures

The arrival of the shocks follows Poisson process with parameter λ . Let W_j be the size of the j th shock at time $t_j, j = 1, 2, \dots, \infty$ and they arrive independently. Then, the probability of surviving the j th shock for a unit is;

$$P(W_j < D) = F_W(D), j = 1, 2, \dots, \infty \quad (1)$$

If $W_i \sim N(\mu_W, \sigma_W), i = 1, 2, \dots, \infty$, then the related probability turns out;

$$P_L = F_W(D) = \Phi\left(\frac{D - \mu_W}{\sigma_W}\right), \quad (2)$$

2.2. Modeling soft failures

The total degradation of the system is;

$$X_s(t) = X(t) + K(t) \quad (3)$$

where $X(t) = \phi + \beta t$ represents the degradation due to continual wear (ϕ ; initial value, β ; degradation rate) and $K(t)$ indicates the cumulative damage size till time t . $K(t)$ is;

$$K(t) = \begin{cases} \sum_{j=1}^{N(t)} Y_j & \text{eğer } N(t) > 0 \text{ ise} \\ 0, & \text{eğer } N(t) = 0 \text{ ise} \end{cases} \quad (4)$$

The probability of the total degradation being less than a certain value x can be obtained;

$$F_X(x, t) = P(X_s(t) < x)$$

$$\sum_{j=0}^{\infty} P(X(t) + K(t) < x | N(t) = j) P(N(t) = j) \quad (5)$$

Let $X(t)$ distribute with $G(x;t)$ and Y_j distribute with $f_Y(y)$, the distribution of $Y_1 + \dots + Y_k$ is represented as $f_Y^{<k>}(y)$. Thus, equation (5) transforms;

$$F_X(x, t) = G(x, t) \exp(-\lambda t) + \sum_{j=1}^{\infty} \left(\int_0^x G(x-u, t) f_Y^{<j>}(u) du \right) \times \frac{\exp(-\lambda t) (\lambda t)^j}{j!} \quad (6)$$

If $Y_j \sim N(\mu_Y, \sigma_Y^2)$ and are independent, and also there is a linear degradation with a constant ϕ and a $\beta \sim N(\mu_\beta, \sigma_\beta^2)$ then, the probability that soft failure is not observed before t ;

$$F_X(H, t) = \sum_{j=0}^{\infty} \Phi\left(\frac{H - (\mu_\beta t + \phi + j\mu_Y)}{\sqrt{\sigma_\beta^2 t^2 + j\sigma_Y^2}}\right) \times \frac{\exp(-\lambda t) (\lambda t)^j}{j!} \quad (2)$$

$$(7)$$

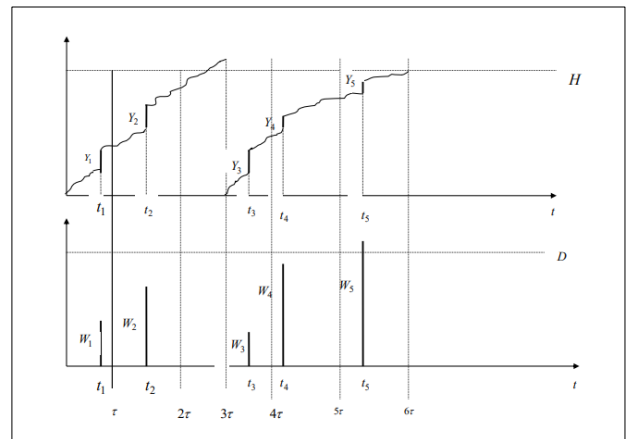


Figure 1. Two competing failure processes for a unit

2.3. Statistical reliability evaluation of a system

In a k-out-of-n system structure, the unit failure times are dependent because the units undergo the same shock effects. In such systems, the reliability is obtained as the probability of having at least k units surviving each of shock loads ($W_j < D$ for $j = 1, 2, \dots$) and their total deterioration being less than the threshold ($X_s(t) < H$). For the reliability of the system we have S described as the set of system units and $\phi(t)$ as the set of the working units, $\phi(t) \subset S$. In that case, it has been given as;

$$\begin{aligned} \phi(t) &= \{\text{index of components satisfying:} \\ &W_1 < D, W_2 < D, \dots, W_{N(t)} < D, \\ &X(t) + \sum_{j=1}^{N(t)} Y_j < H\} \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} \phi(t) &= \{\text{index of components satisfying:} \\ &\bigcap_{j=1}^{N(t)} (W_j < D), X(t) + \sum_{j=1}^{N(t)} Y_j < H\} \end{aligned} \quad (9)$$

Then, the working probability of the system is achieved by the probability of the intersection of the events that the unit degradations are below the failure thresholds. Therefore, the working probability;

$$\begin{aligned} R(t) &= P(|\Phi(t)| \geq k) \\ &= \sum_{m=0}^{\infty} P\{|\phi(t)| \geq k | N(t) = m\} \end{aligned} \quad (10)$$

$$\times P\{N(t) = m\} \quad (10)$$

Each unit is affected by the shocks arriving with a Poisson process. Then,

$$\begin{aligned} R(t) &= \sum_{m=0}^{\infty} \sum_{i=k}^n \binom{n}{i} P\left\{\bigcap_{j=1}^{N(t)} (W_j < D), \right. \\ &X(t) + \sum_{j=1}^{N(t)} Y_j < H | N(t) = m\}^i \end{aligned} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} &\{1 - P(\bigcap_{j=1}^{N(t)} (W_j < D), \\ &X(t) + \sum_{j=1}^{N(t)} Y_j < H | N(t) = m\}^{n-i} \\ &\times P\{N(t) = m\} \end{aligned} \quad (11)$$

Based on the distributions of the related random variables, reliability can also be written as;

$$\begin{aligned} R(t) &= \sum_{i=k}^n \binom{n}{i} [P(X(t) < H)]^i \\ &\times [1 - P(X(t) < H)]^{(n-i)} \end{aligned} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} &\times P(N(t) = 0) \\ &+ \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{i=k}^n \binom{n}{i} \{ (P(W < D))^m \\ &\times \int_0^H G(H-u) f_Y^{< m >}(u) du \}^i \\ &\times \{ 1 - (P(W < D))^m \\ &\times \int_0^H G(H-u) f_Y^{< m >}(u) du \}^{n-i} \\ &\times \frac{e^{-\lambda t} (\lambda t)^m}{m!} \end{aligned} \quad (12)$$

or as;

$$\begin{aligned} R(t) &= \sum_{i=k}^n \binom{n}{i} [P(X(t) < H)]^i \\ &\times [1 - P(X(t) < H)]^{(n-i)} e^{-\lambda t} \end{aligned} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} &+ \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{i=k}^n \binom{n}{i} \{ F_W(D)^m \\ &\times \int_0^H G(H-u) f_Y^{< m >}(u) du \}^i \\ &\times \{ 1 - F_W(D)^m \\ &\times \int_0^H G(H-u) f_Y^{< m >}(u) du \}^{n-i} \\ &\times \frac{e^{-\lambda t} (\lambda t)^m}{m!} \end{aligned} \quad (13)$$

3. Statistical Reliability Evaluation Under a Normal Distribution

In this part of the study, the statistical reliability evaluation of a unit and a system based on a competing failure process is examined by taking into account different distribution assumptions for wear volume, damage size and magnitude of a shock. First, the theoretical results presented in the literature regarding the success probability of a k-out-of-n structure under competing failure process is examined under a normal distribution. Second, under different distribution assumptions some theoretical

achievements are provided with some numerical illustrations.

3.1. Statistical reliability evaluation of a unit

In this part of the study, under the theoretical achievements found in the literature regarding the reliability of a unit and a system under competing failure processes, the reliability results based on normal distribution assumption are discussed in detail by considering different parameter and k values or different number of units.

In Case of a Soft Failure:

In the the reliability evaluations under normal distribution assumption, we consider the following parameters given in Table 1(Song et al. [6]).

Table 1. Parameter values for both catastrophic and soft failure processes

Parameter	Values
H	0.00125 μm^3
D	1.5 Gpa
ϕ	0
β	$\beta \sim N(\mu_\beta, \sigma_\beta^2), \mu_\beta=8.4823*10^{-9} \mu\text{m}^3,$ $\sigma_\beta = 6.0016 * 10^{-10} \mu\text{m}^3$
Y_j	$Y_j \sim N(\mu_Y, \sigma_Y^2), \mu_Y=10^{-4} \mu\text{m}^3,$ $\sigma_Y = 2 * 10^{-5} \mu\text{m}^3$
W_j	$W_j \sim N(\mu_W, \sigma_W^2), \mu_W 1.2 \text{ GPa}$ $\sigma_W = 0.2 \text{ GPa}$

When the unit is exposed to different number of shocks arrived, the reliability values of the unit are given in the following Table 2.

Table 2. Reliability of a Unit Based on Different Shock Numbers

	t=1.5		t=5.0		t=6.5	
	$\lambda=0.9$	$\lambda=1.2$	$\lambda=0.9$	$\lambda=1.2$	$\lambda=0.9$	$\lambda=1.2$
m=0	0.259	0.165	0.011	0.002	0.003	0.000
m=1	0.609	0.463	0.061	0.017	0.020	0.004
m=10	1.0	1.0	0.993	0.957	0.963	0.835
m=50	1.0	1.0	0.999	0.990	0.991	0.941

The working probability values decrease by the time increase. Also, as it is expected lower reliability values are observed with the large arrival rates of random shocks. For the changes in the parameters, the reliability results are also investigated and presented in the following Table 3-Table 4.

Table 3. Reliability of a Unit Based on the Change in μ_Y and σ_Y

μ_Y	t=5.0		t=10.0	
	$\lambda=0.9$	$\lambda=1.2$	$\lambda=0.9$	$\lambda=1.2$
10^{-4}	0.9989	0.9896	0.8705	0.5755
3×10^{-4}	0.5120	0.2709	0.0514	0.0070
7×10^{-4}	0.0611	0.0174	0.0012	0.00007
σ_Y				
2×10^{-5}	0.9989	0.9871	0.8705	0.5755
5×10^{-5}	0.9972	0.9822	0.8507	0.5743
10×10^{-5}	0.9876	0.9559	0.8024	0.5672

While searching the effect of the parameter μ_Y on the reliability, the results are obtained by assuming $\mu_\beta = 8.4823 \times 10^{-9}$; $\sigma_\beta = 6.0016 \times 10^{-10}$; $\sigma_Y = 2 \times 10^{-5}$ and $m=100$ and for the effect of σ_Y , the results are obtained by assuming $\mu_\beta = 8.4823 \times 10^{-9}$, $\sigma_\beta = 6.0016 \times 10^{-10}$, $\mu_Y = 10^{-4}$ and $m=100$ in Table 3. The reliability values decrease with an increase in μ_Y and in the arrival rate of shocks. Also, the reliability values decrease with an increase in σ_Y values. Besides, they also decrease with an ascent in the arrival rate of shocks.

Table 4. Reliability of a Unit Based on the Change in μ_β

μ_β	t=7.0		t=12.0	
	$\lambda=0.9$	$\lambda=1.2$	$\lambda=0.9$	$\lambda=1.2$
8.4823×10^{-9}	0.9852	0.9100	0.7069	0.3249
10×10^{-9}	0.9852	0.9100	0.7069	0.3249
13×10^{-9}	0.9852	0.9100	0.7069	0.3249

The working probability results are obtained by assuming $\mu_Y = 10^{-4}$, $\sigma_Y = 2 \times 10^{-5}$, $\sigma_\beta = 6.0016 \times 10^{-10}$, and $m=100$ in Table 4. There is not an explicit effect on the reliability values of the parameter μ_β . However, by the time and the shock arrival rate increase, reliability decrease is explicitly observed. When the results in Table 5 are discussed, similar interpretations can be done for the reliability change of the unit based on the change in σ_β with the change in μ_β . Also, the reliability results are obtained by assuming $\mu_Y = 10^{-4}$, $\sigma_Y = 2 \times 10^{-5}$, $\mu_\beta = 8.4823 \times 10^{-9}$ and $m=100$ in Table 5.

Table 5. Reliability of a Unit Based on the Change in σ_β

σ_β	t=5.0		t=10.0	
	$\lambda=0.9$	$\lambda=1.2$	$\lambda=0.9$	$\lambda=1.2$
86.0016×10^{-10}	0.9989	0.9896	0.8705	0.5755
8×10^{-10}	0.9989	0.9896	0.8705	0.5755
10×10^{-10}	0.9989	0.9896	0.8705	0.5755

In Case of a Catastrophic Failure:

When the reliability results of a unit are examined under a catastrophic failure, the effects of the

parameters of the shock load's magnitude on the working probability are investigated and presented with the following figures.

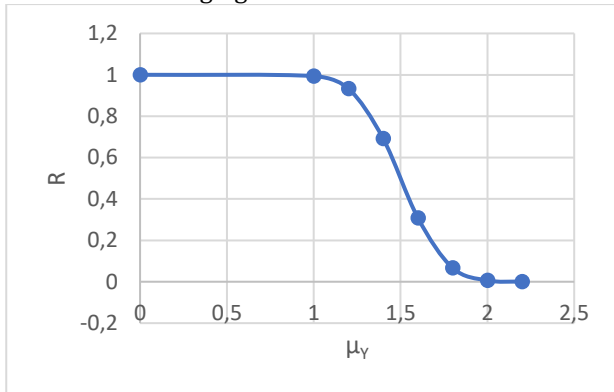


Figure 2. Reliability of a Unit Based on the Change in μ_Y

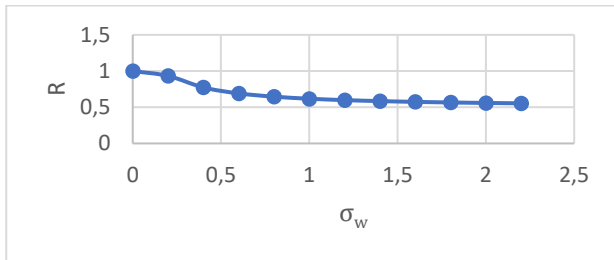


Figure 3. Reliability of a Component Based on the Change in σ_W

3.2. Statistical reliability evaluation of a system

By the use of equation (13), the reliability function of a system is ;

$$\begin{aligned}
 R(t) &= \sum_{i=k}^n \binom{n}{i} \left[\Phi \left(\frac{H - \mu_\beta t - \varphi}{\sigma_\beta t} \right) \right]^i \\
 &\times \left[1 - \Phi \left(\frac{H - \mu_\beta t - \varphi}{\sigma_\beta t} \right) \right]^{(n-i)} e^{-\lambda t} \quad (10) \\
 &+ \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{i=k}^n \binom{n}{i} \left(P_L^m \Phi \left(\frac{H - (\mu_\beta t + \varphi + m\mu_Y)}{\sqrt{\sigma_\beta^2 t^2 + m\sigma_Y^2}} \right) \right)^i \\
 &\times \left(1 - P_L^m \Phi \left(\frac{H - (\mu_\beta t + \varphi + m\mu_Y)}{\sqrt{\sigma_\beta^2 t^2 + m\sigma_Y^2}} \right) \right)^{n-i} \\
 &\times \frac{e^{-\lambda t} (\lambda t)^m}{m!} \quad (14)
 \end{aligned}$$

where P_L can be obtained by equation (2). The reliability results of a system are presented in the following Table 6 for different n and k values.

Table 6. Reliability Results for a k-out-of-n G system

n	k	$R_S(0)$	$R_S(1.5)$	$R_S(5)$	$R_S(7)$	$R_S(10)$
5	1	1.0	1.0	0.999	0.993	0.917

5	3	1.0	1.0	0.999	0.987	0.874
5	5	1.0	1.0	0.998	0.975	0.816
10	1	1.0	1.0	0.999	0.995	0.930
10	3	1.0	1.0	0.999	0.991	0.899
10	10	1.0	1.0	0.997	0.970	0.797

The reliability results are obtained by assuming $\mu_Y=10^{-4}$, $\sigma_Y= 2 \times 10^{-5}$, $\mu_\beta = 8.4823 \times 10^{-9}$, $\sigma_\beta = 6.0016 \times 10^{-10}$, $\mu_W = 10^{-4}$, $\sigma_W = 0.2$, $H = 0.00125$, $D = 1.5$, $\lambda = 0.9$ in Table 6. When the results are examined, it is clearly observed that there is a decrease in reliability with a time increase. When n is constant and k is increased, it results with a reliability decrease whereas when k is constant and n increases, it results with an increase in the reliability values. Therefore, when n increases in the system, the working probability values of system also increase. This result is also discussed in the Figure IV. In Figure IV, the black solid line indicates the working probability results of a 5-out-of-7:G system. The blue dashed line denotes the working probability results of a 5-out-of-15:G system and the red dashed line indicates the working probability results of a 5-out-of-30:G system. High reliability values are observed when n is large. Also, with the time change, all the reliability values are observed to decrease.

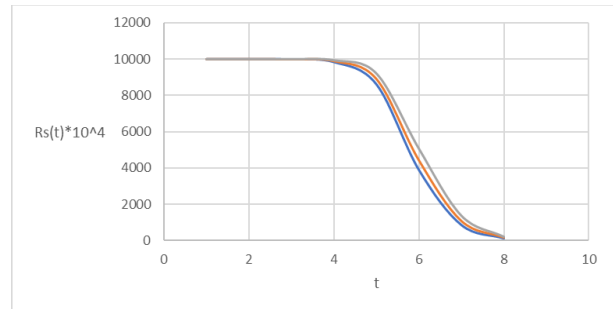


Figure 4. Reliability Results Based on Normal Distribution Assumption

4. Statistical Reliability Evaluation Under Exponential and Gamma Distributions

4.1. Statistical reliability evaluation of a unit

In the following part, we will provide reliability functions of a unit under competing failure processes considering an exponential distributed wear volume, a damage size and a shock load's magnitude whereas a gamma distributed sum of the damage sizes. First, we provide the reliability function of the unit under a soft failure process. Then, a reliability function of the unit under a catastrophic failure is given.

In Case of a Soft Failure:

Let the wear volume is; $X(t) = Xt$ where $X \sim \text{Exp}(\lambda_1)$. Therefore, the distribution of $X(t)$ is also exponential with the parameter $\frac{\lambda_1}{t}$. Let also $Y_j \sim \text{Exp}(\lambda_2)$. Besides, shocks arrive with a Poisson process. Then, the reliability function of the unit under a soft failure process is;

$$P(X_S(t) < x) = (1 - e^{-\frac{\lambda_1}{t}x})e^{-\lambda t} + \sum_{n=1}^{\infty} \int_0^x (1 - e^{-\frac{\lambda_1}{t}(x-u)}) \frac{\lambda_2^n u^{n-1}}{(n-1)!} du \times \frac{e^{-\lambda t} (\lambda t)^n}{n!} \tag{15}$$

In Case of a Catastrophic Failure:

Let $W_j \sim \text{Exp}(\lambda_s)$, then the reliability function of a unit under a catastrophic failure process is;

$$P(W_i < D) = 1 - e^{-\lambda_s D} \tag{16}$$

The reliability results of a unit is examined for different values of the parameters and discussed in the following Table 7-Table 9. In all the following tables $H = 5$ is assumed.

Table 7. Reliability of a Unit Based on the Change in λ

		$t=0.5$	$t=1.5$	$t=5.0$
$\lambda_1 = 1.5$ $\lambda_2 = 0.5$	$\lambda=0.9$	0.944	0.731	0.126
	$\lambda=1.2$	0.921	0.637	0.058
	$\lambda=1.4$	0.905	0.576	0.034

When the results in Table 7 are discussed, it is observed that the reliability values decrease by the increase in the parameter λ . This is an expected result actually because λ indicates the arrival rate of random shocks and an increased arrival rates result with more shocks to arrive and effect the unit. Therefore, with the increase in this parameter the reliability of the unit is expected to decrease. Also, another result which is also expected to be observed is the reliability decrease by the time increase in Table 7.

Table 8. Reliability of a Unit Based on the Change in λ_1

		$t=0.5$	$t=1.5$	$t=5.0$
$\lambda = 0.5$ $\lambda_2 = 0.6$	$\lambda_1=0.5$	0.963	0.676	0.165
	$\lambda_1=0.7$	0.974	0.768	0.216
	$\lambda_1=1.5$	0.981	0.888	0.362

Different from the previous interpretation in the reliability in Table 7, in Tables 8 and 9, with the increase in the parameters λ_1 and λ_2 , there is a decrease in the reliability of a unit. As the increase in λ_1 indicates a decrease in the wear volume and the increase in λ_2 denotes a decrease in the damage size, both cases result with an increase in the reliability values.

Table 9. Reliability of a Unit Based on the Change in λ_2

		$t=0.5$	$t=1.5$	$t=5.0$
$\lambda = 0.5$ $\lambda_1 = 0.7$	$\lambda_2=0.5$	0.964	0.740	0.190
	$\lambda_2=0.9$	0.990	0.822	0.282
	$\lambda_2=1.7$	0.998	0.872	0.382

Besides, Figure 5 shows the change on the reliability based on the change in the parameter λ_s . The reliability results are obtained by assuming $D = 1.5$. The reliability of a unit is observed to increase with an increase in the failure rate of random shocks in this figure. When the failure rate of random shocks increases, it is expected to have higher reliabilities of a unit.

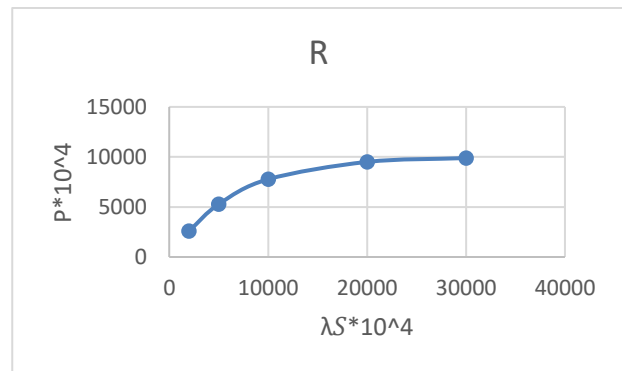


Figure 5. Reliability of a Unit Based on the Change in λ_s

4.2. Statistical reliability evaluation of a system

Considering an exponential distributed wear volume, damage size and shock magnitude and Gamma distributed damage size sum, we provide the reliability function of a k-out-of-n system as;

$$R(t) = \sum_{i=k}^n \binom{n}{i} \left[1 - e^{-\frac{\lambda_1}{t}H} \right]^i \times [1 - (1 - e^{-\frac{\lambda_1}{t}H})]^{n-i} \times e^{-\lambda t} + \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{i=k}^n \binom{n}{i} [(1 - e^{-\lambda_s D})^m$$

$$\begin{aligned} & \times \int_0^H \left(1 - e^{-\frac{\lambda_1(H-u)}{t}}\right) \times \frac{\lambda_2^m u^{m-1} e^{-\lambda_2 u}}{(m-1)!} du \Big]^i \\ & \times \{1 - (1 - e^{-\lambda_s D})^m \\ & \times \left(\int_0^H \left(1 - e^{-\frac{\lambda_1(H-u)}{t}}\right) \times \frac{\lambda_2^m u^{m-1} e^{-\lambda_2 u}}{(m-1)!} du\right)^{n-i} \\ & \times \frac{e^{-\lambda t} (\lambda t)^m}{m!} \end{aligned} \tag{17}$$

The reliability results are presented in the following Table 10 for various n and k.

Table 10. Reliability Results for a k-out-of-n system

n	k	$R_s(0)$	$R_s(0.07)$	$R_s(0.15)$	$R_s(0.5)$	$R_s(1)$
5	1	1.0	0.9920	0.9826	0.9352	0.8423
5	3	1.0	0.9694	0.9356	0.7986	0.5821
5	5	1.0	0.9656	0.9276	0.6035	0.1718
10	1	1.0	0.9980	0.9952	0.9753	0.9210
10	3	1.0	0.9826	0.9627	0.8731	0.7228
10	10	1.0	0.9656	0.9273	0.4673	0.0486

The reliability results are obtained by assuming $\lambda = 0.5$, $\lambda_1 = 0.3$, $\lambda_2 = 0.7$, $\lambda_s = 0.2$, $H=5$, $D=1.5$. When the results are discussed, the reliability decrease is explicitly observed with the time increase again for this system structure. When n increases, the working probability of the system also increases. Besides, with the increase in k , there is a decrease in the working probability of the system.

5. Conclusions

This study aims to examine the reliability of a k-out-of-n system and its units exposed to competing failure processes under different distribution assumptions. In previous studies, the reliability of the system is solely searched by considering normal distribution assumption. However, in real life the distributions of wear volume, damage size or the shock magnitudes can be different from a normal distribution. In this case, different parameters can have some effects on the reliabilities of the units and the system. Therefore, besides investigating the effect of the parameters of the normal distributed wear volume, damage size or shock magnitudes, it is worthy of consider to examine the effects of different distributions and their parameters on the working performance of the system

under a competing failure mechanism. With this aim, first under normal distribution assumption the reliability results are discussed in detail with reference to the changes in the parameters, and by the use of reliability functions already achieved in the literature. Then, the reliability functions of a system is obtained under an exponential distributed wear volume, damage size and shock magnitude and Gamma distributed damage size sum. Moreover, the reliability results are examined based on the changes in the parameters of the related distributions. The effect of the time change on the working probability are also analysed along with different number of units and k values of a system.

References

- [1] Gut, A. 1990. Cumulative shock models. *Advances in Applied Probability*, 22(2), 504-507.
- [2] Eryilmaz, S., and Kan, C. 2019. Reliability and optimal replacement policy for an extreme shock model with a change point. *Reliability Engineering and System Safety*, 190, 106513.
- [3] Wang, Z., Huang, H.Z., Li, Yanfeng, and Xiao, N.C. 2011. An approach to reliability evaluation under degradation and shock process. *IEEE Transactions On Reliability*, 60(4), 852-863.
- [4] Li, W., and Pham, H. 2005. Reliability modeling of multi-state degraded systems with multi-competing failures and random shocks. *IEEE Transactions on Reliability*, 54(2), 297-303.
- [5] Peng, H., Feng, Q., and Coit, D.W. 2009. Simultaneous quality and reliability optimization for microengines subject to degradation. *IEEE Transactions*, 58, 98-105.
- [6] Song, S., Chatwattanasiri, N., Coit, D.W., Feng, Q., and Wattanapongsakorn, N. 2012. Reliability analysis for k-out-of-n systems subject to multiple dependent competing failure processes. *IEEE Transactions On Reliability*, 36-42.
- [7] Pham, H., Suprasad, A., and Misra, R.B. 1996. Reliability and MTTF prediction of k-out-of-n complex systems with components subjected to multiple stages of degradation. *International Journal of Systems Science*, 27(10), 995-1000.
- [8] Song, S., Coit, D.W., Feng, Q., and Peng, H. 2014. Reliability analysis for multi-component systems subject to multiple dependent competing failure processes. *IEEE Transactions on Reliability*, 63(1).
- [9] Rafiee, K., Feng, Q., and Coit, D.W. 2014. Reliability modeling for dependent competing failure

- processes with changing degradation rate. *IEEE Transactions*, 46(5), 483-496.
- [10] Cha, J.H., Sanguesa, C., Castro, I.T. 2016. Maintenance policy for a system with stochastically dependent failure modes with shock-accumulation effect. *IEEE Transactions on Reliability*, 65(3).
- [11] An, Z., Sun, D. 2017. Reliability modeling for systems subject to multiple dependent competing failure processes with shock loads above a certain level. *Reliability Engineering and System Safety*, 157, 129-138.
- [12] Fan, M., Zeng, Z., Zio, E., and Kang, R. 2017. Modeling dependent competing failure processes with degradation-shock dependence. *Reliability Engineering and System Safety*, 165, 422-430.
- [13] Che, H., Zeng, S., Guo, J., Wang, Y. 2018. Reliability modeling for dependent competing failure processes with mutually dependent degradation process and shock process. *Reliability Engineering and System Safety*, 180, 168-178.
- [14] Shen, J., Elwany, A., and Cui, L. 2018. Reliability analysis for multi-component systems with degradation interaction and categorized shocks. *Applied Mathematical Modelling*, 56, 487-500.
- [15] Qiu, Q., Cui, L. 2018. Reliability evaluation based on a dependent two-stage failure process with competing failures. *Applied Mathematical Modelling*, 64, 699-712.
- [16] Jiang, L., Feng, Q., and Coit, D.W. 2012. Reliability and maintenance modeling for dependent competing failure processes with shifting failure thresholds. *IEEE Transactions on Reliability*, 61(4), 932-948.
- [17] Wang, J., Li, Z., Bai, G., Zuo, M.J. 2020. An improved model for dependent competing risks considering continuous degradation and random shocks. *Reliability Engineering and System Safety* 193.
- [18] Gong, M., Eryilmaz, S., and Xie, M. 2019. Reliability evaluation of system under ageneralized cumulative shock model. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part of Journal of Risk and Reliability*, 234(1).
- [19] Lorvand, H., Nematollahi, A., and Poursaeed, M.H. 2019. Life distribution properties of a new - shock model. *Communications in Statistics-Theory and Methods*, 49(12), 3010-3025.
- [20] Tuncel, A., and Eryilmaz, S. 2018. System reliability under -shock model. *Communications in Statistics-Theory and Methods*, 47(19), 1-9.
- [21] Eryilmaz, S. 2012. Generalized δ -shock model via runs. *Statistics and Probability Letters*, 82(2), 326-331.
- [22] Tanner, D. M., and Dugger, M. T. 2003. Wear mechanisms in a reliability methodology. In *Proceedings of the Society of Photo-optical Instrumentation Engineers*, 4980, 22-40.

Matematik Başarısı ve Yansıtıcı Düşünce Bulanık Mantık ile Modellemesi

Melek ALTUNBAŞ*¹, Ramazan UYHAN*²

¹Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Fakültesi, Matematik Bölümü, 32260, Isparta, Türkiye

²Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Fakültesi, Matematik Bölümü, 32260, Isparta, Türkiye

(Alınış / Received: 14.07.2023, Kabul / Accepted: 17.04.2024, Online Yayınlanma / Published Online: 23.08.2024)

Anahtar Kelimeler

Matematik Başarısı,
Eğitim,
Bulanık Mantık

Özet: Bu makalede ortaokul öğrencilerinin duyuşsal özelliklerinin, çözdükleri problem sayıları ve devamsızlıklarının; matematik başarısına ve yansıtıcı düşüncelerine olan etkisi bulanık mantık yöntemiyle incelenecektir. Öğrencilerin derse olan motivasyonu, dersi öğrenmeye yönelik kararlılığı ve isteği olarak ifade edebileceğimiz duyuşsal özellikler eğitimde olmazsa olmazlardan biridir. Problem çözme becerisi ise günümüzde sadece matematik dersinde değil birçok derste hatta günlük hayatta da kullanabileceğimiz bir beceridir ve eğitimde son derece öneme sahiptir. Öğrencilerin okula olan devamlılıkları derslerdeki konu bütünlüğünü sağlamalarına ve derslerde daha özgüvenli aktif katılımlarda bulunabilmelerine olanak sağlayacaktır.

Bu üç önemli faktörün matematik başarısına ve probleme yönelik yansıtıcı düşünceye etki ettiği öngörülmektedir. Bu etkinin büyüklüğü bulanık mantık modelleme aracılığıyla belirlenecektir.

Modeling Mathematics Achievement and Reflective Thinking with Fuzzy Logic

Keywords

Mathematics Achievement,
Education,
FuzzyLogic

Abstract: In this article, the affective characteristics of secondary school students, the number of problems they solved and their absenteeism; Its effect on mathematics achievement and reflective thinking will be examined using the fuzzy logic method. Affective characteristics, which can be expressed as students' motivation for the lesson, determination and desire to learn the lesson, are one of the indispensable elements in education. Problem solving skill is a skill that we can use not only in mathematics lessons but also in many other lessons and even in daily life, and it is extremely important in education. Students' attendance at school will enable them to ensure the integrity of the subjects in the lessons and to be more self-confident and active participants in the lessons.

It is predicted that these three important factors affect mathematics achievement and problem-oriented reflective thinking. The magnitude of this effect will be determined through fuzzy logic modelling.

1. Giriş

Birçok öğrenci matematikten çekiniyor ve bu dersten başarı sağlayamamaktan endişe duyuyor. Ancak matematikte başarılı olmak imkansız değildir. Matematikte bireylerin başarı ve gelişim göstermeleri için öncelikle matematik bilimine karşı olumlu bakış açısı geliştirmeleri gerekmektedir. [1].

Matematik başarısında etkili olabilecek bazı faktörleri şu şekilde sıralayabiliriz;

Öğrenciye Bağlı Faktörler:

Zeka; matematik başarısında rol oynar ancak zeki olmak her şey demek değildir. Çalışma ve emek de en az zeka kadar önemlidir.

Öğrenme Stili; Görsel, işitsel veya kinestetik öğrenme stillerinden hangisine sahip olduğunu bilmek, matematik öğrenmeyi kolaylaştırabilir.

Duyuşsal özellikler; Matematiğe karşı ilgi ve merak duymak, derse motivasyonlu bir şekilde gelmek öğrenmeyi kolaylaştırır ve başarıyı artırır.

Zaman; Matematikte iyi olmak için düzenli çalışma ve pratik yapma şart.

Stratejiler; Etkili öğrenme stratejileri kullanmak, matematiksel kavramları daha iyi anlamaya yardımcı olur.

Kendine Güven; Kendine inanmak ve matematikte başarılı olabileceğini düşünmek çok önemli.

Devamlılık; Okula düzenli bir şekilde gitmek ders bütünlüğünü kaçırmamak için önemlidir ve başarıyı artırır.

Problem pratiği; Derslerden sonra okul dışında da gün içerisinde öğrendiği bilgileri problemlerle (etkinlik veya soru çözümleri de olabilir) pekiştirmek bilgilerin unutulmamasına olanak sağladığı gibi başarıyı da artırır.

Öğretmene Bağlı Faktörler:

Alan Bilgisi; Öğretmenin matematik bilgisinin sağlam olması ve kavramları iyi anlatabilmesi gereklidir.

Yöntemler; Etkili ve ilgi çekici öğretim yöntemleri kullanmak, öğrenmeyi kolaylaştırır.

Sınıf Yönetimi; Sınıfın disiplinli ve verimli bir şekilde yönetilmesi, öğrenmeyi kolaylaştırır.

Geri Bildirim; Öğretmenin sana düzenli ve yapıcı geri bildirim vermesi, öğrencilerin eksiklerini görmelerine ve gelişmelerine yardımcı olur.

Ebeveynlere Bağlı Faktörler:

Bakış Açısı; Ailenin matematiğe karşı olumlu bir bakış açısına sahip olması, öğrencinin de matematiğe karşı ilgisini ve motivasyonunu artırır.

Destek; Evde matematiksel aktiviteler yapması ve yardımcı olmaları, öğrencilerin başarılarını artırır.

Okul ve Eğitim Sistemine Bağlı Faktörler:

Müfredat; Müfredatın güncel ve öğrenciye uygun olması önemli.

Materyaller; Yeterli ve uygun eğitim materyalleri, öğrenmeyi kolaylaştırır.

Teknoloji; Teknolojinin etkili kullanımı, matematik öğrenmeyi daha ilgi çekici hale getirebilir.

Sosyo-Ekonomik Faktörler:

Sosyo-Ekonomik Düzey; Ailenin maddi durumu, eğitim imkanlarına erişimini ve dolayısıyla matematik başarısını etkileyebilir.

Diğer Faktörler:

Arkadaş Grubu; Arkadaşlarının matematiğe bakış açısı öğrenciyi etkileyebilir.

Kendine Güven; Kendine inanmak ve matematikte başarılı olabileceğini düşünmek yine önemli faktörler arasındadır.

Matematik, modern dünyanın temel bir dilidir ve problem çözme, analitik düşünme ve soyut kavramları anlama gibi birçok önemli becerinin geliştirilmesine katkıda bulunur. Yansıtıcı düşünme ise kendi düşünme süreçlerimizi ve inançlarımızı sorgulama ve değerlendirme yeteneğidir. Matematik öğrenirken, hatalardan ders almak ve kavramları daha derinlemesine anlamak için bu beceri son derece önemlidir.

Yansıtıcı Düşünceyi Etkileyen Faktörler

Yansıtıcı düşünme, deneyimlerimiz ve inançlarımız hakkında derinlemesine düşünme ve bunları analiz etme yeteneğidir. Bu karmaşık bir bilişsel süreçtir ve çeşitli faktörlerden etkilenir.

Bireysel Faktörler:

Bilişsel Beceriler; Eleştirel düşünme, problem çözme ve analitik düşünme gibi bilişsel beceriler, yansıtıcı düşünmenin temelini oluşturur.

Öğrenme Stilleri; Deneyimsel ve aktif öğrenme stillerine sahip kişiler, yansıtıcı düşünmeye daha yatkın olma eğilimindedir.

Meta-bilişsel Farkındalık; Kendi düşünme süreçlerinin farkında olmak, yansıtıcı düşünmenin önemli bir bileşenidir.

Öz Düzenleme Becerileri; Duyguları ve dürtüleri yönetme yeteneği, düşünceleri net ve objektif bir şekilde analiz etmeyi mümkün kılar.

Açık Fikirlilik; Farklı bakış açılarına açık olmak ve yeni fikirleri kabul etmek, yansıtıcı düşünmenin önemli bir özelliğidir.

Duyuşsal özellikler; Öğrenmeye ve gelişmeye istekli olmak, yansıtıcı düşünmeyi teşvik eder.

Çevresel Faktörler:

Eğitim; Yansıtıcı düşünmeyi teşvik eden bir eğitim ortamı, bu becerinin gelişmesine katkıda bulunur.

Kültür; Eleştirel düşünmeyi ve sorgulamayı değer veren kültürler, yansıtıcı düşünmeyi teşvik eder.

Sosyal Destek; Aile, arkadaşlar ve meslektaşlardan gelen destek, yansıtıcı düşünmeyi teşvik edebilir.

Deneyimler; Zorlayıcı ve çeşitli deneyimler, yansıtıcı düşünmeyi teşvik edebilir.

Diğer Faktörler:

Yaş; Yaşla birlikte bilişsel becerilerin gelişmesi ve deneyimlerin artması, yansıtıcı düşünme yeteneğini de geliştirebilir.

Kişilik; Kişilik özellikleri de yansıtıcı düşünmeyi etkileyebilir. Örneğin, içe dönük kişiler, dışa dönük kişilere göre daha fazla yansıtma eğiliminde olabilir.

Yansıtıcı düşünme, geliştirilebilen bir beceridir. Yukarıda bahsedilen faktörleri anlamak, bu becerinin geliştirilmesine yardımcı olabilir.

Yansıtıcı düşünme, kişisel ve mesleki gelişim için önemli bir araçtır. Bu beceriyi geliştirmek, daha bilinçli ve anlamlı bir hayat yaşamınıza yardımcı olabilir.

2. Materyal ve Metot

Bu çalışma 50 ortaokul öğrencisi üzerinde uygulanmıştır. Araştırmaya katılan öğrencilerin verileri dikkate alınarak girdi ve çıktılarının alt-üst sınırları belirlenmiştir (problem sayıları en fazla 1000 olduğu için ortalama 2000 üst sınırı, devamsızlıkta sınıfta kalma 20 gün olduğu için 19,5 üst sınırı, anketler için 100 puan üst sınırı belirlenmiştir.). Öğrencilerin duyuşsal özellikleri, derslere olan devamlılıkları ve problem çözme sayılarının, yansıtıcı düşünceye ve matematik başarısına etkileri araştırılmıştır ve önemi vurgulanmıştır. Öncelikle Süleyman Demirel Üniversitesi Etik Kurulu'ndan 08.05.2023 tarihinde E-874332956-050.99-493644 sayılı etik kurul kararı ile araştırmacı tarafından öğrencilerin duyuşsal özelliklerini ölçmek için "Matematik dersi duyuşsal özellikler anketi", yansıtıcı düşünme becerileri ve problem çözme sayılarını ölçmek için de öğrencilere "Matematik dersi yansıtıcı düşünme ölçme anketi" oluşturulmuş ve uygulanmıştır. Öğrencilerin devamsızlığı için 1.dönem yoklama belgelerine bakılmıştır. Son olarak Matematik başarılarını ölçmek için 1.dönem Matematik dersi not ortalamaları ele alınmıştır. Bu etkenler ve sonuçlar doğrultusunda çalışma gerçekleştirilerek veriler Excel programına aktarılmış tablo oluşturularak değerlendirilmiştir. Bulanık mantıkta üyelik derecesi ile belirsiz durumlarda üyelik fonksiyonu oluşturulur. Bu çalışmada girdi ve çıktı değişkenlerine bağlı olarak üyelik sayıları, isimleri, alt ve üst sınırları belirlenerek bir model kurulmuştur. Sistemden çıkan sonuçlar ile gerçek

sonuçlar karşılaştırılarak korelasyon yüzdesi hesaplanmıştır [2].

2.1. Bulanıklık kavramı

Bulanıklık, ilk bakışta netlik ve kesinlik düşmanı gibi görünse de, aslında dünyayı daha iyi anlamamıza yardımcı olan bir araçtır. Bunu, farklı alanlarda örneklendirerek daha net görebiliriz:

"Yarın yağmur yağabilir." Bu cümle kesin mi? Hayır. Yağmur yağma ihtimali var, ama kesin değil. Bu belirsizliği "yağmur yağma olasılığı" gibi bulanık bir kavramla ifade ediyoruz.

Bir resimde ne gördüğümüz, bakış açımıza göre değişebilir. Örneğin, bir Rorschach testi mürekkep lekesinde farklı figürler görebiliriz.

Klasik yapay zeka modelleri, "doğru" veya "yanlış" ile çalışır. Bu da gerçek dünyayı tam olarak yansıtmaz. Bulanık mantık ise "ne kadar doğru" veya "ne kadar yanlış" ile çalışır. Bu da daha gerçekçi sonuçlar vermemizi sağlar.

Bulanıklık Kullanım Alanları:

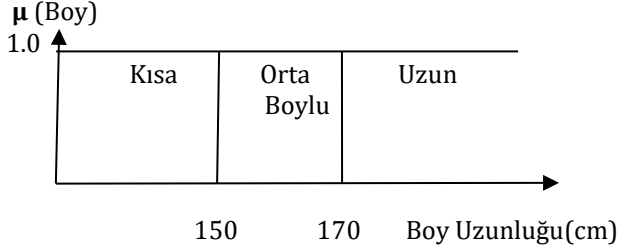
- Hava durumu tahmini
- Trafik kontrolü
- Tıbbi teşhis
- Finansal risk analizi
- Üretim ve kalite kontrol

Bulanıklık, belirsizlikle yakından ilişkilidir. Belirsizlik, bir şey hakkında tam bilgi sahibi olmama durumudur. Bulanıklık ise bu belirsizliği ifade etmenin bir yoludur. Özetle; Bulanıklık, dünyayı daha iyi anlamamıza ve onunla daha iyi başa çıkmamıza yardımcı olan bir araçtır. Belirsizliği ifade etmenin ve onunla çalışmanın bir yoludur.

2.2. Bulanık mantık

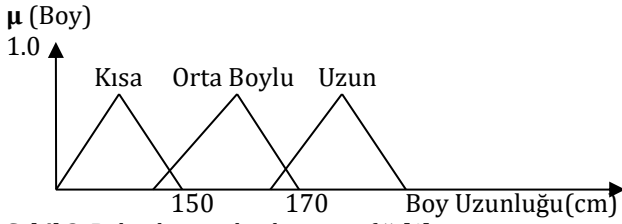
Bulanık mantık kavramı ilk olarak L.A. Zadeh tarafından 1965 yılında ortaya atılmış ve zamanla önemi artarak şu an dünyada birçok alanda kullanım alanına sahip olmuştur [3]. Bulanık mantık, klasik mantığın siyah-beyaz bakış açısına karşı bir alternatiftir. Gerçek dünyada her şey net değildir, "sıcak", "soğuk", "uzun" gibi kavramlar belirsizdir. Bulanık mantık da bu belirsizliği kabul eder ve bu kavramları matematiksel olarak ifade etmenin bir yolunu sunar. Diyelim ki bir robotun bir engelden kaçınmasını istiyoruz. Robotun sensörleri, engelin mesafesi ve hızı hakkında bilgi toplar. Bulanık mantık kullanarak bu bilgileri işleyebilir ve robotun hangi yöne ve ne kadar hızlı hareket etmesi gerektiğini belirleyebiliriz.

Bulanık mantık ile klasik mantık arasındaki farkı günlük hayattan yetişkin bir bireyin boy uzunluğuna göre örneklendirirsek klasik mantıkta (keskin küme mantığı) 150cm aşağısı kısa, 150 ile 170 cm arası orta boylu ve 170cm ile üzeri uzun olarak kategorileştirdiğimizde aşağıdaki şekli elde edebiliriz.



Şekil 1. Klasik mantıkta küme grafiği [4]

Ancak bu boy uzunluğu sınır değerlerinde gerçek hayatta kişiye göre değişebilir ya da kesin bitiş noktasına sahip olmayabilir. Örneğin aynı boy uzunluğu orta da olabilir uzun da olabilir. Bulanık küme teorisinde tamamlanmamış ya da bir kısmı bilinen veriler ile değişkenler dilsel ifade edilerek belli ölçütlere göre değerlendirilmesi yapılır [5]. Böylece bilinmeyenden yola çıkılarak bilme sürecine girilir. Ayrıca bulanık mantıkta her elemanın ait olduğu bir veya daha fazla küme olabilir. Klasik mantık kümesi şeklini bulanık mantığa göre uyarlandığında bulanık küme şekli elde edilir.



Şekil 2. Bulanık mantıkta küme grafiği [4]

Peki Bulanık Mantık Nasıl Çalışır?

Bulanık mantık, "Eğer... O zaman..." şeklinde ifadeler içeren bulanık mantık kuralları kullanır. Bu kurallar, belirsiz bilgileri işlemek ve sonuçlar çıkarmak için kullanılır. Örneğin, bir çamaşır makinesinin sıcaklık kontrol sisteminde aşağıdaki bulanık mantık kuralı kullanılabilir:

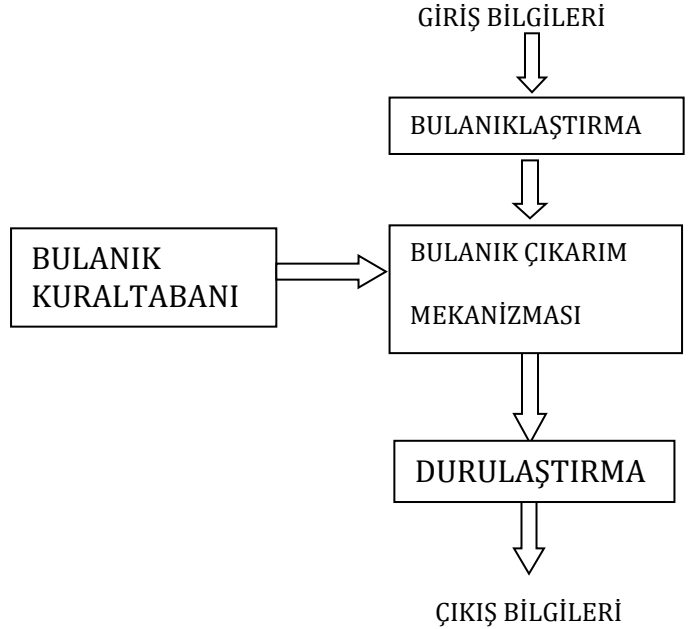
Eğer: Sıcaklık sıcak ise O zaman: Su girişi kapat

Burada "sıcak" bir bulanık kümedir ve bir sıcaklığın ne kadar sıcak olduğunu temsil eden bir üyelik fonksiyonuna sahiptir. Bu fonksiyon, 0 (tam soğuk) ile 1 (tam sıcak) arasında değerler alabilir.

Bulanık mantık sisteminde en sık kullanılan çıkarım mekanizmalarından biri Mamdani tipi çıkarım mekanizmasıdır.

Uzman bilgisinden yararlanılarak kullanılan Mamdani yöntemi yaygın olarak kabul görmektedir. Uzman deneyimi ile daha insani ve sezgisel olarak tanımlama yapıldıktan sonra ciddi bir hesaplama süreci gerektirir [7].

Bulanık Mantık sistemin temel elemanları; bulanıklaştırma birimi, çıkarım mekanizması, kural tabanı ve durulaştırma birimidir.



Şekil 3. Bulanık sistem genel gösterimi [6]

2.2.1. Bulanık mantık nerede kullanılır?

Bulanık mantık, birçok farklı alanda kullanılmaktadır. Kontrol sistemleri, görüntü işleme, karar verme, yapay zeka gibi alanlarda bulanık mantık uygulamalarına rastlamak mümkündür.

2.2.2. Bulanık mantığın avantajları nelerdir?

- Belirsiz bilgileri işlemek için daha uygundur.
- Daha sağlam ve gürültüye karşı daha dirençli sistemler tasarlanmasına olanak tanır.
- Karmaşık sistemleri modellemek için daha basit ve daha sezgisel bir yol sağlayabilir.

2.2.3. Bulanık mantığın dezavantajları nelerdir?

- Klasik mantıktan daha az kesindir.
- Sistemler, klasik mantık sistemlerinden daha karmaşık ve yorumlanması daha zor olabilir.
- Kesinlik ifade etmemesi ve uzman deneyimiyle çözümlenmesi sebebiyle anlaşılması zor bir alandır ve hala geliştirilmektedir.

3. Bulgular

Öğrencilerin duyuşsal özelliklerinin, okula devamsızlıklarının ve problem pratiklerinin (problem çözme sayılarının) matematik başarısına ve yansıtıcı düşünceye etkisi üzerinde araştırma yapılmıştır.

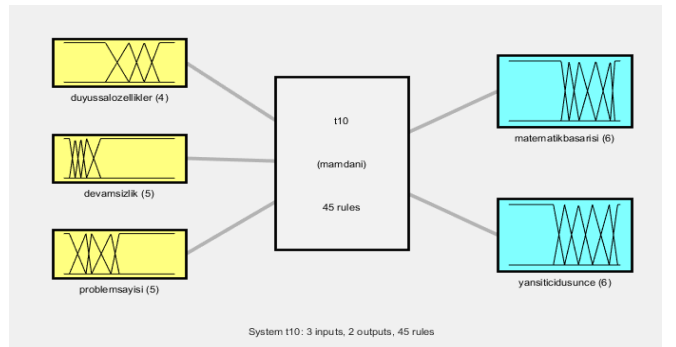
Öğrencilerin duyuşsal özelliklerini saptamak için araştırmacı tarafından EK-A anketi, problem pratiği ile yansıtıcı düşünme becerilerini ölçmek için ise EK-B anketi uygulanmıştır. Bu öğrencilerin devamsızlıklarının tespiti için 1.dönem devamsızlıkları, matematik başarılarına bakmak için ise aynı eğitim ve öğretim yılının 1.dönem matematik dersi not ortalamaları dikkate alınmıştır. Bu veriler ile bilgisayar üzerinde Excel programında tablo oluşturulmuş, bu tablo matlab programına aktarılarak fuzzy logic araç kutusunda incelenmiştir. Buradan çıkan veriler ile gerçek sonuç verileri R^2 de kıyaslanmıştır [2].

Tablo 1. Araştırmada kullanılan girdi ve çıktı verileri [2]

Duyuşsal Özellikler	Devamsızlık	Çözdüğü Problem Sayısı	Matematik Ortalaması	Yansıtıcı Düşünce
78	3	850	88,33	96
88	1	1000	90,77	99
56	2	250	40	50
89	2	850	97,33	93
77	6	780	70,55	97
86	3	65	84,88	97
50	4	120	43,11	60
78	5,5	431	77,44	88
78	14	40	38,11	75
70	2	100	61,22	85
62	1,5	1000	75,55	83
89	0	850	100	100
38	2	25	45,22	36
80	1	500	85,55	78
62	6,5	141	51,22	79
79	0	93	80	89
67	4,5	92	80,11	84
81	0	480	92,66	90
84	6,5	280	53,33	87
86	2,5	400	87,44	92
98	1	120	97	98
74	3,5	94	60,22	68
67	1,5	490	94,66	81

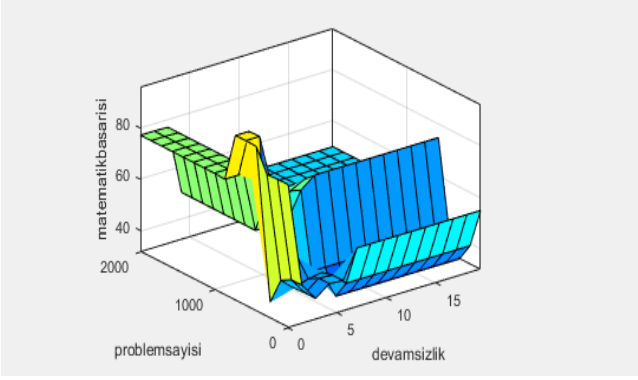
45	3	80	60	54
65	1	100	92,44	78
84	3	90	57	92
77	2	83	94	77
96	3	1000	99,66	100
66	4,5	70	38,88	69
55	0	100	86,22	51
74	4	76	89,11	73
71	3	600	52,22	84
71	6,5	350	44,55	69
76	1	820	81	91
65	9	450	63	66
67	4	550	67,44	58
68	10,5	500	76,55	68
49	3	500	92,33	40
85	8,5	400	45,66	79
71	6,5	500	62,33	76
60	4	500	52,55	46
81	1	500	90,33	78
88	1	500	96	98
72	1	500	86,66	72
93	2,5	500	92	72
44	17,5	65	59,66	51
55	16	400	44,66	56
72	9	600	36,66	74
66	11	400	46,66	64
91	1,5	1000	94,66	86

Bu çalışmada mamdani tipi çıkarım mekanizması ile veriler fuzzy logic olarak modellenmiştir. Modelde duyuşsal özellikler, öğrencilerin devamsızlıkları ve çözdükleri problem sayıları girdi değişkenleri iken matematik ortalamaları ve yansıtıcı düşünceleri çıktı değişkenleridir. Bu durumda üç girdili iki çıktılı model Şekil 4' da gösterilmiştir.

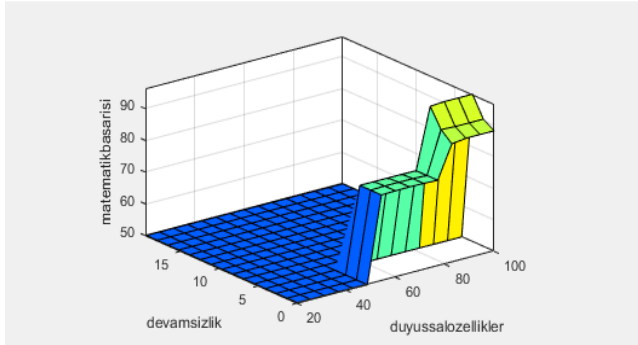


Şekil 4. Bulanık mantık yaklaşımı modelin temel şeması [2]

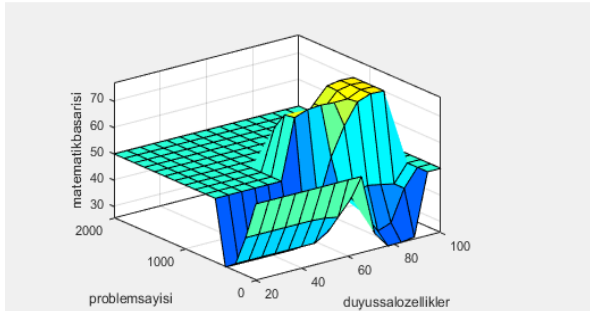
Bulanık mantık modeline kurallar oluşturulmuş ve yüzeyler elde edilmiştir.



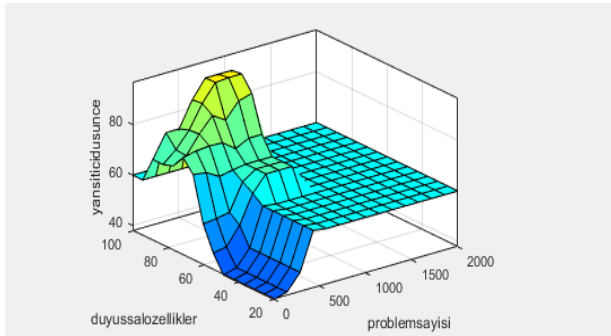
Şekil 5. Problem pratiği ve devamsızlığın matematik başarısına etkisi [2]



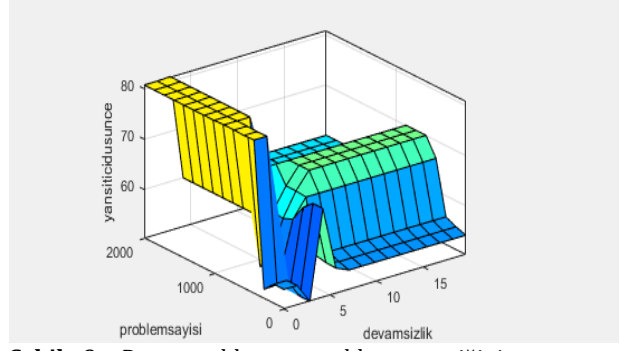
Şekil 6. Duyuşsal özellikler ve devamsızlığın matematik başarısına etkisi [2]



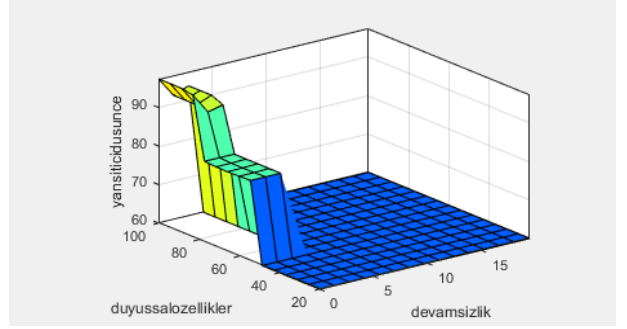
Şekil 7. Duyuşsal özellikler ve problem pratiğinin matematik başarısına etkisi [2]



Şekil 8. Duyuşsal özellikler ve problem pratiğinin yansıtıcı düşünceye etkisi [2]



Şekil 9. Devamsızlık ve problem pratiğinin yansıtıcı düşünceye etkisi [2]



Şekil 10. Devamsızlık ve duyuşsal özelliklerin yansıtıcı düşünceye etkisi [2]

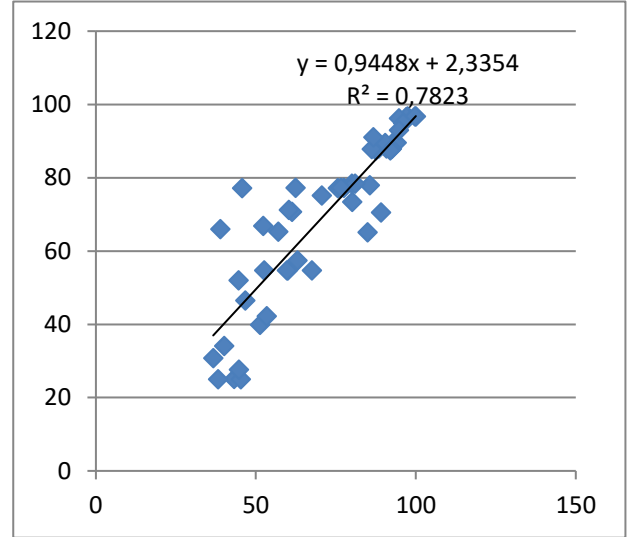
Girdi değişkenleri bulanık mantık modeli ile tahmini olarak sonuçlandırıldı. Bu tahmini değerlerle gerçek sonuçların karşılaştırılması matematik başarısına ve yansıtıcı düşünceye göre ayrı ayrı Tablo 2 ' de ifade edilmiştir.

Tablo2.Gerçek ve tahmini değerlerin karşılaştırılması

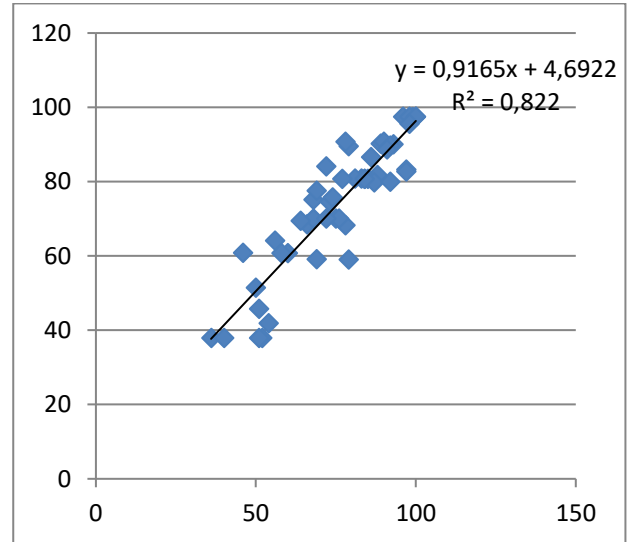
Matematik Başarısı		Yansıtıcı Düşünce	
Gerçek	Tahmin	Gerçek	Tahmin
88,33	88	96	97,4
90,77	88	99	97,3
40	34,1	50	51,4
97,33	96,7	93	90
70,55	75,2	97	83,2
84,88	65,1	97	82,7
43,11	25,1	60	60,7
77,44	77,3	88	81,7
38,11	25	75	70
61,22	70,7	85	80,7
75,55	77,2	83	80,8
100	96,7	100	97,4
45,22	25	36	37,9
85,55	78	52	37,9
51,22	39,9	79	59
80	78,4	89	90,2
80,11	73,4	84	80,7
92,66	89,5	90	90,7

53,33	42,2	87	79,8
87,44	87,5	92	89,7
97	96,6	98	97,4
60,22	71,2	68	75,1
94,66	96,2	81	80,8
60	54,7	54	41,8
92,44	87,9	78	68,2
57	65,3	92	79,9
94	89,6	77	80,7
99,66	96,7	100	97,4
38,88	66	69	59,1
86,22	87,8	51	45,7
89,11	70,5	73	74,6
52,22	66,9	84	80,7
44,55	52	69	77,5
81	78,4	91	88,6
63	57,4	66	68,5
67,44	54,7	58	60,7
76,55	77,3	68	70
92,33	88	40	37,9
45,66	77,2	79	89,5
62,33	77,3	76	70
52,55	54,7	46	60,8
90,33	89,5	78	90,7
96	94,9	98	95,5
86,66	91,1	72	84,1
92	87,5	72	70
59,66	54,7	51	37,9
44,66	27,6	56	64,1
36,66	30,8	74	75,7
46,66	46,5	64	69,4
94,66	93	86	86,6

Öğrencilerin gerçek verileri ile bulanık mantık modelinden elde edilen değerler Excel üzerinde R^2 de karşılaştırılarak korelasyonu hesaplanmıştır. Matematik başarısı benzerlik oranı %78, yansıtıcı düşünce benzerlik oranı ise %82 olarak bulunmuştur.



Şekil 11. Matematik başarısı regresyon analizi grafiği [2]



Şekil 12. Yansıtıcı düşünce regresyon analizi grafiği [2]

4. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada öğrencilerin okula devamsızlıklarının, duyuşsal özelliklerinin ve çözdükleri problem sayısının; matematik başarısına ve yansıtıcı düşünce becerilerine etkisi üzerine araştırma yapılmış, bulanık mantık yöntemiyle model oluşturulmuştur. Modellemede giriş verileri olarak 50 ortaokul öğrencisinin 1.dönem devamsızlıkları, 20 maddelik "Matematik dersi duyuşsal özellikler" anketinin puanları toplamı, 1.dönem çözdükleri problem sayıları; çıkış verileri olarak da 1.dönem matematik dersi not ortalamaları ve 20 maddelik "Matematik dersi yansıtıcı düşünce" nin puanlarının toplamı kullanılmıştır. Giriş ve çıkış değişkenleri arasındaki bağlantıyı anlayabilmek için bulanık kural tabanı oluşturulmuştur.

Mamdani tipi çıkarım mekanizmasında kullanılmıştır ve durulaştırma işleminden sonra sistem MATLAB programında modellenmiştir, en yakın değerler elde

edilmiştir. Bulanık mantık modeliyle elde edilen sonuçların gerçek verilerle benzerlik oranı matematik başarısında %78, yansıtıcı düşünce becerisinde %82 olarak bulunmuştur.

Yapılan araştırma sonucunda çıkan sonuçlara göre; öğrencilerin okula devamsızlığı arttıkça matematik başarıları ve yansıtıcı düşünce becerileri düşmekte, duyuşsal özellik düzeyi ve problem çözme sayıları arttıkça matematik başarıları ve yansıtıcı düşünce becerileri artmaktadır. Bu çalışmayla öğrenciler okula devamsızlık günlerini azalttıklarında, kendilerini her şartta motive edebildiklerinde ve ders dışında çözdükleri problem sayılarını artırdıklarında matematik dersinde daha başarılı olabilmeleri ve konuları, problemleri kendi düşüncelerini katarak daha özgün ifade edebilmeleri doğrultusunda başarılı sonuçlar elde edebileceği düşünülmektedir.

Teşekkür

Bu çalışmada bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan Dr. Öğr. Üyesi Ramazan UYHAN'a teşekkürlerimi sunarım.

Değerli görüşleriyle bana destek olan Dr.Öğr.Üyesi Nurullah YILMAZ'a teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca bu çalışmada öğretici ve yol göstericiliğiyle makalemde büyük emeği olan Prof. Dr. Ahmet ŞAHİNER'e saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmama katılan sevgili ortaokul öğrencilerine teşekkürlerimi ve sevgilerimi sunarım.

Etik Beyanı

Süleyman Demirel Üniversitesi Etik Kurulu'ndan 08.05.2023 tarihinde E-874332956-050.99-493644 sayılı etik kurul kararı ile araştırmamızın etik kurallara uygunluğunu ve 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] Uz,M.,2022, Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Matematik ve Fen Bilimleri Ana Bilim Dalı,Yüksek Lisans Tezi,1-7s, Adana.
- [2] Altunbaş,M.,2023, Devamlılık, Duyuşsal Özellikler Ve Problem Pratiğinin Matematik Başarısı Ve Yansıtıcı Düşünceye Etkisinin Fuzzy Logic İle Modellenmesi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 1-50s, Isparta
- [3] Zadeh,L.A.,1965, FuzzySets.Information and Control, 8 ,338-353s

- [4] Altınörs, A.,2007, Tip-II bulanık mantık ve kayma kipli kontrol yöntemleri ile servo sistemlerin dayanıklı kontrolü/Robust control of servo systems using type-2 fuzzy logic and sliding mode control methods.
- [5] Ballı S., Karasulu B., Uğur A., ve Korukoğlu S., 2009, Basketbolda Oyuncu Seçimi için Sinirsel – Bulanık Karar Destek Sistemi. İTÜ Dergisi, Şubat, 8 (1), 15- 25s
- [6] Passino, K. M., Yurkovich, S.,ve Reinfrank, M. ,1998,*Fuzzy control* (Vol. 42, pp. 15-21). Reading, MA: Addison-wesley.
- [7] Mamdani, E.H., 1974, "Application of Fuzzy Algorithms for Control of Simple Dynamic Plant" Proceedings of the IEEE, 121(12), 1585-1588s

Ekler

Ek A. Matematik Dersi Duyuşsal Özellikler Anketi

MATEMATİK DERSİ DUYUŞSAL ÖZELLİKLER ANKETİ

Adı Soyadı:

Sınıfı:

Bu anket sizin matematik dersindeki duyuşsal özelliklerinizi ölçmek için hazırlanmıştır. Cevaplayacağınız sorular bilimsel bir araştırmada kullanılacak ve gizli tutulacaktır. Dikkatlice okuduktan sonra kendinize uygun olan seçeneği (X) şeklinde işaretleyiniz. Katılımınız için teşekkür ederim.

	Kesinlikle Katılmıyorum(1)	Katılmıyorum(2)	Kararsızım(3)	Katılıyorum(4)	Kesinlikle Katılıyorum(5)
1) Matematik dersini severim.					
2)Matematik dersinin amacını ve katkılarını düşündüğümde matematik dersine olan ilgi ve motivasyonum artar.					
3)Matematik öğretmenimin derste motive edici sözler					

söylemesi beni derse daha çok motive eder.					
4)Matematik dersini anlamadığım zamanlarda bile pes etmem ve derse karşı ilgiliyimdir.					
5)Matematiği günlük yaşamda kullanmak matematik dersine olan ilgi ve motivasyonumu artırır.					
6)Sınıf arkadaşlarımla matematik dersini sevmesi ve derse katılması benimde derse sevmeme ve katılmama katkı sağlar.					
7)Matematik dersini yapabileceğime inandığımda derse daha çok severim.					
8) Matematik öğretmenimin sınıftaki iletişiminin iyi olması derse olan ilgi ve motivasyonumu artırır.					
9) Matematik sınavından yüksek not almam derse olan öğrenme isteğimi artırır.					
10)Günlük yaşamda yaşadığım olumsuzluklar derse olan ilgimi büyük oranda etkilemez.					
11)Sınıf arkadaşlarımla matematik dersini sevmemesi benimde derse olan öğrenme isteğimi düşürür.					
12)Matematik dersinden düşük not almam derse olan ilgi ve motivasyonumu düşürür.					
13)Matematiği öğrenebileceğime dair kendime inanır ve güvenirim.					
14)Matematik dersinden sıkıldığım zamanlarda					

kendimi motive edici şeyler bulmaya çalışırım ve bulurum.					
15)Matematik dersinde farklı öğretim yöntemlerinin kullanılması derse olan öğrenme isteğimi artırır.					
16)Matematik dersinde öğretmenimin dönüt ve ipucu vermesi derse olan öğrenme isteği ve motivasyonumu artırır.					
17)Matematik dersine olumlu tutum geliştirmek için farklı yöntemler uyguladım.(Motive edici kitaplar okumak, içerikler izlemek vb.)					
18)Matematik dersinde materyal kullanımı (görsel araçlar, video vb.) matematik dersini daha çok sevmemi sağlar.					
19)Matematik dersinde bildiğim soruyu tahtaya kalkıp çözdüğümde derse olan ilgi ve motivasyonum artar.					
20) Matematiği yapamayacağıma inandığım zamanlarda motivasyonum düşer.					

Ek B. Matematik Dersi Yansıtıcı Düşünce Ölçme Anketi**MATEMATİK DERSİ YANSITICI DÜŞÜNCE ÖLÇME ANKETİ**

Adı Soyadı:

Sınıfı:

Bu anket sizin matematik dersindeki yansıtıcı düşünce becerinizi ölçmek için hazırlanmıştır. Cevaplayacağınız sorular bilimsel bir araştırmada kullanılacak ve gizli tutulacaktır. Dikkatlice okuduktan sonra kendinize uygun olan seçeneği (X) şeklinde işaretleyiniz. Katılımınız için teşekkür ederim.

	Kesinlikle Katılmıyorum(1)	Katılmıyorum(2)	Kararsızım(3)	Katılıyorum(4)	Kesinlikle Katılıyorum(5)
1) Matematik dersinde Öğretmenimin anlattıklarını kendi düşüncelerimle yorumlayarak kavrama çalışırım.					
2) Matematik dersiyile ilgili soru çözerken yaptığım hatalar üzerine düşünür ve başka çözümler araştırırım.					
3) Anlaşılması zor bir problemi mantıksal şematize ederek çözüme ulaşıyorum.					
4) Matematik dersinde anlamadığım konuları ya da problemleri öğretmene sorarak öğrenmeye çalışırım.					
5) Matematik problemini yanlış çözdüğümde nerede hata yaptığımı kontrol ettikten sonra çözüme ulaşamazsam öğretmene ya da sınıf arkadaşlarıma sorarak öğrenmeye çalışırım.					
6) Matematik dersinde anlatılan bir konuyu					

daha iyi anlamak için araştırmalar yaparım.					
7) Matematik sınavında daha iyi performans göstermek için son sınavıma nasıl çalıştığımı ve nasıl sonuç aldığımı değerlendiririm.					
8) Günlük hayatta bir problemle karşılaştığımda deneyimlerimden faydalanarak çözüm yolları bulmaya çalışırım.					
9) Matematik dersinde konuyu anlattıktan sonra unutmamak için konunun üzerinde çalışma yaparım.					
10) Matematik sınavından sonra yanlış yaptığım soruların doğru cevabını tekrar hata yapmamak için öğrenirim.					
11) Günlük hayatta yapacağım çalışmalarda planlama yaparım, çalışmayı gerçekleştirdikten sonra üstünde düşünerek değerlendirme yaparım.					
12) Matematik dersinde materyal kullanımı (görsel araçlar, video vb.) öğrendiklerimi anlamlandırmama katkı sağlar.					
13) Matematik öğretmenimin derste sorular sorması konular arasında mantıksal bağıntı kurmama katkı sağlar.					
14) Matematik dersine aktif katılmam anlatılanları daha iyi kavramama katkı sağlar.					
15) Matematik dersinde farklı öğretim yöntemlerinin kullanılması bilgiyi kendi düşüncelerimle ifade etmeme katkı sağlar.					
16) Sınıftaki grup çalışmalarında yanlış düşündüğüm konu veya sorularla ilgili arkadaşlarıma dinler ve					

hatalarımı düzeltmeye çalışırım.					
17)Matematik dersinde öğrendiğim bilgileri ezberlemek yerine mantık süzgecinden geçirip kavrama çalışırım.					
18)Matematik dersiyle ilgili çözdüğüm bir problemin daha etkin bir çözüm yöntemi varsa öğretmenimden yada çözen arkadaşlarımdan öğrenmeye çalışırım.					
19)Matematik dersinde eksik veya yetersiz olduğum konularda sınıf arkadaşlarımdan ya da öğretmenimden destek isterim.					
20) Öğrenmenin bir süreç olduğunu bilir daha ileri öğrenmeler için çalışma ve değerlendirmeler yaparım.					

MATEMATİK DERSİ ÇÖZÜLEN SORU SAYISI:

Süleyman Demirel Üniversitesi Etik Kurulu' ndan 08.05.2023 tarihinde E-874332956-050.99-493644 sayılı etik kurul kararı ile araştırmamızda kullandığımız "Matematik Dersi Duyuşsal özellikler" anketi ve "Matematik Dersi Yansıtıcı Düşünce Ölçme" anketi etik kurallara uygundur. Milli Eğitim Bakanlığı tarafından alınan izinlerimizle öğrencilere veli izin belgeleri ve gönüllü katılım formu ile bu araştırma için anket çalışması gerçekleştirilmiştir.

Assessment of atmospheric pollution by heavy metals using transplanted lichen *Pseudevernia furfuracea* (L.) Zopf in Niğde Province, Türkiye

Atila YILDIZ¹, Volkan IŞIK², Sevda Sümer AYDIN³

^{1,2,3} Ankara University, Faculty of Science, Department of Biology, TR-06100, Tandoğan, Ankara / Türkiye

(Alınış / Received: 19.12.2023, Kabul / Accepted: 29.04.2024, Online Yayınlanma / Published Online: 23.08.2024)

Keywords

Biomonitoring,
Heavy metals,
Pseudevernia furfuracea,
Niğde,
Türkiye

Abstract: Air pollution has been proven to affect essential metabolic processes in algae and fungus, making lichens susceptible for over 140 years. Air contaminants such heavy metals, polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs), and sulfur dioxide (SO₂) are collected in lichen thallus to measure air pollution levels. Samples of *Pseudevernia furfuracea* (L.) Zopf were collected from a untouched forest zone (Yapraklı-Çankırı) and transplanted for two three-month periods in 6 stations near the polluted Niğde provincial center in Türkiye. This research aimed (i) to analyze the amounts of Cu, Cd, Ni, Pb, Mn, and Zn with help of Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (ICP-MS) (ii) to compute the levels of chl-a and chl-b (iii) to create a pollution map of the city. According to analysis results for *P. furfuracea* means of heavy metals; in first period 0.36µg g⁻¹, 0.032µg g⁻¹, 0.44µg g⁻¹, 0.70µg g⁻¹, 1.94µg g⁻¹, 0.2 µg g⁻¹; in second period 0.58µg g⁻¹, 0.033µg g⁻¹, 0.36µg g⁻¹, 0.92µg g⁻¹, 1.98µg g⁻¹, 0.65µg g⁻¹ for Cu, Cd, Ni, Pb, Mn, Zn. Whereas means of control stations are 0.26 µg g⁻¹, 0.028 µg g⁻¹, 0.23µg g⁻¹, 0.52µg g⁻¹, 1.90µg g⁻¹, 0.16µg g⁻¹ in 1st period; 0.36 µg g⁻¹, 0.027µg g⁻¹, 0.29 µg g⁻¹, 0.56µg g⁻¹, 1.96µg g⁻¹, 0.58 µg g⁻¹ in 2nd period for for Cu, Cd, Ni, Pb, Mn, Zn. The factors that contribute to high heavy metal levels are as follows: (i) traffic density, (ii) industrial activities, (iii) urban heating activities. *P. furfuracea* was an effective bioaccumulator organism for biomonitoring studies despite the survey's short length.

Transplante Liken *Pseudevernia furfuracea* (L.) Zopf Kullanılarak Niğde İlinde (Türkiye) Atmosferik Ağır Metal Kirliliğinin Değerlendirilmesi

Anahtar Kelimeler

Biyozileme,
Ağır metal,
Pseudevernia furfuracea,
Niğde,
Türkiye

Özet: Hava kirliliğinin alg ve mantarlardaki temel metabolik süreçleri etkilediği ve likenleri 140 yılı aşkın süredir duyarlı hale getirdiği kanıtlanmıştır. Ağır metaller, polisiklik aromatik hidrokarbonlar (PAH'lar) ve sülfür dioksit (SO₂) gibi hava kirlleticileri, hava kirliliği seviyelerini ölçmek için liken talluslarında toplanır. *Pseudevernia furfuracea* (L.) Zopf örnekleri ormanlık bölgeden (Yapraklı-Çankırı) toplanmış ve üç aylık iki dönemde Niğde (Türkiye) il merkezine yakın 6 istasyona nakledilmiştir. Bu araştırmanın amacı (i) İndüktif Eşleşmiş Plazma Kütle Spektrometresi (ICP-MS) kullanarak Cu, Cd, Ni, Pb, Mn ve Zn konsantrasyonlarını analiz etmek (ii) klorofil a ve b seviyelerini hesaplamak (iii) şehrin kirlilik haritasını oluşturmaktır. *P. furfuracea* 'nın analiz sonuçlarına göre ağır metal ortalamaları Cu, Cd, Ni, Pb, Mn, Zn için; ilk periyotta 0.36µg g⁻¹, 0.032µg g⁻¹, 0.44µg g⁻¹, 0.70µg g⁻¹, 1.94µg g⁻¹, 0.2 µg g⁻¹ ikinci periyotta 0.58µg g⁻¹, 0.033µg g⁻¹, 0.36µg g⁻¹, 0.92µg g⁻¹, 1.98µg g⁻¹, 0.65µg g⁻¹ olmuştur. Kontrol istasyonlarının Cu, Cd, Ni, Pb, Mn, Zn ortalamaları ise 1. periyotta 0.26 µg g⁻¹, 0.028 µg g⁻¹, 0.23µg g⁻¹, 0.52µg g⁻¹, 1.90µg g⁻¹, 0.16µg g⁻¹ dir; 2. periyotta 0.36 µg g⁻¹, 0.027µg g⁻¹, 0.29 µg g⁻¹, 0.56µg g⁻¹, 1.96µg g⁻¹, 0.58 µg g⁻¹ bulunmuştur. Yüksek ağır metal seviyelerine sebep olan faktörler şöyledir: (i) trafik yoğunluğu, (ii) endüstriyel faaliyetler, (iii) kentsel ısınma faaliyetleri. *P. furfuracea*, araştırmanın kısa sürmesine rağmen ileri biyozileme çalışmaları için etkili bir biyoakümülatör organizma olmuştur.

*Corresponding author: ayildiz@science.ankara.edu.tr, atilayildiz66@gmail.com

1. Introduction

The utilization of lichens for the purpose of detecting and monitoring the chemical compositions of the atmosphere has been considered very important for a considerable period of time. This is due to the fact that their prolonged life cycle enables the acquisition of long-term information from the ecosystem [1]. The application of cryptogams, particularly lichens and mosses, for biomonitoring has been a popular method in recent years. It has proven to be efficient in identifying the origins and distribution patterns of many persistent airborne pollutants, such as heavy metals, PAHs, dioxins, and furans [2,3,4,5,6,7,8,9]. Contrary to plants, lichens and mosses do not possess a root system. Instead, they depend on gas interchanges, sorption of nutrients, and absorption of contaminants to take place all over their outer layer. [4,10,11]. However, the practicality of using cryptogams as bioindicators of PM contamination is often limited in cases when there are numerous human activities in a small area or when land use is diverse [12]. The utilization of nitrogen, carbon, sulfur, and heavy metal isotope patterns might be advantageous in this regard. Mass spectrometry analysis, an exceptionally efficient and accurate technique, requires just minute amounts of sample [13,14,15,16,17,18]. Nevertheless, the analyses may incur significant expenses, making them potentially unsuitable for large sample collections [9].

Lichens often inhabit many terrestrial environments, however their occurrence in metropolitan settings is frequently influenced by human activities. Passive biomonitoring is rendered useless in such cases and is substituted by active biomonitoring. A technique entails the placement of lichen-filled bags inside a contaminated environment to quantify the extent of contaminants affecting the specimen. [19,20,21,22,23,24]. The features of the pre-exposure lichen material are crucial in the bag method operation. Due to the material's frequent acquisition in untouched locations far from known sources of pollution, most of its components are anticipated to have a minimal amount of contamination. If there is a lack of naturally occurring lichens or their growth is restricted, It is still possible to conduct lichen biomonitoring by bringing live specimens from a different area into the target area. Due to insufficient lichen growth in the research area, it was necessary to use a transplanting method for conducting air monitoring. The use of lichen transplants has numerous advantages, including the ability to utilize various experimental methodologies and the capability to measure levels of elements at the beginning of the monitoring study and during the exposure period [25].

P. furfuracea is a kind of macrolichen that grows on acidic bark in a wide area. It is fruticose, meaning it has a shrub-like growth form, and it prefers moderate

moisture levels and bright light. This lichen has been extensively used in numerous biomonitoring studies, primarily employing the transplant method [39, 58,59,60,61]. This method involves collecting thalli of suitable species from distant locations and exposing them in specific areas to analyze the deposition of trace elements and organic compounds. The lichen is chosen for its easy accessibility, high resistance to harmful gaseous contaminants and climatic stressors, and its capacity to accumulate and store heavy metals [8,26,27].

P. furfuracea has been widely used in past transplanting trials. Due to the inadequate colonization of *P. furfuracea* in the Niğde urban zone, the bag technique was employed during the transplantation operation to assess urban air pollution at selected sites. The bags utilized in this method were constructed from a nylon mesh containing water-rinsed lichens. The risk of contamination through root absorption was eliminated as the lichens contained in the bags were not connected to the soil. The "bag technique" lacks a precise definition regarding the quantity of lichen material, length of exposure, relationship to airborne depositions, and way of the absorption (either passively through trapping atmospheric particles and the cation exchange capacity of external binding points, or actively through biochemical processes in the plasma membrane and cytoplasm). However, it offers the benefit of accumulating data that is collected over the whole period of exposure [8,28]. Any lichen is uniquely adapted to the substrate it grows on, hence *P. furfuracea* has established a suitable environment on *P. sylvestris*, which will impact the accumulation of heavy metals. Furthermore, *P. furfuracea* has the ability to collect heavy metals in various substrates, as seen in Table 1 and 3. We transferred samples of *P. furfuracea* thalli, together with the tree branches (*Pinus sylvestris* L.) they were growing on, from a distant location (Yapraklı-Büyük plateau region) situated at an elevation approximately 1700 m above sea level, to 6 designated places within our study area. Yapraklı is a district of Çankırı and is a clean forested area away from the city and anthropogenic pollution factors. Two lichen bags were affixed to tree twigs or poles at each transplanting site using plastic wires. The lichens were placed at a height of around 3 meters above the soil in order to deter destruction and reduce any natural influence on their capacity to absorb elements.

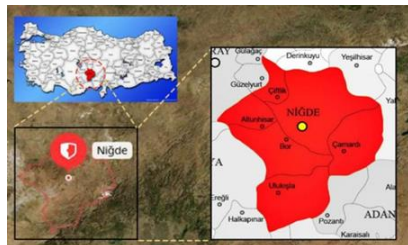
The primary goal of this research was to determine Zn, Cd, Pb, Ni, Mn, Cu accumulation in thallus of *P. furfuracea* that was transplanted in the central area of Niğde. Due to variations in pollution parameters, geographical position, and climatic conditions in all regions, the city of Niğde in the Central Anatolia area of Türkiye was selected for biomonitoring atmospheric heavy metal accumulation. This location

is characterized by high levels of atmospheric element enrichment due to residential areas, traffic, and industrial activities. We conducted a detailed analysis of the quantity of heavy metals present at each station and investigated the root cause. Additionally, we generated a pollution map using data on heavy metal levels, and identified the effect of heavy metal accumulation on changes in chlorophyll content.

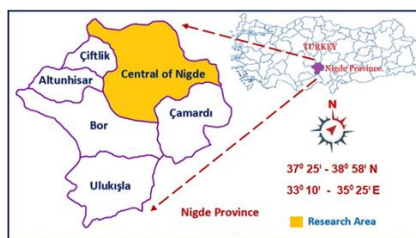
2. Material and Method

2.1. Study area

The research area is situated in the southeastern part of the Central Anatolia Region of Türkiye and inside the Cappadocia Region. Its coordinates are between 37° 25' and 38° 58' N, and 33° 10' and 35° 25' E, as shown in Figure 1. At a height of 1,229 meters above sea level, the area is situated. The land area of this place measures around 2,223 square kilometers, and it is inhabited by a population exceeding 99.308 individuals and has number of registered vehicles in city 41,698 as of 2002 [56,57]. An excel program was used to generate a temperature-rainfall table using the temperature-rainfall data obtained from the State Statistics Institute up to 2002. Niğde experiences the characteristic continental climate of Central Anatolia, characterized by a predominance of closed weather conditions. The summers are characterized by high temperatures and lack of precipitation, while the winters are marked by low temperatures and abundant snowfall. Winter is characterized by snowfall, whereas rainfall is typically noted in spring.



(a)



(b)

Figure 1. Niğde Province (a) from [29] (b) from [30]

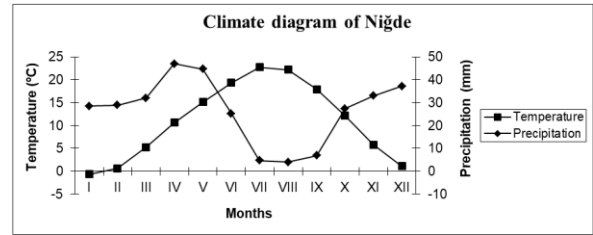


Figure 2. Climate diagram of Niğde Province (2002)

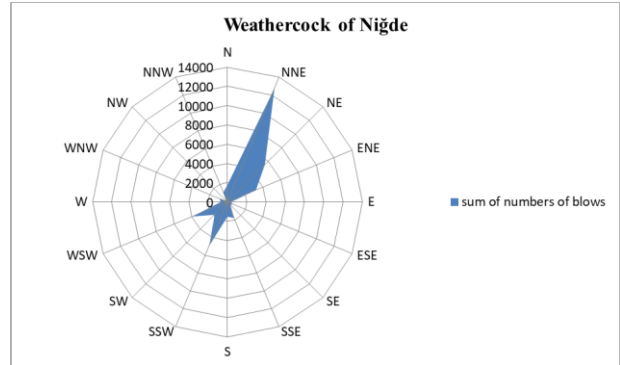


Figure 3. Weathercock of Niğde Province (2002)

The most industrial establishments of Niğde province; cement factory, sugar factory, flour factories, cheese-butter factory, concrete pole factory, tile-brick factories, automobile spare parts. The primary sources of possible contamination in Niğde are: (i) industrial activities, (ii) motor vehicles, (iii) heating activities, (iv) meteorological factors. According to the 2020 air quality assessment report published by the Ministry of Environment, Urbanisation and Climate Change, air pollution in Niğde shows seasonal and topographical characteristics. There is sensed and detected pollution caused by SO₂ in winter, late autumn and early spring. The aforementioned situation illustrates the origin of air pollution in Niğde (in terms of SO₂ pollution) is not a pollution caused by industry and motor vehicles, but an air pollution caused by heating and meteorological factors. Pollutants from motor vehicles also have an effect on air pollution. Traffic density, especially in the morning and evening hours, adversely affects the air. The industrial branches operating in Niğde Province vary. Air pollution caused by industry is mainly caused by wrong site selection, inappropriate fuel use and discharge of waste gases to the receiving environment without adequate technical measures. While the calcite quarries in the vicinity of the city do not directly affect residential areas, the particulate matter produced from the operations of these facilities adversely affects the air quality of the city [31].

2.2. Collection and assessment of lichen samples

P. furfuracea, which grows on other plants without harming them, was chosen as a widely applied indicator of trace elements and PAHs based on previous studies [6,7,8,26,32]. This lichen is very prevalent, easily identifiable, capable of withstanding

stress, resistant to transplantation [7], and has a tendency to capture particle matter due to the formation of many finger-like vegetative propagules called "isidia" [9,33].

Table 1. Geographical positions of stations

Station no	Location	Substrate of the specimens	Elevation of see level (m)	Latitude and longitude
C1	Çankırı-Yapraklı, Yapraklı Büyük Plateau, Dikilitas area (control group)	<i>Pinus sylvestris</i>	1750m	N 40° 47' 600" E 33° 46' 818"
C2	Çankırı-Yapraklı, Yapraklı Büyük Plateau, Dikilitas area (control group)	<i>Pinus sylvestris</i>	1750m	N 40° 47' 600" E 33° 46' 818"
1	Niğde- İnönü Mah., Villalar, 38.Sok., No:14 garden of the house	<i>Populus alba</i>	1320m	N 37° 59' 748" E 34° 40' 599"
2	Niğde- Süleyman Fethi Cad, Rectorate garden	<i>Fraxinus</i> sp.	1320 m	N 37° 58' 155" E 34° 39' 906"
3	Niğde- Selçuk Mah., Old Slaughterhouse Passage, opposite the Watchman's hut, near Niğgaz	<i>Salix</i> sp.	1200 m	N 37° 57' 575" E 34° 40' 695"
4	Niğde- Bor Cad., opposite Kardelen	<i>Fraxinus</i> sp.	1200 m	N 37° 58' 018" E 34° 40' 427"
5	Niğde-Terminal Cad., under Orphanage, Cumhuriyet Bulvarı, Faik Şahenk Boulevard	<i>Fraxinus</i> sp.	1220 m	N 37° 58' 271" E 34° 41' 021"
6	Niğde- Kayseri-Adana Road junction, Hub, Kayseri side, Regional traffic, Niğde exit, Intersection	<i>Robinia pseudoacacia</i>	1270 m	N 37° 57' 988" E 34° 42' 250"

The pre-transplant samples were obtained from branches of individual *Pinus sylvestris* L. trees in the Yapraklı-Çankırı forest region at a height of 1750 meters a.s.l. These trees were located far away from any local sources of pollution in Niğde. The samples were taken at heights ranging from 1 to 5 meters above the ground (Table 1). Paper bags were used to carefully collect the specimen of lichen, which was accompanied by a twig that served as a support. It was then brought to the laboratory, where it was allowed to dry naturally at room temperature for a period of time. The exposure occurred on July 4th, 2002, within one hour of conducting fieldwork. In order to prevent damage and reduce the impact of natural variables on the lichens' ability to capture elements, two lichen bags were firmly fastened to tree branches or poles with the help of plastic cables. The bags were positioned at an elevation of around 3 meters above floor at each transplantation site. The initial **sampling from lichen thallus** was gathered

on October 5, 2002, while the subsequent sampling was obtained on January 9, 2003. Following exposure, the samples were transferred to the laboratory, where the bags were unzipped and left to dehydrate at ambient temperature. Furthermore, although we initially had a total of 7 stations, the sample inexplicably vanished from one of the sites.

2.3. Lichen specimen preparation and heavy metal determinations

Following the collection of transplanted lichen specimens, they underwent twice of washing using regular and distilled water to eliminate any extraneous materials such as soil particles, sand, dust, and bark. The samples were dehydrated for a duration of 24 hours at a temperature of 80°C using yellow paper bags. This was done to prevent any microbial decay and to get accurate reference values for dry weight. The dried samples were pulverized using a mortar to ensure uniformity and dispersion of heavy metals.

The glass, plastic, and ceramic materials were soaked in a solution of detergent and water for an extended period of time, followed by rinsing with regular water and then immersion in a 20% concentration of nitric acid overnight. Subsequently, the glassware was cleansed using double distilled water and subsequently subjected to a drying process in a 60 °C oven for a duration of 12 hours. The standard treatments and solutions were prepared using a mixture of 65% w/w nitric acid and 35% w/w hydrochloric acid (Merck reagent). Nitric acid (HNO₃) is frequently employed for the dissolution of lichen material. A total of 1 gram of dehydrated lichen samples were incinerated in a porcelain crucible for a duration of 24 hours at a temperature of 460°C. The charred ash samples were placed into a 100 mL beaker containing a solution of 65% 100 molar concentration nitric acid (HNO₃). The beakers were heated in a sand bath to facilitate the evaporation and precipitation of HNO₃. After the process of evaporation, the remaining fraction was transferred to a centrifuge beaker and the capacity was expanded to 15 ml using a 1% HNO₃ solution. After centrifuging the extract at a speed of 3000 rpm for 20 minutes (equivalent to 1157 g of relative centrifugal acceleration), it was transferred to a 25 ml beaker and then diluted to a final volume of 25 ml using a 1% HNO₃ solution. The ICP-MS instrument was employed to assess the concentration of heavy metals in all samples, including the control station.

2.4. Chlorophyll measurement

5 mL DMSO was administered to the lichen thallus throughout the extraction procedure to produce chlorophyll from 20 milligrams of dried lichen material. The lichen extract-containing tubes were then held in the dark at 65 °C for 40 minutes before

being allowed to achieve ambient temperature. Whatman no 3 filtration paper was employed to filter lichen extracts. The UV-Spectrophotometer was regulated at 750 nm. The samples' absorbance ranges were estimated at 665 and 648 nm. The calculations were done using DMSO, 100% (pure solvent) (DMSO=Dimethyl sulphoxide (for synthesis) 99% purity, Merck 8.02912). Chlorophyll content was calculated according to equations (1), (2) and (3) of [34]

$$\begin{aligned} \text{Chlorophyll-a} &= 14.85A^{665} - 5.14A^{648} & (1) \\ \text{Chlorophyll-b} &= 25.48A^{648} - 7.36A^{665} & (2) \\ \text{Chlorophyll (a+b)} &= 7.49A^{665} + 20.34A^{648} & (3) \end{aligned}$$

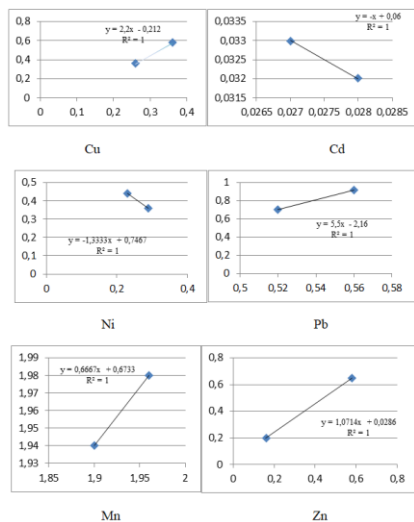
3. Results

3.1. Element contents of the lichen transplants

Clean samples obtained from the Yapraklı-Çankırı forests region and exposed near the Niğde city center revealed a significant accumulation of heavy metals. Table 2 displays the average levels of heavy metal contents in the 1st and 2nd exposure periods and in terms of these means, there is a positive correlation between each element and the control station in 1st and 2nd periods.

Table 2. Mean values of heavy metals contents in 1st and 2nd exposure periods ($\mu\text{g g}^{-1}$) and correlation of these averages between each element and the control station in the 1st and 2nd periods.

	Periods	Cu	Cd	Ni	Pb	Mn	Zn
Control stations	1	0,26	0,028	0,23	0,52	1,90	0,16
	2	0,36	0,027	0,29	0,56	1,96	0,58
Exposure stations	1	0,36	0,032	0,44	0,70	1,94	0,2
	2	0,58	0,033	0,36	0,92	1,98	0,65

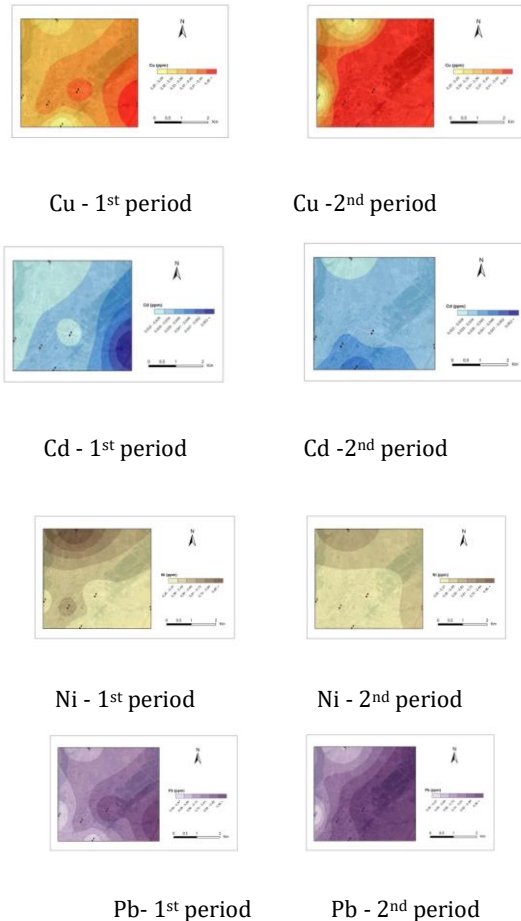


According to analysis results for *P. furfuracea* means of heavy metals; in first period $0.36 \mu\text{g g}^{-1}$, $0.032 \mu\text{g g}^{-1}$, $0.44 \mu\text{g g}^{-1}$, $0.70 \mu\text{g g}^{-1}$, $1.94 \mu\text{g g}^{-1}$, $0.2 \mu\text{g g}^{-1}$; in second period $0.58 \mu\text{g g}^{-1}$, $0.033 \mu\text{g g}^{-1}$, $0.36 \mu\text{g g}^{-1}$, $0.92 \mu\text{g g}^{-1}$, $1.98 \mu\text{g g}^{-1}$, $0.65 \mu\text{g g}^{-1}$ for Cu, Cd, Ni, Pb,

Mn, Zn. Whereas means of control stations are; in 1st period $0.26 \mu\text{g g}^{-1}$, $0.028 \mu\text{g g}^{-1}$, $0.23 \mu\text{g g}^{-1}$, $0.52 \mu\text{g g}^{-1}$, $1.90 \mu\text{g g}^{-1}$, $0.16 \mu\text{g g}^{-1}$; in 2nd period $0.36 \mu\text{g g}^{-1}$, $0.027 \mu\text{g g}^{-1}$, $0.29 \mu\text{g g}^{-1}$, $0.56 \mu\text{g g}^{-1}$, $1.96 \mu\text{g g}^{-1}$, $0.58 \mu\text{g g}^{-1}$ for for Cu, Cd, Ni, Pb, Mn, Zn (Table 3). Figure 4 illustrates the air pollution maps created based on the heavy metal data at the exposure stations.

Table 3. Heavy metal contents of clean and exposed *P. furfuracea* lichen samples analysis for each stations ($\mu\text{g g}^{-1}$)

Stations	Periods	Cu	Cd	Ni	Pb	Mn	Zn
C1*	1	0.28423	0.02621	0.27508	0.51637	1.89763	0.15076
	2	0.38909	0.02757	0.28306	0.55338	1.94752	0.57671
C2*	1	0.25191	0.03153	0.20229	0.52883	1.91850	0.18884
	2	0.34413	0.02832	0.31485	0.56882	1.98790	0.58973
1	1	0.31401	0.02208	0.96226	0.63504	2.46733	0.23323
	2	0.28011	0.02564	0.59925	0.56602	2.09254	0.49185
2	1	0.32159	0.02212	0.32397	0.48804	1.66188	0.16847
	2	0.23505	0.02847	0.28212	0.48029	1.49659	0.60287
3	1	0.25080	0.03316	0.27445	0.53006	1.48448	0.16700
	2	0.43639	0.04568	0.30920	0.88345	1.96096	0.29325
4	1	0.39251	0.03098	0.56249	0.69905	2.24653	0.22314
	2	0.47377	0.03424	0.30434	0.83700	1.80414	0.90077
5	1	0.41504	0.02629	0.29624	0.88979	1.99383	0.34427
	2	0.60392	0.03162	0.31500	0.96374	1.97278	0.55663
6	1	0.47260	0.05773	0.24648	0.97326	1.82779	0.38721
	2	1.48957	0.03296	0.40016	1.80854	2.58594	1.06657



	Periods	Chl-a	Chl-b	Chl a+b
Control stations	1	6,381	1,527	7,908
	2	7,072	2,024	9,097
Exposure stations	1	3,378	0,665	4,043
	2	3,174	1,312	4,486

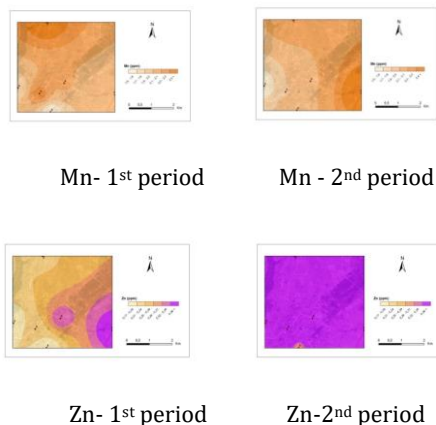
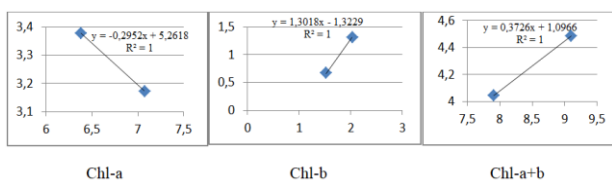


Figure 4. Niğde pollution maps categorized by heavy metal concentrations

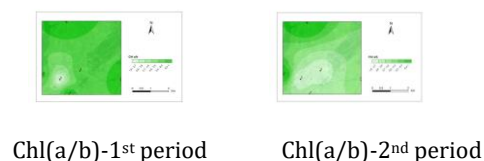
3.2. Chlorophyll contents

The average amount of chlorophyll of the lichen specimens transplanted to the city center of Niğde exhibited a notable decline throughout the first and second periods, as compared to the specimens collected from the forest region of Yapraklı-Çankırı. Within this particular framework, there exists a statistically significant association between pollution and a reduction in chlorophyll concentration (Table 4).

Table 4. Average concentrations of Chl(a), Chl(b), chl(a+b) in micrograms per milliliter (µg/ml) and correlation between exposure and control stations.



Chlorophyll contents of Chl-a, Chl-b, Chl-a+b also Chl-a/b and Chl-b/a ratios in 1st and 2nd periods are given



in Table 5. Especially Chl-a, at 4th station in 1st period and at 5th station in 2nd period shows min value. Chl-b at all exposure stations in 1st period shows values that are almost close but surprisingly in 2nd period at 4th station shows max value. The chlorophyll maps of lichens exposed to pollution at the stations are presented in Figures 5 and 6.

Table 5. Chl(a), Chl(b) and Chl(a+b) contents (µg/ml) and

Stations	Periods	Chl-a	Chl-b	Chl a+b	Chl a/b	Chl b/a
C1*	1	7.7827	1.945	9.7277	5.0007	0.312
	2	9.252	3.013	12.265	4.5167	0.3337
C2*	1	4.9797	1.109	6.0887	5.7143	0.2017
	2	4.8937	1.036	5.9297	5.9523	0.1983
1	1	3,59	0,494	4,084	7,267	0,138
	2	4,004	0,492	4,496	8,138	0,250
2	1	3,565	0,549	4,114	6,494	0,154
	2	4,521	0,58	5,101	7,795	0,128
3	1	4,234	0,608	4,842	6,964	0,144
	2	1,898	0,596	2,494	3,185	0,314
4	1	2,291	1,295	3,586	1,769	0,565
	2	5,286	5,2	10,486	1,017	0,984
5	1	3,244	0,548	3,792	5,92	0,169
	2	0,727	0,373	1,1	1,949	0,513
6	1	3,348	0,496	3,844	6,75	0,148
	2	2,612	0,631	3,243	4,139	0,242

Chl (a/b), Chl (b/a) ratios for each stations

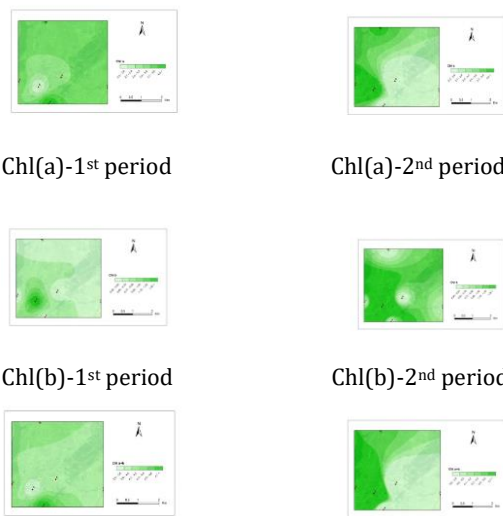


Figure 5. Niğde pollution maps based on chl(a), Chl(b), and chl(a+b) concentrations.

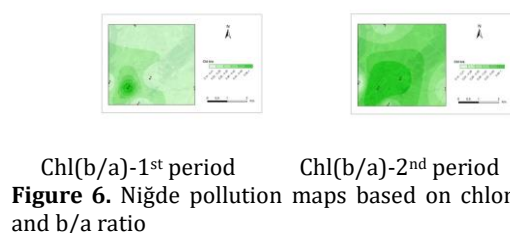


Figure 6. Niğde pollution maps based on chlorophyll a/b and b/a ratio

4. Discussion and Conclusion

The highest Cu contents were $0,60 \mu\text{g g}^{-1}$ at 5th station in 2nd period and lowest $0,250 \mu\text{g g}^{-1}$ at 3rd station in 1st period. When Cu contents are analysed, it is observed that there are significantly high values in the 2nd periods of the 3rd, 4th, 5th, and 6th stations. The 3rd station being close to gas station (NiğGas) and motor vehicle traffic and urban winter heating activities, and the 4th, 5th, and 6th stations being close to motor vehicle traffic and urban winter heating activities support this increase in Cu values. Similar findings for Cu had been reported by [35,36,37,38,39].

As stated in a study [40], plants from uncontaminated locations exhibit $0.01\text{-}0.3 \mu\text{g g}^{-1}$ Cd. Cd value ranges at exposure stations vary between 0.02 and 0.05. The highest Cd value was recorded at station 6 in the 1st period. Cd values at other stations did not show a significant variation compared to control stations. The fact that **6th station** is located on a high traffic route supports that Cd is associated with motor vehicle exhaust gas [41].

The maximum Ni value was found in the 1st and 2nd periods of the 1st station, as well as the 1st period of the 4th station, while the lowest Ni value was found in the 1st period of the 6th station. Seasonal winter heating activities (coal) and vehicular traffic are two variables that contribute to elevated Ni levels [42]. The authorized limit value for Ni in plants, as determined by the FAO/WHO, is $5 \mu\text{g g}^{-1}$ [43]. In this investigation, the average Ni content was $0.40 \mu\text{g g}^{-1}$. The average Ni content observed in the current research is lower than that found in [39,44,45] investigations. The quantity is below the acceptable Ni concentration for plants.

While the 1st and 2nd periods of the 4th, 5th and 6th stations and the 2nd period of the 3rd station showed considerably higher Pb values than the control stations, the other stations showed relatively similar values. As shown from Table 2, the average Pb value of the control station in the 1st and 2nd periods was $0.52 \mu\text{g g}^{-1}\text{-}0.56 \mu\text{g g}^{-1}$ and the mean of the exposure stations was $0.70 \mu\text{g g}^{-1}\text{-}0.92 \mu\text{g g}^{-1}$. Equivalent results were made by [46] with *Flavoparmelia caperata* (L.) Hale, by [37], [47], [48], [49] with *P. furfuracea*. The contribution of gasoline to Pb concentrations in the atmosphere is decreasing, however coal and gasoline combustion remain the primary producers of harmful chemicals in the environment [49]. The pollution of Pb is connected to the release of pollutants from vehicles and the burning of gasoline [42]. [50] examined the existence of heavy metals in a small number of samples and discovered that automobiles released significant levels of Pb and Cu. The measurements of Pb accumulation clearly reveal Pb contamination at stations 4, 5, and 6, which may be identified to motor vehicles sources.

Table 3 shows that Mn values were high in 1st and 2nd periods of 1st and 5th stations, in 1st period of 4th station and in 2nd period of 6th station. The emissions from vehicles caused considerable bioaccumulation at these stations. In contrast to the control station, fewer metrics were assessed at the 2nd and 3rd stations. 1st and 2nd period Mn average of exposure stations is $1.96 \mu\text{g g}^{-1}$, whereas the average of the control stations is $1.93 \mu\text{g g}^{-1}$. The mean Mn content observed is lower than the Mn content reported in [38,44,45] research.

The Zn level of lichen specimens proved to be related to road traffic. Based on research, the primary sources of Zn pollution include petroleum, fuel oils, composting, and metal alloys. The elevated levels of zinc in areas such as industry, urban roads, urban sites, urban parks, and shanty settlements indicate the influence of high traffic intensity and the wearing of car tires [37,51]. At exposure situations, highest Zn value was measured in the 2nd period of the 6th station ($1,06 \mu\text{g g}^{-1}$), 4th stations, which were related to traffic and the lowest value was measured in the 1st period of the 2nd and 3rd stations ($0,16 \mu\text{g g}^{-1}$). Similar results were found by [52] and [47].

Photosynthetic pigment levels may be readily quantified and are commonly employed to evaluate the impact of metal toxicity on plants and lichens. Heavy metals are believed to impact enzymes responsible for regulating chlorophyll production, hence inhibiting the productivity of chlorophyll pigments. The study [53] revealed that Zn decreased photosynthetic pigments by replacement of Fe, which is essential for the synthesis of chlorophyll. At 4th and 6th stations, this situation was observed for Zn. Based on reference [54], the presence of Cu has resulted in a decrease in chlorophyll levels. At the 5th and 6th stations, this situation was observed for Cu. The degradation of chlorophyll in plant cells is induced by the buildup of heavy metals. In a study [63], the concentrations of Cu at 100 and $200 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ had no significant impact on the levels of Chl a, Chl b, Chl a + b, and Chl a/b. However, when the concentrations were raised to 400 and $800 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$, there was a substantial drop in the levels of Chl a, Chl b, and Chl a + b. Zn caused a substantial drop in the levels of chlorophyll a (Chl a), total chlorophyll (Chl a + b), and the ratio of Chl a to Chl b in the treated plants. However, this effect was seen only at a dosage of $800 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$. Zinc had no significant impact on the content of chlorophyll b (Chl b).

Heavy metal presence owing to heating and vehicle traffic (especially at 3rd, 4th, 5th, 6th stations) is related with reduced chlorophyll content in lichen thallus, as seen in Table 5. The chl(a+b) decline map confirmed that the photosynthetic pigments had totally degenerated, providing evidence for this outcome. The chl(a/b) maps indicated that chl(a) was more adversely afflicted by air pollution compared to

chlorophyll b. Furthermore, the pollution resulted in a reduction in photosynthetic pigments, as anticipated. The accuracy of the finding was further confirmed by the examination of the chlorophyll b/a maps. The variations in the amounts and ratios of chlorophyll a and b might potentially be caused by environmental stressors, such as pollution. The level of chlorophyll in lichen thallus is often correlated with environmental adversity, exhibiting higher chlorophyll content in stressful settings compared to non-stressful situations [55]. Furthermore, [55] observed that the positioning of the station did not impact the amount of chlorophyll present in the lichen thalli. Further inquiry is necessary to establish the correlation between these alterations and factors such as contaminants, climatic conditions, seasons, the amount of light, and the lichen organism itself.

From chemical point of view, heavy metal contents of lichen thallus exposed to pollution for 6 months at 3-month intervals are expected to increase. The findings of the present investigation suggest that the accumulation of metals in lichens is significantly affected by the location of the station and the duration of exposure. This survey found that heavy metal concentrations of *P. furfuracea* in Niğde was higher than at the control station and suggests that *P. furfuracea* is a species that effectively collects heavy metals in lichen-bags that are exposed in urban areas.

Before the start of our biomonitoring research, we underline the importance of how the amount of elements in thallus of lichen samples with low elemental content, taken from natural flora away from pollution factors, may react to heavy metals after transplantation to polluted areas. This will assist us in improving the quality of the bioaccumulation data, allowing us to enhance the accuracy of interpretations of our findings in future studies.

Acknowledgment

The authors express their gratitude to Prof. Dr. Dilek DEMİREZEN from Erciyes University in Kayseri (Türkiye) for her invaluable assistance in conducting the heavy metal analysis. They also extend their thanks to Dr. Ediz ÜNAL from the Central Research Institute for Field Crops, Ministry of Food Agriculture and Livestock (TAGEM)-Türkiye for creating the air pollution maps. Additionally, the authors acknowledge the contributions of Prof. Dr. Ahmet AKSOY from Akdeniz University-Türkiye and Dr. Çiğdem VARDAR from Üsküdar American College-Istanbul/Türkiye for their aesthetic scrutiny and assessment of the work.

Declaration of Ethical Code

In the present research, we ensure compliance with all the regulations outlined in the "Higher Education

Institutions Scientific Research and Publication Ethics Directive" and confirm that none of the actions listed under the section "Actions Against Scientific Research and Publication Ethics" are performed.

References

- [1] Augusto, S., Máguas, C., & Branquinho, C. 2013. Guidelines for biomonitoring persistent organic pollutants (POPs), using lichens and aquatic mosses – A review. *Environmental Pollution*, 180, 330–338.
- [2] Augusto, S., Sierra, J., Nadal, M., Schuhmacher, M. (2015). Tracking polycyclic aromatic hydrocarbons in lichens: It's all about the algae. *Environ Pollut.* 207:441-5.
- [3] Bargagli, R., Mikhailova, I. 2002. Accumulation of Inorganic Contaminants. In: Nimis, P.L., Scheidegger, C., Wolseley, P.A. (eds) *Monitoring with Lichens — Monitoring Lichens*. NATO Science Series, vol 7. Springer, Dordrecht.
- [4] Lucadamo, L., Anna, C., Gallo, L. 2017. Local wind monitoring matched with lichen *Pseudevernia furfuracea* (L.) Zopf transplantation technique to assess the environmental impact of a biomass power plant," *Turkish Journal of Botany*: Vol. 41: No. 2, Article 4.
- [5] Nascimbene, J., Tretiach, M., Corana, F., Lo, Schiavo F., Kodnik, D., Dainese, M., Mannucci, B. 2014. Patterns of traffic polycyclic aromatic hydrocarbon pollution in mountain areas can be revealed by lichen biomonitoring: a case study in the dolomites (Eastern Italian Alps). *Sci. Total Environ.* 475:90–96.
- [6] Tretiach, M., Adamo, P., Bargagli, R., Baruffo, L., Carletti, L., Crisafulli, P., Giordano, S., Modenesi, P., Orlando, S., Pittao, E. 2007. Lichen and moss bags as monitoring devices in urban areas. Part I: influence of exposure on sample vitality. *Environ. Pollut.* 146:380–391.
- [7] Tretiach, M., Candotto, Carniel, F., Loppi, S., Carniel, A., Bortolussi, A., Mazzilis, D., Del Bianco, C. 2011. Lichen transplants as a suitable tool to identify mercury pollution from waste incinerators: a case study from NE Italy. *Environ Monit Assess.* 175(1-4):589-600.
- [8] Kodnik, D., Winkler, A., Candotto, Carniel F., Tretiach, M. 2017. Biomagnetic monitoring and element content of lichen transplants in a mixed land use area of NE Italy. *Sci Total Environ.* 1;595:858-867.
- [9] Bargagli, R. 1998. Trace Elements in Terrestrial Plants. An ecophysiological approach to

- biomonitoring and biorecovery. Springer, Berlin, 324 p.
- [10] Garty, J. 2000. Environment and elemental content of lichens. In: Trace Metals in the Environment. Chapter 8. Volume 4, 2000, Pages 245-276.
- [11] Capozzi, F., Giordano, S., Di Palma A., Spagnuolo, V., De Nicola, F., Adamo, P. 2016. Biomonitoring of atmospheric pollution by moss bags: Discriminating urban-rural structure in a fragmented landscape. *Chemosphere*. 2016 Apr;149:211-8.
- [12] Batts, J.E., Calder, L.J., Batts, B.D. 2004. Utilizing stable isotope abundances of lichens to monitor environmental change. *Chem. Geol.*, 204 (2004), pp. 345-368.
- [13] Cloquet, C., Muynck, D.D., Signoret, J., Vanhaecke, F. 2009. Urban/periurban aerosol survey by determination of the concentration and isotopic composition of Pb collected by transplanted lichen *Hypogymnia physodes* *Environ. Sci. Technol.*, 43 (2009), pp. 623-629,
- [14] Purvis, O.W., Chimonides, P.J., Jones, G.C., Mikhailova, I.N., Spiro, B., Weiss, D.J., Williamson, B.J. 2004. Lichen biomonitoring near Karabash smelter town, ural mountains, Russia, one of the most polluted areas in the world. *Proc Biol Sci*. 2004 Feb 7;271(1536):221-6.
- [15] Spiro B, Weiss DJ, Purvis OW, Mikhailova I, Williamson BJ, Coles BJ, Udachin V. 2004. Lead isotopes in lichen transplants around a Cu smelter in Russia determined by MC-ICP-MS reveal transient records of multiple sources. *Environ Sci Technol*. 2004 Dec 15;38(24):6522-8.
- [16] Wadleigh MA. 2003. Lichens and atmospheric sulphur: what stable isotopes reveal. *Environ Pollut*. 2003;126(3):345-51.
- [17] Wiseman, R., Wadleigh, M. 2002. Lichen response to changes in atmospheric sulphur: isotopic evidence. *Environmental Pollution* 116, 235-241.
- [18] Boonpeng, C., Sangiamdee, D., Noikrad, S., Boonpragob, K. 2023. Assessing seasonal concentrations of airborne potentially toxic elements in tropical mountain areas in thailand using the transplanted lichen *Parmotrema Tinctorum* (Despr. ex Nyl.) Hale. *Forests*. 2023; 14(3):611.
- [19] Loppi, S., Ravera, S., Paoli, L. 2019. Coping with uncertainty in the assessment of atmospheric pollution with lichen transplants, *Environmental Forensics*, 20:3, 228-233.
- [20] Godinho, R.M., Freitas, M.C., Wolterbeek, H.T. 2004. Assessment of lichen vitality during a transplantation experiment to a polluted site. *J Atmos Chem* 49, 355-361 (2004).
- [21] Carreras, H.A., Pignata, M.L. 2001. Comparison among air pollutants, meteorological conditions and some chemical parameters in the transplanted lichen *Usnea amblyoclada*. *Environ Pollut*. 2001;111(1):45-52.
- [22] Carreras, H.A., Pignata, M.L. 2002. Biomonitoring of heavy metals and air quality in Cordoba City, Argentina, using transplanted lichens. *Environ Pollut*. 2002;117(1):77-87.
- [23] Abas, A., Aiyub, K., Awang, A. 2022. Biomonitoring potentially toxic elements (PTEs) using lichen transplant *Usnea misaminensis*: A Case Study from Malaysia. *Sustainability*. 2022; 14(12):7254.
- [24] Gallo, L., Corapi, A., Loppi, S., Lucio, L. 2014. Element concentrations in the lichen *Pseudevernia furfuracea* (L.) Zopf transplanted around a cement factory (S Italy), Ecological indicators. 2014, Vol 46, pp 566-574, 9 p ; ref : 3/4 p.
- [25] Incerti, G., Cecconi, E., Capozzi, F., Adamo, P., Bargagli, R., Benesperi, R., Carniel, F.C., Cristofolini, F., Giordano, S., Puntillo, D., Spagnuolo, V., Tretiach, M. 2017. Intraspecific variability in baseline element composition of the epiphytic lichen *Pseudevernia furfuracea* in remote areas: implications for biomonitoring of air pollution. *Environ Sci Pollut Res Int*. 2017 Mar;24(9):8004-8016.
- [26] Paola, M., Paolo, G., Paolo, M., Luisa, A.M., MAGI, E., Francesco, S. 2014. Bioaccumulation capacity of two chemical varieties of the lichen *Pseudevernia furfuracea*, Ecological indicators. 2014, Vol 45, pp 605-610, 6 p ; ref : 3/4 p.
- [27] Brodo, I.M. 1961. Transplant experiments with corticolous lichens using a new technique. - *Ecology* 42(4): 838-841.
- [28] Niğde ili ve ilçeleri haritası <https://sehirsorgula.com/nigde-ilceleri/> (Erişim Tarihi: 12/12/2023)
- [29] Bağdatlı, M. C. & Öztekin, M. E. 2021. Determination of Land Use Capabilities by GIS Analysis in Niğde Province, Turkey . *Eurasian Journal of Agricultural Research* , Volume 5 Issue 2 , 121-129 . Retrieved from

<https://dergipark.org.tr/en/pub/ejar/issue/66343/986937>.

- [30] Air Quality Bulletin. 2020. Turkey Ministry of Environment, Urbanisation and Climate Change, (2020). Air Quality Bulletin, Annual.
- [31] Kodnik, D., Candotto, Carniel F., Licen, S., Tolloi, A., Barbieri, P., Tretiach, M. 2015. Seasonal variations of PAHs content and distribution patterns in a mixed land use area: a case study in NE Italy with the transplanted lichen *Pseudevernia furfuracea*. Atmos. Environ. 113, 255–263.
- [32] Tretiach, M., Crisafulli, P., Pittao, E., Rinino, S., Roccotiello, E., Modenesi, P. 2005. Isidia ontogeny and its effects on the CO₂ gas exchanges of the epiphytic lichen *Pseudevernia furfuracea* (L.) Zopf. Lichenologist 37, 445–462.
- [33] Barnes, J. D., Balaguer, L., Manrique, E., Elvira, S., Davison, A. W. 1992. A reappraisal of the use of DMSO for the extraction and determination of chlorophylls a and b in lichens and higher plants. Environ Exp Bot, 1992, vol.32, pp. 83–100.
- [34] Giordano, S., Adamo, P., Spagnuolo, V., Tretiach, M., Bargagli, R. 2013. Accumulation of airborne trace elements in mosses, lichens and synthetic materials exposed at urban monitoring stations: towards a harmonisation of the moss-bag technique. Chemosphere. 2013 Jan;90(2):292-9.
- [35] Onder, S., Dursun, S. 2006. Air borne heavy metal pollution of *Cedrus libani* (A. Rich) in the city centre of Konya (Turkey). Atmospheric Environment, 2006, vol. 40, pp.1122-1133.
- [36] Aksoy, A., Leblebici, Z., Halici, M.G. 2010. Biomonitoring of heavy metal pollution using lichen (*Pseudevernia furfuracea* (L.) Zopf) Exposed in bags in a semi-arid region, Turkey. M. Ashraf et al. (eds.), Plant Adaptation and Phytoremediation, DOI 10.1007/978-90-481-9370-7_3, C Springer Science+Business Media B.V. 2010.
- [37] Ferah, K. 2019. Rize, Trabzon ve Artvin illerindeki hava kirliliğinin *Cladonia rangiformis* ve *Pseudevernia furfuracea* türleri kullanılarak belirlenmesi. Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- [38] Işık, V., Vardar, Ç., Aksoy, A., Yıldız, A. 2023. Biomonitoring of heavy metals by *Pseudevernia furfuracea* (L.) Zopf in Aksaray city, Turkey. EQA - International Journal of Environmental Quality, 2023, vol. 56(1), pp. 52–61.
- [39] Allen, S.E. 1989. Analysis of ecological materials. Blackwell Scientific Publications, Oxford.
- [40] Zschau, T., Getty, Y., Ameron, A., Zambrano, Nash, T. H. 2003. Historical and current atmospheric deposition to the epilithic lichen *Xanthoparmelia* in Maricopa County, Arizona. Environmental Pollution, 2003, vol.125, pp.21-30.
- [41] Valkoviç, V. 1983. Trace elements in coal, Vol I & II. Boca Raton, 1983, Florida CRC Press.
- [42] Ozkan, A. 2017. Antakya-Cilvegözü karayolu etrafındaki tarım arazilerinde ve bitkilerdeki ağır metal kirliliği. Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 32, 9-18.
- [43] Agnan, Y., Probst, A., Sejalon-Delmas, N. 2017. Evaluation of lichen species resistance to atmospheric metal pollution by coupling diversity and bioaccumulation approaches : a new bioindication scale for french forested areas. Open Article in Ecological Indicators, 72, 99-110.
- [44] Gerdol, R., Marchesini, R., Iacumin P., Brancaleoni L. 2014. Monitoring temporal trends of air pollution in an urban area using mosses and lichens as biomonitors. Chemosphere, 108, 388-395.
- [45] Loppi, S., Frati, L., Paoli, L., Bigagli, V., Rossetti, C., Bruscoli, C., Carsini, A. 2004. *Flavoparmelia coperata* thalli as indicators of temporal variations of air pollution in the town of Montecatini Terme (central Italy). Sci Total Environ 326:113–122.
- [46] Guidotti, M., Stella, D., Dominici, C., Blasi, G., Owczarek, M., Vitali, M., Protano, C. 2009. Monitoring of traffic-related pollution in a province of central Italy with transplanted lichen *Pseudevernia furfuracea*. Bull Environ Contam Toxicol. 2009 Dec;83(6):852-8.
- [47] Sorbo, S., Aprile, G., Strumia, S., Castaldo, C. R., Leone, A., Basile, A. 2008. Trace element accumulation in *Pseudevernia furfuracea* (L.) Zopf exposed in Italy's so called Triangle of Death. Sci Total Environ 407:647–654.
- [48] Sujetovien, G. 2015. Monitoring lichen as indicators of atmospheric quality. In Recent Advances in Lichenology; Upreti, D., Divakar, P., Shukla, V., Bajpai, R., Eds.; Springer: New Delhi, India, 2015; pp. 87–118.
- [49] Hölwarth M. 1982. Überwachung statischer schwermetallimmissionen mit hilfe eines

- bioindicators. *Stab-Reinhalt luft* 1982;42:373-378.
- [50] Markert, B. 1993. Plants as biomonitors: indicators for heavy metals in the terrestrial environment. VCH Publishers Ltd.
- [51] Lucadamo, L., Gallo, L., Vespasiano, G., Corapi, A. 2021. The contributions of an airport and related road network to *Pseudevernia furfuracea* bioaccumulation of trace elements and polycyclic aromatic hydrocarbons. *Ecological Indicators*, 125.
- [52] Woolhouse, H.W. 1983. Toxicity and tolerance in the responses of plants to metals. In: Lange.O.L., Nobel.P.S.; Osmond. C.B.; Zielgler. H.(Eds.). *Encyclopedia of Plant Physiology*. New Series. 12.246–299. ISBN:978-3-642-68155-4.
- [53] Lu, C., Chau, C., & Zhang, J. 2000. Acute toxicity of excess mercury on the photosynthetic performance of cyanobacterium, *S. platensis* – assessment by chlorophyll fluorescence analysis. *Chemosphere*, 41(1–2), 191–196.
- [54] Wakefield, J, M., Bhattacharjee, J. 2012. Effect of air pollution on chlorophyll content and lichen morphology in northeastern louisiana. The American Bryological and Lichenological Society, Inc, 2012, vol. 28(4), pp. 104-114,
- [55] Türkiye State Istatistical Institut. 2002. Population census report.
- [56] Traffic Statistical Yearbook. 2002. Traffic education and research department.
- [57] Yıldız, A., Aksoy, A., Akbulut, G., Demirezen, D., İşlek, C., Altuner, E. M., Duman, F. 2011. Correlation Between Chlorophyll Degradation and the Amount of Heavy Metals Found in *Pseudevernia furfuracea* in Kayseri (Turkey). *Ekoloji*, 20(78), 82–88.
- [58] Yildiz, A., Aksoy, A., Tug, G. N., Islek, C., & Demirezen, D. 2008. Biomonitoring of heavy metals by *Pseudevernia furfuracea* (L.) Zopf in Ankara (Turkey). *Journal of Atmospheric Chemistry*, 60(1), 71–81.
- [59] Yıldız, A., Işık, V., & Aydın, S. S. (2023, October 17). Heavy metal biomonitoring study using transplanted lichen, *Pseudevernia furfuracea* (L.) Zopf, in Kırıkkale, Turkey. *MOJ Ecology & Environmental Sciences*, 8(5), 192–200.
- [60] Yıldız, A., Vardar, I., Aksoy, A., & Ünal, E. (2018, February 8). Biomonitoring of heavy metals deposition with *Pseudevernia furfuracea* (L.) Zopf In Çorum City, Turkey. *HEALTH SCIENCES QUARTERLY*, 2(1), 9–22.
- [61] Işık, V., Yıldız, A. 2024. Biomonitoring of Heavy Metals Accumulation with *Pseudevernia furfuracea* (L.) Zopf in Kırşehir Province, Türkiye. *Pollution*, 10 (1), 566-579.
- [62] Chen, H., Song, L., Zhang, H., Wang, J., Wang, Y., & Zhang, H. (2022, June 17). Cu and Zn Stress affect the photosynthetic and antioxidative systems of alfalfa (*Medicago sativa*). *Journal of Plant Interactions*, 17(1), 695–704.

Çok Kriterli Karar Vermede Nötrosifik Critic ve Nötrosifik Waspas Entegre Yöntemi Temelli Mutluluk Düzeyi Belirleme Üzerine Bir Uygulama

Hamiyet Merkepci^{1*} 

^{1*} Gaziantep Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Matematik Bölümü, 27310, Gaziantep, Türkiye

(Alınış / Received: 02.10.2023, Kabul / Accepted: 09.05.2024, Online Yayınlanma / Published Online: 23.08.2024)

Anahtar Kelimeler

Tek değerli nötrosifik küme,
Bulanık mantık,
Critic metodu,
Waspas metodu,
Çok kriterli karar verme

Özet: Bu çalışmada, Türkiye istatistik Kurumunun yürüttüğü 'Yaşam Memnuniyeti Araştırması' kapsamında yer alan, yaş gruplarına ve yıllara göre değişiklik gösteren mutluluk düzeyinin belirlenmesi problemine uygulanan, Nötrosifik Critic ve Nötrosifik Waspas adlı yeni birçok kriterli karar verme yöntemi önerilmektedir. Önerilen yöntem, iyi bilinen Waspas yönteminin temel adımlarını izler, ancak öznitelik değerlerinin tek değerli nötrosifik kümeler kullanılarak ifade edilmesi bakımından klasik durumdan farklıdır. Ayrıca, seçim kriterlerinin ağırlıklarının belirlenmesi karar vericinin insiyatifine bırakılmamakta, bunun yerine iyi bilinen critic yönteminin temel adımları kullanılmaktadır. Sunulan mutluluk düzeyi belirleme probleminde, alternatifler, 2003-2022 yılları ve kriterler, 18-65+ yaş arası bireylerdir. Bu makalede amaç, 2003 yılından günümüze kadar her yıl, belirlenen yaş gruplarında mutluluk düzeyi ölçümünü, yaygın olarak kullanılan entegre birçok kriterli karar verme modeli ile tek değerli nötrosifik kümeler alanına genişletmektir. Böylece, öznitelik değerleri daha büyük bir belirsizlik kümesiyle başa çıkabilir. Nötrosifik küme teorisinin ifade gücünden yararlanarak önerilen yaklaşım, karar vericiye, yeterli ve kesin bilgi eksikliği, algı farklılıkları, dil değişkenleri ve kişisel görüşler gibi çeşitli nedenlerden kaynaklanan belirsizlikleri yönetebilecek modeller geliştirmesine yardımcı olacaktır.

On an Application of Happiness Level Determination Based on Neutrosophic Critic and Neutrophic Waspas Integrated Method in Multi-Criteria Decision Making

Keywords

Single valued neutrosophic set,
Fuzzy logic,
Critic method,
Waspas method,
Multicriteria decision making

Abstract: This study proposes a new multi-criteria decision-making method called Neutrosophic Critic and Neutrosophic Waspas, applied to the problem of determining the level of happiness, which varies by age groups and years within the scope of the 'Life Satisfaction Survey' conducted by the Turkish Statistical Institute. The proposed method follows the basic steps of the well-known Waspas method but differs from the classical case in expressing attribute values using single-valued neutrosophic sets. Additionally, the determination of the weights of selection criteria is not left to the discretion of the decision-maker; instead, the basic steps of the well-known critic method are used. In the presented happiness level determination problem, the alternatives are individuals aged 18-65+ for the years 2003-2022, and the criteria are chosen. The aim of this article is to extend the measurement of happiness levels in the specified age groups each year from 2003 to the present, using a widely used integrated multi-criteria decision-making model to the domain of single-valued neutrosophic sets. Thus, the approach enables dealing with attribute values with a larger uncertainty set. By leveraging the expressive power of neutrosophic set theory, the proposed approach will assist the decision-maker in developing models that can handle uncertainties arising from various reasons, such as insufficient and precise information, perceptual differences, language variables, and personal opinions.

1. Giriş

Felsefe alanında ileri sürülen tüm görüşlerle doğrudan ilgi kurabilen bir kavram olan mutluluk, farklı yönleriyle dikkat çeken disiplinler arası bir konudur. Bireylerin yaşam standartlarına ya da içine doğdukları toplumun değer yargılarına bağlı olarak değişkenlik gösterdiği düşünülse de temelde öznellik içeren bir olgudur. 1940'ların ikinci yarısından itibaren başlayan mutluluk düzeyi ölçüm çalışmaları, veri toplama yöntemiyle gerçekleştirilmiş, çıkan sonuçlar üzerinden belli bir kanaat oluşturulmaya çalışılmıştır. Kapsamlı bir veri tabanı örneği olan "World Data Base of Happiness" ve süreli yayınlar arasında yer alan "Journal of Happiness Studies" kişisel memnuniyet ve mutluluk konusunda başvuru kaynağı olarak nitelendirilebilir. Bu konuda Türkiye'de de pek çok resmi çalışmaya yer verilmiş ve istatistiksel olarak mutluluk konusunda ilk resmi araştırma Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) tarafından "Yaşam Memnuniyeti Araştırması (YMA)" adıyla 2003 yılında gerçekleştirilmiştir. O tarihten bu yana uygulanan veri toplama çalışması, her sene sistematik biçimde yapılmaktadır. Kapsamı gayet geniş tutulan bu türlü bir çalışmayla Türkiye'de yaşayan bireylerin kişisel mutlulukla ilgili görüşleri, içinde buldukları toplumun genel durumu, barınma, beslenme, sağlık, bireysel güvenlik, sosyal güvenlik, eğitim, ulaşım, çalışma hayatı ve kazanç düzeyi, kültürel faaliyetler gibi temel gereksinimler baz alınarak yaşam memnuniyetleri ve mutluluk düzeyleri ölçülmekte ve zamanla meydana gelebilecek değişimler gözlenmektedir.

Bu çalışmada kullanılan veriler için, Yaşam Memnuniyeti Araştırması 2021 [1] den faydalanılmıştır. Ülkemizde bireylerin mutluluk düzeyi ve yaşam memnuniyeti konusunda istatistiki veriler oluştururken karşımıza birçok değerlendirme kriteri ve alternatifi çıkmaktadır. Bunlardan bazıları şunlardır: yıllar itibariyle mutluluk düzeyi, yaş grubuna göre mutluluk düzeyi, cinsiyete göre mutluluk düzeyi, evli olan bireylerin mutluluk düzeyi, evli olmayan bireylerin mutluluk düzeyi, hanedeki kişi sayısına göre bireylerin hanehalkı gelirinden memnuniyeti, işteki durumuna göre işten memnuniyeti, cinsiyete göre yaşam memnuniyeti düzeyi, sağlık durumundan memnuniyet düzeyi, işten elde edilen kazançtan memnuniyet, komşuluk ilişkilerinden memnuniyet, akraba ilişkilerinden memnuniyet, arkadaş ilişkilerinden memnuniyet, evlilikten duyulan memnuniyet, kamu hizmetlerinden memnuniyet. Bu kadar fazla kriter ve alternatifi değerlendirirken, en iyi çözümü tasarlamak için çok amaçlı karar verme yöntemleri ve en iyi alternatifi seçmek için çok nitelikli karar verme yöntemlerini kullanmak daha iyi olacaktır. Bunların her birinin incelenmesi ayrı bir makale konusu olabilir. Bu yüzden bu çalışma, yıllar itibariyle yaş grubuna göre mutluluk düzeyini belirleme ve ayrı ayrı sınıflandırarak inceleme çalışması olacaktır. Burada

sonlu sayıda alternatif ve birden çok kriter olacağından çok kriterli karar verme yöntemi uygulamak en doğru yaklaşım olacaktır. Bu çalışma, Nötrosifik küme teorisinin ifade gücünden yararlanarak yapılacağından klasik yöntemle yapılan çalışmalardan farklı ve orjinal olacaktır. Net kümeler veya geleneksel bulanık kümeler tarafından dayatılan belirlemelerin kesinlikten yoksun olduğu ve sağlanan bilginin yetersiz olduğu durumlarda nötrosifik küme alternatif bir çözüm sunar. Burada, 2003-2022 yılları arasında yaş gruplarına göre mutluluk düzeyini belirlerken kararsız olanlar da göz önünde bulundurularak nötrosifik küme teorisi kullanılmaktadır. Seçim kriterlerinin ağırlıklarını belirlemek için nötrosifik critic yöntemi kullanılırken en mutlu yaş grubunu belirlemek için nötrosifik waspas yöntemi kullanılmaktadır. Zadeh [2], bir elemanın bir kümeye ait olup olmadığını bulmak için üyelik derecesini kullanır. x elemanı, üyelik derecesi sıfır (0) ise A kümesine ait değildir, 1 ise tam üyedir, 0 ile 1 arasında ise kısmi üyedir. Aralık değerli bulanık kümeler, bulanık kümelerin özel bir türüdür. Belirsizlik olduğunda kesin bir değerle tanımlamak zordur. Bu durum, Türksen [3] tarafından aralık değerli bulanık kümeler kullanılarak çözülmüştür. Sezgisel bulanık küme, geleneksel bulanık küme aracılığıyla, belirsiz bir kavramı tanımlamak için mevcut bilginin yetersiz olduğu durumlarda bulanık kümeyi tanımlamak için alternatif bir yaklaşımdır [4]. Sezgisel bulanık küme teorisi, ilk olarak Zadeh tarafından önerilen ve daha sonra Atanassov [5] tarafından geliştirilen, bulanık küme teorisinin bir genellemesidir. Atanassov, Zadeh tarafından geliştirilen klasik bulanık küme teorisinin doğru olduğunu ancak gerçek hayatta her zaman doğru cevabı vermeyeceğini belirtmektedir. Bir bulanık kümede, bir elemanın kümeye ait olma derecesi, 1- ait olmama derecesidir. Böylece ait olma ve olmama derecelerinin toplamı 1 olur. Ancak bu yaklaşım, ait olma ve olmama derecelerinin toplamı birden az olabileceği gerçek hayat uygulamalarında belirsizlikle baş etmede etkili bir yöntem değildir. Sezgisel bulanık küme teorisinde, üyelik ve üye olmama derecesine ek olarak bir tereddütlik indeksi vardır. Tereddütlik indeksi, herhangi bir elemanın kümeye ait olup olmadığı konusundaki tereddütlik derecesini gösterir. Tereddütlik derecesi, bir uzmanın belirli bir konudaki kararsızlığını veya bilgi eksikliğini yansıtır. Tereddütlik derecesi küçük ise o eleman hakkındaki bilgiler nispeten doğrudur, büyük ise bilgiler nispeten belirsizdir, değer sıfıra eşit olduğunda en kesindir. Bu durumda sezgisel bulanık küme bulanık küme olur. Atanassov'a göre bir elemanın insan deneyimine göre belirlenen gerçek üyelik değeri her zaman kesin olmayabilir. Bu nedenle, karar verme hatalarını en aza indirmek için üçüncü bir parametreye yani tereddütlik derecesine ihtiyaç vardır. Liu ve Liao [6], Yu ve Liao [7] sırasıyla bulanık karar üzerine bibliyometrik analiz ve IFS çalışmaları üzerine bir bilimsel ölçüm yürüttüler. Üyelik değerlerinin doğruluğu ve yanlışlığı üzerindeki bazı kısıtlamalar

nedeniyle, bulanık kümeler ve uzantıları yalnızca belirsiz bilgileri işleyebilir, gerçekte var olabilecek kararsız ve tutarsız bilgileri işleyemez. Bu tür bilgiler, belirsizliğin açıkça ölçüldüğü ve doğruluk, belirsizlik ve yanlışlık üyeliğinin birbirinden bağımsız olduğu nötrosofik küme (NS) tarafından iyi yönetilir. Nötrosofik küme, kararsız ve tutarsız bilgilerle başa çıkmak için daha makul bir matematiksel çerçeve sağlar. Son on yılda, nötrosofik küme ve aralık değerli nötrosofik küme kavramları çok çeşitli alanlarda etkin bir şekilde kullanılmıştır. Bunlar, tıbbi teşhis, veri tabanı, topoloji, görüntü işleme ve karar verme gibi alanlardır [8, 9, 10, 11, 12]. Smarandache ilk olarak nötrosofi kavramını, nötrlerin kökenini, doğasını ve kapsamını inceleyen bir felsefe dalı olarak tanıtmıştır [13, 14, 15, 16]. Nötrosofik küme; klasik küme, bulanık küme, aralık değerli bulanık küme, sezgisel bulanık küme, aralık değerli sezgisel bulanık küme, çelişkili küme, diyalektik küme, paradoksal küme ve totolojik küme kavramlarını genelleştiren önemli bir araçtır [14]. Nötrosofik küme yaklaşımında bir olgu, T+I+F toplamının 1 olması gerekmeyen doğruluk(T), belirsizlik (I) ve yanlışlık (F) olmak üzere üç üyeliğiyle temsil edilebilir [17]. Bu değer 1 e eşit, 1 den küçük veya 1 den büyük olabilir. 1 den küçük eksik bilgi, 1 e eşit tam bilgi, 1 den büyük çelişkili bilgi anlamına gelir. Nötrosofik kümeler çok kriterli karar verme problemlerinde zaten kullanılmaktadır. Wang, tek değerli nötrosofik kümeleri önermiştir [18,19]. Tek değerli nötrosofik kümenin entropi ölçümü Majumdar ve Samant tarafından tanıtılmıştır [20]. Bulanık kümelerin çapraz entropisinin bir uzantısı olarak Ye, tek değerli nötrosofik kümenin çapraz entropi ölçümünü tanımlamıştır [11] ve önerilen tek değerli nötrosofik çapraz entropiye dayalı çok kriterli karar verme yöntemini sunmuştur. Ye [12] ayrıca, basitleştirilmiş nötrosofik kümeler kavramını tanıtmıştır ve toplama operatörlerini kullanan bir çok kriterli karar verme yöntemi önermiştir. Peng ve arkadaşları [21] basitleştirilmiş nötrosofik sayıların bazı işlemlerini tanımlamış ve sezgisel bulanık sayıların ilgili araştırmasını kullanarak bir karşılaştırma yöntemi geliştirmişlerdir. Zhang ve arkadaşları [22] sezgisel nötrosofik kümeler üzerinde bazı yeni işlemler tanımlayarak aralık değerli nötrosofik sayılar için toplama işlemleri geliştirmişlerdir. Broumi ve Smarandache [8] sezgisel nötrosofik kümelerin korelasyon katsayısını tartışmışlardır. Bu çalışmada, önceki çalışmalardan farklı olarak tek değerli nötrosofik kümelerle tutarlı bir şekilde çalışabilen Waspas ve Critic adlı iki popüler yöntem birleştirilmiştir. Bu yaklaşım, nitel ve nicel özellikler için ayrı karar matrisleri yerine tek bir karar matrisi kullanılmasına izin vermektedir. Bu makale aşağıdaki gibi yapılandırılmıştır: Bölüm 2, orjinal Critic ve Waspas yöntemlerinin adımlarını kısaca açıklar. Bölüm 3, nötrosofik karşılıkları ayrıntılı olarak açıklamaktadır. Bölüm 4, ayrıntılı bir vaka çalışması sunar. Son olarak, bölüm 5, sonuçları içermektedir.

2. Materyal ve Metot

Waspas ve Critic yöntemleri önerilen yöntemin temelini oluşturmaktadır. Her iki yöntemin ayrıntılı formülasyonları, bu çalışmada bağlı kalınacak olan [23]'te görülmektedir.

2.1. Waspas

Ağırlıklı Toplam Ürün Değerlendirmesi (WASPAS) yöntemi, 2012'de Zavadskas, Turskis, Antucheviciene ve Zakarevicius tarafından tanıtılmıştır [24–27]. Bu yöntem, Ağırlıklı Toplam Modeli (WSM) ve Ağırlıklı Çarpım Modeli'nin (WPM) bir kombinasyonudur [28]. Böylece, her özelliğin göreceli önemi basitçe belirlenir ve ardından alternatifler değerlendirilir ve önceliklendirilir. Waspas yönteminin özellikleri şu şekildedir [23]:

- Telafi edici bir yöntem olarak kabul edilir;
- Nitelikler bağımsızdır;
- Niteliksel nitelikler niceliksel niteliklere dönüştürülür.

Metodun girdi bilgisi, karar vericiden alınan bilgilere dayanan alternatifler ve nitelikler matrisi cinsinden ifade edilir. Waspas yönteminin adımları şu şekilde özetlenebilir :

Adım1: Farklı alternatiflerin farklı kriterler altında performanslarını gösteren X karar matrisi oluşturulur. Karar matrisi, Eşitlik (1) de gösterilmiştir.

$$X = \begin{bmatrix} r_{11} & \dots & r_{1j} & \dots & r_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{i1} & \dots & r_{ij} & \dots & r_{in} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{m1} & \dots & r_{mj} & \dots & r_{mn} \end{bmatrix}_{m \times n} \quad (1)$$

$$i = 1, \dots, m \quad j = 1, \dots, n$$

Karar matrisi X te i. alternatifin j. kriter altındaki performansı r_{ij} gösterilmektedir.

Adım2: Karar matrisi normalize edilir. Maksimizasyon ve minimizasyon tipindeki kriterler sırasıyla Eşitlik (2) ve Eşitlik (3) ile normalize edilir.

$$r_{ij}^* = \frac{r_{ij}}{\max r_{ij}} \quad ; \quad i=1, \dots, m, \quad j=1, \dots, n \quad (2)$$

$$r_{ij}^* = \frac{\min r_{ij}}{r_{ij}} \quad ; \quad i=1, \dots, m, \quad j=1, \dots, n \quad (3)$$

Bu eşitliklerde i. alternatifin j. kriter altındaki normalize edilmiş performans değeri, r_{ij}^* ile gösterilmiştir.

Adım3: Denklem (4), her bir alternatifin ağırlıklı normalize edilmiş verilerindeki toplam göreceli önemini belirlemek için kullanılır.

$$Q_i^{(1)} = \sum_{j=1}^n r_{ij} \cdot w_j ; i=1, \dots, m \quad (4)$$

Burada w_j , j . kriter ağırlığını ifade eder. Denklem (5) ise her alternatifin ağırlıklı normalleştirilmiş verilerinin çarpımsal göreceli önemini belirlemek için kullanılır.

$$Q_i^{(2)} = \prod_{j=1}^n (r_{ij}^*)^{w_j} ; i=1, \dots, m \quad (5)$$

Adım4: Adım3'te verilen WSM ve WPM yöntemlerine göre hesaplanan alternatiflerin toplam göreceli önemleri, Eşitlik (6) ile genelleştirilebilir:

$$Q_i = \frac{1}{2}(Q_i^{(1)} + Q_i^{(2)}) = \frac{1}{2} \left(\sum_{j=1}^n r_{ij} \cdot w_j + \prod_{j=1}^n (r_{ij}^*)^{w_j} \right) ; i=1, \dots, m \quad (6)$$

Ek olarak, denklem (6) daki sıralama doğruluğunu artırmak için denklem (7) önerilir:

$$Q_i = \lambda \sum_{j=1}^n r_{ij} \cdot w_j + (1-\lambda) \prod_{j=1}^n (r_{ij}^*)^{w_j} ; i=1, \dots, m, \lambda \in [0,1] \quad (7)$$

$\lambda=0$ ve $\lambda=1$ olarak alındığında Waspas yöntemi, sırasıyla WPM ve WSM yöntemlerine dönüşmektedir. Burada λ değerinin seçimi, karar vericiye bağlıdır.

Adım5: Waspas yönteminde alternatiflerin sıralanması, Q_i değerleri dikkate alınarak yapılmaktadır. En yüksek Q_i değerine sahip alternatif, en iyi alternatif olarak seçilmektedir.

2.2. Critic

Diakoulaki ve arkadaşları tarafından geliştirilen Critic yöntemi, kriterlerin objektif ağırlıklarını bulmak için kullanılır. Bu yöntem, karar vericinin açıkça ifade ettiği görüşe ihtiyaç duymadan doğrudan kullanılabilir. Bu yöntemde objektif kriter ağırlıklarını elde etmek için karar matrisi kullanılarak birbiri ile çelişmediği varsayılan özellikler ve özelliklerin ağırlıkları belirlenir. Kriter ağırlıkları belirlenirken hem kriterin standart sapması hem de kriterler arasındaki korelasyon dikkate alınır, bu nedenle bu yöntem standart sapması yüksek ve diğerleri ile düşük korelasyona sahip kriterlere daha yüksek ağırlık verir. Başka bir deyişle, daha yüksek değer, kriterin göreceli öneminin karar verme problemi için daha yüksek olduğu anlamına gelir. Critic yönteminin tüm aşamaları [23] de ayrıntılı olarak ele alınmıştır.

Tablo 1. Bazı nötrosofik küme teorik işlemleri

İşlem	Doğruluk	Belirsizlik	Yanlışlık
Tümleyen $c(A)$	$T_{C(A)}(x) = F_A(x)$	$I_{C(A)}(x) = 1 - I_A(x)$	$F_{C(A)}(x) = T_A(x)$

3. Nötrosofik waspas ve critic metodları

Önerilen yöntem, Nötrosofik Critic ve Nötrosofik Waspas yöntemleri olarak adlandırılan iki paralel yöntemin bir kombinasyonudur. Bu yöntemler, tek değerli nötrosofik kümeler kullanmaları bakımından geleneksel benzerlerinden farklıdır. Aşağıda önce nötrosofik sayılar kısaca tanımlanmakta ve ardından bunların Waspas ve Critic yöntemlerinde kullanıldığı mekanizmalar verilmektedir.

3.1. Tek değerli nötrosofik kümeler: ön hazırlıklar

Klasik kümeler, bir elemanın kümeye ait olup olmadığını mutlak değerlerle ifade edildiği kesin önermelere sahiptir. Yetersiz ve kesin bilgi, algı farklılıkları, dilsel değişkenler ve subjektif görüşlerden kaynaklanan belirsizlikleri incelemek için çeşitli teoriler geliştirilmiştir. Bu teorilerden biri de nötrosofik küme teorisidir. Nötrosofik küme teorisi, aralık değerli bulanık küme teorisi, sezgisel bulanık küme teorisi ve aralık değerli sezgisel bulanık küme teorisi dahil olmak üzere diğer bulanık küme teorilerini daha geniş ve daha esnek bir yapıda kapsar. Nötrosofik küme teorisi, 1995 yılında Smarandache tarafından, mevcut bilgilerin karışıklığa ve tutarsızlığa neden olduğu durumlarda belirsizlik problemlerini modellemek için geliştirilmiştir. Nötrosofik küme teorisi, doğruluk, yanlışlık, belirsizlik olmak üzere üç bağımsız işlevi kullanır. Aşağıda tek değerli nötrosofik kümelerin tanımları, özellikleri ve işlemleri kısaca açıklanmıştır.

Tanım 3.1.1[13]: X bir nesnelere uzayı olsun ve $x \in X$ tarafından üretilsin. $A \in X$ kümesinde doğruluk üyelik fonksiyonu T_A , belirsizlik üyelik fonksiyonu I_A , yanlışlık üyelik fonksiyonu F_A olarak tanımlanır. Her $x \in X$ için $T_A(x), I_A(x), F_A(x) \in [0,1]$ dir. Yani,

$$\begin{aligned} T_A: X &\rightarrow [0,1] \\ I_A: X &\rightarrow [0,1] \\ F_A: X &\rightarrow [0,1] \end{aligned}$$

biçiminde ifade edilir. Bu değerlerin toplamlarında herhangi bir kısıtlama bulunmamaktadır.

Bazı nötrosofik küme işlemleri aşağıdaki Tablo 1 de verilmiştir.

İçerme $A \subseteq B$	$T_A(x) \leq T_B(x)$	$I_A(x) \leq I_B(x)$	$F_A(x) \geq F_B(x)$
Birleşim $C = A \cup B$	$T_C(x) = \max(T_A(x), T_B(x))$	$I_C(x) = \max(I_A(x), I_B(x))$	$F_C(x) = \min(F_A(x), F_B(x))$
Kesişim $C = A \cap B$	$T_C(x) = \min(T_A(x), T_B(x))$	$I_C(x) = \max(I_A(x), I_B(x))$	$F_C(x) = \max(F_A(x), F_B(x))$
Fark $C = A \setminus B$	$T_C(x) = \min(T_A(x), F_B(x))$	$I_C(x) = \min(I_A(x), 1 - I_B(x))$	$F_C(x) = \max(F_A(x), T_B(x))$

3.2. Nötrosofik waspas

Yaklaşım aşağıdaki açılardan standart yöntemden farklıdır:

- 1) Problemdaki her öznitelik değerine ait (T,I,F) üçlülere elde etmek için dilsel biçimde dizilenmiş üçlü tablolar oluşturulur.
- 2) (T,I,F) üçlülere belirlendikten sonra karar matrisi sadece T (doğruluk) değerlerinden, sadece I (belirsizlik) değerlerinden ve sadece F (yanlışlık) değerlerinden oluşan bir matris olmak üzere üç matrise ayrılır. Çünkü nötrosofik kümeler teorisi bu değerlerin birbirinden bağımsız olduğunu belirtmektedir.
- 3) Bu üçlünün sonuçlarını birleştirmek için, literatürde özellikle nötrosofik kümeler için önerilen $[T+(1-F)+(1-I)]/3$ skor fonksiyonu kullanılır.
- 4) Standart Waspas yönteminde kriter ağırlıklarının belirlenmesi açıkça belirtilmemiş olup kullanıcının takdirine bırakılmıştır. Doğrudan uzmandan veya Critic gibi bu amaç için tasarlanmış bir yöntemle elde edilebilirler.

3.3. Nötrosofik critic

Son zamanlarda, orjinal Critic yönteminin kriterler arasındaki çelişkili ilişkileri düzgün bir şekilde yakalama konusunda bir eksikliği olduğu iddia edilmektedir. Bu nedenle orjinal Critic yöntemiyle hesaplanan ağırlıkların geçerliliği tartışılabilir. Critic yöntemi için literatürde önerilen iyileştirmeler genellikle yalnızca kullandıkları veri normalleştirme tekniklerinde farklılık gösterir. Bu çalışmada, Critic yönteminin yalnızca sayısal değerlerle değil, aynı zamanda Boolean, kesin değerli, aralık değerli veya eksik değerler içerebilecek özniteliklerle de kullanılabilmesi için tek değerli nötrosofik kümeler kullanılmıştır.

4. Vaka analizi

Bu çalışma, Türkiye İstatistik kurumunun yürüttüğü 'Yaşam Memnuniyeti Araştırması 2021' kapsamında yer alan, yaş gruplarına ve yıllara göre değişiklik gösteren mutluluk düzeyinin belirlenmesi problemine uygulanan Nötrosofik Critic ve Nötrosofik Waspas yönteminin entegre bir uygulaması hakkındadır. Çalışma, 20 alternatif ve 6 kriterden oluşmaktadır. Alternatifler; 2003 (A1), 2004 (A2), 2005 (A3), 2006 (A4), 2007 (A5), 2008 (A6), 2009 (A7), 2010 (A8), 2011(A9), 2012 (A10), 2013 (A11),

2014 (A12), 2015 (A13), 2016 (A14), 2017 (A15), 2018 (A16), 2019 (A17), 2020 (A18), 2021 (A19), 2022 (A20) şeklinde belirtilmiştir. Bu alternatifler için kriterler; yaş grupları: 18-24 (C1), 25-34 (C2), 35-44 (C3), 45-54 (C4), 55-64 (C5), 65+ (C6) olarak belirtilmiştir. Önerilen yöntem aşağıdaki adımlarla ilerlemektedir:

Adım1: Nötrosofik küme değerleri (T,I,F) üçlülerinden oluşmaktadır. Bu yüzden bu kümede çalışılırken her biri için ayrı ayrı karar matrisleri oluşturulup ayrı sonuçlar bulunarak, bu sonuçlar tek bir skor fonksiyonunda birleştirilir. Bu anlamda klasik yöntemden farklıdır. Bu sebeple, ilk olarak, orjinal TÜİK verilerindeki her bir öznitelik değeri (T,I,F) üçlülere şeklinde ifade edilerek nötrosofik karar matrisi oluşturulmuştur. Orjinal durumda veriler; mutlu, ne mutlu ne mutsuz, mutsuz biçiminde kategorize edilmiştir. Bunu nötrosofik üçlülere dönüştürürken; Mutlu-Doğruluk üyelik derecesi (T), Ne Mutlu Ne Mutsuz –Belirsizlik üyelik derecesi (I), Mutsuz-Yanlışlık üyelik derecesi (F) olarak alınmıştır. Orjinal istatistik verileri yüzde olarak verilmiştir. Nötrosofik küme $[0,1]$ aralığındaki sayılardan oluştuğundan, bir takım işlemlerle tüm değerler $[0,1]$ aralığına taşınarak nötrosofik değerler oluşturulmuş ve Tablo 2 de sunulmuştur.

Adım2: Nötrosofik Critic yöntemi adımları, doğruluk üyelik derecesi (T) için ayrı, belirsizlik üyelik derecesi (I) için ayrı, yanlışlık üyelik derecesi (F) için ayrı uygulanarak her bir kriterin önem ağırlıkları belirlenmiş ve bu önem ağırlıkları bir sonraki sıralama yönteminde kullanılmak üzere Tablo 3 te verilmiştir.

Adım3: Kriterlerin önem ağırlıkları belirlendikten sonra bu ağırlıklardan faydalanarak Nötrosofik Waspas yöntemine geçilmiştir. Nötrosofik waspas yöntemindeki adımlar takip edilerek, (T,I,F) üçlüsü için ayrı ayrı sıralamalar yapılmış ve yıllara göre yaş gruplarının mutluluk düzeyi hesaplanarak Tablo 4, Tablo 5, Tablo 6 da sunulmuştur.

Adım4: Son aşamada, işlemlerde ayrı ayrı kullandığımız doğruluk üyelik değerleri (T), belirsizlik üyelik değerleri (I) ve yanlışlık üyelik değerleri (F) , skor fonksiyonu ile birleştirilerek hesaplamalar yapılmış ve mutluluk düzeyine göre sıralamalar oluşturulmuştur. Tablo 7 de sunulmuştur. Burada 1 en mutlu yaş grubunu, 6 ise en mutsuz yaş

grubunu temsil etmektedir. Aynı zamanda yaş grupları ayrı ayrı alınarak kendi içinde en mutlu oldukları yıldan en mutsuz oldukları yıla doğru

sıralanmıştır. Bu değerler Tablo 8, Tablo 9, Tablo 10, Tablo 11, Tablo 12, Tablo 13 de verilmiştir.

Tablo 2. Nötrosifik karar matrisi

Alternatif/Kriter	18-24	25-34	35-44	45-54	55-64	65+
2003	(0.571,0.351,0.780)	(0.599,0.339,0.061)	(0.614,0.300,0.0869)	(0.605,0.330,0.064)	(0.598,0.329,0.073)	(0.576,0.347,0.078)
2004	(0.609,0.279,0.112)	(0.568,0.314,0.119)	(0.575,0.306,0.119)	(0.574,0.304,0.122)	(0.566,0.281,0.153)	(0.605,0.274,0.121)
2005	(0.624,0.265,0.111)	(0.556,0.316,0.128)	(0.543,0.312,0.145)	(0.566,0.303,0.131)	(0.617,0.260,0.123)	(0.596,0.277,0.127)
2006	(0.620,0.272,0.108)	(0.573,0.313,0.114)	(0.560,0.304,0.136)	(0.559,0.328,0.114)	(0.589,0.304,0.107)	(0.579,0.283,0.138)
2007	(0.656,0.237,0.107)	(0.614,0.287,0.100)	(0.562,0.318,0.120)	(0.572,0.322,0.105)	(0.617,0.275,0.109)	0.600,0.262,0.138)
2008	(0.591,0.283,0.126)	(0.557,0.318,0.125)	(0.529,0.323,0.148)	(0.517,0.325,0.157)	(0.569,0.284,0.147)	(0.616,0.244,0.140)
2009	(0.574,0.315,0.111)	(0.559,0.314,0.127)	(0.535,0.332,0.133)	(0.513,0.310,0.177)	(0.520,0.292,0.188)	(0.543,0.278,0.179)
2010	(0.639,0.265,0.096)	(0.644,0.263,0.093)	(0.575,0.312,0.113)	(0.589,0.292,0.118)	(0.613,0.278,0.109)	(0.600,0.271,0.129)
2011	(0.695,0.250,0.054)	(0.620,0.281,0.099)	(0.607,0.303,0.091)	(0.597,0.286,0.117)	0.623,0.264,0.113)	(0.578,0.286,0.135)
2012	(0.646,0.260,0.094)	(0.656,0.273,0.071)	(0.585,0.302,0.113)	(0.555,0.321,0.124)	(0.593,0.290,0.117)	(0.603,0.287,0.111)
2013	(0.651,0.268,0.081)	(0.603,0.309,0.088)	(0.551,0.338,0.111)	(0.545,0.332,0.124)	(0.582,0.289,0.130)	(0.634,0.236,0.130)
2014	(0.612,0.304,0.084)	(0.579,0.329,0.092)	(0.521,0.360,0.119)	(0.515,0.327,0.158)	(0.548,0.313,0.140)	(0.628,0.246,0.126)
2015	(0.638,0.284,0.078)	(0.586,0.319,0.095)	(0.542,0.340,0.118)	(0.517,0.347,0.137)	(0.551,0.307,0.142)	(0.568,0.307,0.124)
2016	(0.651,0.263,0.086)	(0.620,0.287,0.093)	(0.582,0.308,0.109)	(0.583,0.307,0.109)	(0.623,0.249,0.128)	(0.645,0.250,0.105)
2017	(0.613,0.299,0.088)	(0.586,0.319,0.095)	(0.559,0.333,0.109)	(0.531,0.330,0.139)	(0.562,0.310,0.128)	(0.661,0.229,0.110)
2018	(0.554,0.351,0.095)	(0.532,0.364,0.104)	(0.507,0.369,0.123)	0.478,0.364,0.157)	(0.557,0.318,0.126)	(0.612,0.268,0.120)
2019	(0.567,0.338,0.096)	(0.520,0.343,0.137)	(0.506,0.372,0.122)	(0.497,0.357,0.146)	(0.487,0.355,0.158)	(0.585,0.292,0.122)
2020	(0.471,0.386,0.1429)	(0.468,0.381,0.151)	(0.454,0.394,0.152)	(0.462,0.385,0.153)	(0.490,0.365,0.145)	(0.577,0.304,0.118)
2021	(0.445,0.351,0.204)	(0.466,0.364,0.171)	(0.502,0.335,0.163)	(0.488,0.339,0.173)	(0.509,0.337,0.154)	(0.562,0.308,0.130)
2022	(0.479,0.364,0.157)	(0.468,0.366,0.166)	0.479,0.357,0.163)	(0.480,0.357,0.163)	(0.525,0.317,0.158)	(0.577,0.286,0.137)

Tablo 3.Kriterlerin önem ağırlıkları

WT	0,105370352	0,098557878	0,149249469	0,157247657	0,109095536	0,380479108
WI	0,078475135	0,103805927	0,230217046	0,125646123	0,077221019	0,38463475
WF	0,053257186	0,101188365	0,105399106	0,129512262	0,129587558	0,16094358

Tablo 4. Doğruluk üyelik derecesine (T) göre mutluluk düzeyi

Qi	18-24	25-34	35-44	45-54	55-64	65+
2003	0,533	0,541	0,575	0,579	0,550	0,640
2004	0,539	0,536	0,565	0,570	0,544	0,658
2005	0,542	0,534	0,557	0,568	0,553	0,652
2006	0,541	0,536	0,561	0,566	0,549	0,642
2007	0,547	0,543	0,562	0,570	0,553	0,655
2008	0,536	0,534	0,553	0,555	0,545	0,664
2009	0,534	0,534	0,555	0,554	0,536	0,620
2010	0,544	0,547	0,565	0,574	0,553	0,655
2011	0,553	0,544	0,573	0,577	0,555	0,641
2012	0,545	0,549	0,568	0,565	0,549	0,656
2013	0,546	0,541	0,559	0,563	0,547	0,675
2014	0,540	0,537	0,551	0,554	0,541	0,671
2015	0,544	0,538	0,557	0,555	0,542	0,635
2016	0,546	0,544	0,567	0,573	0,555	0,681
2017	0,540	0,538	0,561	0,559	0,544	0,690
2018	0,530	0,530	0,548	0,544	0,543	0,662
2019	0,532	0,528	0,547	0,549	0,529	0,646
2020	0,516	0,519	0,533	0,539	0,530	0,641

2021	0,511	0,518	0,546	0,547	0,534	0,632
2022	0,517	0,519	0,540	0,545	0,537	0,641

Tablo 5. Belirsizlik üyelik derecesine (I) göre mutluluk düzeyi

Qİ	18-24	25-34	35-44	45-54	55-64	65+
2003	0,532	0,540	0,557	0,544	0,531	0,692
2004	0,516	0,533	0,561	0,535	0,520	0,608
2005	0,512	0,533	0,565	0,535	0,515	0,612
2006	0,514	0,533	0,560	0,544	0,525	0,619
2007	0,505	0,525	0,569	0,541	0,518	0,594
2008	0,517	0,534	0,572	0,543	0,520	0,572
2009	0,524	0,533	0,578	0,537	0,522	0,613
2010	0,512	0,517	0,565	0,531	0,519	0,605
2011	0,511	0,523	0,559	0,528	0,516	0,623
2012	0,511	0,520	0,559	0,541	0,522	0,624
2013	0,513	0,531	0,581	0,545	0,522	0,562
2014	0,522	0,537	0,595	0,543	0,527	0,574
2015	0,517	0,534	0,583	0,550	0,526	0,647
2016	0,512	0,525	0,562	0,536	0,512	0,579
2017	0,520	0,534	0,578	0,544	0,527	0,553
2018	0,532	0,547	0,600	0,556	0,528	0,601
2019	0,529	0,541	0,602	0,554	0,536	0,630
2020	0,539	0,552	0,615	0,563	0,539	0,644
2021	0,532	0,547	0,580	0,547	0,533	0,648
2022	0,535	0,548	0,593	0,554	0,528	0,623

Tablo 6. Yanlırlık üyelik derecesine (F) göre mutluluk düzeyi

Qİ	18-24	25-34	35-44	45-54	55-64	65+
2003	0,527	0,469	0,495	0,462	0,467	0,472
2004	0,455	0,517	0,522	0,521	0,540	0,524
2005	0,454	0,523	0,541	0,529	0,516	0,530
2006	0,454	0,514	0,535	0,514	0,502	0,542
2007	0,453	0,503	0,523	0,506	0,503	0,542
2008	0,458	0,521	0,543	0,550	0,535	0,544
2009	0,454	0,523	0,532	0,565	0,565	0,580
2010	0,450	0,498	0,518	0,518	0,503	0,532
2011	0,436	0,502	0,500	0,517	0,507	0,538
2012	0,450	0,478	0,518	0,523	0,511	0,513
2013	0,446	0,494	0,516	0,523	0,521	0,533
2014	0,447	0,497	0,522	0,551	0,530	0,529
2015	0,445	0,499	0,521	0,534	0,531	0,527
2016	0,448	0,498	0,514	0,509	0,520	0,506
2017	0,448	0,499	0,514	0,535	0,520	0,512
2018	0,450	0,506	0,525	0,550	0,518	0,523
2019	0,450	0,529	0,524	0,541	0,543	0,525
2020	0,462	0,538	0,545	0,547	0,533	0,521
2021	0,472	0,551	0,553	0,562	0,540	0,533
2022	0,464	0,548	0,553	0,554	0,543	0,541

Tablo 7. Mutluluk düzeyi sıralaması

Sıralama	18-24	25-34	35-44	45-54	55-64	65+
2003	6	3	4	1	2	5
2004	1	4	6	3	5	2
2005	1	5	6	4	2	3
2006	1	4	6	3	2	5
2007	1	5	6	3	2	4
2008	1	4	6	5	3	2
2009	1	2	5	3	4	6
2010	1	2	6	4	3	5
2011	1	4	5	3	2	6
2012	1	2	6	5	4	3
2013	1	3	6	5	4	2
2014	1	3	6	5	4	2
2015	1	2	6	4	3	5
2016	2	5	6	3	4	1
2017	2	3	6	5	4	1
2018	1	4	6	5	3	2
2019	1	3	6	4	5	2
2020	1	5	6	4	3	2
2021	1	5	6	4	2	3
2022	1	5	6	4	3	2

Tablo 8. 18-24 yaş arası yıllara göre mutluluk düzeyi sıralaması

	18-24
2011	0,535320
2007	0,529308
2013	0,528945
2016	0,528825
2012	0,528016
2015	0,527315
2010	0,527049
2005	0,524929
2006	0,524401
2017	0,523758
2014	0,523735
2004	0,522915
2008	0,520520
2009	0,518318
2019	0,517569
2018	0,516007
2022	0,505977
2020	0,504905
2021	0,502109
2003	0,491482

Tablo 9. 25-34 yaş arası yıllara göre mutluluk düzeyi sıralaması

	25-34
2012	0,516879
2010	0,510960
2003	0,510619
2016	0,507188
2011	0,506228
2013	0,505431
2007	0,505033
2015	0,501644
2017	0,501644
2014	0,501099
2006	0,496751
2004	0,495195
2009	0,492861
2008	0,492813
2005	0,492273
2018	0,492096
2019	0,485666
2020	0,476154
2022	0,474465
2021	0,473539

Tablo 10. 35-44 yaş arası yıllara göre mutluluk düzeyi sıralaması

	35-44
2003	0,50739
2011	0,504701

2012	0,497123
2016	0,496618
2010	0,494139
2004	0,493904
2007	0,489998
2017	0,489404
2006	0,488961
2013	0,487167
2015	0,484197
2005	0,483719
2009	0,481595
2008	0,479500
2014	0,478052
2018	0,474024
2019	0,473584
2021	0,471322
2022	0,464751
2020	0,457522

Tablo 11. 45-54 yaş arası yıllara göre mutluluk düzeyi sıralaması

45-54	
2003	0,524224
2011	0,510499
2016	0,509113
2010	0,508758
2007	0,507595
2004	0,504795
2006	0,502965
2005	0,501637
2012	0,500486
2013	0,498294
2017	0,49305
2015	0,490346
2008	0,487582
2014	0,486904
2019	0,48491
2009	0,483984
2018	0,479438
2021	0,479201
2022	0,478883
2020	0,47661

Tablo 12. 55-64 yaş arası yıllara göre mutluluk düzeyi sıralaması

5. Sonuçlar

Günlük yaşamda, olayların belirsiz, kararsız ve tutarsız olduğu durumlarla karşılaşılır. Bir olayı

55-64	
2003	0,517282
2011	0,510649
2007	0,510584
2010	0,510106
2005	0,507758
2016	0,507647
2006	0,507237
2012	0,505614
2013	0,501386
2017	0,499091
2018	0,498732
2008	0,496492
2004	0,495021
2015	0,494889
2014	0,494771
2022	0,488428
2021	0,486924
2020	0,485979
2019	0,483196
2009	0,482876

Tablo 13. 65+ yaş arası yıllara göre mutluluk düzeyi sıralaması

65+	
2017	0,541807
2016	0,531869
2013	0,526449
2014	0,522515
2008	0,516204
2018	0,512559
2004	0,508423
2012	0,506545
2007	0,506357
2010	0,505813
2005	0,503327
2019	0,497003
2006	0,493797
2011	0,493431
2022	0,492553
2020	0,49219
2003	0,491817
2015	0,487081
2021	0,483389
2009	0,475519

anlatırken veya bir durum hakkında karar verirken, genellikle olası, olası değil, orta, tatmin edici, zayıf vb. kesin olmayan ifadeler kullanılır. Bulanık küme teorisi, bu tür kesin olmayan dilsel ifadelerle ilgilenen

ve insan mantığına daha yakın kabul edilen bir yaklaşımdır. Ancak geleneksel bulanık küme teorisinde belirsizlik faktörü yoktur. Bu nedenle, gerçek dünyada var olan eksik ve tutarsız bilgilerden kaynaklanan çeşitli belirsizlik biçimlerini temsil etmek ve ek yetenekler sağlamak için nötrosofik küme kavramı tanıtılmıştır. Nötrosofik küme teorisi, karar vericinin, yeterli ve kesin bilgi eksikliği, algı farklılıkları, dil değişkenleri ve kişisel görüşler gibi çeşitli nedenlerden kaynaklanan belirsizlikleri yönetebilecek modeller geliştirmesine yardımcı olduğundan ifade gücü yüksektir. Karar verme problemlerinde bu anlamda kullanılması, daha doğru sıralamalar ve seçimler yapılmasına yardımcı olmaktadır. Bu çalışmada da mutlu olup olmadığı yönünde cevabı net olmayan, kararsız kalan bireyler mevcut olduğundan, nötrosofik küme değerleriyle karar verme yöntemlerinin entegre edilerek kullanılması daha doğru sonuçlar elde edilmesini sağlamıştır. Nötrosofik Critic ile kriterlerin önem ağırlıkları karar vericiye bırakılmamakta ve objektif sonuçlar elde edilmektedir. Nötrosofik Waspas ise ağırlıklı bütünleştirilmiş fonksiyonu optimize ederek tahminde yüksek tutarlılığa ulaşmayı sağlayan bir yöntem olmuştur. Bu entegre yöntemlerin sonucunda verilen tablolardan da yararlanarak aşağıdaki yorumlar yapılabilir:

1) Tablo 7 deki genel sıralamaya bakıldığında 2003-2022 yılları arasında en mutlu yaş grubu 18-24 yaş arası olurken en mutsuz yaş grubu 35-44 yaş arası olarak belirlenmiştir. Arada az da olsa farklılık gösteren yıllar Tablo da açıkça görülmektedir.

2) Başka bir bakış açısıyla, her yaş grubu için kendi içinde en mutlu olunan yıllar sıralaması yapılmak istendiğinde şu sonuçlar ortaya çıkmıştır:

a) 18-24 yaş arası:

A9>A5>A11>A14>A10>A13>A8>A3>A4>A15>A12>A2>A6>A7>A17>A16>A20>A18>A19>A1

Böylece bu yaş grubunun, diğer yıllarla kıyaslandığında en mutlu olduğu yıl 2011 yılıdır. En mutsuz olduğu yıl 2003 yılı olmuştur.

b) 25-34 yaş arası:

A10>A8>A1>A14>A9>A11>A5>A13>A15>A12>A4>A2>A7>A6>A3>A16>A17>A18>A20>A19

Böylece bu yaş grubunun, diğer yıllarla kıyaslandığında en mutlu olduğu yıl 2012 yılıdır. En mutsuz olduğu yıl 2021 yılı olmuştur.

c) 35-44 yaş arası:

A1>A9>A10>A14>A8>A2>A5>A15>A4>A11>A13>A3>A7>A6>A12>A16>A17>A19>A20>A18

Böylece bu yaş grubunun, diğer yıllarla kıyaslandığında en mutlu olduğu yıl 2003 yılıdır. En mutsuz olduğu yıl 2020 yılı olmuştur.

d) 45-54 yaş arası:

A1>A9>A14>A8>A5>A2>A4>A3>A10>A11>A15>A13>A6>A12>A17>A7>A16>A19>A20>A18

Böylece bu yaş grubunun, diğer yıllarla kıyaslandığında en mutlu olduğu yıl 2003 yılıdır. En mutsuz olduğu yıl 2020 yılı olmuştur.

e) 55-64 yaş arası:

A1>A9>A5>A8>A3>A14>A4>A10>A11>A15>A16>A6>A2>A13>A12>A20>A19>A18>A17>A7

Böylece bu yaş grubunun, diğer yıllarla kıyaslandığında en mutlu olduğu yıl 2003 yılıdır. En mutsuz olduğu yıl 2009 yılı olmuştur.

f) 65+ yaş grubu:

A15>A14>A11>A12>A6>A16>A2>A10>A5>A8>A3>A17>A4>A9>A20>A18>A1>A13>A19>A7

Böylece bu yaş grubunun, diğer yıllarla kıyaslandığında en mutlu olduğu yıl 2017 yılıdır. En mutsuz olduğu yıl 2009 yılı olmuştur.

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 ederim.

Kaynakça

- [1] Tüik Yaşam Memnuniyeti Araştırması 2021 https://www.tuik.gov.tr/media/announcement_s/yasam_memnuniyeti_arastirmasi_2021.pdf (Erişim Tarihi: 01.08.2023)
- [2] Zadeh, L.A., 1965a. Fuzzy Sets. Inform. Control 8, 338–353.
- [3] Turksen, I., 1986. Interval valued fuzzy sets based on normal forms. Fuzzy Sets Syst. 20, 191–210.
- [4] Kumar, M., ve Yadav, S. P. 2012. A novel approach for analyzing fuzzy system reliability using different types of intuitionistic fuzzy failure rates of components. ISA Transactions, 51, 288–297.
- [5] Atanassov, K., 1986. Intuitionistic fuzzy sets. Fuzzy Sets Syst. 20, 87–96.
- [6] Liu, W., Liao, H., 2017. A bibliometric analysis of fuzzy decision research during 1970–2015. Int. J. Fuzzy Syst. 19 (1), 1–14.
- [7] Yu, D., Liao, H., 2016. Visualization and quantitative research on intuitionistic fuzzy studies. J. Intell. Fuzzy Syst. 30 (6), 3653–3663.
- [8] Broumi, S., Smarandache, F., 2013b. Correlation coefficient of interval neutrosophic set. Appl. Mech. Mater. 436, 511–517. [9] Kumar, M., ve Yadav, S. P. (2012). A novel approach for analyzing fuzzy system reliability using different types of intuitionistic fuzzy failure rates of components. ISA Transactions, 51, 288–297.
- [9] Peng, J., Wang, J., Zhang, H., Chen, X., 2014. An outranking approach for multicriteria decision–

- making problems with simplified neutrosophic sets. *Appl. Soft Comput.* 25, 336–346.
- [10] Ye, J., (-2013. Similarity measures between interval neutrosophic sets and their applications in multi criteria decision making. *J. Intell. Fuzzy Syst.* <http://dx.doi.org/10.3233/IFS-120724>.
- [11] Ye, J., 2014a. Single valued neutrosophic cross-entropy for multi criteria decision making problems. *Appl. Math. Model.* 38, 1170–1175.
- [12] Ye, J., 2014b. A multicriteria decision-making method using aggregation operators for simplified neutrosophic sets. *J. Intell. Fuzzy Syst.* 26 (5), 2459–2466.
- [13] Smarandache, F. 1999. A unifying field in Logics: Neutrosophic Logic. In *Philosophy* (pp. 1–141). American Research Press.
- [14] Smarandache, F., 1999. A Unifying Field in Logics. *Neutrosophy: Neutrosophic Probability, Set and Logic*. American Research Press, Rehoboth.
- [15] Smarandache, F. 2003. A unifying field in logics: neutrosophic logic. *Neutrosophy, neutrosophic set, neutrosophic probability and statistics*, third ed., Xiquan, Phoenix.
- [16] Smarandache, Florentin. 2017 "Neutrosophic Perspectives: Triplets, Duplets, Multisets, Hybrid Operators, Modal Logic, Hedge Algebras. And Applications (second extended and improved)." https://digitalrepository.unm.edu/math_fsp/27.
- [17] Smarandache, F. 2000. A Unifying Field in Logics: Neutrosophic Logic. *Neutrosophy, Neutrosophic set, Neutrosophic probability*. ISBN 1-879585-76-6 American Research Press.
- [18] Wang, H., Smarandache, F., Zhang, Y.Q., Sunderraman, R., 2010. Single valued neutrosophic sets. *Multispace Multistruct.* 4, 410–413.
- [19] Wang, Haibin & Smarandache, Florentin & Zhang, Yanqing & Sunderraman, Rajshekhar. 2012. Single valued neutrosophic sets. 10.
- [20] Majumdar, P., Samant, S.K., 2014. On similarity and entropy of neutrosophic sets. *J. Intell. Fuzzy Syst.* 26 (3), 1245–1252.
- [21] Peng, J., Wang, J., Wang, J., Zhang, H., Chen, X., 2016. Simplified neutrosophic sets and their applications in multi-criteria group decision-making problems. *Int. J. Syst. Sci.*
- [22] Zhang, H., Wang, J., Chen, X., 2014. Interval Neutrosophic Sets and Their Application in Multi criteria Decision Making Problems. *Sci. World.*
- [23] Alinezhad, A., Khalili J., 2019. New Methods and Applications in Multiple Attribute Decision Making (MADM), V.277, Springer.
- [24] Zavadskas, E. K., Antucheviciene, J., Saparauskas, J., & Turskis, Z. 2013. MCDM methods WASPAS and MULTIMOORA: Verification of robustness of methods when assessing alternative solutions. *Economic Computation and Economic Cybernetics Studies and Research*, 47(2), 5–20.
- [25] Zavadskas, E. K., Bausys, R., & Lazauskas, M. 2015. Sustainable assessment of alternative sites for the construction of a waste incineration plant by applying WASPAS method with single-valued neutrosophic set. *Sustainability*, 7(12), 15923–15936.
- [26] Zavadskas, E. K., Bausys, R., Stanujkic, D., & Magdalinovic-Kalinovic, N. 2016. Selection of lead-zinc flotation circuit design by applying WASPAS method with single-valued neutrosophic set. *Acta Montanistica Slovaca*, 21(2), 85–92.
- [27] Zavadskas, E. K., Kalibatas, D., & Kalibatiene, D. 2016. A multi-attribute assessment using WASPAS for choosing an optimal indoor environment. *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, 16(1), 76–85.
- [28] Zavadskas, E. K., Turskis, Z., Antucheviciene, J., & Zakarevicius, A. 2012. Optimization of weighted aggregated sum product assessment. *Elektronika ir elektrotechnika*, 122(6), 3–6.

The Effects of Weaving Process on the Damage Formation of the E- Glass Yarn

Mehmet Korkmaz^{*1}, Melih Korkmaz^{2,3}

¹Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü, 35397, İzmir, Türkiye

²Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mekanik Anabilim Dalı, 35397, İzmir, Türkiye

³Fibrosan A.Ş, İzmir, Türkiye

(Alınış / Received: 26.10.2023, Kabul / Accepted: 11.05.2024, Online Yayınlanma / Published Online: 23.08.2024)

Keywords

E- glass fiber,
Weaving technology,
Degradation,
Friction,
Strength

Abstract: The woven fabric production can be executed in the weaving machine by the using of different mechanisms, which are working simultaneously. Because of the weaving mechanisms, the yarn has under tension and changed between the determined range within the repetitive cycles. The mechanisms and unsteady tension cause to damage on the yarns in the woven fabric production process. The breakable fibers like carbon or glass are more sensitive to degrade in the weaving machine because of their low friction resistance in comparison with the traditional fibers. The several of studies had been carried out to determine the tension of yarns and their damage mechanisms in the weaving process. However, they focused on the damage evolutions of warp yarns in the weaving process. In addition to the warp yarns, the damage evolution of weft yarns was investigated for industrial production in this study. The prevalent weft tensioning systems were evaluated, and the spring yarn tensioning system shown the best performance. Moreover, the yarn- to-machinery part type of friction was determined as the main reason to degrade warp yarns in the industrial production of glass woven fabric.

Dokuma İşleminin E- Cam İplikler Üzerinde Hasar Oluşumuna Etkilerinin İncelenmesi

Anahtar Kelimeler

E- cam lifi,
Dokuma teknolojisi,
Aşınma,
Sürtünme,
Mukavemet

Özet: Dokuma makinesinde kumaş oluşumu farklı mekanizmaların eş zamanlı çalışması ile sağlanmaktadır. Dokuma mekanizmalarından dolayı iplik belirli bir gerginlik altındadır ve bu durum bir çevrim halinde devam etmektedir. Kullanılan mekanizmalar ve sabit olmayan gerginlik dokuma işlemi sırasında ipliğe zarar verebilmektedir. Düşük aşınma dayanımı gösteren cam ya da karbon gibi kırılğan lifler geleneksel liflere göre hasar oluşumuna karşı daha yatkındırlar. Dokuma işleminde iplik gerginliğinin ve hasar mekanizmalarının belirlenmesi üzerine birçok çalışma yapılmıştır. Bu duruma karşın çalışmalarda genellikle çözümleri üzerinde oluşan hasar incelenmiştir. Yapılan bu çalışmada endüstriyel üretim sırasında çözümlerinin yanı sıra atkı iplikleri üzerinde oluşan hasar araştırılmıştır. Endüstride yaygın olarak kullanılan atkı gerginlik sistemleri incelenmiş, yaylı iplik gerdirici sistem en iyi performansı göstermiştir. Elde edilen bu sonucun yanı sıra endüstriyel cam dokuma kumaş üretiminde iplik- makine aksamı arasında oluşan sürtünmenin çözümleri üzerinde hasara yol açan başlıca neden olduğu belirlenmiştir.

1. Introduction

The shedding, picking, and beating are constituted the three essential processes to obtain woven fabric. In addition, the let- off warp yarn and the take- up of fabric are other significant processes to provide continuity in the weaving.

Due to the different mechanisms of weaving machine, the yarn tension is changed in the weaving process. Accordingly, the yarn tension is a substantial point in the weaving because it should be kept within the determined range. If the type of raw material, the structural properties of yarn and woven fabric, the setting of weaving machine are not well optimized, the damages on the yarn and finally break off can be

occurred. The studies [1 - 3] had been executed about the yarn tension in the weaving process.

The weaving of breakable fibers like carbon or glass are more complicated than traditional fibers. Although they have high strength and stiffness values in their main axis, they show low friction resistance because of their breakable structure. Therefore, the weaving processes of breakable yarns should be specialized according to their friction sensitive nature. Otherwise, the weaving processes can seriously degrade them.

Because of the degradation, the fibrillation is begun on the yarn then it is broken if the yarn is exposed a greater number of weaving cycles at the same conditions. The breakage of warp yarn directly reduces the productivity of weaving process and increase the number of defects on the fabric. Moreover, the yarn's all strength cannot be transferred to the fabric or its composite due to the degradation.

Rudov- Clark et al. [4] carried out a study to investigate the degree of degradation on the breakable fibers owing to the weaving process. E- glass yarn was used as raw material, and the tensile strengths of yarn groups (binding warp, stuffer warp and weft) were measured at different stages of weaving. The weaving process severely damaged the warp yarns, the stuffer and binding warp yarns lost 30% and 50% of their strength in the weaving process, respectively. Lee et al. [5] examined the degradation on the carbon yarn in the weaving process. In addition, single yarn composites were produced and the effect of yarn degradation on the composite mechanics was analyzed in the study. The friction, which is between yarn and machinery part, was determined as main factor for yarn degradation. The carbon yarn lost 12% of its strength due to the weaving process. The wear-resistance material was recommended to cover machinery parts to reduce the yarn degradation. Moreover, only severely damaged yarns caused the loss of composite tensile strength. Abu Obaid et al. [6] indicated the fiber breakage as one of main factors to cause degradation on the yarn in the weaving process as well as the friction. The E- glass yarn was used as the binding warp yarn, and it was the most damaged among all yarn groups. Owing to the bending and tension variations, the yarn lost 29- 35 of its strength. The hybridization of yarn groups was suggested as a solution to minimize the degradation of binding warp yarn.

The yarn damage varied in the different stages of weaving process. Nauman et al. [7] studied on the shedding mechanism and concluded that it is main operation to degrade the yarn. The carbon yarn lost 42 of its tensile strength in the weaving process. Boussu et al. [8] investigated the kinematics of weaving process to clarify damage mechanism of yarn. Different weaving steps were monitored globally and

locally with high-speed camera and in-situ sensors, which were made from e-glass yarn. The shed opening and reed beat-up mechanisms were confirmed to give the maximum damage on the yarn in weaving process. Decrette et al. [9] focused on the shed opening step in the weaving process to evaluate the damage, which was occur on the yarn. The close shed profile and yarn shedding speed were determined as significant parameters to reduce the degradation on the yarn in the weaving process. Leng et al. [10] developed kinematical model for heald frame to analyze the effects of shedding process on the yarn damage. It was determined that the friction between the yarn and heddle eye not only related with the size parameters of shedding mechanism but also related with the acceleration. Afterward, the acceleration was optimized to determine the derived curve trajectory of heald frames. Therefore, the lower number of fiber breakage could be obtained. Besette et al. [11] examined the contact forces, which were between warp yarns, were investigated in the weaving process as well as the tension variation on the yarn. The contact forces had peak values in shed opening, reed beat-up and back movement of reed steps same as the yarn tension. Moreover, it was found that the contact forces were deeply affected by the number of warp yarns unlike the yarn tension.

At the same time, the research studies have been carried out to predict the fiber damage or breakage thanks to the experimental methods and developed mathematical models. Li et al. [12] measured the hairiness of carbon yarn with the tribometer. The tribometer can determine the normal force and the frictional force values. It was found that the normal force is the main factor to raise frictional force and cause the hairiness on the carbon yarn. Wu et al. [13] investigated the tow- on- tool friction to simulate the beating- up process in the carbon weaving. The filaments reveal multiple fracture damage pattern, when they are exposed by the stretching, shearing, and compressing forces during the weaving process. Guo et al. [14] developed a weaving load simulation tester device to predict warp tension and optimize the weaving parameters. Azevedo et al. [15] estimated the warp and weft yarn breakages in the weaving process thanks to the machine learning approach. Xu et al. [16] established a yarn hanging model based on the catenary theory to estimate the applied minimum initial warp tension, which ensure the clear shedding in the weaving process.

Furthermore, several studies were carried out to clarify the effects of fabric architecture on the yarn degradation in the weaving process [17 - 21].

Within the scope of this study, the yarn degradation was investigated from bobbin to the e- glass woven fabric production, which was carried out by the industrial weaving loom. The previous research studies focused to measure or predict the damage

formation on the warp yarns during the weaving process. However, the damage on the weft yarns have significance to achieve higher production rates and obtain high quality e-glass woven fabrics. Therefore, the damage formation on the weft yarns had been investigated as well as the warp yarns in this study. Moreover, the various weft tensioning systems had been examined and the best system was determined.

2. Material and Method

2.1. Tested material

The production stage of e- glass woven fabric was investigated in the study. The structural properties of e- glass woven fabric is presented in Table 1. The 600 Tex e- glass yarn, which is belong to the Jushi company, were used for warp and weft yarns in the production of fabric.

Table 1. The structural properties of produced e- glass woven fabric

Weave Pattern	Yarn Density (yarn/cm)		Yarn Types		Areal Density (g/m ²)
	Warp	Weft	Warp	Weft	
Plain	2.4	2.5	E- glass (600 Tex)	E- glass (600 Tex)	300

2.2. Method of measurement

2.2.1. Measurement of warp yarn damage

The woven fabric production divided three sections to follow the evolution of yarn mechanical properties. Therefore, the yarn mechanical properties could be examined from bobbin to the weaving zone of machine. The specified sections,

- The yarn from bobbin,
- The section between the creel and back reed of weaving machine,
- The section between the back reed and frames of weaving machine,
- The section between the frames and reed of weaving machine.

The yarn specimens were collected from the specified sections and tested under the tensile load. Thus, their maximum breaking load, elastic module and maximum elongation values were determined. In every stage of measurement, ten specimens were tested according to NF EN 2062 test standard. The Instron 4411 tensile test machine with 10 kN load cell was used, the machine is shown in Figure 1.



Figure 1. Instron 4411 tensile test machine

2.2.2. Measurement of weft yarn damage

In addition to the warp direction, the damage in the weft yarns were evaluated in the study according to the different weft tensioning systems. As the glass yarns are sensitive for the friction, the glass woven production can be carried out with or without automatic weft tension control systems. In the study, two types of brushes, which are belong to the automatic yarn tension system, were used to observe their effects on the damage of weft yarns. The brushes were diversified according to their rigidities. The white brush (W.A.T) has more rigidity than brown brush (B.A.T), which are presented in Figure 2.

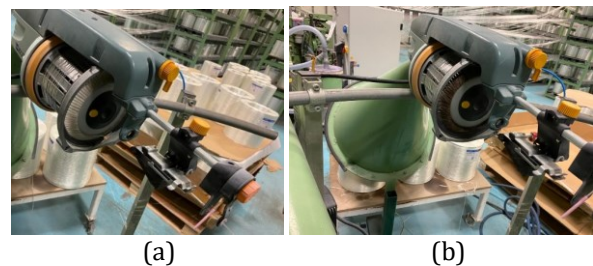


Figure 2. The automatic weft tension control systems with different brushes, (a) system with the white brush, (b) system with the brown brush

At the same time, the glass woven fabric production was carried out with the manual tensioning systems. The triple metal weft frame (M.T) and spring yarn tensioner systems were used to investigate their effects on the damage of e- glass yarn. Moreover, both systems were diversified to two subgroups. The liquid ceramic was applied to the metals of triple weft frame system (C.M.T). In addition, the metal (M.S.T) and ceramic types (C.S.T) of spring yarn tensioning systems were used to evaluate their effects on the glass yarn damage. All manual tensioning systems are presented in Figure 3. As the damage of weft yarn can

be determined, the broken and then accumulated glass filaments were weighted. For accumulation of broken filaments, the weaving machine, which is Dornier P2, had been running for 15 minutes at 170 rpm. The process was repeated three times to obtain average and standard deviation values.

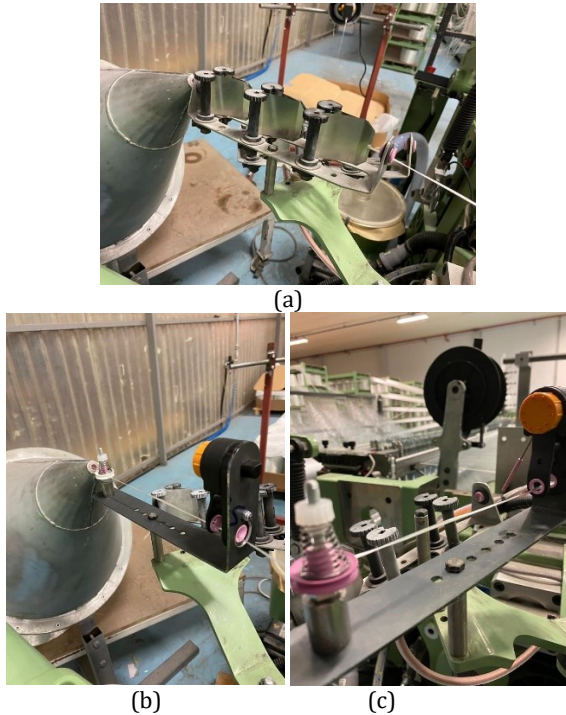


Figure 3. The manual weft tensoning systems, (a) triple metal weft frame, (b) metal spring yarn tensoning system, (c) ceramic spring yarn tensoning system

3. Results and Discussion

3.1. The damage measurement in the warp yarns

3.1.1. The mechanical properties of yarn from bobbin

As the evolution of yarn properties could be examined, the e-glass yarn was tested from bobbin to the different sections of fabric production. The determined load (N)- strain (%) graphs and mechanical properties of e-glass yarn, which were taken from the bobbin, were presented in Figure 4 and Table 2, respectively.

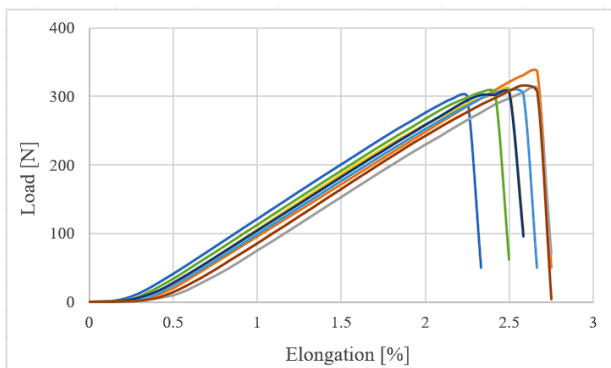


Figure 4. The load- elongation graphs of e-glass yarns from bobbin

Table 2. The properties of e- glass yarn from bobbin

Grade	Yield	Tensile Strength	Tensile Modulus	Elongation
	Tex	N	N	%
Jushi 386 H	600	311.5 (∓ 10.93)	157.32 (∓ 2.19)	2.49 (∓ 0.14)

3.1.2. The evolution of yarn mechanical properties within the weaving machine

The maximum load values of yarns from the different sections are presented in Figure 5. Although the e-glass yarns could keep their strength till the back reed of weaving machine, they were seriously damaged tensoning section and the weaving zone of machine. It was already proven that the yarn- to- machinery parts and yarn- to- yarn frictions are constituted the main reasons to damage on the yarns [4]. The obtained results are showed that the damage on the yarns originated from the yarn- to- machinery parts friction. The tensoning section of weaving machine is constituted by the cylinders, which are placed along the width of machine. If these cylinders are covered or renewed by the softer surface materials, the severity of warp yarn damage could be seriously reduced. In addition, the special designed heddles eye systems could help to decrease the damage on the warp yarns in the weaving zone. Moreover, the speed of weaving machine could be optimized to obtain less damage in the warp yarns.

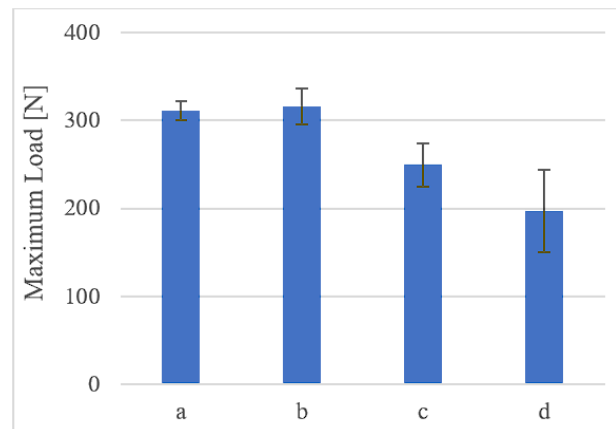
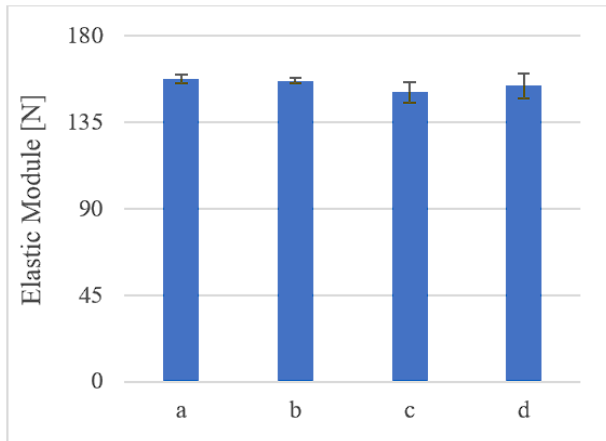


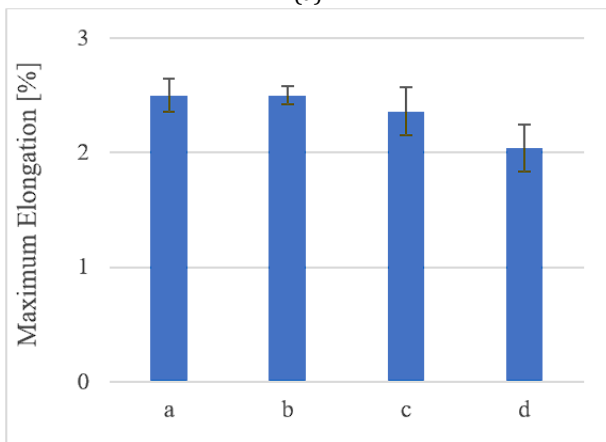
Figure 5. The breaking load values of yarns from different sections

In addition to the maximum load values, the elastic module and maximum elongation values of yarns were determined in the study. The values are presented in Figure 6. Although the friction reduced the strength of yarns, it did not change the elastic module values. Moreover, a statistically meaningful difference was occurred in the maximum elongation values between the section a, b and section d. This difference could be explained with the breaking of filaments within the e-glass yarn. As the number of filaments was decreased in the yarn, it was broken at lower elongation value. This result support the maximum load values of e-glass yarns. In addition, the obtained results proven that first the fibrillation is begun in the damaged e-

glass yarn. If the problem is not solved, the severity of damage is increased and the accumulated fibrillation cause to break e- glass yarn.



(a)



(b)

Figure 6. The mechanical properties of yarns from different sections, (a) the elastic module values, (b) maximum elongation values

3.2. The damage measurement in the weft direction

The weights of broken e- glass yarn filaments are presented in Figure 7. The automatic weft tensioning system, which have standard brush, gave the highest damage to the e- glass yarn. The softer brown brush significantly reduced to damage the yarns. Moreover, the application of liquid ceramic improved the surface quality of metals and decreased the damage on the yarns. Both spring yarn tensioning systems have similar values and showed the best performance according to the damage on the yarns. The results proven that even automatically weft tensioning system with softer brush give serious damage on the e-glass weft yarns. The damage could be minimized with the spring tensioning systems. Although liquid ceramic metals seriously reduced the damage on the weft yarns, the implementation the liquid ceramic on the metals cause to spend time and cost. The spring tensioning system adapted automatically weft insertion systems can be developed in further

research studies to obtain high quality e-glass woven fabrics.

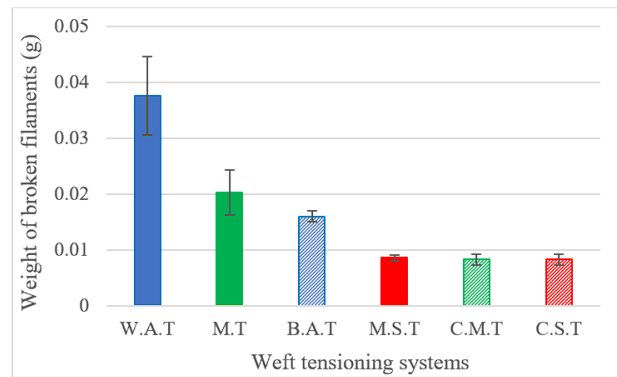


Figure 7. The weights of broken weft yarns filaments according to the different tensioning systems

4. Conclusion

In the study, the damage evolutions of warp and weft yarns were investigated in the industrial production of e- glass woven fabric. While the damage of warp yarns was measured thanks to the loss of tensile strength, the broken filaments were weighted to evaluate the damages in the weft yarns.

The e- glass warp yarns were seriously damaged in the tensioning section of weaving machine. The severity of degradation was raised in the weaving zone. The yarn-to- machinery part type of friction was determined as the main factor to degrade the warp yarns in the industrial e- glass woven fabric production. The automatic and manual weft tensioning systems were examined to specify their degradation on the e-glass weft yarns. The improvement can be obtained in the automatic weft tensioning system with the using of soft brush. In addition, the liquid ceramic application reduced the friction between the yarn and metal plate in the triple metal tensioning system. As results, the spring yarn tensioning system shown the best performance.

Acknowledgement

The authors would like to thanks to the Fibrosan Corporation and Production Manager Rahmi KORKMAZ for their support to carry out the study.

References

- [1] Adanur, S. and qi, J. 2008. Property Analysis of Denim Fabrics Made on Air-jet Weaving Machine Part I: Experimental System and Tension Measurements. *Textile Research Journal*, 78(1), 3-9.
- [2] Kim, H. K., Chun D. H., and Kim, J. H. 2013. A study on correlation between warp tension and weaving condition. *Fibers and Polymers*, 14(12), 2185-2190.

- [3] Bílkovský, A. 2021. Yarn Tension Control During Weaving Process. *Mechanisms and Machine Science*, 88, 384–390.
- [4] Rudov-Clark, S., Mouritz, A. P., Lee, L., and Bannister, M. K. 2003. Fibre damage in the manufacture of advanced three-dimensional woven composites. *Compos Part A Appl Sci Manuf*, 34(10), 963–970.
- [5] Lee, B., Leong, K. H., and Herszberg, I. 2001. Effect of weaving on the tensile properties of carbon fibre tows and woven composites. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 20(8), 652–670.
- [6] Obaid, A.A., Andersen, S. A., and Jr, J. W. G. 2008. Effects of the Weaving Process on S2 Glass Tensile Strength Distribution, Recent Advances in Textiles Composites in TEXCOMP-9 Conference, 13-15 October, Newark.
- [7] Nauman, S., Boussu, F., and Cristian, I. 2009. Impact of 3D woven structures onto the high-performance yarn properties, in 2nd ITMC conference on intelligent textiles and mass customisation, November, Casablanca, p. 46.
- [8] Boussu, F., Trifigny, N., Cochrane, C., and Koncar, V. 2016. Fibrous sensors to help the monitoring of weaving process, in *Smart Textiles and Their Applications*, Woodhead publishing, pp. 375–400.
- [9] Decrette, M., Osselin, J. F., and Drean, J. Y. 2019. Motorized Jacquard technology for multilayer weaving damages study and reduction: Shed profile and close shed profile. *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*, 14.
- [10] Leng, Z., Ma, W., Huang, Z. et al. 2022. Heald frame motion trajectory based on minimum warp friction in the shedding process of three-dimensional woven fabrics. *Textile Research Journal*, 92 (13-14): 2424-2432.
- [11] Bessette C. et al. In-situ measurement of tension and contact forces for weaving process monitoring: Application to 3D interlock. 2019. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 126(August), p. 105604.
- [12] Li, S., Shan, Z., Du, D. et al. 2022. Effect of processing parameters on friction and damage of carbon yarn during three-dimensional weaving. *The journal of the textile institute*, 113 (6): 1123-1132.
- [13] Wu, N., Xie, X., Yang, J. et al. 2022. Effect of normal load on the frictional and wear behaviour of carbon fiber in tow-on-tool contact during three-dimensional weaving process. *Journal of industrial textiles*, 51(2S): 2753S-2773S.
- [14] Guo, M., Wang, J. and Gao, W. 2023. A novel test method of load bearing performance of sized warp yarn based on weaving load simulation and its effectiveness. *Textile research journal*, 93(11-12): 2809-2823.
- [15] Azevedo, J., Ribeiro, R., Matos, L. M. et al. 2022. Predicting yarn breaks in textile fabrics: a machine learning approach. *Procedia computer science (KES 2022)*, 207: 2301-2310.
- [16] Xu, Y., Ma, W., Jia, C. et al. 2023. A yarn hanging model for estimating the applied initial warp tension in the multi-layer weaving process. *Textile research journal*, 93(17-18): 4035-4044.
- [17] Archer, E., Buchanan, S., McIlhagger, A., and Quinn, J. 2010. The effect of 3D weaving and consolidation on carbon fiber tows, fabrics, and composites. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 29(20), pp. 3162–3170.
- [18] Cristian, I., Nauman, S., Boussu, F., and Koncar, V. 2012. A study of strength transfer from tow to textile composite using different reinforcement architectures. *Applied Composite Materials*, 19(3–4), pp. 427–442.
- [19] Lefebvre, M., Boussu, F., and Daniel, C. 2013. Influence of high-performance yarns degradation inside three-dimensional warp interlock fabric. *Journal of Industrial Textiles*, 42(4), pp. 475–488.
- [20] Abteu M. A. et al. 2022. Yarn degradation during weaving process and its effect on the mechanical behaviours of 3D warp interlock p-aramid fabric for industrial applications. *Journal of Industrial Textiles*, 51(5), pp. 9047S-9070S.
- [21] Zhou, G., Sun, Q., Li, D. et al. 2020. Effects of fabric architectures on mechanical and damage behaviors in carbon/epoxy woven composites under multiaxial stress states. *Polymer testing*, 90, 106657.

***Macrosiphum rosae* (L.) (Hemiptera: Aphididae) Üzerinde Portakal Yağının İnsektisidal Etkisi ve *Coccinella septempunctata* (Coleoptera: Coccinellidae) 'nın Farklı Dozlara Yönelimi**

Mehmet Sedat SEVİNÇ^{*1}, Mustafa Murat YEŞİLIRMAK², Bilal DEMİR³

^{1,2}Meyvecilik Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Bitki Sağlığı Bölümü, 32500, Isparta, Türkiye

³Meyvecilik Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Yetiştirme Teknikleri Bölümü, 32500, Isparta, Türkiye

(Alınış / Received: 18.03.2024, Kabul / Accepted: 27.05.2024, Online Yayınlanma / Published Online: 23.08.2024)

Anahtar Kelimeler

Yağlık gül,
Gül yaprakbiti,
Gelin böceği,
Çekici,
Cezbedici,
Uçucu yağ,
Monoterpenoid

Özet: Yağlık gül yetiştiriciliğinde *Macrosiphum rosae* (L.) (Hemiptera: Aphididae) önemli bir tarımsal zararlı olarak karşımıza çıkmaktadır. Mücadelesi için portakal yağı kullanımının araştırıldığı bu çalışmada; 2021 yılında yarı kontrollü koşullarda öldürücü doz tespiti yapılmış ve 60 g L⁻¹ portakal yağı içerikli preparatın etkili bulunan 400 ml 100 L⁻¹ dozu 2021, 2022 ve 2023 yıllarında açık arazi koşullarında test edilmiştir. Yıllar itibariyle sırasıyla ölüm oranlarının %99.6, %100, %100 olduğu görülmüştür. Ayrıca farklı dozların uygulandığı insect-net ile kapalı alana salınan 50 adet *Coccinella septempunctata* (Coleoptera: Coccinellidae) bireylerinin salımdan 24 saat sonra yapılan sayımlarında 400 ml 100 L⁻¹ doz uygulaması üzerinde toplam 27 adet bireyin, 300 ml 100 L⁻¹ doz uygulaması üzerinde ise toplam 7 adet bireyin varlığı tespit edilmiştir. 16 adet *Coccinella septempunctata* bireyi ile de alanda karşılaşılması. Sonuç olarak; yağlık gül yetiştiriciliğinde *Macrosiphum rosae* mücadelesinde 400 ml 100 L⁻¹ dozunun etkili olduğu ve bu çalışmada avcı böceklerin kontrol grubu ve düşük dozlara kıyasla yüksek dozlara daha çok çekildiği görülmüştür.

The Insecticidal Effect of Orange Oil on *Macrosiphum rosae* (L.) (Hemiptera: Aphididae) and Orientation of *Coccinella septempunctata* (Coleoptera: Coccinellidae) to Different Doses

Keywords

Oil rose,
Rose aphid,
Ladybug,
Alluring,
Attractant,
Essential oil,
Monoterpenoid

Abstract: *Macrosiphum rosae* (L.) (Hemiptera: Aphididae) is an important agricultural pest in oil rose production. For its management, the most effective 400 ml 100 L⁻¹ dose of the preparation with 60 g L⁻¹ orange oil content, whose lethal dose was determined under semi-controlled conditions in 2021, was tested under open field conditions in 2021, 2022 and 2023. It was determined that the mortality rates were 99.6%, 100%, 100%, respectively. In addition, 24 hours after the release of 50 *Coccinella septempunctata* (Coleoptera: Coccinellidae) individuals in the closed area with insect-net where different doses were applied, the presence of 27 and 7 individuals were detected on 400 ml 100 L⁻¹ and 300 ml 100 L⁻¹ dose application, respectively. The rest of 16 *Coccinella septempunctata* individuals were not found in the field. In conclusion; It was observed that 400 ml 100 L⁻¹ dose was the most effective dose in the *Macrosiphum rosae* management in oil rose cultivation and in this study, predatory insects were more attracted to high doses compared to the control group and low doses.

1. Giriş

Afitlerin veya diğer bir deyişle yaprakbitlerinin yaygın türler olduğu [1-6] konusunda pek çok araştırmacı hemfikirdir. Afritlerin bitkilere verdikleri doğrudan zararlar; bitki özsuğu ile yoğun beslenme sonucu bitkinin solması ve verimin düşmesi şeklinde olabileceği gibi [4], dolaylı şekilde ise; fumajine sebep olan ballı sıvı madde salgılamaları, virüs taşıma ve aynı zamanda çeşitli patojenlerin bitki bünyesine girmesine olanak sağlayan yara açıklıkları oluşturmaları şeklinde de olabilmektedirler. Ballı sıvı maddenin atılması bitki yüzeyinde küf gelişimini teşvik eder, bu durum fotosentezi sekteye uğratarak ürün veriminin düşmesine sebep olabilir [7, 8]. Özellikle sentetik kimyasalların yoğun ve kontrolsüzce kullanıldığı bölgelerde predatör, parazitoit ve mikrobiyal patojenlerinin olumsuz etkilenmesi sebebi ile afit popülasyonu kontrolsüzce artabilir. Doğada pek çok parazitoit, predatör ve patojen [9-16] için konukçu ve besin kaynağı olan afitler, salgıladıkları bu ballı sıvı maddeyi karıncalara besin maddesi olarak vererek onlar sayesinde de *Coccinella septempunctata* L. (Coleoptera: Coccinellidae) gibi avcı türlere karşı korunurlar [17]. Türler arasında gelişen bu mutualistik yaşam şekli mücadelede üreticinin işlerini zorlaştırabilmektedir. Kışı döllenmiş yumurta olarak geçiren afitler bahar aylarında çıkış yaparak yaz boyu vivipar bireyleri oluşturacak popülasyonun temelini oluşturur [18-20] ve bu afit popülasyonu herhangi bir şekilde kontrol altına alınmamışsa, bu durum yaz sonunda kışı geçirecek olan daha çok döllenmiş yumurta için bir yatırım ve dolayısı ile diğer sezona güçlü bir popülasyon başlangıcı olacağına garantisini anlamına gelebilir.

Tanımlanmış 4000'den fazla afit [7, 20, 21] türünden biri olan gül yaprakbiti *Macrosiphum rosae* (Linnaeus, 1758) (Hemiptera: Aphididae), gül yetiştiriciliği yapılan bölgelerde ekonomik zarara sebep olan önemli bir türdür [7, 22-28]. Doğal regülasyonun yeterli olmadığı plantasyonlarda üretici popülasyonu ekonomik zarar seviyesinin altına düşürmek için birtakım müdahaleler yapmak zorundadır. Bu müdahalelerin doğaya uyumlu çevre ve insan sağlığına dost biyolojik çözümlerle [29,30] yapıyor olması sürdürülebilirliğin temelini oluşturmaktadır. Bunun için mevcut literatürde sentetik kimyasallara alternatif olarak sekonder metabolitlerin araştırıldığı çalışmalar mevcuttur. Sekonder metabolitler, bitkiler tarafından patojenlere ve zararlılara karşı üretilir [31]. Birçok çalışma bitkisel ekstraktların bu amaçla kullanım potansiyeli taşıdığını bildirmektedir [32,33,34,]. Bunlardan portakal kabuğu ekstraktından elde edilen bileşiklerin, böcekler üzerindeki etkinliğinin içerisinde bulunan silika veya silika benzeri aşındırıcı partiküllerin beyne yapışma yeteneğinden kaynaklanabileceği [35], bununla birlikte portakal kabuğu ekstresinin toksisitesinin d-limonene bağlı olabileceği bildirilmiştir [36, 37].

Limonen, portakal kabuğu ekstraktında bol miktarda bulunan, sıcakkanlılar üzerinde düşük toksisiteye sahip olması ve zararlı böceklerin mücadelesinde kullanımı yer almış bir monoterpenoiddir [32]. Limonenin, afitler üzerinde de etkili olduğunu bildiren çalışmalar mevcuttur [32,35]. Limonence zengin olduğu bilinen portakal yağından elde edilen bazı biyopreparatlar farklı böcek türlerinin mücadelesinde ruhsatlıdır. Fakat ülkemizde *M. rosae* yönetiminde gül bahçelerinde kullanılmak üzere ruhsatlandırılmış portakal yağı preparatı bulunmamaktadır. Literatürde zararlı üzerinde etkisi olduğu bildirilen etken maddeye sahip preparatların arazi koşullarında hedef organizma üzerinde denenerek sonuçlarını görmek mücadele olanaklarını artıracak ve alternatif doğal bileşiklerin kullanımı hakkında bilgi üretilmesini sağlayacaktır.

Bu çalışmada; 2021, 2022 ve 2023 yıllarında, yağlık gül (*Rosa damascena*) üzerinde doğal olarak gelişen *M. rosae* üzerinde portakal yağı içerikli bir preparatın (Prev-am®) etkili dozunu yarı kontrollü koşullarda tespit etmek ve etkili dozun yağlık gül yetiştiriciliği yapılan arazide uygulanarak *M. rosae* üzerinde etkisini görmek amaçlanmıştır. Aynı zamanda insect net kaplı deneme tüneli içerisine kontrollü olarak salınan ergin *C. septempunctata* bireylerinin farklı dozlara ve preparatlara yönelimi takip edilmiştir. Çalışma sonuçlarının *M. rosae*'nin mücadelesinde alternatif preparatların kullanım imkanlarının artırılması için literatüre katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Materyal

Deneme materyalini 26 m uzunluk 3 m genişlikte üzeri insect net ile kaplı tünel ve içerisinde yağlık gül (*R. damascena*) bitkileri, bitkilerin üzerinde doğal olarak gelişen *M. rosae* popülasyonları ve portakal yağı içerikli preparat (Prev-am®), hedef organizmanın mücadelesi için ruhsatlı Azadirachtin A etken maddeli preparat (NeemAza®) ve çeşme suyu oluşturmaktadır. Doz belirleme denemeleri için el spreyi, açık alan gül bahçesinde uygulama için ise traktöre bağlanabilir atomizör kullanılmıştır. Ayrıca portakal yağı preparatının farklı dozlarına vereceği yönelim tepkisini görmek için doğadan 50 adet *C. septempunctata* ergin bireyi toplanarak denemede kullanılmıştır. *M. rosae* ve *C. septempunctata* tür teşhisi Prof. Dr. İsmail KARACA (Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi) tarafından yapılmıştır.

2.2. Metot

2.2.1. Böceklerin denemeye hazırlanması

Deneme alanındaki yağlık gül bitkilerinde yaprak bitlerinin çoğalabilmesi amacıyla herhangi bir ilaçlama yapılmamıştır. Uygulama öncesi beş gül öbeği seçilmiş, her gül öbeğinden *M. rosae* ile farklı

oranlarda bulaşık 5 adet tomurcuklu sürgün farklı portakal yağı dozu uygulamaları için farklı renklerde etiketlenmiş ve uygulama öncesi biyolojik dönem fark etmeksizin toplam *M. rosae* sayıları not edilmiştir.

2.2.2 Etkili dozun belirlenmesi

60 g L⁻¹ portakal yağı içerikli preparat (Prev-am®) 100 litre suya 400 ml, 300 ml, 200 ml olmak üzere 3 farklı konsantrasyonda hazırlanmış ve el spreyi yardımıyla *M. rosae* ile bulaşık olan tüm sürgünlere her sürgüne ortalama 5 ml olacak şekilde uygulanmıştır. Pozitif kontrol için 100 litre suya 500 ml Azadirachtin A etken maddeli preparat (NeemAzal®), kontrol grubu için ise çeşme suyu kullanılmıştır. 2021 yılında yapılan bu çalışmada; 3 farklı portakal yağı dozu, pozitif kontrol ve negatif kontrol olmak toplam beş farklı uygulama için bir gül öbeğinde beş farklı enfekteli sürgün seçilmiştir. Uygulama esnasında diğer sürgünler arasına plastik perde çekilerek kontaminasyon engellenmiş uygulama bitiminde perde kaldırılmıştır. 5 tekrür ile yürütülen çalışmada tekrürler için birbirinden 2 metre mesafede bulunan farklı gül öbekleri kullanılmıştır ve deneme tesadüf blokları deneme desenine göre yapılandırılmıştır. Uygulama öncesi ve uygulamadan 72 saat sonra sürgünler üzerindeki toplam birey sayıları kaydedilerek veriler karşılaştırılmıştır. Deneme sonucunda elde edilen veriler Henderson-Tilton (1955) formülü kullanılarak yüzde etki oranları tespit edilmiştir. İstatistiksel analizler SPSS programında Tek yönlü varyans analizine tabii tutulup veriler arasındaki istatistiksel farklar Tukey çoklu karşılaştırma testleri ile belirlenmiştir [38].

2.2.3 Arazi uygulamaları

Arazi çalışmaları Isparta ili Eğirdir ilçesinde bulunan Meyvecilik Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü bünyesindeki organik yağlık gül araştırma parselinde 2021, 2022 ve 2023 yıllarında yürütülmüştür. Etkili olduğu tespit edilen 60 g L⁻¹ Portakal yağı'nın 400 ml 100 L⁻¹ dozu 300 m² açık yağlık gül yetiştirilen alanda *M. rosae* popülasyonları üzerine traktöre bağlanabilir atomizör yardımıyla uygulanmıştır. Ayrıca kontrol grubu olarak toplam 20 yağlık gül öbeğine su uygulaması yapılmıştır. Uygulama öncesi ve uygulamanın 72. saatinde rastgele seçilen 100 sürgünde canlı-ölü birey sayıları kontrol edilmiştir.

2.2.4 İnsect net ile kapalı tünelde kontrollü Coccinellidae bireylerinin salımı

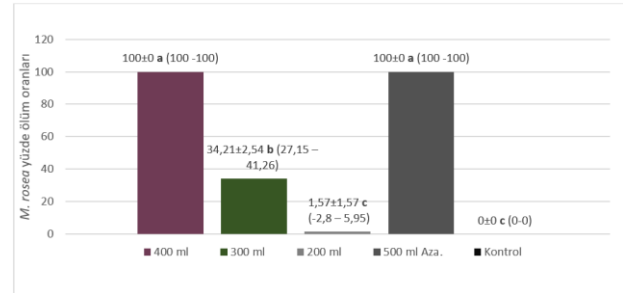
Uygulama öncesi atrap ile yapılan kontrollerde insect net ile kapalı tünel içerisine dışarıdan avcı böcek bulaşık bulaşmadığı kontrol edilmiştir. Açık gül ve seftali bahçelerinden 50 adet ergin *C. septempunctata* bireyi emgi tüpü yardımıyla toplanmıştır. Portakal yağı uygulamasının sayımları bittikten sonra (denemenin başlangıcından 72 saat sonra) *C.*

septempunctata bireyleri 5 adet yağlık gül bitki öbeğine 10'ar adet olmak üzere bırakılmıştır. 24 saat sonrasında deneme alanında farklı doz ve uygulamaların yapıldığı sürgünler üzerinde *C. septempunctata* ergin bireylerinin sayıları kontrol edilmiştir.

3. Bulgular

3.1 Etkili doz bulguları

Portakal yağı preparatının farklı dozları, Neem yağının tek dozu ve kontrol grubunun 72 saat sonundaki *M. rosae* üzerindeki yüzde ölüm verileri Şekil 1'de gösterilmektedir.

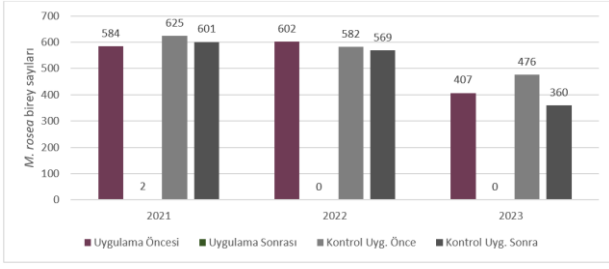


Şekil 1. Uygulamada kullanılan 60 g L⁻¹ portakal yağı içerikli preparat (Prev-am®), 100 litre suya 400 ml, 300 ml ve 200 ml olmak üzere 3 dozu, pozitif kontrolde 100 litre suya 500 ml oranında 10 g L⁻¹ Azadirachtin A (500 ml Aza.) içerikli preparat (NeemAzal®), ve çeşme suyu uygulanan kontrol grubunun uygulamadan 72 saat sonra yüzde ölüm oranları. *Tukey çoklu karşılaştırma testine göre sütunlardaki farklı harfler istatistiksel olarak farklıdır (P<0.05)

Şekil 1'de görüldüğü üzere içeriğinde 60 g L⁻¹ portakal yağı bulunan preparatın 100 L su ile hazırlanan 400 ml dozu ve 10 g L⁻¹ Azadirachtin A içeriği bulunan preparatın 100 L su içerisindeki 500 ml dozları popülasyonun %100' ünü öldürerek en etkili bulunmuştur (F: 1404.03; P<0.01). 200 ml doz %2 oranında ölüme sebep olmuş ve çeşme suyu kullanılan %0 ölüm oranına sahip kontrol grubu ile kıyaslandığında fark görülmemiş (F: 1404.03; P>0.01), 300 ml doz %34,21 ölüme sebep olmuştur ve kontrol ile farklı grupta yer almıştır (F: 1404.03; P<0.01). Bu sonuçlara göre 60 g L⁻¹ portakal yağının en etkili bulunan 100 L suya 400 ml portakal yağı ile hazırlanan dozu arazi çalışmaları için kullanılmaya uygun bulunmuştur.

3.2. Etkili dozun arazi uygulaması

Etkili olduğu tespit edilen 60 g L⁻¹ Portakal yağı içerikli preparatın 400 ml 100L⁻¹ dozu, 2021, 2022 ve 2023 yıllarında *M. rosae* mücadelesinde açık alanda uygulanmıştır. Uygulama öncesinde yüz sürgün üzerinde canlı birey sayımı yapılmıştır. Uygulamadan 72 saat sonra yapılan sayımların sonuçları Şekil 2' de gösterilmektedir.



Şekil 2. Açık yağlık gül bahçelerinde Prev-am® uygulama öncesi ve uygulamanın 72. saatinde 100 sürgündeki toplam birey sayısı ve su uygulanan kontrol grubundaki bireylerin uygulama öncesi ve sonrası popülasyon değişimi.

Yıllar bazında değerlendirildiğinde; 2021 yılında uygulama öncesi 100 sürgünde 584 birey sayılırken, uygulamadan 72 saat sonra yüz sürgün üzerinde 2 canlı birey ile karşılaşmıştır. 2022 yılında uygulama öncesi 602, uygulama sonrası 0 canlı; 2023 yılında ise bu sayı uygulama öncesi 407 birey iken uygulama sonrası yine 0 canlı olarak tespit edilmiştir. Her üç yılın 100 sürgünden oluşan kontrol grubunda ise uygulama öncesi birey sayıları yıllar bazında sırasıyla; 625, 582 ve 476 birey iken, su uygulaması sonrası 72. saatte birey sayıları 601, 569 ve 360 birey olarak tespit edilmiştir.

3.3. *Coccinella septempunctata* bireylerinin dozlara yönelimi

Insect-net ile kapalı olan tünel içerisinde uygulamalar öncesi predatör böcekler ile karşılaşmamıştır. Uygulamanın 72. saatinden sonra salınan bireylerin bir gün sonra yönelimi göz ile tespit edildiğinde; 60 g L⁻¹ portakal yağı içerikli preparatın 400 ml 100 L⁻¹ su ile hazırlanan dozunda tomurcuk ve sürgünler üzerinde 27 adet, 300 ml 100 L⁻¹ ile hazırlanan dozun uygulandığı dal ve sürgünlerde ise 7 adet ergin *C. septempunctata* bireyi sayılmıştır. Diğer deneme karakterlerinde *C. septempunctata* bireyi ile karşılaşmamıştır.

4. Tartışma ve Sonuç

Macrosiphum rosae, gül bitkilerinde ekonomik zarara sebep olan bir türdür. Mücadelede sentetik kimyasallara alternatif olarak bitkisel biyopreparatların etkinlik çalışmaları hız kazanmıştır. Portakal yağı ile yapılan arazi denemelerinin sonucu olarak 400 ml 100 L⁻¹ portakal yağı (Prev-am®) süspansiyonunun *M. rosae* üzerinde etkili olduğu görülmüştür. Limonence zengin diğer preparatların farklı afit türleri üzerinde etkisini araştıran bir çalışmada Chaieb vd., (2018), *Citrus aurantium* L. a ait uçucu yağları *Acyrtosiphon pisum* Harris (Hemiptera: Aphididae), *Aphis fabae* Scop. (Hemiptera: Aphididae), *Macrosiphum euphorbiae* Thomas (Hemiptera: Aphididae) ve *Rhopalosiphum padi* L. (Hemiptera: Aphididae) üzerindeki etkinliğini araştırmıştır. Yapılan analizlerde kullanılan uçucu yağın Limonene (%67.1), Linalool (8.37%), β -pinene (%4.02), Myrcene (%3.17), β -Ocimene (%2.36) and α -pinene (%1.18) oranlarında majör bileşiklere sahip olduğunu

ve dört yaprakbitinde de toksik etkisinin yüksek olduğunu belirtmiştir. Kaolinle kombine yapılan bu çalışmada yalnızca yağ kullanımının kaolin veya kaolin+yağ kullanımına oranla daha yüksek toksisiteye sebep olduğu sonucu rapor etmişlerdir. Limonene'in insektisidal etkisinin önemli ölçüde olduğu aynı çalışmada vurgulanmaktadır [39]. Çalışma sonuçları portakal yağı ile yapılan bu çalışmada sonuçları ile paralellik göstermektedir. Ayrıca limonen içerikli farklı bitkisel yağlar ile gül yaprakbiti üzerinde yapılan çalışmalarda benzer sonuçlar bildirmektedir. Örneğin; Budak vd (2022), aloe vera (*Aloe barbadensis*), çay ağacı (*Melaleuca alternifolia*), okaliptus (*Eucalyptus globulus*), sarımsak (*Allium sativum*)'ın %1'lik dozlarını *M. rosae* üzerine uyguladıktan 96 saat sonra ölüm oranlarının aloe vera'da %80.8; çay ağacında ve okaliptüste %78.72; sarımsakta %74.46 oranında bulduklarını ifade etmektedirler. Değerlendirme sonucu en fazla aloe vera olmak üzere her dört uçucu yağın da yüzde ölüm oranlarının birbirine çok yakın olduğu ve *M. rosae* mücadelesinde etkili olabileceği ve yüzde ölüm oranlarının yüksek olması, bitkisel kökenli preparatların avantajları sebebiyle de mücadelede kullanılabileceğini belirtmişlerdir [40]. Benzer bir çalışmada Alghamdi (2018), dört bitki (*Moringa oleifera* L., *Eruca sativa* L., *Raphanus sativus* L., *Allium sativum* L.) uçucu yağının deşme etkisini, gül yaprakbitine (*M. rosae* L.) karşı %1, %2 ve %4 konsantrasyonlarında denemiştir. 12, 24, 48 ve 72 saat maruz bırakma süresinden sonra, uçucu yağ testlerinde roka yağı, *M. rosae*'ya karşı tüm konsantrasyonlarda %97.5'e ulaşan ölüm oranıyla en yüksek değeri vermiş, bunu sırasıyla sarımsak yağı (%80.6), turp yağı (%69.2) ve moringa yağı (% 63.3) izlemiştir. Ölüm oranlarının farklı deneme sürelerinde, uçucu yağ konsantrasyonlarının artmasıyla arttığını ifade etmektedir [41]. Noureddeen vd. (2022), *Citrullus colocynthis*, *Tagetes erecta*, *Rosmarinus officinalis*, *Thymus vulgaris*, ve *Withania somnifera*; ekstraktlarının *M. rosae* üzerinde etkilerini tek başına ve entomopatojen bir bakteri ile kombine uyguladıkları bir araştırmada tüm bitkisel ekstraktların önemli ölçüde *M. rosae* üzerinde öldürücü etkiye sahip olduğu bunlardan *T. erecta*'nın metanol ekstraktının daha yüksek ölüm oranına sahip olduğunu ifade etmiştir. Entomopatojen bakteri ile kombine kurulan denemelerin ise, tek başına bitki ekstraktı veya tek başına bakteri ile kurulan denemelerden çok daha yüksek toksisite sonuçları verdiği ifade edilmiştir [34]. Literatürde zararlı türlerin yanı sıra predatörleri de hedef alan çalışmalardan biri; Ibrahim (2020)' in, *Aphis craccivora* Koch. (Hemiptera: Aphididae), *Bemisia tabaci* Genn. (Hemiptera: Aleyrodidae) ve *Thrips tabaci* Lindeman (Thysanoptera: Thripidae) üzerinde portakal yağı ve neem yağı farklı preparatlar ile yürüttüğü çalışmadır. 72. saatte portakal yağının *A. craccivora* üzerinde %63.36, neem yağının ise %95.10 yüzde ölüm oranına sahip olduğunu rapor etmiştir. 14 gün süren çalışmada 14. gün yüzde ölüm oranlarının

bu özete göre sırasıyla %84.86 ve %99.80 oranına yükseldiğini ifade etmiştir. Aynı zamanda bu preparatların *C. septempunctata* üzerindeki yan etki sonuçlarını ise 14. günde yüzde ölüm oranlarının sırasıyla %14.90 ve %40.13 olduğunu ifade etmektedir [42]. Diğer bir çalışmada ise Gupta vd., (2017), Gül yaprakbiti ve predatörler; *C. septempunctata* ve *Orius laevigatus* Fieber (Heteroptera: Anthocoridae) üzerinde limon kabuğu ekstraktının etkilerini araştırmışlardır. Yapılan çalışma sonucunda limon kabuğu ekstraktının gül yaprakbitine toksik etkisi olduğu, *C. septempunctata*'da toksisitesinin bulunmadığı, *O. laevigatus* üzerinde ise az toksisitesi olduğunu belirtmişlerdir. Aynı çalışmada avcılarının koku seçimi ve besin seçimi üzerinde uygulamalar arasında fark olmadığını belirttiktedirler [32]. Sevinç vd., (2023), *Myzus persicae* Sulzer (Hemiptera: Aphididae) üzerinde portakal yağının etkisini görmek için şeftali bahçelerinde yürüttükleri bir çalışmanın sonucunda bölgede deneme sonrası *C. septempunctata*'nın yoğunlaştığı, deneme öncesi parazitlenmiş afid bireylerinin kapsüllerinden deneme sonrasındaki parazitoit çıkışlarının gözlemlendiğini, ayrıca uygulama sonrası *Chrysoperla carnea* Stephens (Neuroptera: Chrysopidae) yumurtalarının deneme öncesine kıyasla oransal olarak artmasını gözlemlediklerini ifade etmişlerdir [43].

Deneme sonuçlarından ve literatürden de anlaşıldığı üzere; portakal yağı preparatının bitkisel kökenli bir ekstrakt olması, zararlılar üzerinde hızlı sonuçlar vererek mücadelede etkili olması, avcı böcekler üzerinde toksik etkisinin düşük olması bununla birlikte avcı böcekleri uygulama alanına çekilmesine de destek veriyor olması gibi sebeplerle *Macrosiphum rosae*'nin mücadelesinde etkili bir şekilde kullanılabileceği sonucuna varılmıştır. Çalışma sonucu elde edilen bilgilerin özellikle organik yağlık gül yetiştiriciliğinde *M. rosae* ile mücadelede yapılacak olan yeni araştırmalara katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Teşekkür

Yazarlar denemede kullanılan böceklerin tür teşhisleri için Prof. Dr. İsmail KARACA'ya, finansal destek için Meyvecilik Araştırma Enstitüsü Müdürlüğüne teşekkür ederler.

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] Dixon A. F. G., Kindlmann P., Leps J., Holman, J. 1986. Why There Are So Few Species of Aphids, Especially In The Tropics. *American Naturalist*, 129(4), 580-592.
- [2] Jouraeva V.A., Johnson D.L., Hassett J.P., Nowak D.J., Shipunova N.A., Barbarossa D. 2006. Role of Sooty Mold Fungi in Accumulation of Fine-particle-associated PAHs and Metals on Deciduous Leaves. *Environmental Research*, 102(3), 272-282.
- [3] Yücel, S. A., & Kıvan, M. (2018). İstanbul Göztepe Parkı gül bahçesinde bulunan zararlı Hemiptera ve Hymenoptera türleri. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 15(2), 95-100.
- [4] Peccoud, J., Simon, J.C., von Dohlen, C., Cœur d'acier, A., Plantegenest, M., Vanlerberghe-Masuti, F., Jouddrln E. 2010. Evolutionary History of Aphid-Plant Associations and Their Role in Aphid Diversification. *CR Biol.* 333(6-7), 474-487.
- [5] Golizadeh, A., Jafari-Behi, V., Razmjou, J., Naseri, B., & Hassanpour, M. (2017). Population growth parameters of rose aphid, *Macrosiphum rosae* (Hemiptera: Aphididae) on different rose cultivars. *Neotropical entomology*, 46, 100-106.
- [6] Diehl, E., Sereda, E., Wolters, V., Birkhofer, K. 2013. Effects of Predator Specialization, Host Plant and Climate on Biological Control of Aphids by Natural Enemies: A Meta-Analysis. *Journal of Applied Ecology*, 50(1), 262-270.
- [7] Blackman, R. L., Eastop, V. F. 2000. *Aphids on The World's Crops (An Identification and Information Guide)*, Second Ed., UK John Wiley & Sons. London, 476s.
- [8] Blackman, R. L., Eastop, V. F. 2006. *Aphids on The World's Herbaceous Plants and Shrubs*. UK John Wiley & Sons. Chichester, in conjunction with The Natural History Museum, London, 1439s.
- [9] Butt T. M., Becket A, Wilding N. 1990. A Histological Study of The Invasive and Developmental Processes of The Aphid Pathogen *Erynia neoaphidis* (Zygomycotina: Entomophthorales) in The Pea Aphid *Acyrtosiphon pisum*. *Can. J. Botany*, 68(1), 2153-2163.
- [10] Henter, H.J., Via, S. 1995. The Potential for Coevolution in a Host-Parasitoid System. I. Genetic Variation within An Aphid Population in Susceptibility to a Parasitic Wasp. *Evolution* 49(3), 427-438.
- [11] Lee J.H., Elliot N.C., Kindler S.D., French B.W., Walker C.B., Eikenbary R.D. 2005. Natural Enemy Impact on The Russian Wheat Aphid in

- Southeastern Colorado. Environmental Entomology, 34 (1), 115-123.
- [12] Deguine, J.P., Vaissayre M., Leclant F. 2007. IPM Case Studies: Cotton, ss 573-585. Van Emden H.F., Harrington R. (Eds.) 2007. In: Aphids as crop pests. CAB International Publishing, Cambridge, Massachusetts, 717s.
- [13] Slipinski, S.A. 2007. Australian Ladybird Beetles (Coleoptera: Coccinellidae). Their Biology and Classification. ABRIS, Canberra, 286s.
- [14] Michels, G.J., Matis J.H. 2008. Corn Leaf Aphid, *Rhopalosiphum maidis* (Hemiptera: Aphididae), Is A Key to Greenbug, *Schizaphis graminum* (Hemiptera: Aphididae), Biological Control in Grain Sorghum, *Sorghum bicolor*. European Journal of Entomology, 105(3), 513-520.
- [15] Volk, W., Mackauer M., Pell J. K., Brodeur J. 2007. Predators, parasitoids, and pathogens, ss 187-233. Van Emden H.F., Harrington R. (Eds.) 2007. In: Aphids as Crop Pests. CAB International Publishing, Cambridge, Massachusetts, 717s.
- [16] Le Ralec, A., Anselme C., Outreman Y., Poirié M, van Baaren J, Le Lann C, et al. 2010. Evolutionary Ecology of The Interactions Between Aphids and Their Parasitoids. CR Biol. 333(6-7), 554-565.
- [17] Verheggen, F. J, Diez L., Detrain C., Haubruge E., 2009. Aphid - ant mutualism: An outdoor study of the benefits for *Aphis fabae*. Biotechnology, Agronomy and Society and Environment, 13(2), 235-242.
- [18] Ogawa, K., Miiura, T. 2014. Aphid Polyphenisms: Trans Generational Development Regulation Through Viviparity. Frontiers in Physiology, 5,1.
- [19] Murano, K., Ogawa K., Kaji T., Miura T. et al. 2018. Pheromone Gland Development and Monoterpenoid Synthesis Specific to Oviparous Females in the Pea Aphid. Zoological letters, 4(9).
- [20] Blackman, R. L., Eastop V. F. 1994. Aphids on The World's trees. An identification and information guide. CAB International, Wallingford, 1005s.
- [21] Kumar, S. 2019. Aphid-plant interactions: implications for pest management. Plant Communities and Their Environment, 3, 223-232.
- [22] Maelzer, D. A. 1977. The Biology and Main Causes of Changes in Numbers of The Rose Aphid, *Macrosiphum rosae* (L.), on Cultivated Roses in South Australia, Australian Journal of Zoology 25, 269-284.
- [23] Heie, O. E. 1994. The Aphidoidea (Hemiptera) of Fennoscandia and Denmark, Volume V. Family Aphididae: Part 2 of Tribe Macrosiphini of Subfamily Aphidinae, Fauna Entomologica Scandinavica, The Netherlands E. J. Brill, 242s.
- [24] Alford, D. V. 1999. A textbook of Agricultural Entomology, Blackwell Science Ltd, 314s.
- [25] Demirözer, O., Karaca, I., Karsavuran, Y. 2011. Population Fluctuations of Some Important Pests and Natural Enemies Found in Oil-bearing Rose (*Rosa damascena* Miller) Production Areas in Isparta Province (Turkey). Turkish Journal of Entomology, 35(4), 539-558.
- [26] Jalalizand, A. Z., Karimi, A., Modaresi, M.E., Mahamoodi, E. 2012. Determining Morphological Traits and Genetic Diversity of Rose Aphids Using RAPD and RFLP-PCR Molecular Markers. In Proceedings of the International Conference on Applied Life Sciences (ICALS 12), Konya, Turkey, 324.
- [27] Singh, P., Dhal, M. K., Sagar, S. K. 2014. Experimental Investigation on Nutritional Variation in Plant Foliage of Rose (*Rosa damascena*): Effect of Pest Infestation. Int. J. Sci. Res. Publication, 4(5), 1-12.
- [28] Arıcı, Ş. E., Karatağ, N., Özdemir, F. G. G., Gül, M., Şirikçi, B. S. 2022. Isparta/Keçiborlu İlçesinde Yağ Gülü Yetiştiriciliği, Pestisit Kullanımı Hakkında Üretici Sorunları ve Uygulama Esasları. Türk Bilim ve Mühendislik Dergisi, 4(1), 15-20.
- [29] Ghodke, A. B., Chavaan, S. G., Sonawane, B. V., Bharose, A. A. (2013). Isolation and In Vitro Identification of Proteinase Inhibitors From Soybean Seeds Inhibiting *Helicoverpa gut* proteases. J. Plant Interact 8, 170-178.
- [30] Dixit, R., Wasiullah, Malaviya, D., Pandiyan, K., Singh, U., Sahu, A., Shukla, R., Singh, B., Rai, J., Sharma, P., Lade, H., Paul, D. 2015. Bioremediation of Heavy Metals From Soil and Aquatic Environment: an Overview of Principles and Criteria of Fundamental Processes. Sustainability, 7(2), 2189-2212.
- [31] Ahmed, M., Peiwen, Q., Gu, Z., Liu, Y., Sikandar, A., Hussain, D., Javeed, A., Shafi, J., Iqbal, M.F., An, R., Guo, H., Du, Y., Wang, W., Zhang, Y., Ji, M. 2020. Insecticidal Activity and Biochemical Composition of *Citrullus colocynthis*, *Cannabis indica* and *Artemisia argyi* extracts against Cabbage Aphid (*Brevicoryne brassicae* L.). Sci. Rep. 10(1), 522.
- [32] Gupta, G., Agarwal, U., Kaur, H., Kumar, N. R., & Gupta, P. 2017. Aphicidal Effects of Terpenoids Present in Citrus Limon on *Macrosiphum roseiformis* and Two Generalist Insect Predators. Journal of Asia-Pacific Entomology, 20(4), 1087-1095.
- [33] Koul, I., Sailaja, I. 2020. Effectiveness of Botanical Extracts in Controlling Aphids on Crop Plants. IJRAR, 7(1), 529-536.

- [34] Noureldeen, A., Kumar, U., Asad, M., Darwish, H., Alharthi, S., Fawzy, M. A., ... & Alkashgry, N. 2022. Aphicidal activity of Five Plant Extracts Applied Singly or in Combination with Entomopathogenic Bacteria, *Xenorhabdus budapestensis* against Rose Aphid, *Macrosiphum rosae* (Hemiptera: Aphididae). Journal of King Saud University-Science, 34(5), 102306.
- [35] Belmain, S., Stevenson, P. 2001. Ethnobotanicals in Ghana. Pesticide Outlook, 12(6), 233-238.
- [36] Sharaby, A. 1988. Effectiveness of Orange, *Citrus sinensis* (L.) Peel Oil on Reproduction in *Phthorimaea operculella* (Zell). Int. J. trop. Insect Sci., 9(2), 201- 203.
- [37] Tripathi, A.K., Prajapati, V., Khanuja, S.P. S., Kumar, S. 2003. Effect of D. Limonene on Three Stored-Product Beetles. J. econ. Ent., 96(3), 990-995.
- [38] IBM SPSS Statistics for Windows. 2015 Version 23.0. Armonk, NY:IBM.
- [39] Chaieb, I., Zarrad, K., Sellam, R., Tayeb, W., Hammouda, A. B., Laarif, A., Bouhachem, S. 2018. Chemical Composition and Aphicidal Potential of *Citrus aurantium* peel essential oils. Entomol Gen, 37, 63-75.
- [40] Budak E., Yiğit Ş., Aşkin A.K., Akça İ., Saruhan İ. 2022. Determination of the Insecticidal Effects of Some Essential Oils on *Macrosiphum rosae* (L.)(Hemiptera: Aphididae). Journal of Tekirdag Agricultural Faculty 19(1), 101-107.
- [41] Alghamdi A. S. 2018. Insecticidal Effect of Four Plant Essential Oils Against Two Aphid Species Under Laboratory Conditions. Journal of Applied Biology & Biotechnology 6(2), 27-30.
- [42] Ibrahim A. J. K. 2020. Study of the Effect of Some Natural Insecticides on Fenugreek Insects. Plant Archives. 20(1), 3417-3420.
- [43] Sevinç, M. S., Yeşilırmak, M., Karatağ, N., Yaman, B., Çetinbaş, M., & Nazlı, İ. 2023. Portakal Yağının Yeşil Şeftali Yaprak Biti [(*Myzus persicae* Sulzer)(Hemiptera: Aphididae)] Populasyonu Üzerine Etkisi. Meyve Bilimi, 10(2), 152-157.

$\pi D^* \bar{D}^*$ Üç Mezon Sisteminin Faddeev Denkleminin Sabit Merkez Yaklaşıklık Yöntemi ile İncelenmesi

Merve Aleyna AKARSU¹, Melahat BAYAR²

¹ Kocaeli Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, 41380, Kocaeli, Türkiye

² Kocaeli Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, 41380, Kocaeli, Türkiye

(Alınış / Received: 26.01.2024, Kabul / Accepted: 29.05.2024, Online Yayınlanma / Published Online: 23.08.2024)

Anahtar Kelimeler
Hadronik molekül,
Ağır Mezon,
Faddeev Denklemi.

Özet: Bu çalışmada, $\pi D^* \bar{D}^*$ üç mezon sistemi üniter kiral pertürbasyon teorisinde, Faddeev denkleminin sabit merkez yaklaşığı yöntemi kullanılarak hesaplandı. Bu yöntemde, iki parçacık küme olarak alınır ve üçüncü parçacık bu kümeden saçılarak üç parçacık sistemi araştırılır. Bu hesapta $D^* \bar{D}^*$ durumu küme olarak alındı ve pionun bu kümeden saçılması incelendi. Pionun kümenin birinci parçacığından saçılması (πD^*) ve pionun kümenin ikinci parçacığından saçılması ($\pi \bar{D}^*$)'nın hesabı, üniter kiral pertürbasyon teorisinde izospin bazda Bethe-Salpeter denklemi çiftlenmiş kanallarda çözülerek yapıldı. Yaptığımız hesapların sonucunda izospin $I = 1$ olan, kütlesi 4156 MeV ve genişliği yaklaşık 130 MeV olan yarı bağlı durum elde edildi. Bulduğumuz pik; 4153_{-35}^{+23} MeV kütleli ve 136_{-35}^{+60} MeV genişliğe sahip olan X(4160) mezonu ile ilişkilendirildi.

Investigation of the $\pi D^* \bar{D}^*$ Three Meson System by the Fixed Center Approximation to the Faddeev Equation

Keywords
Hadronic Molecule,
Heavy Meson,
Faddeev Equation

Abstract: In this study, the $\pi D^* \bar{D}^*$ three meson system is calculated in unitary chiral perturbation theory using the fixed center approximation to the Faddeev equation. In this method, two particles are taken as a cluster and the third particle is scattered from this cluster to search for the three particle system. In this calculation, the $D^* \bar{D}^*$ state was taken as a cluster and the scattering of the pion from this cluster was analyzed. The scattering of the pion from the first particle of the cluster (πD^*) and the scattering of the pion from the second particle of the cluster ($\pi \bar{D}^*$) were calculated by solving the Bethe-Salpeter equation in the isospin basis in the unitary chiral perturbation theory in coupled channels. As a result of our calculations, we obtained a quasi-bound state with isospin $I=1$, mass 4156 MeV and width about 130 MeV. The peak was associated with the X(4160) meson with a mass of 4153_{-35}^{+23} MeV and a width of 136_{-35}^{+60} MeV.

1. Giriş

Parçacık fiziğinde son elli yılın en önemli araştırma konularından biri olan hadron nedir, içyapıları nasıldır, nasıl etkileşir hala güncelliğini korumaktadır. Murray Gell-Man ve George Zweig, 1964 yılında hadronları; kuark ve antikuarktan oluşan mezonlar ve üç kuarktan oluşan baryonlar olarak sınıflandırdılar [1,2]. Deneysel teknikler geliştikçe ve yüksek enerji fiziği laboratuvarlarında daha yüksek enerjiler

çıkıldıkça deneylerde gözlenen yeni hadronların kuark modeldeki gibi basit mezon veya baryon yapısında olmadığı görüldü. Bu yeni hadronlar egzotik hadronlar olarak adlandırıldı. Egzotik hadronlara; iki kuark iki antikuarktan oluşan tetrakuarklar [3,4], dört kuark bir antikuarktan oluşan pentakuarklar [5-7], valans kuark ve gluonlar içeren hibrit mezonlar [8], hiç valans kuark içermeyen gluontopu [9,10], mezon mezon veya mezon baryondan oluşan hadronik moleküller [11] örnek olarak verilebilir. Bu çalışmada,

tılsım kuark içeren iki ağır mezon ve bir hafif mezon bir araya gelerek, üç mezonun hadronik molekül oluşturup oluşturmadığını araştırdık. Hadronlar güçlü etkileşmeler ile etkileşirler ve güçlü etkileşmelerin kuramı Kuantum Renk Dinamiğidir (KRD). KRD'de çiftlenim sabiti; düşük ve orta enerji bölgesinde büyürken, yüksek enerji bölgesinde küçülmektedir. Hadronlaşmanın olduğu orta ve düşük enerji bölgesinde çiftlenim sabitinin büyük olmasından dolayı, pertürbasyon teorisi kullanılamaz. Orta ve düşük enerji bölgesindeki çalışmalar için pertürbatif olmayan teori ve yöntemlere ihtiyaç vardır. Bu teorilerden bazıları; Kiral Pertürbasyon teorisi [12-14], Kuantum Renk Dinamiği Toplam Kuralları [15-16], Mit-Bag Model [17], Etketif Lagrange Metodu [18] ve Örgü kuramıdır [19-21]. Kiral pertürbasyon teorisi hadron fiziği araştırmalarında yoğun olarak kullanılan güçlü teorilerden biridir. Bu teoride ilk teklik yaklaşık 400-500 MeV enerji bölgesinde oluşmaktadır. Teorinin daha yüksek enerji bölgelerinde kullanılması için çiftlenmiş kanallarda üniter genişletilmesi yapıldı [22]. Böylece Üniter Kiral pertürbasyon teorisi hafif hadronlardan ağır hadronlara kadar geniş bir bölgede ve güvenli bir şekilde kullanılmaktadır. Bu çalışmamızda üç mezon durumu üniter kiral pertürbasyon teorisi kullanılarak araştırıldı.

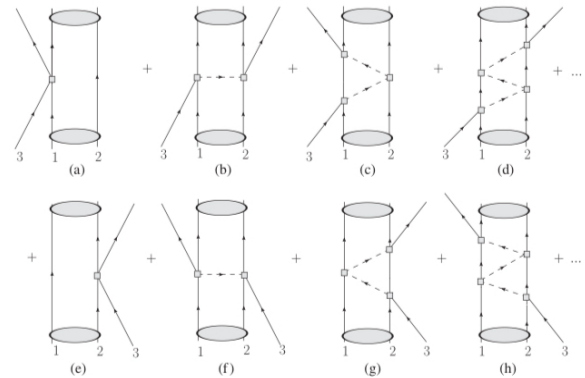
Hadronların keşfinden sonra hem deneysel hem de teorik çalışmalar hızla devam etti. Yüksek enerjilere çıktıkça tılsım, üst ve alt kuark içeren hadronlar keşfedildi. Tılsım kuark içeren J/ψ 'in keşfinden çok kısa bir süre sonra, bu hadronların molekül durumlar olabileceği fikri ortaya atıldı [23]. 2003 yılında, X(3872)'nin Belle'de gözlenmesi ile tılsım kuark içeren molekül durumlar yoğun bir şekilde çalışılmaya başlandı. Guo ve arkadaşlarının hadron molekülleri ile ilgili inceleme makalesinde ayrıntılarını verdiği, çarmonyum kütle bölgesinde, en küçük kütleli mezon mezon moleküllerinin $D\bar{D}$, $D\bar{D}^*$ ve $D^*\bar{D}^*$ olduğunu belirtmişlerdir [11].

Bu çalışmadaki amacımız, pionun $D^*\bar{D}^*$ ile birleşerek bir egzotik molekül oluşturup oluşturmadığını araştırmaktır. Bu üç parçacık sistemini incelemek için Faddeev denkleminin sabit merkez yaklaşıklığı (FCA) yöntemini kullandık. Makalenin ikinci bölümünde bu yöntemin $\pi D^*\bar{D}^*$ molekül durumuna uygulanması ayrıntılı olarak verildi. Üçüncü bölümde ise elde edilen sonuçlar verilir ve tartışıldı.

2. Materyal ve Metot

2.1. Faddeev denkleminin sabit merkez yaklaşıklığı yönteminin $\pi D^*\bar{D}^*$ 'a uygulanması

Bu bölümde $\pi D^*\bar{D}^*$ üç hadron molekül durumunu çalışacağız. Bunun için Faddeev denkleminin sabit merkez yaklaşıklığı yöntemini kullanacağız [24,25]. Bu yöntemde, iki mezon ($D^*\bar{D}^*$) küme olarak alınıp, π mezonu bu kümeden saçırlır. Şekil 1'de $\pi D^*\bar{D}^*$ saçılmasının Feynman diyagramları gösteriliyor. Burada 1(2) parçacıkları D^* (\bar{D}^*)'a karşılık gelmektedir. 3(π) parçacığı $D^*\bar{D}^*$ kümesinden saçılmaktadır.



Şekil 1. Faddeev Denkleminin sabit merkez yaklaşıklığı için Feynman diyagramları

Pionun kümenin birinci parçacığı D^* 'dan saçılarak başlayan tüm diyagramları toplayarak elde ettiğimiz bölüşüm fonksiyonu T_1 ve kümenin ikinci parçacığı \bar{D}^* 'dan saçılarak başlayan tüm diyagramların toplamıyla elde ettiğimiz bölüşüm fonksiyonu T_2 olarak adlandırılır. Sonuçta T_1 ve T_2 :

$$\begin{aligned} T_1 &= t_1 + t_1 G_0 T_2 \\ T_2 &= t_2 + t_2 G_0 T_1 \end{aligned} \quad (1)$$

olarak verilir. Burada t_1 ve t_2 pionun D^* ve \bar{D}^* 'dan saçılması yani iki parçacık saçılmasıdır. İki parçacık saçılması Lipman-Swinger denkleminin görelisi hali olan Bethe-Salpeter denklemi çözülerek hesaplanır (Bölüm 2.2'de ayrıntılı bir şekilde verildi.). Toplam üç parçacık saçılma genliği T , T_1 ve T_2 toplanarak elde edilir:

$$T = T_1 + T_2 = \frac{t_1 + t_2 + 2t_1 t_2 G_0}{1 - t_1 t_2 G_0^2} \quad (2)$$

Burada G_0 üçüncü parçacığın küme içerisindeki ileticisidir ve:

$$G_0 = \frac{1}{2m_k} \int \frac{d^3 \vec{q}}{(2\pi)^3} F_k(\vec{q}) \frac{1}{q^{02} - \vec{q}^2 - m_3^2 + i\epsilon} \quad (3)$$

$$q^0 = \frac{s + m_3^2 - m_k^2}{2\sqrt{s}}$$

şeklinde yazılır. Burada F_k , $D^* \bar{D}^*$ kümesinin yapı sabitidir ve mezon mezon için aşağıdaki gibi yazılır:

$$F_k(\vec{q}) = \frac{1}{N} \int_{|\vec{p}-\vec{q}| < k_{max}} d^3 \vec{p} \frac{1}{2\omega_1(\vec{p})} \frac{1}{2\omega_2(\vec{p})} \frac{1}{m_k - \omega_1(\vec{p}) - \omega_2(\vec{p})} \quad (4)$$

$$\times \left(\frac{1}{2\omega_1(\vec{p}-\vec{q})} \right) \left(\frac{1}{2\omega_2(\vec{p}-\vec{q})} \right) \frac{1}{m_k - \omega_1(\vec{p}-\vec{q}) - \omega_2(\vec{p}-\vec{q})}$$

Denklem (4)'te, N normalizasyon faktörüdür:

$$N = \int_{p < k_{max}} d^3 \vec{p} \left[\frac{1}{2\omega_1(\vec{p})} \frac{1}{2\omega_2(\vec{p})} \frac{1}{m_k - \omega_1(\vec{p}) - \omega_2(\vec{p})} \right]^2 \quad (5)$$

şeklinde hesaplanır. Yapı sabiti ve normalizasyondaki k_{max} denklem (4) ve (5)'teki integralleri regülerize eden üst sınırdır. Bu makalede, kümenin yapı sabitini hesaplarken kullandığımız integralin üst sınırı Ref. [26]'da hesaplanmış olan k_{max} değeri 1200 MeV'dir. Ref. [26]'da iki mezon loop fonksiyonun regülerizasyonu ayrıntılı bir şekilde yapılmıştır.

Denklem (4)'te $\omega_1(\vec{p})$ ve $\omega_2(\vec{p})$, kümeyi oluşturan D^* ve \bar{D}^* 'in enerjileridir. Sırasıyla $\omega_1 = \sqrt{\vec{p}^2 + m_1^2}$ ve $\omega_2 = \sqrt{\vec{p}^2 + m_2^2}$ ile verilir. Bir sonraki aşamada, alan normalizasyonu yapılmalıdır. Bu bağlamda tek saçılma genliği için S-matrisi:

$$S_1^{(1)} = -it_1 \frac{1}{v^2} (2\pi)^4 \delta^4(k_3 + k_k - k'_3 - k'_k) \quad (6)$$

$$\times \frac{1}{\sqrt{2\omega_3}} \frac{1}{\sqrt{2\omega'_3}} \frac{1}{\sqrt{2\omega_1}} \frac{1}{\sqrt{2\omega'_1}}$$

$$S_2^{(1)} = -it_2 \frac{1}{v^2} (2\pi)^4 \delta^4(k_3 + k_k - k'_3 - k'_k)$$

$$\times \frac{1}{\sqrt{2\omega_3}} \frac{1}{\sqrt{2\omega'_3}} \frac{1}{\sqrt{2\omega_2}} \frac{1}{\sqrt{2\omega'_2}}$$

Çift saçılma genliği için S-matrisi:

$$S^{(2)} = -i(2\pi)^4 \frac{1}{v^2} \delta^4(k_3 + k_k - k'_3 - k'_k) \quad (7)$$

$$\times \frac{1}{\sqrt{2\omega_3}} \frac{1}{\sqrt{2\omega'_3}} \frac{1}{\sqrt{2\omega_1}} \frac{1}{\sqrt{2\omega'_1}} \frac{1}{\sqrt{2\omega_2}} \frac{1}{\sqrt{2\omega'_2}}$$

$$\times \int \frac{d^3 \vec{q}}{(2\pi)^3} F_k(\vec{q}) \frac{1}{q^{02} - \vec{q}^2 - m_3^2 + i\epsilon} t_1 t_2$$

ve toplam saçılma genliği için S-matrisi:

$$S = -iT \frac{1}{v^2} (2\pi)^4 \delta^4(k_3 + k_k - k'_3 - k'_k) \quad (8)$$

$$\times \frac{1}{\sqrt{2\omega_3}} \frac{1}{\sqrt{2\omega'_3}} \frac{1}{\sqrt{2\omega_k}} \frac{1}{\sqrt{2\omega'_k}}$$

Burada, v , durumların normalize edildiği kutunun hacmidir. v değeri (6), (7), (8) denklemleri birbiri ile karşılaştırılırken sadeleşmektedir. Bu değer hesabın sonucuna etki etmediğinden sayısal değeri burada tartışılmamıştır. Denklem (6), (7) ve (8)'de $\delta^4(k_3 + k_k - k'_3 - k'_k)$ momentum korunumunu verir. ω_k ve ω_3 sırasıyla küme ve parçacık için enerjilerine karşılık gelir. Görüldüğü gibi tek saçılma, çift saçılma ve toplam saçılma genliklerinde alan normalizasyon faktörleri birbirinden farklıdır. Denklem (6), (7) ve (8)'i birlikte incelediğimizde ve düşük enerji bölgesinde güvenli bir şekilde kullanılan $\sqrt{2\omega} \sim \sqrt{2m}$ yaklaşıklığını kullandığımızda, alan normalizasyonundan:

$$\tilde{t}_1 = \frac{m_k}{m_1} t_1, \quad \tilde{t}_2 = \frac{m_k}{m_2} t_2 \quad (9)$$

faktörlerini elde ederiz. Bu yeni iki parçacık saçılma genlikleri \tilde{t}_1 ve \tilde{t}_2 kullanılarak toplam saçılma genliği:

$$T = T_1 + T_2 = \frac{\tilde{t}_1 + \tilde{t}_2 + 2\tilde{t}_1 \tilde{t}_2 G_0}{1 - \tilde{t}_1 \tilde{t}_2 G_0^2} \quad (10)$$

elde edilir. \tilde{t}_1 ve \tilde{t}_2 ; πD^* ve $\pi \bar{D}^*$ iki mezon saçılma genlikleridir. Bu iki parçacık saçılma genlikleri üniter kiral pertürbasyon teorisinde, Bethe-Salpeter denklemi çiftlenmiş kanallarda çözümlenerek yapılır. Çünkü πD^* ve $\pi \bar{D}^*$ iki parçacık saçılmasına diğer kanallardan da katkı gelmektedir. Kiral pertürbasyon teorisinin üniterleştirilmesi ve çiftlenmiş kanalların teoriye neden dahil edilmesi gerektiği Ref. [27]'de ayrıntılı bir şekilde verilmiştir.

Dikkat edilmesi gereken diğer bir husus T'nin argümanı toplam değişmez kütle enerjisi s iken, iki parçacık πD^* genliğinin argümanı s_1 ve s_2 'dir. Bu iki argüman aşağıdaki ifade ile birbiriyle ilişkilendirilir:

$$s_1 = s_2 = m_3^2 + m_{1(2)}^2 + \frac{1}{2}(s - m_3^2 - m_k^2) \quad (11)$$

Burada m_k , $D^* \bar{D}^*$ kümesinin kütesidir.

2.2. İki parçacık saçılması

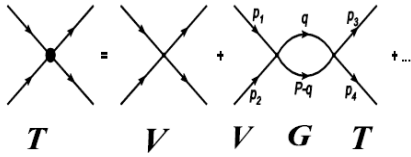
Denklem (11)'de, üç parçacık saçılma genliği ifadesindeki \tilde{t}_1 ve \tilde{t}_2 iki parçacık saçılma genliklerini hesaplayabilmemiz için Bethe-Salpeter denklemini çözeceğiz. Sözde skaler mezon olan pion ve D^* vektör mezonunun etkileşmesi için Bethe-Salpeter denklemi:

$$t = (\hat{1} + VG)^{-1} (-V) \vec{\mathcal{E}} \cdot \vec{\mathcal{E}}' \quad (12)$$

şeklinde yazılır. Burada $\vec{\mathcal{E}}(\vec{\mathcal{E}}')$ gelen(çıkan) vektör mezonun polarizasyonudur. Bethe-Salpeter denkleminin diyagramatik gösterimi Şekil 2'de gösterilmektedir. Bu denklemin çözümünü üniter kiral pertürbasyon teorisinde izospin tabanda yapacağız. İzospin (I) $I = 1/2$ 'de πD^* hesaplamak için sekiz çiftlenmiş kanal, πD^* , $D\rho$, $\bar{K}D_s^*$, $D_s\bar{K}^*$, ηD^* , $D\omega$, $\eta_c D^*$, DJ/ψ birlikte hesaplanır ve izospin $I = 3/2$ için iki kanal, πD^* , $D\rho$ birlikte hesaplanır. (12) denkleminde V potansiyeldir ve izospin tabanında:

$$\tilde{V}_{i,j}^I(s, t, u) = -\frac{C_{ij}^I}{4f^2} (s - u) \varepsilon \cdot \varepsilon' \quad (13)$$

ile verilir. Burada s ve u Mandelstam değişkenleri, C^I katsayıları $I = 1/2$ için Tablo 1'de ve $I = 3/2$ için Tablo 2'de verilmiştir.



Şekil 2. Bethe-Salpeter denkleminin diyagramatik gösterimi

Denklem (12)'de G , iki mezon loop fonksiyonudur. Sözde skaler ve vektör mezon için dört vektör notasyonunda:

$$G_1 = i \int \frac{dq^4}{(2\pi)^4} \frac{1}{q^2 - m_1^2 + i\varepsilon} \frac{1}{(P - q)^2 - M_1^2 + i\varepsilon} \quad (14)$$

ile verilir. Burada P , Şekil 2'de de görüldüğü üzere, iki mezonun dört boyutlu momentumudur ve iki mezonun durgun olduğu sistemde: $P = (\sqrt{s}, 0)$ 'dir.

Tablo 1. Denklem (13)'deki $I = 1/2$ için C^I katsayıları [28].

Kanallar	πD^*	$D\rho$	$\bar{K}D_s^*$	$D_s\bar{K}^*$	ηD^*	$D\omega$	$\eta_c D^*$	DJ/ψ
πD^*	-2	$\frac{\gamma}{2}$	$\sqrt{\frac{3}{2}}$	0	0	$-\frac{\gamma}{2}$	0	$-\sqrt{2}\gamma$
$D\rho$	$\frac{\gamma}{2}$	-2	0	$-\sqrt{\frac{3}{2}}$	$\frac{\gamma}{2}$	0	$\sqrt{2}\gamma$	0
$\bar{K}D_s^*$	$\sqrt{\frac{3}{2}}$	0	-1	0	$-\sqrt{\frac{3}{2}}$	$-\sqrt{\frac{2}{3}}\gamma$	0	$\frac{2\gamma}{\sqrt{3}}$
$D_s\bar{K}^*$	0	$-\sqrt{\frac{3}{2}}$	0	-1	$-\sqrt{\frac{2}{3}}\gamma$	$-\sqrt{\frac{3}{2}}$	$\frac{2\gamma}{\sqrt{3}}$	0

ηD^*	0	$\frac{\gamma}{2}$	$-\sqrt{\frac{3}{2}}$	$-\sqrt{\frac{2}{3}}\gamma$	0	$\frac{\gamma}{6}$	0	$\frac{\sqrt{2}\gamma}{3}$
$D\omega$	$-\frac{\gamma}{2}$	0	$-\sqrt{\frac{2}{3}}\gamma$	$-\sqrt{\frac{3}{2}}$	$\frac{\gamma}{6}$	0	$\frac{\sqrt{2}\gamma}{3}$	0
$\eta_c D^*$	0	$\sqrt{2}\gamma$	0	$\frac{2\gamma}{\sqrt{3}}$	0	$\frac{\sqrt{2}\gamma}{3}$	0	$\frac{4\gamma}{3}$
DJ/ψ	$-\sqrt{2}\gamma$	0	$\frac{2\gamma}{\sqrt{3}}$	0	$\frac{\sqrt{2}\gamma}{3}$	0	$\frac{4\gamma}{3}$	0

Tablo 2. Denklem (13)'deki $I = 3/2$ için C^I katsayıları [29].

Kanallar	πD^*	$D\rho$
πD^*	1	1
$D\rho$	1	1

İki mezon loop fonksiyonu için, integraller analitik olarak hesaplandıktan sonra G_1 :

$$G_1 = \frac{1}{16\pi^2} \left(\alpha_i + \text{Log} \frac{m_1^2}{\mu^2} + \frac{M_1^2 - m_1^2 + s}{2s} \text{Log} \frac{M_1^2}{m_1^2} \right. \\ \left. + \frac{p}{\sqrt{s}} \left(\text{Log} \frac{s - M_1^2 + m_1^2 + 2p\sqrt{s}}{-s + M_1^2 - m_1^2 + 2p\sqrt{s}} \right. \right. \\ \left. \left. + \text{Log} \frac{s + M_1^2 - m_1^2 + 2p\sqrt{s}}{-s - M_1^2 + m_1^2 + 2p\sqrt{s}} \right) \right) \quad (15)$$

elde edilir. Burada p , kütle merkezi çerçevesinde iki mezonun üç momentumudur ve aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$p = \frac{\sqrt{(s - (m_1 + m_2)^2)(s - (m_1 - m_2)^2)}}{2\sqrt{s}} \quad (16)$$

Denklem (15)'de μ , regülarizasyon skalası ve α_i , çıkarma sabitidir. Bu çalışmada $\mu = 1500$ MeV ve πD^* için $\alpha_i = -1,55$ olarak kullanılmıştır. Çıkarma sabiti α_i , Ref. [28]'de görüleceği gibi $C = 1$, $S = 1$, $I = 1/2$ sektörü için $D_1(2430)$ mezonunu elde edecek şekilde belirlenmiştir.

3. Tartışma ve Sonuç

Bu bölümde $\pi D^* \bar{D}^*$ üç mezon durumu için sonuçları vereceğiz. Faddeev denkleminin sabit merkez yaklaşıklığı yöntemi ile saçılma genliği T'yi hesapladık. Yukarıda bahsettiğimiz gibi, hesapları izospin tabanda yaptık. Bu nedenle aynı izospin çokluda olan parçacıklar aynı kütleyle sahiptir. Hafif sözde skaler mezonların yük bazında kütleleri pion için $m_{\pi^\pm} = 139,57$ MeV ve $m_{\pi^0} = 134,98$ MeV'dir. Böylece izospin bazda pionun kütlelerini:

$$m_\pi = \frac{2m_{\pi^\pm} + m_{\pi^0}}{3} = 137,275 \text{ MeV} \quad (17)$$

olarak kullandık. Benzer şekilde, yük bazında vektör mezon $m_{D^*0} = 2006,85$ MeV ve $m_{D^*\pm} = 2010,26$ MeV kütleyle sahiptir, izospin bazda:

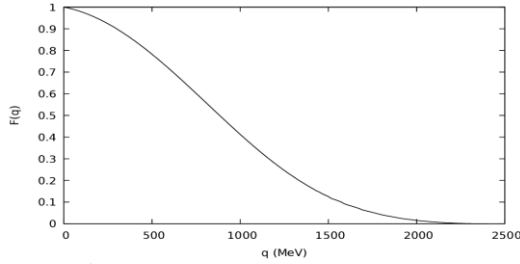
$$m_{D^*} = \frac{2m_{D^*\pm} + m_{D^*0}}{3} = 2009,123 \text{ MeV} \quad (18)$$

olarak kullandık. Potansiyelde karşımıza çıkan hafif mezonlar için leptonik bozunma sabiti $f_\pi = 93$ MeV ve ağır mezonlar için bozunma sabiti $f_D = 1,77 f_\pi$ olarak hesaba katıldı. Hesabımızı izospin tabanda yaptığımızdan iki parçacık saçılmaları $t_{\pi D^*}$ ve $t_{\pi \bar{D}^*}$ 'in $I = 1/2$ ve $I = 3/2$ katkılarını hesapladığımızda:

$$\langle \pi D^* \bar{D}^* | T | \pi D^* \bar{D}^* \rangle = \left(\frac{2}{3} t_{\pi D^*}^{I=3/2} + \frac{1}{3} t_{\pi D^*}^{I=1/2} \right) + \left(\frac{2}{3} t_{\pi \bar{D}^*}^{I=3/2} + \frac{1}{3} t_{\pi \bar{D}^*}^{I=1/2} \right) \quad (19)$$

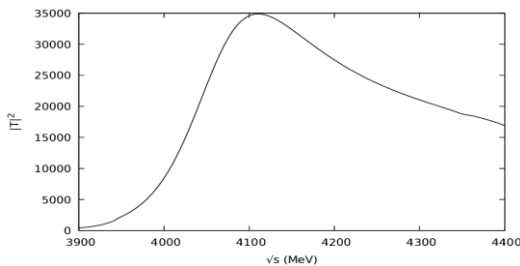
şeklinde elde ettik [29].

Üç parçacık saçılmasında $t_{\pi D^*}$ girdi olarak kullanıldı. $D^* \bar{D}^*$ küme olarak alındı ve pion bu kümeden saçtırılarak hesap yapıldı. Kümenin yapı sabitinin grafiği Şekil 3'te gösterilmektedir. Beklenildiği gibi yapı sabiti 1'den başlayıp azalmaktadır.



Şekil 3. $D^* \bar{D}^*$ kümesi için yapı sabiti.

Üç mezon için genliğin mutlak değerinin karesi Şekil 4'te gösterilmektedir. Burada görüldüğü gibi pik pozisyonu parçacığın varlığını göstermektedir. Şekil 4'te görüldüğü üzere 4156 MeV kütleli ve genişliği $\Gamma = 130$ MeV olan yarı bağlı egzotik molekül durumu vardır. Bu mezonun toplam izospini $I = 1$ 'dir. Bulduğumuz bu molekül mezon, Particle Data Group'daki (PDG) [30] $I^G(J^{PC}) = ?^? (?^?)$ Bilinmeyen kuantum sayılı kütleli 4153^{+23}_{-35} MeV ve genişliği 136^{+60}_{-35} MeV olan X(4160) mezonuna karşılık gelebilir.



Şekil 4. $\pi D^* \bar{D}^*$ üç mezon molekül durumunu genliğinin mutlak değerinin karesi

Yani özetleyecek olursak, X(4160) $\pi D^* \bar{D}^*$ molekül durumu olası kuvvetle muhtemeldir. Tabii ki bu öngörünün netleşmesi için farklı teorik metodların aynı sonucu vermesi için çalışmalar yapılmalıdır.

Kaynakça

- [1] M. Gell-Mann 1964. A schematic model of baryons and mesons, Phys. Lett. 8, 214–215
- [2] G. Zweig, 1964. An SU(3) model for strong interaction symmetry and its breaking, 22-101.
- [3] H.-X. Chen et al. 2016. The hidden-charm pentaquark and tetraquark states, Physics Reports 639 1–121 101
- [4] R.L. Jaffe, 1977. Multi-Quark hadrons. 2. Methods, Phys. Rev. D 15 281.
- [5] H. Hogaasen, P. Sorba, 1978. The systematics of possibly narrow quark states with baryon number one, Nuclear Phys. B 145 119.
- [6] D. Strottman, 1979. Multi-Quark baryons and the MIT bag model, Phys. Rev. D 20, 748–767.
- [7] H.J. Lipkin, 1987. New possibilities for exotic hadrons: anticharmed strange baryons, Phys. Lett. B 195 484.
- [8] F. Bissey, F-G. Cao, A. R. Kitson A. I. Signal, D. B. Leinweber, B. G. Lasscock, A. G. Williams, 2007. Gluon flux-tube distribution and linear confinement in baryons, Physical Review D 76, 114512
- [9] S. Jia, et al., 2017. [Belle Collaboration], Search for the 0^{--} glueball in $\Upsilon(1S)$ and $\Upsilon(2S)$ decays, Phys. Rev. D 95, 012001.
- [10] C.-F. Qiao, L. Tang, 2014. Finding the 0^{--} Glueball, Phys. Rev. Lett. 113, 221601,
- [11] Feng-Kun Guo, Christoph Hanhart, Ulf-G. Meißner, Qian Wang, Qiang Zhao, and Bing-Song Zou, 2018. Hadronic molecules, Rev. Mod. Phys. 90, 015004.
- [12] J. Gasser and H. Leutwyler, 1984. Chiral perturbation theory to one loop, Ann. Phys. (N.Y.) 158, 142.

- [13] G. Ecker, J. Gasser, H. Leutwyler, A. Pich, and E. de Rafael, 1989. Chiral Lagrangians for massive spin 1 fields, *Phys. Lett. B* 223, 425.
- [14] U. G. Meissner, 1993. Recent developments in chiral perturbation theory, *Rep. Prog. Phys.* 56, 903.
- [15] M. A. Shifman, A. I. Vainshtein, and V. I. Zakharov, 1979. QCD and resonance physics. Sum rules, *Nucl. Phys. B* 147, 385
- [16] L. J. Reinders, H. Rubinstein, and S. Yazaki, 1985. Hadron properties from QCD sum rules, *Phys. Rep.* 127, 1
- [17] A. Chodos, R. L. Jaffe, K. Johnson, C. B. Thorn, and V. F. Weisskopf, 1974. A New Extended Model of Hadrons *Phys. Rev. D* 9, 3471
- [18] Steven Weinberg, 1963. Elementary Particle Theory of Composite Particles, *Phys. Rev.* 130, 776
- [19] Y. Nakahara, M. Asakawa, and T. Hatsuda, 1999. Hadronicspectral functions in lattice QCD, *Phys. Rev. D* 60,091503.
- [20] K. Sasaki, S. Sasaki, and T. Hatsuda, 2005. Spectral analysis of excited nucleons in lattice QCD with maximum entropy method, *Phys. Lett. B* 623, 208.
- [21] S. Basak, R. G. Edwards, G. T. Fleming, K. J. Juge, A. Lichtl, C. Morningstar, D. G. Richards, I. Sato, and S. J. Wallace, 2007. Lattice QCD determination of patterns of excited baryon states, *Phys. Rev. D* 76, 074504.
- [22] J. A. Oller, E. Oset, and J. R. Pelaez, 1998. Nonperturbative Approach to Effective Chiral Lagrangians and Meson Interactions, *Phys. Rev. Lett.* 80, 3452.
- [23] De Rujula, A., H. Georgi, and S. L. Glashow Molecular, 1977. Charmonium: A New Spectroscopy?, *Phys. Rev. Lett.* 38, 317.
- [24] M. Bayar, J. Yamagata-Sekihara, and E. Oset, 2011. The $\bar{K}NN$ system with chiral dynamics, *Phys. Rev. C* 84, 015209
- [25] A. Martínez Torres, E. J. Garzón, E. Oset, and L. R. Dai, 2011. Limits to the fixed center approximation to Faddeev equations: The case of the $\phi(2170)$ *Phys. Rev. D* 83, 116002
- [26] J. Yamagata-Sekihara, J. Nieves, E. Oset, 2011. Couplings in couplet channels versus wave functions in the case of resonances: Application to the two $\Lambda(1405)$ states, *Physical Review D* 83, 014003.
- [27] J. A. Oller, E. Oset, A. Ramos, 2000. Chiral unitary approach to meson-meson and meson-baryon interactions and nuclear applications, *Prog. Part. Nucl. Phys.* 45 157-242.
- [28] D. Gamermann and E. Oset, 2007. Axial resonances in the open and hidden charm sectors, *Eur. Phys. J. A* 33, 119.
- [29] B. Durkaya and M. Bayar, 2015. Faddeev fixed-center approximation to the ρDD system *PHYSICAL REVIEW D* 92, 036006.
- [30] R. L. Workman et al. [Particle Data Group], 2022. Review of Particle Physics 083C01.

Stem and Leaf Anatomies of Some *Globularia* L. (*Plantaginaceae*) Taxa Grown in Türkiye and Their Systematic Value*

Serhan Koray ÇİFCİ¹ , H. Nurhan BÜYÜKKARTAL² , Gençay AKGÜL³ 

¹ Ankara University Institute of Science and Technology, 06110, Ankara, Türkiye

² Ankara University, Faculty of Science, Department of Biology 06100, Ankara, Türkiye

³ Nevşehir Hacı Bektaş Veli University, Faculty of Arts and Sciences, Department of Biology, Nevşehir, Türkiye

(Alınış / Received: 31.05.2023, Kabul / Accepted: 10.06.2024, Online Yayınlanma / Published Online: 23.08.2024)

Keywords

Globularia sp.,
Stem anatomy,
Leaf anatomy,
Plantaginaceae,
Türkiye

Abstract: There are 22 species of the genus *Globularia* L. (*Plantaginaceae*) in the world. This genus is represented by 11 taxa in Flora of Turkey. Five of these 11 taxa are endemic to Türkiye. The aim of this study is to examine stem and leaf anatomy of four taxa of *Globularia* (*Globularia davisiana* O. Schwarz, *G. aphyllantes* Crantz, *G. alypum* L. ve *G. orientalis* L.) in Türkiye. Stem and leaf sections of the taxa were taken with a Leica slide microtome. The anatomical features of plants were examined under a light microscope and their photographs were taken with a Leica DFC 290 digital camera attached to the microscope. According to the study results, the studied taxa has the equifacial leaves and anomocytic type of stomas. The stem and leaves of them have covering secretion trichomes. The related anatomic characters on stem and leaf were discussed and the anatomical features of the species were compared with each other according to these characters.

Türkiye'de Yetiştirilen Bazı *Globularia* L. (*Plantaginaceae*) Taksonlarının Gövde ve Yaprak Anatomileri ve Sistemik Önemi

Anahtar Kelimeler

Globularia sp.,
Gövde anatomisi,
Yaprak anatomisi,
Plantaginaceae,
Türkiye

Özet: *Globularia* L. (*Plantaginaceae*) cinsinin dünyada 22 türü bulunmaktadır. Bu cins Türkiye Florasında 11 taksonla temsil edilmektedir. Bu 11 taksonun 5'i Türkiye'ye endemiktir. Bu çalışmanın amacı Türkiye'de *Globularia*'ya ait dört taksonun (*Globularia davisiana* O. Schwarz, *G. aphyllantes* Crantz, *G. alypum* L. ve *G. orientalis* L.) gövde ve yaprak anatomisini incelemektir. Taksonların gövde ve yaprak kesitleri Leica slayt mikrotomuyla alınmıştır. Bitkilerin anatomik özellikleri ışık mikroskobu altında incelendi ve mikroskoba takılan Leica DFC 290 dijital kamera ile fotoğrafları çekilmiştir. Araştırma sonuçlarına göre, incelenen taksonlar eş yüzlü yapraklara ve anomositik tipte stomalara sahiptir. Bunların gövde ve yapraklarında örtücü salgı trikomları bulunmaktadır. Gövde ve yaprakdaki ilgili karakterler tartışılmış ve türün anatomik özellikleri bu karakterlere göre birbirleriyle karşılaştırılmıştır.

*This article is derived from Serhan Koray ÇİFCİ's master's thesis.

1. Introduction

The genus *Globularia* L. is a member of the *Plantaginaceae* family. Under the old Cronquist system of plant classification, they were treated in their own family, *Globulariaceae*, but genetic evidence has shown that the genus belongs in the

family *Plantaginaceae*, native to central and southern Europe, Macaronesia, northwest Africa and southwest Asia (1-8).

The genus *Globularia* L. (*Plantaginaceae*) is represented by approximately 22 species in the

World. The genus is represented by 11 taxa in the Flora of Türkiye. In Türkiye, some woody species belonging to the genus *Globularia* grow naturally and some of them are endemic [1]. And Türkiye hosts the highest number of *Globularia* taxa after the European continent.

The genus is called “Sphere Flower” and members of the genus are seen in the Mediterranean, Euro Siberian and Irano Turanian phytogeographic region in Türkiye. They spread in temperate regions in Türkiye and are generally found in calcareous lands, slopes and rock piles among stone piles. They are usually small shrubs and evergreen perennial herbs (2-9).

Most genus species are known as globe daisies or globularias. The flowers are produced in dense inflorescences (capitula) held above the stem with numerous tightly packed purple, violet, pink or whiteflowers. Some genus species are used as food plants by the larvae of some Lepidoptera species including *Coleophora virgatella*. Several members of the genus, such as *G. cordifolia* and *G. punctata*, are cultivated and sold for garden use (10).

Some of them are traditionally used as diuretics, laxatives, carminatives and tonics and for the treatment of hemorrhoids (11-12) Various publications on this genus in recent years have revealed that there are some taxa that secrete various chemical compounds (13).

An important part of the information about the stem and leaf anatomical features of *Globularia* taxa was given for the first time by Metcalfe and Chalk [14]. The focus of the researchers was especially glandular hairs. Leaf anatomical features were studied by Kupfender [15] and Heckel [16], and their work was particularly valuable for *Globularia*. Luhan [17], in his study, revealed that the arrangement of idioblasts in the shell of stem cells is in the form of a wall mesh. In addition, the stem structure of *G. salicina* was studied by Carlquist [18].

In today, plant taxonomical studies on leaf and stem anatomies have a very important place in defining systematic relationships. As a result of the literature review, no study was found on the leaf and stem anatomy of *Globularia*'s taxa. The

aim of this study is to determine the anatomical characters of the *Globularia* species (*G. davisiana*, *G. aphyllantes*, *G. alypum* and *G. orientalis*) and to contribute to the understanding of their kinship relationships and systematic value.

2. Materials and Methods

Plants belonging to *Globularia* genus; *G. davisiana*, *G. aphyllantes*, *G. alypum* and *G. orientalis* taxa (Figure 1A-D) were collected from their natural environments (by Associate Professor Dr. G. Akgül) (Table 1). Photographs were taken during the collection.

Anatomical studies were carried out on the samples kept in alcohol 70%. Similarities and differences between the species were revealed in terms of anatomical features according to the characters related to epidermis, stomata, mesophyll tissue, vascular bundles, leaf thickness and trichome types.

Paraffin method was applied to stem and leaf samples in 70% alcohol [19]. 10-12 µm from stem samples and 8 -10 µm thick sections from the leaf samples were taken with a Leica slide microtome. Leaf and stem sections of the taxa were stained with fast green-safranin [19], and the sections were closed with canadian balsam. The anatomical features of plants were examined under a light microscope and their photographs were taken with a Leica DFC 290 digital camera attached to this microscope.

The hard structure and porosity of the woody stems of *G. davisiana*, *G. alypum*, *G. orientalis* and *G. aphyllantes*, which are in the *Globularia* genus, and the inability to saturate with paraffin sufficiently caused the sections to rupture and fragment. Therefore, hand sections were also taken with a razor blade and stained with 10% safranin. In the studies carried out with the sections taken from the surface, 20 superficial sections were taken manually, separately from both surfaces of 5 randomly selected leaf samples from each species, both upper and lower. Stoma index and stoma index ratios were calculated by determining the number of epidermis and stomata in mm² on both surfaces of the leaf. Leica Application Suite (LAS) v3.4 program was used in the measurements.

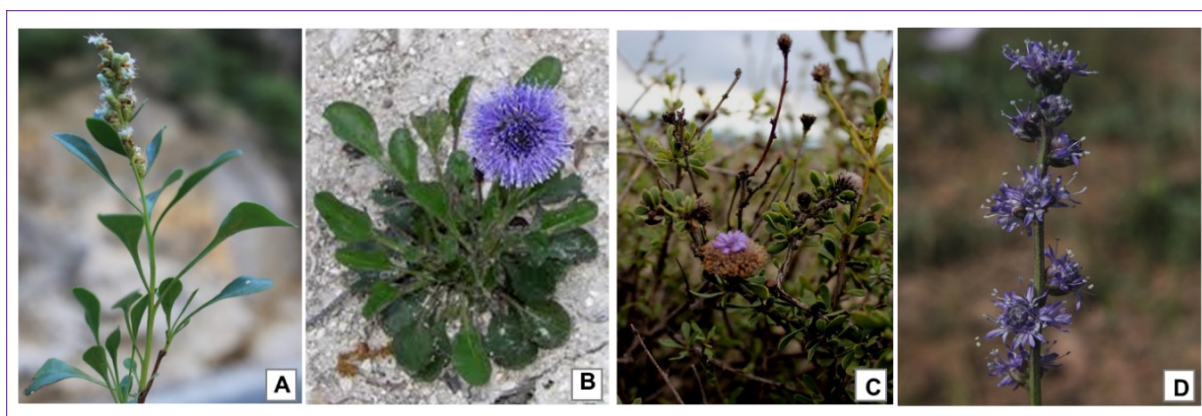


Figure 1A. Habitat images of *G. davisiana* B. *G. aphyllantes* C. *G. alypum* D. *G. orientalis* (Photos taken by G. Akgül).

Table 1. The localities of *Globularia* taxa.

Taxon	Locality	Collector
<i>G. davisiana</i> *	Antalya-Kemer	G. Akgül
<i>G. aphyllantes</i>	İstanbul	
<i>G. alypum</i>	İzmir: Mordoğan	
<i>G. orientalis</i>	Nevşehir	

* Endemic to Türkiye

3. Results

Dicotomic key for the species according to anatomic characters

1. Tracheal elements mostly surrounded by few parenchyma cells and sponge paranchyme contains fewer chloroplast than the palisade***G. aphyllantes***
1. Tracheal elements not as above and sponge paranchyme contains less chloroplast than the palisade
 2. Stomatal density greater than 1.G. ***Davisiana***
 2. Stomatal density less than 1
 3. Mesophll thickness 155 µm.....***G. orientalis***
 3. Mesophll thickness 83 µm.....***G. alypum***

3.1. Leaf and stem anatomical features of *G. davisiana*

In the samples collected from Antalya-Kemer (Table 1), the stem has a secondary structure (Figure 2A). The long rectangular shaped epidermis cells covered with a thick cuticle (Figure 2B). The epidermis has stomata and glandular hairs. In the cortex below the epidermis there are 5-6 rows of cells. The cortex is usually thick-walled and consists of polygon-shaped sclerenchyma cells in groups, with fewer

squamous or oval parenchyma cells (Figure 2C). The cambium consists of 2-3 rows of thin-walled cells. Cambial cells are not prominent. The phloem covers a narrower area than the xylem. The stem has a large parenchymatic pith in the center (Figure 2D). The cells are arranged radially on top of each other and are usually rectangular in shape. Although tracheal elements surrounded by parenchyma cells are encountered in the xylem, the majority are sclerenchyma cells (Figure 2E).

The upper and lower epidermal cells are similar to each other (Figure 2F). The stomata are of the mesomorph type (Figure 2G). There are short-stalked peltate glandular hairs on the lower and upper surfaces of the leaves (Figure 2H). The mesophyll consists of sponge parenchyma, which is located irregularly between the two palisade parenchyma. Palisade parenchyma cells are in 4-5 rows. The leaf is isolateral. The cylindrical and long palisade parenchyma contains abundant chloroplasts. Sponge parenchyma occupies less space. It is seen that prominent parenchymatic bundle sheath cells seen in the sponge tissue surround the small vascular bundles arranged in the tissue. The large collateral central vascular bundle is located in the midrib of the leaf (Figure 2I). The average thickness of the mesophyll is 296,851 µm (Table 2).

In the sections taken from the lower and upper surfaces of the leaves, there are epidermal cells with polygonal shape, slightly wavy walls and simple passages that can be easily observed. Amaryllis type stomas are seen in sections taken from the leaf surface (Figure 2J-L). The neighboring cells of the stoma are the same as the epidermal cells and their number varies between 4-5. Stomas are of anamocytic type, with an average of 77,519 on the upper surface and 78,895 on the lower surface in mm² (Table 2). The leaf is amphistomatic. The average number of epidermis cells on the upper surfaces of the

leaves is 848,708 per mm², and 887,573 on the lower surface (Table 2). In the section taken from the upper surface of the leaf, it is seen that the palisade parenchyma cells are round and oval in shape (Figure 2K). Chloroplasts are arranged

along the cell wall and are dense. Sponge parenchyma cells have more intercellular spaces and contain less chloroplasts than palisade parenchyma (Figure 2M).

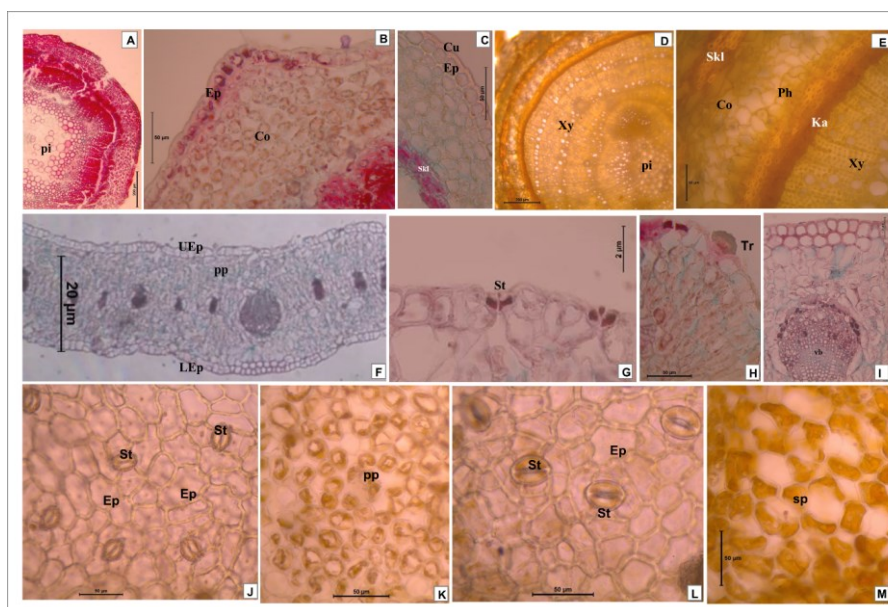


Figure 2. *G. davisiana* **A.** Stem in cross section, Bar=200 µm, **B.** epidermal and cortex cells, Bar=50 µm, **C.** scleranchyma cells, Bar=50 µm, **D.** xylem and pith, Bar=200 µm, **E.** cambium, phloem and xylem, Bar=50 µm. **F.** leaf cross-section, Bar= 20 µm **G.** leaf cross-section stomata in epidermis, Bar 2 µm. **H.** leaf peltate glandular hair in epidermis in cross-section, Bar=50 µm. **I.** large vascular bundle (middle vein) in mesophyll tissue in leaf cross-section, Bar=2 µm. **J.** epidermis and stoma in leaf upper tangential section, **K.** palisate parenchyma in upper leaf tangential section, **L.** epidermis and stoma in leaf lower tangential section, **M.** sponge parenchyma in leaf lower tangential section, (J-M) Bars=50 µm.

Abbreviations : Ep: Epidermis, Co: Cortex, Cu: Cuticle, Ca: Cambium, Xy: Xylem, Ph: Phloem, Sc: Scleranchyma, St: Stoma, pp: Palisate parenchyma, sp: Sponge parenchyma, LEp: Lower epidermis, UEp: upper epidermis, vb: vascular bundle, Tr: Trichome, pi: Pith.

3.2. Leaf and stem anatomical features of *G. aphyllantes*

In the samples collected from Istanbul (Table 1.), the stem is in a secondary structure (Figure 3A). There are 4-6 wing-like protrusions on the stem. A thick cuticle layer covers the rectangular and elongated epidermis cells. Stoma and glandular hairs were occasionally found in the epidermis (Figure 3B-C). There is a cortex with 6-7 cell rows under the epidermis. In the cortex, mostly thick-walled, polygonal shaped sclerenchyma cells are In the transverse section of the leaf, the upper and lower epidermis are similar to each other (Figure 3F). Cells are almost similar in shape and size. The mesophyll consists of sponge parenchyma, which is located irregularly between the two palisade parenchyma. Palisade parenchyma cells are in 4-6 rows. Sponge parenchyma occupies a lesser area (Figure 3G). The average thickness of the mesophyll is 242,389 µm (Table 2). The leaf is

located in bundles throughout the stem (Figure 3D-E). Phloem is easily distinguished by its thin-walled cells. The phloem consists of thin-walled cells, while the cambium consists of 1-2 rows of thin-walled cells. The xylem covers a larger area than the phloem. Cambial cells are not prominent. The xylem also contains tracheal elements, mostly surrounded by few parenchyma cells (Figure 3E). It is seen that the stem occupies a large space in the center and the pith is parenchymatic (See Figure 3D).

equifacial (isolateral). The cylindrical and elongated palisade parenchyma contains abundant chloroplasts. There are a row of parenchymatic bundle sheath cells around the vascular bundle. In the middle mesophyll, there are vascular bundles that appear to be arranged regularly at regular intervals. The bundles are collateral type. Distinct parenchymatic bundle sheath cells surround the small vascular bundles.

The large collateral central vascular bundle is located in the midrib of the leaf (Figure 3H).

In the upper and lower superficial sections of the leaves, there are polygonal epidermal cells with slightly wavy walls. The stomata seen in the sections taken from the leaf surface are of the amaryllis type (Figure 3I-K). The neighboring cells of the stoma are the same as the epidermis cells and their number varies between 4 and 5. Stomas are of anamocytic type, with an average of 118,343 on the upper surface and 157,790 on the

lower surface in mm² (Table 2). The leaf is amphistomatic. The average number of epidermis cells on the upper surfaces of the leaves is 111,111 per mm², and 143,459 on the lower surface (Table 2). In the section taken from the upper surface of the leaf, the part with oval and round shaped cells represents the palisade parenchyma (Figure 3J). They have dense chloroplasts arranged along the cell wall. Sponge parenchyma cells contain fewer chloroplasts than the palisade (Figure 3L).

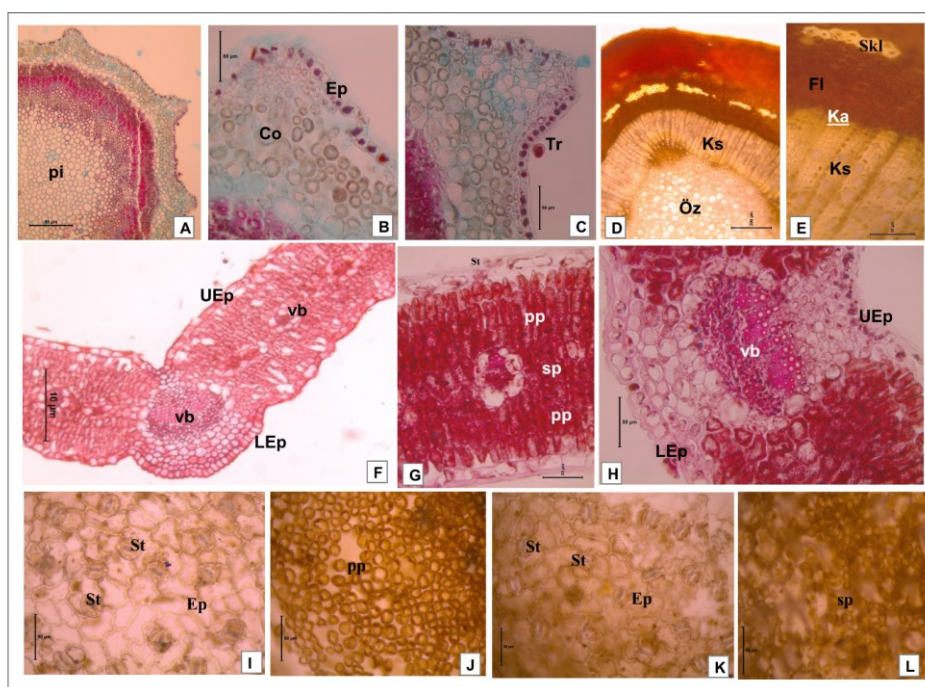


Figure 3. *G. aphyllantes* A. Stem in cross section, Bar=50 µm, B and C. Protrusion regions and cortex cells on stem, Bar=50 µm, D. Sclerenchyma cells and pith region, Bar=200 µm, E. Xylem, Phloem and cambium, Bar=50 µm, F. Leaf cross-section, Bar= 10 µm G. Mesophyll tissue in leaf cross-section, Bar=50 µm. H. Large vascular bundle (middle vein) in mesophyll tissue in leaf cross-section, Bar=50 µm. I. Epidermis and stoma in upper leaf tangential section, J. Palisade parenchyma in upper leaf tangential section, K. Epidermis and stoma in leaf lower tangential section, L. Sponge parenchyma in leaf lower tangential section, (I-L) Bars=50 µm.

3.3. Leaf and stem anatomical features of *G. alypum*

In the samples collected from İzmir-Mordoğan (Table 1), the stem is in a secondary structure (Figure 4A). There are 4-6 wing-shaped projections on the stem (Figure 4A-E). There is a thick cuticle layer on the long rectangular epidermis cells. The stem has a large parenchymatic pith in the center (Figure 4A-D). There is a cortex with 6-7 cell rows under the epidermis. In the cortex, mostly thick-walled, polygonal shaped sclerenchyma cells are located in bundles throughout the body (Figure 4F). Phloem is composed of thin-walled cells. It is

striking that the cells form a radial shape by stacking them on top of each other. The cells forming the cambium appear to have 1-2 rows of thin-walled structures. The area occupied by the phloem is much narrower than the area of the xylem. There is no distinct cambium. In the xylem, a large number of sclerenchyma and a small number of tracheal elements between parenchyma cells are seen (Figure 4G).

In the cross-section of the leaf, the lower and upper epidermis cells are similar (Figure 4H). Mesomorph type stoma is seen on the both surface. The average thickness of the mesophyll is 82,796 µm (Table 2).

The mesophyll consists of sponge parenchyma, which is located irregularly between the two palisade parenchyma. Palisade parenchyma cells are in 4-5 rows (Figure 4H). The leaf is isolateral. The long cylindrical palisade parenchyma contains abundant chloroplasts. Sponge parenchyma occupies less space (Figure 4I). There are short-stalked peltate glandular hairs on the lower and upper surfaces of the leaves (Figure 4.J-K). Bunch sheath cells surrounding the vascular bundles are seen in the sponge tissue. Vascular bundles are seen in the midrib of the leaf (Figure 4L)

In the sections taken from the upper and lower surfaces of the leaves, there are epidermal cells with polygonal shape, slightly wavy walls, and simple passages can be observed. The stomata seen in the sections taken from the leaf surface are of the amaryllis type (Figure 4M-O). The neighboring cells of the stoma are the same as the epidermal cells and their number varies between 4 and 5. The stomata are of anamocytic type, with an average of 157,790 on the upper surface and 198,807 on the lower surface per mm² (Table 2) The leaves are amphistomatic.

The average number of epidermis cells on the upper surfaces of the leaves is 1527,272 per mm², and 710,059 on the lower surface (Table 2). In the section taken from the upper surface of the leaf, it was observed that the palisade parenchyma cells were round and oval shaped. (Figure 4N). There are dense chloroplasts lined up along the cell walls. Sponge parenchyma chloroplast amount is less than the palisade (Figure 4P).

3.4. Leaf and stem anatomical features of *G. orientalis*

In the samples collected from Nevşehir (Table 1), the stem is in a secondary structure (Figure 5A-

B). Epidermal cells have a thick cuticle layer (Figure 5C). There is a cortex with 6-7 cell rows under the epidermis. In the cortex, mostly thick-walled, polygonal sclerenchyma cells are located in bundles throughout the stem (Figure 5D). Phloem is composed of thin-walled cells similar to other species. Cells are mostly rectangular in shape. Tracheal elements can be observed in the xylem, surrounded by a few parenchyma cells, mostly sclerenchyma (Figure 5E). The stem has a large and parenchymatic pith in the center.

In the cross section of the leaf, the upper and lower epidermal cells are similar (Figure 5F). Mesomorph type stoma is present. The mesophyll consists of sponge parenchyma, which is located irregularly between the two palisade parenchyma. Palisade parenchyma cells are in 4-5 rows. The leaf is isolateral. Vascular bundles can be observed in the leaf mesophyll (Figure 5G).

The epidermis cells seen in the sections taken from the upper and lower surfaces of the leaf have a polygonal shape and slightly wavy walls. Amaryllis type stomata are seen in leaf superficial sections (Figure 5H-J). The neighboring cells of the stoma are the same as the epidermis cells and their number varies between 4-5. Stomas are of anamocytic type, with an average of 109,890 on the upper surface and 177,514 on the lower surface in mm² (Table 2).

The leaf is amphistomatic. The average number of epidermis cells on the upper surfaces of the leaves is 1276,595 per mm², and 1005,917 on the lower surface (Table 2). In the section taken from the upper surface of the leaf, oval-shaped and rounded palisade parenchyma cells are observed (Figure 5I). Chloroplasts are dense and arranged along the cell wall. Sponge parenchyma contains less chloroplasts than the palisade (Figure 5K). The average thickness of the mesophyll is 155,443 µm (Table 2).

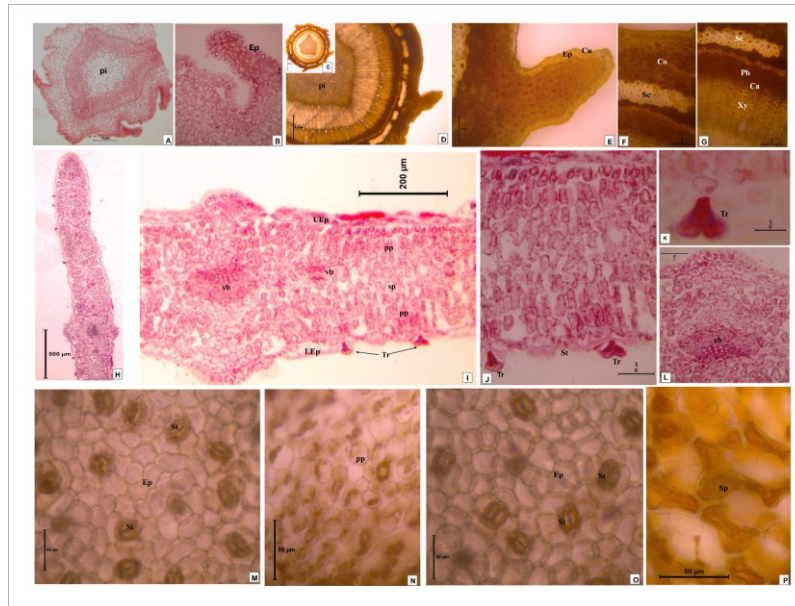


Figure 4. *G. alypum* A-B. Stem in cross section, (A) Bar=10 μm , (B) Bar=2 μm , C-D. Pith region on stem, (C) Bar=500 μm , (D) Bar=200 μm , E. Protruding wings on stem Bar=50 μm , F. Sclerenchyma cells, Bar=50 μm , G. Xylem, phloem and cambium, Bar=50 μm , H. leaf cross-section, Bar=500 μm I. Leaf cross-section, mesophyll tissue, Bar=200 μm . J. Leaf peltate glandular hair in cross-section, Bar=50 μm . Enlarged form of K. peltate glandular trichome. Bar=20 μm . L. Large vascular bundle (middle vein) in mesophyll tissue in leaf cross-section, Bar=50 μm . M. Epidermis and stoma in leaf upper tangential section, N. Palisade parenchyma in upper leaf tangential section, O. Epidermis and stoma in leaf lower tangential section, P. Sponge parenchyma in leaf lower tangential section, (M-P) Bars=50 μm .

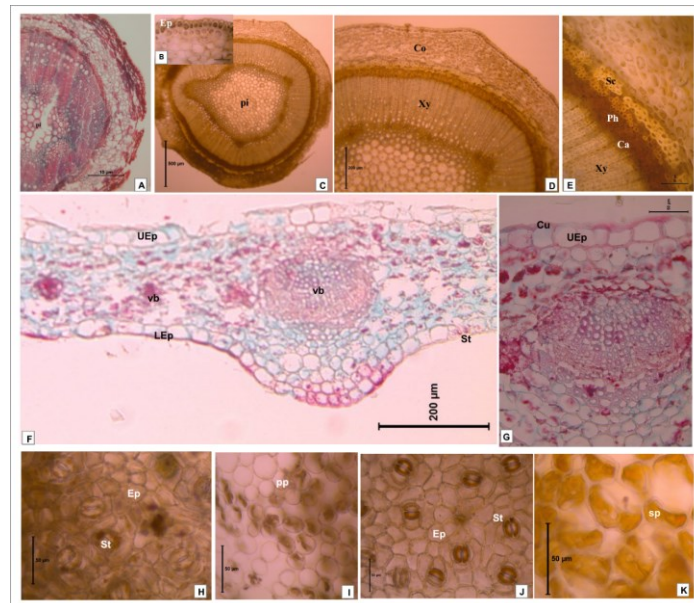


Figure 5. *G. orientalis* A-B. Stem in cross section, (A), Bar=10 μm , (B), Bar=50 μm , C. Epidermis cells in stem, Bar=500 μm , D. Cortex and pith, Bar=200 μm , E. Xylem, phloem and cambium, Bar=50 μm , F. Leaf cross-section Bar=200 μm G. Large vascular bundle (middle vein) in mesophyll tissue in leaf cross-section. Bar=50 μm . H. Epidermis and stomata in leaf upper tangential section. I. Palisade parenchyma on leaf upper tangential section J. Epidermis and stoma on leaf lower tangential section K. Sponge parenchyma on leaf lower tangential section. (M-K) Bars=50 μm .

Table 2. Mesophyll thickness, stoma in mm², epidermis numbers and stoma index, stomatal density in *Globularia* taxa.

Taxa names	mesophyll Thickness (µm)	Section Surface	Number of Stoma (piece/mm ²)	Epidermal cells (piece/mm ²)	stomatal index	stomatal density
<i>G. davisiana</i>	296.851	Upper surface	77,519	848,708	0,0836	1,0245
		Lower surface	78,895	887,573	0,0816	
<i>G. aphyllantes</i>	242.389	Upper surface	118,343	111,111	0,5157	0,9849
		Lower surface	157,790	143,459	0,5236	
<i>G. alypum</i>	82.796	Upper surface	157,790	1527,272	0,0936	0,4279
		Lower surface	198,807	710,059	0,2187	
<i>G. orientalis</i>	155.443	Upper surface	109,890	1276,595	0,0792	0,5283
		Lower surface	177,514	1005,917	0,1499	

4. Discussion and Conclusion

In this study, stem and leaf anatomies of some *Globularia* L. (*Plantaginaceae*) species distributed in Türkiye were examined for the first time and discussed. The epidermis, stomata, mesophyll tissue, vascular bundles, leaf thicknesses and trichome types of four species (*G. davisiana*, *G. aphyllantes*, *G. alypum* and *G. orientalis*) belonging to the genus *Globularia* were investigated anatomically. According to the results of this study, it was seen that these four species belonging to the genus *Globularia* showed some similarities and differences in terms of leaf and stem anatomies.

In all of the four species examined, it was observed that the epidermis cells were usually similar to each other in the cross-sections of the stem and were single-row and rectangular in shape.

Although there are winged protrusions on the stems of *G. aphyllantes* and *G. alypum*, no such protrusions were found in *G. davisiana* and *G. orientalis*.

An important part of the information about the stem and leaf anatomical features of *Globularia*

In the upper and lower superficial sections of the leaves of the four species belonging to the genus

Globularia was given for the first time by Metcalfe and Chalk [14]. The focus of the researchers was especially the glandular hairs. Leaf anatomical features were studied by Kupfender [15] and Heckel [16], and their work was particularly valuable for *Globularia*. Luhan [17], in his study, revealed that the arrangement of idioblasts in the shell of stem cells is in the form of a wall mesh. In addition, the stem structure of *G. salicana* was studied by Carlquist [18]. Carlquist's work is stated *Globulariaceae* proved to have distinctive wood anatomy. In leaf, small glandular hairs with a short stalk cell and a head of two or four cells in one plane are characteristic. Branched sclerenchymatous idioblasts are known from the mesophyll of *G. orientalis*. The structure of the principal vein has been used as a systematic character. The fascicle is either connected to the epidermis on both sides by collenchyma, or it is surrounded by mesophyll (15, 16).

In this study, in leaf cross-section, vascular bundles are collateral type in all the species and the phloem surrounds the xylem. In the conduction bundles, the sclerenchyma has the appearance of an arc. There are covering glandular hairs in all the species. In terms of leaf thickness, *G. davisiana* and *G. alypum* have the smallest value (See Table 2).

Globularia, the epidermis cells are slightly wavy-walled or polygonal.

In *G. alypum*, the number of epidermis cells per mm² on the upper surface was higher than the lower surface, while in other species, the number of epidermis cells per mm² on the lower surface was higher than the upper surface (See Table 2).

Anatomically, the leaves have some similarities. The leaves of all the taxa have amphistomatic type. It was determined that there were amaryllis type stomata in the species examined, and it was explained that it could be anomocytic type depending on the condition of its neighboring cells. All the taxa have equifacial (isolateral) type leaves.

The taxa are divided into two main groups according to the dichotomic key obtained in the study according to anatomical characters of the stem and leaves. The number of chloroplasts in the sponge parenchyma of *G. davisiana*, *G. orientalis* and *G. alypum* in the first group is less compared to the palisade, and few in *G. aphyllanthes* in the second group. Three species (*G. davisiana*, *G. orientalis*, *G. alypum*) in the first group differ from each other according to stomatal density and mesophyll thickness. This

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

separation and grouping according to the anatomical characters is compatible with the forked key formed according to the morphological characters in the flora of Türkiye [2]. These results show that anatomical characters can be used as well as morphological characters in the differentiation of the species.

*In addition, anatomical studies on the species in which *Globularia* taxa are represented, especially in Türkiye, will be very important in defining the differences and similarities between species. It will be useful to understanding the kinship situations in the classification.*

It is expected that this study will benefit the future studies especially on this genus and will constitute a source quality.

*In conclusion, the data obtained from this study will contribute to better recognition of the genus *Globularia*, to reveal the ancestral characteristics of the species, and thus to the systematics of the genus. An also, this study will create important data for systematic botany and close branches.*

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] Akgül, G., Tunçkol, B. 2018. *Globularia* L. (*Plantaginaceae*) Türkiye'nin Doğal-Egzotik Ağaç ve Çalıları. Orman Genel Müdürlüğü Yayınları, Ankara s:450-452.
- [2] Davis, P.H. (ed). 1988. Flora Of Türkiye and The Aegean Islands Supplement II. University Press, Edinburgh.
- [3] Güner, A., Özhatay, N., Ekim, T. and Başer K.H.C. 2000. Flora of Türkiye, Volume 11, Edinburgh University Press, Edinburgh.
- [4] Duman, H. 2001. A new species of *Globularia* L. (*Globulariaceae*) from South Anatolia. Botanical Journal of Linnean Society 425-428.
- [5] Duran, A., Çetin, Ö. and Öztürk, M., 2009. *Globularia anatolica* sp. nov. (*Globulariaceae*) from the Honaz Mountain National Park, southwest Türkiye. Nordic Journal of Botany 27: 232-237.
- [6] Akgül, G. Kılıçkaya, N. 2019. Türkiye florası için yeni bir varyete, *Globularia orientalis* L. var. *nevshehirensis* Akgül, The herb Journal of Systematic Botany (OT Sistematik Botanik Dergisi) 26, (2): 33-38.
- [7] Wagenitz, G. 2004. *Globulariaceae*-In: Kubitzki, K.(ed), The families and genera of vascular plants, Springer, Vol. 7, 159-162.
- [8] Cronquist, A. 1968-1988. The evolution and classification of flowering plants (2nd ed.). Bronx, NY: New York Botanical Garden.
- [9] Davis, P.H. (ed). 1982. Flora of Türkiye and The Aegean Islands, vol, 7. p. 27, University Press, Edinburgh.
- [10] <https://en.wikipedia.org/wiki/Globularia>
- [11] Baytop, T. "Therapy with medicinal plants in Türkiye (past and present)" No. 3255, p. 419, Istanbul University Publications, Istanbul (1984).
- [12] E. Sezik, M. Tabata, E. Yesilada, G. Honda, K. Goto and Y. Ikeshiro, J. Ethnopharm., 35, 191-196 (1991).
- [13] Kırmızıbekmez, H. 2002. *Globularia* tohumları üzerinde formakognozok

- çalışmalar, H.Ü., Sağlık Bilimleri Enst., Doktora Tezi.
- [14] Metcalfe, C.R. ve Chalk, L. 1950. Anatomy of Dicotyledons, Oxford University Press.
- [15] Kupffender, H. 1981. Beiträge Zur Anatomie der *Globulariaceen* und *Selaginaceen* und Kenntnis des Blattcambiums, Diss. Phil. Kiel, Univ. Erlangen.
- [16] Heckel, E. 1984. Etude monographique de la famille des *Globulariacees* au point de vue botanique, chimique et therapeutique. Paris, Annales de la Faculte des Sciences, Marseille Suppl 3.
- [17] Luhan, M. 1954. Übes Das Vorkommen von Sklerenchym- Idioblasten bei *Globularia*- Arten. Berichte der Deutschen Botanischen Gesellschaft, 67, 346- 355.
- [18] Carlquist, S. 1992. Wood anatomy of sympetalous dicotyledon families: a summary: with comments on systematic relationships and evolution of the woody habit. Annals of the Missouri Botanical Garden, 79, 303-332.
- [19] Algan, G. 1981. Bitkisel dokular için mikroteknik. Fırat Üniversitesi Fen Fakültesi Yayınları. Bot. No:1, Matbaa Teknisyenleri Basımevi, İstanbul.

Değişmeli Cebirlerin Çaprazlanmış Kareleri için İzomorfizm Teoremleri

Selim ÇETİN¹, Erkan CAN²

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

² Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Matematik Anabilim Dalı, 15030, Burdur, Türkiye

(Alınış / Received: 20.05.2024, Kabul / Accepted: 28.06.2024, Online Yayınlanma / Published Online: 23.08.2024)

Anahtar Kelimeler

İzomorfizm teoremi,
Alt çaprazlanmış kare,
Çaprazlanmış kare ideali.

Özet: Cebirlerin çaprazlanmış modüllerine ek bir boyut daha eklendiğinde ortaya çıkan değişmeli cebirlerin çaprazlanmış kareleri için izomorfizm teoremleri bu makalenin ana konusunu teşkil etmektedir. Bu bağlamda, çapraz kare ideal, görüntü ve bölüm çapraz kareleri gibi kavramların yanı sıra çaprazlanmış kare morfizmleri için çekirdek kavramını da kapsayan değişmeli cebirlerin çaprazlanmış karelerinin tanımı verilmiştir. Çalışma, izomorfizm teoremlerinin bu yapılara nasıl uygulandığını tartışmakta ve bu çerçeveye için ayrıntılı kanıtlar sunmaktadır. Ayrıca, daha önce bu yapılarda tanımlanmamış olan bölüm çaprazlanmış kareleri gibi bazı gerekli kavramlar da sunulmakta ve bunların bazı temel özellikleri incelenmektedir. Bu çalışma, çaprazlanmış n-küpler de dahil olmak üzere bir dizi farklı yapıya olası geliştirme fırsatları sunmaktadır.

Isomorphism Theorems for Crossed Squares of Commutative Algebras

Keywords

Isomorphism theorem,
Subcrossed square,
Crossed square ideal.

Abstract: The isomorphism theorems for crossed squares of commutative algebras, which arise when the crossed modules of algebras are given an extra dimension, are the main subject of this paper. The definition of crossed squares of commutative algebras is given in this context, encompassing ideas like the crossed square ideal, image, and quotient crossed squares, as well as the kernel for crossed square morphisms. The study discusses the way how isomorphism theorems are applied to these structures and offers detailed proofs for this framework. Moreover, some necessary concepts such as quotient crossed squares, which were not previously specified in these structures, are also presented, and some basic properties are examined. The study provides opportunities for possible generalization to a number of different structures, including crossed n-cubes.

1. Introduction

Historically, the concept of algebra and its properties have formed the foundation of mathematics. Algebras are rich algebraic structures that roughly combine two ring structures together and are among the most important structures in algebra, so much so that they are synonymous with the name of the field itself. Through years of research, it has been discovered that many structures existing in group and ring theories can also be transferred to algebras.

One of the most fundamental problems in mathematics, specifically in the field of algebra, is determining whether two structures are identical. The most straightforward way to perform this verification in algebra is by using isomorphisms. However, the answer to whether there exists an isomorphism between two algebraic structures is not always obvious.

Isomorphism theorems, which provide a reference pattern for identifying many pairs of isomorphic algebraic structures, offer an extremely useful approach to this fundamental problem in algebra and thus have numerous applications. In this regard, investigating

* Corresponding author: selimcetin@gmail.com

whether isomorphism theorems hold for different algebraic structures constitutes a fundamental and crucial step in thoroughly understanding the related algebraic structure.

When examining the crossed modules of commutative algebras structurally, it is evident that this area continues to develop significantly. The concept of a crossed module was first defined for groups by J.H.C. Whitehead [1] in his work on homotopy groups. Since then, the concept of a crossed module has contributed significantly to various fields. M. Gerstenhaber [2] and also M. Schlessinger and S. Lichtenbaum [3] conducted different studies on the crossed modules of associative and commutative algebras. T. Lue [4] adapted the concept of semi-completeness existing for groups to the crossed module of groups. G.J. Ellis [5] further developed the concept of a crossed module dimensionally by defining crossed n-cubes for $n = 1, 2, 3$ in the group category. T. Porter [6] examined the category of crossed modules for commutative algebras in his research. K.J. Norrie [7] transferred many existing theorems and results for groups to the crossed modules of groups. Additionally, G.J. Ellis [8] provided the definition of a crossed square for commutative algebras. N.M. Shammu [9] studied the crossed modules of associative algebras algebraically and categorically, providing the definition of a crossed square for associative algebras. Later, Z. Arvasi [10], U. Ege and H.G. Akay [11] obtained significant findings on crossed modules in commutative algebras in their studies. For more information on crossed modules and crossed squares, the reader can refer to [12-22].

2. Material and Method

In this subsection, the definition and square homomorphism of crossed squares of commutative algebras are expressed.

2.1. Crossed squares of algebras

The definition of crossed squares of commutative algebras will be given below. For this, we first recall that the action of a \mathbb{K} – algebra R on a \mathbb{K} – algebra C is a function $R \times C \rightarrow C$ that satisfies the conditions

$$\begin{aligned} r \cdot (c_1 c_2) &= (r \cdot c_1) c_2 = c_1 (r \cdot c_2) \\ (r_1 r_2) \cdot c &= r_1 \cdot (r_2 \cdot c) \end{aligned}$$

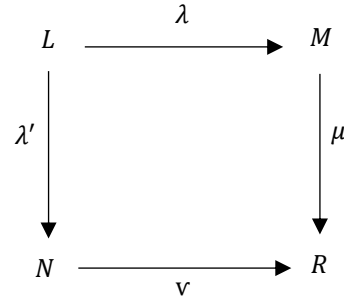
for all $r, r_1, r_2 \in R$ and $c, c_1, c_2 \in C$. Moreover, if R is unital, it is also required that $1_R \cdot c = c$ for all $c \in C$. We also recall that a crossed module of commutative \mathbb{K} – algebras is a structure of the form (C, R, ∂) , where R acts on C , $\partial : C \rightarrow R$ is a \mathbb{K} – algebra homomorphism and the conditions

$$(CM1) \partial(r \cdot c) = r \partial(c)$$

$$(CM2) \partial(c_1) \cdot c_2 = c_1 c_2$$

are satisfied for all $r \in R$ and $c, c_1, c_2 \in C$.

Definition 2.1.1 Let R be a unitary \mathbb{K} – algebra, L, M and N be R – algebras. Given a following commutative diagram

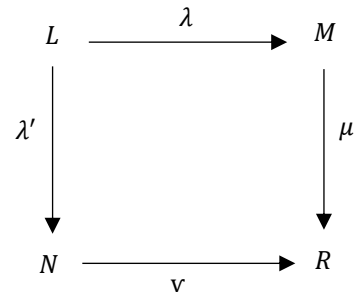


with a function $h : M \times N \rightarrow L$ since L, M and N are R – algebras, R acts on them. Moreover, M acts on L and N through μ such that $\xi \cdot \varepsilon = \mu(\xi) \cdot \varepsilon$ and $\xi \cdot \varsigma = \mu(\xi) \cdot \varsigma$ for all $\varsigma \in N$, $\xi \in M$ and $\varepsilon \in L$ while N acts on L and M through ν such that $\varsigma \cdot \varepsilon = \nu(\varsigma) \cdot \varepsilon$ and $\varsigma \cdot \xi = \nu(\varsigma) \cdot \xi$.

If for all $k \in \mathbb{K}, \varepsilon \in L, \xi, \xi' \in M, \varsigma, \varsigma' \in N$ and $r \in R$;

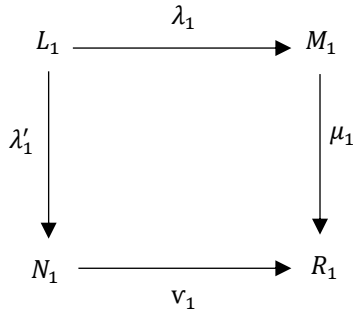
- i) $(L, M, \lambda), (L, N, \lambda'), (M, R, \mu), (N, R, \nu)$ and $(L, R, \mu\lambda)$ are crossed modules of algebras.
- ii) for all $\varepsilon \in L$ and $r \in R$;
 $\lambda(r \cdot \varepsilon) = r \cdot \lambda(\varepsilon)$
 $\lambda'(r \cdot \varepsilon) = r \cdot \lambda'(\varepsilon)$
- iii) for all $k \in \mathbb{K}, \xi \in M, \varsigma \in N$;
 $kh(\xi, \varsigma) = h(k\xi, \varsigma) = h(\xi, k\varsigma)$
- iv) for all $\xi, \xi' \in M, \varsigma, \varsigma' \in N$;
 $h(\xi + \xi', \varsigma) = h(\xi, \varsigma) + h(\xi', \varsigma)$
 $h(\xi, \varsigma + \varsigma') = h(\xi, \varsigma) + h(\xi, \varsigma')$
- v) for all $r \in R, \xi \in M$ and $\varsigma \in N$;
 $r \cdot h(\xi, \varsigma) = h(r \cdot \xi, \varsigma) = h(\xi, r \cdot \varsigma)$
- vi) for all $\xi \in M$ and $\varsigma \in N$;
 $\lambda h(\xi, \varsigma) = \varsigma \cdot \xi$
 $\lambda' h(\xi, \varsigma) = \xi \cdot \varsigma$
- vii) for all $\varepsilon \in L, \xi \in M$ and $\varsigma \in N$;
 $h(\lambda\varepsilon, \varsigma) = \varsigma \cdot \varepsilon$
 $h(\xi, \lambda'\varepsilon) = \xi \cdot \varepsilon$

Then, following such a structures is called

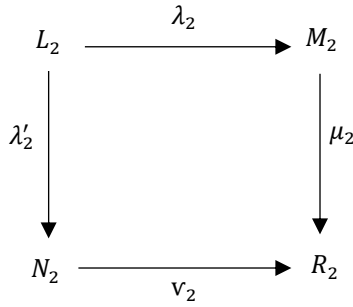


crossed square of commutative algebras.

Definition 2.1.2 Let there be a crossed square



\mathcal{C}_1 and a crossed square



\mathcal{C}_2 . A crossed square homomorphism $\phi: \mathcal{C}_1 \rightarrow \mathcal{C}_2$ is a quadruple $\phi = (\alpha, \beta, \gamma, \delta)$ such that the following

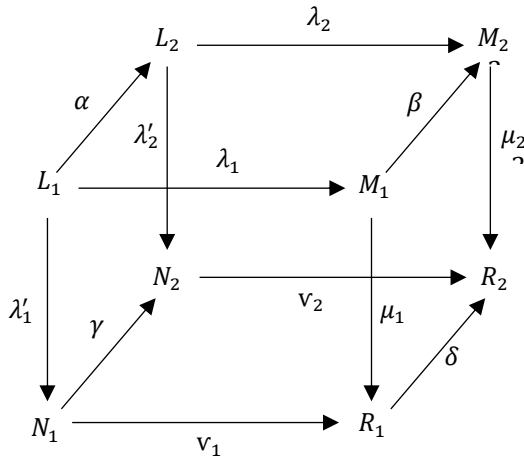


diagram commutes and the conditions are satisfied:

for all $\varepsilon_1 \in L_1, \xi_1 \in M_1, \zeta_1 \in N_1$ and $r_1 \in R_1$

$$\alpha(r_1 \cdot \varepsilon_1) = \delta(r_1) \cdot \alpha(\varepsilon_1),$$

$$\beta(r_1 \cdot \xi_1) = \delta(r_1) \cdot \beta(\xi_1),$$

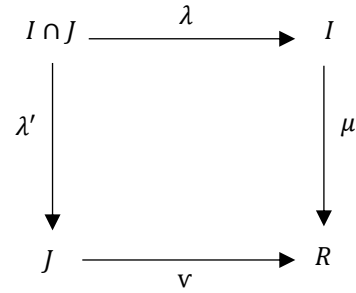
$$\gamma(r_1 \cdot \zeta_1) = \delta(r_1) \cdot \gamma(\zeta_1)$$

$$\alpha(h_1(\xi_1, \zeta_1)) = h_2(\beta(\xi_1), \gamma(\zeta_1)).$$

Remark 2.1.3 Due to the commutativity of the diagram and the preservation of the actions, $(\alpha, \beta), (\alpha, \gamma), (\beta, \delta), (\gamma, \delta)$ and (α, δ) are crossed module homomorphisms. For more information on crossed module homomorphisms, refer to [23].

The following example demonstrates that crossed modules of algebras can be considered as an extension of the concept of an ideal.

Example 2.1.4 Let R be a \mathbb{K} – algebra and I and J be ideals of R . Define $\mu, v, \lambda: I \cap J \rightarrow I$ and $\lambda': I \cap J \rightarrow J$ as inclusion maps. For all $i \in I$ and $j \in J$, define $h: I \times J \rightarrow I \cap J, h(i, j) = ij$. Then $(R, I, J, I \cap J)$

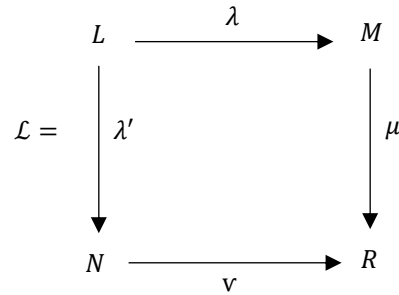


is a crossed square of algebras, where R acts on I, J and $I \cap J$ by multiplication. The conditions for being a crossed square are obviously satisfied in this case.

2.2. Subcrossed squares

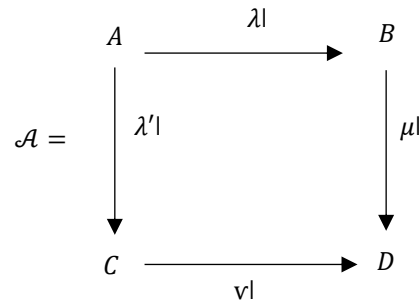
In this subsection, the definition of sub-crossed squares of commutative algebras is presented.

Definition 2.2.1 Let



be a crossed square.

If $A \leq L, B \leq M, C \leq N, D \leq R$ such that the structure



$\lambda, \lambda', \mu, v$ and h under the restriction maps is a crossed square, then \mathcal{A} is called a sub-crossed square of \mathcal{L} . This situation is denoted by $\mathcal{A} \leq \mathcal{L}$ through the paper.

Subcrossed squares naturally serve as subobjects in the category of crossed squares and crossed square homomorphisms.

3. Results

3.1. Ideal of crossed squares of algebras

In this subsection, the definition and a theorem related to the ideal of crossed squares of commutative algebras are presented.

Definition 3.1.1 Given a crossed square

$$\mathcal{L} = \begin{array}{ccc} L & \xrightarrow{\lambda} & M \\ \downarrow \lambda' & & \downarrow \mu \\ N & \xrightarrow{\nu} & R \end{array}$$

of a commutative algebras and let

$$\mathcal{E} = \begin{array}{ccc} E & \xrightarrow{\lambda} & I \\ \downarrow \lambda' & & \downarrow \mu \\ J & \xrightarrow{\nu} & K \end{array}$$

be a sub-crossed square of \mathcal{L} . If for all $r \in R, \rho \in E, q \in I, \sigma \in J$

- i) K be a ideal of R ,
- ii) If for all $r \in R, \rho \in E, q \in I, \sigma \in J$
 $r \cdot \rho \in E$
 $r \cdot q \in I$
 $r \cdot \sigma \in J$
- iii) And for all $d \in K, \varepsilon \in L, \xi \in M, \zeta \in N$
 $d \cdot \varepsilon \in E$
 $d \cdot \xi \in I$
 $d \cdot \zeta \in J$
- iv) And for all $\xi \in M, j \in J$,
 $h(\xi, j) \in E$
- v) And for all $i \in I, \zeta \in N$,
 $h(i, \zeta) \in E$

Then \mathcal{E} is called an crossed square ideal of \mathcal{L} or simply ideal. This situation is denoted by $\mathcal{E} \trianglelefteq \mathcal{L}$ throughout the paper.

Theorem 3.1.2 Let

$$\mathcal{L} = \begin{array}{ccc} L & \xrightarrow{\lambda} & M \\ \downarrow \lambda' & & \downarrow \mu \\ N & \xrightarrow{\nu} & R \end{array}$$

be a crossed square and

$$\mathcal{E} = \begin{array}{ccc} E & \xrightarrow{\quad} & I \\ \downarrow & & \downarrow \\ J & \xrightarrow{\quad} & K \end{array}$$

an ideal of \mathcal{L} . Then

- a) $(E, I, \lambda) \trianglelefteq (L, M, \lambda)$
- b) $(E, J, \lambda') \trianglelefteq (L, N, \lambda')$
- c) $(I, K, \mu) \trianglelefteq (M, R, \mu)$
- d) $(J, K, \nu) \trianglelefteq (N, R, \nu)$
- e) $(E, K, \mu\lambda) \trianglelefteq (L, R, \mu\lambda)$.

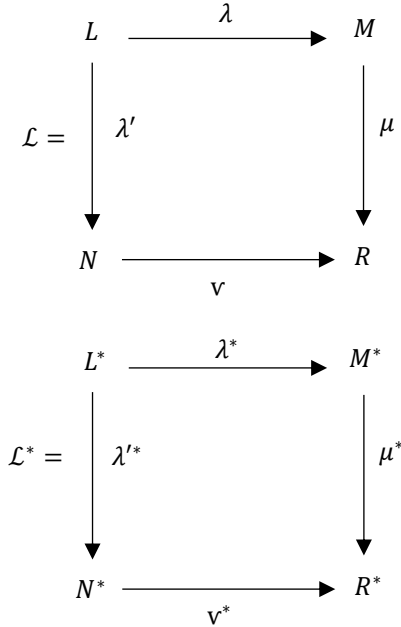
Proof:

- a) Since $\mathcal{E} \leq \mathcal{L}$, (E, I, λ) is a crossed module and $E \leq L, I \leq M$ so $(E, I, \lambda) \leq (L, M, \lambda)$. For all $\rho \in E, q \in I, \varepsilon \in L, \xi \in M$:
 (i) $\xi q = \mu(\xi) \cdot q \in I$
 (ii) $\xi \cdot \rho = \mu(\xi) \cdot \rho \in E$
 (iii) $q \cdot \varepsilon = \mu(q) \cdot \varepsilon \in E$
 Thus, $(E, I, \lambda) \trianglelefteq (L, M, \lambda)$.
- b) Since $\mathcal{E} \leq \mathcal{L}$, (E, J, λ') is a crossed module and $E \leq L, J \leq N$, so $(E, J, \lambda') \leq (L, N, \lambda')$. For all $\rho \in E, \sigma \in J, \varepsilon \in L, \zeta \in N$:
 (i) $\zeta \sigma = \nu(\zeta) \cdot \sigma \in J$
 (ii) $\zeta \cdot \rho = \nu(\zeta) \cdot \rho \in E$
 (iii) $\sigma \cdot \varepsilon = \nu(\sigma) \cdot \varepsilon \in E$
 Thus, $(E, J, \lambda') \trianglelefteq (L, N, \lambda')$.
- c) Since $\mathcal{E} \leq \mathcal{L}$, (I, K, μ) is a crossed module and $I \leq M, K \leq R$, so $(I, K, \mu) \leq (M, R, \mu)$. For all $q \in I, k \in K, \xi \in M, r \in R$:
 (i) $rk \in K$
 (ii) $r \cdot q \in I$
 (iii) $k \cdot \xi \in I$
 Thus, $(I, K, \mu) \trianglelefteq (M, R, \mu)$.
- d) Since $\mathcal{E} \leq \mathcal{L}$, (J, K, ν) is a crossed module and $J \leq N, K \leq R$, so $(J, K, \nu) \leq (N, R, \nu)$. For all $\sigma \in J, k \in K, \zeta \in N, r \in R$:
 (i) $rk \in K$
 (ii) $r \cdot \sigma \in J$
 (iii) $k \cdot \zeta \in J$
 Thus $(J, K, \nu) \trianglelefteq (N, R, \nu)$.
- e) Since $\mathcal{E} \leq \mathcal{L}$, $(E, K, \mu\lambda)$ is a crossed module and $E \leq L, K \leq R$, so $(E, K, \mu\lambda) \leq (L, R, \mu\lambda)$. For all $\rho \in E, k \in K, \varepsilon \in L, r \in R$:
 (i) $rk \in K$
 (ii) $r \cdot \rho \in E$
 (iii) $k \cdot \varepsilon \in E$
 Thus $(E, K, \mu\lambda) \trianglelefteq (L, R, \mu\lambda)$. ■

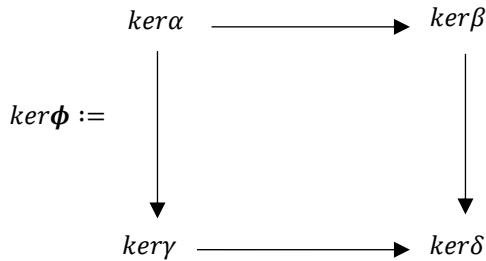
3.2. Kernel and image of morphisms of crossed squares of algebras

In this subsection information about the kernel of image of morphisms of crossed squares of commutative algebras is provided.

Theorem 3.2.1 Let be the following two crossed squares of commutative algebras.



If $\phi = (\alpha, \beta, \gamma, \delta): \mathcal{L} \rightarrow \mathcal{L}^*$ is a crossed square homomorphism between these squares, then



$$\ker\phi \leq \mathcal{L}.$$

Proof: First, let's Show that $\ker\phi$ is a sub-crossed square of \mathcal{L} . By Proposition 3.4.27 in [23], we get

- $(\ker\alpha, \ker\beta, \lambda) \leq (L, M, \lambda)$
- $(\ker\alpha, \ker\gamma, \lambda') \leq (L, M, \lambda')$
- $(\ker\beta, \ker\delta, \mu) \leq (M, R, \mu)$
- $(\ker\gamma, \ker\delta, \nu) \leq (N, R, \nu)$
- $(\ker\alpha, \ker\delta, \mu\lambda) \leq (L, R, \mu\lambda)$.

Additionally, if $\varrho \in \ker\beta, \sigma \in \ker\gamma$, then $\alpha(h(\varrho, \sigma)) = h^*(\beta(\varrho), \gamma(\sigma)) = h^*(0, 0)$

and

$$h^*(0, 0) = h^*(0 + 0, 0) = 2h^*(0, 0).$$

Therefore, $h^*(0, 0) = 0_{L^*}$ so $h(\varrho, \sigma) \in \ker\alpha$. Thus, $\ker\phi \leq \mathcal{L}$.

Now, let's show that $\ker\phi$ is an ideal.

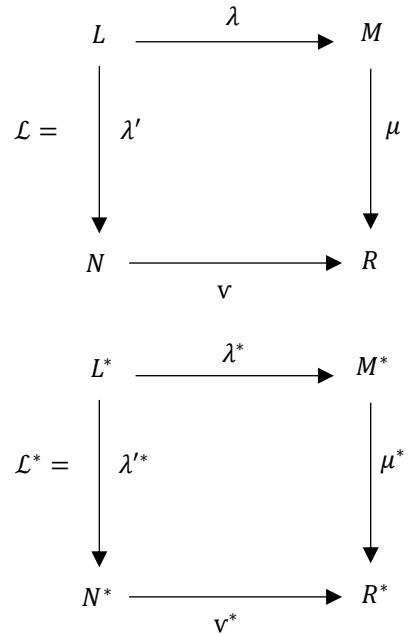
- i) By Proposition 2.19 (i) in [23], $\ker\delta \leq R$.
- ii) For all $r \in R, \rho \in \ker\alpha, \varrho \in \ker\beta, \sigma \in \ker\gamma$:

$$\begin{aligned} \alpha(r \cdot \rho) &= \delta(r) \cdot \alpha(\rho) = \delta(r) \cdot 0 = 0, \\ \text{so } r \cdot \rho &\in \ker\alpha. \\ \beta(r \cdot \varrho) &= \delta(r) \cdot \beta(\varrho) = \delta(r) \cdot 0 = 0, \\ \text{so } r \cdot \varrho &\in \ker\beta. \\ \gamma(r \cdot \sigma) &= \delta(r) \cdot \gamma(\sigma) = \delta(r) \cdot 0 = 0, \\ \text{so } r \cdot \sigma &\in \ker\gamma. \end{aligned}$$

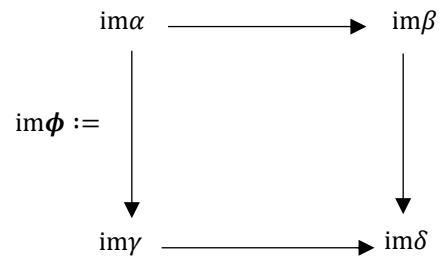
- iii) For all $d \in \ker\delta, \varepsilon \in L, \xi \in M$ ve $\zeta \in N$:
 $\alpha(d \cdot \varepsilon) = \delta(d) \cdot \alpha(\varepsilon) = 0 \cdot \alpha(\varepsilon) = 0,$
 $\beta(d \cdot \xi) = \delta(d) \cdot \beta(\xi) = 0 \cdot \beta(\xi) = 0$
 and
 $\gamma(d \cdot \zeta) = \delta(d) \cdot \gamma(\zeta) = 0 \cdot \gamma(\zeta) = 0$
 Therefore, $d \cdot \rho \in \ker\alpha, d \cdot \varrho \in \ker\beta$ and $d \cdot \sigma \in \ker\gamma$.

- iv) For all $\xi \in M, \sigma \in \ker\gamma$:
 $\alpha(h(\xi, \sigma)) = h^*(\beta(\xi), \gamma(\sigma)) = h^*(\beta(\xi), 0) = h^*(\beta(\xi), 0)$
 and
 $h^*(\beta(\xi), 0) = h^*(\beta(\xi), 0 + 0) = h^*(\beta(\xi), 0) + h^*(\beta(\xi), 0),$
 then $h^*(\beta(\xi), 0) = 0_{L^*}$. So $h(\xi, \sigma) \in \ker\alpha$.
- v) For all $\varrho \in \ker\beta, \zeta \in N : \alpha(h(\varrho, \zeta)) = h(\beta(\varrho), \gamma(\zeta)) = h(0, \gamma(\zeta)) = 0$
 Thus $h(\varrho, \zeta) \in \ker\alpha$. ■

Theorem 3.2.2 Let



be two crossed squares and $\phi = (\alpha, \beta, \gamma, \delta): \mathcal{L} \rightarrow \mathcal{L}^*$ be a crossed square homomorphism. Then,



$$\text{im}\phi \leq \mathcal{L}^*.$$

Proof: By Proposition 3.4.28 in [23], we have:

- $(\text{im}\alpha, \text{im}\beta, \lambda^*) \leq (L^*, M^*, \lambda^*)$
- $(\text{im}\alpha, \text{im}\gamma, \lambda'^*) \leq (L^*, M^*, \lambda'^*)$
- $(\text{im}\beta, \text{im}\delta, \mu^*) \leq (M^*, R^*, \mu^*)$
- $(\text{im}\gamma, \text{im}\delta, \nu^*) \leq (N^*, R^*, \nu^*)$
- $(\text{im}\alpha, \text{im}\delta, \mu^*\lambda^*) \leq (L, R, \mu^*\lambda^*)$.

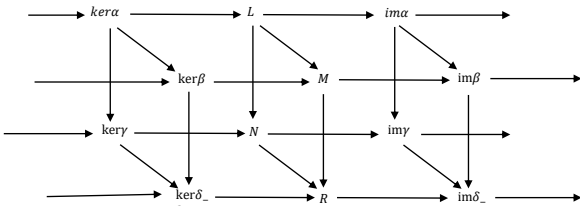
Additionally, if $q^* \in \text{im}\beta$ and $\sigma^* \in \text{im}\gamma$, there exist $q \in M$ and $\sigma \in N$ such that $q^* = \beta(q)$ and $\sigma^* = \gamma(\sigma)$.

$$h^*(q^*, \sigma^*) = h^*(\beta(q), \gamma(\sigma)) = \alpha(h(q, \sigma)).$$

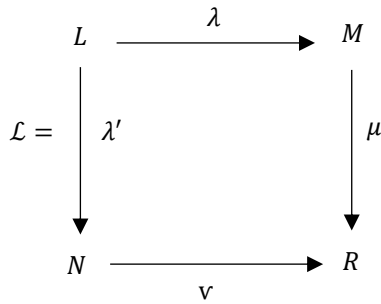
Thus $h^*(q^*, \sigma^*) \in \text{im}\alpha$.

As a consequence, $\text{im}\phi$ is shown to be a subcrossed square of \mathcal{L}^* . ■

As a direct result of this theorem and the previous theorem, the exact sequence of crossed squares can be obtained.

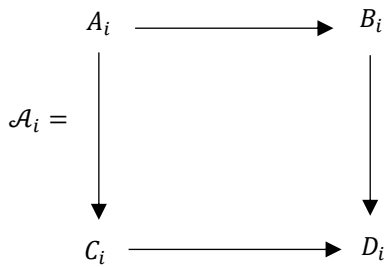


Theorem 3.2.3 Let

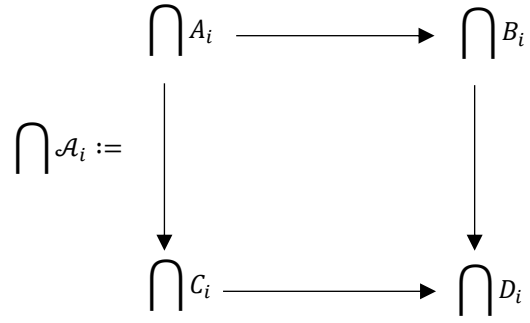


be a crossed square.

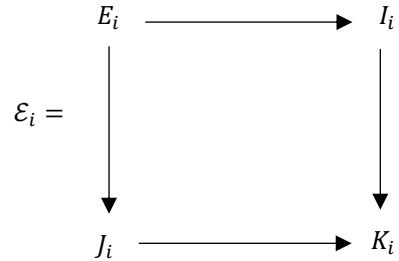
- i) Given a family of sub-crossed squares



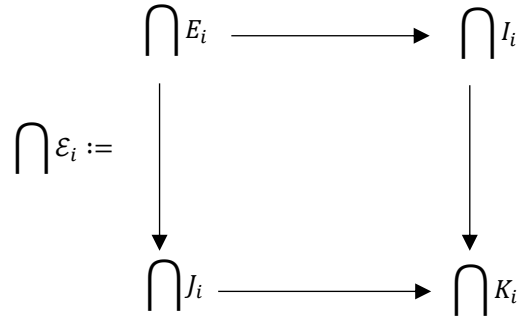
of \mathcal{L} , in this situation, then



- ii) $\bigcap \mathcal{A}_i$ is a sub-crossed square of \mathcal{L} .
Given a family of crossed squares ideals



of \mathcal{L} , then,

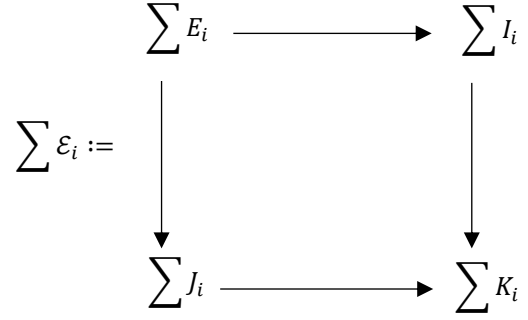
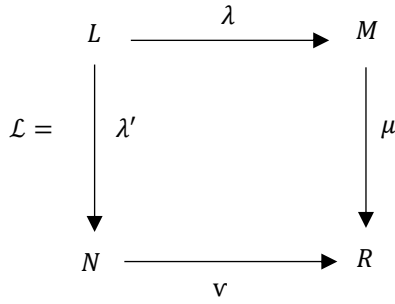


$\bigcap \mathcal{E}_i$ is an ideal of \mathcal{L} .

Proof: As a result of Proposition 3.4.24 in [23] given for crossed modules, it is seen that each edge of the structures $\bigcap \mathcal{A}_i$ and $\bigcap \mathcal{E}_i$ are crossed modules. Therefore, it is sufficient to check the following for the proof of this result.

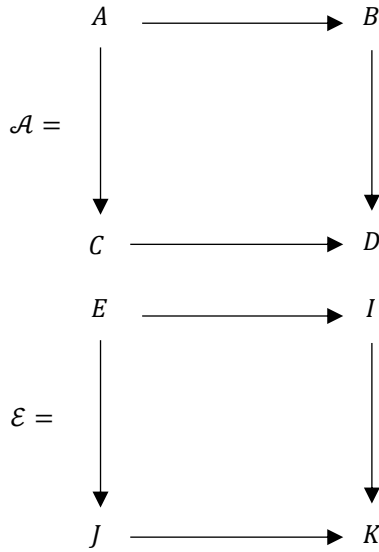
- i) For all $q \in \bigcap B_i$ and $\sigma \in \bigcap C_i$ since $h(q, \sigma) \in A_i$ for each i , it follows that $h(q, \sigma) \in \bigcap A_i$.
- ii) For all $\xi \in M$ and $\sigma \in \bigcap J_i$ since $h(\xi, \sigma) \in E_i$ for each i , it follows that $h(\xi, \sigma) \in \bigcap E_i$.
- iii) For all $q \in \bigcap I_i$, $\varsigma \in N$ since $h(q, \varsigma) \in E_i$ for each i , then $h(q, \varsigma) \in \bigcap E_i$. ■

Theorem 3.2.4 Let

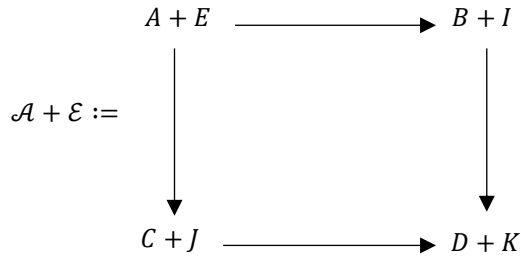


be a crossed square of commutative algebras.

- i) Given a sub-crossed square $\mathcal{A} \leq \mathcal{L}$ and an ideal $\mathcal{E} \trianglelefteq \mathcal{L}$, respectively.

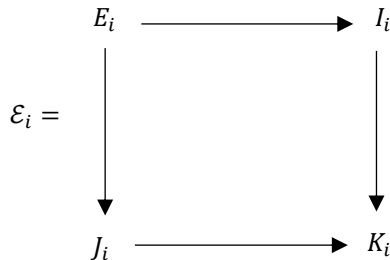


The crossed square $\mathcal{A} + \mathcal{E}$



defined as their sum is a sub-crossed square of \mathcal{L} .

- ii) If the crossed squares for each i ,



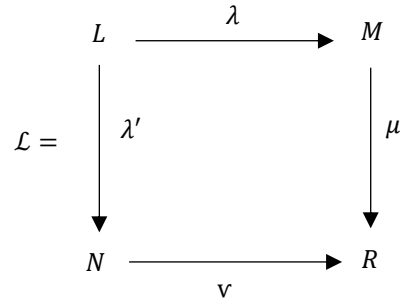
are ideal of \mathcal{L} , then the crossed square

defined as their sum is also an ideal of \mathcal{L} .

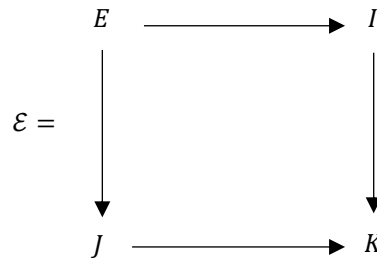
Proof: From Theorem 3.4.26 in [23], it is seen that each edge of $\mathcal{A} + \mathcal{E}$ is a sub-crossed module of the corresponding edge of \mathcal{L} , and each edge of $\sum \mathcal{E}_i$ is a crossed ideal of \mathcal{L} . Therefore, it is sufficient to show the following.

- i) For all $q \in B, q' \in I, \sigma \in C, \sigma' \in J$:
 $h(q + q', \sigma + \sigma') = h(q, \sigma) + h(q, \sigma') + h(q', \sigma) + h(q', \sigma')$
 and since $h(q, \sigma) \in A, h(q, \sigma'), h(q', \sigma), h(q', \sigma') \in A + E$, thus $h(q + q', \sigma + \sigma') \in A + E$.
- ii) For all $\xi \in M$ and $\sum \sigma_i \in \sum J_i: h(\xi, \sum \sigma_i) = \sum h(\xi, \sigma_i) \in \sum E_i$. Similarly, for all $\zeta \in N$ and $\sum \varrho_i \in \sum I_i$:
 $h(\sum \varrho_i, \zeta) = \sum h(\varrho_i, \zeta) \in \sum E_i$ ■

Theorem 3.2.5 Let



be a crossed square of commutative algebras and



an ideal of \mathcal{L} ;

For $\varepsilon + E \in L/E, \forall \xi + I \in M/I$ ve $\forall \zeta + J \in N/J$:

$$\bar{\lambda}: L/E \rightarrow M/I, \bar{\lambda}(\varepsilon + E) = \lambda(\varepsilon) + I$$

$$\bar{\lambda}': L/E \rightarrow N/J, \bar{\lambda}'(\varepsilon + E) = \lambda'(\varepsilon) + J$$

$$\bar{\mu}: M/I \rightarrow R/K, \bar{\mu}(\xi + I) = \mu(\xi) + K$$

$$\bar{\nu}: N/J \rightarrow R/K, \bar{\nu}(\zeta + J) = \nu(\zeta) + K$$

$$\bar{h}: M/I \times N/J \rightarrow L/E, \bar{h}(\xi + I, \varsigma + J) = h(\xi, \varsigma) + E$$

With these functions,

$$\mathcal{L}/\mathcal{E} := \begin{array}{ccc} L/E & \xrightarrow{\bar{\lambda}} & M/I \\ \downarrow \bar{\lambda}' & & \downarrow \bar{\mu} \\ N/J & \xrightarrow{\bar{\nu}} & R/K \end{array}$$

the structure is a crossed square.

Proof:

- i) From Proposition 3.5.1 in [23], it is seen that each edge of \mathcal{L}/\mathcal{E} is a crossed module.

It is sufficient to show that \bar{h} is well-defined and satisfies the conditions related to crossed squares.

For all $\xi, \xi' \in M$ and $\varsigma, \varsigma' \in N$, let $\xi + I = \xi' + I$ and $\varsigma + J = \varsigma' + J$. Thus $\xi - \xi' \in I$, $\varsigma - \varsigma' \in J$. Therefore, since $\xi - \xi' \in I$, $h(\xi - \xi', \varsigma) \in E$. Similarly, $\varsigma - \varsigma' \in J$, $h(\xi', \varsigma - \varsigma') \in E$. Thus,

$$\begin{aligned} & h(\xi - \xi', \varsigma) + h(\xi', \varsigma - \varsigma') \\ &= h(\xi, \varsigma) - h(\xi', \varsigma) + h(\xi', \varsigma) - h(\xi', \varsigma') \\ &= h(\xi, \varsigma) - h(\xi', \varsigma') \in E \end{aligned}$$

Therefore, $h(\xi, \varsigma) + E = h(\xi', \varsigma') + E$, or equivalently

$$\bar{h}(\xi + I, \varsigma + J) = \bar{h}(\xi' + I, \varsigma' + J).$$

Hence, \bar{h} is well-defined.

- ii) For all $r + K \in R/K$, $\varepsilon + E \in L/E$:

$$\begin{aligned} \bar{\lambda}((r + K) \cdot (\varepsilon + E)) &= \bar{\lambda}(r \cdot \varepsilon + E) \\ &= \lambda(r \cdot \varepsilon) + I = r \cdot \lambda(\varepsilon) + I \\ &= (r + K) \cdot (\lambda(\varepsilon) + I) \\ &= (r + K) \cdot \bar{\lambda}(\varepsilon + E). \end{aligned}$$

Similarly,

$$\begin{aligned} \bar{\lambda}'((r + K) \cdot (\varepsilon + E)) &= \bar{\lambda}'(r \cdot \varepsilon + E) \\ &= \lambda'(r \cdot \varepsilon) + J = r \cdot \lambda'(\varepsilon) + J \\ &= (r + K) \cdot (\lambda'(\varepsilon) + J) \\ &= (r + K) \cdot \bar{\lambda}'(\varepsilon + E). \end{aligned}$$

- iii) For all $\xi + I \in M/I$, $\varsigma + J \in N/J$, $k \in K$;

$$\begin{aligned} k\bar{h}(\xi + I, \varsigma + J) &= k(h(\xi, \varsigma) + E) \\ &= kh(\xi, \varsigma) + E = h(k\xi, \varsigma) + E \\ &= h(\xi, k\varsigma) + E \\ &= \bar{h}(k\xi + I, \varsigma + J) \\ &= \bar{h}(\xi + I, k\varsigma + J) \\ &= \bar{h}(k(\xi + I), \varsigma + J) \\ &= \bar{h}(\xi + I, k(\varsigma + J)). \end{aligned}$$

- iv) For all $\xi + I, \xi' + I \in M/I$ and $\varsigma + J \in N/J$;

$$\begin{aligned} \bar{h}(\xi + I + \xi' + I, \varsigma + J) &= \bar{h}(\xi + \xi' + I, \varsigma + J) \\ &= h(\xi + \xi', \varsigma) + E \\ &= h(\xi, \varsigma) + h(\xi', \varsigma) + E \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &= h(\xi, \varsigma) + E + h(\xi', \varsigma) + E \\ &= \bar{h}(\xi + I, \varsigma + J) + \bar{h}(\xi' + I, \varsigma + J). \end{aligned}$$

For all $\xi + I \in M/I$, $\varsigma + J$ and $\varsigma' + J \in N/J$;

$$\begin{aligned} \bar{h}(\xi + I, \varsigma + J + \varsigma' + J) &= \bar{h}(\xi + I, \varsigma + \varsigma' + J) \\ &= h(\xi, \varsigma + \varsigma') + E \\ &= h(\xi, \varsigma) + h(\xi, \varsigma') + E \\ &= h(\xi, \varsigma) + E + h(\xi, \varsigma') + E \\ &= \bar{h}(\xi + I, \varsigma + J) + \bar{h}(\xi + I, \varsigma' + J). \end{aligned}$$

- v) For all $r + K \in R/K$, $\xi + I \in M/I$ and $\varsigma + J \in N/J$;

$$\begin{aligned} (r + K) \cdot \bar{h}(\xi + I, \varsigma + J) &= (r + K) \cdot (h(\xi, \varsigma) + E) \\ &= r \cdot h(\xi, \varsigma) + E \\ &= h(r \cdot \xi, \varsigma) + E \\ &= \bar{h}(r \cdot \xi + I, \varsigma + J) \\ &= \bar{h}((r + K) \cdot (\xi + I), \varsigma + J). \end{aligned}$$

Similarly,

For all $r + K \in R/K$, $\forall \xi + I \in M/I$ and $\varsigma + J \in N/J$;

$$\begin{aligned} (r + K) \cdot \bar{h}(\xi + I, \varsigma + J) &= (r + K) \cdot (h(\xi, \varsigma) + E) \\ &= r \cdot h(\xi, \varsigma) + E \\ &= h(\xi, r \cdot \varsigma) + E \\ &= \bar{h}(\xi + I, r \cdot \varsigma + J) \\ &= \bar{h}(\xi + I, (r + K) \cdot (\varsigma + J)). \end{aligned}$$

- vi) For all $\xi + I \in M/I$, $\varsigma + J \in N/J$;

$$\begin{aligned} \bar{\lambda}(\bar{h}(\xi + I, \varsigma + J)) &= \bar{\lambda}(h(\xi, \varsigma) + E) \\ &= \lambda(h(\xi, \varsigma)) + I \\ &= \varsigma \cdot \xi + I \\ &= (\varsigma + J) \cdot (\xi + I). \end{aligned}$$

Similarly,

$$\begin{aligned} \xi + I \in M/I, \varsigma + J \in N/J; \\ \bar{\lambda}'(\bar{h}(\xi + I, \varsigma + J)) &= \bar{\lambda}'(h(\xi, \varsigma) + E) \\ &= \lambda'(h(\xi, \varsigma)) + J \\ &= \xi \cdot \varsigma + J = (\xi + I) \cdot (\varsigma + J). \end{aligned}$$

- vii) For all $\varepsilon + E \in L/E$ and $\varsigma + J \in N/J$;

$$\begin{aligned} \bar{h}(\bar{\lambda}(\varepsilon + E), \varsigma + J) &= \bar{h}(\lambda(\varepsilon) + I, \varsigma + J) \\ &= h(\lambda(\varepsilon), \varsigma) + E \\ &= \varsigma \cdot \varepsilon + E \\ &= (\varsigma + J) \cdot (\varepsilon + E). \end{aligned}$$

Similarly, for all $\xi + I \in M/I$ and $\varepsilon + E \in L/E$;

$$\begin{aligned} h(\xi + I, \bar{\lambda}'(\varepsilon + E)) &= \bar{h}(\xi + I, \lambda'(\varepsilon) + J) \\ &= h(\xi, \lambda'(\varepsilon)) + E \\ &= \xi \cdot \varepsilon + E = (\xi + I) \cdot (\varepsilon + E). \blacksquare \end{aligned}$$

3.3. Quotient crossed squares of algebras

In this subsection, the definition of quotient crossed squares of commutative algebras is provided.

Definition 3.3.1 Let $\mathcal{E} \trianglelefteq \mathcal{L}$. The crossed square \mathcal{L}/\mathcal{E} given in the theorem above is called the quotient of \mathcal{L} by \mathcal{E} .

Corollary 3.3.2 For a crossed square \mathcal{L} , a necessary and sufficient condition for \mathcal{E} to be an ideal of \mathcal{L} is that \mathcal{E} is equal to the kernel of a crossed square homomorphism $\phi: \mathcal{L} \rightarrow \mathcal{L}'$.

3.4. Isomorphism theorems for crossed squares of algebras

In this subsection, the first, second, and third isomorphism theorems for crossed squares of unitary commutative algebras are stated and proven.

Theorem 3.4.1 (First Isomorphism Theorem for Crossed Squares) Let

$$\mathcal{L} = \begin{array}{ccc} L & \xrightarrow{\lambda} & M \\ \downarrow \lambda' & & \downarrow \mu \\ N & \xrightarrow{\nu} & R \end{array}$$

and,

$$\mathcal{L}^* = \begin{array}{ccc} L^* & \xrightarrow{\lambda^*} & M^* \\ \downarrow \lambda'^* & & \downarrow \mu'^* \\ N^* & \xrightarrow{\nu^*} & R^* \end{array}$$

are two crossed squares of commutative algebras and $\phi = (\alpha, \beta, \gamma, \delta): \mathcal{L} \rightarrow \mathcal{L}^*$ be a crossed square homomorphism. Then $\mathcal{L}/\ker\phi \cong \text{im}\phi$.

Proof: From Theorem 3.6.1 in [23] for all $l + \ker\alpha \in L/\ker\alpha$, $\xi + \ker\beta \in M/\ker\beta$, $\varsigma + \ker\gamma \in N/\ker\gamma$ and $r + \ker\delta \in R/\ker\delta$:

$$\bar{\alpha}: L/\ker\alpha \rightarrow \text{im}\alpha, \bar{\alpha}(l + \ker\alpha) = \alpha(l)$$

$$\bar{\beta}: M/\ker\beta \rightarrow \text{im}\beta, \bar{\beta}(\xi + \ker\beta) = \beta(\xi)$$

$$\bar{\gamma}: N/\ker\gamma \rightarrow \text{im}\gamma, \bar{\gamma}(\varsigma + \ker\gamma) = \gamma(\varsigma)$$

$$\bar{\delta}: R/\ker\delta \rightarrow \text{im}\delta, \bar{\delta}(r + \ker\delta) = \delta(r)$$

Since the pair $(\bar{\alpha}, \bar{\beta})$, $(\bar{\alpha}, \bar{\gamma})$, $(\bar{\beta}, \bar{\delta})$, $(\bar{\gamma}, \bar{\delta})$ and $(\bar{\alpha}, \bar{\delta})$ are isomorphism of crossed modules, it is sufficient to examine the condition for the functions $\bar{h}: M/\ker\beta \times N/\ker\gamma \rightarrow L/\ker\alpha$ and $h^*: \text{im}\beta \times \text{im}\gamma \rightarrow \text{im}\alpha$.

$$\begin{aligned} \bar{\alpha}(\bar{h}(\xi + \ker\beta, \varsigma + \ker\gamma)) &= \bar{\alpha}(h(\xi, \varsigma) + \ker\alpha) \\ &= \alpha(h(\xi, \varsigma)) = h^*(\beta(\xi), \gamma(\varsigma)) \\ &= h^*(\bar{\beta}(\xi + \ker\beta), \bar{\gamma}(\varsigma + \ker\gamma)). \blacksquare \end{aligned}$$

Proposition 3.4.2 Let

$$\mathcal{L} = \begin{array}{ccc} L & \xrightarrow{\lambda} & M \\ \downarrow \lambda' & & \downarrow \mu \\ N & \xrightarrow{\nu} & R \end{array}$$

be a crossed square of algebras. In this situation, if

$$\mathcal{E} = \begin{array}{ccc} E & \xrightarrow{\quad} & I \\ \downarrow & & \downarrow \\ J & \xrightarrow{\quad} & K \end{array}$$

$$\mathcal{A} = \begin{array}{ccc} A & \xrightarrow{\quad} & B \\ \downarrow & & \downarrow \\ C & \xrightarrow{\quad} & D \end{array}$$

$\mathcal{A} \leq \mathcal{E} \trianglelefteq \mathcal{L}$ and $\mathcal{A} \trianglelefteq \mathcal{L}$, then $\mathcal{A} \trianglelefteq \mathcal{E}$ and $\mathcal{E}/\mathcal{A} \trianglelefteq \mathcal{L}/\mathcal{A}$.

Proof: Since $\mathcal{A} \leq \mathcal{E}$, it is sufficient to show that $\mathcal{A} \trianglelefteq \mathcal{E}$.

- i) If $D \leq K \trianglelefteq R$ and $D \trianglelefteq R$, then $D \trianglelefteq K$, by Proposition 2.21 in [23].
- ii) For all $k \in K$, $\rho \in A$, $q \in B$ and $\sigma \in C$ since $k \in R$:
 $k \cdot \rho \in A, k \cdot q \in B, k \cdot \sigma \in C$.
- iii) For all $d \in D, \rho \in E, q \in I, \sigma \in J$ since $\rho \in L, q \in M, \sigma \in N$ and $\mathcal{A} \trianglelefteq \mathcal{L}$:
 $d \cdot \rho \in A, d \cdot q \in B, d \cdot \sigma \in C$.
- iv) For all $i \in I$ and $\sigma \in C$ since $i \in M$
 $h(i, \sigma) \in A$.
- v) For all $q \in B$ and $j \in J$ since $j \in N$
 $h(q, j) \in A$.

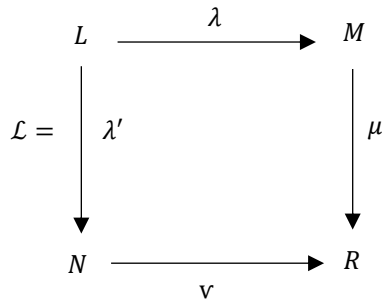
Thus $\mathcal{A} \trianglelefteq \mathcal{E}$.

Now, let's show that $\mathcal{E}/\mathcal{A} \trianglelefteq \mathcal{L}/\mathcal{A}$.

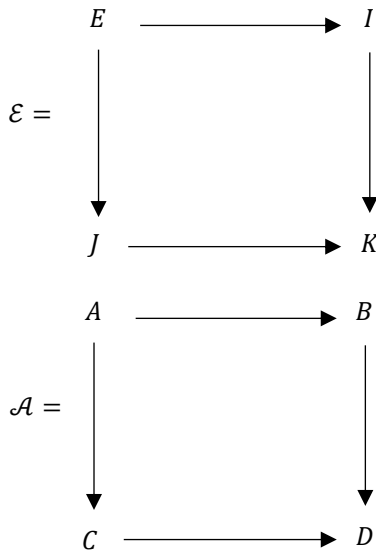
Since $E/\mathcal{A} \subseteq L/\mathcal{A}$, $I/\mathcal{A} \subseteq M/\mathcal{A}$, $J/\mathcal{A} \subseteq N/\mathcal{A}$, $K/\mathcal{A} \subseteq R/\mathcal{A}$ and \mathcal{E}/\mathcal{A} is a crossed square, and since the boundary homomorphism of \mathcal{E}/\mathcal{A} are restrictions of the boundary homomorphisms of \mathcal{L}/\mathcal{A} , $\mathcal{E}/\mathcal{A} \trianglelefteq \mathcal{L}/\mathcal{A}$.

- i) By Proposition 2.21 in [23], $K/D \trianglelefteq R/D$.
- ii) For all $r + D \in R/D$, $\rho + A \in E/A$, $q + B \in I/B$ and $\sigma + C \in J/C$:
 $(r + D) \cdot (\rho + A) = r \cdot \rho + A \in E/A$,
 $(r + D) \cdot (q + B) = r \cdot q + B \in I/B$,
 $(r + D) \cdot (\sigma + C) = r \cdot \sigma + C \in J/C$.
- iii) For all $k + D \in K/D$, $\varepsilon + A \in L/A$, $\xi + B \in M/B$, $\varsigma + C \in N/C$:
 $(k + D) \cdot (\varepsilon + A) = k \cdot \varepsilon + A \in E/A$,
 $(k + D) \cdot (\xi + B) = k \cdot \xi + B \in I/B$,
 $(k + D) \cdot (\varsigma + C) = k \cdot \varsigma + C \in J/C$.
- iv) For all $\xi + B \in M/B$, $j + C \in J/C$:
 $\bar{h}(\xi + B, j + C) = h(\xi, j) + A \in E/A$.
- v) For all $i + B \in I/B$, $\varsigma + C \in N/C$:
 $\bar{h}(i + B, \varsigma + C) = h(i, \varsigma) + A \in E/A$. ■

Theorem 3.4.3 (Second Isomorphism Theorem for Crossed Squares) Let



be a crossed square of commutative algebras and



$$\mathcal{L}/\mathcal{A}/\mathcal{E}/\mathcal{A} \cong \mathcal{L}/\mathcal{E}.$$

Proof: From Theorem 3.6.2 in [23], for all $\varepsilon + A + E/A \in L/A/E/A$, $\xi + B + I/B \in M/B/I/B$, $\varsigma + C + I/C \in N/C/J/C$ and $r + D + K/D \in R/D/K/D$:

$$\alpha: L/A/E/A \rightarrow L/E, \alpha(\varepsilon + A + E/A) = \varepsilon + E$$

$$\beta: M/B/I/B \rightarrow M/I, \beta(\xi + B + I/B) = \xi + I$$

$$\gamma: N/C/J/C \rightarrow N/J, \gamma(\varsigma + C + I/C) = \varsigma + J$$

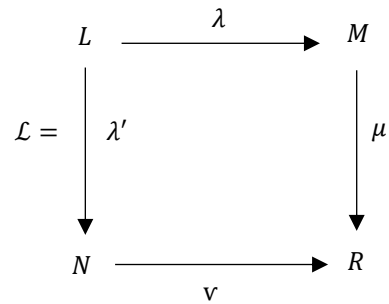
$$\delta: R/D/K/D \rightarrow R/K, \delta(r + D + K/D) = r + K$$

since the pair (α, β) , (α, γ) , (β, δ) , (γ, δ) and (α, δ) are isomorphisms of crossed modules, it is sufficient to examine the condition for the functions $\bar{h}: M/B/I/B \times$

$$N/C/J/C \rightarrow L/A/E/A \text{ and } \bar{h}: M/I \times N/J \rightarrow L/E.$$

$$\begin{aligned}
 \alpha\left(\bar{h}\left(\xi + B + I/B, \varsigma + C + J/C\right)\right) &= \alpha\left(\bar{h}\left(\xi + B, \varsigma + C\right) + E/A\right) \\
 &= \alpha\left(h\left(\xi, \varsigma\right) + A + E/A\right) \\
 &= h\left(\xi, \varsigma\right) + E \\
 &= \bar{h}\left(\xi + I, \varsigma + B\right) \\
 &= \bar{h}\left(\beta\left(\xi + B + I/B\right), \gamma\left(\varsigma + C + J/C\right)\right). \blacksquare
 \end{aligned}$$

Theorem 3.4.4 (Third Isomorphism Theorem for Crossed Squares) Let



be a crossed square of commutative algebras. And,

$$\begin{array}{ccc}
 E & \longrightarrow & I \\
 \downarrow & & \downarrow \\
 J & \longrightarrow & K \\
 \\
 A & \longrightarrow & B \\
 \downarrow & & \downarrow \\
 C & \longrightarrow & D
 \end{array}$$

$\mathcal{E} =$ (for the first square) and $\mathcal{A} =$ (for the second square)

if $\mathcal{A} \leq \mathcal{L}$ and $\mathcal{E} \leq \mathcal{L}$, then $\mathcal{A}/\mathcal{A} \cap \mathcal{E} \cong \mathcal{A} + \mathcal{E}/\mathcal{E}$.

Proof: By Theorem 3.6.3 in [23],

$$\alpha: A/A \cap E \rightarrow A + E/E, \alpha(\rho + A \cap E) = \rho + E$$

$$\beta: B/B \cap I \rightarrow B + I/I, \beta(\varrho + B \cap I) = \varrho + I$$

$$\gamma: C/C \cap J \rightarrow C + J/J, \gamma(\sigma + C \cap J) = \sigma + J$$

$$\delta: D/D \cap K \rightarrow D + K/K, \delta(d + D \cap K) = r + K$$

for all $\rho + A \cap E \in A/A \cap E$, $\varrho + B \cap I \in B/B \cap I$, $\sigma + C \cap J \in C/C \cap J$ and $d + D \cap K \in D/D \cap K$.

Since the pair (α, β) , (α, γ) , (β, δ) , (γ, δ) and (α, δ) are isomorphisms of crossed modules, it is sufficient to show the condition for the functions $\bar{h}_1: B/B \cap I \times C/C \cap J \rightarrow A/A \cap E$ and $\bar{h}_2: B + I/I \times C + J/J \rightarrow A + E/E$.

$$\begin{aligned}
 \alpha(\bar{h}_1(\varrho + B \cap I, \sigma + C \cap J)) &= \alpha(h(\varrho, \sigma) + A \cap E) \\
 &= h(\varrho, \sigma) + E = \bar{h}_2(\varrho + I, \sigma + J) \\
 &= \bar{h}_2(\beta(\varrho + B \cap I), \gamma(\sigma + C \cap J)).
 \end{aligned}$$

■

4. Discussion and Conclusion

In this study, the isomorphism theorems, which hold significant importance in the theory of crossed modules of algebras in algebra theory, are explicitly proven since they have only been stated in the literature. Subsequently, by using the isomorphism theorems of crossed modules of algebras, the isomorphism theorems in the crossed squares of commutative algebras are stated and proven. Furthermore, to achieve this, several auxiliary concepts, such as the quotient crossed square, which had not been previously defined in these structures, are introduced, and their fundamental properties are examined.

This study can be adapted or generalized to various other structures in numerous ways. For instance, one could investigate whether the isomorphism theorems apply to structures similar to crossed squares, such as crossed cubes and crossed n-cubes, or examine certain

algebraic results, whether found in this thesis or not, within the category of crossed squares.

It is believed that this work will serve as a fundamental resource in mathematics and engineering, especially in the fields of algebra and algebraic topology, and will provide a valuable contribution to advanced studies on commutative algebras. Additionally, it will shed significant light on the discovery of numerous new topics and guide contemporary structures.

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] Whitehead, J. H. 1941. On Adding Relations to Homotopy Groups. Ann. of Mathematics, 42, 409-428.
- [2] Gerstenhaber, M. 1966. On the Deformation of Rings and Algebras: II. Ann. of Mathematics, 1-19.
- [3] Lichtenbaum, S., Schlessinger, M. 1967. The Cotangent Complex of a Morphism. Trans. of the American Mathematical Society, 128(1), 41-70.
- [4] Lue, A. S. T. 1979. Semi-Complete Crossed Modules and Holomorphs of Groups. Bulletin of the London Mathematical Society, 11(1), 8-16.
- [5] Ellis, G., Steiner, R. 1987. Higher-dimensional Crossed Modules and The Homotopy Groups of (n+1)-ads. Journal of Pure and Applied Algebra, 46(2-3), 117-136.
- [6] Porter, T. 1986. Homology of Commutative Algebras and An Invariant of Simis and Vasconcelos. Journal of Algebra, 99(2), 458-465.
- [7] Norrie, K. J. 1987. Crossed modules and analogues of group theorems. King's College London (University of London), PhD. Thesis, 209s, London.
- [8] Ellis, G. J. 1988. Higher Dimensional Crossed Modules of Algebras. Journal of Pure and Applied Algebra, 52(3), 277-282.
- [9] Shammu, N. M. 1992. Algebraic and categorical structure of categories of crossed modules of algebras, PhD thesis, University of Wales, 162s, Bangor.

- [10]Arvasi, Z. 1997. Crossed Squares and 2-crossed Modules of Commutative Algebras. *Theory and Applications of Categories*, 3(7), 160-181.
- [11]Ege Arslan, U., Gülsün Akay, H. 2018. On the Exactness Property of $BXMod/R$. *Miskolc Mathematical Notes*, 19(1), 37-47.
- [12]Mutlu, A., Mutlu, B. 2013. Freeness Conditions for Quasi 3-crossed Modules and Complexes of Using Simplicial Algebras with CW-bases. *Mathematical Sciences*, 7, 1-12.
- [13]Mutlu, A., Porter, T. 1998. Freeness Conditions for 2-crossed Modules and Complexes. *Theory and Applications of Categories*, 4(8), 174-194.
- [14]Mutlu, A. 2000. Free 2-crossed Complexes of Simplicial Algebras. *Mathematical and Computational Applications*, 5(1), 13-22.
- [15]Akça, İ., Emir, K., Martins, J. F. 2019. Two-fold Homotopy of 2-crossed Module Maps of Commutative Algebras. *Communications in Algebra*, 47(1), 289-311.
- [16]Pak, S., Akça, İ. İ. 2022. Pseudo Simplicial Algebras, Crossed Modules and 2-Crossed Modules. *Konuralp Journal of Mathematics*, 10(2), 326-331.
- [17]Çetin, S., Gürdal, U. 2024. A Characterization of Crossed Self-similarity on Crossed Modules in L-algebras. *Logic Journal of the IGPL*, jzae003.
- [18]Gürdal, U. 2023. A Jordan-Hölder theorem for Crossed Squares. *Kuwait Journal of Science*, 50(2), 83-90.
- [19]Çetin, S., Gürdal, U. 2024. Crossed Modules with Action. *Ukrains'kyi Matematychnyi Zhurnal*, 74(4), 581-598.
- [20]Koçak, M., Çetin, S. 2024. Higher Dimensional Leibniz-Rinehart Algebras. *Journal of Mathematical Sciences and Modelling*, 7(1), 45-50.
- [21]Çetin, S. 2024. Generalizations of Zassenhaus Lemma and Jordan-Hölder Theorem for 2-Crossed Modules. *Turkish Journal of Mathematics*, 48(3), 567-593.
- [22]Çetin, S. 2018. Centers, Commutators and Abelianization of Crossed Squares. *Caspian Journal of Mathematical Sciences (CJMS)*, 7(2), 152-158.
- [23]Can, E. 2021. Cebirlerin çaprazlanmış kareleri ve morfizmleri için izomorfizm teoremleri. *Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, 67s, Burdur.

***Cladophora* sp. ve Arbüsküler Mikorizal Fungus (AMF) Spor Aşılmasının Mısır Bitkisinin (*Zea mays* L.) Gelişim Parametreleri ve Bazı Rizosfer Toprak Enzimlerine Etkisi**

Çiğdem KÜÇÜK¹, Pınar USLU², Göksal SEZEN³

^{1,2,3}Harran Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Şanlıurfa, Türkiye

(Alınış / Received: 25.04.2024, Kabul / Accepted: 09.07.2024, Online Yayınlanma / Published Online: 23.08.2024)

Anahtar Kelimeler
Cladophora sp.,
AMF spor aşılması,
Rizosfer,
Toprak enzimi

Özet: Bu çalışmada Arbüsküler Mikorizal Fungus (AMF) spor aşılması ve *Cladophora* sp. ekstraktının birlikte uygulamalarının mısır bitkilerinin temel bitki büyüme özellikleri, rizosferdeki alkalın fosfataz, dehidrogenaz, üreaz ve β -glukosidaz enzim aktiviteleri üzerine etkileri değerlendirilmiştir. Çalışma serada tesadüf parselleri faktöriyel deneme desenine göre 3 tekrarlı olarak kurulmuştur. Mikoriza (aşısız, 5 g/kg, 10 g/kg, 15 g/kg ile aşı) ve *Cladophora* sp. (%0, 0.5, 1, 1.5) farklı dozlarda topraklara uygulanmıştır. Uygulamaların etkileri temel bitki büyüme özellikleri üzerinde farklı olmuştur *Cladophora* sp.'nin %1.5'lük ekstraktı ve 15 g/kg AMF spor aşılmasının mikoriza aşılmasının birlikte uygulanması ile alkalın fosfataz, üreaz, dehidrogenaz enzim aktivitelerinde en yüksek değerler elde edilmiştir. *Cladophora* sp.'nin %1'lik ekstraktı ve 10 g/kg AMF spor aşılmasının mikoriza aşılmasının birlikte uygulanması ile en yüksek β -glukosidaz aktivitesi aktivite elde edilmiştir. AMF spor aşılması ve *Cladophora* sp.'nin birlikte uygulanması rizosferdeki bazı enzimleri aktive ederek daha sağlıklı bir rizosfer ile bitki kalitesini artırmak için çevre dostu bir strateji olarak sunulabilir.

***Cladophora* sp. and Arbuscular Mycorrhizal Fungus (AMF) Spore Inoculation on Maize (*Zea mays* L.) Developmental Parameters and Some Rhizosphere Soil Enzymes**

Keywords
Cladophora sp.,
AMF spore inoculated,
Rhizosphere,
Soil enzyme

Abstract: In this study, the effects of mycorrhizal fungus spore inoculation and *Cladophora* sp. extract, in combination, on the basic plant growth characteristics of maize plants, alkaline phosphatase, dehydrogenase, urease and β -glucosidase enzyme activities in the rhizosphere were evaluated. The study was established in the greenhouse according to randomized plots factorial experimental design with 3 replications. AMF spore (uninoculated, inoculated with 5 g/kg, 10 g/kg, 15 g/kg) and *Cladophora* sp. (0, 0.5, 1, 1.5%) were applied to the soil at different doses. The effects of the applications were different on basic plant growth characteristics. The highest values of alkaline phosphatase, urease, dehydrogenase enzyme activities were obtained with 1.5% extract of *Cladophora* sp. and 15 g/kg AMF spore inoculation. The highest β -glucosidase activity was obtained with 1% extract of *Cladophora* sp. and 10 g/kg AMF spore inoculation. Co-application of AMF spore inoculation and *Cladophora* sp. may present as an environmentally friendly strategy to improve plant quality with a healthier rhizosphere by activating some enzymes in the rhizosphere.

1. Giriş

Temiz gıda kaynaklarına sağlıklı bir şekilde ulaşmak gün geçtikçe zorlaşmaktadır. Oysa ki, önümüzdeki yıllarda tarım sektörünün, küresel gıda güvenirliliğini sağlamada çeşitli tehditlerle karşı karşıya kalacağı ve dünya nüfusunun 2050 yılına kadar 9,7 milyara ulaşacağı tahmin edildiğinden insan tüketimi ve hayvancılık için bitkisel üretim ihtiyacının önemli

ölçüde artacağı düşünülmektedir [1]. Buna ek olarak küresel değişikliği, biyotik ve abiyotik faktörleri değiştirmekte [1] ürün gelişimi ve verimini olumsuz etkilemektedir [2]. Nüfusun hızla artması nedeniyle, tarımsal üretim talebi artacağından, mevcut tarımsal uygulamaların değişeceği de rapor edilmiştir [3]. Ekolojik farkındalık ivme kazanırken, dayanıklı ve güvenli tarımsal uygulamaların da modern tarımın önde gelen önceliklerinden olduğu belirtilmiştir [3].

* İlgili yazar: ckucuk@harran.edu.tr

Son yıllarda dünya genelinde yapılan yoğun tarım, bir zamanlar verimli olan ekilebilir toprakları hem besin maddelerini hem de fiziksel yapısını fakirleştirmiştir [4,5]. Artan tarımsal faaliyetler nedeniyle çevre kirliliğinin artması tarım topraklarında da sorun olmaya başlamış ve parçalanamayan sentetik girdiler çevrede birikmeye başlamıştır. Bu yüzden ötrofikasyon, su kirliliği ve toprak kirliliğine neden olmaktadır. Bu kimyasalların toksik etkilerinin insan, hayvan ve bitkiler üzerinde zararlı etkilerde bulunduğu açıklanmıştır [6]. Bu nedenle, ürünlerde sentetik girdileri azaltmaya çalışmak, verimli ve doğal alternatif uygulamaları bulmak için araştırmalar hız kazanmıştır. Biyostimülantlar bu noktada dikkat çekmektedir [6]. Toprağın kimyasal ve biyolojik özelliklerini düzenleyen, toprağın verimliliğini artıran, bitki büyümesini teşvik eden mikroorganizmaları içeren biyostimülantların veya biyogübrelerin kimyasal gübrelerle alternatif olarak son yıllarda kullanımları yaygınlaşmıştır [7]. Biyostimülantlar, çevre dostu uygulamalar olduğundan aşırı ve bilinçsiz kullanılan kimyasal gübrelerin kullanımını azaltmıştır [6].

Biyostimülantların en iyi temsilcilerinden olan mikorizal ortak yaşamın bitkiler üzerinde olumlu etkiler yaptığı çeşitli çalışmalarda tespit edilmiştir [8,9]. Mikoriza uygulamalarının çilek verimini ve meyve kalitesini artırdığı [10], tarla koşullarında ise soğan gelişimi ve verimini mikoriza uygulanmayan parsellere göre önemli ölçüde arttırdığı yapılan çalışmada belirlenmiştir [11]. Bitkilerin büyüme ve gelişimini iyileştirmek için kullanılan çeşitli yöntemler arasında önem kazanan biyostimülantlardan makro alglerin çok çeşitli sekonder metabolitler üretebildiği, aktif bileşik ve minör besin maddelerince zengin olduğu açıklanmıştır [12]. Makro alglerin ve bunların özütlerinin tarımsal uygulamalar için gelecekte önemli potansiyele sahip olduğu çeşitli çalışmalarda rapor edilmiştir [12,13]. Algler sürdürülebilir ve organik bitkisel üretimde bitki büyümesini teşvik eden uyarıcılar olarak kullanılabilir [13]. Alglerin biyogübre olarak kullanılması ile tohum çimlenmesini teşvik ettiği, bitki sağlığını ve büyümesini yani kök ve sürgün uzunluğunu artırma gibi birçok faydasının olduğu bildirilmiştir [14]. Ayrıca makroalglerden elde edilen ekstraktların, topraklara ve bitkiye uygulanması ile bitkilerin su ve besin maddelerini daha iyi absorbe ettikleri, böylece bitkilerin kuraklık ve tuza karşı dirençlerinin arttığı belirlenmiştir. Ayrıca yararlı toprak mikroorganizmalarının gelişimlerinin teşvik edildiği, bitkilerin abiyotik stres toleransına karşı dirençliliklerinin arttığı ve bu sayede zararlılara ve hastalık etmenlerine karşı savunmalarının da arttığı açıklanmıştır [15]. Hem denizde hem de tatlı sularda bulunan yeşil makroalg *Cladophora* sp.; kozmetik ve gıda endüstrilerinde, tıp ve farmakolojide, çevre kirliliğinin biyoindikatörü olarak ve tarımda kullanılmaktadır [16,17]. Dünyada buğdaydan sonra

en fazla üretilen tahıl olan mısırın üretimi ülkemizde de hızla artmıştır [18]. Çalışmada hem Şanlıurfa'da yaygın tarımı yapıldığından [18] hem de AMF sporları ile afinitesinin yüksek olmasından dolayı mısır bitkisi seçilmiştir. Çalışmamızda mikrobiyal organizma olan AMF ile makroalglerden *Cladophora* sp.'nin farklı dozlarda ayrı ayrı ve birlikte mısırın temel bitki gelişme parametreleri ile rizosferdeki enzim aktivitelerinden β -glukosidaz, dehidrogenaz, alkalik fosfataz ve üreaz enzim aktivitelerine etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

2. Materyal ve Metot

Çalışmamızda kullanılan mısır çeşidi Pioner 20105 (P-2105) ticari olarak satın alınmıştır. Makroalg *Cladophora* sp. ise Harran Üniversitesi Biyoloji Bölümü Hidrobiyoloji A.B.D.'dan temin edilmiştir. Kurutulmuş, öğütülmüş *Cladophora* sp.'in 250 g'ı 2500 ml distile suda iyice karıştırılarak belirtilen dozlarda kullanılmıştır. Mikorizal sporu; Mikostar firmasından ticari olarak sağlanmıştır; ürün içerisinde *Glomus mosseae*, *G.intraradices*, *G.clarum*, *G.monosporus*, *G. deserticola*, *G. brasilianum*, *G. aggregatum*, *Gigaspora margarita*, *G.etunicatum*, *G.fasciculatum* bulunmaktadır. Kullanılan ticari ürün içerisinde spor sayısı 1×10^5 propagül/50 g'dır. Denemede kampüs alanında daha önce herhangi bir ekim yapılmamış yerden 0-30 cm derinlikten alınan toprak kullanılmıştır. Denemede kullanılan toprağın pH'ı 7.7; organik madde (%) 1.35; kireç (%) 2.47; EC (mmhos/cm) 2,60; N ise % 0.11 olup, killi bünyeye sahiptir. Kullanılan toprak; hafif alkalik, az kireçli ve organik madde içeriği düşüktür.

2.1. Denemenin kurulumu

Denemede kullanılan topraklar 2 mm'lik elekten geçirilmiş, toprak kaynaklı mikroorganizmaların elimine edilmesi için 121°C'de 1 atm basınçta 3 ardışık gün otoklavlanmıştır. Otoklavlama sonrası topraklar 3 kg'lık (18.5 x 19 cm) plastik saksılara doldurulmuştur. Mikoriza uygulaması 4 farklı dozda (0, 5 (10000 adet/50g), 10 (20000 adet/50g), 15 g/kg (30000adet/50 g)) tohumla birlikte tohum yatağına uygulanmıştır. *Cladosporium* sp. ise bitkiler çimlendikten 15 gün sonra farklı konsantrasyonlarda (% 0, %0.5, %1 ve %1.5) ayrı ayrı su ile karıştırılarak 100 ml toprağa uygulanmıştır. Her bir saksıya 5 mısır tohumu ekilmiş, çimlenme sonrası 2 mısır bitkisi seyreltilmiştir. *Cladophora* sp. uygulaması bitkilerin çimlenmesinden 15 gün sonra başlamış ve 15 gün ara ile hasat sonuna kadar 4 kez uygulanmıştır. *Cladophora* sp. uygulanmayan kontrol saksılarına su eklenmiştir. Bitkiler her hafta bir kez toprağın tarla kapasitesine göre bitkilerin su ihtiyacı belirlenerek saf su ile sulanmıştır, ekimden 60 gün sonra hasat edilmiştir. Deneme her bir uygulama grubu için 3 paralelli olarak, doğal ışık alan serada yürütülmüştür. Deneme, tesadüf parselleri faktöriyel deneme

desenine göre 3 tekrarlı olarak 48 saksı ile kurulmuştur.

2.2. Temel bitki özelliklerinin belirlenmesi

Hasat sonunda her bir uygulamaya ait bitki boyları, kök uzunlukları, yeşil aksam ve kök ağırlıkları belirlenmiştir [19]. Hasat sırasında her bir uygulamadan alınan taze yaprak örneklerinde klorofil tayini Arnon [20]'e göre yapılmıştır.

2.3. Kök bölgesinin bazı mikrobiyolojik özellikleri

Hasat sırasında köklere yapışan topraklar her bir uygulamadan sonra dikkatlice alınmış, kilitli steril poşetlere konularak analizler yapılmaya kadar -20°C'de saklanmıştır.

2.3.1. Alkalın fosfat enzim aktivitesi

Uygulamaların kök bölgesinden alınan toprak örnekleri üzerine sırasıyla tolüen, MUB (pH 11) tamponu eklenmiş, 37°C'de 1 saat inkübe edilmiştir. İnkübasyon sonunda örneklerin her birine 0.5 M CaCl₂ ve 0.5 M NaOH eklenmiş ve 10000 x g'de 5 dakika santrifüjlenmiştir. Elde edilen süpernatant, 410 nm'de spektrofotometrede ölçülmüştür [21].

2.3.2. β- glukosidaz enzim aktivitesi

Her uygulamanın kök bölgesinden alınan toprak örneklerine ayrı ayrı toluen, MUB tamponu (pH 6), PNG solüsyonu eklenip, 5 dakika karıştırılmış, 37 °C'de 1 saat inkübe edilmiştir. Süre sonunda, içeriğe 0.5 M CaCl₂ ve 0.1 M THAM tamponu (pH 12) eklenip, çalkalanmıştır. Daha sonra 10000 rpm 10 dakika santrifüjlenen içeriğin süpernatantı spektrofotometrede 410 nm dalga boyunda okunmuştur [21].

2.3.3. Üreaz enzim aktivitesi

Her bir uygulamaya ait rizosfer toprak örneklerine ayrı ayrı toluen ve %10'luk üre çözeltisi eklenerek 15 dakika beklenmiştir. Süre sonunda örnekler sitrat tamponu eklenmiştir. 37°C'de 3 saat inkübasyona bırakılmıştır. Süre sonunda örnekler, whatman filtre kağıdından (No: 42) süzümüştür. Filtratlar sodyum fenolat ve sodyum hipoklorit eklenmiş, oda sıcaklığında 20 dakika beklenmiş sonra oluşan mavi renk 630 nm dalga boyunda spektrofotometrede ölçülmüştür [21].

2.3.4. Dehidrogenaz enzim aktivitesi

Uygulamaların her birine ait toprak örneklerine ayrı ayrı %3'lük 2,3,5 trifeniltetrazoliumklorid eklenmiştir. 24 saat 25°C'de inkübasyona bırakılmıştır. Süre sonunda her bir örneğe metanol eklenmiştir. İçerik Whatman filtre kağıdından

süzülmüştür. Filtratlar spektrofotometrede 485 nm dalga boyunda okunmuştur [21].

2.4. İstatistik analiz

Deneyler sonucunda elde edilen veriler, JMP istatistik programında varyans analizine tabii tutulmuş, uygulamalar arasındaki farklılıklar ise LSD çoklu karşılaştırma testi ile değerlendirilmiştir.

3. Bulgular

Cladophora sp. ve mikorizanın birlikte ve ayrı ayrı uygulamalarının mısır bitki boyu üzerinde etkili olduğu saptanmıştır (Tablo 1). *Cladophora* sp.'nin uygulanan farklı dozlarının mısır bitki boyu üzerindeki etkileri farklılık göstermekle birlikte, en yüksek bitki boyu *Cladophora* sp.'nin %0.5'lik dozunda ve 5 g/kg mikorizal spor ile % 1.5'lük *Cladophora* sp.'nin birlikte uygulanması ile elde edilmiştir. Farklı dozlardaki *Cladophora* sp. 'nin kök uzunluğuna etkisi farklı bulunmuştur (Tablo 1). Uygulamaların kök uzunluğuna etkisine bakıldığında ise; 15 g/kg mikorizal spor ve %1 *Cladophora* sp.'nin birlikte uygulanması ile en yüksek kök uzunluğu saptanmış ve kontrole göre kök uzunluğu %66 oranında artış göstermiştir.

Tablo 1. Uygulamaların bitki temel özelliklerine etkileri

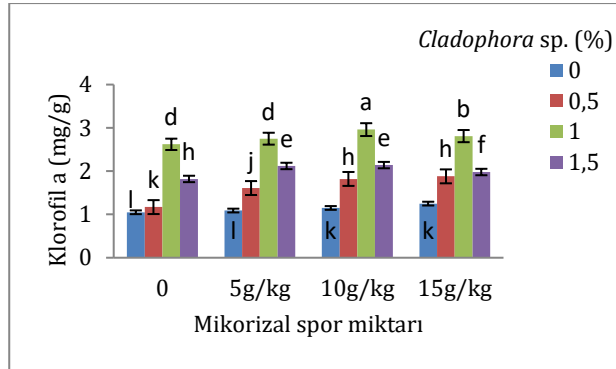
Temel bitki özellikleri	<i>Cladophora</i> sp. (%)	AMF spor uygulaması (g/kg)			
		0	5	10	15
Bitki boyu (cm)	0	40 ₁ *	53.6 _d	51.4 _e	49.2 _f
	0.5	57 _{ab}	45.5 _g	50.2 _{ef}	55.2 _{cd}
	1	50 _{ef}	55.4 _{bc}	43.7 _h	46.3 _g
	1.5	56 _{bc}	58.4 _a	45.9 _g	49.4 _f
Kök uzunluğu (mm)	0	16 _j	36.1 _c	33.8 _d	40.2 _b
	0.5	36 _c	35 _{cd}	30 _e	36 _c
	1	27 _e	23 _g	41 _b	47.2 _a
	1.5	33.3 _d	31 _e	17 _h	18.7 _h
Yeşil aksam kuru ağırlığı (g/b itki)	0	0.40 _k	0.74 _f	1.01 _c	0.74 _f
	0.5	0.74 _f	0.71 _g	1.05 _b	0.74 _f
	1	0.49 _i	0.64 _h	0.96 _d	0.33 _l
	1.5	0.41 _k	0.41 _k	1.11 _a	0.93 _e
Kök kuru ağırlığı (g/b itki)	0	0.24 _k	0.32 _{jh}	0.28 _{jk}	1.06 _g
	0.5	0.46 _i	0.64 _h	1.31 _f	1.37 _e
	1	1.35 _{ef}	1.87 _c	2.15 _a	1.5 _d
	1.5	1.35 _{ef}	1.94 _b	2.16 _a	1.35 _{ef}

*Farklı harf ile gösterilen ortalamalar arasında istatistiki olarak önemli fark vardır (p <0.05).

En yüksek yeşil aksam kuru ağırlığı %1.5 *Cladophora* sp. ve 10 g/kg mikorizal uygulamasında belirlenmiştir (Tablo 1). Kontrole göre artış %61.6 olarak tespit edilmiştir.

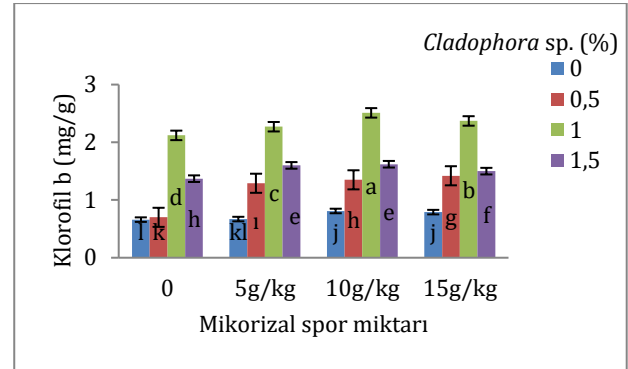
Mikorizal spor uygulamalarında da artan dozlar kök kuru ağırlığını artırmıştır. Uygulamaların mısır kök kuru ağırlığı üzerine etkilerinde de farklılık belirlenmiştir. Mikorizal sporun 10 g/kg'ı ve % 1

Cladophora sp. uygulaması (2.15g) ile 10 g/kg mikorizal spor ve ve %1.5 *Cladophora* sp. (2.16 g) uygulamalarında en yüksek ağırlık alınmıştır (Tablo 1). Mikoriza ve *Cladophora* sp 'nin birlikte uygulanması ile kontrole göre kök kuru ağırlığında artış bulunmuştur. Kontrole göre % 88.9 oranında artış, 10 g/kg mikorizal spor ve %1.5 *Cladophora* sp. 'nin birlikte uygulanması ile elde edilmiştir. En yüksek klorofil a (Şekil 1) ve klorofil b (Şekil 2) içeriği 10g/kg mikorizal spor aşılması x %1 *Cladophora* sp. uygulamasında gözlemlenmiştir.



Uygulamalarının yüksek dozları; incelenen enzim aktivitelerini kontrole göre önemli oranda artırmıştır. 15 g/kg mikorizal spor ile %1.5 *Cladophora* sp. **Şekil 1.** Uygulamaların klorofil a içeriği üzerine etkileri

uygulamasının birlikte etkisi alkalın fosfataz, dehidrogenaz ve üreaz enzim aktivitelerini diğer uygulamalara göre daha fazla etkilemiş ve en yüksek değeri vermiştir. 10 g/kg mikorizal spor x %1 *Cladophora* sp. uygulaması ile yüksek β -glukosidaz enzim aktivitesi elde edilmiştir. 15 g/kg mikorizal spor x %1.5 *Cladophora* sp. uygulaması ile alkalın fosfataz aktivite kontrole göre %48.1 oranında artış göstermiştir. Aynı uygulama ile dehidrogenaz aktivite %70.7; üreaz aktivite %98.7 oranında artmıştır (Tablo 2).



Şekil 2. Uygulamaların klorofil b içeriği üzerine etkileri

Tablo 2. Uygulamaların bazı rizosfer enzim aktivitelerine etkileri

<i>Cladophora</i> sp. (%)	Mikorizal spor miktarı (g/kg toprak)	Alkalın fosfataz aktivite (μ pNP/g toprak)	β -glukosidaz (mg-p-nitrofenol/g toprak)	Üreaz aktivite (mg N/100 g toprak)	Dehidrogenaz aktivite (μ pTPF/g toprak)
0	0	18.6 \pm 0.08j*	4.1 \pm 0.02 j	0.18 \pm 0.04k	21.7 \pm 0.7j
	5	24.8 \pm 0.06h	10.94 \pm 0.3 g	3.18 \pm 0.03h	25.3 \pm 0.5i
	10	23.1 \pm 0.02i	17.08 \pm 0.07 c	3.66 \pm 0.01f	41.3 \pm 0.2f
	15	24.9 \pm 0.03gh	13.47 \pm 0.06 e	8.65 \pm 0.03c	54 \pm 0.1d
0.5	0	20.7 \pm 0.02d	5.98 \pm 0.01 i	1.61 \pm 0.01j	21.3 \pm 0.5j
	5	23.7 \pm 0.02efg	11.47 \pm 0.1 f	3.22 \pm 0.02gh	26.9 \pm 0.2g
	10	23 \pm 0.02ef	11.15 \pm 0.2 fg	1.14 \pm 0.07e	42.3 \pm 0.3g
	15	27.2 \pm 0.01de	10.57 \pm 0.3 h	8.32 \pm 0.03d	53.1 \pm 0.2b
1	0	19.6 \pm 0.02hi	8.36 \pm 0.1 h	1.40 \pm 0.02j	25.3 \pm 0.9 i
	5	24 \pm 0.02g	15.93 \pm 0.4 d	3.44 \pm 0.08 fg	38.9 \pm 0.4 g
	10	23.3 \pm 0.03 fg	25.29 \pm 0.1 a	4.26 \pm 0.07e	43.9 \pm 0.1e
	15	32.3 \pm 0.02de	6.29 \pm 0.5 i	12.83 \pm 0.01b	53.1 \pm 0.2c
1.5	0	23.2 \pm 0.01gh	8.76 \pm 0.1 h	2.68 \pm 0.01j	25 \pm 0.3 i
	5	24.3 \pm 0.02de	16.29 \pm 0.04 d	3.51 \pm 0.09f	38.8 \pm 0.3g
	10	24.4 \pm 0.01de	11.06 \pm 0.04 g	3.65 \pm 0.06f	48.8 \pm 0.2de
	15	35.9 \pm 0.01a	17.93 \pm 0.04 b	15.58 \pm 0.04a	74.3 \pm 0.2a

* Farklı harfle gösterilen ortalamalar arasında istatistik olarak önemli fark vardır (P<0.05).

4. Tartışma ve Sonuç

Son yıllarda sürdürülebilir tarımsal üretim sistemlerinin gelişmesi ile birlikte bitki verimliliğini artırmak ve sürdürülebilir bir ekolojik çevreye ulaşmak için besin uyarıcılarının ve simbiyotiklerin kullanımlarının gerekli olduğu bildirilmiştir [14]. Mikrobiyal ve mikrobiyal olmayan uyarıcıların birlikte veya tek tek uygulamalarının bitki gelişme ve verimliliğini etkili bir şekilde artırdığı açıklanmıştır

[12]. *Cladophora* sp., mikoriza, *Cladophora* sp. x AMF spor aşılması uygulamaları istatistik olarak önemli bulunmuştur (p<0.05). % 1.5 oranında *Cladophora* sp. ve %5 mikoriza uygulaması ile kontrole göre % 31.5 oranında bitki boyunda artış elde edilmiştir. Bitki gelişiminin teşvik edilmesinin, hormonal durumunu değiştirdiğini, böylece besin emilimini önemli ölçüde artırdığı yapılan çalışmalarda açıklanmıştır [22,23] Bizim sonuçlarımızla uyumlu olarak Golubkina ve ark. [24] arbusküler mikoriza uygulamasının çörtük bitkisinin büyüme özelliklerini artırdığını saptamışlardır. Benzer olarak, Begüm ve ark. [25], arbusküler mikorizanın bitki ile simbiyotik ilişki

kurup geniş hif sistemi oluşturarak bezelye bitkilerinde su ve besin emilimini artırdığını bildirmişlerdir. Ayrıca toprağa uygulanan makroalglerin; rezenenin gelişimini iyileştirdiği saptanmış, rezenenin makroalg uygulanmayan kontrollere göre daha fazla gelişme göstermesinin gelişen kök sistemi ile daha fazla su ve besin sağlanmasına, bitki hormonlarının etkisi ile gelişmenin teşvik edilmesine bağlanmıştır [25]. Hussain ve ark. [26] domates bitkilerinin kök uzunluğu, gövde ve kök kuru ağırlığı gibi büyüme özelliklerinin makro alg uygulamaları ile arttığını bildirmişlerdir. El Chami ve ark. [27] tarafından yapılan bir çalışmada yosun gübresi uygulamaları ile armut veriminin arttığı, yosun gübresi uygulaması ile mineral gübrelemenin %13 oranında azaltıldığı bildirilmiştir. *Cladophora* sp. ve mikoriza uygulamalarının artan dozu, kontrol ile karşılaştırıldığında kök ağırlığını arttırmıştır. 10 g/kg mikorizal spor x %1.5 *Cladophora* sp. uygulaması ve 10 g/kg mikorizal spor x %1 *Cladophora* sp. ile en yüksek kök kuru ağırlığı alınmıştır. Bu artışın mikorizanın ve *Cladophora* sp.'nin bitki kök gelişimini teşvik ettiğini göstermektedir. Sonuçlarımız Asadi ve ark. [28], El Chami ve ark. [27]'nin bulguları tarafından da desteklenmektedir. Kontrol bitki örnekleri ile karşılaştırıldığında; uygulama ile klorofil a içeriği % 64.5 ve klorofil b içeriği % 73.7 oranında artmıştır. Sonuçlarımız mikoriza ve *Cladophora* sp.'nin birlikte kullanımının fotosentetik pigmentlerin önemli ölçüde arttığını göstermektedir. Klorofil içeriği bitki fotosentezini ve büyüme potansiyelini ölçmek için önemli bir indekstir. Bitki biyostimülantlarının uygulanmasına verilen ortak yanıtın klorofil biyosentezinde önemli rol oynayan klorofil a, klorofil b ve karotenoid gibi fotosentetik pigmentlerin artması olduğu açıklanmıştır [29]. Bitkilerde klorofil a ve b içeriğindeki artış, biyostimülant olarak kullanılan mikoriza ve *Cladophora* sp.'de alanin, aspartat, asparajin ve glutamat gibi serbest aminoasitlerin yüksek içeriğine bağlanabilir [29]. Makroalg uygulamalarının fotosentetik pigment içeriğini arttırmanın yanı sıra, bitki büyümesini etkili bir şekilde teşvik edebilen ve yaprak gelişimini artırabilen oksinler, gibberelinler, betain, poliamin vb. gibi bitki büyümesini düzenleyen maddeleri içerdikleri açıklanmıştır [31].

Uygulamalarımız yaprakların klorofil içeriğini arttırmış, bu da fotosentez kapasitesinin artmasına bağlı olarak bitkinin vejetatif gelişimini olumlu yönde etkilemiştir. Sonuçlarımız Meng ve ark. [31], Weisany ve ark. [32]'nin sonuçları ile benzerlik göstermektedir. Mahmoud ve ark. [13] tarafından yapılan bir çalışmada 3ml/l oranında kahve renkli alg uygulaması ile kırmızı turp bitkilerinin yapraklarında fotosentetik pigment içeriklerinin kontrole göre önemli ölçüde arttığını göstermiştir. Mikorizal spor ve makroalg uygulamaları, rizosfer ve kök sistemi etrafına düşük ve yüksek moleküler ağırlıklı organik bileşikler yaymış makro ve mikro

besin elementlerinin emilimini önemli ölçüde arttırmıştır [33]. Mısır gelişimi üzerine *Cladophora* sp. ve mikorizanın ayrı ayrı ve birlikte olan etkilerinin belirlenmesine yönelik olan bu çalışmada, uygulamaların yararlı etkilerinin daha iyi anlaşılabilmesi için mısır bitkilerinin rizosferdeki dehidrogenaz, alkalın fosfataz, üreaz, β -glukosidaz gibi temel toprak enzimleri incelenmiştir (Tablo 2). Uygulamanın etkisi ayrı ayrı incelendiğinde; toprak enzimleri üzerinde uygulamaların tekli uygulamaları etkili olmamakla birlikte; artan dozlar enzim aktivitelerini kontrole göre arttırmıştır. Genova ve ark. [34] bezelye bitkilerinin arbüsküler mikorizal fungi ve *Rhizobium* ile aşılması sonrası rizosferdeki alkalın ve asit fosfataz aktivitenin arttığını saptamışlardır. Bu enzimlerin, toprakta bitkiler tarafından alınamayan formdaki fosforun mineralizasyonu ile kökler tarafından kolayca alınmasına ve bitkiler için kullanılabilirliğine yardımcı olduğu bildirilmiştir [34]. Çalışmamızda mikorizal sporun artan dozları ile alkalın fosfataz aktivitedeki artış, araştırmacıların bulguları ile desteklenmektedir.

El Sawah ve ark. [35] tarafından yapılan bir çalışmada mikorizal fungus sporu fungi ile bitki gelişimini teşvik eden bakterilerden *Bradyrhizobium* sp., *Bacillus subtilis*'in birlikte topraklara uygulanması ile dehidrogenaz fosfataz, proteaz ve invertaz enzim aktivitelerinde artış olduğu saptanmıştır. Toprakta bulunan besin maddelerinin toprak mikroorganizmalarına daha fazla enerji ve besin sağlayarak enzim aktivitelerini artırdıkları Vazquez ve ark. [36] tarafından bildirilmiştir. Çalışmamızda da topraklara eklenen *Cladophora* sp. ve mikorizanın topraktaki besin maddesi içeriğini etkilediği, dolayısıyla toprak enzim aktivitelerinin de kontrole göre arttığını göstermektedir. Dehidrogenaz aktivite *Cladophora* sp. ve mikorizanın topraklara eklenmesi ile artış göstermiştir. Ayrıca *Cladophora* sp. ve mikorizal sporun birlikte uygulanması ile artan dozlarla da aktivite artmıştır. *Cladophora* sp. x mikorizal spor uygulamaları toprağın β -glukosidaz aktivitesini arttırmıştır. Özellikle uygulamaların artan dozları aktiviteyi kontrole oranla önemli düzeyde arttırmıştır. 10 g/kg mikorizal spor x %1 *Cladophora* sp. uygulaması ile kontrol karşılaştırıldığında β -glukosidaz aktivite % 83.78 oranında artmıştır. Enzim aktivitesindeki artışın topraktaki mikroorganizmalar için enerji kaynağı olarak önemli olan karbonhidratların dönüşümünü gösterdiği düşünülmektedir. Uygulamalar sadece bitkinin değil aynı zamanda toprağın biyolojik aktivitesini de arttırmıştır. Topraklarda β -glukosidaz aktivitenin artmasının suda çözünür karbonun arttırılması ile rizosferdeki mikrobiyal popülasyonun aktifleştirdiğinden kaynaklanabileceği Caldwell [37], Fiorentinove ark. [38] tarafından tespit edilmiştir. Mikorizalar fosfataz enzimi üreterek, hareketsiz fosforu hareketli forma dönüştürerek, diğer besin maddelerinin alımını ve organik maddenin

parçalanmasını ya da mineralizasyonunu bozulmasını artırarak, topraktaki besin maddelerinin kullanılabilirliğini dolaylı olarak artırmıştır [39]. Çalışmamızda da mikoriza uygulamaları ile incelenen özelliklerin kontrole göre artış göstermesi Roupel ve ark. [39]'un bulguları ile benzerlik göstermektedir. Sonuç olarak, uygulamalar kontrole göre bitki boyu, mısır kök uzunluğu, kök yaş ve kuru ağırlığı, klorofil içeriğini artırmıştır. İncelenen temel bitki özelliklerinin tümünde etkili tek bir doz belirlenememekle birlikte, uygulamaların artan dozları etkili bulunmuştur. Küresel gıda güvenliği için hayati önem taşıyan gıda üretimini güvence altına almak için kimyasal gübrelerin yerine biyolojik organizmaların kullanımı ile hem çevre kirliliği önlenebilir hem de gerekli enerji ve kimyasal gübrelerin miktarı azaltılabilir. Aynı zamanda faydalı mikroorganizmaların etkinliği ile tarımsal sistemlerin sürdürülebilirliği artırılabilir. Mikorizal spor ve *Cladophora* sp'nin bitkilere uygulanması ile daha fazla besin ve su ihtiyacı karşılanacağından, bitkiler hastalık ve stres faktörlerine karşı daha dayanıklı hale gelebilirler. Böylece verimi artırmanın yanında su ve besin maddeleri gibi doğal kaynakların kullanımını optimize ettiğinden mikoriza ve *Cladophora* sp.'nin uygulanması hastalık ve zararlılar gibi olumsuzlukların neden olduğu kayıpları da önemli ölçüde azaltılabilir. Mikoriza ve *Cladophora* sp.'nin birlikte kullanımı, mısır verimliliği ve gelişimine destek sağlayarak, tarımsal ekosistemdeki toprak enzim aktivitesini artırarak toprakları daha verimli kılabilir. Çalışmamızda uyguladığımız mikoriza ve *Cladophora* sp'nin ayrı ayrı veya birlikte kullanımının mısır gelişimini ve rizosferik enzim aktivitesini teşvik edebileceği düşünülmektedir. Ancak çalışma sera koşullarında yapıldığından aynı çalışmanın ileride tarla koşullarında da uygulanması daha net sonuçlar elde edilebilecektir.

Teşekkür

Bu çalışmayı destekleyen Harran Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne (Proje No 23078) 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.

Kaynakça

[1] Raza, A., Razzaq, A., Mehmood, S.S., Zou, X., Zhang, X., Liv, Y. 2019. Impact of climate change on crops adaptation and strategies to tackle its outcome: A review. *Plants*, 8, 34-63.

- [2] FAO, 2021. The impact of disasters and crises on agriculture and food security: 2021. (Rome, Italy: FAO) <https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/cb3673en> (Erişim Tarihi: 2021).
- [3] Surjeeth, N., Petrov, V., Guinan, K.J., Rasul, F., O'Sullivan, J.T., Gechev, T. S. 2022. Current insights into the molecular mode of action of seaweed based biostimulants and the sustainability of seaweeds as raw material resources. *International Journal of Molecular Sciences*, 23, 7654-7677.
- [4] Patle, P.N., Kadu, P.R., Gabhane, A.R., Pharande, A.L., Bhagat, A.P., Bhojar, S.M. 2019. Consequences provoked due to excess application of agrochemical on soil health deterioration. A review for sustainable agriculture. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 8, 63-66.
- [5] Mandal, A., Sarkar, B., Mandal, S., Vithanage, M., Patra, A.K., Manna, M.C. 2020. Impact of agrochemicals on soil health. *ss161-187*. Prasad, M.N.V. 2020. *Agrochemicals detection, treatment and remediation*. Oxford, United Kingdom, 665s.
- [6] Verma N, Sehrawat AR, Pandey D, Pandey BK 2020. Seaweed: a novel organic biomaterial. *Current Journal of Applied Science Technology*, 39, 1-8.
- [7] Suleiman, A.K.A., Lourenço, K.S., Clark, C., 2020. From toilette agriculture: Fertilization with microalgal biomass from waste water impacts the soil and rhizosphere active microbiomes, greenhouse gas emissions and plant growth. *Resources Conservation Recycling*, 161, 104924.
- [8] Santander, C., Aroca, R., Ruiz-Lozano, J.M., Olave, J., Cartes, P., Borie, F., Cornejo, P. 2017. Arbuscular mycorrhiza effects on plant performance under osmotic stress. *Mycorrhiza*, 27, 639-657.
- [9] Pons, C., VoB., Schweiger, R., Müller, C. 2020. Effects of drought and mycorrhiza on wheat and aphid infestation. *Ecology Evolution*, 10, 10481-10491.
- [10] Lingua, G., Bona, E., Manassero, P., Marsano, F., Todeschini, V., Cantamessa, S., Copetta, A., D'Agostino, G., Gamalero, E., Berta, G. 2013. Arbuscular mycorrhizal fungi and plant growth promoting *Pseudomonads* increases anthocyanin concentration in strawberry fruits (*Fragaria x ananassa* var, Selva) in conditions of reduced fertilization. *International Journal of Molecular Science*, 14, 16207-16225.
- [11] Bordre, M., Dudhane, M., Jite, P.K. 2009. Role of bioinoculant (AM Fungi) increasing in growth, flavor content and yield in *Allium sativum* L.

- under field condition. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanic Cluj-Napoca*, 37, 124-128.
- [12] Dziergowska, K., Welna, M., Szymczycha Madeja, A., Checnamowski, J., Michalak, I. 2021. Valorization of *Cladophora glomerata* biomass and obtained bioproducts into biostimulants of plant growth and as sorbents (Biosorbents) of metal ions. *Molecules*, 26,6917-6941.
- [13] Mahmoud, S. H., Salama, D.M., El-Tanahy, A.M.M., Abd El-Samad, E.H. 2019. Utilization of seaweed (*Sargassum vulgare*) extract to enhance growth, yield and nutritional quality of red radish plants. *Annals Agricultural Sciences*, 64, 167-175.
- [14] Gonzalez-Perez, B.K., Rivas-Castillo, A.M., Valdez-Calderon, A., Gayosso Morales, M.A. 2022. Microalgae as biostimulants: a new approach in agriculture. *World Journal of Microbiology & Biotechnology*, 38,1-12.
- [15] Chai, Y.N., Schachtman, D.P. 2022. Root exudate simpact plant performance under abiotics tress. *Trends Plant Sciences*, 27, 80-91.
- [16] Prazukin, A.V., Anufriieva, E.V., Shadrin, N.V. 2020. Is biomass of filamentous greenalgae *Cladophoraspp.* (*Clorophyta, Uivophtceae*) an unlimited cheap and valuable resource for medicine and pharmacolgy? A review. *Reviews in Aquaculture*, 12,2493-2510.
- [17] Michalak,I.,Mesyasz,B.2021.Concise review of *Cladophoraspp.*: A macroalga of commerical interest. *Journal of Applied Phycology*, 33,133-136.
- [18] Taşdan, K. 2021. Durum Tahmin Mısır 2021. Tarımsal Ekonomi ve Politika Geliştirme Enstitüsü, TEPGE, Ankara, Türkiye 43s.
- [19] Doğan, S., Demirel, K., Çamoğlu, G., Nar, H., Akçal, A 2020. Farklı sulama seviyelerinin ceylan gözünün bitkisel özellikleri üzerine etkilerinin belirlenmesi. *ÇOMÜ Lapseki Meslek Yüksekokulu Uygulamalı Araştırmalar Dergisi*, 1,1-15.
- [20] Arnon, D.T. 1949. Copper enzymes in isolated chloroplast polyphenol oxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiology*, 24, 1-15.
- [21] Küçük, Ç., Şinşek, N. 2020. The effects of different agricultural wastes on some microbiological properties of soil. *EJONS International Journal on Mathematics, Engineering & Natural Sciences*, 15, 451-460.
- [22] Sukumar, P. Legue, V., Vayssieres, A., Martin, F.,Tuskan, G.A., Kalluri, U.C. 2013. Involment of auxin pathways in modulating root architecture during beneficial plant microorganism interaction. *Plant, Cell and Environment*, 36,909-919.
- [23] Yakhin, O.I., Lubyarov, A.A., Yakhin, I.A., Brown, P.T. 2017. Biostimulants in plant science: Aglobal perspective. *Frontiersin Plant Science*, 7,2049.
- [24] Golubkina, N., Logvinenko, L., Novitsky, M.,Zamana,S.,Sokolov, S., Gonzalez-Gonzalez, M. F., Ocampo-Alvarez, H., Santacruz-Ruvalcaba, F., Sanchez-Hernandez, C. V., Casarrubias-Castillo, K., Becerril-Espinosa, A., Castaneda-Nava, J. J., Hernandez-Herrera, R. M. 2020. Physiological, ecological, and biochemical implications in tomato plants of two plant biostimulants: arbuscular mycorrhizal fungi and seaweed extract. *Frontiers in Plant Science*, 11,1-18.
- [25] Begüm, M., Bordoloi, B.C., Singha, D.D., Ojha, N.J.2018. Role of seaweed extract on growth, yield and quality of some agricultural crops: A review. *Agricultural Revolution*, 39,321-326.
- [26] Hussain, H.I., Kasinadhuni, N., Arioli, T. 2021. The effect of seaweed extract on tomato plant growt, productivity and soil. *Journal of Applied Phycology*, 33,1305-1314.
- [27] El Chami, D.,Galli, F. 2020. An assessment of seaweed extracts: Innovation for sustainable agriculture. *Agronomy*, 10, 1433.
- [28] Asadi, M., Rasouli, F., Amini, T., Hassanpouraghdam, M.B., Souri, S., Skrovankova, S., Mlcek, J., Ercisli, S. 2022. Improvement of Photosynthetic Pigment Characteristics, Mineral Content, andAntioxidant Activity of Lettuce (*Lactuca sativa* L.) by Arbuscular Mycorrhizal Fungus and Seaweed Extract Foliar Application. *Agronomy*, 12, 1943.
- [29] Carillo, P., Colla, G.,Fusco, G.M., Dell'Aversana, E., El-Nakhel, C., Giordano, M., Pannico, A., Cozzolino, E., Mori, M., Reynaud, H. 2019. Morphological and physiological responses induced by protein hydrolysate-based biostimulant and nitrogen rates in greenhouse spinach. *Agronomy*, 9, 450.
- [30] Gupta, S., Stirk, W.A., Plackova, L., Kulkarni, M.G., Dolezal, K., Van Staden, J. 2021. Interactive effects of plant growth-promoting rhizobacteria and a seaweed extract on the growth and physiology of *Allium cepa* L. (onion). *Journal of Plant Physiology*, 262, 153437.
- [31] Meng, C., Gu, X., Liang, H.,Wu, M.,Wu, Q., Yang, L., Li, Y., Shen, P. 2022. Optimized preparation and high-efficient application of seaweed fertilizer on peanut. *Journal of Agricultural and Food Information*, 7, 100275.
- [32] Weisany, W., Raei, Y., Pertot, I. 2015. Changes in the essential oil yield and composition of dill

(*Anethum graveolens* L.) as response to arbuscular mycorrhiza colonization and cropping system. *Industrial Crops and Products*, 77, 295–306.

- [33] Ronga, D., Biazzi, E., Parati, K., Carminati, D., Carminati, E., Tava, A. 2019. Microalgal biostimulants and biofertilisers in crop productions. *Agronomy*, 9, 192.
- [34] Genova, M., Zehirov, G., Djonova, E., Kaloyanova, N., Georgiev, G., Stancheva, I. 2006. The effect of inoculation of pea plants with mycorrhizal fungi and *Rhizobium* on nitrogen and phosphorus assimilation. *Plant, Soil Environment*, 52, 435-440.
- [35] El Sawah, A.M., El-Keblawy, A., Ali, D. F. I., İbrahim, H. M., El-Sheik, M. A., Sharma, A., Hamoud, Y. A., Shaghaleh, H., Brestic, M., Skalicky, M., Xiong, Y., Sheteiwy, M. 2021. Arbuscular mycorrhizal fungi and plant growth promoting rhizobacteria enhance soil key enzymes, plant growth, seed yield and qualitative attributes of Guar. *Agriculture*, 11, 1-19.
- [36] Vazquez, E., Benito, M., Espejo, R., Teutscherova, N. 2020. Response of soil properties and microbial indicators to landuse change in an acid soil under Mediterranean conditions. *Catena*, 189, 10.
- [37] Caldwell, B. A. 2005. Enzyme activities as a component of soil biodiversity: A review. *Pedobiologica*, 49, 637-644.
- [38] Fiorentino, N., Vertorino, V., Woo, S.L., Pepe, O., De rosa, A., Gioio, L. 2018. *Trichoderma*-based biostimulants modulate rhizospore microbial population and improve N uptake efficiency, yield and nutrition quality of leafy vegetables. *Frontiers in Plant Science*, 9, 743.
- [39] Roupael, Y., Franken, P., Schneider, C., Schwarz, D., Giovannetti, M., Agnolucci, M., De Pascale, S., Bonini, P., Colla, G. 2015. Arbuscular mycorrhizal fungi act as biostimulants in horticultural crops. *Scientia Horticulturae*, 196, 91–108.

Non-Isolated Bidirectional DC-DC Converter Design and Low Power Application for EV Charging Station

Furkan Üstünsoy¹, H. Hüseyin Sayan², Sadık Yıldız³

^{1,3} Gazi University, Institute of Natural and Applied Sciences, 06560, Ankara, Turkey

² Gazi University, Faculty of Technology, Electrical-Electronic Engineering, 06560, Ankara, Turkey

(Alınış / Received: 06.06.2024, Kabul / Accepted: 10.07.2024, Online Yayınlanma / Published Online: 23.08.2024)

Keywords

EVs charging,
DC/DC converter,
V2V,
V2G

Abstract: Today, the negative impact of charging on the grid is becoming a major concern as the number of electric vehicles increases. The charging topologies such as V2G, V2H and V2V are being studied to solve this problem. The most critical issue in this context is the design and use of appropriate infrastructure and equipment. In this study, firstly a low-cost and high-efficiency non-isolated bidirectional 120W DC-DC converter suitable for DC charging stations is designed. The designed converter was analysed both by analytical methods and by operating at low powers. Secondly, a real-world implementation of V2V and V2H topologies has been performed using these designed converters. In the application study, a DC charging station model was created by using 4 of these converters as charging units. The 90-minute operation of the designed charging station was realised according to a rule-based algorithm. Accordingly, it has been shown that the efficiency of the non-isolated bidirectional DC-DC converter designed is 95%. It is also proved that 54.16% of the EVs load can be shifted to off-peak time period using V2V topology in real world application. According to the results, it is understood that the isolated and high-power version of the designed converter is suitable for charging stations.

EA Şarj İstasyonu için İzolesiz Çift Yönlü DA-DA Dönüştürücü Tasarımı ve Düşük Güçlü Uygulaması

Anahtar Kelimeler

EA' ların şarjı,
DA/DA dönüştürücü,
V2V,
V2G

Özet: Günümüzde elektrikli araçların sayısı arttıkça şarjın şebeke üzerindeki olumsuz etkisi büyük bir endişe kaynağı haline geliyor. Bu sorunu çözmek için V2G, V2H ve V2V gibi şarj topolojileri üzerinde çalışılmaktadır. Bu bağlamda en kritik konu uygun altyapı ve ekipmanların tasarlanması ve kullanılmasıdır. Bu çalışmada öncelikle DA şarj istasyonlarına uygun, düşük maliyetli ve yüksek verimli, izolasyonsuz çift yönlü 120 W DA-DA dönüştürücü tasarlanmıştır. Tasarlanan dönüştürücü hem analitik yöntemlerle hem de düşük güçlerde çalıştırılarak analiz edilmiştir. İkinci olarak, tasarlanan bu dönüştürücüler kullanılarak V2V ve V2H topolojilerinin gerçek dünyada uygulanması gerçekleştirildi. Uygulama çalışmasında bu dönüştürücülerden 4 tanesi şarj ünitesi olarak kullanılarak DA şarj istasyonu modeli oluşturulmuştur. Tasarlanan şarj istasyonunun 90 dakikalık çalışması kural tabanlı bir algoritmaya göre gerçekleştirilmiştir. Buna göre tasarlanan izolasyonsuz çift yönlü DA-DA dönüştürücünün veriminin %95 olduğu gösterilmiştir. Ayrıca, gerçek dünya uygulamasında V2V topolojisi kullanılarak EV yükünün %54.16'sının yoğun olmayan zaman dilimine kaydırılabileceği kanıtlanmıştır. Sonuçlara göre tasarlanan dönüştürücünün izoleli ve yüksek güçlü versiyonunun şarj istasyonları için uygun olduğu anlaşılmıştır.

1. Introduction

The use of electric vehicles (EVs) in transportation is

growing rapidly worldwide due to environmental factors and concerns about the depletion of fossil fuels. The rapid spread of EVs raises different concerns. The

biggest threat to the expansion of EVs is the creation of power quality problems for the grid. Harmonics, reactive power, voltage drops and fluctuations, grid frequency instabilities, unbalanced loads, etc. could be given as examples of power quality problems caused by the charging process. Most of these problems can be largely solved within the charging station by simple hardware precautions in the design of the charging block. However, the voltage and frequency instability of the main grid is a very complex and difficult problem to solve. The main reason for this problem is the disruption of the balance between energy supply and demand. In this case, unlimited expansion of the production-transmission-distribution infrastructure is not a wise solution. For this reason, researchers have conducted numerous studies in recent years on intelligent charging strategies using charging topologies such as V2G (vehicle-to-grid), V2H (vehicle-to-home), or V2V (vehicle-to-vehicle) [1,2]. The applicability of these proposed strategies in the real world is another area of research for researchers. Today's chargers use unidirectional energy flow for both fast and slow charging. However, in the future, when the number of EVs reaches the current number of conventional vehicles, the use of these proposed strategies will be inevitable. For this reason, especially slow charging blocks should be designed for bidirectional energy flow. In this study, a high efficiency non-isolated bidirectional DC-DC converter for bidirectional energy flow is designed. Both simulation and implementation of the designed bidirectional DC-DC converter have been implemented.

There are many studies in the literature on the design of non-isolated bidirectional DC-DC converters. For example, in [3], the characteristics of current and future trends of non-isolated converters including buck-boost, single-ended primary inductor, Cuk, z-source, zeta and hybrid DC-DC converters are highlighted based on performance parameters. In [4], the design and control of a multiphase gap bidirectional DC-DC converter was carried out. In [5], a bidirectional DC-DC converter (BDC) is proposed for the EV application. In [6], a bidirectional, non-isolated, hybrid modular DC-DC converter for high voltage (HV) applications is investigated. Another study presents a bidirectional DC-DC converter with dual input ports for Hybrid Energy Storage System (HESS) [7]. The study [8] focuses on the modified structure of power electronic interfaces with four non-isolated ports (two input and two output ports) that can be used in electric vehicle (EV) applications. Another study provides a comprehensive review of non-isolated bidirectional DC-DC converter topologies [9]. In [10], a simpler, non-isolated, bidirectional DC-DC converter based on logic control circuits is proposed for both battery and supercapacitor topologies. Another study proposes an improved non-isolated single inductor multiple input buck DC-DC converter with reduced component count [11]. In [12], a new bidirectional multi-port DC-DC converter that can be operated in both step-up and

step-down modes is introduced, which is recommended for EV applications. In another study, an advanced controller for multi-input bidirectional DC-DC power converter for hybrid energy storage system (HESS) is presented [13]. In [14], a new non-isolated bidirectional DC-DC converter with free ripple input current and zero voltage switching (ZVS) capability is proposed. In another paper, a new integrated cascade bidirectional DC-DC converter is presented to optimize a central charge balancing system [15]. In [16], the performance analysis and comparison of two types of bidirectional DC-DC converters, a step-down-booster capacitor in the middle and a step-down-step-up inductor in the middle, for use in EVs are presented. Another study discussed a possible EV configuration based on supercapacitors and batteries using a bidirectional DC-DC converter to provide reliable and fast energy transfer [17]. In [18], a new topology for high stage multiport DC-DC converters is proposed. In [19], soft-switching topologies for non-isolated DC-DC converters are introduced and the classification and characteristics of all types of soft-switching technologies are presented. In another study, a bridgeless Cuk-derived DC-DC converter for V2V charge transfer as an on-board charger was designed and analyzed [20]. In [21], a high-gain non-isolated DC-DC partial power converter for automotive applications was presented.

Valuable work on non-isolated bidirectional/unidirectional DC-DC converters and the operation of topologies such as V2V, V2G, V2H has been presented above. In this paper, the following contributions to the literature are presented.

- A low cost and high efficiency non-isolated bidirectional DC-DC converter is designed and experimental results are presented.
- A low power real charging station architecture for V2V topology is designed for the first time.
- For the first time, it is proved that energy flow between vehicles can be provided in a stable manner using V2V topology.
- For the first time, the real-world applicability of these topologies has been demonstrated.

This paper is organised in five sections. Section 2 presents the designed DC-DC converter circuit topology and simulation results, Section 3 presents the converter board design and efficiency calculation, Section 4 presents the operation of the V2V topology and Section 5 presents the conclusions.

2. Non-Isolated Bidirectional DC-DC Converter Circuit Topology and Simulation Results

Bidirectional DC-DC converters are also referred to in the literature as half-bridge synchronous DC-DC converters. There are two modes for this converter topology. The first is Buck mode, where energy flows from input to output. The second is Boost mode, where energy is transferred from the output to the input. Figure 1 shows the topology of a bidirectional DC-DC converter.

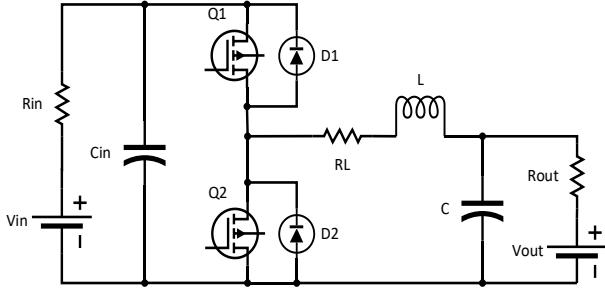


Figure 1. Non-isolated half-bridge bidirectional DC-DC converter

In the topology in Figure-1, MOSFET Q1 and diode D2 are open, MOSFET Q2 and diode D1 are closed for Buck mode. In boost mode, Q2 MOSFET and D1 diode are open, Q1 MOSFET and D2 diode are closed.

The main purpose of DC to DC power conversion is to provide bidirectional energy flow between two different voltage levels under normal and abnormal conditions [22]. In the topology shown in Figure 1, the half-bridge DC-DC power converter operates bidirectionally in step-down and step-up modes. This means that the energy transfer is controlled from low voltage to high voltage and vice versa. Therefore, the performance of the bidirectional DC-DC converter should be analyzed in 2 different modes (Buck-Boost).

2.1 Buck mode

In a bidirectional DC-DC converter topology, V_{in} is always greater than V_{out} . Therefore, Buck mode is active for the energy flow from input to output. The relations between input and output for buck mode are given in Equation-1, Equation-2, and Equation-3.

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{I_{in}}{I_{out}} = D \quad (1)$$

$$\Delta I_{out} = \frac{(1 - D). T_s . V_{out}}{L},$$

$$L = \frac{(1 - D). R_{out}}{2f} \quad (for \Delta I_{out} = 2I_L) \quad (2)$$

$$\Delta V_{out} = \frac{V_{out}(1 - D). T_s^2}{8LC},$$

$$C = \frac{(1 - D). T_s^2}{16L} \quad (for \Delta V_{out} = 2V_{out}) \quad (3)$$

- V_{in} = Input voltage.
- V_{out} = Output voltage.
- I_{in} = Input current.
- I_{out} = Output current.
- D = Transmission Rate.
- ΔI_{out} = Output current ripple.
- ΔV_{out} = Output voltage ripple.
- T_s = Switching period.

In buck mode, MOSFET Q1 and diode D2 are on, MOSFET Q2 and diode D1 are off. When Q1 is in conduction, the inductor (L) and capacitor (C) are charged, and when Q1 is in cut-off state, the charged L and C complete their energy through the D2 diode. In this way, energy flows from the high voltage side to the low voltage side.

2.2 Boost mode

Boost mode is active when power is flowing from the output source to the input. The input-output relationships for boost mode are shown in Equation-4, Equation-5, and Equation-6.

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{I_{in}}{I_{out}} = \frac{1}{1 - D} \quad (4)$$

$$\Delta I_{out} = \frac{(1 - D). D . V_{out}}{L . f},$$

$$L = \frac{D(1 - D)^2 . R}{2f} \quad (for \Delta I_{out} = 2I_L) \quad (5)$$

$$\Delta V_{out} = \frac{I_{out} . D}{C . f},$$

$$C = \frac{D}{2f R_{out}} \quad (for \Delta V_{out} = 2V_{out}) \quad (6)$$

- I_L = Inductor current.
- f = Switching frequency.

In boost mode, Q2 MOSFET and D1 diode are on, Q1 MOSFET and D2 diode are off. When Q2 is conducting, L is charging, and when Q2 is disconnected, the voltage on L is reversed because the polarity of I_L cannot change immediately. This results in a higher voltage at the junction of mosfets Q1 and Q2 than at the input voltage. In this case, diode D1 is conducting. In this way, energy flows from the low-voltage side to the high-voltage side. The switching and current graphs for buck mode, boost mode, and the transition from buck to boost mode are shown in Figure 2.

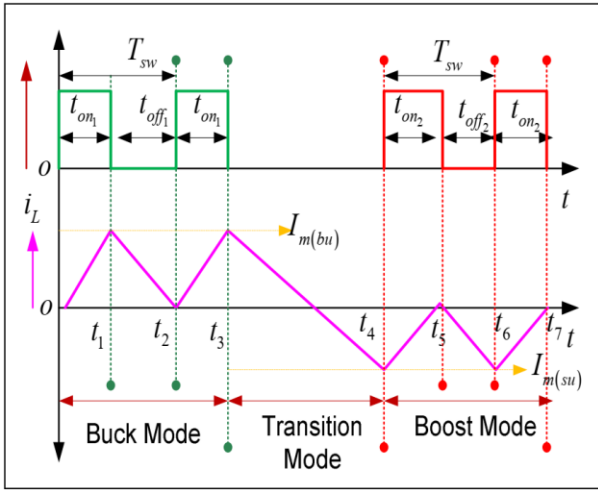


Figure 2. Switching and current graph for transition from buck mode to boost mode [23]

2.3 Non-Isolated bidirectional DC-DC converter simulink model

The Simulink model of a non-isolated bidirectional DC-DC converter was created to analyze the behavior of the designed circuit model.

The circuit model was tested in two different modes and the results were analyzed. Lithium-ion batteries of 12 V-5Ah and 6 V-5ah were used in the model.

The energy flow between these two batteries is controlled by using a PID controller with a constant current reference value (I_{ref}). The Simulink model of the designed circuit is shown in Figure 3. $I_{ref}=1.2$ A, $V_{in}=12$ V, $V_{out}=6$ V and $f=15$ kHz are set for buck mode. $I_{ref}=-1.2$ A, $V_{in}=12$ V, $V_{out}=6$ V and $f=15$ kHz are set for boost mode.

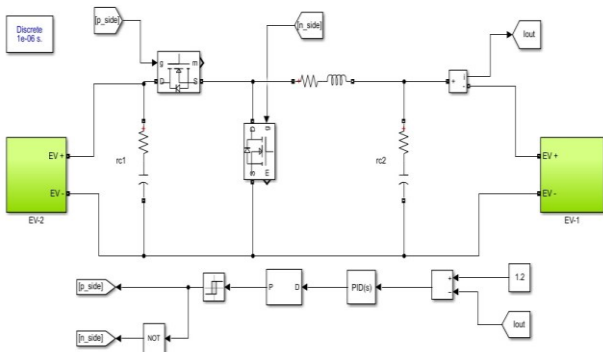
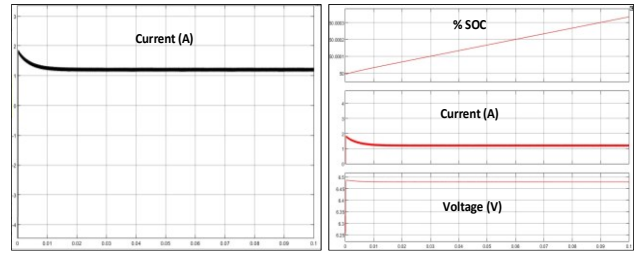


Figure 3. Non-isolated half-bridge bidirectional DC-DC converter simulink model

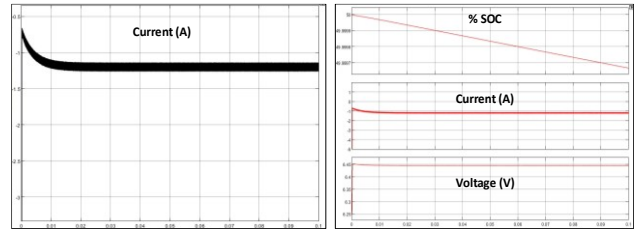
In the designed Simulink model, the MOSFET values are determined according to the IRFZ 44N MOSFET data. Inductance and capacitor values are also adjusted by considering the values of the elements used in the application circuit.

According to the simulation results for buck mode, the changes of current, voltage and SOC values on the low voltage side are shown in Figure 4 (a). For boost mode,

the changes in current, voltage and SOC values on the low voltage side are shown in Figure 4 (b).



(a)



(b)

Figure 4. (a) Simulation results for buck mode (b) Simulation results for boost mode

When Figure 4 are analyzed, it is clear that the current ripple ratio is higher in boost mode operation. However, considering the average current value, it is understood that the reference current value is reached in a very short time without error in both buck and boost mode operation. However, due to the internal resistance of the battery, it was observed that the voltage at the battery terminals increased slightly in buck mode and decreased slightly in boost mode during charging. However, it is seen that this voltage value remains stable during charging.

3. Non-Isolated bidirectional DC-DC converter design

In the design, the optimum values of the coil and capacitor for $D=0.33$ ($V_{out}=4$ V, $V_{in}=12$ V), $f=15$ kHz, $R_{out}=1.0$ Ohm fixed load and $I_L=4$ A were calculated as $L>23.33$ μ H and $C>7.97$ μ F. These values were calculated for ideal conditions. In other words, considering many values such as source resistance, all cable resistances, V_{ds} voltages of power MOSFETs, inductor internal resistance, capacitor resistance, the selected power coil and capacitor values are much higher. The selected power coil and capacitor values are $L=100$ μ H and $C=1000$ μ F. The input voltage and current of the circuit are maximum 48V and 2.5A. Therefore, the power of the bidirectional converter presented is 120 Watt.

The board was designed using IRFZ 44N power MOSFETs, IR 2110 driver, 10 amp 0.1 mH power coil, 7812 and 7805 for driver and optocoupler supply. The schematic circuit model of the designed power card is shown in Figure 5, and the PCB layout is shown in Figure 6.

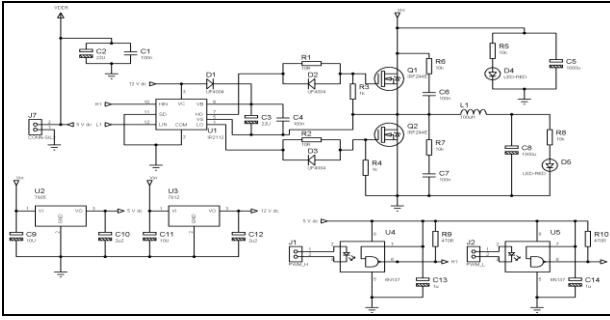


Figure 5. Non-isolated half bridge synchronous DC-DC converter schematic circuit model

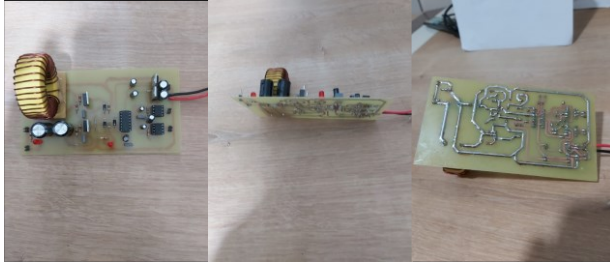


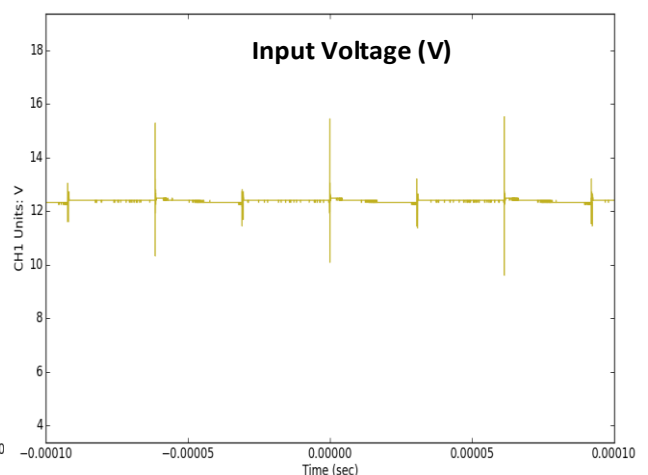
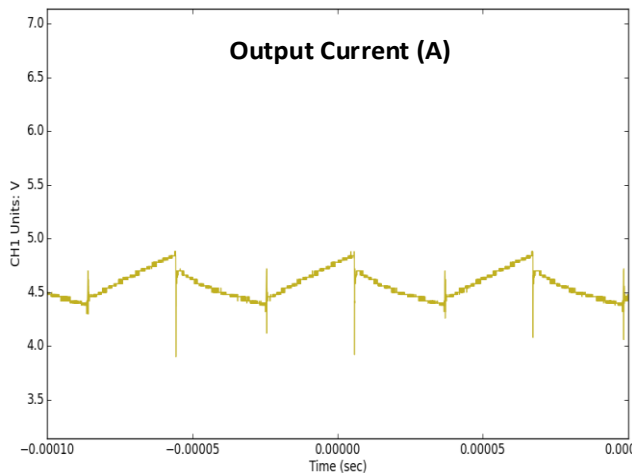
Figure 6. DC-DC converter power card

3.1 Calculation of the efficiency

The designed circuit was operated at $D=0.5$ and $f=15000$ Hz for $R_{out}=1.0 \Omega$ load. According to this; Output data: $V_{out}=4.55V$, $I_{out}=4.08A$, input data: $V_{in}=12.51V$, $I_{in}=1.53A$ were measured with a multimeter. Since the ammeter is connected in series with the circuit and the load resistance is very low, the internal resistance of the ammeter has little effect on the circuit characteristics. The efficiency calculation is based on actual values. Efficiency is expressed as the ratio of output power to input power as a percentage in Equation 7.

$$\% \eta = \frac{V_{out} \times I_{out}}{V_{in} \times I_{in}} \times 100 = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100 \quad (7)$$

- $\% \eta$ = Efficiency in percent.
- P_{out} = Output Power.
- P_{in} = Input Power.



The efficiency of the designed circuit is calculated to be approximately 95%. Oscilloscope outputs for the designed inverter at $R_{out}=1.0 \text{ k}\Omega$, $D=0.4$, and $f=15000$ Hz frequency are shown in Figure 7. Oscilloscope measurements were taken over the resistance on the load.

The STM32F407 microcontroller board is used for closed loop operation of the designed non-isolated half-bridge synchronous DC-DC converter. High-level coding was done using the CubeMX program and TrueStudio program with microcontroller. The control of the designed converter is realized with PWM signals according to the values measured by the Ina219 current-voltage sensor. The test of the designed closed-loop software was performed according to the reference voltage values. The results were monitored in the StmStudio program, which can be recorded and displayed in real time. The output voltage changes of the circuit board according to the references are shown in Figure 8. The output current control of the power board was implemented using the same control architecture. Since batteries are used on both the high and low voltage side, the voltage remains constant. Therefore, current control is sufficient for power flow.

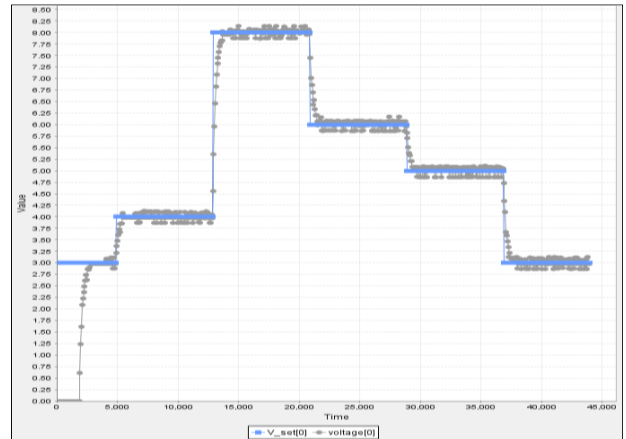


Figure 8. Converter output voltage change measured with the StmStudio program

4. Charging Station Design and Low Power Application for V2V Topology

When the studies in the literature are examined, the applicability of V2V topology for DC charging station architecture has not been tested. For this reason, a low power model with 4 charging modules was designed in the laboratory environment to demonstrate the behaviour of the real DC charging station architecture when the V2V topology is operated. The station is controlled according to the charging coordination equations in Reference [1]. Accordingly, Equation 8 refers to the instantaneous power control of vehicles labelled as consumers and Equation 9 refers to the instantaneous power control of vehicles labelled as prosumers.

$$P_{EVj} = \frac{EPA_j/f_k}{T_s}, P_{EVj} = I \cdot V_{EVj}, I_{ref_{EVj}} = \frac{P_{EVj}}{V_{EVj}} \quad (8)$$

$$P_{EVj} = \frac{(-ECA) \cdot f_k}{T_s}, P_{EVj} = I \cdot V_{EVj}, I_{ref_{EVj}} = \frac{P_{EVj}}{V_{EVj}} \quad (9)$$

Where EPA (Equation 10) is the total instantaneous energy produced and ECA (Equation 11) is the total instantaneous energy consumed. T_s is the balancing time of the charging levels of all vehicles and is given in Equation 12.

$$EPA_j = [SOC_{EVj}(t) - SOC_B] \cdot C_{Pj} \quad (10)$$

$$ECA_j = [SOC_B - SOC_{EVj}(t)] \cdot C_{Pj} \quad (11)$$

Here, C_{Pj} is the battery capacity of the vehicles and SOC_B is the balance value determined for the charge level. In this study, SOC_B was set to 0.8.

$$T_s = \left| \frac{\sum_{j=1}^{np} EPA_j/f_k - \sum_{j=1}^{nc} ECA_j \cdot f_k}{P_T} \right| \quad (12)$$

Here, P_T is the total power demand for the starting moment of the charge station, and f_k is the usage frequency index of the vehicles. In this study, P_T was considered constant. For the f_k value, half of the vehicles labeled as prosumer and consumer are set as 0.95 and the other half is set as 1.05. The flow diagram of the low-power application carried out in this study is given in Figure 9.

The designed charging station was tested using 12V-5ah 4 batteries, representing 2 manufacturer and 2 consumer labelled vehicles. The low power designed charging station model with common DC busbar is given in Figure 10.

Before the experimental study, the current load curve obtained by scaling the 24 hours of real data at a ratio of 1:16 was integrated into the software as array. The study was carried out for total of 90 minutes, considering the capacity of the batteries. The peak time period was determined as 1900-3100 seconds considering the load curve. The same scenario was repeated for the case where all vehicle batteries were charged with the nominal charging power and the power changes were compared. The current change obtained as a result of the controlled experimental study is given in Figure 11 (a).

The %SOC changes obtained as a result of the controlled operation are given in Figure 11 (b). Accordingly, during the peak time interval, 2 vehicles labeled as prosumers with fully charged batteries provided energy to 2 vehicles labeled as consumers at 60% and 65% respectively.

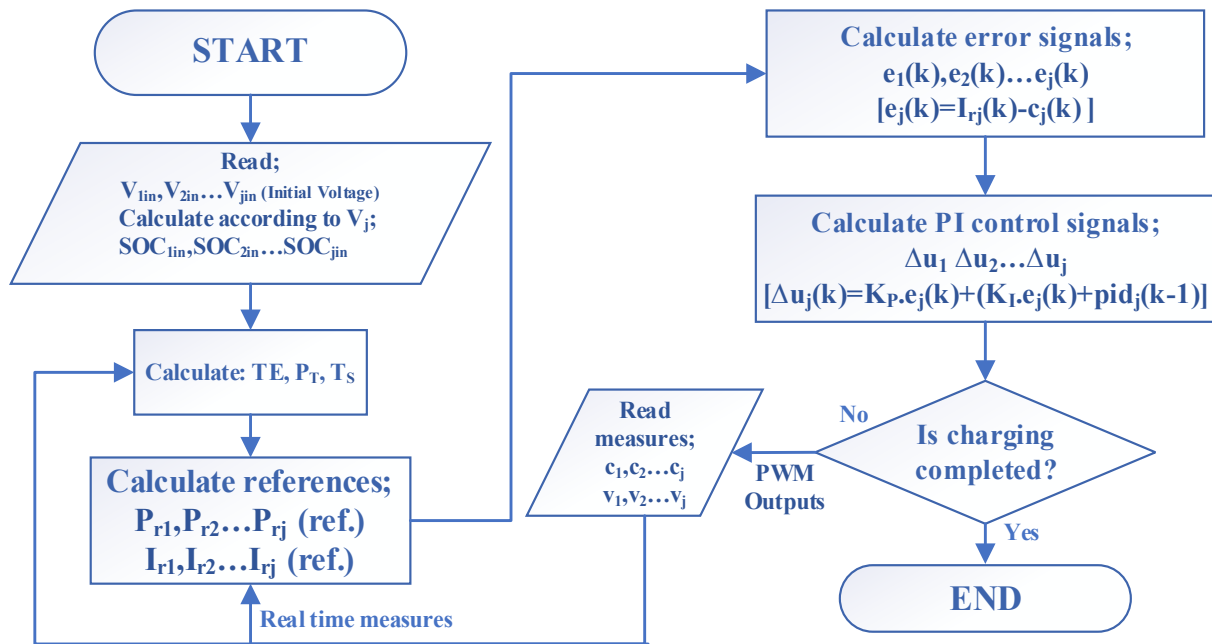


Figure 9. Power flow control flowchart

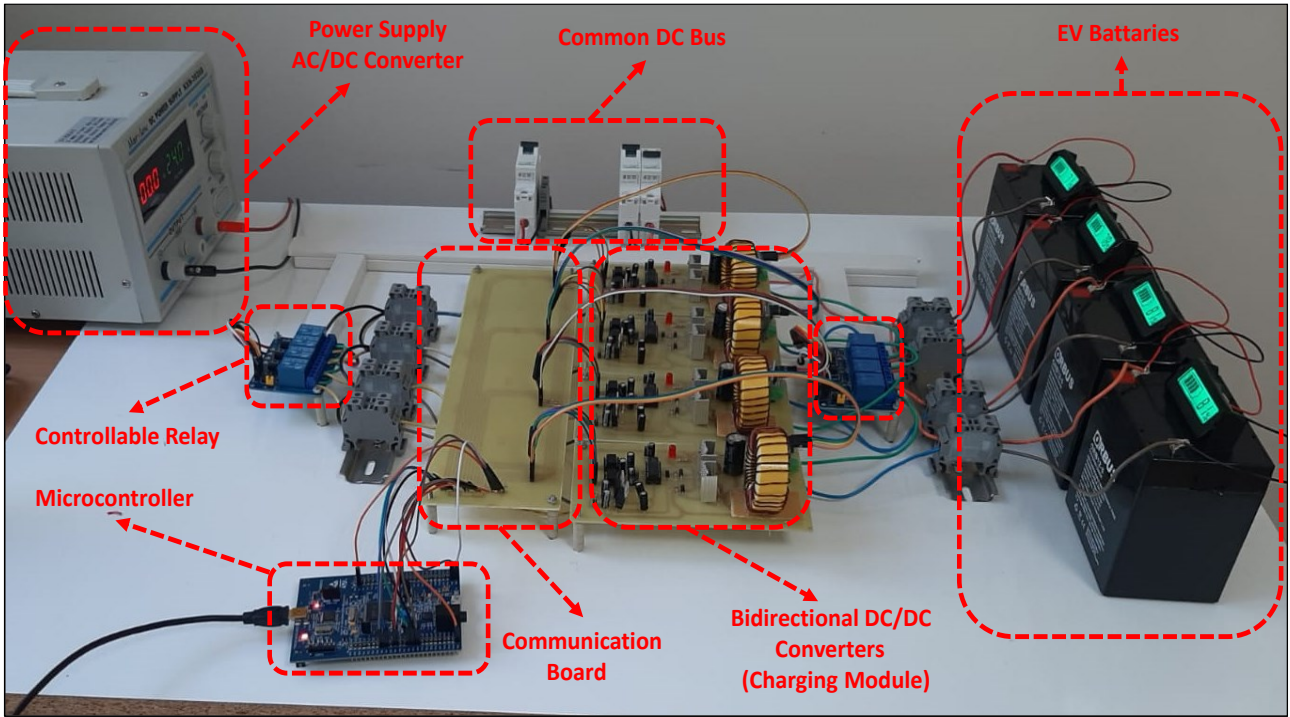


Figure 10. Prototype DC charging station

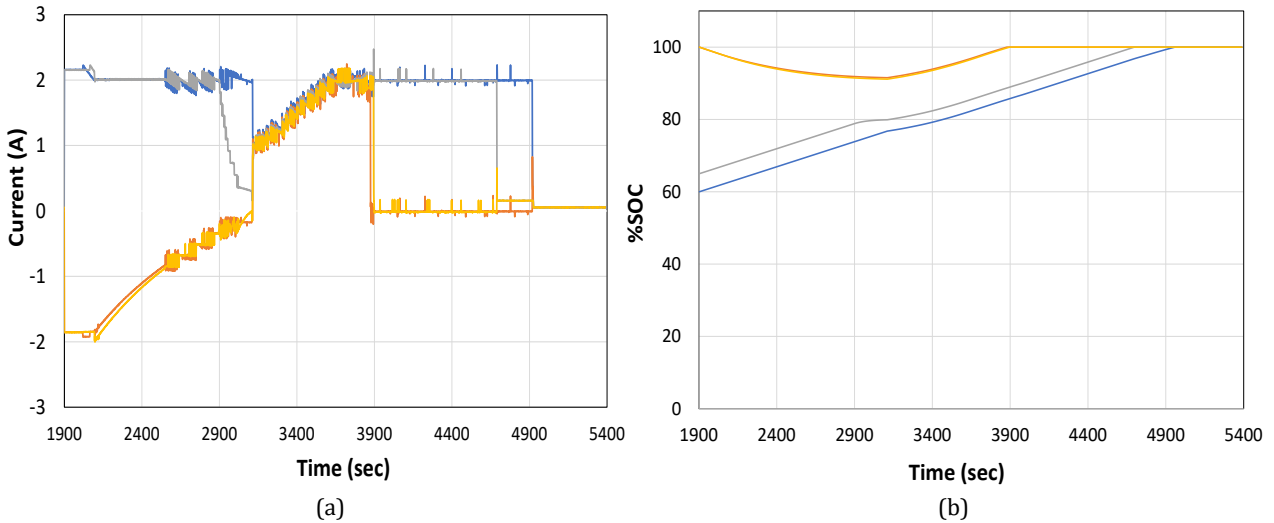


Figure 11. (a) Current variations (b) %SOC changes

The most critical issue here is that the instantaneous production amount does not exceed the consumption amount at any time. This was checked while generating the references. In this way, the DC bus voltage remained constant at 24 volts throughout the run and operational stability was ensured.

Controlled and uncontrolled power variations, standard deviation and mean are given in Figure 12 (a). Figure 12 (b) shows the amount of energy shifted graphically. Accordingly, approximately 8.75 Wh energy was shifted to the off-peak time interval. Figure 12 (c) shows the load graph of the EVs on the grid within the peak hour interval in case of uncontrolled charging. Figure 12 (d) shows the Z-score frequency changes.

When the graphs are analyzed, it is understood that the power fluctuation increases even more in the case of uncontrolled charging. In addition, the standard deviation in the current load curve has also been reduced. When Figure 12 (b) and Figure 12 (c) are examined, it is understood that 54.16% of the EVs load in the peak hour range is shifted to the off-peak interval with the V2V topology.

When the graphs are analyzed, it is possible to flow energy between vehicles with the DC bus charging station infrastructure. This will enable the development of algorithms that will contribute to voltage and frequency stability on the main grid.

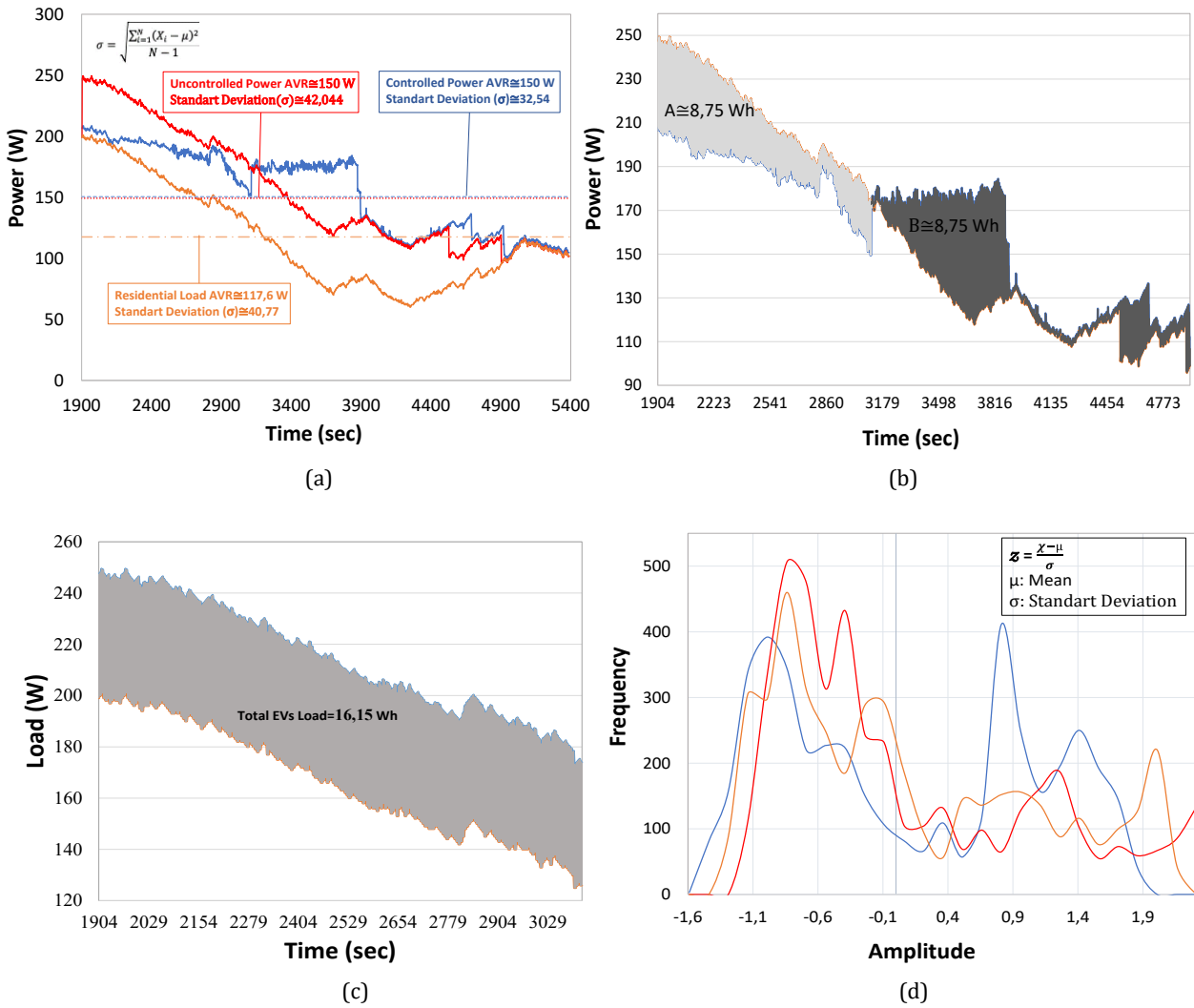


Figure 12. (a) Instantaneous power changes (b) Variation of the shifted load (c) EVs load during peak hours in uncontrolled operation (d) Z-Score frequency

5. Conclusions

In this paper, a low cost and high efficiency non-isolated bidirectional 120W DC-DC converter is designed and experimental results are presented. In addition, a low power real charging station architecture for V2V topology is presented for the first time in this work. In addition, it is proved for the first time in this study that the energy flow between vehicles can be provided in a stable manner using V2V topology. Thus, the real-world applicability of these topologies is presented for the first time.

As a result of simulation and experimental analysis of the designed DC-DC converter, it was revealed that it operates with 95% efficiency. Thus, it has been demonstrated that it is possible to produce technically feasible and highly efficient charging units for DC charging stations. However, the converter design presented in this paper is low power and fluctuations in output current variations are observed. For this reason, isolated and high-power versions of the designed converter can be used industrially.

In this sense, the high-efficiency bidirectional DC-DC converter design presented in this study will be a source of inspiration for future work.

With the low power application, it is understood that the V2V topology can be implemented stably. In this application, it is shown that 54.16% of the load of the EVs in the peak time interval is shifted to the off-peak interval by using the charge coordination strategy based on the balancing principle. Considering that the number of prosumer-consumer vehicles is equal in this application, it is understood that this ratio will be higher in case studies where the number of prosumers is higher.

As a result, not only a highly efficient bidirectional converter has been designed but also a real implementation of the V2V topology has been realised in a stable manner for the first time.

In future studies, new charge control algorithms can be developed on different cases inspired by this study.

However, the developed algorithms can be tested in industrial areas.

Acknowledgements

Funding: This study (BAP Project Number: FDK-2021-7261) was supported by Gazi University Scientific Research Projects Unit.

References

- [1] Üstünşoy, F., Sayan, H.H. 2021. Real-time realization of network integration of electric vehicles with a unique balancing strategy. *Electrical Engineering*, 103, 2647–2660.
- [2] Yildiz, S., Sayan, H.H. 2024. LCL Filter Design and Simulation for Vehicle-To-Grid (V2G) Applications. In: IMSS 2023.
- [3] Mumtaz, F., Yahaya, N. Z., Meraj, S. T., Singh, B., Kannan, R., Ibrahim, O. 2021. Review on non-isolated DC-DC converters and their control techniques for renewable energy applications. *Ain Shams Engineering Journal*, 12(4), 3747-3763.
- [4] Sahbani, A., Cherif, K., Saad, K. B. 2020. Multiphase Interleaved Bidirectional DC-DC Converter for Electric Vehicles and Smart Grid Applications. *International Journal of Smart Grid-ijSmartGrid*, 4(2), 80-87.
- [5] Rezaei, R., Nilian, M., Safayatullah, M., Ghosh, S., & Batarseh, I. 2021. A Bidirectional DC-DC Converter with High Conversion Ratios for the Electrical Vehicle Application. In *IECON 2021–47th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*, 1-6.
- [6] Elserougi, A., Abdelsalam, I., Massoud, A., Ahmed, S. 2019. A bidirectional non-isolated hybrid modular DC-DC converter with zero-voltage switching. *Electric Power Systems Research*, 167, 277-289.
- [7] Hernandez, F. D., Samanbakhsh, R., Mohammadi, P., Ibanez, F. M. 2021. A dual-input high-gain bidirectional DC/DC converter for hybrid energy storage systems in DC grid applications. *IEEE Access*, 9, 164006-164016.
- [8] Suresh, K., Bharatiraja, C., Chellammal, N., Tariq, M., Chakraborty, R. K., Ryan, M. J., Alamri, B. 2021. A multifunctional non-isolated dual input-dual output converter for electric vehicle applications. *IEEE Access*, 9, 64445-64460.
- [9] Al-Obaidi, N. A., Abbas, R. A., & Khazaal, H. F. 2022. A review of non-isolated bidirectional DC-DC converters for hybrid energy storage system. In *2022 5th International Conference on Engineering Technology and its Applications (IICETA)*, 248-253.
- [10] Pramanik, R., Pati, B. B. 2023. Modelling and control of a non-isolated half-bridge bidirectional DC-DC converter with an energy management topology applicable with EV/HEV. *Journal of King Saud University-Engineering Sciences*, 35(2), 116-122.
- [11] Varesi, K., Hosseini, S. H., Sabahi, M., Babaei, E., Vosoughi, N. 2017. Performance and design analysis of an improved non-isolated multiple input buck DC-DC converter. *IET Power Electronics*, 10(9), 1034-1045.
- [12] Shayeghi, H., Pourjafar, S., Hashemzadeh, S. M. 2021. A switching capacitor based multi-port bidirectional DC-DC converter. *IET Power Electronics*, 14(9), 1622-1636.
- [13] Punna, S., Manthathi, U. B., Chirayarukil Raveendran, A. 2021. Modeling, analysis, and design of novel control scheme for two-input bidirectional DC-DC converter for HESS in DC microgrid applications. *International Transactions on Electrical Energy Systems*, 31(10), e12774.
- [14] Saadatizadeh, Z., Chavoshpour Heris, P., Sabahi, M., Tarafdar Hagh, M., Maalandish, M. 2018. A new non-isolated free ripple input current bidirectional DC-DC converter with capability of zero voltage switching. *International Journal of Circuit Theory and Applications*, 46(3), 519-542.
- [15] Qi, X., Wang, Y., Wang, Y., Chen, Z. 2021. Optimization of centralized equalization systems based on an integrated cascade bidirectional DC-DC converter. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 69(1), 249-259.
- [16] Khan, M. A., Ahmed, A., Husain, I., Sozer, Y., Badawy, M. 2015. Performance analysis of bidirectional DC-DC converters for electric vehicles. *IEEE transactions on industry applications*, 51(4), 3442-3452.
- [17] De Melo, R. R., Tofoli, F. L., Daher, S., Antunes, F. L. M. 2020. Interleaved bidirectional DC-DC converter for electric vehicle applications based on multiple energy storage devices. *Electrical Engineering*, 102, 2011-2023.
- [18] Bahravar, S., Abbaszadeh, K., Olamaei, J. 2021. High step-up non-isolated DC-DC converter using diode-capacitor cells. *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Electrical Engineering*, 45, 81-96.

- [19] Cheng, X. F., Liu, C., Wang, D., Zhang, Y. 2021. State-of-the-art review on soft-switching technologies for non-isolated DC-DC converters. *IEEE Access*, 9, 119235-119249.
- [20] Dutta, S., Rathore, A., Khadkikar, K. V., Zeineldin, H. 2021. Single-Phase Bridgeless Cuk-Derived DC-DC Converter for Vehicle-to-Vehicle Charge Transfer. *IEEE Transportation Electrification Conference (ITEC-India)*, New Delhi, India, 1-6.
- [21] Artal-Sevil, J. S., Ballestín-Bernad, V., Anzola, J., Domínguez-Navarro, J. A. 2021. High-Gain Non-isolated DC-DC Partial-Power Converter for Automotive Applications. *IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC)*, Gijon, Spain, 1-6.
- [22] Halder, T. 2023. Modelling and Simulation of a Bi-Directional DC to DC Converter System. *2nd Edition of IEEE Delhi Section Flagship Conference (DELCON)*, Rajpura, India, 1-6.
- [23] Camara, M.B., Gualous, H., Gustin, F. 2010. DC/DC converter design for supercapacitor and battery power management in hybrid vehicle applications polynomial control strategy. *IEEE Trans. Ind. Elect.* 57 (2), 587–597.

Tarihi Yapıya Çağdaş Ek Müdahalesi-Kervansaray Örnekleri

Esra ŞAHİN ERTÖY¹ , Hicran Hanım HALAÇ² 

¹Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Mimari Koruma Bilim Dalı, 26555, Eskişehir, Türkiye

²Eskişehir Teknik Üniversitesi, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Mimarlık Bölümü, 26555, Eskişehir, Türkiye

(Alınış / Received: 24.10.2023, Kabul / Accepted: 16.07.2024, Online Yayınlanma / Published Online: 23.08.2024)

Anahtar Kelimeler

Çağdaş müdahale,
Kervansaray,
Adaptasyon,
Restorasyon

Özet: Tarihi geçmişi oldukça eskiye dayanan kervansarayların İpek Yolu'nun önem kazandığı dönemde sayıca artış gösterdiği görülür. Şehirleşmenin artmasıyla beraber kent merkezlerine uzak konumda kalan bu yapıların yerini zamanla hanlar almıştır. Konaklama amacıyla inşa edilmiş kervansaray yapıları aynı zamanda ticaret için de kullanılmıştır. Osmanlı döneminden sonra önem kaybeden kervansaraylara günümüzde yeniden işlev verilerek aktif kullanımının sağlanması amaçlanmıştır. Çalışmaya konu olan bu yapıların çağdaş müdahalelerle onarım görmüş olanları kapsamı belirlemiş ve söz konusu kervansarayların adaptasyonları irdelenmiştir. Yapılara ait literatür taraması Ulusal Tez Merkezi ve Google Scholar sitelerinden yapılmış, Pinterest sitesinde de görsel taraması yapılmıştır. Yapıya uygulanan çağdaş müdahale yöntemleri ayrıştırılmış ve müdahale sonrası yapının güncel durumu tespit edilmiştir. Özgün mimari dili yakalamaya çalışan onarım tipleri ile estetik, statik vb. açıdan yapının ihtiyaç duymasından kaynaklı çağdaş müdahale yöntemlerinin tercih edilme sebepleri ortaya konulmaya çalışılarak, daha sağlıklı onarım şeklinin hangisi olduğuna dair cevap aranmıştır.

Contemporary Addition to Historic Building- Caravanserai Examples

Keywords

Contemporary addition,
Caravanserai,
Adaptation,
Restoration

Abstract: It is seen that caravanserais, which have a long history, increased in number during the period when the Silk Road gained importance. With the increase in urbanization, these buildings, which were located far from the city centers, were replaced by inns over time. Caravanserai structures built for accommodation purposes were also used for trade. It is aimed to ensure active use of the caravanserais, which lost their importance after the Ottoman period, by giving them a new function today. The scope of these structures, which were repaired with contemporary interventions, was determined and the adaptations of the caravanserais in question were examined. The literature review of the structures was made on the National Thesis Center and Google Scholar sites, and visual scanning was also made on the Pinterest site. Contemporary intervention methods applied to the building were separated and the current status of the building after the intervention was determined. By trying to reveal the reasons for choosing repair types that try to capture the original architectural language and contemporary intervention methods due to the needs of the building in terms of aesthetics, statics, etc., it was aimed to find an answer as to which repair method is healthier.

1. Giriş

Geçmiş dönemlerde İpek Yolu vasıtasıyla kervansaray yapılarının ve kullanımının artması sonucunu doğuran bir dönem yaşanmıştır. Günümüzde ise kervansaray kullanımının azalması hatta yok olması sonucunda farkındalık oluşturarak yeniden

kullanımları sağlanmak istenmektedir. İpek Yolu'nun aktif kullanıldığı dönemlerle önem arz eden kervansarayların özgün kullanımına olanak sağlayabilmesi sebebiyle yapılarda iyileştirmeler yapılmaktadır. Bu sebeple farklı nedenlerle farklı restorasyon uygulamaları yapılmıştır. Bunlardan biri olan çağdaş ek ya da çağdaş müdahale yönteminin

kervansaraylarda hangi kompozisyonda kullanıldığı irdelenmek istenmiştir. Bu çalışmada çağdaş müdahale uygulanmış olan yapıdaki neden/sonuç ilişkisi incelenerek, çalışma kapsamı kervansaraylarla sınırlandırılıp uygulanan müdahaleler incelenmek istenmiştir. Kervansaray yapılarının yeniden kullanımları doğrultusunda uygulanmış olan müdahalelerin hangi amaçla ve hangi malzemeler kullanılarak uygulandığı sorularına cevap aranmıştır.

Bu çalışmada öncelikle kervansaray gibi köklü bir tarihi değeri olan yapıların korunması elzem olmasından ve yaşatılmaya devam edilebilmesi için uygulanacak koruma yöntemlerinden bahsedilmiştir. Kervansaray yapılarının tarihi kronolojisine değinilerek ne zamana kadar aktif kullanıldıkları ve hangi dönemden sonra unutulmaya yüz tuttuğuna değinilmiştir. Yeniden kullanımları planlanan kervansaray yapıları uygulanmış müdahale yöntemlerinden çağdaş ek ya da çağdaş müdahale yöntemi uygulananlar tasnif edilmiştir. Bu amaçla çalışma, farklı tarama yöntemleriyle ulaşılabilen tüm kervansarayları ele almaktadır. Çağdaş müdahale uygulanmış kervansaray yapılarına çağdaş müdahalenin hangi amaçla yapıldığı, hangi bölümde uygulandığı, kullanılan malzeme tipi, kervansarayın güncel işlevi gibi açılardan değerlendirilmek istenmiştir.

2. Materyal ve Metot

Çalışmaya konu olan kervansaraylar belirlenirken farklı kaynaklar kullanılmaya çalışılmıştır. Öncelikle Google Scholar üzerinde ve Ulusal Tez Merkezi'nde araştırmalar yapılmış, daha sonra yeterli veriye ulaşamadığı için Pinterest internet sitesinde konuyla en yakından ilgili olduğu düşünülen bazı kelimeler taranmıştır. Öncelikle restorasyon kelimesi taranmış, Ulusal Tez Merkezi'nde 3228, Google Scholar'da 1000 çalışmaya ulaşılmıştır. Google Scholar'da yapılan kervansaray kelimesiyle 1000 veri ve caravanserai kelimesi ile ilgili 1000 veri elde edilmiştir. Bu kelimelerle elde edilen çalışmaları sınıflandırmakta güçlük yaşandığı ve daraltmaya gidebilmek için çalışma konusuyla yakından ilişkili kelimeler seçilmek istenmiştir. Bu sebeple "çağdaş ek" ve "contemporary annex" kelimeleri ayrı ayrı tarandığında 1000'er kelime elde edilmiştir. Google Scholar'da yapılan gelişmiş aramada ise "kervansaray" ve "çağdaş ek" kelimeleri makalenin herhangi bir yerinde geçsin seçeneği seçilerek taranmış 33 veri, "kervansaray" ve "yeni ek" kelimeleriyle 48 veri elde edilmiş, "kervansaray" ve "çağdaş müdahale" kelimeleri ile veri elde edilememiştir. Yine gelişmiş tarama aynı şekilde "caravanserai" ve "contemporary annex" kelimeleri tarandığında da 3 veri, "caravanserai" ve "new annex" kelimeleri ile 4 veri elde edilmiş, "caravanserai" ve "contemporary intervention" kelimeleri ile veri elde edilememiştir. Ulusal Tez Merkezi'nde yapılan araştırmada "çağdaş ek" kelimesinde ve Mimarlık konusunda toplam 17

veriye ulaşılmış, "kervansaray" kelimesinde ve Mimarlık konusunda 73 veri elde edilmiş, gelişmiş taramada ise aranacak alan bölümünde tümü, arama tipi seçeneğinde içinde geçsin seçilerek "kervansaray" ve "çağdaş müdahale" kelimeleri ile yapılan herhangi veri elde edilememiş, "kervansaray" ve "yeni ek" kelimeleri ile yapılan taramada 2 veri elde edilmiştir. Veri bulgusunu çoğaltmak için Google web sitesinde 22.03.2023 tarihinde "kervansaray" "çağdaş ek" kelimeleri gösterildiği şekilde taratıldığında 35 görsel ve 52 yazılı veri elde edilmiş, "kervansaray", "çağdaş müdahale" taratıldığında 20 görsel ve 121 yazılı veri elde edilmiş, yazılı verilerden ilk 40 adedi değerlendirilmiş ve kalan yazılı verilerin konudan bağımsızlaştığı görülmüştür. "kervansaray", "yeni ek" kelimeleri taratıldığında 51 görsel ve 116 yazılı veri elde edilmiş, yazılı verilerden ilk 20 adedi değerlendirmeye alınmış ve kalan yazılı verilerin benzer şekilde konudan bağımsızlaştığı görülmüştür.

18.01.2023 tarihinde Pinterest internet sitesinde "kervansaray", "caravanserai", "kervansaray çağdaş ek" ve "caravanserai contemporary annex" kelimeleri taranmıştır. Ortaya çıkan görseller referans alınarak elde edilen kervansaraylar Ulusal Tez Merkezi, Google Scholar ve Google tarayıcısında taranmış daha sonra araştırmaya konu olmuş ya da araştırmaya dahil edilmemiştir.

Çalışmada esas alınan kervansaraylar elde edilen bulgulardan görsel araştırması yapılarak seçilmiştir. Görsellerde çağdaş uygulamaların olduğu gözlemlenen 11 kervansaray çalışmaya konu olmuştur. Yapılara eklenen iç mekan tefrişleri (tuvalet, lavabo vs.) araştırma kapsamında değerlendirilmemiş, yapı ögesi olan ekler dikkate alınmıştır.

3. Tarihi Yapıyı Koruma

19. yy. 'da gelişmeye başlamış olan koruma kavramı hem tekil olarak yapıyı hem de yapıyla ilişkili yakın çevresini ele alarak özgünlüğü ve bütünlüğü ele alan bir kavram olarak Avrupa'da ortaya çıkmıştır. Bir anıtın yapı bütünlüğünün korunması, özgünlüğünü sürdürebilmesi, bakımı, en az şekilde müdahaleyle yapılacak olan onarımı üzerine belgelenecek kayıtlara geçme işlemi koruma kavramının içeriğini yansıtan durumlardır [1]. Kültür varlıklarının korunmasına yönelik ilk düzenlemeler, yapıların zarar görmesine sebep olan savaş ya da saldırılarla kültür varlıklarına zarar gelmesinden kaynaklıdır. 1907 yılında imzalanan Lahey Sözleşmesi'nin 27. Maddesinde savaşta ve bombardımanda sanat alanına, hayırseverliğe ayrılmış yapılara, sağlık yapılarına, dini ve eğitim verilen yapılara, tarihi değeri olan eserlere saldırı yapılması yasaklanmıştır [2]. Buradaki koruma maksadı sivil yapıların korunması amacıyla benzer özellikler gösterir. II. Dünya Savaşı'nın bitmesiyle 1950 yılından sonrasında bu koruma kavramı sadece sanatsal ve bilimsel nitelikli yapılarla sınırlı kalmamış,

insanlığın ortak mirası olan tüm yapıları kapsayacak şekilde bir anlayışın gelişmesini amaçlanmıştır [3]. Yapıyı koruma kavramını destekleyen bir durum olan onarım, restorasyonun yapı taşı denebilir. Tarihi yapıyı özgün olarak kalması adına yapılan bütünleme, yenileme, sağlamaştırma, güçlendirme gibi yöntemler restorasyon yöntemlerinden bazılarıdır. Yapının zarar görmesi, yapısal bozulmaları, onarımı ve iyileştirmeye dayalı yapılan işlemler yapısal müdahale olarak adlandırılabilir [1]. Uzun süre yaşayabilen yapılarda kullanılan malzemenin, bulunduğu bölgenin iklimine, yapının fonksiyonuna vs. gibi faktörler göz önünde bulundurularak seçilmesi ve bu malzemelerin birbirleriyle uyum ve bütünlüğü önem arz etmektedir. Yapının işlevliğini devam ettirebilmesi için restorasyon (onarım) ve konservasyon (koruma) uygulamalarında kullanılacak olan malzeme seçilirken yapının tarihini ve estetik değerini araştırmanın yanı sıra arkeometrik araştırmalarının da yapılması gerekmektedir [4]. Tarihi yapılara daha geniş çerçevede bakılacak olursa arkeolojik alanların da yaşatılmaya devam etmesi amaçlanmaktadır. Kazı çalışmaları sonrasında ayakta kalabilmiş antik bölgelerin onarımlar ve bazı eklerle ayakta kaldığı gözlenmektedir [5].

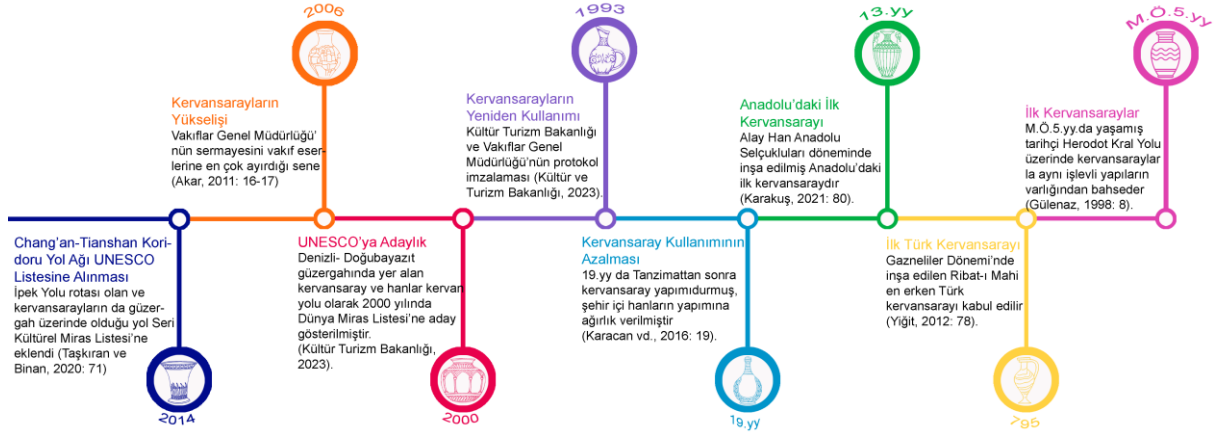
Bahsedilen tarihi yapılardan biri olan kervansaraylar bir dönem çok sık kullanılmaktayken zamanla ticaret yollarının değişmesi sonrası önemini kaybetmiştir. Bu durumun sonucu olarak kervansaray yapılarından bazıları metruk duruma düşmüş, bazılarıysa farklı işlevlerde kullanılmaya başlanmıştır. Günümüzde koruma kavramının kervansaray yapılarına da sirayet ettiğini söyleyebilecek bazı gelişmeler olmuştur (Şekil 1). Özgün tasarımına ve malzemesine uygun olarak restore edilen kervansaraylar varken çağdaş malzeme eklentileriyle yeniden kullanımı amaçlanan restorasyon uygulamaları da mevcuttur.

Kervansarayların ortaya çıkışı ve devamında gelişimi, kullanımlarının durması, yeniden kullanımının amaçlanması sonrası restorasyona varan süreçleri aşağıdaki başlıklarda yer almaktadır. Daha sonra çağdaş uygulama örneği olarak nitelendirilen kervansaraylarda çağdaş ek örneklerinin irdelendiği örnekler elde edilen bulgulardır.

4. Kervansaray Kronolojisi

M.Ö.5. yüzyılda yaşamış Herodot'un Tarih adlı eseri 5.kitabında Susa'dan başlayan ve Sardis üzerinden devam ederek Efes'e ulaşan Kral Yolu üzerinde 30-40 km. aralıklarla dinlenme ve barınma yerlerinin var oluşundan bahseder. Bu yapılar için Herodot, hırsızlardan ve eşkiya saldırısından korunmak

amacıyla yüksek duvarlarla çevrildiğini ve askerler tarafından korunduğunu belirtmiştir. Bu yapıların aynı zamanda düzenli posta hizmeti bulunmaktadır. Tarihiçi, Kral Cyrus'un Suriye'de benzer yapılar inşa ettirdiğini de belirtmiştir. Kervansaray yapıları sadece Doğu'ya özgü olmamakla beraber batıda da gözlemlendiği çıkarımı yapılabilmektedir [6]. Orta Çağ'da kervansarayın ortaya çıkmasının sebebi, ticaret yollarında tüccarların, kervanların ve alıcıların dinlenebilmesi için olduğu bilinmektedir. Konaklama işlevi için inşa edilen binalar olan kervansarayların temelleri Orta Çağ'da atılmış, İran'da devam etmiş ve Anadolu Selçukluları döneminde önemi artarak gelişmiştir [7]. Kervansaraylar önceleri ribat olarak adlandırılan, daha çok askerleri barındırmak, atlarını bağlamak için kullanacakları yapılar olarak inşa edilmiştir. Ribatlar cihat için hazır bulundurulmuş askerî karargahın nöbet tuttıkları yerlerdir. Daha sonraları bu yapılar askerî amaçla kullanılan Maveraünnehir'deki ticaret güzergahları üzerindeki menzillerin ve Türkistan'da koruyucu duvarla izole edilmiş çiftliklerin yakınlarına inşa edilmişlerdir. Bu bölgelerdeki ribatlar takribi IX. yy. sonlarına doğru askerî işlevini kaybedip dini ve tasavvufi kimliğe dönüşmeye ve tekke ve zaviye olarak işlev görmeye başlamıştır. Türklere ait en erken kervansaray Gazneli Mahmut'un emriyle Serahs yolu üzerinde inşa edilmiş olan Ribat-ı Mahi/ Ribat-ı Çahre'dir (410/1019). Daha sonraları Büyük Selçuklular döneminde de İran'da kervansaray tipolojisinde ribatlar inşa edilmiştir [8]. Arapların inşa ettiği ribatlar daha çok askerî amaçla, sınırları koruyan kişilerin barınması amacıyla kullanılmıştır. Türklerin inşa ettiği ribatlar ise ticaret yollarını kullanan kervanların barınması ve kervanların güvenliğinin sağlanması için kullanılan yerlerdir [9]. Büyük Selçuklular ticaret yollarının önemini kavramış ve bu sebeple kervansaray yapımına önem vermiştir. Bununla birlikte bu dönemde ticari ve iktisadi yaşamın varlığını desteklemiştir [10]. B. Selçuklularda vezir olan Nizâmülmülk, kervansaray inşasını destekleyen bir görüş olarak köprü yapmak, kanal açmak, güvenliği sağlayan kaleler inşa etmek, medrese yapmak, köyleri imar etmek ve kervansaray inşa etmek gibi çalışmaları Selçuklu sultanının görevi olarak görmektedir [11]. B. Selçuklulardan sonra Anadolu'da hüküm sürmüş devlet olan Anadolu Selçuklular, Anadolu'da (kayıtlarına ulaşılabilen) ilk kervansarayı inşa etmişlerdir. Kitabesi bulunmadığından kesin verilere ulaşılamasa da Sultan II. Kılıçarslan döneminde inşa edildiği yazmaktadır. Bu kervansaray Aksaray il sınırları içinde bulunan Alay Han'dır [12]. Şekil 1'de kervansaray kronolojisi gösterilmiştir.



Şekil 1. Kervansaray kronolojisi

Kervansarayların inşa edildiği güzergahlar olan ve dünyadaki önemli ticaret yolları olarak bahsedilen İpek ve Baharat Yolları'nın tarihlendirilmesi çok eski zamanlara dayanmaktadır. İpek Yolu M.Ö. III. yy. Romalılar tarafından ipek ithalatı yapılarak kullanılmaya başlanmış ve süregelmiştir. Bu yol üzerinde XI. yüzyıla kadar Bizanslılar, sonra Türkler tarafından hakimiyet kurulmuştur. Daha sonra Selçuklular ardından Osmanlılar yola hakim olmuşlardır. 16. yüzyıla kadar aktif olarak kullanılan yol hem kervansaray ve han yapımında hem de verilen en üst düzey hizmetler sunma özelliklerini sürdürmüştür. Kervansaraylar aynı zamanda Moğollar tarafından da inşa edilmiş, Moğollar da Çin'i örnek almıştır [13]. Osmanlı döneminde ticaret yolları daha düzenli ve toplu bir şekle dönüşmüş, güvenlik sağlanmış, deniz güzergahı eskiye oranla artmış, yeni ticaret rotaları oluşmuş, eski yollar ise önemini kaybetmeye başlamıştır. Bu nedenle Osmanlı döneminde inşa edilen kervansaraylar Selçukluya orana sayıca azalmış ve daha çok kıtalar arası ticaretten ziyade ülke içinde ticaret için kullanılmıştır. Kentler arasında durak olmaktan çok kent içinde inşa edilerek Selçuklular dönemindeki kervansaraylardan farklılaşmıştır [14]. Osmanlıda yeni oluşan yollar olarak Rumeli'ye uzanan ve Anadolu topraklarındaki sağ, sol ve orta kol bulunmaktadır. Bu güzergahlar üzerinde 3 saatten 18 saate kadar değişen yol boyunca kervansaraylar inşa edilmiş, ticaret vasfından farklı olarak haberleşme, konaklama amaçlarıyla da kullanılmışlardır. Aynı zamanda savaş öncesi ordunun konaklaması için kullanılmış, giyecek, yiyecek ve diğer tüm ihtiyaçların karşılanabileceği mekanlar olmuşlardır. Benzer şekilde elçiler, seyyahlar da konaklamış, kervansaraylar işlev olarak bu dönemde çeşitlenmiştir [15]. Osmanlı'da kent içinde inşa edilmeye başlayan hanlar, kervansaraylara göre daha gelişmiş yapılardır. İki katlı olarak inşa edilen hanların, zemin katında ahır, depo, tamirhane işlevli mekanlar oluşmuş, üst kat konaklama alanı olarak ayrılmıştır. Avluya açılan mekanların bu cephesinde revaklı bir galeri bulunmaktadır [13]. Hanlar kervansaraylardan esinlenerek yapılmış olmasına karşın kale

görünümüne sahip değildir. Avludan bakıldığında kervansaraylarla benzese de cepheden bakıldığında hanlar ev görünümündedir. Kervansaraylar genellikle tek kapılıdır. Devlet tarafından ya da hayır için yaptırıldıklarından plan tipleri hanlara göre daha az gelişmiştir [16]. 18.yy. da kervansaray için bütçe ayıran vakıflar ekonomik olarak zayıflamış, 19.yy. da Tanzimat'tan sonra kervansaray yapımı terk edilmiştir. Bu durumun sonucu olarak şehir hanları oluşmaya başlamış, kervansarayların önemini yitirmesiyle konaklama tesisi olarak sadece hanlar inşa edilmeye başlanmıştır [13]. Bu durumda han ve kervansaray arasındaki kavram karmaşasını önlemek adına bir ayrımı gitmek doğru bir yaklaşım olacaktır. İşlev olarak birbirine benzer olsalar da bu iki yapı türünün farklı amaçlar için kullanıldığı durumlar vardır. Bu farklılıklar şu şekilde özetlenebilir [7]:

- Kervansaray devlet tarafından finanse edilirken hanlar özel şahıs ya da vakıflar tarafından finanse edilir.
- Hanlar şehir merkezinde kurulurken kervansaraylar daha çok şehirlerarasında bulunmaktadır.
- Kervansaraylarda binek hayvanlarına önem verilmekte, en az yolcular kadar özene sahip olmaktadır. Hanlarda ise birincil işlev kervanları misafir etmek olmadığı için binek hayvanları arka planda kalmakta, bazen bodrum katta ahırlar tasarlanabilmektedir.
- Kervansarayların askeri amaçla kullanım durumları mevcutken hanlar sadece konaklama ve ticaret amacıyla kullanılmıştır.

Kervansarayların 19.yy. da inşasının durmasının ardından, yeniden kullanılmaya başlanmasının teşviki için Vakıflar Genel Müdürlüğü ve Kültür ve Turizm Bakanlığı arasında 1993 yılında bir protokol imzalanmıştır. 'İpek Yolu Projesi' olarak adlandırılan bu anlaşmada İpek Yolu'nun yeniden canlandırılarak kullanılması hedeflenmiştir. Bu amaçla ilk aşamada 11 kervansaray seçilerek restore et- işlet- devret yöntemiyle kervansarayların restorasyonunu

gerçekleştirmek ve yeniden işlevlendirerek turizm amaçlı kullanılmaları amaçlanmıştır [17]. Seçilen kervansaraylara 'Mola Noktası' fonksiyonu verilmiş olup bu kervansaraylar; Sultan Han (Aksaray), Sarı Han (Nevşehir), Şarapsa Han (Antalya), Ak Han (Denizli), Ağzıkara Han (Aksaray), Alara Han (Antalya), Silahtar Mustafa Paşa Kervansarayı (Malatya), Çardak Han (Denizli), Susuz Han (Burdur), İncir Han (Burdur) ve Alay Han (Aksaray)'dır. Orta Asya'daki Türk boylarının göçebe yaşam biçiminden esinlenen Anadolu Selçuklular, kültürlerini ve mimarisini yansıtan kevarsaraylar ve hanlar inşa etmiş, Anadolu mimarisini de etkilemiştir. Anadolu'da yer alan bu kervansaray güzergahlarından Denizli - Doğubayazıt Kervansarayları 2000 yılında UNESCO geçici dünya mirası listesine eklenmiştir. İpek Yolu'nun canlandırılması için yapılan bu çalışmaların hız kazandığı sürece Vakıflar Genel Müdürlüğü 2006 yılında vakıf taşınmaz kültür varlıklarının korunmasına ayrılan ve en yüksek seviyeye ulaşan pay ile dahil olmuştur. Kervansaray mülkiyetleri Vakıflar Genel Müdürlüğü'nde bulunması sebebiyle 2003 - 2006 yıllarında bütçenin kültür varlıklarının onarımına ayrılmasında artış gösteren bir grafik olması kervansaray onarımlarının da artması anlamına gelebilmektedir [18]. 2000 yılında Anadolu topraklarındaki İpek Yolu'nun bir bölümünün UNESCO aday listesine eklenmesinin ardından 2014 yılında Tian-Shan Koridoru olarak adlandırılan Çin, Kazakistan ve Kırgızistan'ı içine alan güzergah UNESCO Dünya Miras Listesi'ne eklenmiştir. Farkındalık oluşturarak İpek Yolu'nun yeniden ticari olarak canlanmasını ve bu sebeple İpek Yolu üzerinde yer alan kervansarayların yeniden işlevlendirilmesini amaçlayan projeler sonucunda miras listesine alınan bu güzergahta aynı zamanda çeşitli sebepler de etki etmiştir. Çok çeşitli kültürel miraslar, birden fazla kültüre ev sahipliği, farklı coğrafyaları etkilemesi, kültürler arası ilişki kurulması gibi kriterleri taşıyor olması bu listede olmasının sebeplerindedir. Koridor üzerinde yer alan 33 farklı sitten bazıları; Budist tapınakları, mezarlar, antik patikalar, geçitler, Çin Seddi bölümleri, postane, hanlıklar, başkentler, dini yapılar, işaret kuleleri, surlar ve ticaret yapılan mekanlardan oluşmaktadır [19]. Ticaret yapılan mekanlardan biri olan kervansaraylarda konaklama ihtiyacı da karşılanmakta olduğunda, konaklama mekanları olarak gösterilebilirler.

5. Müdahale Yöntemleri

Restorasyon süreci yapıyı özgün değeriyle yaşatmayı, estetik ve tarihi değerini korumayı esas alan bir uygulamadır. Bu amaçla yapıya ait tarihi belgelere ve yapıda kullanılan orijinal malzemelere saygı duymak esastır. Öncelikli amaç yapının düzenli bakımlarının yapılarak yaşatılmaya devam etmesidir. Periyodik olarak bakımları yapılırsa yüksek maliyetlerle yapılan onarımlara ihtiyaç

duyulmayacaktır. Yapı, doğal afet gibi sebeplerle zarar göreceği olursa da kapsamlı müdahale yapılmalıdır [5]. Restorasyon işlemi yapının ulaşılabilen en özgün kimliğini bilimsel ve teknik yöntemlerle korumak ve yaşatmaya devam etmek için yapılan müdahalelerin tümüdür. Basit onarım ise bozularak ve çürüyerek eksilen mimari öğelerin aynı malzeme kullanılarak müdahale edilmesidir [20]. Restorasyon yöntemleri Ahunbay'a göre [5] 8 başlıkta incelenir. Sağlama yöntemi; yapı bütünlüğü zarar görmeden uygulanır. Zarar görmeye başladıysa güçlendirme yapılır [1]. Bütünleme yöntemi; (reintegrasyon) yapının restitüe edilmiş halinde mevcut bulunan, sonraki süreçte malzeme kaybına uğrayıp geleneksel ya da çağdaş malzemeler kullanılarak yapı bütünlüğünün korunmasına yönelik bir çalışmadır [5]. Taşıma yöntemi; iyi planlama, yeterli işçilik ve gerekli belgeleme yöntemlerinin tam olmasıyla tarihi bir yapının mevcut konumundan farklı bir yere taşınması işlemidir [1]. Temizleme Yöntemi; diğer yöntemlere göre daha basit bir uygulama olan bu yöntemle amaç, yapı elemanlarının mekanik ve kimyasal yöntemlerle onarımı ve bakımının yapılmasıdır. Yenileme yöntemi; Tarihi yapıların özgün işlevleri değişen zaman ve yaşam biçimiyle birlikte kullanılamaz duruma gelebilmektedir. Bu sebeple yapıların bazı onarımlardan geçerek yeni işlevine uyum sağlaması için yapılan işlemlerin bütünü yenileme işlemidir [5]. Arkeolojik restorasyon; doğa ve insan etkilerine karşı korunmak istenen arkeolojik alanlarda yapılan işlemler; sağlama, üst örtüyle koruma, bütünleme (anastylosis) şeklindedir [5]. Yeniden yapım yöntemi; (rekonstrüksiyon) zorunlu kalınmadığı süre tercih edilmemesi gereken bir yöntemdir. Yapı ölçeğinde uygulanması yerinde bir işlem olacaktır. Onarım ile arasında kesin bir çizgi vardır [1]. Son olarak değerlendirilecek restorasyon yöntemi çağdaş ektir.

6. Çağdaş Ek

Yenileme işleminde söz edilen konu çağdaş ekin yapı taşıma oluşturmaktadır. Farklı niteliklerde inşa edilen yapıların günümüzde özgün işlevinin kullanımı sürdürülememektedir. Örneğin; kervansaray olarak inşa edilmiş bir yapının işlevi değişen zamanla kaybolmuştur. Otel, müze vb. yapılarına dönüştürülmesiyle kullanımı olanaklı hale gelebilen bu yapılarda çağdaş müdahaleler gerekebilmektedir. Müzeye dönüştürülecek bir yapıya bekçi kulübesi, tuvalet, ikram bölümü için mekan gibi eklere ihtiyaç duyulması halinde çağdaş eke başvurulabilir. Bu ekler yapıyla uyumlu ve az dikkat çeken tasarımlar olmalıdır. Bu gereklilikler göz önünde bulundurulduğunda yapılan müdahale başarılı olabilmektedir. Verilecek işlevin gerekli ölçütlerini taşıyamayacak olan yapılar bu yükün altında kalabilmektedir [5]. Farklı bir ihtiyaç sebebiyle, yapının özgün haline ulaşması mümkün değilse, yani yapıyı restitüe etmek için yeterli veri bulunmuyorsa

bu durumda da çağdaş ek uygulanabilir. Bu ihtiyaçların konu başlığı olduğu “Yapıya neden çağdaş ek eklenir?” sorusuna cevap olarak alt başlıklarda değerlendirilmiştir.

Çağdaş müdahale kavramıyla ilgili literatüre geçmiş bazı tanımlamalar ise Tablo 1’de gösterilmiştir:

Tablo 1. Ulusal ve Uluslararası sözleşmeler, ilkeler, yönetmelikler vd.

Venedik Tüzüğü (1964) [21]
Madde 12- Eksik kısımlar tamamlanırken, bütünlü uyumlu bir şekilde bağdaştırılmalıdır; fakat bu onarımın, aynı zamanda sanatsal ve tarihi tanıklığı yanlış bir biçimde yansıtmaması için, özgünden ayırt edilebilecek bir şekilde yapılması gereklidir.
Madde 13- Eklemelere, ancak yapının ilgi çekici bölümlerine, geleneksel konumuna, kompozisyonuna, dengesine ve çevresiyle olan bağıntısına zarar gelmediği durumlarda izin verilebilir
Atina Tüzüğü- Carta del Restauro [21]
Madde 7- Eğer bir anıtı sağlamlaştırmak, kısmi veya tam olarak bütünlük amacıyla ya da yeniden kullanım nedeniyle ekler yapılması gerekirse, uyulması gereken temel koşul yeni öğelerin en azda tutulmaları, yalın ve yapısal düzeni yansıtır karakterde olmalarıdır. Benzer üslupta bir ek ancak yapının mevcut çizgilerini devam ettirmek ve bezemeden arınmış geometrik anlatımlar söz konusu olduğunda kabul edilebilir.
ICOMOS Geleneksel Mimari Miras Tüzüğü (1999) [21]
Koruma İlkeleri: 2. Geleneksel yapılara, yapı gruplarına ve yerleşmelere yapılacak çağdaş müdahaleler onların kültürel değerlerine ve geleneksel karakterlerine saygı göstermelidir.
Amsterdam Bildirgesi, 1975 [21]
k. Bugünün yeni yapıları yarının mirası olacağından, çağdaş mimarlığa yüksek kaliteli olması için her türlü çaba gösterilmelidir.
05.11.1999 tarih ve 660 sayılı Taşınmaz Kültür Varlıklarının Gruplandırılması, Bakım ve Onarımları İlke Kararı [20]
Yeni işlev verilecek yapılarda yapılacak eklerin, niteliği ve korunması gerekli kültür varlığıyla bütünleşmesi, tasarımı yapan mimar tarafından gerektiğinde avan proje niteliğinde hazırlanarak, koruma kurulunun görüşüne sunulacağına karar verildi.

6.1. İşlevinden kaynaklı ihtiyaç olması

Tarihi yapıları restore ederken modern döneme uyum sağlama çabasıyla çağdaş müdahaleler uygulanabilmektedir. Yapıya uygulanan çağdaş eklerin “neden?” ve “nasıl?” cevapları arandığında elde edilen sonuçlar aşağıda başlıklar şeklinde verilmiştir. Yapının bir bölümünde yapı malzemesi kaybı olduğu zaman, yeni işlevinin doğurduğu ihtiyaçlardan dolayı, yapının restitüe edilmesi için yeterli veriye sahip olunmadığında, kent silüetini oluşturan önemli bir öğe olması ya da tarihi bir olaya tanıklık etmiş olmasından kaynaklı rekonstrüksiyon yapılması gerektiğinde, son olarak da teknolojik verilerin kullanılmasıyla çağdaş sunum tekniği ile birlikte yapının özgün halini yansıtan görseller

yardımlarıyla çağdaş müdahaleler yapıldığı sonuçlarına varılmıştır.

6.1.1. Yapının parçacıl bütünlüme yöntemiyle yenilenmesi

Yapı bütünlüğünü koruyamamış tarihi yapılarda yapı elemanlarında eksilmelerin oluşmasıyla restorasyon ihtiyacı doğmaktadır. Bu restorasyon işlemi yapının ihtiyacına göre uygulanmaktadır. Restorasyon türlerinden biri olan bütünlüme işlemi tarihi yapıya uygulanırken özgün malzemedan farklı olduğu belirgin olan başka malzemeler kullanılmaya çalışılmaktadır. Çalışmaya konu olan Edirne Kervansaraylardan Şekil 4’te yer alan Edirne Ekmekçizade Ahmet Paşa Kervansarayında çatısındaki malzeme eksilmesinden kaynaklı oluşan bütünlüme ihtiyacı çağdaş eklerle giderilmiştir (Şekil 4). Alüminyum strüktür ve cam malzemedan oluşan örtü ile çatı bütünlümesi yapılmıştır. Çatının büyük oranda strüktürü ahşap karkas sistem olan ve kurşunla kaplı özgün hali korunabilmiş, malzeme kaybına uğrayan uç kısım çağdaş müdahaleyle bütünlüme işlemi görmüştür. Benzer bir uygulama Konya’da bulunan Zazadin Han’da da görülebilmektedir (Şekil 7). Kubbesi restore edilen Kervansarayın çevresi polikarbon malzemeyle örtülmüştür. Yapılan kazılarda sekizgen prizmal köşegen olan örtünün özgün konumunda bulunan köşe taşları 1996 yılında ortaya çıkarılmıştır [23].

6.1.2. Yeni eleman eklenmesi

Restore edilerek yeniden kullanıma açılan tarihi yapılar orijinal işlevinden farklı işlevlere sahip olabilmektedir. Bu sebeple doğan mimari ihtiyaçlar yapıya uygulanan eklerle giderilebilmektedir. Bu duruma örnek olarak İzmir/Çeşme’de yer alan Kanuni Kervansaray otel olarak kullanılmaktadır ve bu kullanım günümüz şartlarında ihtiyaç olduğu düşünülen bazı sirkülasyon elemanları eklenme ihtiyacı doğurmuştur. Sonradan eklenmiş olan asansör ve merdiven yapı elemanlarının yanı sıra avluya havuz eklemesi de yapılmıştır. Şekil 6’da yer alan Aydın Öküz Mehmet Paşa Kervansarayında izdüşümü avluya düşen alana güneş kırıcılar eklenmiştir. Böylelikle yarı açık mekan olan revaklarda oturma alanı oluşması için imkan sunmuştur. Benzer bir durum İran’da bulunan Zein-o-din Kervansarayında da görülmektedir. Gaziantep’te yer alan Hışvahan’da asma germe membran sistemiyle avluya gölge sağlayan oturma alanları oluşturulmuştur. Kastamonu’da yer alan Kurşunluhan ve Azerbaycan’da yer alan Kasım Bey Kervansarayında avluya restoran işlevi verilmesinden kaynaklı çatı örtüsü eklenerek güneş ışınlarını direkt almaktan korunmak istenmiştir.

6.2. Yapıyı restitüe etmek için yeterli veriye sahip olunmaması

Bazı tarihi yapıları korumak ve gündelik yaşama dahil etmek isteğiyle restorasyon planlamaları yapılmaktadır. Ancak bu durum, oldukça fazla harap olmuş bazı yapılar bazında ele alındığında restore etmek için yeterli veri (fotoğraf vs.) olmadığından ve restitüsyon projesinin bulunmaması sebebiyle restorasyon işlemi gerçekleştirilememiştir. Bu duruma örnek oluşturabilecek olan Şekil 3'teki Gölcük ilçesinde yer alan Kazıklı Kervansarayının kabağı korunmuş ve dışarıdan yapılan eklemlemeyle üstü örtü ve ahşap + çelik strüktür eklenmiştir. Yapının tarihi değerinin korunması gerektiği ancak restitüe etmek için yeterli veriye sahip olunmadığında uygulanabilecek yöntemlerden biri olan bu işlemde kervansarayın yaklaşık 2 m. iç kısmından başlayan strüktür yükselmiştir.

6.3. Rekonstrüksiyon yapılması

Yeniden yapma olarak da bilinen rekonstrüksiyon pek tercih edilmeyen bir yöntemdir. Bulunduğu çevrede önemli bir tarihi öge olan ya da tarihi bir olaya tanıklık etmiş olan yapılar yeterli doneye sahipse rekonstrüksiyon yoluna gidilir. Çalışmaya konu olan yapılardan rekonstrüksiyon yapılmış bir örnek olmasa da, Kocaeli'de yer alan Kazıklı Kervansarayının kentte yer alan en eski tarihi yapılardan biri olması sebebiyle simge yapı olduğu söylenebilir (Şekil 3). Ancak rekonstrüksiyon için yeterli veri bulunmadığından kervansaray çağdaş müdahaleyle restore edilmiştir.

6.4. Çağdaş sunum teknikleriyle müdahalesi

Kent silüetinin oluşmasında önemli bir yeri olan bazı yapılar vardır. Ancak bu yapıları restore etmek, özgün hali kadar etki yaratmayacak durumda olabilmektedir. Örneğin yedi Dünya Harikasından biri olan Halikarnas Mozolesi geçmişte bulunduğu konumuyla Bodrum'un silüetini önemli ölçüde etkilemektedir. Ancak kalıntıların büyük bir bölümü British Museum'da yer almaktadır ve replikası da yapılmamıştır. Bu yapının rekonstrüksiyonunun yapılmasındansa Şekil 2'de gösterildiği gibi restitüe edilebilecek kadarını, bulunduğu konum ve ölçülerde gün ışığı almayacak ortamda ışık ve gölgelerle resmetmek suretiyle çağdaş sunum tekniği vasıtasıyla yapıyı yaşatmaya devam edilmesinde yardımcı olacaktır. Benzer örnekleri Augustus Forumu, Sezar Formu ve Kolezyum'da görülebilmektedir [26].



Şekil 2. Çağdaş reintegrasyon [27]

7. Bulgular

Çağdaş yöntemle restore edilen çeşitli kervansaray yapıları materyal ve metot başlığında bahsedilen şekilde taranmış ve çalışmaya konu olmuştur. Yapılan araştırma sonucunda elde edilen 11 kervansaray Tablo 2'de uygulanan müdahale yerleri, kullanılan malzeme, güncel işlevi gibi başlıklar altında incelenmiştir.

7.1. Kazıklı Kervansaray- Kocaeli

16. yüzyıla tarihlendirilen kervansaray Kocaeli ili, Gölcük ilçesinde bulunmaktadır. Osmanlı döneminde cihatlar için kullanılmış olan kervansaray Kanuni döneminde inşa edilmiştir. Kazıklı olarak isimlendirilmesinin sebebi seyahatnameler, haritalar ve minyatürlerde Kazıklı Derbendi olarak geçen yapının bulunduğu mevkiden kaynaklı olduğu düşünülebilir [28]. Yapının restorasyonu yapılmadan önce elde edilen veriler yetersiz kalmıştır. 2008-2010 senelerin arasında yapı kalıntıları korunmuş, yapıya zarar vermeden yeni bir ek yapılması uygun görülmüştür (Şekil 3). Yapının mevcut ayakta kalabilen duvarların iç kısmından 2,5 metre uzaklıkta yeni bir strüktür oluşturulmuştur [29]. Fuaye, çok amaçlı salon mekanlarının bulunduğu kervansaray kültür merkezi (sosyal alan) olarak restore edilmiştir. Ahşap ve çelik strüktürle restore edilmiş kervansarayın üst örtüsü ahşaptır.



Şekil 3. Kocaeli Kazıklı kervansarayı [25]

7.2. Ekmekçizade Ahmet Paşa Kervansaray- Edirne

Kervansaray Edirne ilinde Ayşekadın mahallesinde bulunmaktadır. Bulunduğu mevkiiden dolayı Ayşekadın Kervansarayı olarak da anılmaktadır. Ekmekçizade Kervansarayı Ahmet Paşa tarafından 1609 yılında yaptırılıp Sultan I. Ahmet'e armağan edilmiştir. Dönemin ünlü mimarı Sedefkar Mehmet Ağa ve mimar Hacı Şaban Ağa tarafından tasarlanan kervansaray Edirne- İstanbul yolu üzerinde yer alır. Ticaret kervanlarının da üç gün konaklayabildiği Anadolu'daki en büyük kervansaraydır [30]. İrrasyonel bir forma sahip olan bu kervansarayın giriş kapısının sağında imaret ve tabhane olduğu düşünülen mekanlar vardır. Aynı zamanda giriş üç tarafı revaklı bir avluya açılır. Giriş bölümünün tam karşısında güvercinlik olarak adlandırılan yarı açık, çatısı daha sonraki zamanlarda yok olmuş bir mekana geçilir (Şekil 4). Kurşun örtülü olarak kayıtlara geçen kapalı kısımlar daha sonra onarım

görmüştür [31]. Karma tipteki bu kervansaray Vakıflar Müdürlüğü'nün mülkiyetinde olup, günümüzde şehir tiyatrosu ve sergi alanı olarak işlev görmektedir. Alüminyum strüktür malzemesiyle cam kaplama malzemesi kullanılarak zarar görmüş çatısı onarılmıştır.



Şekil 4. Edirne Ekmekçizade Ahmet Paşa kervansarayi [22]

7.3. Kanuni Kervansarayı-İzmir

İzmir kentini Çeşme ilçesinde, deniz kıyısına yakın konumlanmış olan kervansaray kitabesine göre 1528 yılında Kanuni Sultan Süleyman tarafından yaptırılmıştır. Yapı kare planlı olup 18,40 x 18,60 m. ölçülerinde avluya sahiptir. Kervansaraya güneybatı cephesinden yapının dışına taşan bir eyvanla girilmekte ve iki sıra revaklarla çevrili avluya ulaşılmaktadır. Kitabesi eyvanın üzerinde bulunmaktadır. Revaklı bölümlerden geriye kalan alanlarda ahır ve merdiven bulunmaktadır. Revaklardan ulaşılabilen oda sayısı on iki olmakla beraber üzerleri tonozla örtülüdür [32]. Günümüzde otel olarak işlev gören kervansarayın avlusu da restoran olarak kullanılmaktadır. Daha sonra işlev ihtiyacından kaynaklı Şekil 5'te görülmekte olan avluya havuz eklenmiştir. Yapıya ayrıca metal servis merdiveni ve avludan üst kata ulaşım için metal seyyar asansör uygulanmıştır.



Şekil 5. İzmir Kanuni kervansarayi [35]

7.4. Öküz Mehmet Paşa Kervansarayı-Aydın

Kuşadası ilçesinde yer alan bu kervansaray Öküz Mehmet Paşa tarafından 1618 yılında yaptırılmıştır. İki katlı ve avlulu kervansarayın üst katına avlusunda bulunan kuzeybatı ve güneydoğudaki iki merdivenle çıkılmaktadır. Osmanlı döneminde yapılan kervansarayın avlu ölçüleri 8.50x1.60 m.dir ve avlunun etrafında revak ve odalar bulunmaktadır. İskele kervansarayın kuzey yönünde yer almaktadır ve kervansaraya giriş de bu yöndedir. Avlu ölçüleri

Kuzeyde 21.80, güneyde 21.47, doğuda 28.51 ve batıda 28.47 m.dir. Kervansaray girişinde revaklara ulaşmadan önce sağ ve solda tonozla örtülü girintili bölüm ve bu bölümlerin kemerle birbirine bağlandığı görülür [33]. Bu kervansarayda ahır bulunmamaktadır ve wc alanı binadan çıkıntı olarak, mazgal pencerelerle inşa edilmiştir. Ayrıca kervansarayın avlusunda sekizgen havuz bulunmaktadır [34]. Kervansaray günümüze otel işlevinde kullanılmaktadır. Şekil 6'daki görselde işaretlenmiş olan; avlusuna, yeni işlevindeki gerekliliklerden kaynaklı olabileceği düşünülen kısmi güneş kırıcılar eklenmiştir.



Şekil 6. Aydın Öküz Mehmet Paşa kervansarayi [24]

7.5. Zazadin Han-Konya

Selçuklu döneminde yaşamış Sadeddin Köpek bin Muhammed tarafından yaptırılan han Aksaray-Konya yolunda, Konya'ya 20 km. uzaklıkta bulunmaktadır. Sadeddin adının farklı tarzda söylemi olan Zazadin olarak da adlandırılmaktadır. Han I. Alaüddin Keykubat zamanında yapılmaya başlanmış ve Gıyaseddin Keyhüsrev zamanında yapımı tamamlanmıştır. Dış ve iç portalde olmak üzere toplam iki kitabesi olan hanın portalleri siyah ve beyaz mermerden inşa edilmiştir. Devşirme taş olan spolien taş çok yerde kullanılmış ve mescidinin giriş bölümünün üstünde bulunduğu görülmüştür. Hanın diğer yapısal özellikleri de kuzeydeki beden duvarının üç kademeli olması ve kışlık bölümdeki kubbenin planda asimetric olması olarak gösterilebilir [22]. Günümüzde müze olarak ziyaret imkanı bulunan yapıda zaman zaman organizasyonlar da yapılabilmektedir. Yapı kubbesinin restorasyon çalışmalarına başlandığında sekizgen kalıntıları ortaya çıkmıştır ve Şekil 7'de bahsedilen kubbe işaretlenmiştir. Restore edilirken çelik strüktürel taşıyıcı üzerine polikarbon malzemeye örtü yapılarak bütünleme işlemi uygulanmıştır.



Şekil 7. Konya Zazadin han [36].

Tablo 2. Kervansaray analiz tablosu.

Kervansaray	Şehir	Yeni İşlev	Kervansaray Tipi	Müdahale Yeri	Strüktür Malzemesi	Yüzey Malzemesi	Müdahale Türü								
							Bütünleme	Kabuk Koruma	Avluya Ek	Çatı Örtüsü	Asansör	Zemin Koruma	Merdiven	Kubbe Örtüsü	Güneş Kırıcı
Kazıklı Kervansarayı	Kocaeli	Kültür Merkezi	Kapalı	Cephe	Çelik + Ahşap	Ahşap		•							
Ekmekçizade Ahmet Paşa Kervansarayı	Edirne	Sosyal Mekân	Açık	-Kubbe -Döşeme	Alüminyum	Cam	•					•		•	
Kanuni Kervansarayı	İzmir	Otel	Karma	-Zemin -Sirkülasyon	Çelik + Betonarme	-			•		•		•		
Öküz Mehmet Paşa Kervansarayı	Aydın	Otel + Turistik Tesis	Karma	Çatı	Çelik	Polikarbon									•
Zazadin Hanı	Konya	Sosyal Mekân	Açık	Kubbe	Çelik	Polikarbon								•	
Mahperi Hatun Kervansarayı	Tokat	Restoran	Karma	Sahın	Demir	Polikarbon + Kurşun				•					
Kasım Bey Kervansarayı	Azerbaycan	Otel + Restoran	Karma	Çatı	Çelik	Cam			•	•					
Hışvahan	Gaziantep	Butik Otel + Restoran	Karma	Avlu	Metal	Membran			•						
Zein-o-din Kervansarayı	İran	Butik Otel	Karma	-Kubbe -Cephe	Metal	Ahşap			•						•
Kurşunluhan Otel	Kastamonu	Otel	Karma	Çatı	Çelik	Polikarbon				•					
Alara Han	Antalya	Turizm Tesisi	Kapalı	Çatı	Metal	Polikarbon				•					

7.6. Mahperi Hatun Kervansarayı-Tokat

Kitabesine göre Sultan Melike Mahperi Hatun tarafından 1238-39 yıllarında yaptırılan kervansaray Amasya-Tokat yolu üzerinde inşa edilmiştir. Yazlık ve kışlık bölüm olarak yaptırılan kervansarayanın kışlık bölümü ölçüleri 19.50x28 m, yazlık bölümü ise 33x34 m'dir. Yazlık bölümü avluyu çevreleyen revaklar ve revakla sıralanmış odalardan, kışlık bölümü iki sıra paye ile üç bölüm olarak inşa edilmiştir. Pandantif örtülü kervansaray kesme taştan yapılmıştır ve planı dikdörtgendir. Gösterişli bir giriş kapısı olan kervansarayanın söz konusu kapısı Anadolu Selçuklu dönemi kervansaray yapılarındaki kapıları andırmaktadır. Günümüze beden duvarları ve portali sağlam gelmiş olan kervansarayanın çatısı tümüyle yıkılmıştır. Restore edilen çatısının kışlık bölümdeki avlunun üzerine tekabül eden bölümü hafif malzeme olması açısından polikarbonat malzeme ile kemerli eyvan üzerine tekabül eden bölümü ise kurşun malzemeyle kaplanmıştır ve Şekil 8'da bu malzeme farkını görmek mümkündür [37]. Yapı günümüzde kafe, restoran olarak işlevlendirilmiştir.



Şekil 8. Tokat Mahperi Hatun kervansarayı [37].

7.7. Kasım Key Kervansarayı-Azerbaycan

İki mertebeli kervansaray olarak da adlandırılan bu yapı günümüzde Mugam Kulüp/Mugam Restoran olarak da bilinmektedir. Muğam olarak kullanılan bu kelime Azerbaycan müziği olarak bilinir. Kasım Bey ve varislerine Şirvaşah Halilullah tarafından hediye edilen kervansaray 15. yüzyılda inşa edilmiştir. Deniz ticareti varlığından dolayı denize bakan cepheden giriş yapılıdır. Aynı aks üzerinde başka bir giriş daha vardır. İç planı kare, avlusu sekizgen planlıdır. Balkonlu odalarla çevrili avlusuyla iki kat şeklinde inşa edilmiştir. Odalardan balkona açılan ve avluya bakan revaklar sivri kemerlerle oluşturulmuştur. Kervansarayanın korunma açısından güneydoğu cephesinde kuleleri bulunmaktadır [38]. Unesco Dünya Miras Listesi'nde yer alan yapı otel ve restoran olarak işlev görmektedir. Yapının avlusunda Şekil 9'da görüldüğü üzere açılır- kapanır olacak şekilde örtü sistemi eklenmiştir. Çelik strüktür üzerine cam örtü malzemesi kullanılarak ışık kırıcı işlev görmesi sağlanmıştır.



Şekil 9. Azerbaycan Kasım bey kervansarayı [39].

7.8. Hışvahan-Gaziantep

1563-1568 yıllarında Lala Mustafa Paşa'nın Halep'te vali olarak görev yaptığı esnada yaptırdığı tahmin edilen han, Gaziantep Handan Bey Çarşısı'nda yer almaktadır. Açık avlulu kervansaray tek katlıdır ve farazi 2900 metrekarelik alana yayılmıştır. Külliye olarak inşa edilen yapının batısında hamam ve susamhane bulunmaktadır. Doğu cephesi tarafından bedesten bulunmaktadır ancak şimdiki dönemde izine rastlanmamaktadır. Kurtuluş Savaşı zamanında yıkılmış olabileceği düşünülmektedir. Hanın beden duvarları kesme taştan, benzer şekilde örtü sistemi de sarımtırak renkli küfeki kesme taşından oluşmuştur. Yapının çatı örtüsü tonoz sistemli strüktüre sahiptir [40]. Yapının avlusuna asma germe sistemle oluşturulmuş oturma alanı yapılmıştır. Kentin simgesel öğelerinin kullanıldığı ekler yapıyla bütünleştirilmek istenmiştir. Oturma alanları arasına ahşap oymacılık ürünü bölücü donatılar eklenmiş, oturma bölümlerinde de geleneksel sedir kullanılmıştır. Günümüzde butik otel ve restoran olarak işlev gören yapının avlusuna ve revaklar arasına eklenen çağdaş ek metal malzemeden oluşmaktadır. Avluda yer alan ışık koruma amaçlı oluşturulmuş örtü sistemi Şekil 10'de görüldüğü üzere membran malzeme kullanılarak yapılmıştır.



Şekil 10. Gaziantep Hışvahan [40].

7.9. Zein-o-Din Kervansarayı-İran

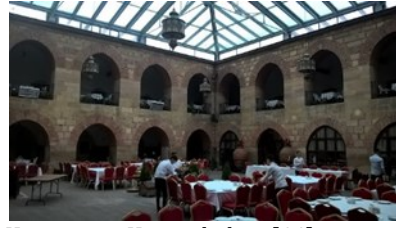
16.yüzyılda inşa edilen yapı Yazd şehrinde bulunmaktadır ve Afganistan sınırına yakın konumdadır. İran'da bulunan yuvarlak formu üç kervansaraydan biridir. Tarihi İpek Yolu üzerinde bulunan kervansaray İran Kültürel Miras ve Turizm Örgütü'nün mülkiyetindeyken üç kardeş tarafından restore edilmek istenmiştir. 12 yıllığına kiralanmış yapı 32 odalı misafir ağırlamak için yenilenen ve orijinal tarzına uygun tasarlanan bir yapı olarak hizmet vermektedir. UNESCO tarafından 2006 yılında en iyi yenilenen yapı olarak ödül verilmiştir. Yuvarlak biçimli dar bir koridor üzerinde konumlanan odalardan bazıları kapılarla, bazılarıysa perdeyle ayrılmıştır [41]. Günümüzde de otel olarak işlev gören yapının Şekil 11'de gösterilen resimde iç avlusuna güneş kırıcı olarak eklenmiş ahşap yüzeyli ve metal taşıyıcı yapı ögesi bulunduğu görülmektedir.



Şekil 11. İran Zein-o-din kervansarayı [41].

7.10. Kurşunlu Han Otel-Kastamonu

İsmail Bey hanı olarak da adlandırılan han; avlulu, iki katlı ve dikdörtgen planlıdır [42]. Kastamonu'daki ilk hanlar Candaroğulları döneminde İsmail Bey tarafından inşa edilmiştir. İsmail Bey olarak da adlandırılan kervansaray orta avluyu çevreleyen revaklar ve hücre diziliminden oluşmaktadır [43]. Hana giriş kuzey cephesinden yuvarlak kemerli bir kapıyla sağlanmaktadır. Daha sonra açıldığı anlaşılan güney cephesindeki basık kemerli dikdörtgen çerçeveli kapı hana giriş sağlayan bir başka kapıdır. Hanın Kurşunlu Han olarak adlandırılmasının nedeni tonozların üstünün kurşunla kaplanmasından kaynaklıdır. Kurşunlar zamanla sökülüp yerine sac kaplanmıştır. 1943 yılında yaşanan depremde hasar gören yapının sac kaplaması sökülüp ve yerine 1946 yılında kurşun kaplanmıştır. Aynı yıl üst kat kemerleri onarılan hanın 1950 yılında üst katı onarılmış ve 1972 yılında Vakıflar Genel Müdürlüğü restore ettirmiştir [42]. Günümüzde otel olarak hizmet veren kervansarayın avlusu restoran olarak kullanılmaktadır. Şekil 12'de gözlemlenebilen yapının hava olaylarından etkilenmeyi en aza indirmek için avlusuna üst örtü eklenmiştir.



Şekil 12. Kastamonu Kurşunlu han [44].

7.11. Alara Han-Antalya

I. Alaeddin Keykubat tarafından yaptırıldığı kitabesinden anlaşılan han Alara Çayı'na ve Alanya Kalesi'ne yakın konumlanmıştır. Kalenin çevresi de yerleşim alanına dönüşmüştür. Kitabesine göre 1231 yılında yaptırıldığı anlaşılan han 46x35 m. ölçülerinde dikdörtgen planlıdır. Kapalı avlulu han, sultan han plan şemasına benzemektedir. Ancak sultan hanlarında açık avlu ve etrafında kapalı konaklama bölümleri varken Alara Han'da odalar ve avlu iç içe tasarlanmıştır. Yapıdaki ana malzeme kesme taştır, bazı yamaca bakan bölümlerinde moloz taş kullanılmıştır. Dar bir koridor çevresinde eyvan ardından oda gelecek şekilde bir düzen oluşturulmuştur [45]. Günümüzde aktif işlevi bulunmayan hanın geçmiş dönemde eğlence merkezi olarak kullanıldığı bilinmektedir. Çağdaş müdahale uygulanan kervansarayın koridor kısmının üzerine örtü yapılmış, Şekil 13'te görülmekte olan metal strüktür üzerine polikarbon malzeme kaplanarak onarım işlemi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 13. Antalya Alara han [46].

8. Tartışma ve Sonuç

İnsanlık tarihinde başlangıçta barınma amacıyla inşa edilmiş yapılar daha sonra insan ilişkilerinin artmasıyla farklı işlevlerdeki yapıların ortaya çıkmasıyla değişkenlik göstermiştir. Ticaretin oluşmasında önemli etkenlerden biri insan ilişkileridir ve zamanla gelişen ticaretle birlikte tüccarların birbirinden uzak mesafelerdeki kentlere seyahat etmesi kaçınılmaz olmuştur. Tüccarlık yapanların konaklama ihtiyacını karşılayan ve aynı zamanda ticaret yapmalarına olanak tanıyan yapı gereksinimi oluşmuştur. Buna örnek oluşturan, önceleri ipeğin sonraları farklı birçok malzemenin ticaretini sağlayan İpek Yolu oluşmuş ve bu yol üzerinde konaklama ve ticaret ihtiyacını karşılayan kervansaraylar inşa edilmiştir. Orta Çağ'dan başlayıp daha sonra Osmanlı döneminde şehir merkezlerindeki hanların inşasıyla kullanımı azalan

kervansaraylardan günümüze ulaşabilmiş örnekler mevcuttur. Bu yapıların yeniden kullanımını sağlamak ve günümüze adapte edebilmek amacıyla çeşitli işlemler görmesi gerekmiştir. Birincil olarak yine orijinal işlevi olan konaklama fonksiyonu uygulanmaya çalışılsa da farklı işlevlere sahip kervansaraylar da bulunmaktadır.

Onarım geçiren kervansaraylardan bazıları özgün malzemesine uyum sağlayan malzemelerle restore edilirken bazılarında çağdaş ekler uygulanmıştır. Bu uygulamanın yapıya yüklediği çeşitli olumsuz durumlar oluşturabilmekteyken bazı açılardan bakıldığında ise yerinde bir uygulama olduğu görülmektedir. Restorasyon işlemini birden çok başlık altında inceleyebilirken bu çalışmada çağdaş müdahale uygulanmış olan kervansaraylar ele alınmıştır. Çalışmaya konu olmuş kervansaraylar farklı kaynaklardan elde edilmiş verilerle irdelenmiş, hangi amaçla bu işlemin uygulandığı sorusuna cevap aranmıştır. Söz konusu on iki adet kervansaraydan büyük çoğunluğu özgün işlevine uygun olarak konaklama ihtiyacını karşılayan otel olarak kullanılırken geri kalan yapılar müze ve sosyal mekan işlevinde kullanılmakta ya da aktif bir işlevi bulunmamaktadır.

Yapılan araştırmalarda elde edilen verilere göre kervansaraylardan bazılarında avlunun üzeri kapatılmak istenmiştir. Bu işlemin ortaya çıkması hasar görmüş olan özgün malzeme yerine uygulanması amacıyla ya da mekanın rekreasyon alanı olarak kullanılmak istenmesinden dolayı oluşmuştur. Avluda yine sosyal alan oluşturmak amacıyla güneş kırıcı vazifesi gören eklerin de uygulandığı görülmüştür. Hasar görmüş olan malzemenin yerine çağdaş ekle bütünleme yapılmak istenmesi yıllarca bütünlüğünü koruyabilmiş yapının strüktürüne fazla yük uygulayarak zarar vermemek istenmesidir. Avlunun, sosyal mekanlar olan restoran, kafe, kültürel alan vs. işleviyle kullanılmak istenmesiyle birlikte avlunun üzerinin kapatılmak istenmesi de hava şartlarından kullanıcıların etkilenmesini en aza indirmek amacıyla her iki durumda da ortak amaç modern dönem eki olduklarını açıkça ortaya koyarak tarihi yapıyı yaşadığımız dönemle bağdaştırıp her iki dönemi yansıtan mimari dil oluşturmaktır.

Gerekli restorasyon işlemi geçiren her yapı aktif kullanıma sahip değildir. Bu durumun çeşitli sebepleri bulunmaktadır. Günümüzde şehir merkezlerinin dışında kalan yapıların uğrak bir mekan olması ve yerli-yabancı turistlerin rotayı bu tarihi yapılara çevirmesi, ilgi çekici bir işlev verilmesiyle doğru orantılıdır. Bu sebeple yapının ne kadar yük taşıyabileceğine dair gerekli hesaplamalar yapılarak dikkat çekici çağdaş müdahaleler uygulanabilir. Örnek olarak Almanya'da bulunan Bundeswehr Askeri Tarih Müzesi cephesine uygulanan çağdaş müdahale sonrası kentteki

konumu ön plana çıkmıştır. Yapı cephesine piramidal şekilde tasarlanan bir eklenti uygulanmış ve bu mimari ögenin etkisiyle iç mekanda gölge-ışık oyunları oluşturulmuştur. Onarım gören yapı için amaç öncelikle yapının özgünlüğünü korumak olmasıyla birlikte şimdiki zamanda kullanılmaya devam etmesi için yakın çevresinde sosyo-kültürel analizler yapılmalı ve müdahale yöntemi buna göre belirlenmelidir. Aksi takdirde amaç yalnızca yapının onarım görerek ayakta kalmasını sağlayabilmek olursa aktif kullanım ihtimali azalabilmektedir.

Bu çalışmada tarihi yapılar kategorisindeki kervansaraylara uygulanan çağdaş müdahale yöntemleri araştırılıp elde edilen veriler ortaya konulmuş ve modern döneme uyum sağlaması açısından güncel durumları analiz edilmek istenmiştir. Çağdaş uygulamaların özgün malzemeyle karşılaştırıldığında yapıya kazandırdığı estetik değer, yapının yeni işlevinden kaynaklı doğan ihtiyaçları karşılayabilmesi ve aynı zamanda statik olarak yapıya yüklenen yük gibi durumlar yapıya müdahale yöntemi seçilirken dikkat edilmesi gereken başlıklar olarak göz önünde bulundurulmalıdır. Gelecek dönemlerde yapılara uygulanacak restorasyon işlemi öncesinde bu çalışmanın çağdaş müdahale açısından fikir verebileceği düşünülmüş ve uygun müdahale yöntemleriyle yapıların günümüzde de yaşatılmaya devam etmesi amaçlanmıştır.

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] Zakar, L. 2013. Restorasyon uygulamalarında kullanılan çağdaş teknikler. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 3-12, İstanbul.
- [2] 18 Ekim Tarihinde La Haye'de İmzalanmış, IV Sayılı, Kara Harbinin Kanunları ve Adetleri Hakkında Sözleşme. https://www.askerihukuk.net/FileUpload/ds158941/File/kara_harbinin_kanunlari_ve_adetleri_hakkinda_sozlesme.pdf (Erişim Tarihi: 04.04.2024).
- [3] Ünal, Z. G. 2014. Kültürel mirasın korunması, İSMEP Rehber Kitaplar, İstanbul, 15s.
- [4] Eskici, B. Akyol, A. A. Kadioğlu, Y. K. 2006. Erzurum Yakutiye Medresesi Yapı Malzemeleri, Bozulmalar ve Koruma Problemleri. Ankara

- Üniversitesi Dil ve Tarih-Coğrafya Fakültesi Dergisi. 46(1). 165-188.
- [5] Ahunbay, Z. 2009. Tarihi çevre koruma ve restorasyon, Yapı- Endüstri Merkezi Yayınları, İstanbul, 8s.
- [6] Ökmen M. ed. 2022. Tarih. Türkiye İş Bankası Kültür Yayınları, İstanbul, 405s.
- [7] Tarverdiyeva, L. 2020. Kervansarayların yeniden işlevlendirilmesinde Azerbaycan örneklerinin incelenmesi. Hacettepe Üniversitesi, İç Mimarlık ve Çevre Tasarımı Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 3s, Ankara.
- [8] Yiğit, İ. 2012. İslam Ansiklopedisi. Türkiye Diyanet Vakfı Yayınları, İstanbul, 76s.
- [9] Cezar, M. 1981. Türk Tarihinde Kervansaray, VIII. Türk Tarih Kongresi, 11-15 Ekim 1946, 931-940, Ankara.
- [10] Alptekin, C. 1989. Doğuştan günümüze büyük İslam tarihi - büyük Selçuklu devleti, Çağ Yayınları Umumi Neşriyat No:1, İstanbul, 206s.
- [11] Karakuş, F. 2022. Anadolu Selçuklu Dönemi Sultan Hanları Üzerine Bir İnceleme. The Turkish Online Journal of Design Art and Communication, 12 (1), 71- 109.
- [12] Sönmez, Z. 1989. Başlangıçtan 16. yüzyıla kadar Anadolu Türk-İslam mimarisinde sanatçılar, Türk Tarih Kurumu Yayınları, Ankara, 184s.
- [13] Karacan, S. Karacan E. ve Güngör, Y. 2016. Tarihsel Süreç İçinde Konaklama Merkezleri Han ve Kervansarayların Günümüzde İpekyolu Turizm Projesine Dönüşümü, 5. Doğu Akdeniz Turizm Sempozyumu "Özel İlgi Turizmi" Temasıyla, 22-23 Nisan 2016, 171-172, Gazimagusa, Cyprus (Kktc).
- [14] İlter, İ. 1969. Tarihi Türk hanları, Karayolları Genel Müdürlüğü Yayınları, Ankara, 9s.
- [15] Usta, G. 1996. Anadolu Osmanlı döneminde mekan analizi, han ve kervansaray yapılarında uygulama. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 111s, Trabzon.
- [16] Gülenaz, N. 1998. İstanbul'daki 19.yy. ve sonrası Osmanlı ticaret han ve pasajlarının stil ve fonksiyon bakımından incelenmesi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Doktora Tezi, 8s, İstanbul.
- [17] Kültür ve Turizm Bakanlığı Yatırım ve İşletmeler Genel Müdürlüğü. (2023). İpek Yolu. <https://yigm.ktb.gov.tr/TR-10174/ipek-yolu.html> (Erişim Tarihi: 20.08.2023).
- [18] Akar, T. 2011. Vakıflar Genel Müdürlüğü ve Vakıf Kültür Varlıklarının Korunması. Erdem Dergisi, 59(1), 16s.
- [19] Yaman, G. 2019. Doğal ve kültürel mirasın korunmasında bir araç olarak kültürel rotaların İzmir ili Selçuk ilçesi örneğinde irdelenmesi. Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 25s, İzmir.
- [20] 05.11.1999 tarih ve 660 sayılı İlke Kararı-Taşınmaz Kültür Varlıklarının Gruplandırılması, Bakım ve Onarımları. <https://teftis.ktb.gov.tr/TR-263743/660-nolu-ilke-karari-tasinmaz-kultur-varliklarinin-gruplandirilmasi-bakim-ve-onarimlari.html> (Erişim Tarihi: 04.04.2024).
- [21] ICOMOS. 2023. The Venice Charter 1964. IInd International Congress of Architects and Technicians of Historic Monuments. <https://www.icomos.org/en/resources/charters-and-texts> (Erişim Tarihi: 04.04.2023).
- [22] Anadolu Haber Ajansı. 2023. Ekmekçizade Ahmet Paşa Kervansarayı dükkanlarının restorasyonunda sona gelindi. <https://www.aa.com.tr/tr/gundem/ekmekcizade-ahmet-pasa-kervansarayi-dukkanlarinin-restorasyonunda-sona-gelindi/2468431>. (Erişim Tarihi: 03.04.2023).
- [23] Konya Valiliği. 2023. Zazadin Hanı. <http://www.konya.gov.tr/zazadin-hani> (Erişim Tarihi: 20.04.2023).
- [24] Aydın Büyükşehir Belediyesi. 2023. Öküz Mehmet Paşa kervansarayı. <https://aydincagiriyor.com/tr/aydincagiriyor/kultur/meandros-yolu/okuz-mehmet-pasa-kervansarayi/73> (Erişim Tarihi: 09.05.2023).
- [25] Vitra Çağdaş Mimarlık Dizisi. (2023). Kazıklı Kervansarayı Proje Detayı. <https://www.vitracagdasmmimarlikdizisi.com/projeler/Kaz%C4%B1kl%C4%B1-Kervansaray%C4%B1-Restorasyonu-ve-Ic-ek-Kultur.aspx> (Erişim Tarihi: 29.03.2023).
- [26] Abacı, C. S. 2019. Arkeolojik alanlarda çağdaş tasarımlar: Eskişehir Karacahisar kalesi koruma ve sergileme önerisi. Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 63s, Eskişehir.

- [27] Anonim. 2023. Restorasyon ve Renovasyon. <https://3byapi.com.tr/restorasyon-ve-renovasyon/> (Erişim Tarihi: 20.03.2023).
- [28] Kamiloğlu, O. 2011. Kazıklı Hacı Hamza Bin İvaz kervansarayı. Gazi Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 100s, Ankara.
- [29] Aycibin, S. 2018. Anadolu Kervansaraylarının tarihsel ve mimari gelişimi, kervansaray yapılarının işlevlendirilerek yeniden kullanımı. İstanbul Ticaret Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 47-49, İstanbul.
- [30] Ölmez, O. 2022. Tarihi yapılarda mekânın yeniden kullanımı ve erişilebilirlik, Edirne Ekmekçizade Ahmet Paşa kervansarayı incelemesi. Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 44s, Edirne.
- [31] Küçükaya, A. G. 1991. Mimarbaşı Sedefkar Mehmet Ağa Dönemi Edirne Yapıları ve Defterdar Ekmekçioğlu Ahmet Paşa. Belleten Dergisi, 55(213), 404-405.
- [32] Kayın, E. 1988. Çeşme tarihi doku araştırması koruma ve restorasyon önerileri, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 68-69, İzmir.
- [33] Buluç, G. 1995. Kervansarayların Türk Turizmine Zincir Konaklama İşletmeleri Olarak Kazandırılması. Anatolia: Turizm Araştırmaları Dergisi, 6 (1), 43s.
- [34] Oğuz, F. A. 1978. İzmir-Çeşme Kanuni Kervansarayı. Vakıflar Dergisi, (11), 115-116.
- [35] Şaşmaz, E. 2023. Kanuni Kervansarayı Kervansarayı. <http://www.erolsasmaz.com/> (Erişim Tarihi: 29.03.2023)
- [36] TRT Haber. 2023. Selçuklu'nun Konya'daki en büyük kervansarayı: Zazadin Hanı. <https://www.trthaber.com/haber/kultur-sanat/selcuklunun-konyadaki-en-buyuk-kervansarayi-zazadin-hani-437183.html> (Erişim Tarihi: 04.04.2023).
- [37] Zengin, B. ve Kasap, S. 2017. Tokat-Restoration Of The Caravansaray Of Pazar Mahperi Hatun. The Online Journal of Science and Technology, 7(3), s152.
- [38] Azerbaycan Bakanlar Kurulu/Devlet Tarihi-Koruma Alanı Dairesi. 2023. İki katlı kervansaray. <https://web.archive.org/web/20170119194432/http://www.icherisheher.gov.az/static,20/lang,az/#monument16> (Erişim Tarihi: 10.05.2023).
- [39] Wikimedia. 2023. Baku two-storeyed caravanserai. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Baku_Two-StoreyedCaravanserai_004_8441.jpg (Erişim Tarihi: 10.05.2023).
- [40] Karaata, Ç. 2020. Özgün işlevini yitirmiş, yeniden işlevlendirilen yapıların tasarım sürecinin değerlendirilmesi ve Hışvahan örneğinin incelenmesi. Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 52s, Gaziantep.
- [41] Abbasian, A. 2019. Examining authenticity in adaptive reuse of iranian caravanserais for tourism: comparative assessment of two cases from safavid era. Eastern Mediterranean University, Department of Interior Arch, Master of Science, 109-111, Famagusta: North Cyprus.
- [42] Koç, İ. ve Asar, H. 2017. Tarihi Kastamonu Şehirliği Hanlarının Ticari ve Kültürel Fonksiyonlar Bağlamında Değerlendirilmesi. Artium. 5 (1), 9s.
- [43] Eyüpgiller, K. Topçubaşı, M. ve Polat, I. 2008. Kastamonu'da 19. Yüzyıl Ticaret Yapıları. METU JFA, (25:2), 3s.
- [44] İstenci, H. 2019. Kurşunlu Han (İsmail Bey Hanı). <https://www.istenci.com/2019/04/kursunlu-han.html> (Erişim Tarihi: 12.05.2023).
- [45] Kılıcı, A. 2016. İpek Yolu Kervansaraylarının Turizme Kazandırılmasında Alara Han Örneği. s.88-100. Atasoy, F. ed. 2016. Uluslararası İpek Yolu'nun Yükselişi ve Türk Dünyası-Yükselen İpek Yolu, Türk Yurdu Yayınları, Ankara, 93-94.
- [46] Türkiye Kültür Portalı. 2023. Alara Han. <https://www.kulturportali.gov.tr/turkiye/antalya/gezilecekyer/alara-han-1> (Erişim Tarihi: 12.05.2023).

Yenilenebilir Enerji Kaynaklarını İçeren Optimal Güç Akışı için Uygunluk Mesafe Dengesi Tabanlı Üçgenleme Topolojisi Toplama İyileştiricisi

Ali YAZICI*¹, Uğur GÜVENÇ²

¹Düzce Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Elektrik Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Düzce, Türkiye

²Düzce Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Düzce, Türkiye

(Alınış / Received: 18.07.2024, Kabul / Accepted: 23.07.2024, Online Yayınlanma / Published Online: 23.08.2024)

Anahtar Kelimeler

Optimal Güç Akışı,
Üçgenleme Topoloji Toplama
İyileştiricisi,
Güneş enerjisi,
Rüzgar enerjisi

Özet: Günümüzde talep edilen ve tüketilen enerji miktarında çok yoğun artışların olması ile birlikte, yenilenebilir enerji kaynaklarından enerji üretiminde artışlar olmaktadır. Bir elektrik şebekesinde yenilenebilir enerji kaynaklarının dahil edilerek kullanılması ile birlikte ağı ekonomik ve verimli çalışabilmesi için en uygun şekilde planlanması problemini de ortaya çıkarmaktadır. Bu çalışmada, yenilenebilir enerji kaynaklarından olan rüzgâr ve gücü entegreli güç sistemleri problemlerinden olan optimal güç akışı problemi ele alınmıştır. Optimal güç akışı problemi doğrusal olmayan yapıya ve çeşitli kısıtlamalara sahip olan, kontrol parametrelerinin en uygun değerlerinin belirlendiği bir optimizasyon problemidir. Ayrıca, güneş ve rüzgar enerjisinin doğasını birleştirmek problemin karmaşıklığını artırmaktadır. Bu tür problemlerin çözümünde yapay zeka tekniklerinden olan sezgisel arama algoritmaları tercih edilmektedir. Bu çalışmada optimal güç akışı probleminin çözümü için Üçgenleme topolojisi toplama iyileştiricisi (ÜTTİ) algoritmasının öncelikle mesafe uygunluk dengesi tabanlı geliştirilmesi gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen algoritma rüzgar ve güneş enerji kaynaklarının dahil edildiği optimal güç akışı probleminde uygulanmış olup, literatürdeki farklı algoritmaların sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Elde edile sonuçlar, önerilen algoritmanın bu güç sistemi probleminde etkili olduğunu açık bir şekilde göstermektedir.

Fitness Distance Balance Based Triangulation Topology Aggregation Optimizer for Optimal Power Flow Including Renewable Energy Sources

Keywords

Optimal Power Flow,
Triangulation Topology
Aggregation Optimizer,
Solar Power,
Wind Power

Abstract: With the substantial increase in the amount of energy demanded and consumed today, there is also an increase in energy generation from renewable energy sources. Including renewable energy sources in an electrical grid and using them introduces the problem of planning the network in the most economical and efficient way. This thesis addresses the optimal power flow problem, which is one of the power system problems integrated with wind and solar power, both renewable energy sources. The optimal power flow problem is an optimization problem with a nonlinear structure and various constraints, where the best values of control parameters are determined. Additionally, combining the nature of solar and wind energy increases the complexity of the problem. Heuristic search algorithms, which are a type of artificial intelligence technique, are preferred in solving such problems. In this paper, the Triangulation Topology Aggregation Optimizer (TTAO) algorithm was first developed based on distance adequacy balance for the solution of the optimal power flow problem. The developed algorithm was applied to the optimal power flow problem including wind and solar energy sources and compared with the results of different algorithms in the literature. The obtained results clearly show that the proposed algorithm is effective in this power system problem.

1. Giriş

Teknolojinin sürekli olarak gelişmesiyle birlikte talep edilen ve tüketilen enerji miktarında çok yoğun artış olmaktadır. Ayrıca elektrik enerjisinin üretiminde fosil yakıt kullanımının elektriksel güç talebinin artışıyla doğru orantılı olarak artması, doğaya verilen zararın da artmasına neden olmuştur. Günümüzde elektrik enerjisi ihtiyacının karşılanması ve doğaya verilen zararın azaltılması amacıyla yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı ile enerji üretiminde artış durumu söz konusu olmuştur [1]. Dünyada en çok kullanılan ve tercih edilen yenilenebilir enerji kaynaklarının başında rüzgar gücü ve güneş enerjisi gelmektedir. Bir elektrik şebekesine yenilenebilir enerji kaynaklarının dahil edilmesi ile birlikte şebekenin ekonomik ve verimli çalışabilmesi için en uygun şekilde planlanması problemini de ortaya çıkarmaktadır. Güç sistemlerinde en uygun işletim ve planlama süreçleri için en önemli problemlerden biri Optimal Güç Akışı (OGA) problemi olmuştur [2]. OGA probleminde temel amaç, çeşitli kısıtlar dikkate alınarak ve sistem güvenliği de ön planda tutularak, istenilen amaç doğrultusunda çalışmasını sağlayacak sistemin en uygun değişken parametrelerinin belirlenmesidir [3].

OGA problemi, yıllardır araştırmacıların ilgisini çekmiş ve problemin en iyi çözümünü bulmak için çok sayıda farklı yöntem uygulanmıştır. İlk olarak araştırmacılar OGA problemini çözmek için çeşitli matematiksel yöntemler uygulamışlardır. Bunlar özellikle, iç nokta yöntemi [4] lineer ve lineer olmayan programlama [5], kuadratik programlama [6] gibi yöntemler olduğu görülmektedir. Ancak, OGA probleminin lineer olmayan ve kompleks özelliklerinden dolayı bu tür yöntemlerden başarılı sonuçlar alınamamaktadır. Matematiksel yöntemlerle en uygun çözüm bulunamamasından dolayı ve dezavantajları ortadan kaldırmak amacıyla, yapay zekanın alt dallarından olan sezgisel arama algoritmaları OGA probleminin çözümünde kullanılmaya başlamıştır. Bu algoritmaların temellerini genetik algoritma [7], geliştirilmiş genetik algoritma [8], tabu arama [9], parçacık sürüsü [10] ve diferansiyel evrim algoritması [11] oluşturmaktadır.

Bununla birlikte, son yıllarda, artan ekonomik ve çevresel nedenlerden dolayı yenilenebilir enerji kaynaklarının dahil edildiği OGA probleminin çözülmesi için birçok araştırmacı tarafından çalışmalar yapılmıştır [12-30]. Özellikle 2017 yılında Partha P. Biswas ve arkadaşlarının [31] yapmış rüzgar ve güneş enerjisinin dahil edilmiş olduğu öncü bir çalışma bulunmaktadır. Araştırmacılar bu çalışmalarında, rüzgar dağılımını Weibull olasılık yoğunluk fonksiyonu ile güneş ışınımı ise lognormal PDF kullanarak modellemişlerdir. IEEE-30 bara sistemi, reaktif güç özelliklerine sahip rüzgar

jeneratörlerini ve güneş enerjisi PV'sini barındıracak şekilde değiştirmişlerdir. OGA probleminin çözümü için de uygun kısıtlama işleme yönteminin dahil edildiği uyarlanabilir diferansiyel evrim algoritmasını (SHADE-SF) önermişlerdir.

Günümüzde, sezgisel arama algoritmalarının optimizasyon problemlerinde kullanılması amacıyla yeni algoritmaların geliştirilmesi devam etmektedir. 2024 yılında Zhao ve arkadaşları tarafından, üçgen topolojik benzerlikten ilham alan ve farklı boyutlara sahip benzer üçgen topolojik birimlerin bir araya getirilmesiyle oluşturulan Üçgenleme Topolojisi Toplama İyileştiricisi (ÜTTİ) [32] ismi verilen yeni bir algoritma önerilmiştir. Yapılan çalışmada, ÜTTİ algoritması yenilenebilir enerji kaynaklarının dahil edildiği OGA probleminin çözümü için önerilmiştir. Ayrıca, algoritma arama uzayında tuzaklara takıldığı için, algoritmadaki keşif ve sömürü dengesinin iyileştirilmesi amacıyla Kahraman ve arkadaşları tarafından geliştirilen Uygunluk Mesafe Dengesi (UMD) [33] tabanlı iyileştirme yöntemi kullanılmıştır. Benzetim çalışmaları IEEE-30 bara sisteminde güneş ve rüzgar enerjilerinin dahil edilmesiyle elde edilen sistemde test edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, önerilen algoritmanın bu güç sistemi probleminde etkili olduğunu açık bir şekilde göstermektedir.

2. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Entegreli Optimal Güç Akışı

Teknolojik gelişmelerin ilerlemesiyle birlikte elektrik enerjisi üretiminin talep edilen miktarı karşılaması ve üretilen enerjinin kullanıcılarla buluşturulması karmaşık bir sistem oluşturmaktadır. Güç sistemlerinin yüksek verimde çalışması için güç akışı hesaplamalarının yapılması ve en uygun parametrelerin elde edilmesi, çözülmesi gereken önemli bir optimizasyon problemi haline gelmiştir. Bu optimizasyon problemi, Optimal Güç Akışı (OGA) problemi olarak adlandırılır. Bu bölümde OGA problemi, rüzgar gücü ve güneş enerjisi tanımlanmış; rüzgar gücünün ve güneş enerjisinin optimal güç akışına dahil edilmesiyle oluşturulan farklı problem çeşitleri açıklanmıştır.

2.1. Optimal güç akışı problemi

Bir sistemde en verimli güç akışını sağlamak ve bu doğrultuda uygun yöntemi bulmak, oldukça uğraştırıcı ve önem arz eden bir konudur. Bu problemi aşmak, sistemle ilgili verilen parametreler ve kısıtlamalar dahilinde en iyi sonuca varmak için yapılan çalışmaların bütünüyle mümkündür. Sistemde, doğrusal ve konveks olmayan iyileştirme problemini, verilen belirli parametrelere göre, eşitlik ve eşitsizlik sınırlamalarına bağlı kalarak en iyi kontrol parametrelerinin belirlenmesi işlemine Optimal Güç Akışı (OGA) problemi denilmektedir [11]. OGA

problemi genel olarak aşağıda yer alan denklemler ile ifade edilir:

$$\text{Min } F(x,u) \quad (1)$$

$$g(x,u)=0 \quad (2)$$

$$h(x,u)\leq 0 \quad (3)$$

Yukarıda yer alan formüllerde mevcut olan x ve u ifadeleri sırasıyla bağımlı ve bağımsız değişkenlerin oluşturduğu vektörleri ifade etmektedir. $F(x,u)$, minimum değeri elde edilmek istenilen amaç fonksiyonunu, $g(x,u)$ ve $h(x,u)$ fonksiyonları ise sırasıyla eşitlik sınırlarını ve eşitsizlik kısıtlarını tanımlayan fonksiyonlardır. x vektörü; salınım barasında yer alan generatörün aktif gücü P_{G1} , yük bara gerilimini V_L , generatörün reaktif gücü Q_G ve iletim hattı yükü S_i şeklinde tanımlanan bağımlı değişkenlerden oluşur ve Denklem (4)'teki gibi ifade edilir:

$$x = [P_{G1}, V_{L1} \dots V_{LN}, Q_{G1} \dots Q_{GNG}, S_{11} \dots S_{1NL}] \quad (4)$$

Yük bara sayısı, gerilim kontrollü generatör bara sayısı ve iletim hattı sayısı sırasıyla LN , NG ve NL şeklinde ifade edilmiştir.

Aynı şekilde u vektörü de; PV baralarındaki generatörlerin aktif gücü P_G , generatör bara gerilimleri V_G , şönt kapasiteleri Q_C ve transformatör kademe ayarları T şeklinde tanımlanan bağımsız değişkenlerden oluşur ve Denklem (5)'teki gibi ifade edilir:

$$u = [P_{G2} \dots P_{GNG}, V_{G1} \dots V_{GNG}, Q_{C1} \dots Q_{CNC}, T_1 \dots T_{NTL}] \quad (5)$$

Gerilim kontrollü generatör bara sayısı, kapasitanslı bara sayısı ve transformatörlü bara sayısı sırasıyla NG , NC ve NT şeklinde ifade edilmiştir.

2.1.1 Kısıtlamalar

Sistemin istenen düzeyde verimli çalışması için, sistemde kullanılan elemanların belirlenen kurallar çerçevesinde çalışması esastır. Bu kurallar, eşitlik ve eşitsizlik kısıtlamaları olmak üzere ikiye ayrılır.

2.1.1.1 Eşitlik kısıtlamaları

Denklem (2)'de g olarak genel bir formülle belirtilen eşitlik kısıtlamaları aşağıdaki gibi tanımlanabilir.

$$P_{Gi} - P_{Di} - V_i \sum_{j=1}^{NB} V_j [G_{ij} \cos(\delta_i - \delta_j) + B_{ij} \sin(\delta_i - \delta_j)] = 0 \quad (6)$$

$$Q_{Gi} - Q_{Di} - V_i \sum_{j=1}^{NB} V_j [G_{ij} \sin(\delta_i - \delta_j) - B_{ij} \cos(\delta_i - \delta_j)] = 0 \quad (7)$$

2.1.1.2 Eşitsizlik kısıtlamaları

Denklem (3)'te h ifadesiyle sembolize edilen eşitsizlik kısıtlamaları, güç sistemlerinin çalışmasında etken olan generatör, transformatör, şönt kapasite ve iletim hattına bağlı gerilim ve yük değerlerinin belirlenen sınır aralıkları içinde kalması şeklinde ifade edilebilir. OGA'nın en verimli sağlanabilmesi için, sistem elemanları için belirlenen değerler sınırlarında çalışması zorunludur. Dört ana başlık altında saydığımız sistem elemanlarının kısıtlamalarını şöyle tanımlayabiliriz.

2.1.1.2.1 Generatör kısıtlamaları

Aktif ve reaktif güçlerinin sınırlamaları:

$$V_{Gi}^{min} \leq V_{Gi} \leq V_{Gi}^{max}, \quad i = 1, 2, \dots, NG \quad (8)$$

$$P_{Gi}^{min} \leq P_{Gi} \leq P_{Gi}^{max}, \quad i = 1, 2, \dots, NG \quad (9)$$

$$Q_{Gi}^{min} \leq Q_{Gi} \leq Q_{Gi}^{max}, \quad i = 1, 2, \dots, NG \quad (10)$$

şeklinde tanımlanır. V_{Gi}^{min} ve V_{Gi}^{max} i generatörünün minimum ve maksimum bara gerilimi değerini, P_{Gi}^{min} ve P_{Gi}^{max} i generatörünün sırasıyla minimum ve maksimum aktif güç değerlerini, Q_{Gi}^{min} ve Q_{Gi}^{max} i generatörünün minimum ve maksimum reaktif güç değerlerini ifade eder.

2.1.1.2.2 Transformatör kısıtlamaları

Kademe ayar sınırlamaları:

$$T_i^{min} \leq T_i \leq T_i^{max}, \quad i = 1, 2, \dots, NT \quad (11)$$

şeklinde tanımlanır. T_i^{min} ve T_i^{max} i transformatörünün minimum ve maksimum kademe değerlerini ifade eder.

2.1.1.2.3 Şönt kapasite kısıtlamaları

Şönt kapasite sınırlamaları:

$$Q_{Ci}^{min} \leq Q_{Ci} \leq Q_{Ci}^{max}, \quad i = 1, 2, \dots, NC \quad (12)$$

şeklinde tanımlanır. Q_{Ci}^{min} ve Q_{Ci}^{max} i barasının şönt kapasite değerinin minimum ve maksimum kademe değerlerini ifade eder.

2.1.1.2.4 Güvenlik kısıtlamaları

Bu bölümde, yük baralarının gerilim değerleri ve iletim hattının akış değerlerinin limit sınırları belirlenir:

$$V_{Li}^{min} \leq V_{Li} \leq V_{Li}^{max}, \quad i = 1, 2, \dots, LN \quad (13)$$

$$S_{li} \leq S_{li}^{max}, \quad i = 1, 2, \dots, NL \quad (14)$$

şeklinde tanımlanır. V_{Li}^{min} ve V_{Li}^{max} i barasının minimum ve maksimum gerilimlerini, S_{Li}^{max} i iletim hattının maksimum akış limitini ifade eder.

2.2. Rüzgar enerjisi

Rüzgar hareketinin sahip olduğu kinetik enerjiye bağlı olarak ortaya çıkan enerji, rüzgar enerjisi olarak adlandırılır. Ortaya çıkan enerji, mekanik ve elektrik enerjisine dönüştürülür ve yaygın olarak kullanılır. Rüzgar enerjisi yenilenebilir bir enerji kaynağıdır. Çevreye zararlı bir atık yaymayan temiz bir enerjidir. Günümüzde rüzgar enerjisi genellikle elektrik üretiminde kullanılmaktadır. Fosil yakıtların doğaya ciddi şekilde zarar vermesi ve küresel ısınmanın etkilerini artırması ve bu kaynağın rezervleri tükenmesi ile birlikte daha temiz ve tükenmeyen güneş, rüzgar, su, biyogaz gibi yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretimi yaygınlaşmıştır. Rüzgar enerjisi de günümüz enerji sistemleri arasında bu bakımdan önemli bir konumdadır.

2.2.1 Rüzgar gücü maliyeti

Genel olarak OGA problemleri sistemde termal generatör olduğunda uygulanır. Termal generatörlü sistemlerde elektrik enerjisi üretiminde kullanılan yakıtlar, optimal güç akışı problemleri arasında en önemlilerinden biri olan maliyet hesabına doğrudan etkilidir. Son zamanlarda çevresel faktörlerin de etkisiyle termal generatörlere alternatif olarak büyük enerji sistemlerine entegre edilen yenilenebilir enerji kaynaklarından olan rüzgar türbinleri de kullanılabilir. Termal generatörlerin aksine rüzgar türbinleri enerji üretiminde herhangi bir yakıt kullanmadıkları için, maliyet hesaplamaları farklı parametreler yardımıyla yapılmaktadır [31]. Rüzgar santrallerinin maliyet hesabı yapılırken rüzgar santrallerinden gelen asıl gücün tahmin edilenden daha az olması durumu, fazla tahmin (overestimation) maliyeti ve rüzgar santrallerinden gelen asıl gücün tahmin edilenden daha fazla olması durumu, az tahmin (underestimation) maliyeti olarak iki farklı durum göz önünde bulundurulur [34].

Rüzgar gücünün maliyet hesaplama formülü Denklem (15)'teki gibi tanımlanabilir:

$$C_W = \sum_{j=1}^{NW} (P_W \text{Cost}_{dir,j} + P_W \text{Cost}_{oe,j} + P_W \text{Cost}_{ue,j}) \quad (15)$$

Formüldeki $P_W \text{Cost}_{dir,j}$ ifadesi rüzgar gücünün maliyetini, $P_W \text{Cost}_{oe,j}$ ve $P_W \text{Cost}_{ue,j}$ ifadeleri ise j . rüzgar gücü generatörünün fazla ve az tahmin maliyetlerini diğer bir deyişle ayrılmış ve ceza maliyetini temsil eder. Rüzgar gücü maliyeti Denklem (16)'daki gibi tanımlanabilir:

$$P_W \text{Cost}_{dir} = \sum_{j=1}^{NW} (q_j \times w_j) \quad (16)$$

q_j ve w_j simgeleri sırasıyla elektrik enerjisi maliyet katsayısını (\$/MW) ve j . rüzgar generatörünün üretilen gerçek gücünü (MW) temsil eder [34].

Fazla tahmin maliyeti Denklem (17)'deki gibi tanımlanabilir:

$$P_W \text{Cost}_{oe} = \sum_{j=1}^{NW} (C_{rvj} \times E(Y_{oe,j})) \quad (17)$$

C_{rvj} ve $E(Y_{oe,j})$ ifadeleri j . rüzgar generatörünün fazla tahmin maliyet katsayısını ve beklenen değerini temsil eder. Fazla tahmin için rüzgar generatörünün beklenen değeri daha ayrıntılı olarak:

$$E(Y_{oe,j}) = w_j \left[1 - \exp\left(-\frac{v_{in,j}^{K_j}}{C_j^{K_j}}\right) + \exp\left(-\frac{v_{out,j}^{K_j}}{C_j^{K_j}}\right) \right] + \left(\frac{w_{r,j} v_{in,j}}{v_{r,j} - v_{in,j}} + w_j \right) \left[\exp\left(-\frac{v_{in,j}^{K_j}}{C_j^{K_j}}\right) - \exp\left(-\frac{v_{out,j}^{K_j}}{C_j^{K_j}}\right) \right] + \left(\frac{w_{r,j} C_j}{v_{r,j} - v_{in,j}} \right) \left[\Gamma\left(1 + \frac{1}{K_j}, \left(\frac{v_{in,j}}{C_j}\right)^{K_j}\right) - \Gamma\left(1 + \frac{1}{K_j}, \left(\frac{v_{out,j}}{C_j}\right)^{K_j}\right) \right] \quad (18)$$

şeklinde ifade edilir [34].

Az tahmin maliyeti Denklem (19)'daki gibi tanımlanabilir:

$$P_W \text{Cost}_{ue} = \sum_{j=1}^{NW} (C_{pvj} \times E(Y_{ue,j})) \quad (19)$$

C_{pvj} ve $E(Y_{ue,j})$ ifadeleri j . rüzgar generatörünün az tahmin maliyet katsayısını ve beklenen değerini temsil eder. Burada, az tahmin rüzgar generatörünün beklenen değeri Denklem (20)'deki gibi ifade edilir:

$$E(Y_{ue,j}) = (w_{r,j} - w_j) \left[\exp\left(-\frac{v_{r,j}^{K_j}}{C_j^{K_j}}\right) - \exp\left(-\frac{v_{out,j}^{K_j}}{C_j^{K_j}}\right) \right] + \left(\frac{w_{r,j} v_{in,j}}{v_{r,j} - v_{in,j}} + w_j \right) \left[\exp\left(-\frac{v_{r,j}^{K_j}}{C_j^{K_j}}\right) - \exp\left(-\frac{v_{out,j}^{K_j}}{C_j^{K_j}}\right) \right] + \left(\frac{w_{r,j} C_j}{v_{r,j} - v_{in,j}} \right) \left[\Gamma\left(1 + \frac{1}{K_j}, \left(\frac{v_{in,j}}{C_j}\right)^{K_j}\right) - \Gamma\left(1 + \frac{1}{K_j}, \left(\frac{v_{out,j}}{C_j}\right)^{K_j}\right) \right] \quad (20)$$

Denklem (18) ve Denklem (20)'de geçen ifadeler:

$\Gamma(\cdot)$ tamamlanmamış gama fonksiyonunu, K_j , C_j j . rüzgar generatörünün Weibull dağılımına ait biçim ve ölçek çarpanını, v_r , v_{in} , v_{out} rüzgarının nominal, devreye girme ve devreden çıkma hızlarını, v_1 aracı parametreyi $v_1 = v_{in} + (v_r - v_{in}) w_1/w_r$ w_j ve $w_{r,j}$ j . rüzgar generatörünün üretilen ve nominal gücünü temsil eder.

2.2.2 Rüzgar gücü karakterizasyonu

Rüzgar gücü kullanan sistemlerde , rüzgarın hızının kontrol edilmesi en önemli konudur. Çünkü , doğada rüzgarın hızı belirsizdir ve her şiddette olabilir. Weibull dağılımı,rüzgar hızını kontrol etmenin yaygın olarak kullanıldığı yöntemlerden biridir [21]. Weibull dağılımı Denklem (21)'deki gibi tanımlanabilir:

$$f_v(v) = \left(\frac{k}{c}\right) \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} e^{-(v/c)^k}, \quad 0 < v < \infty \quad (21)$$

Formülde v rüzgar hızının olasılığını, k ve c sırasıyla biçim ve ölçek çarpanını temsil eder [23].

Weibull dağılımının ortalaması:

$$\mu = c\Gamma(1+k^{-1}) \quad (22)$$

şeklinde tanımlanabilir. Formüldeki gama fonksiyonu $\Gamma(x)$ ise Denklem (23)'te belirtilmiştir.

$$\Gamma(x) = \int_0^{\infty} t^{x-1} e^{-t} dt \quad (23)$$

Rüzgar generatörünün rüzgar hızına göre fonksiyonu Denklem (24)'te belirtildiği gibidir.

$$P_w(v) = \begin{cases} 0 & , \quad v < v_{in} \text{ ve } v > v_{out} \\ P_{wr} \left(\frac{v-v_{in}}{v_r-v_{in}} \right) & , \quad v_{in} \leq v \leq v_r \\ P_{wr} & , \quad v_r < v \leq v_{out} \end{cases} \quad (24)$$

Formüldeki rüzgar hızı, devreye girme hızından düşük ve devreden çıkma hızından büyük ise çıkış gücü sıfır olur. Eğer rüzgar hızı, nominal hız ve devreden çıkma hızının arasında ise çıkış gücü nominal güce eşittir. Bu belirli sınırlar için, olasılıklar:

$$f_w(p_w) \{p_w = 0\} = 1 - \exp\left[-\left(\frac{v_{in}}{c}\right)^k\right] + \exp\left[-\left(\frac{v_{out}}{c}\right)^k\right] \quad (25)$$

$$f_w(p_w) \{p_w = p_{wr}\} = \exp\left[-\left(\frac{v_r}{c}\right)^k\right] - \exp\left[-\left(\frac{v_{out}}{c}\right)^k\right] \quad (26)$$

şeklinde verilebilir. Denklem (24)'teki rüzgar hızı, devreye girme hızı ve nominal hız arasında ise olasılık formülü:

$$f_w(p_w) = \frac{k(v_r-v_{in})}{c^k * p_{wr}} \left[v_{in} + \frac{p_w}{p_{wr}}(v_r-v_{in}) \right]^{k-1} \exp\left[-\left(\frac{v_{in} + \frac{p_w}{p_{wr}}(v_r-v_{in})}{c}\right)^k\right] \quad (27)$$

şeklinde hesaplanabilir [35].

2.3. Güneş enerjisi

Geleneksel termik enerji jeneratörlerinin aksine, güneş enerjisi jeneratörleri yakıt gerektirmez. Güneş PV santrallerinin bağımsız sistem operatörüne (ISO) ait olduğu durumda, ISO, güneş PV santralleri için ilk harcamaya bir miktar geri ödeme maliyeti atamak veya bunu bir bakım ve yenileme maliyeti olarak atamak istemediği sürece, güneş PV santralleri yakıt gerektirmediğinden maliyet fonksiyonu mevcut olmayabilir [24]. Ancak, güneş enerjisi santralleri özel taraflara ait olduğunda, ISO sözleşmeyle kararlaştırılan planlanmış güce orantılı bir fiyat öder.

2.3.1 Güneş gücü maliyeti

Rüzgar enerjisi santrali gibi, güneş enerjisi santrali de kesintili ve belirsiz çıktıya sahiptir. Prensipten olarak, güneş enerjisinin fazla ve eksik tahminine yaklaşım rüzgar enerjisi ile aynı olacaktır. Bununla birlikte, güneş ışınımı, Weibull PDF'sini takip ettiği bilinen rüzgar dağılımından farklı olarak lognormal PDF [25] izlediğinden, hesaplamada kolaylık sağlamak için rezerv ve ceza maliyeti modelleri [9]'da sunulan konseptte dayalı olarak oluşturulmuştur.

k' 'nci güneş PV santrali için rezerv maliyeti şöyledir:

$$\begin{aligned} C_{RS,k}(P_{ss,k} - P_{sav,k}) &= K_{RS,k}(P_{ss,k} - P_{sav,k}) \\ &= K_{RS,k} * f_s(P_{sav,k} < P_{ss,k}) \\ &* [P_{ss,k} - E(P_{sav,k} < P_{ss,k})] \end{aligned} \quad (28)$$

Burada, $K_{RS,k}$ k' 'nci güneş enerjisi santraline ait rezerv maliyet katsayısı, $P_{sav,k}$ aynı santralden elde edilen gerçek kullanılabilir güçtür.

$f_s(P_{sav,k} < P_{ss,k})$ güneş enerjisi açığı oluşma olasılığıdır. $E(P_{sav,k} < P_{ss,k})$, planlanan güçten ($P_{ss,k}$) daha düşük güneş PV gücü beklentisidir.

k' 'nci güneş enerjisi santralinin düşük tahmin edilmesi için ceza maliyeti şöyledir:

$$\begin{aligned} C_{PS,k}(P_{sav,k} - P_{ss,k}) &= K_{PS,k}(P_{sav,k} - P_{ss,k}) \\ &= K_{PS,k} * f_s(P_{sav,k} > P_{ss,k}) \\ &* [E(P_{sav,k} > P_{ss,k}) - P_{ss,k}] \end{aligned} \quad (29)$$

Burada, $K_{PS,k}$ k' 'nci güneş enerjisi santraline ait ceza maliyeti katsayısı,

$f_s(P_{sav,k} > P_{ss,k})$ planlanan güçten ($P_{ss,k}$) fazla güneş enerjisi gücü olasılığı,

$E(P_{sav,k} > P_{ss,k})$ $P_{ss,k}$ 'nın üzerindeki güneş enerjisi gücü beklentisidir.

2.4. Amaç fonksiyonu

OGA probleminde kullanılmak üzere iki amaç fonksiyonu kullanılmıştır. Bunlardan birincisi, tüm maliyet fonksiyonlarını içerecek şekilde olup emisyon maliyeti dahil edilmemiş haliyle aşağıdaki denklemde sunulmuştur.

$$\begin{aligned}
F_1 = C_T(P_{TG}) + \sum_{j=1}^{N_{WG}} [C_{w,j}(P_{ws,j}) \\
+ C_{RW,j}(P_{ws,j} - P_{wav,j}) \\
+ C_{Pw,j}(P_{wav,j} - P_{ws,j})] \\
+ \sum_{k=1}^{N_{SG}} [C_{s,k}(P_{ss,k}) \\
+ C_{Rs,k}(P_{ss,k} - P_{sav,k}) \\
+ C_{Ps,k}(P_{sav,k} - P_{ss,k})] \quad (30)
\end{aligned}$$

İkinci amaç fonksiyonu olarak da karbon vergisi uygulandığında üretim maliyetini görmek için, emisyon maliyetinin eklendiği aşağıda verilen denklem oluşturulmuştur [31].

$$F2 = F1 + C_{tax}E \quad (31)$$

3. Yöntem ve Metot

Bu çalışmada OGA Probleminin çözümde kullanılmak üzere Üçgenleme Topolojisi Toplama İyileştiricisi (ÜTTİ) algoritması ve mesafe uygunluk dengesi algoritması tabanlı geliştirilmiş hali önerilmiştir.

3.1. Üçgenleme topolojisi toplama iyileştiricisi

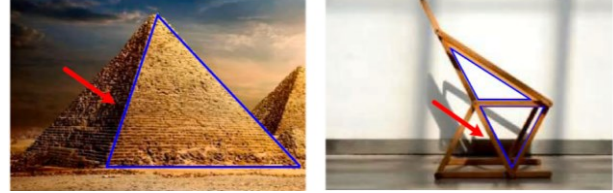
Üçgen düzlem geometrisindeki en temel grafikdir. Sonlu veya sonsuz boyutlu bir uzayda üçgen bir topoloji, 2 boyutlu alt uzayının altındaki bir grafik olarak kabul edilebilir. Bazı kapalı sistemlerde üçgen diğer topolojilerden daha basit ve daha kararlıdır. Şekil 1 üçgen topolojinin gerçek hayattaki uygulamalarını göstermektedir. Bu avantaj nedeniyle, birçok alan genellikle araştırma nesnesini üçgen topolojik birimlere böler ve tanımlama ve analiz için ilgili modeller oluşturur [36, 37].

Üçgen benzerliği geometrinin en önemli özelliklerinden biridir. Bir çokgen, hesaplamalı geometri ve bilgisayar bilimi için önemli bir uygulama değeri olan bir üçgen birleşiminden oluşabilir [38,39]. Ayrıca pratik mühendislik uygulamalarında ölçülmesi zor olan yükseklik veya mesafe problemi benzer üçgenler kullanılarak çözülebilir. Görüntü tanıma için, benzer üçgenlerin karşılık gelen köşeleri arasındaki mesafeye göre iki özelliğin ilişkili olup olmadığına da karar verilebilir. Matematikte iki üçgenin benzer karar teoremleri aşağıdaki gibidir. Şekil 2(a)-(d) sırasıyla dört karar teoremine ilişkin şemaları göstermektedir.

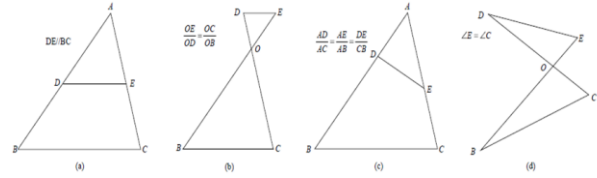
- Yeni oluşan üçgenin, orijinal üçgenin bir kenarına paralel bir kenarı vardır ve bu çizginin uzatma çizgisi, orijinal üçgene benzer şekilde diğer kenarları veya her iki tarafın uzatma çizgilerini keser;

- İki üçgenin karşılık gelen kenarlarının oranları ve açıları eşitse, iki üçgen benzer kabul edilebilir;
- Karşılık gelen kenarları eşit oranda olan bir üçgen başka bir üçgene benzer;
- İki üçgenin açıları eşitse iki üçgen benzerdir.

Önerilen ÜTTİ algoritması benzer üçgenlere dayanmaktadır. Yinelemeli evrimle, arama uzayında sürekli olarak yeni köşe noktaları oluşturulur ve farklı boyutlarda benzer üçgenler oluşturmak için kullanılır.



Şekil 1. Üçgen topolojilerin gerçek hayattaki uygulamaları



Şekil 2. Benzer üçgen topolojiler: (a) Değerlendirme yöntemi 1, (b) Değerlendirme yöntemi 2, (c) Değerlendirme yöntemi 3 ve (d) Değerlendirme yöntemi 4

3.2. Matematiksel modelin oluşturulması

Bu alt bölümde önerilen ÜTTİ algoritmasına ilişkin matematiksel model açıklanmaktadır. ÜTTİ'nun optimizasyon süreci temel olarak iki aşamadan, yani farklı ve aynı birimler arasındaki birleştirmeden oluşur.

3.2.1 Başlatma

İlk olarak, ÜTTİ algoritması optimizasyon sürecini başlatmak için popülasyonu başlatır. Popülasyon büyüklüğü N ve değişken boyut D verilmiştir. Üçgen topolojik birimdeki her köşe bir arama aracısını temsil eder. ÜTTİ algoritmasında, birey sayısı N , $\lfloor N/3 \rfloor$ üçgen topolojik birimlere bölünebilir; burada $\lfloor \cdot \rfloor$, aşağı yuvarlanmayı gösterir. Ekstra bireyler arama uzayında rastgele oluşturulur. Başlatma aşamasında uygun bölgede rastgele $\lfloor N/3 \rfloor$ etmenleri üretilir ve her bireyin ürettiği matematiksel ifade şu şekilde hesaplanır:

$$\vec{X}_{i,1} = r_0 \times (\vec{UB} - \vec{LB}) + \vec{LB} \quad (32)$$

burada $\vec{X}_{i,1}$ i 'inci üçgen topolojik birimdeki ilk aranan bireyi temsil eder ve i , 1 ile $\lfloor N/3 \rfloor$ arasında pozitif bir tamsayıdır. r_0 , $[0, 1]$ arasında rastgele bir sayıyı belirtir; \vec{LB} ve \vec{UB} değişkenlerin alt ve üst sınırlarıdır ve matematiksel ifadeleri şu şekilde tanımlanabilir:

$$\overrightarrow{LB} = [lb_1, \dots, lb_D] \quad (33)$$

$$\overrightarrow{UB} = [ub_1, \dots, ub_D] \quad (34)$$

3.2.2 Üçgen topolojik birimlerin oluşumu

Belirli bir problemin boyutu genellikle 2'den büyük olduğundan, ÜTTİ algoritmasında yalnızca her iki boyutlu yüzeyin bir eşkenar üçgen olması garanti edilir. Üçgen topolojik birimlerin oluşumu, kutupsal bir koordinat ile sıradan bir koordinat sistemi arasındaki dönüşümü kullanır [40]. Uzunluğu $l * f \rightarrow$ olan yeni bir yön vektörü, küresel bir koordinat sisteminde başlangıç köşesi olarak birinci köşe kullanılarak yerleştirilir ve ikinci köşeyi oluşturmak için trigonometrik fonksiyonla sıradan bir koordinat sistemine dönüştürülür.

Uzunluğu $l * f \rightarrow$ olan oluşturulan yön vektörü saat yönünün tersine $\pi/3$ döndürülür ve ardından üçüncü tepe noktasını elde etmek için koordinat sistemi tarafından dönüştürülür. Bu köşelerin ifadesi şu şekilde yazılabilir:

$$\overrightarrow{X_{i,2}} = \overrightarrow{X_{i,1}} + l * \overrightarrow{f(\theta)} \quad (35)$$

$$\overrightarrow{X_{i,3}} = \overrightarrow{X_{i,1}} + l * \overrightarrow{f\left(\theta + \frac{\pi}{3}\right)} \quad (36)$$

burada l , matematiksel olarak şu şekilde ifade edilen üçgen bir topolojik birimin boyutunu temsil eder:

$$l = 9 * e^{-\frac{1}{T}} \quad (37)$$

Denklem(37)'de, t mevcut yineleme sayısını temsil eder. T maksimum yineleme sayısını belirtir. Tekrar sayısı arttıkça l azalır. İlk aşamalarda birim, küresel aramaya odaklanmak için daha geniş bir arama aralığı oluşturabilir. Daha sonraki aşamalarda toplanıp umut verici bir yönde derinden gelişir. Üçgen topolojik birimin daha sonraki iterasyonlarda da üretilebilmesini sağlamak için l değeri 0'a düşmeyecektir. Bu kurulum aynı zamanda aşırı kullanımın yerel bir ekstremumda sıkışıp kalmasını da önler ve ilk noktanın yönlendirdiği diğer iki kenarın yön vektörlerini temsil eder. Denklem (38) ve Denklem (39) ile hesaplanır.

$$\overrightarrow{f(\theta)} = [\cos\theta_1, \cos\theta_2, \dots, \cos\theta_{D-1}, \cos\theta_D] \quad (38)$$

$$\overrightarrow{f\left(\theta + \frac{\pi}{3}\right)} = \left[\cos\left(\theta_1 + \frac{\pi}{3}\right), \dots, \cos\left(\theta_{D-1} + \frac{\pi}{3}\right), \cos\left(\theta_D + \frac{\pi}{3}\right) \right] \quad (39)$$

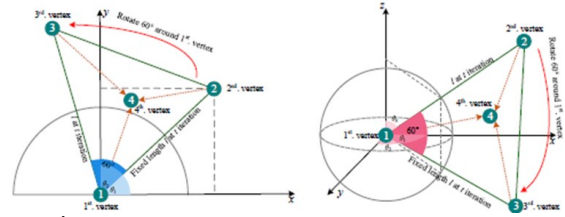
Burada $\theta \rightarrow = [\theta_1, \dots, \theta_D]$ ve $\theta_j (j = 1, \dots, D)$ $[0, \pi]$ arasındaki rastgele sayılardır.

Üçgen topolojik birimlerin her bir grubu dahili olarak dördüncü köşede toplanır. Bu nokta, bireysel bilgilerin kullanılması için doğrusal ağırlıklı bir şekilde oluşturulmuştur. Dördüncü köşe şu şekilde tanımlanır:

$$\overrightarrow{X_{i,4}} = r_1 * \overrightarrow{X_{i,1}} + r_2 * \overrightarrow{X_{i,2}} + r_3 * \overrightarrow{X_{i,3}} \quad (40)$$

burada r_1, r_2 ve r_3 , $[0, 1]$ arasında rastgele sayılardır ve $r_1 + r_2 + r_3 = 1$ 'dir. Dolayısıyla dördüncü arama aracı her üçgen topolojik birimin içindedir.

Her yinelemenin başlangıcında, bir tepe noktasından ve aynı uzunluktaki iki kenardan yeni benzer üçgen topolojik birim elde edilir ve yinelemeler sırasında kenar uzunluğu dinamik olarak değişir. Her üniteye en iyi tepe noktası, her yinelemede öncü tepe noktası olarak düşünülebilir ve bu, her ünite için diğer bireylerin evrimine rehberlik eder. Ayrıca diğer köşeler de en iyi köşeye göre oluşturulur. Şekil 3 (a) ve (b), 2 ve 3 boyutlu uzayda üçgen topolojik birimlerin yapısını göstermektedir.

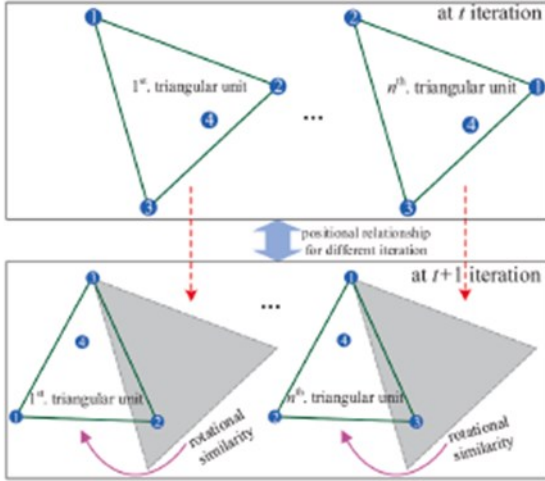


Şekil 3. İki ve üç boyutlu uzayda oluşturulan üçgen topolojik birimlerin şematik diyagramı

Şekil 3.3 (a)'da her birim için ilk (en iyi) tepe noktası yer almaktadır. Kutupsal bir koordinat ile sıradan bir koordinat sistemi arasında dönüşümler meydana gelir. Sabit uzunluklu l rastgele yön vektörü $[\theta_1, \theta_2]$ oluşturuldu ve açıları vurgulamak için farklı renkler kullanıldı.

Daha sonra ikinci köşe trigonometrik fonksiyonla normal koordinat sistemine dönüştürülür. Birinci köşe ve ikinci köşeden oluşan sabit uzunluktaki vektör 60° yani $l * [\theta_1 + \pi/3, \theta_2 + \pi/3]$ döndürülür ve üçüncü köşeyi elde etmek için sıradan bir koordinat sistemine dönüştürülür. Koordinat sisteminin mutlaka standart koordinat sistemi olması gerekmediğini ve dolayısıyla θ 'nın keyfi olarak üretildiğini ve yalnızca \cos fonksiyonu tarafından düzenlendiğini belirtmekte fayda vardır. İlk üç köşe dördüncü köşeyi oluşturacak şekilde doğrusal olarak ağırlıklandırılır. 3 boyutlu uzay için kutupsal koordinattaki $l * [\theta_1, \theta_2, \theta_3]$ ve $l * [\theta_1 + \pi/3, \theta_2 + \pi/3, \theta_3 + \pi/3]$ vektörleri ikinci köşeyi ve üçüncü köşeyi elde etmek için sıradan bir koordinat sistemine dönüştürülür. Şekil 3.3 (b), üçgen birimi x-z düzlemleriyle göstermektedir.

Şekil 3.4, benzer birimin 2 boyutlu uzay için aynı periyottaki ve farklı periyotlardaki durumlarını açıklamaktadır. θ 'nın rastgeleliği nedeniyle, t zamanındaki her üçgen topolojik birim aynı boyutu ve yönü, yani uyumu gösterir. Farklı zamanlar için üçgen topoloji ünitesinin yönü dönüşten sonra tutarlıdır. Eğer üçgensel zaman birimi t , üçgensel zaman birimi $t+1$ 'deki bir tepe noktasına aktarılırsa, ikisi dönme açısından benzerdir. Daha sonra, her grup içindeki veya üçgen topolojik birimlerin farklı grupları arasındaki bireyler, küresel aramayı ve yerel madenciliği gerçekleştirmek için bilgi alışverişinde bulunabilir.



Şekil 4. Üçgen topoloji biriminin iki boyutlu uzaydaki durumları

3.2.3 Genel toplama

Genel toplama, keşif aşamasına vurgu yapar. Bu aşamada farklı üçgen birimlerdeki iyi bireylerin bilgileri toplanır ve yeni uygulanabilir çözümler üretilir. Bilgi etkileşimi, her üçgen topolojik birimdeki en iyi birey ile rastgele seçilen herhangi bir birim kümesindeki en iyi birey arasında meydana gelir. GA'daki gen geçişinden esinlenerek bir bilgi etkileşim mekanizması özelleştirilmiştir [41]. İki pozitif bireyin her boyut değişkeni arasında farklı ağırlıkların doğrusal bir kombinasyonu vardır. Yeni birey, matematiksel olarak şu şekilde ifade edilen daha iyi iki köşe bağlantısında üretilir:

$$\overrightarrow{X_{i,new1}^{t+1}} = r_4 * \overrightarrow{X_{i,best}^t} + (1 - r_4) * \overrightarrow{X_{rand,best}^t} \quad (41)$$

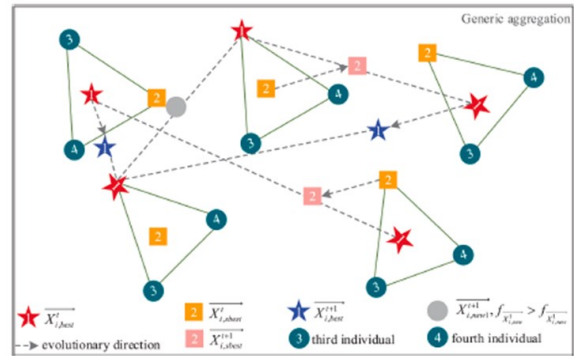
burada r_4 , $[0, 1]$ arasında rastgele bir sayıdır. $\overrightarrow{X_{i,best}^t}$ ve $\overrightarrow{X_{rand,best}^t}$, i birimi için en iyi bireyi ve t 'inci yinelemede rastgele seçilen bir birimi belirtir. Ayrıca, $X_{i,new1}^{t+1}$ 'nin uygunluk değeri, optimal veya optimal altı arama ajanı ile karşılaştırılır ve optimal ajan güncellenir. Bir minimizasyon problemi varsayarak, $(t+1)$ 'inci iterasyonda güncellenen

optimal ve suboptimal bireylerin matematiksel ifadeleri şu şekildedir:

$$\begin{cases} \overrightarrow{X_{i,best}^{t+1}} = \overrightarrow{X_{i,new1}^{t+1}} & f_{X_{i,new1}^{t+1}} < f_{X_{i,best}^t} \\ \overrightarrow{X_{i,best}^t} = \overrightarrow{X_{i,new1}^{t+1}} & f_{X_{i,new1}^{t+1}} < f_{X_{i,best}^t} \end{cases} \quad (42)$$

burada $X_{i,sbest}^t \rightarrow i$ 'inci yinelemedeki optimal olmayan bireyi temsil eder. $f(.)$ verilen problemin bir fonksiyonudur.

Şekil 5, optimal ajanın ve optimal olmayan ajanın güncelleme ayrıntılarını açıklamaktadır. Bir birimdeki her köşenin sayısı, uygunluk değerinin sıralamasını temsil eder. Üç farklı hareket yolu dahildir. Birincisi, çapraz bireylerin orijinal konumdan daha iyi olduğu yerdir; örneğin, sol üst birim ve sol alt birim, sağ üst birim ve sol alt birim. İkincisi, çaprazlanan bireyin optimal olmayan konumdan daha iyi olmasıdır; örneğin, üstteki ikinci ünite ile sağ üst ünite, sol üst ünite ile sağ alt ünite. Yukarıdaki sol alt üniteyle birlikte ikinci ünite, çaprazlamadan sonra en kötü bireyi temsil ediyor. Gruplar arasındaki bilgi alışverişi, popülasyon çeşitliliğini artırmaya ve bireylerin yeterince keşfetmesine olanak sağlamaya yardımcı olur.



Şekil 5. Çoklu üçgen topolojik birimlerin genel toplanması

3.2.4 Yerel toplama

Yerel toplama esas olarak kullanım aşamasını vurgulamaktadır. Bu aşamada üçgen topolojik birimler dahili olarak toplanır. Bir önceki aşamadan sonra güncellenen optimal veya suboptimal bireyler ile gruptaki iyi uygunluk değerlerine sahip iki köşe arasında geçici olarak üçgen bir topoloji oluşturuldu. Bu durumda topolojinin eşkenar üçgen olması şart değildir. Optimal bireyin konumu, optimal ve optimal olmayan bireylerin oluşturduğu hareket vektörü farkına bağlı olarak yerel bir bölge (hem yön hem de adım boyutu açısından) tarafından bozulur. Böylece, her topolojik üçgen biriminin kullanımını gerçekleştirmek için her grup belirli bir yerel alanda yeniden araştırılır.

Yeni tepe noktası şu şekilde hesaplanır:

$$\overrightarrow{X_{i,new2}^{t+1}} = \overrightarrow{X_{i,best}^{t+1}} + \alpha * (\overrightarrow{X_{i,best}^{t+1}} - \overrightarrow{X_{i,sbest}^{t+1}}) \quad (43)$$

burada α azalması toplama kapsamı boyutunu ayarlamayı sağlar. α şu şekilde hesaplanabilir:

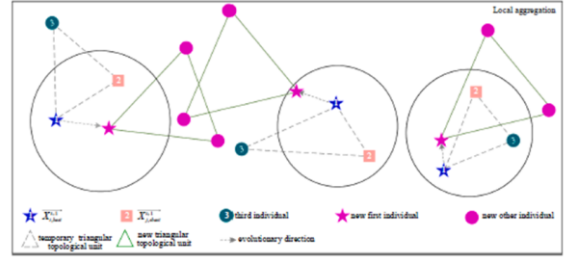
$$\alpha = \ln\left(\frac{e - e^3}{T - 1}t + e^3 - \frac{e - e^3}{T - 1}\right) \quad (44)$$

İdeal olmayan bireysel bilgiyi kullanmanın amacı, optimal bireyin yerel bir uç noktaya hapsolmesini önlemektir. Toplama sonrasında, geçici üçgen ünitesinin başlangıç noktasının ünite içerisinde optimal olması garanti edilmelidir. Yakınsamanın umut verici bir yönde gelişmesini sağlamak için, yerel madencilik öncesi ve sonrası iki tepe noktasının uygunluk değerleri, güncellenen belirlenmesi amacıyla karşılaştırılır.

Yakınsamanın umut verici bir yönde gelişmesini sağlamak için, iki tepe noktasının yerel madencilik öncesi ve sonrası uygunluk değerleri, konumun güncellenmesini belirlemek üzere karşılaştırılır. Yeni birey orijinalinden daha iyi performans gösteriyorsa güncelleme pozisyonuna geçilir, aksi halde güncelleme yapılmaz. İlgili matematiksel ifade aşağıdaki gibidir.

$$\overrightarrow{X_{i,best}^{t+1}} = \begin{cases} \overrightarrow{X_{i,new2}^{t+1}} & f_{\overrightarrow{X_{i,new2}^{t+1}}} < f_{\overrightarrow{X_{i,best}^{t+1}}} \\ \overrightarrow{X_{i,best}^{t+1}} & otherwise \end{cases} \quad (44)$$

Şekil 6, üçgen topolojik birimlerin yerel toplama diyagramını göstermektedir. Yerel toplamanın amacı, her topolojik üçgen birimi içindeki pozitif bilgiyi toplamaktır. Kesikli üçgen topolojik birim, genel toplamadan sonra optimal tepe noktası, optimal olmayan tepe noktası ve üçüncü tepe noktasının kombinasyonunun geçici topolojisini gösterir. Her birimdeki en uygun birey toplanır ve α parametresinin (gri dairenin alanı) kontrolü altında belirli bir aralıktaki daha iyi bir konuma güncellenir. Her geçici birimin yerel olarak toplanmasından sonra, mor noktalardan oluşan en iyi konumlarına göre yeni benzer topoloji birimleri oluşturulur. Yerel toplama süreci, her topolojik üçgen biriminin mümkün olduğu kadar hassas bir şekilde çıkarılmasını sağlar. Ayrıca daha sonraki yinelemelerde varyasyon aralığı giderek küçülür.



Şekil 6. Üçgen topolojik birimlerin yerel toplaması

3.2.5 ÜTTİ algoritmasının yürütme akışı

İlk olarak üçgen topolojik birimlerin sayısı $[N/3]$ ile belirlenir. Her yinelemede geri kalan 1 veya 2 kişinin uygun bölgede rastgele yeni pozisyonlar oluşturduğuna dikkat edilmelidir.

Rastgele oluşturulan konumlar, her yinelemede aynı sayıda üçgen birimin sağlanmasını amaçlayan uygunluk değeri için mevcut bireylerle karşılaştırılır. Bu nedenle, bir sonraki yineleme güncellemesi için lider olarak en iyi $[N/3]$ bireyler seçilir. Bunlar aslında her birim için en uygun bireylerdir. ÜTTİ algoritmasında, her üçgen topolojik birim için en uygun birey, yineleme başına üç aşamalı güncelleme uygular; yani oluşturulan üçgen topolojik birimler, genel toplama ve yerel toplama. Algoritma 1, ÜTTİ algoritmasının yürütme sözde kodudur.

3.3. Uygunluk mesafe dengesi

Uygunluk-mesafe dengesi (Fitness Distance Balance, FDB) seçim yöntemi, Kahraman ve arkadaşları tarafından 2020 yılında önerilen geliştirilmiş bir seçim yöntemidir. FDB yönteminin amacı, arama sürecinde MSA algoritmalarına etkin bir şekilde rehberlik etmektir. MSA algoritmalarında seçim yöntemleri, arama operatörlerinin ihtiyaç duyduğu referans konumları belirlemek için kullanılır [33], [42-44]. Bu nedenle, seçim yöntemleri popülasyonun geleceğinin şekillenmesine olanak sağladığı için MSA algoritmalarının performansı açısından oldukça önemlidir. MSA algoritmalarındaki diğer unsurlarda olduğu gibi, seçim yöntemlerinin tasarımında da doğadaki süreçler referans alınır. Buna göre, MSA algoritmalarında kullanılan seçim yöntemleri ağgözlü, rastgele ve olasılıksal olmak üzere üç kategoride sınıflandırılmaktadır. Ağgözlü seçim yöntemi, doğadaki elitizm mantığına dayanmaktadır. Buna göre, popülasyon üyeleri arasından en güçlü olanın seçildiği yöntemdir. Rastgele seçim yöntemi, doğada sıklıkla meydana geldiği varsayılan rastgeleliğe dayanmaktadır. Buna göre, popülasyondaki bireyler arasında tamamen rastgele bir seçim yapılır. Olasılıksal seçim yönteminde ağgözlü ve rastgele seçim yöntemleri birlikte kullanılır ve seçimin olasılığı uygunluk değerine göre belirlenir. Rulet tekerleği ve turnuva yöntemleri, olasılıksal seçim yöntemlerinin örnekleridir [33].

FDB açgözlü bir seçim yöntemidir. Ancak, FDB'nin diğer açgözlü yöntemlerden en önemli farkı, seçim işleminin sadece uygunluk değerine göre değil, puan değerine göre yapılmasıdır. FDB yönteminde, her bir çözüm adayının puan değeri hesaplanır. Puan hesabında, popülasyondaki her bir çözüm adayının uygunluk değeri ve en iyi çözüm adayına olan uzaklığı dikkate alınmaktadır. FDB yöntemi, en yüksek puana sahip çözüm adayının arama sürecini yönlendirmesine izin verir. Sonuç olarak, en iyi çözüm adayının komşuluğunda bir çözüm adayının seçimini de engellemiş olur. Böylece, keşif ve sömürü görevlerinin dengeli bir şekilde yürütülmesi sağlanmaktadır [33].

FDB yöntemini uygulamak için aşağıdaki adımlar izlenmelidir:

- (i) FDB yönteminin ilk adımında, çözüm adaylarının en iyi çözüme (best x) olan uzaklığı hesaplanır. Popülasyondaki çözüm aday sayısı N ve problem boyutu D ise, i. çözüm adayının en iyi çözüm

adayına olan Öklid uzaklığı denklem (45) kullanılarak hesaplanır.

$$D_i = \sqrt{(x_{i(1)} - x_{best(1)})^2 + (x_{i(2)} - x_{best(2)})^2 + \dots + (x_{i(D)} - x_{best(D)})^2} \quad (45)$$

- (ii) P popülasyonu için uzaklık vektörü D_P , denklem (46) ile gösterilir.

$$D_P \equiv \begin{bmatrix} D_1 \\ \vdots \\ D_N \end{bmatrix}_{N \times 1} \quad (46)$$

4. Benzetim Sonuçları

Elektrik üretimi sürecinde dikkate alınması gereken belli başlı durumlar vardır. Bu durumlardan en önemlileri arasında maliyet hesabı ve çevre kirliliği konusunda en önemli etken olan emisyon yer almaktadır. Termal jeneratörlerine ait maliyet ve emisyon hesaplamalarında kullanılan katsayılar Tablo 1'de yer almaktadır.

Tablo 1. İncelenen sistem için termik jeneratörlerin maliyet ve emisyon katsayıları [31].

Generatör	Bara	a	b	c	d	e	α	β	γ	ω	μ
TG1	1	0	2	0.00375	18	0.037	4.091	-5.554	6.49	0.0002	6.667
TG2	2	0	1.75	0.0175	16	0.038	2.543	-6.047	5.638	0.0005	3.333
TG3	8	0	3.25	0.00834	12	0.045	5.326	-3.55	3.38	0.002	2

IEEE 30 baralı sistemde kullanılan termal jeneratörler yerine rüzgar ve güneş enerji santralleri entegre edilmiştir. Kullanılan rüzgar enerjisi ve güneş enerjisi

santrallerine ait PDF parametreleri Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Rüzgar enerjisi ve güneş enerjisi santrallerinin PDF parametreleri[31].

Rüzgar gücü üretim tesisi				Güneş PV tesisi			
Rüzgar Tarlası#	Türbin Sayısı	Nominal Güç, P _{wr} (MW)	Weibull PDF parametreleri	Weibull ortalama, M _{wbl}	Nominal Güç, P _{sr} (MW)	Lognormal PDF Parametresi	Lognormal ortalama, M _{lgn}
1 (bus 5)	25	75	c = 9 k = 2	v = 7.976 m/s	50 (bus 13)	$\mu = 6 \sigma = 0.6$	G = 483 W/m ²
2 (bus 11)	20	60	c = 10 k = 2	v = 8.862 m/s	-	-	-

Bu çalışmada IEEE 30 baralı test sistemi üzerinde toplam iki farklı durum için optimizasyon işlemi yapılmıştır. Optimizasyonu yapılan durumlardan ilki, sistemde yer alan enerji üretim elemanlarının maliyet katsayıları ile birlikte oluşturulan maliyet uygunluk değerinin minimizasyon işlemidir. Bu durumda sadece sistemde yer alan üretim elemanlarının maliyetleri dikkate alınarak en uygun değer bulunması amaçlanmıştır. Önerilen bu durum, daha önce literatürde yer alan SHADE-SF [31], geliştirmesi yapılan algoritmanın orijinal hali olan ÜTTİ ve önerilen UMDÜTTİ algoritmaları ile çözümlenmiş ve

bulunan değerler Tablo 3'te verilmiştir. Tablo 3'te yer alan bilgilerden de görülebileceği üzere önerilen UMDÜTTİ algoritması, **781.6925 \$/h** değeri ile maliyet hesabı açısından sırasıyla 782.503 \$/h ve 782.8708 \$/h değerlerine sahip SHADE-SF [31], ve ÜTTİ algoritmalarından daha iyi sonuç vermiştir.

Tablo 3. IEEE 30-baralı durum 1

		Min	Max	SHADE-SF	ÜTTİ	UMD_ÜTTİ
Kontrol Değişkenleri	P_{TG2} (MW)	20	80	28.564	26.4214	26.8640
	P_{TG3} (MW)	10	35	10	10.0261	10.0002
	P_{ws1} (MW)	0	75	43.774	44.0502	44.9856
	P_{ws2} (MW)	0	60	36.949	35.4115	35.5633
	P_{ss} (MW)	0	50	34.976	38.4581	36.8242
	V_1 (p.u.)	0.95	1.10	1.072	1.0711	1.0726
	V_2 (p.u.)	0.95	1.10	1.057	0.9787	1.0546
	V_5 (p.u.)	0.95	1.10	1.035	1.0526	1.0326
Parametreler	V_8 (p.u.)	0.95	1.10	1.04	1.0748	1.0782
	V_{11} (p.u.)	0.95	1.10	1.1	1.0993	1.0972
	V_{13} (p.u.)	0.95	1.10	1.055	1.0630	1.0537
	P_{TG1} (MW)	50	140	134.908	134.9104	134.9120
	Q_{TG1} (MVar)	-20	150	-1.903	12.1252	3.9203
	Q_{TG2} (MVar)	-20	60	13.261	-20.0000	4.8198
	Q_{TG3} (MVar)	-15	40	35.101	40.0000	40.0000
	Q_{ws1} (MVar)	-30	35	23.181	35.0000	21.3423
	Q_{ws2} (MVar)	-25	30	30	29.7195	29.6301
	Q_{ss} (MVar)	-20	25	17.346	20.4214	17.0721
	Toplam maliyet (\$/h)			782.503	782.8708	781.6925
	Emisyon (t/h)			1.762	1.7629	1.7629
	Karbon vergisi (\$/h)			-	-	-
$P_{kayıp}$ (MW)			5.770	5.8777	5.7493	
VD (p.u.)			0.463	0.4947	0.4582	

Optimizasyonu yapılan durumlardan ikincisi ise toplam maliyetin yanı sıra sistemde doğaya salınan emisyon gazı ile emisyon maliyet katsayısı çarpımı sonucu elde edilen karbon vergisi uygunluk değerinin minimizasyon işlemidir. Bu durumda ise toplam maliyete ek olarak sistemde yer alan karbon salınımına ait maliyet de dikkate alınarak en uygun değer bulunması amaçlanmıştır. Önerilen bu durum, daha önce literatürde yer alan SHADE-SF [31],

geliştirmesi yapılan algoritmanın orijinal hali olan ÜTTİ ve önerilen UMDÜTTİ algoritmaları ile çözümlenmiş ve bulunan değerler Tablo 4'te verilmiştir. Tablo 4'te yer alan bilgilere göre önerilen UMDÜTTİ algoritması, **809.2866 \$/h** değeri ile sırasıyla 810.346 \$/h ve 809.8440 \$/h değerlerine sahip SHADE-SF [31], ve ÜTTİ algoritmalarından daha iyi sonuç verdiği gözlemlenmiştir.

Tablo 4. IEEE 30-baralı durum 2

		Min	Max	SHADE-SF	ÜTTİ	UMD_ÜTTİ	
Kontrol Değişkenleri	P_{TG2} (MW)	20	80	33.047	32.4144	33.1977	
	P_{TG3} (MW)	10	35	10	10.0007	10.0009	
	P_{ws1} (MW)	0	75	46.021	45.4991	46.0304	
	P_{ws2} (MW)	0	60	38.748	38.2894	38.7452	
	P_{ss} (MW)	0	50	37.336	38.8975	36.8487	
	V_1 (p.u.)	0.95	1.10	1.071	1.1000	1.1000	
	V_2 (p.u.)	0.95	1.10	1.057	1.0904	1.0901	
	V_5 (p.u.)	0.95	1.10	1.036	1.0718	1.0715	
	V_8 (p.u.)	0.95	1.10	1.04	1.0801	1.0993	
	V_{11} (p.u.)	0.95	1.10	1.099	1.1000	1.1000	
	V_{13} (p.u.)	0.95	1.10	1.056	1.0943	1.0972	
	Parametreler	P_{TG1} (MW)	50	140	123.525	123.3090	123.5835
		Q_{TG1} (MVar)	-20	150	-2.678	11.5190	-10.9509
Q_{TG2} (MVar)		-20	60	12.319	17.8115	16.5835	
Q_{TG3} (MVar)		-15	40	35.27	40.0000	40.0000	
Q_{ws1} (MVar)		-30	35	22.964	24.8866	24.5938	
Q_{ws2} (MVar)		-25	30	30	18.8630	18.7102	
Q_{ss} (MVar)		-20	25	17.779	21.1664	22.2778	
Toplam maliyet (\$/h)				810.346	809.8440	809.2866	
Emisyon (t/h)				0.891	0.8805	0.8943	
Karbon vergisi (\$/h)				17.83	17.6095	17.8870	
$P_{kayıp}$ (MW)				5.276	5.0101	5.0063	
VD (p.u.)				0.469	1.0707	1.0864	

Ayrıca önerilen algoritmanın verimliliğine dair daha iyi bir gösterge olması açısından orijinal ÜTTİ algoritması ve geliştirilmiş UMDÜTTİ algoritması bağımsız 30 çalışma ile çözümlenmiş ve bulunan sonuçlara ait minimum, ortalama, maksimum ve standart sapma değerleri Tablo 5'te verilmiştir.

Verilen değerler göz önünde bulundurulduğunda geliştirilen UMDÜTTİ algoritmasının bağımsız 30 çalışma sonucunda hem minimum hem de ortalama değer olarak Durum 1 ve Durum 2 için orijinal ÜTTİ

algoritmasından daha iyi sonuç verdiği gözlemlenebilir.

Tablo 5. ÜTTİ ve UMDÜTTİ algoritmalarının karşılaştırılması

	Durum 1				Durum 2			
	Min	Ort	Maks	Std	Min	Ort	Maks	Std
ÜTTİ	782.8708	783.2067	784.1176	0.3087	809.8463	809.9921	810.2703	0.1726
UMDÜTTİ	781.6925	782.3956	784.6169	0.6438	809.2866	809.3937	809.7072	0.1422

5. Sonuçlar ve Öneriler

Bu çalışmada, güç sistemleri alanında günümüzün önemli problemlerinden olan, rüzgar ve güneş gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının entegre edildiği Optimal Güç Akışı probleminin çözümü için, uygunluk mesafe dengesi tabanlı üçgenleme topolojisi toplama iyileştiricisi kullanılarak geliştirilen bir yöntem sunulmuştur. Önerilen yöntemde, üçgenleme topolojisinin global arama kapasitesini artırmak ve algoritmanın keşif ile sömürü arasında güçlü bir denge sağlanabilmesi amacıyla uygunluk-mesafe dengesi yöntemi kullanılmıştır. Çalışmada, geliştirilen uygunluk mesafe dengesi tabanlı üçgenleme topolojisi toplama iyileştiricisi (UMDÜTTİ), rüzgar ve güneş enerjisi entegreli IEEE 30 baralı güç sisteminde OGA problemini çözmek amacıyla kullanılmıştır. Benzetim çalışmasında elde edilen sonuçlar üçgenleme topolojisi toplama iyileştiricisi (ÜTTİ) ve uygun kısıtlama işleme yönteminin dahil edildiği uyarlanabilir diferansiyel evrim algoritmasını (SHADE-SF) ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar, OGA probleminin çözümü için UMDÜTTİ yönteminin ÜTTİ ve SHADE-SF ile karşılaştırıldığında daha etkili çözümler sunduğunu göstermektedir.

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] Duman, S., Güvenç, U., Sönmez, Y., & Yörükeren, N. (2012). Optimal power flow using gravitational search algorithm. *Energy conversion and management*, 59, 86-95.
- [2] Y. Hınıslioğlu, "Kaotik güve sürüsü algoritması kullanarak rüzgar gücü entegreli optimal güç akışı," Yüksek lisans tezi, Elektrik Elektronik Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Düzce Üniversitesi, Düzce, Türkiye, 2018.

- [3] Kaymaz, E., Duman, S., & Guvenc, U. (2021). Optimal power flow solution with stochastic wind power using the Lévy coyote optimization algorithm. *Neural Computing and Applications*, 33(12), 6775-6804.
- [4] Yan, X., & Quintana, V. H. (1999). Improving an interior-point-based OPF by dynamic adjustments of step sizes and tolerances. *IEEE Transactions on Power Systems*, 14(2), 709-717.
- [5] Habibollahzadeh, H., Luo, G. X., & Semlyen, A. (1989). Hydrothermal optimal power flow based on a combined linear and nonlinear programming methodology. *IEEE Transactions on Power Systems*, 4(2), 530-537.
- [6] Burchett, R. C., Happ, H. H., & Vierath, D. R. (1984). Quadratically convergent optimal power flow. *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, (11), 3267-3275.
- [7] Devaraj, D., & Yegnanarayana, B. (2005). Genetic-algorithm-based optimal power flow for security enhancement. *IEE Proceedings-Generation, Transmission and Distribution*, 152(6), 899-905.
- [8] Lai, L. L., Ma, J. T., Yokoyama, R., & Zhao, M. (1997). Improved genetic algorithms for optimal power flow under both normal and contingent operation states. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 19(5), 287-292.
- [9] Abido, M. A. (2002). Optimal power flow using tabu search algorithm. *Electric power components and systems*, 30(5), 469-483.
- [10] Abido, M. A. (2002). Optimal power flow using particle swarm optimization. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 24(7), 563-571.
- [11] Varadarajan, M., & Swarup, K. S. (2008). Solving multi-objective optimal power flow using differential evolution. *IET Generation, Transmission & Distribution*, 2(5), 720-730.
- [12] Ozkaya, B. (2024). Enhanced growth optimizer algorithm with dynamic fitness-distance balance method for solution of security-constrained optimal power flow problem in the presence of

stochastic wind and solar energy. *Applied Energy*, 368, 123499.

[13] Sallam, K. M., Hossain, M. A., Elsayed, S., Chakraborty, R. K., Ryan, M. J., & Abido, M. A. (2024). Optimal power flow considering intermittent solar and wind generation using multi-operator differential evolution algorithm. *Electric Power Systems Research*, 232, 110377.

[14] Trojovský, P., Trojovská, E., & Akbari, E. (2024). Economical-environmental-technical optimal power flow solutions using a novel self-adaptive wild geese algorithm with stochastic wind and solar power. *Scientific Reports*, 14(1), 4135.

[15] Adhikari, A., Jurado, F., Naetiladdanon, S., Sangswang, A., Kamel, S., & Ebeed, M. (2023). Stochastic optimal power flow analysis of power system with renewable energy sources using Adaptive Lightning Attachment Procedure Optimizer. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 153, 109314.

[16] Huy, T. H. B., Doan, H. T., Vo, D. N., Lee, K. H., & Kim, D. (2023). Multi-objective optimal power flow of thermal-wind-solar power system using an adaptive geometry estimation based multi-objective differential evolution. *Applied Soft Computing*, 149, 110977.

[17] Hassan, M. H., Elsayed, S. K., Kamel, S., Rahmann, C., & Taha, I. B. (2022). Developing chaotic Bonobo optimizer for optimal power flow analysis considering stochastic renewable energy resources. *International Journal of Energy Research*, 46(8), 11291-11325.

[18] Alghamdi, A. S. (2022). A hybrid firefly-JAYA algorithm for the optimal power flow problem considering wind and solar power generations. *Applied Sciences*, 12(14), 7193.

[19] Li, S., Gong, W., Wang, L., & Gu, Q. (2022). Multi-objective optimal power flow with stochastic wind and solar power. *Applied Soft Computing*, 114, 108045.

[20] Guvenc, U., Duman, S., Kahraman, H. T., Aras, S., & Kati, M. (2021). Fitness-Distance Balance based adaptive guided differential evolution algorithm for security-constrained optimal power flow problem incorporating renewable energy sources. *Applied Soft Computing*, 108, 107421.

[21] Rambabu, M., VenkataNagesh Kumar, G., Venkateswara Rao, B., & Sravan Kumar, B. (2021). Optimal power flow solution of an integrated power system using elephant herd optimization algorithm incorporating stochastic wind and solar power. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 1-21.

[22] Riaz, M., Hanif, A., Hussain, S. J., Memon, M. I., Ali, M. U., & Zafar, A. (2021). An optimization-based strategy for solving optimal power flow problems in a power system integrated with stochastic solar and wind power energy. *Applied Sciences*, 11(15), 6883.

[23] Farhat, M., Kamel, S., Atallah, A. M., & Khan, B. (2021). Optimal power flow solution based on jellyfish search optimization considering uncertainty of renewable energy sources. *IEEE Access*, 9, 100911-100933.

[24] Khamees, A. K., Abdelaziz, A. Y., Eskaros, M. R., El-Shahat, A., & Attia, M. A. (2021). Optimal power flow solution of wind-integrated power system using novel metaheuristic method. *Energies*, 14(19), 6117.

[25] Khan, I. U., Javaid, N., Gamage, K. A., Taylor, C. J., Baig, S., & Ma, X. (2020). Heuristic algorithm based optimal power flow model incorporating stochastic renewable energy sources. *IEEE Access*, 8, 148622-148643.

[26] Duman, S., Rivera, S., Li, J., & Wu, L. (2020). Optimal power flow of power systems with controllable wind-photovoltaic energy systems via differential evolutionary particle swarm optimization. *International Transactions on Electrical Energy Systems*, 30(4), e12270.

[27] Elattar, E. E. (2019). Optimal power flow of a power system incorporating stochastic wind power based on modified moth swarm algorithm. *IEEE Access*, 7, 89581-89593.

[28] Salkuti, S. R. (2019). Optimal power flow using multi-objective glowworm swarm optimization algorithm in a wind energy integrated power system. *International Journal of Green Energy*, 16(15), 1547-1561.

[29] Mishra, C., Singh, S. P., & Rokadia, J. (2015). Optimal power flow in the presence of wind power using modified cuckoo search. *IET Generation, Transmission & Distribution*, 9(7), 615-626.

[30] Panda, A., & Tripathy, M. (2015). Security constrained optimal power flow solution of wind-thermal generation system using modified bacteria foraging algorithm. *Energy*, 93, 816-827.

[31] Biswas, P. P., Suganthan, P. N., & Amaratunga, G. A. (2017). Optimal power flow solutions incorporating stochastic wind and solar power. *Energy conversion and management*, 148, 1194-1207.

[32] Zhao, S., Zhang, T., Cai, L., & Yang, R. (2024). Triangulation topology aggregation optimizer: A novel mathematics-based meta-heuristic algorithm for continuous optimization and engineering applications. *Expert Systems with Applications*, 238, 121744.

- [33] Kahraman, H. T., Aras, S., & Gedikli, E. (2020). Fitness-distance balance (FDB): a new selection method for meta-heuristic search algorithms. *Knowledge-Based Systems*, 190, 105169.
- [34] M. J. Morshed and A. Asgharpour, "Hybrid imperialist competitive-sequential quadratic programming (HIC-SQP) algorithm for solving economic load dispatch with incorporating stochastic wind power: A comparative study on heuristic optimization techniques," *Energy Conversion Management*, vol. 84, pp. 30–40, 2014.
- [35] U. Güvenç, S. Duman, and E. Kaymaz, "Economic Dispatch of Power System Including Wind Power using Salp Swarm Algorithm," presented at 7th International Conference on Advanced Technologies (ICAT'18), Antalya, Turkey, 2018.
- [36] Jones, M. W., & Satherley, R. A. (2001, May). Shape representation using space filled sub-voxel distance fields. In *Proceedings international conference on shape modeling and applications* (pp. 316-325). IEEE.
- [37] Reddy, P. V. N., Padmini, G. R., Govindaraj, P., & Sudhakar, M. S. (2022). Robust feature descriptor employing square triangle tessellation for shape retrieval. *Wireless Personal Communications*, 1-14.
- [38] Laczkovich, M. (2021). Irregular tilings of regular polygons with similar triangles. *Discrete & Computational Geometry*, 66(4), 1239-1261.
- [39] Soifer, A., & Soifer, A. (2009). *How Does One Cut a Triangle? I* (pp. 15-23). Springer New York.
- [40] Jiang, M., Wang, Z., Hong, H., & Yen, G. G. (2020). Knee point-based imbalanced transfer learning for dynamic multiobjective optimization. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 25(1), 117-129.
- [41] Forrest, S. (1996). Genetic algorithms. *ACM computing surveys (CSUR)*, 28(1), 77-80.
- [42] S. Aras, E. Gedikli ve H. T. Kahraman, "A novel stochastic fractal search algorithm with fitness-distance balance for global numerical optimization", *Swarm and Evolutionary Computation*, c. 61, ss. 100821, 2021.
- [43] S. Duman, H. T. Kahraman, Y. Sonmez, U. Guvenc, M. Kati ve S. Aras, "A powerful meta-heuristic search algorithm for solving global optimization and realworld solar photovoltaic parameter estimation problems", *Engineering, Applications of Artificial Intelligence*, c. 111, ss. 104763, 2022.
- [44] S. Duman, H. T. Kahraman, U. Guvenc, ve S. Aras, "Development of a Lévy flight and FDB-based coyote optimization algorithm for global optimization and realworld ACOPF problems", *Soft Computing*, c. 25, sayı 8, ss. 6577-6617, 2021.

Current Mode KHN Low-Voltage, High-Performance CMOS Transistor Based on Multi-Output Operational Transconductivity Amplifier for Universal Filter Applications

Hüseyin DEMİREL^{1*} 

¹Ankara Yıldırım Beyazıt University, Business School, Management Information Systems, Ankara, Turkey

(Alınış / Received: 07.07.2024, Kabul / Accepted: 31.07.2024, Online Yayınlanma / Published Online: 23.08.2024)

Anahtar Kelimeler

MO-OTA, current-mode
KHN universal filter,
LT-Spice simulations.

Abstract: This study proposes a current-mode KHN universal filter design that can perform three standard functions simultaneously: low-pass, high-pass, and band-pass. The circuit is built around a multiple-output operation transconductance amplifier (MO-OTA), which allows for electronically adjustable pole frequency and quality factor by modifying input bias currents (IB). The circuit layout is straightforward, with two MO-OTAs and two grounded capacitors, eliminating the need for external resistors and depending entirely on grounded components. Because of its simplicity, the circuit is suited for use in a tiny, efficient design. The proposed circuit's operation was validated using LT-Spice simulations, and the results were in line with theoretical expectations. The circuit used around 298 μ W of power at ± 0.2 V power supply voltages. These results demonstrate the circuit's potential for low-power applications, which are crucial in many modern electronic devices. The suggested current-mode KHN universal filter offers a viable option for combining various filter functions in a single circuit with customizable parameters. Its simplicity, efficiency, and performance qualities make it a feasible choice for incorporation into a variety of electronic systems, allowing for more filter design freedom

Modu KHN Evrensel Filtre Uygulamaları için Çok Çıkışlı Operasyonel Transiletkenlik Amplifikatörüne Dayanan Düşük Voltajlı, Yüksek Performanslı CMOS Transistör Tasarımı ile Gerçekleştirilmesi

Keywords

çoklu çıkışlı çalışma
transiletkenlik
amplifikatörü (MO-OTA),
akım modu KHN universal
filtre,
LT-Spice simülasyonları

Özet: Bu çalışma, aynı anda üç geleneksel işlevi yerine getirebilen akım modlu KHN evrensel filtre tasarımını sunmaktadır. Bunlar; düşük geçişli, yüksek geçişli ve bant geçişli filtrelerdir. Devre, giriş yanlılık akımlarını (IB) ayarlayarak elektronik olarak değişken kutup frekansı ve kalite faktörüne izin veren çoklu çıkışlı işlemsel transiletkenlik amplifikatörü (MO-OTA) temel alınarak tasarlanmıştır. Devre topolojisi, iki MO-OTA ve iki topraklanmış kapasitör kullanılarak inşa edilmiştir; bu, harici direnç gereksinimini ortadan kaldırır ve yalnızca topraklanmış bileşenlere dayanır. Basitliği nedeniyle, devre küçük ve verimli bir tasarım için idealdir. Önerilen devrenin işleyişi LT-Spice simülasyonlarıyla doğrulanmış ve sonuçlar teorik beklentilerle uyumlu bulunmuştur. Devrenin en yüksek güç tüketimi, $\pm 0,2$ V güç kaynağı voltajlarında yaklaşık 290 μ W olarak tespit edilmiştir. Bu bulgular, devrenin düşük güç tüketiminin kritik olduğu birçok mevcut elektronik cihaz için uygun olduğunu göstermektedir. Önerilen akım modlu KHN evrensel filtresi, çeşitli filtre işlevlerini tek bir devrede özelleştirilebilir parametrelerle birleştirmek için uygun bir seçenek sunmaktadır. Sadeliği, verimliliği ve performans nitelikleri, onu farklı elektronik sistemlere dahil etmek için cazip bir seçenek haline getirerek daha fazla filtre tasarım özgürlüğü sağlamaktadır.

1. Introduction

Over the past two decades, in the design of electronic circuits, efforts have been made to reduce the supply voltage for circuits, especially portable devices, reducing the voltage supply. It is therefore necessary with the design technique of current-mode circuits that are more characteristic of the voltage mode, so it is the purpose of synthesizing current-mode circuits, since they have a dynamic amplitude range. Assumes (Lager dynamic range) has a higher signal band width, greater linearity, easy circuit design (simple circuitry) and low power consumption [1-2].

Analog frequency filtering circuits are very important in the field of electronic engineering and have wide applications in many fields, such as communication, instrumentation, especially in medical meters and control systems [3-8].

KHN (Kerwin Huelsman Newcomb) universal frequency filter circuit is popular because it uses fewer active and passive devices, less sensitivity to devices, and good stability [9-10].

According to the survey, a research paper has been published related to universal frequency filtering circuits in current mode. There are many active devices that can operate in current mode, such as Operational Transconductance Amplifier (OTA), Current Conveyor (CCII), Current Differential Buffer Amplifier (CDBA), Current Differential Buffer Amplifier (CDBA), Current Differential Transconductance Amplifier. (CDTA), according to the report some of the disadvantages of various articles are found below.

- 1) Very active and passive devices are used, especially external resistors.
- 2) The partial frequency response, the output is low impedance [16-17] in current mode, so it is difficult to implement
- 3) cannot be controlled electronically. [11-14], [16]
- 4) The circuit must be changed to achieve full response effect. [17-18]
- 5) Floating capacitors [19] are required to do so. It is suitable for use as IC.

Operational Transconductance Amplifier (OTA) is a popular device for signal processing circuits, as it can operate in both voltage and current modes and can control the operation of the circuit electronically.

Therefore, in this article, it is proposed a universal frequency filtering circuit in KHN current mode with MO-OTA coupled with two ground-coupled capacitors, which are characterized by three basic frequency filtering, low frequency through high pass frequency and bandpass frequency. In the same structure, pole frequency and quality value can be controlled. The factor is obtained electronically, free of external

resistors and simulated with the PSpice program to test the performance of the circuit presented.

2. The Principle of Operation of the Circuit

2.1. The principle of operation of OTA

Due to the circuit offered, the circuit device extends the conductivity of the current. It is an active device that operates in a voltage-controlled current supply (Voltage Controlled Current Source: VCCS) manner. The conversion of voltage value into current is called (transconductance) or gm. The characteristic is that it has a high impedance input and output value, while the conductivity value can be controlled by the bias current from external relationship of current and voltage of OTA according to Equation 1.

$$I_o = gm(V_{(+)} - V_{(-)}) \quad (1)$$

by gm can be expressed as .

$$gm = \sqrt{KI_B} \quad (2)$$

and

$$K = \mu_0 Cox(W/L)$$

The values k and IB are the conductivity parameters of the device used to make an MO-OTA. Here, this is a transistor. In Figure 1, the symbol and equivalent circuit of MO-OTA are shown.

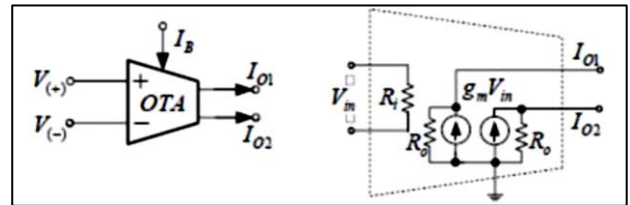


Figure 1. OTA (a) Symbol (b) Symbol (b) Equivalent circuit

2.2. Structure of KHN universal filter circuit

The circuit structure of the KHN frequency filter circuit consists of 2 lossless integrator circuits and an integrated circuit. As shown in Figure 2, from the diagram, the transfer equation of high frequency through, through frequency band and low frequency through can be written as equation (3) - (5), respectively.

$$\frac{M_{HP}}{N_{in}} = \frac{s^2}{s^2 + s\frac{1}{\lambda_1} + \frac{1}{\lambda_1\lambda_2}} \quad (3)$$

$$\frac{M_{BP}}{N_{in}} = \frac{s\frac{1}{\lambda_1}}{s^2 + s\frac{1}{\lambda_1} + \frac{1}{\lambda_1\lambda_2}} \quad (4)$$

and

$$\frac{M_{LP}}{N_{in}} = \frac{\frac{1}{\lambda_1\lambda_2}}{s^2 + s\frac{1}{\lambda_1} + \frac{1}{\lambda_1\lambda_2}} \quad (5)$$

From equations (3) — (5), the value of the pole frequency and the value of the quality factor can be written as equations (6) and (7).

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{1}{\lambda_1 \lambda_2}} \quad (6)$$

And

$$Q_0 = \sqrt{\frac{\lambda_1}{\lambda_2}} \quad (7)$$

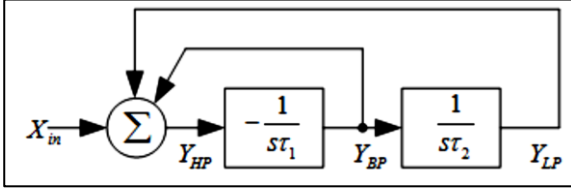


Figure 2. The structure of the KHN universal filter circuit

2.3. KHN universal filter circuit with OTA offered

This section is an important part that presents the KHN universal filter circuit with MO-OTA, which consists of 2 integrator circuits. Thus, it does not consume the equipment, so the KHN universal frequency filter circuit with OTA presented in Figure 3 can be written as follows:

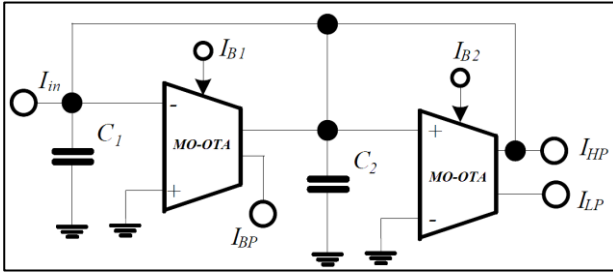


Figure 3. KHN universal filter circuit presented

$$\frac{M_{HP}}{N_{in}} = \frac{s^2}{s^2 + s \frac{gm_1}{C_1} + \frac{gm_1 gm_2}{C_1 C_2}} \quad (8)$$

$$\frac{M_{BP}}{N_{in}} = \frac{s \frac{gm_1}{C_1}}{s^2 + s \frac{gm_1}{C_1} + \frac{gm_1 gm_2}{C_1 C_2}} \quad (9)$$

$$\frac{M_{LP}}{N_{in}} = \frac{\frac{gm_1 gm_2}{C_1 C_2}}{s^2 + s \frac{gm_1}{C_1} + \frac{gm_1 gm_2}{C_1 C_2}} \quad (10)$$

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{gm_1 gm_2}{C_1 C_2}} \quad (11)$$

and

$$Q_0 = \sqrt{\frac{gm_1 C_1}{gm_2 C_2}} \quad (12)$$

When replacing gm with $\sqrt{KI_B}$ into Equations (11) and (12)

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{(K_1 K_2 I_{B1} I_{B2})^{\frac{1}{2}}}{C_1 C_2}} \quad (13)$$

$$Q_0 = \sqrt{\frac{(K_1 I_{B1}) C_1}{(K_2 I_{B2}) C_2}} \quad (14)$$

From the equations ω_0 and Q_0 , the pole frequency values, and the quality factor values can be adjusted electronically. Moreover, the ratio, if the current values I_{B1} and I_{B2} are given constant, the pole frequency can also be adjusted. At the same time, if a high Q value is desired, this can be done by giving C_1 more than C_2 and BW can be obtained as in equation (15).

$$BW = \frac{\omega_0}{Q_0} = \sqrt{\frac{K_1 I_{B1}}{C_1}} \quad (15)$$

2.4. The sensitivity of the presented circuits

The sensitivity value of the presented frequency filter circuit is obtained by equations (16) and (17).

$$S_{I_{B1}}^{S_{HP}^{wo}} = S_{I_{B2}}^{S_{HP}^{wo}} = 0,5, \quad S_{I_{B2}}^{S_{BP}^{wo}} = S_{C_2}^{S_{BP}^{wo}} = -0.5 \quad (16)$$

and

$$S_{I_{B1}}^{S_{LP}^{wo}} = S_{C_2}^{S_{LP}^{wo}} = -0.5, \quad S_{I_{B2}}^{S_{LP}^{wo}} = S_{C_2}^{S_{LP}^{wo}} = -0.5 \quad (17)$$

The sensitivity of all active and passive devices must always be equal to or less than 1.

3. Simulation Results

To confirm the performance of the presented circuit, the operation of the circuit was simulated with the LT-Spice program for the PaMOS and NMOS transistors used to simulate the operation of the circuit, using the parameters of the company TSMC CMOS with 65 nm technology. [20]

Figure 4 shows the internal structure of OTA by the conditions of this simulation. The supply of the circuit is $\pm 0.2V$. The resistance at the circuit load is equal to 2 ohms. Capacitor values $C_1=C_2=2nF$ and $I_{B1}=I_{B2}=10nA$ will obtain a pole frequency of 6MHz from the simulation.

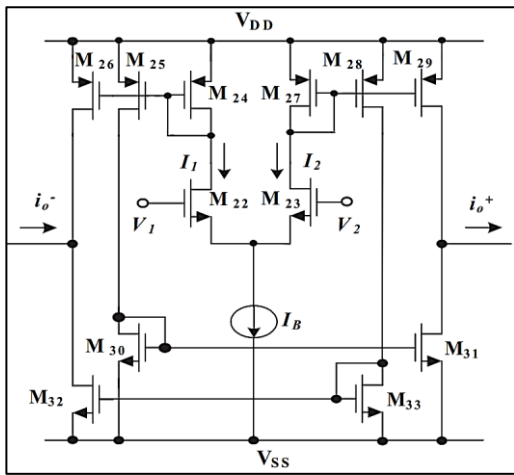


Figure 4. Internal structure of OTA

As a result of Figure 5, let's try to do the task of frequency response of a general-purpose filter circuit. KHN with MO-OTA to clearly demonstrate the simulation results of the circuit, low-pass filtering, high-pass filtering, and band-pass filtering. In the structure of the presented circuit, it has not changed, and in the operating condition there is a power consumption of $298\mu\text{W}$, as Figure 6 shows the frequency response in dB threshold form in the frequency range. 100KHz-100MHz.

Figure 7 shows the response of the bandpass filtering. From adjusting $IB1=25\text{nA}$, 60nA , 125nA to $IB2=25\text{nA}$, it was found that the pole frequency value corresponds to the value obtained from the calculation in Equation (12), and the calculation results are consistent and can be practically applied. In Figure 8. The frequency response was demonstrated by giving $IB1=IB2$, which adjusted the values of 25nA , 60nA , 125nA , resulting in the pole frequency values consistent with the values obtained from the simulation, namely the polarity values of 6.104MHz , 7.8071MHz and 8.991MHz , respectively. It was found that the adjustment of the current $IB1=IB2$ causes Bandwidth and polarity change accordingly and have no effect on the quality factor value and $\text{THD}= 2.1\%$.

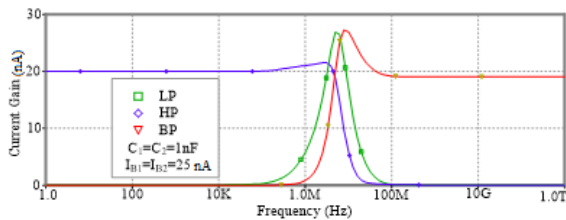


Figure 5. Frequency response effect of the filter circuit presented

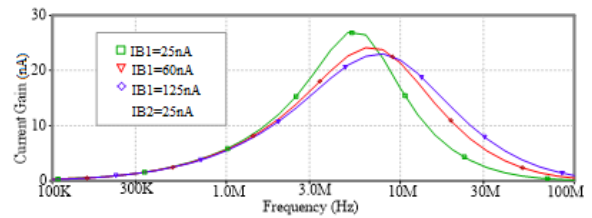
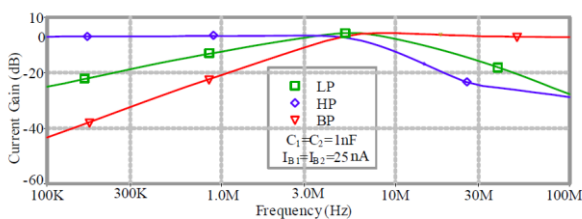


Figure 7. Response effect of bandpass filtering by adjusting $IB1=25\text{nA}$, 60nA , 125nA , and $IB2=25\text{nA}$

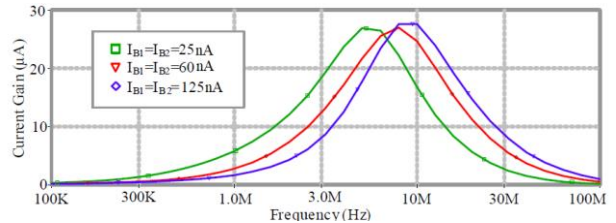


Figure 8. Response effect of bandpass filtering by setting $IB1=IB2$ to be equal to 25nA , 60nA , and 125nA

4. Discussion and Conclusion

A study was done on a multi-purpose universal filter circuit in KHN current mode which employed a multiple-output operational transconductance amplifier (DO-OTA). This circuit can also be used as an integrated circuit (IC) as it was designed to function with two grounded capacitors. Its ability to independently adjust the pole frequency without the need for additional resistors or components that are floating-mounted is one of this circuit's unique features. Better flexibility and control over its usage are made possible by the suggested circuit, which permits electrical modification of the pole frequency and quality factor value.

The LT-Spice program's simulation results were discovered to be closely consistent with theoretical predictions. With its low consumption of $298\mu\text{W}$ and need for a supply voltage of $\pm 0.2\text{V}$, this circuit is a cost-effective option for various electrical uses. When used with a DO-OTA, KHN current mode enhances performance and versatility in frequency filtering applications.

The research study focuses on the potential and viability of incorporating the proposed multi-purpose frequency filter circuit into integrated circuit designs. Changeable pole frequency and low power consumption are two of the circuit's unique features that make it a desirable option for a range of electronic systems that need accurate frequency filtering. The study highlights how innovative circuit designs contribute to the advancement of electrical technology and enhance performance across a range of applications.

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] Mohammed, A.A., Mahmood, Z.K. & Demirel, H. (2024). New Z copy-current differencing transconductance amplifier active filter using FinFET transistor based current Mode Universal Filter. *Global Journal of Engineering and Technology Advances*, 18(02),001-005.
- [2] Demirel, H., & Ahmed, A. (2024). New FinFet Transistor Implementation of Floating and Grounded Inductance Simulator Based on Active Elements. *Global Journal of Engineering Science*, 9(3), 647–653.
- [3] Mohammed, A. A., Demirel, H., & Mahmood, Z. K. (2023). Analysis fin field-effect transistor design with high-k insulators. *Nexo Revista Científica*, 36(06), 892-905.
- [4] Mohammed, A.A. & Demirel, H. (2023). Integration of Quadrature Oscillator and Floating Inductor in FinFET Transistor Design: Innovations and Applications. *Iranian Journal of Electrical & Electronic Engineering*, 19(04), 1.
- [5] Shaik, M. H., & Kumari, R. P. (2022). Design and Analysis of Analog Filters for Signal Processing Applications. *International Journal of Electronics and Communication Engineering*, 10(3), 145-157.
- [6] Smith, J., & Brown, L. (2020). Design and Analysis of Analog Frequency Filtering Circuits. *Journal of Analog Electronics*, 35(2), 123-134.
- [7] Sedra, A. S., & Smith, K. C. (2016). *Microelectronic Circuits. IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers*, 63(5), 1410-1422.
- [8] Demirel, H., (2017). *Elektronik II*, Birsen Publish House, İstanbul.
- [9] Ahmed, A., & Demirel, H. (2023). DESIGN Third order Sinusoidal Oscillator Employing Current Differencing Cascaded Trans conductance Amplifiers. *Gazi University Journal of Science Part C: Design and Technology*, 11(3), 735-743.
- [10] Shakir, A. M. (2017). Design of Voltage Mode 6th Order Elliptic Band-pass Filter Using Z-Copy Current Follower Transconductance Amplifier) ZC-CFTA. *Kirkuk University Journal-Scientific Studies*, 12(2), 271-285.
- [11] Demirel, H., & Ahmed, A. (2023). A Low-Power 30MHz, 6th Order Bandpass Differential Gm-C Filter on Chip Utilizing Floating Current Source. *Kastamonu University Journal of Engineering and Sciences*, 9(2), 96-103.
- [12] Jaikla, W., & Lahiri, A. (2012). Resistor-less current-mode four-phase quadrature oscillator using CCCDTAs and grounded capacitors. *AEÜ-Int. J. Electron. Commun.*, 66, 214–218.
- [13] Sa-Ngiamvibool, W., & Jantakun, A. (2014). Quadrature oscillator using CCCCTAs and grounded capacitors with amplitude controllability. *International Journal of Electronics*, 101, 1737–1758.
- [14] Demirel, H., (2017), *Elektronik II*. İstanbul Birsen Publishing.
- [15] Horng, J.W. (2011). Current/voltage-mode third order quadrature oscillator employing two multiple outputs CCIIs and grounded capacitors. *Indian Journal of Pure and Applied Physics*, 49, 494–498.
- [16] Prommee, P., & Dejhan, K. (2002). An integrable electronic controlled sinusoidal oscillator using CMOS operational transconductance amplifier. *International Journal of Electronics*, 89, 365–379.
- [17] Jaikla, W., & Lahiri, A. (2012). Resistor-less current-mode four-phase quadrature oscillator using CCCDTAs and grounded capacitors. *AEÜ-Int. J. Electron. Commun.*, 66, 214–218.
- [18] Bhaskar, D.R., Sharma, V.K., Monis, M., & Rizvi, S.M.I. (1999). New current-mode universal biquad filter. *Microelectronics Journal*, 30, 837-839.
- [19] Senani, R., Bhaskar, D. R., Singh, V. K., & Sharma, R. K. (2016). *Sinusoidal Oscillators and Waveform Generators Using Modern Electronic Circuit Building Blocks*. Cham, Switzerland: Springer.
- [20] Horng, J.W., Lee, H., & Wu, J.Y. (2010). Electronically tunable third-order quadrature oscillator using CDTAs. *Radio Engineering*, 19, 326–330.

A New Goodness of Fit Test for Complete or Type II Right Censored Samples

Anıl KOYUNCU¹, Mehmet KARAHASAN^{*2}

¹ Milli Eğitim Bakanlığı, Muğla Gazi Anadolu Lisesi, 48000, Muğla, Türkiye

^{2*} Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Fen Fakültesi, İstatistik Bölümü, 48170, Muğla, Türkiye

(Alınış / Received: 06.05.2024, Kabul / Accepted: 31.07.2024, Online Yayınlanma / Published Online: 23.08.2024)

Keywords

Goodness of fit tests,
Empirical distribution,
Type II right censoring,
Scale family,
Location-scale family

Abstract: This study proposes a new goodness-of-fit test based on the empirical distribution function for complete or type II right-censored random samples, which are drawn from either the exponential or log-normal distributions. Some simulation studies were conducted to compare the newly proposed test with some of the well-known goodness-of-fit tests, such as Kolmogorov-Smirnov, Cramer-von Mises, and Anderson-Darling, in terms of power over various sample sizes and censoring rates. The simulation results show that the newly proposed goodness of fit test generally seems to perform well compared to the other goodness of fit tests considered. In addition, the newly proposed test and the other goodness of fit tests are illustrated by applying them to some real data sets obtained from the relevant literature.

Tam ya da II. Tür Sağdan Durdurulmuş Örneklemeler için Yeni Bir Uyum İyiliği Testi

Anahtar Kelimeler

Uyum iyiliği testleri,
Deneyisel dağılım fonksiyonu,
II. tür sağdan durdurma
Ölçek ailesi,
Konum-ölçek ailesi

Özet: Bu çalışmada, üstel veya log-normal dağılımlardan alınan tam veya II. tür sağdan durdurulmuş rastgele örneklemeler için deneysel dağılım fonksiyonuna dayalı yeni bir uyum iyiliği testi önerilmektedir. Yeni önerilen uyum iyiliği testi Kolmogorov-Smirnov, Cramer-von Mises ve Anderson-Darling gibi iyi bilinen bazı uyum iyiliği testleri ile çeşitli örneklem büyüklükleri ve durdurma oranları üzerinde güç açısından karşılaştırmak için bazı simülasyon çalışmaları yapılmıştır. Simülasyon sonuçları, yeni önerilen uyum iyiliği testinin, dikkate alınan diğer uyum iyiliği testlerine kıyasla genel olarak iyi performans gösterdiğini ortaya koymaktadır. Ayrıca, yeni önerilen uyum iyiliği testi ve diğer uyum iyiliği testleri, ilgili literatürden elde edilen bazı gerçek veri setlerine uygulanarak gösterilmiştir.

1. Introduction

For several reasons, such as the physical constraints and cost, data in reliability and life testing studies are generally censored. Consequently, statistical analyses are usually performed on censored data. In particular, it is important to the fit of a family of probability distributions to data in parametric analyses when the data are censored. The problem can be expressed as follows. Let X denote the random variable with the distribution function F and X_1, X_2, \dots, X_n a random sample from the distribution and $X_{1:n} \leq X_{2:n} \leq \dots \leq X_{r:n}$ the corresponding type II right censored random sample with censoring rate $p = r/n$. Then the hypothesis of interest is as follows:

$$H_0: F \in \{F_\theta\} \text{ versus } H_A: F \notin \{F_\theta\}, \quad (1)$$

where $\{F_\theta\}$ is a parametric family of distributions indexed by $\theta \in \Theta \subseteq \mathbb{R}^k$. To deal with the problem, or its simpler version claiming that the data come from a fully specified distribution, several goodness-

of-fit tests have been proposed. One of the most popular approaches is based on empirical distribution functions, i.e. EDF-based goodness-of-fit tests. Kolmogorov-Smirnov by [1] and [2], Cramer-von Mises by [3] and [4], and Anderson and Darling [5] are some of the well-known examples of this type of goodness-fit tests. Kuiper and Watson tests by [6] and [7] are other examples of EDF based goodness-of-fit tests. These tests essentially measure some kind of discrepancy between the empirical distribution function F_n and the theoretical distribution function F_θ [8]. While some tests such as Kolmogorov-Smirnov consider absolute distance between the two functions, some tests such as Cramer-von Mises consider the square distance.

Goodness of fit tests based on EDF statistics have been discussed for complete and censored samples in various works in the literature. Some of the works include: [8], [9], [10], [11], [12], [13], [14], [15], [16], [17], and [18].

* Corresponding Author: mkarahas@mu.edu.tr

Since goodness-of-fit tests is a commonly used statistical tool in scientific research in many disciplines, the effort to improve existing goodness-of-fit tests or develop new ones continues. Some of the works in this direction are as follows: [19], [20], [21], [22], [23], [24], [25], and [26].

In this study, a new goodness-of-fit test, which we will call W_{AKM} , is introduced in the cases of uncensored and Type II right censored samples coming from either the exponential or log-normal distribution. Then, the power performance of the newly proposed test compared to some of the EDF type goodness-of-fit tests is investigated through simulation studies for some scale or location-scale families. The goodness-of-fit tests considered are the following: Kolmogorov-Smirnov, Kuiper, Cramer-von Mises, Watson and Anderson-Darling tests.

The rest of the paper is organized as follows. In Section 2, the new goodness-of-fit test is first introduced. Then, in the same section, the settings of the simulation studies to be performed are explained before describing some real data sets used to illustrate the new goodness-of-fit test as well as the other tests considered. Section 3 presents the results of the comparisons from the simulation studies as well as the results obtained from applying the methods to the data sets. Finally, some discussion and concluding remarks are given in Section 4.

2. Material and Method

In this section, a new goodness-of-fit test is proposed for the cases of both complete and Type II right censored samples from the exponential distribution, a scale family, or the log-normal distribution, a log location-scale family. Let X_1, X_2, \dots, X_n be a random sample from such a distribution F and $X_{1:n} \leq X_{2:n} \leq \dots \leq X_{r:n}$ the corresponding type II right censored sample.

The parameters of the distribution F are to be estimated from the sample. Since the parameters are unknown, the sample U_1, U_2, \dots, U_n from the uniform (0,1) distribution or the corresponding type II censored sample $U_{1:n} \leq U_{2:n} \leq \dots \leq U_{r:n}$ cannot be obtained by using the probability integral transformation $U_i = F(X_i)$. However, by replacing the parameters with their estimates in F , i.e. $U_i^* = F_{\hat{\theta}}(X_i)$, the sample $U_1^*, U_2^*, \dots, U_n^*$ and the corresponding type II censored sample $U_{1:n}^* \leq U_{2:n}^* \leq \dots \leq U_{r:n}^*$ are formed. The sample $U_1^*, U_2^*, \dots, U_n^*$ will not be a sample from the uniform distribution [8]. In such a case, the critical values of EDF test statistics will generally depend on the family of distributions, the parameters, the method of estimation and the sample size [8]. However, for scale or location-scale families of distributions, the critical values do not depend on the true values of the parameters but the sample size n and the specific family of distributions.

The well-known Cramer-von Mises test is based on the quadratic distance between the empirical distribution function and the theoretical distribution, giving equal weight to all parts of the distribution as in (2).

$$W^2 = n \int_{-\infty}^{\infty} \{F_n(x) - F(x)\}^2 dF(x) \tag{2}$$

On the other hand, the Anderson-Darling test, another well-known test based on the square distance, emphasizes the tails of the distribution by using the weights as in (3).

$$A^2 = n \int_{-\infty}^{\infty} \{F_n(x) - F(x)\}^2 \left\{ \frac{1}{F(x)[1-F(x)]} \right\} dF(x) \tag{3}$$

Unlike the two tests, the Watson test uses the following type of difference between $F_n(x)$ and $F(x)$ as in (4),

$$U^2 = n \int_{-\infty}^{\infty} \{F_n(x) - F(x) - \int_{-\infty}^{\infty} [F_n(x)F(x)] dF(x)\}^2 dF(x) \tag{4}$$

The idea behind the new goodness-of-fit test can be explained as follows. Unlike the three tests, this paper proposes a goodness-of-fit test that takes into account both the quadratic and absolute differences between the empirical distribution and the theoretical distribution functions. The explicit formula for the new test W_{AKM} is expressed in (5):

$$W_{AKM} = |n \{ \int_{-\infty}^{\infty} [F_n(x) - F(x)]^2 dF(x) - \int_{-\infty}^{\infty} [F_n(x) - F(x)] dF(x) \} | \tag{5}$$

In addition, the proposed test is similar to the Watson test; thus, it can be considered as another modification of the Cramer von-Mises test.

Table A1. and Table A2. in Appendix show the simulated critical values of some of the EDF tests for the exponential and log-normal distribution families, respectively, over various sample sizes and Type II censoring rates for $\alpha = 0.05$ over 100000 replicates.

In the following subsections, when introducing the new goodness of fit test, the notation U_1, U_2, \dots, U_n and $U_{1:n} \leq U_{2:n} \leq \dots \leq U_{r:n}$ are used for complete and type II censored samples, respectively, instead of $U_1^*, U_2^*, \dots, U_n^*$ and $U_{1:n}^* \leq U_{2:n}^* \leq \dots \leq U_{r:n}^*$ for simplicity.

2.1. Type II right censored case

Since the expression of the new test statistic is very similar to that of the Watson test statistic, the computational formula for the new test is easily derived from that of the Watson test. Recall the formula for the Watson test statistic for the Type II right-censored data,

$$U_{r,n}^2 = W_{r,n}^2 - nU_{r,n} \left[\frac{r}{n} - \frac{U_{r:n}}{2} - \frac{r\bar{U}}{nU_{r:n}} \right]^2 \quad (6)$$

where $\bar{U} = \sum_{i=1}^r \frac{U_{i:n}}{r}$ and $W_{r,n}^2$ denotes Cramer-von Mises goodness-of-fit test statistic for the Type II right-censored data. By making the necessary changes in (6), the modified statistic W_{AKM} is obtained as in (7).

$$W_{AKM} = \left| W_{r,n}^2 - n\sqrt{U_{r:n}} \left(\frac{r}{n} - \frac{U_{r:n}}{2} - \frac{r\bar{U}}{nU_{r:n}} \right) \right| \quad (7)$$

where \bar{U} is defined as in (6).

2.2. Complete sample case

The new test for the full sample case is again obtained by modifying the original Watson test for the case of Type II censored case. In other words, a complete sample is considered as if it were a Type II censored sample and then the statistic in (8) is proposed as a new modification of the Watson statistic:

$$W_{AKM} = \left| W_{n,n}^2 - n\sqrt{U_{n:n}} \left(1 - \frac{U_{n:n}}{2} - \frac{\bar{U}}{U_{n:n}} \right) \right| \quad (8)$$

where $\bar{U} = \sum_{i=1}^n \frac{U_{i:n}}{n}$ and $W_{n,n}^2$ is the statistic of Cramer-von Mises test for the Type II right-censored data with r replaced by n :

$$W_{n,n}^2 = \sum_{i=1}^n \left(U_{i:n} - \frac{2i-1}{2n} \right)^2 + \frac{1}{12n} + \frac{n}{3} (U_{n:n} - 1)^3 \quad (9)$$

2.3. Settings of simulation study

The power performance of some of the well-known goodness-of-fit tests based on EDF are compared with that of the goodness-of-fit test proposed in this study through simulations.

The setting of the simulations can be explained as follows. First, the hypothesis testing problem to be considered is that the random sample is drawn from a specified family of location-scale distributions, as indicated below.

H_0 : The relevant random sample X_1, X_2, \dots, X_n or the Type II right censored sample $X_{1:n}, X_{2:n}, \dots, X_{r:n}$ comes from the specified family of scale or location-scale distributions.

H_A : The relevant random sample X_1, X_2, \dots, X_n or the Type II right censored sample $X_{1:n}, X_{2:n}, \dots, X_{r:n}$ comes from another specified family of distributions.

The samples of size $n = 10, 20, 30, 40, 50$ and 100 were generated as either complete or Type II right censored with censoring rates $p = \frac{r}{n} = 0.20, 0.40, 0.60, 0.80$, and 1.00 from the hypothesized distributions in H_A . Then, the pseudo-random sample

is considered as if it came from the distribution specified in H_0 and the parameters, in turn, the $U_i = F(X_i)$ is estimated to obtain the "uniform" sample U_1, U_2, \dots, U_n or the corresponding Type II right-censored data $U_{1:n}, U_{2:n}, \dots, U_{r:n}$.

Finally, the relevant statistics for the goodness-of-fit tests are computed and the decision is made to reject or not reject the null hypothesis H_0 . The simulated power of the tests are obtained for $\alpha = 0.05$ over 25000 replicates for each case. For each test, the ratio of the number of rejections to the number of repetitions, namely 25000, gives the simulated power for that particular case.

The simulations treat the parameters as if they were unknown. Therefore, they are estimated by the method of maximum likelihood. The corresponding estimates are obtained using the R computing environment via the package `fitdistrplus`, using the functions `fitdistr` and `fitdistsens` for complete and Type II right censored samples are used, respectively. In some cases, the estimates cannot be obtained because of the convergence problems associated with the algorithms for finding maximum likelihood estimates, especially when testing the log-normal distribution against the alternative distributions when the sample size n is 10 and the censoring rate is 0.20. Such cases are omitted from the simulations.

Regarding the precision of the rejection rates, with 25000 replicates, the largest possible standard error for the rejection rate is

$$\sigma = \sqrt{\frac{0.5(1-0.5)}{25000}} = 0.0032 \quad (10)$$

Therefore, an approximate 99% confidence interval for the proportion of rejections is formed as the simulated power value $\pm 3(0.0032)$, i.e., the simulated power value ± 0.00964 . This means that if any two simulated power values associated with any two tests for a situation differ by more than 0.01 for a situation, the power of the two tests for that special case are statistically different at the $\alpha = 0.01$ significance level. Note that all computations in this study are performed using computer programs of R code developed specifically for this study.

The formulae for the goodness of fit tests considered in the case of the complete sample are as follows.

The Kolmogorov-Smirnov test statistic is defined as $D = \max(D^+, D^-)$ where,

$$D^+ = \max_i \left(\frac{i}{n} - U_{i:n} \right) \quad D^- = \max_i \left(U_{i:n} - \frac{i-1}{n} \right) \quad (11)$$

By using (11) Kuiper test statistic is expressed as $V = D^+ + D^-$. As for the Cramer-von Mises test statistic, it is as follows:

$$W^2 = \sum_{i=1}^n \left\{ U_{i:n} - \frac{2i-1}{2n} \right\}^2 + \frac{1}{12n} \tag{12}$$

Next, the test that is closely related to the Cramer-von Mises test, namely the Watson test has the following test statistic

$$U^2 = W^2 - n \left(\bar{U} - \frac{1}{2} \right)^2 \tag{13}$$

where $\bar{U} = \sum_{i=1}^n \frac{U_{i:n}}{n}$. Finally, the Anderson-Darling test has the test statistic of the form in (14).

$$A^2 = -n - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (2i-1) \{ \ln(U_{i:n}) + \ln(1 - U_{n+1-i:n}) \} \tag{14}$$

In all of the above formulas $U_{i:n} = F(X_{i:n})$ denotes the i th order statistic for a random sample size of n from the uniform distribution over $(0, 1)$. In the case of the type II censored samples, the statistics for these EDF tests are expressed as follows.

First, the test statistic for the Kolmogorov-Smirnov test is

$$D_{r,n} = \max_{1 \leq i \leq r} \left\{ \frac{i}{n} - U_{i:n}, U_{i:n} - \frac{i-1}{n} \right\} \tag{15}$$

Then, that of the Cramer-von Mises test is as follows:

$$W_{r,n}^2 = \sum_{i=1}^r \left(U_{i:n} - \frac{2i-1}{2n} \right)^2 + \frac{r}{12n^2} + \frac{n}{3} \left(U_{r:n} - \frac{r}{n} \right)^3 \tag{16}$$

Next, the Watson test has the statistic of the following form in (17):

$$U_{r,n}^2 = W_{r,n}^2 - n U_{r:n} \left[\frac{r}{n} - \frac{U_{r:n}}{2} - \frac{r\bar{U}}{n U_{r:n}} \right]^2 \tag{17}$$

where $\bar{U} = \sum_{i=1}^r \frac{U_{i:n}}{r}$. Finally, the Anderson-Darling test uses the statistic in (18).

$$A_{r,n}^2 = -\frac{1}{n} \sum_{i=1}^r (2i-1) [\ln U_{i:n} - \ln \{ 1 - U_{i:n} \}] - 2 \sum_{i=1}^r \ln \{ 1 - U_{i:n} \} - \frac{1}{n} [(r-n)^2 \ln \{ 1 - U_{r:n} \} - r^2 \ln U_{r:n} + n^2 U_{r:n}] \tag{18}$$

In the simulations, the exponential and log-normal distributions are considered as the null distributions. Since the log-normal distribution is not directly a location-scale distribution, the simulated observations from these distributions are transformed using the natural logarithm to obtain a location-scale distribution, namely the normal distribution. Therefore, all computations including the critical values of the goodness-of-fit tests related to the log-normal distribution were performed on the normal distribution.

The alternative distributions considered are exponential, Weibull, gamma and log-normal. With this choice of the distributions, constant, increasing, decreasing and non-monotonic hazard functions are employed as alternatives. The specific distributions for the null and alternative hypotheses are shown in Table 1. The values of the parameters are chosen so that the mean lifetimes for the null and alternative distributions are approximately equal. The critical values do not depend on the specific chosen parameter values, because they are computed after the transformation to location-scale distribution in the case of the log-normal distribution. The same is true for the exponential distribution because it is a scale family of distributions.

2.4. Some real data sets

In order to illustrate the newly proposed goodness of fit test W_{AKM} in comparison to some well-known goodness of fit tests, some data sets from the literature have been used.

The first data set we consider consists of the times of successive failures of the air conditioning system of each member of a fleet of Boeing 720 jets, given by [27]. The flight hours between 30 failures on aircraft 7912 are as follows.

23, 261, 87, 7, 120, 14, 62, 47, 225, 71, 246, 21, 42, 20, 5, 12, 120, 11, 3, 14, 71, 11, 14, 11, 16, 90, 1, 16, 52, 95

In [27] it is stated that the distribution from which the data come from is the exponential distribution.

The second data set we consider is from [29] and contains the following 20 failure times in hours of electronic parts of equipment [28].

154, 419, 590, 603, 770, 845, 848, 891, 899, 953, 954, 982, 1044, 1059, 1126, 1127, 1294, 1678, 1831, 1847

Furthermore, the Weibull distribution is assumed to be an appropriate model to describe the data in [29].

The third data set we consider is given by [31] and it consists of 23 observations representing the number of millions of revolutions before failure for 23 ball bearings in a life test [30]. The data are as follows. 17.88, 28.92, 33.00, 41.52, 42.12, 45.60, 48.80, 51.84, 51.96, 54.12, 55.56, 67.80, 68.44, 68.64, 68.88, 84.12, 93.12, 98.64, 105.12, 105.84, 127.92, 128.04, 173.40

Furthermore, this data set is found to be a good fit to the log-logistic distribution [30]. In this study, the first 20 observations of the data are used in the goodness-of-fit tests.

Finally, the fourth data set we consider is provided by [32] and gives the average duration of hypopnea in

seconds for 25 subjects with obstructive sleep apnea, which is also analyzed in [33].

14.7, 17.8, 16.5, 17.7, 28.5, 18.1, 32.2, 27.6, 22.3, 31.8, 22.0, 23.1, 31.6, 18.4, 28.3, 16.5, 21.8, 23.7, 27.6, 17.2, 20.0, 20.6, 19.0, 18.7, 19.2

Furthermore, the log-normality of the data cannot be rejected [33]. In this study, the first 20 observations of the data are considered in the goodness-of-fit tests performed.

3. Results

The simulation results of performance comparisons of some common EDF goodness-of-fit tests are presented in Tables 2. through Table 5. In these tables, KS stands for Kolmogorov-Smirnov test; K, Kuiper test; CVM, Cramer-von Mises test; W, Watson test; AD, Anderson-Darling test; W_{AKM} , the new test proposed in this paper.

In addition, in the cases where the new test W_{AKM} provides an improvement in performance over the other tests, the “increase%” column is added to the tables to quantify the improvement. This column shows the percentage increase in power between the test W_{AKM} and the test that is closest in power to the test W_{AKM} .

$$increase\% = \frac{\text{the power of } W_{AKM} - \text{the closest power to that of } W_{AKM}}{\text{the closest power to that of } W_{AKM}} \times 100$$

In this section, the families of exponential distribution and log-normal distributions are hypothesized under the null hypothesis H_0 versus Weibull, gamma, exponential and log-normal distributions under the alternative hypothesis H_A .

Table 2. shows the simulation results for testing the exponential distribution against the Weibull distribution with increasing hazard function. According to Table 2., the following comments can be made:

- First, when the sample size n is 10, the power of all goodness-of-fit tests for all censoring rates is low. Among these low power values, the power of the W_{AKM} test is higher than the power of the other tests when the censoring rate p is 0.60 and 0.80 and for the full sample case. Furthermore, in terms of power, the W_{AKM} test is followed by the CVM and KS tests in these cases. Similarly, KS, CVM and W_{AKM} tests are

observed as the most powerful tests when the censoring ratio p is 0.20 and 0.40.

- For sample sizes $n=20$ and $n=30$ and censoring ratio $p \geq 0.40$ and as well as for the full sample case, the power performance of the W_{AKM} test is better than the other tests. Moreover, the CVM, KS and AD tests are remarkable in terms of power in these cases after the W_{AKM} test. In addition, the percentage power increase provided by the W_{AKM} test tends to be higher when the sample size n is 20 than when the sample size n is 30. Finally, when the censoring rate p is 0.20, the W_{AKM} , CVM and KS tests are more powerful than other tests.
- The W_{AKM} test outperforms the other tests for sample sizes n of 40 and 50, for all censoring rates, and for the full sample case. Other tests for the magnitude of power that stand out under the same cases are the CVM and AD tests. The percentage power improvement provided by the W_{AKM} test in these cases tends to decrease with increasing sample size.
- The W_{AKM} test has slightly the highest power when the sample size n is 100 and the censoring ratios p 's are 0.20, 0.40 and 0.60. Moreover, the closest power performance to W_{AKM} comes from CVM and AD tests. When the censoring ratio p is 0.80, the tests with the highest power are the W_{AKM} , AD and CVM tests. For the complete sample case, all tests are very close to a power of almost 1

In this paper, simulation results are not given for the following two cases due to the low power or no significant improvement in power provided by the proposed W_{AKM} test: (i) the case of exponential distribution versus gamma distribution with decreasing hazard function and (ii) the case of exponential distribution versus log-normal distribution.

The simulation results for testing the log-normal distribution against the Weibull distribution with increasing hazard function are presented in Table 3. From Table 3, the followings can be said:

- As expected when the sample size n is 10, the power of all goodness-of-fit tests is very low for all censoring rates and for the full sample case. The best performance comes from the W_{AKM} test when the censoring ratio p is 0.60,

Table 1. The distributions for the null and alternative hypotheses in the simulations

Distributions for H_A	Hazard Function	Distributions for H_0	
		Exponential (1)	Lognormal (0, 0.7)
Weibull (1.5, 1.1)	increasing	√	√
Gamma (0.5, 0.7)	decreasing	√	√

Exponential (1)	constant	√
Log-normal (0, 0.7)	non-monotonic	√

Table 2. Simulated power values for exponential distribution against the Weibull distribution with increasing hazard function (25,000 repetitions)

n	p	KS	K	CVM	W	AD	W_{AKM}	Increase%
10	0.20	0.0766	0.0474	0.0764	0.0089	0.0390	0.0755	None
	0.40	0.1118	0.0568	0.1192	0.0144	0.0700	0.1289	None
	0.60	0.1364	0.0788	0.1472	0.0222	0.0911	0.1896	28.8
	0.80	0.1684	0.1245	0.1776	0.0444	0.1216	0.2485	39.9
	1.00	0.2128	0.2050	0.2481	0.2206	0.1854	0.3540	42.7
20	0.20	0.1126	0.0516	0.1248	0.0282	0.0757	0.1282	None
	0.40	0.1617	0.0804	0.1870	0.0372	0.1349	0.2239	19.7
	0.60	0.2304	0.1430	0.2564	0.0665	0.2110	0.3387	32.1
	0.80	0.2916	0.2340	0.3326	0.1276	0.2860	0.4612	38.7
	1.00	0.3979	0.3703	0.4857	0.4076	0.4440	0.6154	26.7
30	0.20	0.1450	0.0608	0.1627	0.0383	0.1088	0.1753	None
	0.40	0.2252	0.1214	0.2590	0.0636	0.2099	0.3125	20.6
	0.60	0.3098	0.2126	0.3593	0.1183	0.3295	0.4592	27.8
	0.80	0.4247	0.3540	0.4888	0.2208	0.4599	0.6112	25.0
	1.00	0.5666	0.5278	0.6722	0.5717	0.6518	0.7941	18.1
40	0.20	0.1718	0.0758	0.1974	0.0508	0.1425	0.2236	13.3
	0.40	0.2862	0.1599	0.3258	0.0984	0.2927	0.3920	20.3
	0.60	0.3994	0.2911	0.4714	0.1780	0.4514	0.5710	21.1
	0.80	0.5385	0.4756	0.6230	0.3330	0.6118	0.7384	18.5
	1.00	0.7046	0.6712	0.8125	0.7120	0.8068	0.9011	10.9
50	0.20	0.1977	0.0852	0.2308	0.0604	0.1794	0.2637	14.2
	0.40	0.3426	0.2076	0.4055	0.1330	0.3760	0.4679	15.4
	0.60	0.4933	0.3740	0.5665	0.2426	0.5596	0.6562	15.8
	0.80	0.6488	0.5861	0.7402	0.4373	0.7387	0.8358	12.9
	1.00	0.8107	0.7776	0.8998	0.8158	0.9016	0.9559	6.0
100	0.20	0.3343	0.1638	0.3960	0.1250	0.3584	0.4380	10.6
	0.40	0.5862	0.4229	0.6712	0.3123	0.6844	0.7323	7.0
	0.60	0.7999	0.7148	0.8699	0.5704	0.8882	0.9111	2.6
	0.80	0.9284	0.9087	0.9679	0.8287	0.9747	0.9853	None
	1.00	0.9878	0.9828	0.9974	0.9888	0.9984	0.9994	None

0.80, followed by the KS, AD and CVM tests. For a censoring rate of $p=0.40$, the power ranking is W_{AKM} , CVM, KS and AD tests. Also, the most powerful tests after W_{AKM} are the AD and CVM tests for the full sample case.

- The W_{AKM} test is superior to the other tests in terms of power when the sample size n is 20 and 30, and for all censoring rates except $p = 0.20$. In the same cases, the performance of the AD and CVM tests follows the performance of the W_{AKM} test. In addition, for a censoring rate of $p=0.20$, the most powerful tests for sample sizes of 20 and 30 are the W_{AKM} , CVM, and AD tests.
- The W_{AKM} test has the best power performance among the other tests when the sample size n is 40, 50, and 100 and for all

censoring rates. The next good performance comes from the AD and CVM tests.

- The increase in percent power delivered by the W_{AKM} test in Table 3 is typically higher than that in Table 2.

Table 4. gives the simulation results for testing the log-normal distribution versus the gamma distribution with decreasing hazard function. The following points can be made from Table 4:

- Again low powers are obtained for all tests and all censoring ratios when the sample size n is 10. The W_{AKM} test exceeds the other tests with respect to power for censoring ratios of 0.60 and 0.80. The same is true for the complete sample case.

Table 3. Simulated power values for the log-normal distribution against the Weibull distribution (25,000 repetitions)

n	p	KS	K	CVM	W	AD	W_{AKM}	Increase%
	0.40	0.0672	0.0554	0.0687	0.0491	0.0664	0.0774	None

10	0.60	0.0774	0.0505	0.0743	0.0440	0.0771	0.1116	44.2
	0.80	0.0955	0.0709	0.0860	0.0486	0.0927	0.1591	66.6
	1.00	0.1169	0.1086	0.1317	0.1209	0.1392	0.2351	68.9
20	0.20	0.0671	0.0582	0.0688	0.0558	0.0650	0.0704	None
	0.40	0.0844	0.0587	0.0854	0.0529	0.0908	0.1224	34.8
	0.60	0.1052	0.0713	0.1052	0.0555	0.1180	0.1886	59.8
	0.80	0.1391	0.1056	0.1398	0.0730	0.1547	0.2892	86.9
	1.00	0.1975	0.1811	0.2414	0.2127	0.2660	0.4440	66.9
30	0.20	0.0705	0.0569	0.0767	0.0526	0.0762	0.0898	None
	0.40	0.0978	0.0656	0.1046	0.0571	0.1154	0.1593	38.0
	0.60	0.1406	0.0952	0.1435	0.0736	0.1669	0.2550	52.8
	0.80	0.1930	0.1566	0.2069	0.1166	0.2278	0.3870	69.9
	1.00	0.2847	0.2613	0.3505	0.3035	0.3902	0.6015	54.1
40	0.20	0.0819	0.0600	0.0872	0.0574	0.0871	0.1073	23.1
	0.40	0.1189	0.0772	0.1249	0.0668	0.1347	0.1924	42.8
	0.60	0.1664	0.1150	0.1810	0.0932	0.2040	0.3064	50.2
	0.80	0.2387	0.1975	0.2633	0.1520	0.2882	0.4766	65.4
	1.00	0.3656	0.3348	0.4538	0.3886	0.5027	0.7087	41.0
50	0.20	0.0877	0.0638	0.0954	0.0617	0.0958	0.1221	27.5
	0.40	0.1270	0.0799	0.1419	0.0738	0.1568	0.2202	40.4
	0.60	0.1975	0.1407	0.2196	0.1184	0.2443	0.3641	49.0
	0.80	0.2882	0.2475	0.3290	0.1942	0.3547	0.5558	56.7
	1.00	0.4350	0.4038	0.5392	0.4623	0.5930	0.7911	25.0
100	0.20	0.1135	0.0750	0.1261	0.0723	0.1306	0.1687	29.2
	0.40	0.1957	0.1249	0.2325	0.1216	0.2520	0.3374	33.9
	0.60	0.3308	0.2561	0.3886	0.2217	0.4221	0.5635	33.5
	0.80	0.5090	0.4894	0.5982	0.4198	0.6263	0.8020	28.1
	1.00	0.7258	0.7087	0.8414	0.7680	0.8845	0.9660	9.2

Table 4. Simulated power values for the log-normal distribution against the gamma distribution (25,000 repetitions)

n	p	KS	K	CVM	W	AD	W_{AKM}	Increase%
10	0.40	0.0746	0.0576	0.0747	0.0520	0.0730	0.0877	None
	0.60	0.0969	0.0600	0.0899	0.0477	0.0969	0.1440	48.6
	0.80	0.1198	0.0872	0.1076	0.0522	0.1186	0.2144	76.5
	1.00	0.1670	0.1582	0.1967	0.1784	0.2089	0.3458	65.5
20	0.20	0.0686	0.0593	0.0721	0.0554	0.0682	0.0751	None
	0.40	0.0999	0.0622	0.1016	0.0548	0.1081	0.1504	39.1
	0.60	0.1458	0.0914	0.1508	0.0676	0.1662	0.2595	56.1
	0.80	0.2077	0.1639	0.2199	0.1095	0.2375	0.4073	71.1
	1.00	0.3186	0.3086	0.4001	0.3546	0.4379	0.6342	44.8
30	0.20	0.0748	0.0602	0.0805	0.0550	0.0804	0.0937	None
	0.40	0.1213	0.0772	0.1350	0.0674	0.1433	0.2024	41.2
	0.60	0.1945	0.1345	0.2088	0.1019	0.2345	0.3524	50.3
	0.80	0.2996	0.2577	0.3312	0.1850	0.3524	0.5543	57.3
	1.00	0.4598	0.4576	0.5716	0.5106	0.6239	0.8078	29.5
40	0.20	0.0858	0.0650	0.0940	0.0626	0.0955	0.1174	22.9
	0.40	0.1472	0.0895	0.1612	0.0790	0.1720	0.2481	44.2
	0.60	0.2470	0.1726	0.2759	0.1357	0.3025	0.4358	44.1
	0.80	0.3891	0.3470	0.4377	0.2642	0.4616	0.6776	31.9
	1.00	0.5823	0.5837	0.6990	0.6338	0.7531	0.8964	19.0
50	0.20	0.0973	0.0664	0.1054	0.0652	0.1060	0.1386	30.8
	0.40	0.1690	0.1023	0.1890	0.0918	0.2030	0.2853	40.5
	0.60	0.2940	0.2168	0.3360	0.1761	0.3631	0.5132	41.3
	0.80	0.4624	0.4285	0.5279	0.3327	0.5505	0.7606	38.2
	1.00	0.6772	0.6897	0.8019	0.7367	0.8498	0.9464	11.4
100	0.20	0.1294	0.0838	0.1467	0.0820	0.1518	0.2016	32.8
	0.40	0.2802	0.1830	0.3308	0.1735	0.3512	0.4564	30.0
	0.60	0.5054	0.4208	0.5853	0.3645	0.6110	0.7557	23.7
	0.80	0.7504	0.7574	0.8319	0.6569	0.8454	0.9513	12.5
	1.00	0.9383	0.9498	0.9821	0.9627	0.9911	0.9985	None

- The W_{AKM} test outperforms the other tests in terms of power for all censoring ratios, but $p=0.20$ for sample sizes n of 20 and 30. The

same applies to the full sample case. The AD and CVM tests come after the W_{AKM} test in power performance in all cases. In addition,

W_{AKM} , CVM, KS, and AD at $n=20$ and W_{AKM} , CVM, and AD at $n=30$ are the most powerful tests for $p=0.20$. Again, as the sample size increases, the percentage increase in power due to W_{AKM} tends to decrease.

- For sample sizes of 40 and 50 and for all censoring ratios, including the full sample case, W_{AKM} has the greatest power among the tests. The AD and CVM tests follow the W_{AKM} test in terms of power.
- When the sample size n is 100 and for all censoring ratios except the full sample case, the tests with the highest power are, in order, W_{AKM} , AD, and CVM. In the full sample case, all tests have high powers, but the powers of W_{AKM} , AD, and CVM are much closer to 1 compared to the others.

- W_{AKM} dominates the other tests in terms of power when $n=10$ with censoring ratios $p=0.60$ and 0.80 . The same is true for the full sample case. In the case of $p=0.40$, the W_{AKM} , KS, CVM and AD tests perform best.

- For sample sizes n of 20, 30, and 40, and for all censoring ratios except $p=0.20$, W_{AKM} has better power than other tests. The AD and CVM tests have highest power performance after the W_{AKM} test. Additionally, in the case of $p=0.20$, the W_{AKM} , CVM, AD and KS tests perform best.
- For sample sizes of 50 and 100 and for all censoring ratios, including the full sample case, W_{AKM} has the highest power of the tests considered. The second best performance comes from the AD and CVM tests.

The simulation results for testing the log-normal distribution versus the exponential distribution are given in Table 5. The following comments can be made from Table 5:

There appears to be a general trend of a decrease in the percentage increase in power in Tables 2 through 5 as the sample size increases. This is due to the fact that power tends to increase in magnitude as the sample size increases.

Table 5. Simulated power values for the log-normal distribution against the exponential distribution (25,000 repetitions)

n	p	KS	K	CVM	W	AD	W_{AKM}	Increase%
10	0.40	0.0675	0.0551	0.0669	0.0508	0.0650	0.0743	None
	0.60	0.0790	0.0521	0.0713	0.0427	0.0768	0.1137	43.9
	0.80	0.0912	0.0671	0.0828	0.0449	0.0899	0.1578	73.0
	1.00	0.1145	0.1067	0.1292	0.1180	0.1366	0.2365	73.1
20	0.20	0.0677	0.0595	0.0692	0.0581	0.0669	0.0709	None
	0.40	0.0828	0.0577	0.0846	0.0523	0.0904	0.1219	34.8
	0.60	0.1070	0.0708	0.1068	0.0565	0.1213	0.1902	56.8
	0.80	0.1422	0.1105	0.1435	0.0758	0.1591	0.2932	84.3
30	1.00	0.1982	0.1771	0.2391	0.2077	0.2635	0.4356	65.3
	0.20	0.0721	0.0592	0.0732	0.0532	0.0752	0.0866	None
	0.40	0.0985	0.0679	0.1034	0.0574	0.1149	0.1596	38.9
	0.60	0.1385	0.0932	0.1424	0.0734	0.1654	0.2562	54.9
40	0.80	0.1889	0.1560	0.2042	0.1160	0.2266	0.3867	70.7
	1.00	0.2818	0.2579	0.3494	0.2990	0.3908	0.5976	52.9
	0.20	0.0825	0.0604	0.0861	0.0598	0.0856	0.1060	None
	0.40	0.1124	0.0724	0.1220	0.0648	0.1355	0.1942	43.3
50	0.60	0.1654	0.1138	0.1817	0.0920	0.2050	0.3070	49.8
	0.80	0.2398	0.2004	0.2667	0.1594	0.2907	0.4776	64.3
	1.00	0.3626	0.3362	0.4516	0.3910	0.5005	0.7042	40.7
	0.20	0.0881	0.0611	0.0937	0.0597	0.0949	0.1214	27.9
100	0.40	0.1311	0.0832	0.1449	0.0754	0.1574	0.2202	39.9
	0.60	0.1964	0.1388	0.2181	0.1163	0.2432	0.3596	47.9
	0.80	0.2880	0.2490	0.3244	0.1963	0.3486	0.5520	58.3
	1.00	0.4288	0.4046	0.5360	0.4620	0.5940	0.7864	32.4
100	0.20	0.1110	0.0754	0.1258	0.0721	0.1329	0.1700	27.9
	0.40	0.1992	0.1314	0.2328	0.1235	0.2550	0.3396	33.2
	0.60	0.3276	0.2550	0.3848	0.2219	0.4200	0.5613	33.6
	0.80	0.5058	0.4856	0.5886	0.4156	0.6183	0.8021	29.7
	1.00	0.7294	0.7112	0.8434	0.7701	0.8878	0.9685	9.1

Table 6. The goodness of fit of the data sets to the exponential distribution for some tests at the significance level of $\alpha=0.05$. (0: non-reject; 1: reject)

Data Sets	p	KS	K	CVM	W	AD	W_{AKM}
	0.20	0	0	0	0	0	0
	0.40	1	0	0	0	0	0

Data set 1 by [27]	0.60	0	0	0	1	0	0
	0.80	0	0	0	1	0	0
	1.00	1	0	0	0	0	0
Data set 2 by [29]	0.20	0	0	0	0	0	0
	0.40	0	0	1	0	0	1
	0.60	1	1	1	0	1	1
	0.80	1	1	1	1	1	1
	1.00	1	1	1	1	1	1
Data set 3 by [31]	0.20	0	0	0	0	0	0
	0.40	1	0	1	0	1	1
	0.60	1	1	1	1	1	1
	0.80	1	1	1	1	1	1
	1.00	1	1	1	1	1	1
Data set 4 by [32]	0.20	1	1	1	1	1	1
	0.40	1	1	1	1	1	1
	0.60	1	1	1	1	1	1
	0.80	1	1	1	1	1	1
	1.00	1	1	1	1	1	1

Finally, in order to illustrate the goodness of fit tests, each of data sets presented in Section 2.4 are Type II right censored by using the following censoring rates: $p=r/n=0.20,0.40,0.60,0.80$, and 1.00. Then their goodness of fit to an exponential distribution is tested at the critical level of $\alpha=0.05$. The results of these tests are presented in Table 6. From the results of the tests in Table 6., it can be seen that the newly proposed W_{AKM} test produces compatible results with those of the competing goodness-of-fit tests, such as the Anderson-Darling and Cramer-von Mises tests

4. Discussion and Conclusion

Although the newly proposed WAKM test in this paper can be regarded as a modification of the Watson test, its power performance is higher than the well-known goodness-of-fit tests including the Watson test under the conditions of the simulation studies. In particular, W_{AKM} seems to be useful for researchers in life testing and reliability in distinguishing between the log-normal distribution and the exponential, Weibull, or gamma distribution under complete sample or Type II right censoring schemes, especially for small sample sizes.

Furthermore, the notable superior performance of W_{AKM} in testing the exponential and log-normal distributions against the alternative distributions considered suggests that the proposed test may distinguish well between the distribution with a heavy upper tail and the distribution with a light upper tail when the bodies of the distributions are mostly similar. In conclusion, the newly proposed W_{AKM} test seems to be worth considering along with the commonly used goodness-of-fit tests under the conditions of this study. In addition, the Cramer-von Mises and Anderson-Darling tests also appear to be powerful tests that can be recommended.

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] Kolmogorov, A. N. 1933. Sulla Determinazione Emprica di una Legge di Distribuzione. [On the Empirical Determination of a Law of Distribution]. *Giornale Dell'Istituto Italiano Degli Attuari*, 4, 83-91.
- [2] Smirnov, N. 1948. Table for Estimating the Goodness Fit of Empirical Distributions. *Annals of Mathematical Statistics*, 19, 279-281.
- [3] Cramér, H. 1928. On the Composition of Elementary Errors. *Scandinavian Actuarial Journal*, 1928(1), 13-74.
- [4] Von Mises, R.E. 1928. *Wahrscheinlichkeit, Statistik und Wahrheit* [Probability, Statistics and Truth]. SPRINGER, Wien, 192s.
- [5] Anderson, T. W., Darling, D. A. 1954. A Test of Goodness of Fit. *Journal of the American Statistical Association*, 49(268), 765-769.
- [6] Kuiper, N. H. 1960. Tests Concerning Random Points on a Circle. *Proceedings of the Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen, A* (63), 38-47.
- [7] Watson, G. S. 1961. Goodness-of-Fit Tests on a Circle. *Biometrika*, 48(1/2), 109-114.
- [8] D'Agostino, R. B., Stephens, M.A. 1986. *Goodness-of-Fit-Techniques*. MARCEL DEKKER Inc. New York and Basel, 560s.
- [9] Stephens, M. A. 1974, EDF Statistics for Goodness of Fit and Some Comparisons. *Journal of the American Statistical Association*, 69(347), 730-737.

- [10] Stephens, M.A. 1974. Components of Goodness-of-fit Statistics. In *Annales de l'HP Probabilités et statistiques*, 10(1), 37-54.
- [11] Stephens, M.A. 1977. Goodness-of-Fit for the Extreme-Value Distribution. *Biometrika*, 64(3), 583-588.
- [12] Green, J. R., Hegazy, Y.A.S 1976. Powerful Modified-EDF Goodness of Fit Tests. *Journal of the American Statistical Association*, 71(353), 204-209.
- [13] Michael, J.R., Schucany, W.R. 1979. A New Approach to Testing Goodness of Fit for Censored Samples. *Technometrics*, 21, 435-44.
- [14] Pettitt, A.N., Stephens, M.A. 1976. Modified Cramer-von Mises Statistics for Censored Data. *Biometrika*, 63(2), 291-298.
- [15] Chen, G., Balakrishnan, N. 1995. A General Purpose Approximate Goodness-of-Fit Test. *Journal of Quality Technology*, 27(2), 154-161.
- [16] Aho, M., Bain, L.J., Englehardt, M. 1983. Goodness-of-fit Tests for the Weibull Distribution with Unknown Parameters and Censored Sampling. *Journal of Statistical Computation and Simulation*, 18(1), 59-68.
- [17] Aho, M., Bain, L.J., and Englehardt, M. 1985. Goodness-of-fit tests for the Weibull Distribution with Unknown Parameters and Censored Sampling. *Journal of Statistical Computation and Simulation*, 21(3-4), 213-225.
- [18] Bain, L.J., Englehardt, M. 1983. A Review of Model Selection Procedures Relevant to the Weibull distribution. *Communications in Statistics-Theory and Methods*, 12(5), 589-609.
- [19] Pakyari, R., Balakrishnan, N. 2012. A General Purpose Approximate Goodness-of-Fit Tests for Progressively Type II Censored Data. *IEEE Transactions on Reliability*, 61(1), 238-244.
- [20] Castro-Kuriss, C., Kelmansky, D. M., Leiva, V., and Martinez, E.J. 2010. On a Goodness-of-Fit Tests for Normality with Unknown Parameters and Type-II Censored Data. *Journal of Applied Statistics*, 37(7), 1193-1211.
- [21] Zhao, J., Xu, X., Ding, X. 2010. New Goodness of Fit Tests Based on Stochastic EDF. *Communication in Statistics-Theory and Methods*, 39(6), 1075-1094.
- [22] Laio, F. 2004. Cramer-von Mises and Anderson-Darling Goodness of Fit Tests for Extreme Value Distributions with Unknown Parameters. *Water Resources Research*, 40(9).
- [23] Krit, M., Gaudoin, O., Remy, E. 2021. Goodness-of-Fit Tests for the Weibull and Extreme Value Distributions: A Review and Comparative Study. *Communications in Statistics-Simulation and Computation*, 50(7), 1888-1911.
- [24] Fischer, T. 2010. Goodness-of-fit tests for type-II right censored data: structure preserving transformations and power studies. Aachen University, Doctoral Dissertation, 122p, Dusseldorf.
- [25] Goldmann, C., Klar, B., Meintanis, S. G. 2015. Data Transformations and Goodness-of-fit Tests for Type-II Right Censored Samples. *Metrika*, 78(1), 59-83.
- [26] Noughabi, H.A., Balakrishnan, N. 2014. Goodness of Fit Using a New Estimate of Kullback-Leibler Information Based on Type II Censored Data. *IEEE Transactions on Reliability*, 64(2), 627-635.
- [27] Proschan, F. 1963. Theoretical Explanation of Observed Decreasing Failure Rate. *Technometrics*, 5(3), 375-383.
- [28] Kamakura, T., Yanagimoto, T., Olkin, I. 1989. Estimating and Testing Weibull Means Based on the Method of Moments. Technical Report 266, Stanford University, Dept. of Statistics.
- [29] Harter, H. L., Dubey, S.D. 1967. Theory and Tables for Tests of Hypotheses Concerning the Mean and the Variance of a Weibull population. Vol. 67, No. 59 Aerospace Research Laboratories, Office of Aerospace Research, United States Air Force.
- [30] Elsherpieny, A.E., Ibrahim, N.S., Radwan, U.N. 2013. Discriminating Between Weibull and Log-Logistic Distributions. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, 2(8), 3358-3371.
- [31] Gupta, R.D., Kundu, D. 2003. Discriminating Between Weibull and Generalized Exponential Distributions. *Computational Statistics & data analysis*, 43(2), 179-196.
- [32] Mohd Saat, N.Z., Jemain A.A., and Al-Mashoor, S.H. 2008. A Comparison of Weibull and Gamma Distributions in Application of Sleep Spnea. *Asian Journal of Mathematics and Statistics*, 1(3), 132-138.
- [33] Bromideh, A.A., Valizadeh, R. 2014. Discriminating Between Gamma and Log-Normal Distributions by Ratio of Minimized Kullback-Leibler Divergence. *Pakistan Journal*

Appendix Simulated critical values for exponential and log-normal distributions (100,000 replicates)

Table A1. Simulated critical values of some goodness-of-fit tests for the exponential distribution for $\alpha=0.05$

n	p	KS	K	CVM	W	AD	W_{AKM}
10	0.20	0.1729	0.1947	0.0178	0.0056	0.1809	0.3852
	0.40	0.2319	0.3066	0.0555	0.0248	0.4410	0.6970
	0.60	0.2730	0.3886	0.1045	0.0577	0.6811	0.9056
	0.80	0.3022	0.4506	0.1574	0.0996	0.9220	1.0405
	1.00	0.3246	0.4887	0.2171	0.1573	1.2707	1.0864
20	0.20	0.1245	0.1538	0.0174	0.0066	0.2290	0.5382
	0.40	0.1684	0.2283	0.0561	0.0274	0.4707	0.9136
	0.60	0.1981	0.2862	0.1074	0.0623	0.7111	1.1769
	0.80	0.2195	0.3300	0.1645	0.1076	0.9676	1.3287
	1.00	0.2345	0.3533	0.2182	0.1573	1.2872	1.4088
30	0.20	0.1024	0.1296	0.0172	0.0069	0.2377	0.6351
	0.40	0.1390	0.1904	0.0561	0.0284	0.4843	1.0798
	0.60	0.1636	0.2374	0.1085	0.0641	0.7237	1.3909
	0.80	0.1806	0.2736	0.1667	0.1111	0.9821	1.5822
	1.00	0.1934	0.2919	0.2205	0.1585	1.3091	1.6604
40	0.20	0.0891	0.1140	0.0170	0.0070	0.2441	0.7097
	0.40	0.1209	0.1667	0.0565	0.0287	0.4874	1.2187
	0.60	0.1424	0.2076	0.1091	0.0650	0.7319	1.5728
	0.80	0.1577	0.2382	0.1675	0.1118	0.9856	1.7810
	1.00	0.1686	0.2537	0.2210	0.1583	1.3112	1.8789
50	0.20	0.0798	0.1032	0.0168	0.0072	0.2457	0.7821
	0.40	0.1083	0.1496	0.0555	0.0287	0.4848	1.3432
	0.60	0.1274	0.1864	0.1087	0.0655	0.7335	1.7340
	0.80	0.1413	0.2147	0.1667	0.1132	0.9873	1.9533
	1.00	0.1509	0.2279	0.2209	0.1580	1.3141	2.0768
100	0.20	0.0569	0.0746	0.0164	0.0073	0.2513	1.0673
	0.40	0.0776	0.1080	0.0563	0.0294	0.4946	1.8403
	0.60	0.0912	0.1337	0.1097	0.0665	0.7431	2.3823
	0.80	0.1008	0.1536	0.1690	0.1146	0.9936	2.6870
	1.00	0.1072	0.1626	0.2191	0.1581	1.3014	2.8745

Table A2. Simulated critical values of some goodness of fit tests for the log-normal distribution via normal distribution for $\alpha=0.05$

n	p	KS	K	CVM	W	AD	W_{AKM}
10	0.40	0.1813	0.2917	0.0281	0.0235	0.2116	0.3253
	0.60	0.2229	0.3557	0.0586	0.0499	0.3433	0.4396
	0.80	0.2498	0.4046	0.0921	0.0810	0.4946	0.5025
	1.00	0.2654	0.4353	0.1226	0.1140	0.7207	0.4892
20	0.20	0.0949	0.1493	0.0078	0.0062	0.1040	0.2485
	0.40	0.1373	0.2130	0.0300	0.0240	0.2260	0.4519
	0.60	0.1644	0.2613	0.0611	0.0514	0.3584	0.5883
	0.80	0.1822	0.2962	0.0955	0.0842	0.5127	0.6435
30	0.20	0.0813	0.1234	0.0082	0.0063	0.1080	0.3072
	0.40	0.1139	0.1764	0.0303	0.0239	0.2288	0.5459
	0.60	0.1364	0.2163	0.0621	0.0521	0.3644	0.6960
	0.80	0.1508	0.2456	0.0963	0.0852	0.5157	0.7624
40	0.20	0.0710	0.1080	0.0083	0.0062	0.1093	0.3503
	0.40	0.0998	0.1540	0.0304	0.0240	0.2317	0.6225
	0.60	0.1188	0.1882	0.0616	0.0516	0.3629	0.7956
	0.80	0.1309	0.2139	0.0964	0.0854	0.5160	0.8530
50	0.20	0.0644	0.0973	0.0084	0.0062	0.1111	0.3867
	0.40	0.0896	0.1386	0.0305	0.0240	0.2322	0.6915
	0.60	0.1067	0.1695	0.0619	0.0520	0.3641	0.8757
	0.80	0.1180	0.1922	0.0972	0.0859	0.5209	0.9428
100	0.20	0.0465	0.0702	0.0084	0.0062	0.1135	0.5479
	0.40	0.0643	0.0996	0.0307	0.0241	0.2358	0.9627
	0.60	0.0764	0.1211	0.0624	0.0521	0.3684	1.2245
	0.80	0.0845	0.1379	0.0975	0.0866	0.5237	1.3020
	1.00	0.0890	0.1470	0.1258	0.1164	0.7509	1.2254

Bina İçi Radon Birikimi Üzerine bir Araştırma

Mehmet Ertan KÜRKCÜOĞLU¹, Özlem ÖNER², Abbas Alpaslan KOÇER³

¹Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Fizik Bölümü, 32260, Isparta, Türkiye
^{2,3}Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı, 32260, Isparta, Türkiye

(Alınış / Received: 15.05.2024, Kabul / Accepted: 08.08.2024, Online Yayınlanma / Published Online: 23.08.2024)

Anahtar Kelimeler

Bina içi radon,
Elektronik radon dedektörü,
Radon birikimi,
Isparta

Özet: Radyoaktif olan radon gazının solunması akciğer kanseri oluşumuyla ilişkilendirilmektedir. Havalandırılması zayıf olan kapalı mekânlarda birikme eğilimi gösteren radon, zemine yakın yerlerde daha yüksek konsantrasyonlara ulaşabilmektedir. Bu çalışmada, Süleyman Demirel Üniversitesi Fizik Bölümü'nün zemin katında bulunan Isparta Radon Laboratuvarı'ndaki (IRL birimindeki) bina içi atmosferik radon konsantrasyonlarının dağılımı yüksekliğe bağlı olarak incelenmiştir. Bu amaçla IRL'de, Airthings firmasınınca üretilen 3 adet Wave radon dedektörü farklı yüksekliklerdeki ölçüm noktalarına yerleştirilerek 1 Kasım 2021 ile 22 Aralık 2021 tarihleri arasında saatlik radon ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen ölçüm verilerine ait ortalamalar incelendiğinde, laboratuvar zeminindeki radon yoğunluğunun 303 Bq/m³, solunum seviyesindeki radon düzeyinin 220 Bq/m³ ve laboratuvarın tavan seviyesindeki radon konsantrasyonunun 212 Bq/m³ olduğu bulunmuştur. Böylelikle bina içi atmosferik radonunun yükseklik arttıkça azaldığı tespit edilmiştir. Ölçüm süreci boyunca 3507 adet veri kayıt altına alınmıştır. Saatlik radon ölçümlerinin tümü, iş yerleri için kabul edilen 1000 Bq/m³ lük ulusal müdahale seviyesinin altında olduğundan IRL birimindeki radon kaynaklı radyolojik riskin kabul edilebilir düzeyde olduğu söylenebilir. Elde edilen veriler SPSS programıyla istatistiksel olarak analiz edilmiş, Kruskal-Wallis testine göre; alt konumdaki dedektör ölçümlerinin, orta ve üst konumdaki dedektör ölçümlerine göre istatistiksel olarak anlamlı bir farklılığa sahip olduğu (p<0,05) saptanmış ve havadan daha ağır olan radonun zeminde biriktiği gösterilmiştir.

A Study on Indoor Radon Accumulation

Keywords

Indoor radon,
Electronic radon detector,
Radon accumulation,
Isparta

Abstract: Exposure to radioactive radon gas through inhalation has been associated with the risk of developing lung cancer. Radon can reach high concentrations and accumulate in poorly ventilated indoor spaces near the ground. In the present study, the distribution of atmospheric radon concentrations in IRL (Isparta Radon Laboratory), located on the ground floor of the Department of Physics at Süleyman Demirel University, was examined depending on altitude. For this purpose, hourly radon measurements were carried out in IRL between 1 November 2021 and 22 December 2021 by placing 3 electronic radon detectors (Wave detectors by Airthings) at measurement points representing different heights. When the averages of the measurements were examined, it was determined that the radon concentration on the laboratory floor was 303 Bq/m³, the radon level at the respiratory level was 220 Bq/m³, and the radon concentration at the ceiling level of the laboratory was 212 Bq/m³. Thus, it was revealed that indoor atmospheric radon concentration increased with a decrease in altitude. During the measurement process, 3507 data were recorded. Since all hourly radon measurements were below the national reference level of 1000 Bq/m³ accepted for workplaces, the radiological risk from radon in the IRL unit can be considered at an acceptable level. The obtained data were analyzed statistically using the SPSS program. According to the Kruskal-Wallis test, it was found that the detector measurements taken in the

lower position displayed a statistically significant difference ($p<0.05$) compared to the detector measurements taken in the middle and upper positions. Therefore it was shown that radon, which is heavier than air, accumulated on the ground.

1. Giriş

Canlıların yaşamları boyunca maruz kaldığı doğal radyasyonun yarısının doğrudan radon (^{222}Rn) kaynaklı olduğu bilinmektedir [1]. Ernest Rutherford 1899 yılında yaptığı bir çalışmada toryum elementinin radyoaktif bir gaz yaydığını bulmuş [2], Pierre ve Marie Curie de aynı yıl içinde radyumdan radyoaktif bir gaz salınımı gözlemlemişlerdir. 1900 yılında ise Friedrich Ernest Dorn Almanya'nın Halle kentinde yaptığı araştırma sırasında radyum ampullerinde bir gaz birikimi olduğunu tespit etmiş [3] ve böylelikle bu gazın radon olduğunu keşfedilmiştir [4]. Günümüzde yaygın bir biçimde radon olarak adlandırılan ^{222}Rn için ilk defa 1900 yılında radyum-226'nın saldığı gazı ithafen "radyum emanasyonu" tanımlaması kullanılmış ve 1912 yılında yeni bir element olarak kabul edilmiştir. Radonun, uranyum (^{238}U), toryum (^{232}Th) ve aktinyum (^{235}U) bozunma serilerinden gelen üç doğal radyoizotopu için 1923 yılında sırasıyla; radon (^{222}Rn , yarı-ömrü 3,82 gün), toron (^{220}Rn , yarı-ömrü 55,6 saniye) ve aktinon (^{219}Rn , yarı-ömrü 3,96 saniye) adlarının kullanılması benimsenmiştir [5,6]. 5,48MeV enerjili bir alfa parçacığı yayınlarken bozulan ^{222}Rn , toron ve aktinon radyoizotoplarına göre yüksek bolluğa sahip olması ve uzun yarı-ömrü nedeniyle daha yoğun biçimde çalışılmaktadır.

Radon normal şartlar altında renksiz, kokusuz ve tatsız bir gazdır. Periyodik cetvelin 8A grubunda bulunan, 86 atom numarasına sahip olan radon elementi en ağır soy gazdır. Radonun atomik yarıçapı $1,3 \times 10^{-10}$ m ve atomik kesitinin alanı $0,72 \times 10^{-10}$ cm^2 'dir. Yoğunluğu 273 K ve 1 atmosfer basınçta 9,73 g/l ve 273 K'deki molar hacmi ise $50,5 \text{ cm}^3/\text{mol}$ 'dür. Hidrojenden 100 kat daha ağır olan radon, havadan ise yaklaşık yedi buçuk kat daha ağırdır bu yüzden yere yakın yerlerde birikme olasılığı daha yüksektir. Bunun yanında öz ısısı $0,091 \text{ J/g}\cdot\text{K}$ 'dir. Elektrik iletkenliği neredeyse hiç yoktur ve oldukça düşük ısı iletkenliğe ($3,64 \times 10^{-5} \text{ W/cm}\cdot\text{K}$) sahiptir [7]. Radon, donma sıcaklığının (-71°C 'nin) altına soğutulduğunda, sıcaklık düşüşüyle orantılı olarak sarılığı artarak parlak bir fosforesans görünümü sergilerken, hava sıcaklığındaki yükselişle portakal rengi-kırmızımsı formda gözlemlenebilmektedir. Elektron ilgisinin az olması ve iyonlaşma enerjisinin yüksek olmasından dolayı radon diğer elementlerle kimyasal bağ yapmaz ancak katratlar ve karışık florimler gibi bazı bileşikler oluşturabilir, özellikle suyla birlikte yarı kararlı bir katrat-hidrat ($\text{Rn}\cdot 6\text{H}_2\text{O}$) oluşturmaktadır [8]. Radon kısmen suda çözülebilir ve gliserin dışındaki organik sıvılar içinde yüksek bir çözünürlüğe sahip olabilir. Odun kömürü ve silikon jelde ise kolayca emilebilmektedir [9].

Yaşadığımız her yerde az veya çok miktarda, mutlaka radon mevcuttur. Kimyasal olarak inert olan radon gazı, solunum yoluyla akciğerlere alındığında, solunum sistemindeki dokularla veya havadaki partiküllerle kimyasal bağ yapmadığı için verilen nefesle vücut dışına atılabilir. Fakat radyoaktif olan bu gazın bozunmasıyla ortaya çıkan kısa yarı-ömrü radon ürünleri (^{218}Po , ^{214}Pb , ^{214}Bi ve ^{214}Po) statik yüklere sahip ve kimyasal reaksiyona girebilen radyoçekirdeklerdir. Havadaki toz zerreciklerine yapışabilen bu bozunma ürünleri, solunum sistemindeki organlara yerleşerek bozunmaya devam edebilmekte ve bu esnada yayınlanan radyasyon, canlı dokuları iyonize ederek yaşayan hücrelerin DNA yapılarını değiştirebilmekte ve kanser oluşumuna yol açabilmektedir [10,11]. Kanser, insan yaşamını tehdit eden en ciddi sağlık sorunlarından birisidir. Uluslararası Kanser Araştırmaları Ajansı, IARC'nin (International Agency Research on Cancer) 2022 yılına ait verileri incelendiğinde; dünya genelinde meydana gelen ölümler içerisinde yaklaşık 9,74 milyon kişinin kanser sebebiyle hayatını kaybettiği ve tahminen 19,9 milyon yeni kanser vakasının meydana geldiği bildirilmektedir. 2022 yılındaki tüm kanser ölümlerinin %18,65'lik kısmının akciğer kanserinden kaynaklandığı görülmektedir. Erkeklerde akciğer kanseri %22,71 ile ilk sırada, kadınlarda ise %13,54 ile ikinci sırada yer almaktadır [12]. Ülkemizdeki kayıt altına alınmış kanser vakalarına ait 2018 yılı verilerine göre akciğer kanseri; erkeklerde %21'lik bir oranla ilk sırada; kadınlarda ise %6'lık bir oranla beşinci sırada yer almaktadır [13]. Günümüze dek yapılmış olan epidemiyolojik çalışmalar radona maruziyet ile akciğer kanseri oluşumu arasında doğrudan bir ilişki olduğunu göstermektedir [14]. Dünya Sağlık Örgütü, WHO (World Health Organization) ve A.B.D. Çevre Koruma Ajansı, EPA (Environmental Protection Agency) radon gazını "A-sınıfı kanserojen madde" olarak nitelendirmiştir [15,16]. Üstelik radon solunumu, en tehlikeli kanserojenler arasında tütün kullanımından sonra ikinci sırada yer almaktadır. WHO, tüm akciğer kanserlerinin %14'e varan kısmının radon kaynaklı olduğunu belirtmektedir [17]. Bu nedenle, kapalı mekânlardaki radon seviyelerinin bilinmesi halk sağlığı açısından bir gerekliliktir. Radonun insan sağlığı üzerinde meydana getirebileceği olumsuz etkilerin azaltılabilmesi amacıyla ülkeler ve çeşitli organizasyonlar, genellikle $11\text{-}300 \text{ Bq/m}^3$ aralığında gözlemlendiği rapor edilen bina içi radon gazı konsantrasyonları [7] için bazı sınır değerleri benimsemişlerdir. Uluslararası Radyasyondan Korunma Komisyonu, ICRP (International Commission on Radiological Protection), konutlardaki radon gazı yoğunluğunun 300 Bq/m^3 'ü, iş yerlerindeki radon düzeyinin ise 1000

Bq/m³'ü aştığı durumlarda müdahale edilmesini tavsiye etmektedir [18]. WHO, riskin en aza indirilebilmesi amacıyla kapalı mekânlarda maruz kalınacak radon konsantrasyonunun 100 Bq/m³'ün altında tutulmasını önererek, ülkeye özgü koşullar nedeniyle bu seviyenin sağlanamadığı durumlarda müdahale için referans seviyesinin 300 Bq/m³ alınmasını tavsiye etmektedir [16]. Ülkemizdeki kapalı mekânlarda müsaade edilebilecek radon konsantrasyonu değerleri, Türkiye Enerji, Nükleer ve Maden Araştırma Kurumu (TENMAK) tarafından evler için 400 Bq/m³, iş yerleri için ise 1000 Bq/m³ olarak belirlenmiştir [19]. Avrupa Birliği ülkeleri için tavsiye edilen düzeyler, Avrupa Komisyonu, EC (European Commission) tarafından evler için 300 Bq/m³ ve işyerleri için ise 1000 Bq/m³ olarak bildirilmektedir [20]. Dünya genelinde meskenlerdeki atmosferik radon konsantrasyonu ortalaması 39 Bq/m³ [1] iken Türkiye'deki aritmetik ortalama 81 Bq/m³ olarak rapor edilmiştir [21]. Isparta il merkezi özelinde ise bina içi atmosferik radon konsantrasyonlarının, küresel ve ulusal ortalamalardan daha yüksek düzeylerde gözlemlendiği bildirilmektedir [22].

Radonun ana kaynağı yerküredir. Çevremizdeki radonun yaklaşık %70'e yakını toprak ve kayalardan kaynaklanmaktadır. Toprak gazındaki radon konsantrasyonlarının genellikle 18-180 kBq/m³ aralığında değiştiği bilinmektedir [7]. En büyük ikinci katkı yeraltı suları nedeniyle meydana gelmektedir. Doğal süreçler neticesinde kaya katmanları arasında oluşan radon gazı, topraktan çeşitli mekanizmalarla yeryüzüne çıkmakta, binaların zemin ve duvarlarındaki çatlaklardan ayrıca tesisat boşluklarından bina içine girerek kapalı mekânların atmosferine taşınmaktadır. Bina içi radon yoğunluğunu etkileyen pek çok dış etmen mevcuttur. Jeolojik etmenler (kayaç yapısı, toprak özellikleri vb.), meteorolojik parametreler (nem, basınç, sıcaklık, rakım vb.), bina yapımında kullanılan yapı malzemeleri, doğalgaz, su kaynakları, binanın yaşı, binanın yalıtımı ve bina kullanım alışkanlıkları gibi faktörlerin bina içi radon gazı konsantrasyonu üzerinde etkili olduğu bilinmektedir [23-32].

Bina içi radon seviyesini etkileyen parametrelerden biri de yüksekliktir. Havadan daha ağır olan radonun zeminde birikme eğilimi göstermesi nedeniyle yüksekliğin artması ile birlikte radon gazı yoğunluğunun azalması beklenmektedir. Literatürde, kapalı mekânlarda radon düzeyinin yükseklikle değişimini inceleyen çok sayıda çalışmaya rastlamak mümkündür. Konuyla ilgili araştırmaların çoğunda, yükseklik arttıkça radon konsantrasyonunun azaldığı doğrulanırken [33-47] bazı çalışmalarda bu beklentiyle uyumlu olmayan sonuçlar da rapor edilmiştir [48-50].

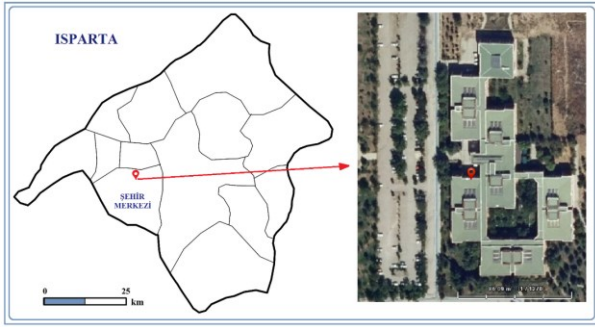
Çalışmamızda, diğer fiziksel koşulların aynı biçimde etkili olduğu kapalı bir mekân için radon yoğunluğunun yüksekliğe bağlı davranışının

incelenmesi ve bu mekânın, tabanında istatistiksel olarak anlamlı bir düzeyde radon gazı birikiminin olup olmadığı belirlenmesi amaçlanmıştır. Deneysel aşama, Süleyman Demirel Üniversitesi IRL biriminde farklı yüksekliklere yerleştirilen 3 elektronik dedektörden 52 gün boyunca saatlik radon ölçümleri alınarak gerçekleştirilmiştir. İzleyen kısımda, çalışmanın yapıldığı yer ve ölçümler için kullanılan sistem tanıtılmaktadır. Daha sonra, elde edilen ölçüm verileri istatistiksel olarak değerlendirilmekte ve araştırma koşulları dahilinde ulaşılan sonuçlar sunulmaktadır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Ölçüm alanı

Akdeniz Bölgesi'nin kuzeyinde, Göller Bölgesi'nin merkezi konumunda yer alan Isparta ili, 30°20' ve 31°33' doğu boylamları ile, 37°18' ve 38°30' kuzey enlemleri arasında kurulmuş olup 8933 km²'lik bir yüzölçümüne sahiptir. İlin ortalama rakımı 1050 metredir [51,52]. 2023 yılı sonunda yapılan nüfus sayımına göre Isparta ilinin toplam nüfusu 449.777 olarak tespit edilmiştir. Bu nüfus içerisinde en büyük payı 271.396 kişiyle il merkezi almaktadır [53]. Akdeniz iklimi ile karasal iklim arasındaki geçiş bölgesinde yer aldığından dolayı Isparta sınırları içinde her iki iklim özellikleri de görülmektedir. Yıllık ortalama hava sıcaklığı 12 °C düzeyindedir (en yüksek 38,7 °C ve en düşük -21,0 °C). Yağışların önemli bir bölümü kış ve ilkbahar mevsimlerinde gerçekleşmektedir (%69). İl merkezindeki ortalama yıllık toplam yağış miktarı 508,3 mm'dir. Isparta ilindeki toprakların ana yapısı, genellikle kalkerli formdadır. 8-40 cm arasında derinliğe sahip olan üst toprak killi kalkerli granüler ve dağılıbilir yapıdadır. Üst toprakla aynı yapıya sahip olan alt toprak ise genellikle, daha kaba bünyeli ve killi bir formdadır. Batı Torosların uzantısı olan ve yüksekliği 3000 metreyi bulan oldukça yüksek dağların bulunduğu Isparta ili engebeli bir yapıdadır. İlin %68,4'nü dağlar, %16,8'ni ovalar ve %14,8'ni platolar oluşturmaktadır [51,52]. Atmosferik radon ölçümleri için şehir merkezine 10 km uzaklıktaki Süleyman Demirel Üniversitesi, Fizik Bölümü'nde bulunan Isparta Radon Laboratuvarı seçilmiştir. Fakülte binası, 21300 m²'lik alana sahip 3 katlı bir bina olup, 205 akademik kadro ile hizmet vermektedir. Fakültede 40 derslik, 50 kişilik bilgisayar laboratuvarı, 7 uygulama ve araştırma laboratuvarı, her bölüme ait birer seminer salonu ve 1 öğrenci kafeteryası bulunmaktadır. Toplamda 4882 öğrenci ile gündüz ve gece olmak üzere eğitim ve öğretim faaliyetlerine devam edilmektedir [54]. Çalışmanın yapıldığı birimin konumu Şekil 1'de gösterilmektedir.



Şekil 1. Çalışma alanının konumunu gösteren harita ve uydu görüntüsü

2.1. Ölçüm için kullanılan sistem

Çalışmamızdaki ölçümler, Airthings firması tarafından üretilen Wave radon dedektörleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Şekil 2). Söz konusu cihaz bluetooth bağlantısına sahip, düşük maliyetli, ölçüm aralığı, hassaslığı, pil ömrü, veri aktarma yeteneği gibi olumlu özellikleriyle ön plana çıkan taşınabilir bir elektronik dedektördür [55]. Bu kompakt cihaz aynı zamanda ortama ait nem ve sıcaklık ölçümleri yapabilmekte ve ortamdaki son radon düzeyini farklı renkteki led ışıkları ile görsel olarak bildirmektedir. Bunun yanında; hafif, taşınabilir olması, estetik görüntüsü, ücretsiz mobil uygulama imkânı sunması nedeniyle çalışmada tercih edilmiştir.

Wave radon dedektörlerinin üretici tarafından periyodik olarak sağlanan kalibrasyon güncellemelerinin geçerliliği, IRL biriminde mevcut olan profesyonel radon ölçüm cihazı Corentium PRO (seri numarası: 2700014103, kalibrasyon sertifika kodu: NRPP 8233) vasıtasıyla rutin olarak kontrol edilmektedir. Wave cihazının kurulumunu takiben ilk radon gazı verileri, yaklaşık 1 saat sonra alınabilmektedir. Bir duman dedektörüne benzeyen bu portatif cihazın başlıca teknik özellikleri Tablo 1’de özetlenmiştir.

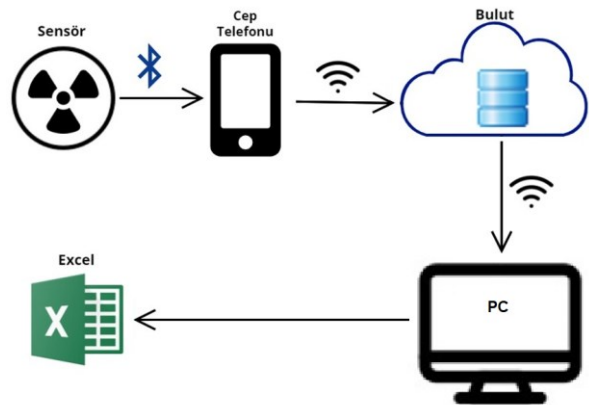
Wave radon dedektörü ile gerçekleştirilen saatlik ölçümlerimize ait verilerin alınması için kullanılan sistem mimarisi Şekil 3’de gösterilmektedir. Sistemin çalışması şu şekildedir: Ölçüm noktasındaki elektronik dedektör, ortamdaki radon konsantrasyonunu her saatte bir ölçer. Akıllı bir cep telefonuna kurulmuş üretici uygulaması (Airthings Wave, Airthings ASA) sayesinde veriler, bluetooth bağlantısıyla cep telefonuna indirilebilir veya internet veri tabanına aktarılarak internet erişimi olan bir bilgisayara kaydedilebilir. Elde edilen verilerin tablolar haline getirilip incelenmesi Excel gibi bir elektronik tablolar programı ile sağlanabilir.



Şekil 2. Wave radon dedektörü ve cep telefonu uygulamasının ekran görüntüsü

Tablo 1. Wave radon dedektörünün temel özellikleri [55]

Radon Örnekleme	Pasif difüzyon odası
Algılama Yöntemi	Alfa spektrometresi
Çalışma Modları	Sürekli radon monitörleme: Uzun dönem/Kısa dönem ekranı
Çalışma Aralığı	0-500 pCi/L /0-20.000 Bq/m ³
Çalışma Prensipleri	Sürekli olarak alfa parçacıklarının elektrostatik toplanması ile İOS ve Android uygulamasıyla radon takibinin yapılabilmesi
Ölçüm Belirsizliği (200 Bq/m ³ için)	1 haftadan sonra < %10 2 aydan sonra < %5
Güç Kaynağı	2 AA alkalin pil: ~1,5 yıl
Bağlantı Çıkışları	Kablosuz veri aktarımı 39°F - 104°F / 4°C - 40°C
Sıcaklık, Nem Aralığı	Bağıl nem: < %85
Ağırlık	7,7 ons / 219 g (pillerle birlikte)
Boyut	4,7×1,4 inç / 120×36 mm (çap×boy)
Bağlantı Şekli	Bluetooth ve Airthings Smartlink ile Kablosuz olarak (Wi-Fi ile) verileri aktarabilme özelliği
Monitörleme	Üzerindeki bluetooth ile radon miktarı cep telefonundan ve bilgisayardan görüntülenmektedir.



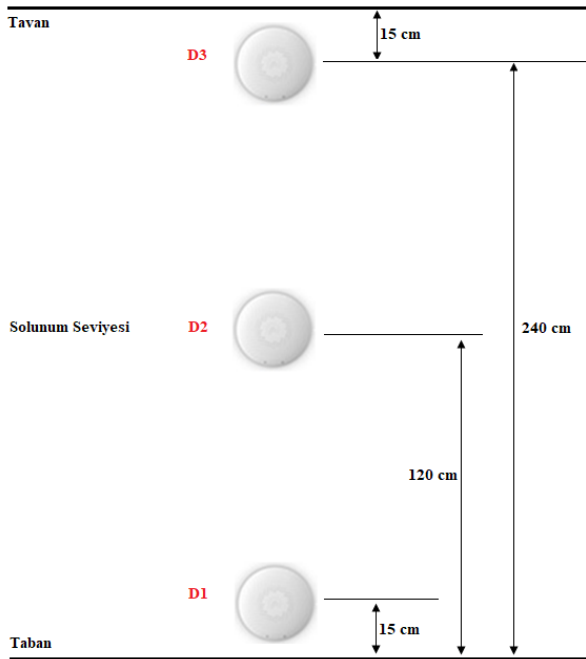
Şekil 3. Radon ölçüm sürecinde veri transferi ve işlenmesi

2.3. Deneysel çalışma

1 Kasım - 22 Aralık 2021 tarihleri arasında yürütülen deneysel ölçümler, Süleyman Demirel Üniversitesi IRL biriminde gerçekleştirilmiştir. Isparta merkez ilçede bulunan kapalı mekânlarda, global ve ulusal

ortalamaların üzerinde radon yoğunluklarına rastlamak mümkündür [22]. 30,53263° doğu boylamı ile 37,83045° kuzey enleminin kesiştiği konumda bulunan IRL birimi de böyle bir mekândır. IRL birimdeki ortalama radon düzeyinin, solunum seviyesinde 300 Bq/m³ civarında olduğu daha önce yapılan bir çalışmayla gösterilmiştir [46]. Ölçüm noktası belirlenirken, kapalı mekânın tabanındaki radon farklılığının daha rahat gözlemlenebilmesi için bina içi atmosferik radon düzeyinin yüksek olduğu bilinen ve zemin katta bulunan bir mekân aranmış ve IRL birimi bu kriterleri sağladığı için çalışma alanı olarak seçilmiştir. Laboratuvarın kullanımının kontrol edilebiliyor olması ve saatlik radon seviyesindeki değişimin kolayca denetlenebilmesi de bu tercihi güçlendirmiştir. 13,7 m²lik bir alana sahip olan IRL biriminde 1 pencere ve 1 kapı bulunmaktadır.

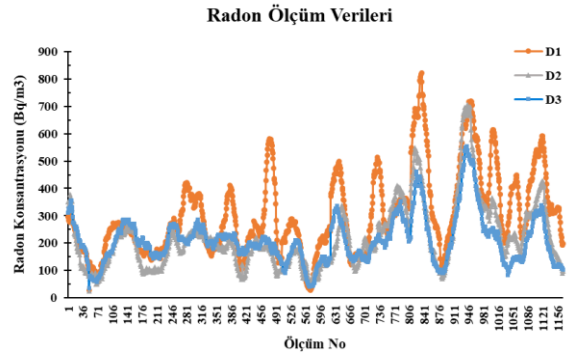
Deneyisel çalışma için Isparta Radon Laboratuvarı'ndaki boş duvara, aynı hizada farklı yüksekliklere 3 elektronik radon dedektörü monte edilmiştir. Daha sağlıklı ölçüm yapılabilmesi amacıyla dedektörlerin, radyatör, elektronik cihazlar, kapı ve pencereden olabildiğince uzağa yerleştirilmesine dikkat edilmiştir. İlk dedektör (D1) oda tabanından yaklaşık 15 cm yukarıya, ikinci dedektör (D2) solunum seviyesine [56] (zeminden yaklaşık 120 cm yükseğe) ve üçüncü dedektör (D3) laboratuvar zemininden yaklaşık 240 cm yükseğe monte edilmiştir (Şekil 4). Elektronik dedektörlerle ölçüm periyodu boyunca saatlik radon ölçümleri alınarak bu kapalı mekândaki radon gazı konsantrasyonunun yüksekliğe bağlı nasıl değiştiği incelenmiştir. Ölçümlere ait veriler, Şekil 3 ile gösterilen sistem mimarisine uygun biçimde kayıt altına alınmış ve taşınabilir bir USB bellekte muhafaza edilmiştir.



Şekil 4. Elektronik dedektörlerin pozisyonlarını gösteren temsili deneysel düzenek

3. Bulgular

IRL biriminde, 3 elektronik dedektörle eş-zamanlı olarak her saatte bir gerçekleştirilen radon ölçümleri için ölçüm süreci boyunca 3744 adet ölçüm verisi toplanması gerekirken internet kesintileri ve sistem güncellemeleri esnasında veri alışverişinin sağlanamaması gibi teknik aksaklıklardan aynı anda etkilenen dedektörlerde, cihaz başına 79 adet veri kaybı olmuş ve bu yüzden 237 adet veri kayıt altına alınamamıştır. Bu kayıplara rağmen kullanılan sistemin veri iletim performansı %93,7 gibi yüksek bir verimlilikle gerçekleşmiştir. Şekil 5'de ölçüm periyodu boyunca dedektörler tarafından belirlenen radon gazı konsantrasyonları karşılaştırmalı olarak gösterilmektedir. Genel olarak, IRL birimindeki zamana bağlı radon değişiminin 3 dedektör tarafından benzer desenlerle uyumlu bir biçimde takip edildiği, yani birimdeki radon düzeyi düşme eğilimindeyken farklı pozisyonlardaki dedektörlerin okumalarında azalma davranışı ve odadaki radon seviyesi yükselme eğilimine geçtiğinde dedektörlerin kayıt ettiği radon konsantrasyonlarında artma eğilimi gözlemlendiği söylenebilir. Bununla birlikte, taban konumunu temsil eden D1 dedektörünün diğer dedektörlere göre daha yüksek radon konsantrasyonları tespit ettiği açıktır (Şekil 5).



Şekil 5. Farklı yüksekliklerde bulunan dedektörlerin ölçüm süreci boyunca kayıt ettiği radon konsantrasyonlarının karşılaştırılması (x-eksenindeki ölçüm numaraları, eş-zamanlı olarak alınan saatlik ölçümlere karşılık gelmektedir).

Kapalı mekânlardaki radon yoğunluğunun havalandırma ile azalabileceği bilinmektedir [29,46] Ölçüm periyodu, pandemi dönemi içerisinde bulunmasına rağmen deneysel çalışma aşamasında kısıtlamaların olmaması nedeniyle ölçümlerin yürütüldüğü laboratuvar aktif olarak kullanılmış bu yüzden IRL birimi doğal olarak havalandırılmıştır. Dedektörlerden elde edilen ölçümler birlikte değerlendirildiğinde, ölçümlerin büyük bir kısmının 100-300 Bq/m³ aralığında olduğu (2374 adet veri ile ölçümlerin %67,7'sine karşılık gelmektedir) ve 300 Bq/m³'ten daha yüksek 867 adet (tüm ölçümlerin %24,7'si kadar) radon ölçümü alındığı saptanmıştır. Ölçümlerin gerçekleştirildiği 1 Kasım ile 22 Aralık 2021 tarihleri arasında birimdeki ortalama radon

düzeyi 245 Bq/m^3 olarak belirlenmiştir (Tablo 2). Bu ortalama, aynı birimde 1 Mart 2001 ile 28 Şubat 2022 tarihleri arasında gerçekleştirilen diğer bir çalışmaya ait ölçüm sonuçları ile tutarlıdır. Söz konusu çalışma için elde edilen 8216 adet saatlik radon ölçümü verisinin, 26 Bq/m^3 ile 854 Bq/m^3 arasında değiştiği ve 295 Bq/m^3 değerinde bir aritmetik ortalamaya sahip olduğu bildirilmiştir [46]. IRL birimi için elde ettiğimiz 3507 radon ölçümünden hiçbirinin TENMAK'ın iş yerleri için kabul ettiği 1000 Bq/m^3 lük müdahale limitini [19] aşmadığı görülmektedir (Şekil 5 ve Tablo 2).

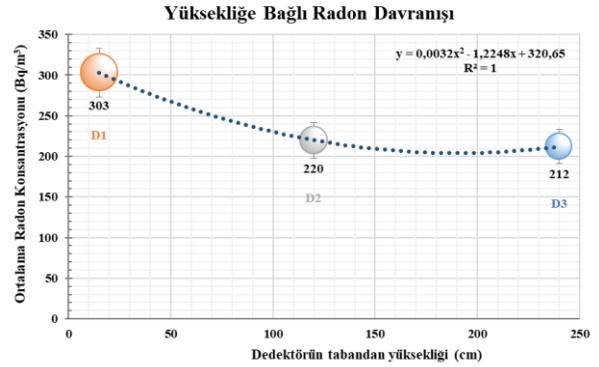
Radon yoğunluğunun yüksekliğe bağlı olarak sergilediği davranışın incelenmesi amacıyla, IRL birimindeki taban seviyesi, solunum seviyesi ve tavan seviyesini temsil eden D1, D2 ve D3 gruplarına ait ölçüm verileri, SPSS 29.0 programı [57] kullanılarak istatistiksel olarak analiz edilmiştir. Çalışmada kullanılan elektronik dedektörlerin kodlamaları, seri numaraları, yerden yükseklikleri ve ölçüm grupları için elde edilen verilere ait tanımlayıcı istatistiksel bilgiler (minimum, maksimum ölçümler ve aritmetik ortalamalar) Tablo 2'de toplu halde özetlenmektedir.

İstatistiksel analize başlamadan önce ölçüm verilerinin normal dağılıma sahip olup olmadığını belirlemek amacıyla normallik testi uygulanmıştır. Her grupta 1169'ar radon ölçüm verisi bulunmakta olup gruplardaki veri sayıları 50'den büyük olduğu için Kolmogorov-Smirnov testi ile normallik incelemesi yapılmış ve anlamlılık değeri, $p < 0,05$ olarak bulunduğu için grup verilerinin normal dağılıma sahip olmadığı ortaya çıkmıştır. Ek olarak, gruplara ait frekans dağılımları incelendiğinde, üç gruptaki ölçüm verilerinin de sağa-çarpık bir yapı sergilediği tespit edilmiştir.

Ölçüm gruplarına ait veriler normal dağılıma sahip olmadığından ve ayrıca en az bir grup ortalaması diğerlerinden farklı olduğundan istatistiksel analiz için Kruskal-Wallis testi tercih edilmiştir. Kruskal-Wallis testi sonucunda; farklı pozisyonları temsil eden 3 gruba ait ölçüm verileri arasında istatistiksel bakımdan anlamlı bir farklılığın olduğu ($p < 0,05$) bulunmuştur (Tablo 2). Farklılığın hangi gruplar arasında olduğu, Mann-Whitney U testi kullanılarak yapılan ek analizlerle araştırılmıştır. İkili karşılaştırmalar sonucunda; D1 grubuna ait ölçümler ile D2 grubuna ait ölçümler arasındaki anlamlılık değeri $p = 0,001$ olarak bulunmuş ve $p < 0,05$ olduğu için D1 ölçümleri ile D2 ölçümleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık olduğu belirlenmiştir. Benzer biçimde, D1 grubu ölçümleri ile D3 grubu ölçümleri arasındaki anlamlılık değeri yine $p = 0,001$ yani $p < 0,05$ olarak elde edilmiş, böylelikle D1 ve D3 grubu ölçümlerinin de istatistiksel bakımdan birbirinden farklı olduğu tespit edilmiştir. Son olarak D2 ve D3 grupları karşılaştırıldığında, bu gruplara ait veriler arasındaki anlamlılık değeri $0,264$ olarak elde edilmiş ve $p > 0,05$ olduğu için D2 ölçümleri ile D3

ölçümleri arasında istatistiksel bakımdan anlamlı bir farklılık bulunmadığı ortaya çıkarılmıştır. Özetle; laboratuvar tabanındaki radon konsantrasyonlarının, solunum seviyesindeki ve laboratuvar tavanındaki radon düzeylerinden daha farklı yoğunluklarda gözlemlendiği istatistiksel olarak kanıtlanmıştır.

26 Bq/m^3 ile 822 Bq/m^3 değerleri arasında değişen bina içi atmosferik radon konsantrasyonlarının gözlemlendiği ölçüm sürecinde, IRL birimindeki radon düzeyinin yüksekliğe bağlı olarak azalma eğiliminde olduğu ortaya çıkarılmıştır (Tablo 2). Ortalama radon konsantrasyonlarının yüksekliğe bağlı değişimi Şekil 6'da görsel olarak sunulmaktadır. Laboratuvar tabanı referans seviyesi olarak alındığında, birimdeki radon düzeyinin yüksekliğe bağlı sergilediği bu davranış, Şekil 6'da gösterilen ikinci derece polinom yapısındaki fit kullanılarak başarılı bir şekilde formalize edilebilmektedir ($R^2 = 1$). Artan yüksekliğe bağlı olarak bina içi atmosferik radon düzeyinin azalma davranışı, IRL biriminin bulunduğu binada daha önce yapılan benzer çalışma sonuçları ile de desteklenmektedir [46, 47]. Çalışmamız kapsamında ayrıca, ölçüm noktaları için hafta sonlarında kaydedilen atmosferik radon konsantrasyonlarına kıyasla, hafta içi günlerde (laboratuvarın kullanımına dolayısıyla doğal havalandırma yapılmasına bağlı olarak) bir düşüşün meydana geldiği de gözlemlenmiştir.



Şekil 6. IRL birimindeki ortalama radon düzeylerinin yüksekliğe bağlı değişimi (kodlama Çizelge 2 ile uyumludur).

4. Tartışma ve Sonuç

En tehlikeli kanserojenler arasında yer alan radon, zamanımızın büyük bir kısmını geçirdiğimiz kapalı mekânlarda yüksekliğe bağlı olarak farklı yoğunluklarda gözlemlenebilmektedir. Bu çalışmada bina içi atmosferik radon konsantrasyonunun yüksekliğe bağlı sergilediği davranış, Süleyman Demirel Üniversitesi Fizik Bölümü'nün zemin katında bulunan Isparta Radon Laboratuvarı'nda farklı yüksekliklere yerleştirilmiş 3 adet Wave radon dedektörüyle 1 Kasım 2021 tarihinden itibaren birbirini takip eden 52 gün boyunca eş-zamanlı saatlik radon ölçümleri alınarak incelenmiştir.

Tablo 2. Dedektör bilgileri ve radon ölçümlerine ait tanımlayıcı istatistikler (dedektör kodları, Şekil 4 ve Şekil 5'deki kodlamayla uyumludur)

Dedektörlere ait Bilgiler				Ölçümlere ait Tanımlayıcı Bilgiler			
Kodu	Seri Numarası	Yerden Yükseklik	N	Min (Bq/m ³)	Mak (Bq/m ³)	Ort (Bq/m ³)	p
D1	2950032386	15 cm	1169	28	822	303	0,001
D2	2900262419	120 cm	1169	26	706	220	
D3	2950039463	240 cm	1169	36	554	212	
Genel			3507	26	822	245	

N : ölçüm sayısı, p: Kruskal-Wallis testi sonucunda elde edilen anlamlılık değeri

Kullanılan elektronik dedektörler, ölçüm periyodunda yüksek verimlilikte bir veri iletim performansı (%93,7) göstermiş ve dedektör başına 1169 adet radon ölçüm verisi kayıt altına alınmıştır. Saatlik radon ölçümlerinin 26 Bq/m³ ile 822 Bq/m³ arasında değiştiği, ölçümlerin %67,7'lik kısmının 100-300 Bq/m³ aralığında gerçekleştiği ve birimdeki ortalama radon yoğunluğunun 245 Bq/m³ değerinde olduğu bulunmuştur. TENMAK'ın iş yerleri için belirlemiş olduğu 1000 Bq/m³ lük müdahale düzeyini aşan hiçbir ölçüm verisine rastlanmamıştır.

Ölçümlerden elde edilen ortalamalar incelendiğinde; laboratuvarın taban seviyesindeki D1 dedektörüyle belirlenen radon düzeyinin 303 Bq/m³, solunum seviyesine yerleştirilen D2 dedektörüyle tespit edilen ortalama radon konsantrasyonunun 220 Bq/m³ ve tavan seviyesinde konumlu D3 dedektörüne ait ortalama radon düzeyinin 212 Bq/m³ olduğu bulunmuştur. Bu durum, IRL birimindeki radon seviyesinin artan yüksekliğe bağlı olarak azalma eğilimi gösterdiğine işaret etmektedir. Ölçüm verileri ayrıca, SPSS programıyla istatistiksel olarak analiz edilmiş, yapılan testler sonucunda D1 ölçümleri ile diğer iki dedektörün ölçümleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılığın olduğu (p<0,05) tespit edilirken, D2 ve D3 dedektörlerinin ölçümleri arasında anlamlı bir farklılığın olmadığı bulunmuştur (p>0,05).

Bu çalışmanın koşulları dahilinde, radon gazının kapalı mekânların zemininde birikme eğilimi gösterdiği ve bu yüzden odanın tabanında daha yüksek konsantrasyonlara ulaştığı istatistiksel olarak ortaya çıkarılmıştır. Radon kaynaklı sağlık riskinin en aza indirilebilmesi için ölçüm yapılan birimde duvar ve zemin yalıtımlarının gözden geçirilerek, havalandırma koşullarının iyileştirilmesi ve bina genelinde yürütülecek daha kapsamlı ölçümlerle riskli diğer birimlerin belirlenmesi tavsiye edilebilir.

Teşekkür

Bu çalışma 1919B012106382 proje numarası ile Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) 2209-A Üniversite Öğrencileri Araştırma Projeleri Destekleme Programı kapsamında desteklenmiştir. Yazarlar, Bilim İnsanı Destek Programları Başkanlığı'na (BİDEB'e) teşekkür eder.

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] UNSCEAR, 2000. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, Exposures from Natural Radiation Sources Annex B, 117-118, New York, USA.
- [2] Rutherford, E. 1900. I. A Radio-Active Substance Emitted From Thorium Compounds. The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science, 49(296), 1-14.
- [3] Dorn, E., 1900. Die Von Radioaktiven Substanzen Ausgesandte Emanation. Abhandlungen Der Naturforschenden Gesellschaft (Halle), 23, 1-15.
- [4] Partington, J. R. 1957. Discovery of Radon. Nature, 179 (4566), 912-912.
- [5] George, A. C. 2008. World History of Radon Research and Measurement From The Early 1900's to Today. AIP Conference Proceedings, 26-27 Ağustos, US, 20-33.
- [6] Mc Laughlin, J. 2012. Radon: Past, Present and Future. Paper presented at the First East European Radon Symposium FERAS, 2-5 Eylül, Romania, 5-13s.
- [7] NCRP, 1988. Report Measurements of Radon and Radon Daughters in Air, No..97, p.174.
- [8] Martinelli, G. 1993. Radon Geochemistry and Geophysics in Deep Fluids in Italy. Radon Monitoring in Radioprotection, Environmental and Earth Sciences. World Scientific C, 435-453.
- [9] Cigna, A.A. 2005. Radon in Caves. International Journal of Speleology, 34(1-2). 1-18.
- [10] UNSCEAR, 1988. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation, United Nations, Report No: E.88.IX.7, 647p. New York.

- [11] Al-Zoughool, M., & Krewski, D. 2009. Health Effects of Radon: A Review of The Literature. *International Journal of Radiation Biology*, 85(1), 57-69.
- [12] IARC, 2022. Uluslararası Kanser Araştırma Ajansı. <https://gco.iarc.fr/today/en> (Erişim tarihi:25.09.2023).
- [13] T.C. Sağlık Bakanlığı Halk Sağlığı Genel Müdürlüğü, 2022. https://hsgmdestek.saglik.gov.tr/depo/birimler/kanser-db/istatistik/Kanser_Rapor_2018.pdf (Erişim tarihi:25.06.2023).
- [14] ICRP, 2010. International Commission on Radiological Protection. Lung Cancer Risk From Radon and Progeny, ICRP 4843-4564-6599 1, 20-23.
- [15] EPA, 2005. Environmental Protection Agency. Citizen's Guide to Radon. U.S. EPA 402-K02-006, 11-16.
- [16] WHO, 2009. World Health Organization. Handbook on Indoor Radon: A Public Health Perspective, 94p.
- [17] WHO, 2005. Radon and Cancer. World Health Organization Fact Sheet, No:91.
- [18] ICRP, 2014. International Commission on Radiological Protection. Radiological Protection Against Radon Exposure, ICRP Publication 126. Annual, 43(3), 5-73.
- [19] Türkiye Cumhuriyeti Hükümeti. (24.03.2000 Tarih ve 23999 Sayılı Resmî Gazete'de yayımlanan S.I.No. 37, Resmî Gazete'de Yayımlanan ve 25598 Sayılı Radyasyon Güvenliği Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelikte Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik), 2004. <https://www.mevzuat.gov.tr/File/GeneratePdf?mevzuatNo=5272&mevzuatTur=KurumVeKurulusYonetmeli&mevzuatTertip=5> (Erişim Tarihi: 14.05.2024).
- [20] EC, 2011. European Commission. Laying Down Basic Safety Standards for Protection Against the Dangers Arising from Exposure to Ionising Radiation. E.C. 0254 NLE, 593p.
- [21] Celebi, N., Ataksor, B., Taskın, H., Bingoldag, N. A. 2015. Indoor Radon Measurements in Turkey Dwellings. *Radiation Protection Dosimetry*, 167(4), 626-632.
- [22] Kürkcüoğlu M. E. 2018. Indoor Radon in Isparta. 4th Int. Conf. on Theoretical and Experimental Studies in Nuclear Applications and Technology, 20-22 Nisan, Antalya, 32.
- [23] Porstendorfer, J., Butterweck, G., Reineking, A., 1994. Daily Variation of The Radon Concentration Indoors and Outdoors and The Influence of Meteorological Parameters. *Health Phys.* 67(3), 283-287.
- [24] Ramola, R.C.; Kandari, M.S.; Negi, M.S.; Choubey, V.M. 2000. A Study of Diurnal Variation of Indoor Radon Concentrations. *Jpn. J. Heal. Phys.*, 35, 211-216.
- [25] Baeza, A., Navarro, E., Roldan, C., Ferrero, J.L., Juanes, D., Corbacho, J.A., Guillen, F.J. 2003. Indoor Radon Levels in Buildings in the Autonomous Community of Extremadura (Spain). *Radiation Protection Dosimetry*, 103(3), 263-268.
- [26] Müllerova, M., Holý, K., 2010. Study of Relation Between Indoor Radon in Multi-Storey Building and Outdoor Factors. Fifth International Summer School on Nuclear Physics Methods and Accelerators in Biology and Medicine. AIP Conf. Proc., 6-15 Temmuz, Slovakia, 161-162.
- [27] Rafique, M., Rahman, S.U., Mahmood, T., Rahman, S., Matiullah, 2011. Assessment of Seasonal Variation of Indoor Radon Level in Dwellings of Some Districts of Azad Kashmir, Pakistan. *Indoor Built Environ.* 20(3), 354-361.
- [28] Kropat, G., Bochud, F., Jaboyedoff, M., Laedermann, J.-P., Murith, C., Palacios, M., Baechler, S., 2014. Major Influencing Factors of Indoor Radon Concentrations in Switzerland. *Journal of Environmental Radioactivity*, 129, 7-22.
- [29] Kürkcüoğlu, M. E., Koçer, A. A., Akyürek, A. 2021. A Study on The Effect of Natural Ventilation on Indoor Atmospheric Radon Concentration. Turkish Physical Society 37th International Physical Congress (TPS-37), 1-5 Eylül, Muğla,
- [30] Yarmoshenko, I. V., Onishchenko, A. D., Malinovsky, G. P., Vasilyev, A. V., & Zhukovsky, M. V. 2022. Modeling and Justification of Indoor Radon Prevention and Remediation Measures in Multi-Storey Apartment Buildings. *Results in Engineering*, 16, 100754.
- [31] Mancini, S., Guida, M. 2024. Development of a Pre-Diagnosis Procedure for the Evaluation of Indoor Radon Potential in Buildings. *Wseas Transactions on Environment and Development*, 20, 1-7.
- [32] Elmehdi, H. M., Ramachandran, K., Gaidi, M., & Daoudi, K. 2024. Diurnal and Seasonal Influence on The Indoor Radon Levels in Dwellings of Sharjah Emirate As Well Its Estimation of Annual Effective Dose. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 100663.
- [33] Pavlenko, T. A., Los, I. P., Goritsky, A. V., Aksenov, N. V. 1997. Exposure Doses Due to Indoor ²²²Rn in The Ukraine and Basic Directions For Their Decrease. *Radiation Measurements*, 28(1-6), 733-738.

- [34] Papaefthymiou, H., Mavroudis, A. ve Kritidis, P. 2003. Indoor Radon Levels and Influencing Factors in Houses of Patras, Greece. *Journal of Environmental Radioactivity*, 66(3), 247-260.
- [35] Kürkçüoğlu M., Haner, B., Yılmaz, A., & Toroğlu, İ. 2009. Karaelmas Yerleşkesi Merkez Kütüphanesi Radon Ölçümleri. *Süleyman Demirel University Faculty of Arts and Science Journal of Science*, 4(2), 177-188.
- [36] Kürkçüoğlu, M. ve Bayraktar, G. 2012. Süleyman Demirel Üniversitesi'nde Bina İçi Radon Konsantrasyonlarının Nükleer İz Dedektörleri Kullanılarak Belirlenmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 16(2), 167-183.
- [37] Afolabi, O. T., Esan, D. T., Banjoko, B., Fajewonyomi, B. A., Tobih, J. E., & Olubodun, B. B. 2015. Radon Level in a Nigerian University Campus. *BMC research notes*, 8, 1-6.
- [38] Kurt, A. 2015. İstanbul İli Fatih İlçesi İlköğretim Okullarında İç Hava Radon Konsantrasyonlarının Belirlenmesi. *İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, 142s, İstanbul.
- [39] Altınsöz, M., Algın, E., Aşıcı, C. ve Soğukpınar, H. 2016. Radon Concentration Measurements at a University Campus in Turkey. *Turkish Journal of Physics*, 40(1), 69-75.
- [40] Aldemir, K. 2018. Batman'da Bulunan İlkokul Binalarında Radon Düzeyinin Ölçülmesi. *Batman Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, 72s, Batman.
- [41] Çıtlak, K. 2018. Sakarya Üniversitesi Kampüs Bölgesinde Bina İçi Radon Konsantrasyonunun Belirlenmesi. *Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, 82s, Sakarya.
- [42] Gül, B. T. 2019. Binalarda Radon Gazı Konsantrasyonunun Ölçümü. *Ankara Üniversitesi, Nükleer Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, 71s, Ankara.
- [43] Erdoğan, M., Abaka, M., Manisa, K., Bircan, H., Kuş, C., Zedef, V. 2020. Indoor Radon Activity Concentration and Effective Dose Rates at Schools and Thermal Spas of Iğın. *Nuclear Technology and Radiation Protection*, 35(4), 339-346.
- [44] Küçükönder, E. 2021. Kahramanmaraş İlinde Bina İçi Mevsimsel Radon Gazı Aktivitesi Ölçümü. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 10(3), 891-901.
- [45] Büyüksaraç, A., Kuluöztürk, M. F. 2022. Measurement of Indoor Seasonal and Regional Radon (^{222}Rn) Gas Activity in Çanakkale (Turkey). *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 11(3), 911-921.
- [46] Koçer, A. A. 2023. Bir Radon İzleme Sisteminin Tasarımı ve Test Edilmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi*, 257s, Isparta.
- [47] Kürkçüoğlu, M. E., Öner, Ö. 2023. Investigation of Height Dependence for Indoor Atmospheric Radon Concentration. *Research on Environmental Radioactivity*, 33.
- [48] Bahtijari, M., Stegnar, P., Shemsidini, Z., Ajazaj, H., Halimi, Y., Vaupotič, J., & Kobal, I. 2007. Seasonal Variation of Indoor Air Radon Concentration in Schools in Kosovo. *Radiation Measurements*, 42(2), 286-289.
- [49] Bayraktar, G., Karakılıç, V., Karadem, A., Kürkçüoğlu, M. E. 2009. S.D.Ü. Sabancı Öğrenci Yurdunda CR-39 Dedektörleri Kullanarak Radon Ölçümleri. *X. Ulusal Nükleer Bilimler ve Teknolojileri Kongresi*, 6-9 Ekim, Muğla, 245-252.
- [50] Tamir Darcan, M. 2020. Kırklareli Üniversitesi Kayalı Kampüsünde Bina İçi Radon Gazı Ölçümü. *Kırklareli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, 68s, Kırklareli.
- [51] Isparta İl Kültür Turizm Müdürlüğü, 2023. <https://isparta.ktb.gov.tr/TR-71016/isparta.html> (Erişim tarihi:15.03.2023).
- [52] Türkiye Cumhuriyeti Isparta Valiliği, 2023. <http://www.isparta.gov.tr/isparta> (Erişim tarihi:15.03.2023).
- [53] Türkiye İstatistik Kurumu, 2024. https://www.tuik.gov.tr/media/announcements/Favori_Tablolar.xlsx (Erişim tarihi: 08.03.2024).
- [54] Süleyman Demirel Üniversitesi, 2023. <https://aday.sdu.edu.tr/bolum/fen-edebiyat-fakultesi> (Erişim Tarihi:15.03.2023).
- [55] Airthings; Wave Radon, 2023. <https://www.airthings.com/wave-radon> (Erişim tarihi:15.03.2023).
- [56] Health Canada. (2008). *Guide for Radon Measurements in Residential Dwellings (Homes)*. http://www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/alt_formats/hecs-sesc/pdf/pubs/radiation/radon_homes-maisons/radon_homes-maisons-eng.pdf (Erişim Tarihi:11.06.2024).
- [57] Süleyman Demirel Üniversitesi Bilgi İşlem Daire Başkanlığı, 2023. <https://bidb.sdu.edu.tr/tr/kolay-ulasim/lisansli-yazilimlar-14640s.html> (Erişim Tarihi:18.10.2023).

Elma İçkurdu Zararlısının Kontrolünde Alternatif Yeni Aday Moleküllerin Kenetlenme Metodu ile Belirlenmesi

Nurcan ERSAN ŞEKER*¹, Vildan ENİSOĞLU ATALAY²

¹Üsküdar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoteknoloji Bölümü, 34662, Üsküdar, İstanbul

²Üsüdar Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümü, 34662, Üsküdar, İstanbul

(Alınış / Received: 04.10.2023, Kabul / Accepted: 09.08.2024, Online Yayınlanma / Published Online: 23.08.2024)

Anahtar Kelimeler

Elma içkurdu,
İnseksit,
Moleküler Kenetlenme,
Voltaj Kapılı Sodyum
Kanalları

Özet: Elma içkurdu (*cydia pomonella*) zararlısı, geleneksel insektisitlere karşı giderek direnç geliştirdiğinden, tarım sektöründe meyve üretiminde son yıllarda artan bir sorun haline gelmektedir. Geleneksel insektisitlerin aşırı kullanımı, sağlık ve çevre için ciddi riskler oluştururken, alternatif doğal moleküllerin keşfi çevresel riskleri azaltmak ve direnç sorunlarını çözmek açısından hayati önem taşımaktadır. Bu çalışmada elma içkurdu ile mücadelede in siliko yöntemiyle etkili ve doğal ilaç moleküllerin belirlenmesi hedeflenmiştir. Bu çalışmada, 3RVZ kristal yapısı hedef protein olarak seçilip, insektisit özelliği olan 97 adet bitki aktif moleküllerinden en iyi sonuç veren 42 molekül ve 5 adet ticari insektisit kullanılarak bir araştırma yapılmıştır. Seçilen moleküllerin yapısal analizleri Spartan'14 programıyla gerçekleştirilmiştir. Moleküller kenetlenme ve görselleştirme çalışmalarında Autodock Tools 1.5.6, Autodock Vina ve BIOVIA Discovery Studio Visualizer programları kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar, bağlanma afiniteleri, lineer regresyon grafikleri ve aminoasit etkileşim haritaları kullanılarak değerlendirilmiştir. Yapılan çalışma sonucunda, iyi korelasyon sağlayan, biyopestisit olma potansiyeline sahip L-7, L-9, L-13, L-14, L-16, L-18, L-19 aday molekülleri öne çıkmaktadır. Bu moleküllerin in vivo deneysel olarak incelenmesi önerilmektedir.

Identification of Alternative New Candidate Molecules for the Control of Apple Bract Pest by Docking Method

Keywords

Codling Moth,
Insecticide,
Molecular Docking,
Voltage Gated Sodium
Channels

Abstract: The codling moth (*cydia pomonella*) has become an increasing problem in fruit production in the agricultural sector in recent years, as the pest has gradually developed resistance to conventional insecticides. While the overuse of conventional insecticides poses serious risks to health and the environment, the discovery of alternative natural molecules is vital to reduce environmental risks and solve resistance problems. In this study, a research was conducted by selecting the 3RVZ crystal structure as the target protein and using 42 molecules that gave the best results out of 97 plant active molecules with insecticidal properties and 5 commercial insecticides. Structural analyzes of the selected molecules were carried out with the Spartan'14 program. Autodock Tools 1.5.6, Autodock Vina and BIOVIA Discovery Studio Visualizer programs were used in molecular docking and visualization studies. The results obtained were evaluated using binding affinities, linear regression graphs and amino acid interaction maps. As a result of the study, candidate molecules L-7, L-9, L-13, L-14, L-16, L-18, L-19, which provide good correlation and have the potential to be biopesticides, stand out. It is recommended to examine these molecules experimentally in vivo.

1. Giriş

TÜİK verilerine göre ülkemiz 2021-22 sezonunda elma üretimi 4,7 ton, ihraç ettiği elma miktarı 2,2 ton olduğu, elma üretiminde dünya sıralamasında 3. iken ihracatta 7. sırada olduğu belirtilmiştir [1]. İhracattaki bu düşüklüğün sebebi kaliteli elma üretiminin yeterli olmayışı şeklinde düşünülmektedir. Tarımsal hastalık ve zararlılarla mücadele için gerekli önlemlerin alınması kaliteli elma üretimine katkı sağlayacaktır.

Elma içkurdu, farklı koşullara çabuk adaptasyon sağladığından, farklı coğrafyalarda bulunabilen, dünyaca bilinen 100 istilacıdan biridir. Elma içkurdu sadece elmada değil, armut, ayva gibi yumuşak çekirdekli meyvelerde, şeftali, erik, kayısı ve cevizin de zararlısıdır. Zararlı meyvelerin içine girerek yumurtalarını bırakır, larvalarını besler, meyve dokusuna zarar verir. Bu durum meyvenin pazar değerini düşürür, üreticinin ekonomik kaybına sebep olur. Zararlı ile mücadele yöntemleri sayesinde, zararlının meyveye verdiği zararın büyük ölçüde önüne geçilebilmektedir [1-5].

Zirai mücadelenin önemli bir yöntemi olan pestisitlerin kullanımı, sağlık ve çevre üzerinde ciddi riskler oluşturmakla birlikte; kanserojen etkileri, doğum anormallikleri ve sinir sistemi zararları gibi potansiyel sağlık tehlikeleri bulunmaktadır. Özellikle aşırı buharlaşan pestisitler, hava kirliliğine ve havada kalıcı olumsuz etkilere neden olmaktadır. Aşırı kullanımı, zararlı organizmalarda ilaca karşı direnç gelişimini teşvik ederek pestisitlerin etkinliğini azaltmakta ve yeni salgınlar ortaya çıkarmaktadır. Bu nedenle, pestisitlerin bilinçli ve sürdürülebilir bir şekilde kullanılması, çevre ve insan sağlığı için kritik öneme sahiptir [6].

Elma içkurdu kontrolü için yapılan araştırmalar, elma içkurdunun birçok insektisite direnç geliştirdiği ve bu insektisitlerin kullanımının faydalı türlerin popülasyonlarını azalttığını göstermektedir. Bu nedenle kimyasal insektisit kullanımını azaltmak, kaliteli ve sağlıklı elma yetiştirmek için çevre dostu stratejiler geliştirilmektedir [7-8]. Organik elmanın korunmasında kullanılacak çok sayıda potansiyel bitki ve bitki metaboliti bulunmaktadır. Bu doğal bileşiklerin etkin formülasyonlarını geliştirmeye ve moleküler hedeflerini belirlemeye yönelik araştırmaların yapılması belirtilmektedir [9].

Bilgisayar destekli ilaç tasarımı, bilimsel hesaplama ve modelleme tekniklerini kullanarak yeni ilaçlar veya kimyasal bileşiklerin tasarımını hedefleyen bir yaklaşımdır. Bu yöntem moleküler düzeyde ilaç etkileşimlerini anlamamıza ve özellikle bitkiler için kullanılacak yeni bitkisel pestisitlerin keşfini hızlandırmamıza yardımcı olmaktadır. Bu süreç potansiyel ilaç bileşiklerini inceleyerek bitki hastalıkları, zararlı organizmalar ve diğer tarım sorunlarını hedeflemede önemli bir araç haline gelmektedir.

Bu çalışma, elma içkurdu zararlısının kontrolünde in siliko yöntemle geleneksel tarım ilaçları yerine kullanılacak alternatif, doğal, yeni aday moleküllerin belirlenmesini amaçlanmaktadır. Böylece geleneksel kimyasal ilaçların oluşturduğu çevresel risklerin ve direnç sorunlarının üstesinden gelmek için, ilaç geliştirmede hızlı, az maliyetli ve etkin olan in siliko yöntem kullanılarak yeni potansiyel ilaç moleküller tanımlanacaktır.

2. Materyal ve Metot

Bu çalışma elma içkurdunun voltaj kapılı sodyum kanallarını hedefleyen, piyasada bu zararlıyla mücadele kullanılan ilaçlardan daha etkili ve doğal insektisit moleküllerin tespit edilmesi amaçlanmaktadır. Bu amaçla PDB [10] veri tabanından NavAb voltaj kapılı sodyum kanalının 2.80 Å çözünürlüğe sahip 3rvz kristal yapısı ile Dr. Duke [11] veri tabanından insektisit olma özelliği olan bitki aktif molekül tespit edilmiştir. Seçilen bu bitki aktif molekülleri (Candidate Plant Bioinsecticides) ile kıyaslama yapabilmek için piyasada bulunan 5 adet ticari insektisit (Commercial Insecticides) molekülü de çalışmaya dahil edilmiştir. Bitki aktif molekülleri ve ticari insektisitlerin pdb dosyalarını kenetlenme çalışmalarında kullanıldığından, moleküllerin sdf dosyalarını indirmek için PubChem [12] veri tabanı kullanılmıştır. Seçilen moleküllerin konformer taramaları, geometri optimizasyonları ve kantitatif yapı-aktivite ilişkisi (QSAR) analizi için Spartan' 14 [13] programında Moleküler Mekanik /MMFF Arayüzü [14] ve yarı deneysel PM6[15] Arayüzü kullanılmıştır. Moleküler kenetlenme çalışmaları, Autodock Tools 1.5.6 [16] ve Autodock Vina [17] programlarıyla gerçekleştirilmiştir. Moleküler kenetlenmede ligandların 3rvz proteinine bağlanma bölgesi koordinatları $x = -53.459$, $y = -64.437$, $z = -72.178$ ve grid box büyüklüğü $40 \times 40 \times 40 \text{ Å}^3$ olarak seçilmiştir. Kenetlenme sonrasında seçilen ligandlar bu bölgeye bağlanarak oluşan kompleks yapının görselleştirmek için BIOVIA Discovery Studio Visualizer [18] programı kullanılmıştır. Bu görselleştirme programıyla ligand protein etkileşimleri detaylı analiz edilmiştir. Ligandların hedef bölgede etkileşime girdiği aminoasitlerle olan mesafesi, bağ türü tespit edilmiştir. Bitki aktif moleküllerin biyoaktiflik ve ADME (emilim, dağılım, metabolizma ve atılım) özelliklerini tahmin etmek için ilaç olma potansiyellerini değerlendirmek için SwissADME [19] veri tabanı kullanılmıştır.

3. Bulgular

Elma içkurdu kontrolünde Voltaj Kapılı Sodyum Kanallarını inhibisyon etkisi olan aday ilaçların fizikokimyasal parametreleri hesaplanmıştır. Hedef protein olarak seçilen 3rvz proteini ile 97 adet bitki aktif molekülü ile kenetlenme gerçekleştirilmiştir. 97 adet bitki aktiflerinden korelasyon sağlayan 42 adet

molekül ve 5 insektisit molekülün fizikokimyasal parametreleri Tablo 1’ de gösterilmiştir.

Kenetlenme sonrasında ligand molekülünün hedef proteinde seçilen bölgede aminoasitlerle girdiği etkileşim türünü ve bağ mesafesini gösteren Tablo 2 ve Tablo 3 şekildedir.

Tablo 4’te çalışılan 97 adet molekülün excel programında bağlanma afinitelerine karşılık, hacim, alan, log P, elektrofilik indeks ve elektronegatiflik parametrelerinin korelasyon eğrileri ve hesaplanan R² değerleri verilmiştir.

Tablo 1: Ticari insektisitler (Commercial Insecticides) ve ilaç adayı bitki aktif molekülleri (Candidate Plant Bioinsecticides) nin fizikokimyasal parametreleri

	A	V	M _a	LogP	χ	ω	E _{HOMO}	E _{LUMO}	μ	BE	K _i
CI-1	427.84	412.67	505.206	3.81	5.05	3.03	-9.27	-0.84	6.05	-10.5	2.0 x 10 ⁻⁸
CI-2	439.88	429.72	419.908	2.69	4.85	2.67	-9.25	-0.45	4.51	-10.4	2.3 x 10 ⁻⁸
CI-3	435.95	421.55	449.856	3.13	5.00	2.89	-9.33	-0.67	3.02	-10.2	3.3 x 10 ⁻⁸
CI-4	421.35	403.35	416.304	3.14	4.82	2.65	-9.2	-0.44	3.35	-10	4.6 x 10 ⁻⁸
CI-5	408.74	402.1	416.304	3.14	4.89	2.74	-9.26	-0.53	4.95	-9.7	7.7 x 10 ⁻⁸
L-1	405.76	442.05	504.45	-5.74	5.44	4.82	-8.51	-2.37	3.27	-12.9	3.4 x 10 ⁻¹⁰
L-4	558.75	578.92	584.71	-1.52	4.59	2.66	-8.55	-0.63	5.71	-11.2	6.1 x 10 ⁻⁹
L-7	341.05	336.27	348.358	-0.77	5.47	3.90	-9.31	-1.63	7.89	-10.9	1.0 x 10 ⁻⁸
L-9	424.23	415.51	379.504	0.89	4.79	2.47	-9.44	-0.15	2.39	-10.6	1.6 x 10 ⁻⁸
L-11	439.61	462.8	494.537	1	5.46	3.20	-10.12	-0.8	3.39	-10.2	3.3 x 10 ⁻⁸
L-12	421.11	433.4	480.466	-1.7	4.84	2.67	-9.22	-0.46	6.63	-10.1	3.9 x 10 ⁻⁸
L-13	361.82	373.97	359.51	1.23	3.89	1.59	-8.64	0.87	4.27	-10.1	3.9 x 10 ⁻⁸
L-14	396.83	389.86	394.423	-2.58	4.32	2.41	-8.17	-0.46	1.68	-10	4.6 x 10 ⁻⁸
L-16	427.79	446.91	453.576	-1.54	3.53	1.20	-8.71	1.66	1.97	-9.9	5.5 x 10 ⁻⁸
L-18	389.15	386.01	398.411	-3	4.45	2.35	-8.65	-0.24	2.87	-9.8	6.5 x 10 ⁻⁸
L-19	326.27	304.23	285.343	0.46	4.74	2.82	-8.72	-0.76	4.21	-9.8	6.5 x 10 ⁻⁸
L-21	269.55	268.43	265.312	-1.24	4.54	2.55	-8.6	-0.49	1.11	-9.6	9.1 x 10 ⁻⁸
L-22	400.07	391.36	394.423	-2.51	4.38	2.51	-8.19	-0.56	1.51	-9.6	9.1 x 10 ⁻⁸
L-27	382.35	388.2	440.469	-1.07	5.98	3.75	-10.75	-1.21	6.76	-9.3	1.5 x 10 ⁻⁷
L-28	301.05	278.06	256.301	-0.41	4.52	2.45	-8.7	-0.35	1.81	-9.3	1.5 x 10 ⁻⁷
L-29	298.57	290.35	292.29	-1.28	4.99	3.13	-8.96	-1.01	3.25	-9.2	1.8 x 10 ⁻⁷
L-33	333.15	339.36	362.378	-0.33	5.41	3.27	-9.88	-0.94	5.99	-8.9	2.9 x 10 ⁻⁷
L-36	258.28	223.58	182.222	2.36	4.94	2.84	-9.23	-0.65	3.04	-8.7	4.1 x 10 ⁻⁷
L-37	329.47	310.39	289.375	1.08	4.52	2.28	-9.02	-0.03	3.32	-8.6	4.9 x 10 ⁻⁷
L-38	266.49	248.55	232.279	0.21	4.47	2.35	-8.73	-0.21	5.35	-8.5	5.8 x 10 ⁻⁷
L-40	269.89	266.9	234.387	1.87	2.36	0.51	-7.78	3.07	1.62	-8.3	8.2 x 10 ⁻⁷
L-41	291.69	270.89	248.322	1.42	4.24	2.29	-8.17	-0.31	5.42	-8.2	9.7 x 10 ⁻⁷
L-42	269.2	264.67	262.305	2	5.45	3.07	-10.29	-0.61	4.26	-8.2	9.7 x 10 ⁻⁷
L-44	197.32	184.89	188.182	0.75	5.78	4.34	-9.63	-1.93	1.46	-7.9	1.6 x 10 ⁻⁶
L-47	200.62	179.29	150.221	1.56	4.19	1.92	-8.74	0.37	1.51	-7.6	2.6 x 10 ⁻⁶
L-51	204.34	180.61	162.188	1.57	5.22	3.08	-9.65	-0.79	2.12	-7.4	3.7 x 10 ⁻⁶
L-54	194.04	176.62	136.238	2.96	3.75	1.53	-8.32	0.83	1.2	-7.2	5.2 x 10 ⁻⁶
L-55	199.36	179.17	150.221	2.41	4.99	2.53	-9.89	-0.08	3.87	-7.2	5.2 x 10 ⁻⁶
L-57	198.67	180.97	164.204	1.67	5.03	3.09	-9.12	-0.94	4.58	-7.2	5.2 x 10 ⁻⁶
L-61	197.15	176.7	136.238	3.01	3.83	1.40	-9.09	1.42	0.94	-7.1	6.2 x 10 ⁻⁶
L-62	199.46	179.17	150.221	2.41	4.99	2.53	-9.89	-0.08	3.87	-7.1	6.2 x 10 ⁻⁶
L-67	196.56	176.55	136.238	3.01	3.83	1.39	-9.11	1.44	0.88	-6.9	8.7 x 10 ⁻⁶
L-68	207.85	188.12	154.253	2.1	3.79	1.34	-9.14	1.56	1.63	-6.8	1.0 x 10 ⁻⁵
L-70	199.89	179.32	-116.09	2.41	4.97	2.53	-9.86	-0.08	3.61	-6.8	1.0 x 10 ⁻⁵
L-72	206.7	187.43	154.253	3.07	4.45	1.87	-9.72	0.83	3.49	-6.8	1.0 x 10 ⁻⁵
L-74	201.15	185.45	168.236	2.06	4.67	1.93	-10.32	0.98	5.17	-6.7	1.2 x 10 ⁻⁵
L-75	201.01	182.41	152.237	2.68	4.54	2.07	-9.5	0.43	3.6	-6.7	1.2 x 10 ⁻⁵
L-76	202.45	181.99	152.237	2.54	4.59	1.98	-9.92	0.73	3.17	-6.6	1.4 x 10 ⁻⁵
L-78	211.34	184.83	136.238	3.28	4.18	1.86	-8.88	0.52	0.87	-6.6	1.4 x 10 ⁻⁵
L-81	202.06	182.63	152.237	1.83	4.26	1.65	-9.77	1.25	1.7	-6.5	1.7 x 10 ⁻⁵
L-83	225.2	196.96	154.253	2.55	4.05	1.63	-9.09	0.98	2.07	-6.3	2.4 x 10 ⁻⁵
L-84	184.58	170.76	136.238	2.9	3.72	1.32	-8.96	1.53	0.49	-6.1	3.3 x 10 ⁻⁵

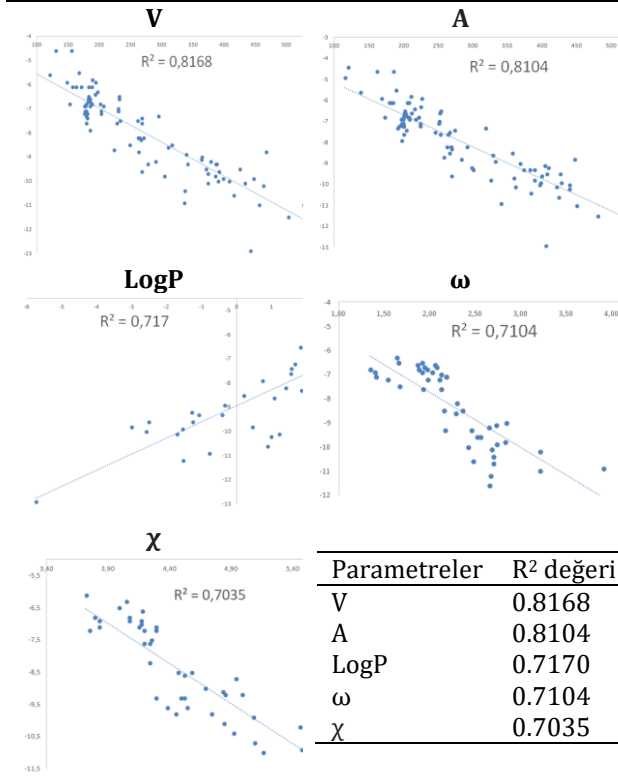
Tablo 2: Ticari insektisitler (Commercial Insecticides) ve ilaç adayı bitki aktif molekülleri (Candidate Plant Bioinsecticides) nin etkileşime girdiği aminoasitlerin ortak tablosu

Arg (R), Glu (E), Gly (G), Ile (I), Leu (L), Met (M), Phe(F), Pro (P), Thr (T), Trp (W), Tyr (Y), Val (V)

	Geleneksel Hidrojen Bağı		Pi-Sigma		Karbon Hidrojen Bağı		Pi-Pi Bağı		Pi-Alkil Bağı		Pi-Sülfür		Pi-Anyon			
	P1075	W1076	F1079	F1107	V1110	T1111	V1120	I1124	I1127	M1137	T1138	P1141	T1162	G1164	E1165	F1167
CI-1			4.3	3.92	5.44		4.77									
CI-2																3.96
CI-3			4.52					5.5								

L-37		5.04						4.6
L-38					4.65	4.51		
L-40								
L-41					4.24	4.92	4.07	4.38
L-42								
L-44								
L-47								
L-51								
L-54								
L-55								
L-57		3.98	5.62					5.75
L-61	5.42	4.99	4.94			3.93		5.19
L-62								
L-67				5	2.97			
L-68								
L-70	4.36					5.24		
L-72			5.06					
L-74	4.57					5.31		
L-75			4.8					
L-76								
L-78								
L-81			4.43					
L-83	4.53					5.27		5.29
L-84								

Tablo 4: Çalışılan moleküllerin hacim (V), alan (A), lipofilite(LogP), elektrofilite(ω), elektronegatiflik (χ) R² grafikleri



4. Tartışma ve Sonuç

Elma içkurdunu kontrol altına almak, doğal ve etkili insektisitleri geliştirmek için insektisit özelliği bulunan bitki aktiflerinin moleküler kenetlenme metodu ve kantitatif yapı-aktivite ilişkileri modellemeleri kullanılarak analizi yapıldı. Analizde kullanılan fizikokimyasal parametreler, aminoasit etkileşim tablosu ve lineer regresyon grafikleri Tablo 1, Tablo 2, Tablo 3, Tablo 4 te verilmiştir. Çalışılan moleküllerin günümüzde kullanılan insektisit

molekülleri ile kıyaslama yapabilmek için elma içkurdu ile mücadelede kullanılan ilaçlar ile hedef proteinin etkileşimiyle bulunan veriler kullanılmıştır.

Yapılan regresyon analizleri sonucunda bitki aktif moleküllerin hesaplanan parametrelerinin $-5.74 \leq \log P \leq 2.9$, $0.15 \leq \mu \leq 7.89$, $47.08 \leq \alpha \leq 87.14$, $115.25 \leq A \leq 565.77$, $99.41 \leq V \leq 363.52$, $78.114 \leq M_a \leq 584.71$, $-1928.61 \leq \text{enerji} \leq 251.44$, $3.07 \leq \eta \leq 5.19$, $0,10 \leq S \leq 0.16$, $1.20 \leq \omega \leq 4.82$, $3.89 \leq \chi \leq 5.47$ aralığında değiştiği gözlemlenmiştir.

Elma içkurdu ile mücadelede yaygın olarak kullanılan ilaç molekülleri ile hedef protein arasındaki bağlanma afiniteleri, moleküler kenetlenme analiziyle hesaplanmıştır. Analiz sonucunda elde edilen afinite değerleri sırasıyla, CI-1 10,5 kkal.mol⁻¹, CI-2 10,4 kkal.mol⁻¹, CI-3 10,2 kkal.mol⁻¹, CI-4 -10 kkal.mol⁻¹, CI-5 -9,7 kkal.mol⁻¹ olarak bulunmuştur.

Referans alınan ilaçların (CI-1, CI-2, CI-3, CI-4, CI-5), hedef proteinin istenilen bölgesinde gerçekleşen aminoasit etkileşimleri değerlendirilmiştir. Bu bağlamda, CI-1 molekülünün Phe1079, Phe1107, Val1110, Val1120 aminoasitleriyle pi alkil bağı oluşturduğu, ayrıca Leu2136 ve Val2204 aminoasitleriyle pi-sigma bağı etkileşimi gözlemlenmiştir. CI-2 molekülünün Phe1171, Trp2195 aminoasitleriyle pi-pi bağı, Ile2199 aminoasitiyle pi alkil bağı, ve Phe1167 aminoasitiyle en yakın olan pi-sigma bağı etkileşimleri belirlenmiştir. CI-3 molekülünün Phe1079, Ile1124, Val2204 aminoasitleriyle pi alkil bağı etkileşimi tespit edilmiştir. CI-4 molekülünün Phe1079, Phe1107, Val1110, Val120, Ile1124, Leu2136, Val2204 aminoasitleri ile toplam 7 adet pi alkil bağı etkileşimi saptanmıştır. CI-5 molekülü ise hedef bölgede 6 etkileşime sahiptir: En yakın pi-sigma bağı etkileşimi Val1110 aminoasitiyle gözlemlenmiştir, ayrıca Phe1079, Phe1107, Phe2140 aminoasitleriyle pi-pi

bağı oluştururken Val1120 ve Ile1124 aminoasitleriyle π alkil bağı etkileşimi yapmıştır.

Çalışma sonuçlarına dayanarak, bağlanma afinite değeri $-10,9 \text{ kkal.mol}^{-1}$ olan L-7 molekülü, referans moleküllerle ortak olan Val1110, Val1120, Val2204 aminoasitler ile bağ mesafesi daha yakın π alkil bağ etkileşimi görülmüştür. Bununla birlikte, Trp1076 aminoasiti ile $3,4 \text{ \AA}$ ' luk daha da yakın karbon hidrojen bağ etkileşimi kurmuştur. Özellikle referans ilaçlara kıyasla daha yakın π alkil bağları oluşturan camptothecin molekülü, ayrıca Trp1076 aminoasiti ile oluşturduğu yakın karbon hidrojen bağı ile afinitenin artmasına katkı sağlamıştır.

L-9 molekülü $-10,6 \text{ kkal.mol}^{-1}$ bağlanma afinitesiyle referans moleküllerden daha yüksek değere sahiptir. Deltamethrin molekülü ile kıyaslandığında Phe1079, Val1110, Val1120 aminoasitleri etkileşiminin ortak olduğu, benzer bağ türleri sahip olduğu, Phe1079 ve Val1110 aminoasitleriyle daha yakın bağ mesafesi, Val2204 aminoasitiyle daha uzun bağ mesafesi gözlemlenmiştir.

Yapılan analizler sonucunda insektisit moleküllerinin çoğunlukla Phe1079, Phe1107, Val1110, Val1120, Ile1124, Val2204 aminoasitleri ile π alkil, π - π bağı ve π sigma bağı etkileşim yaptığı, π alkil bağlarının fazlaca görüldüğü, insektisitlerin afinite değerlerinin daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Aday insektisit moleküllerinin piyasada satılan insektisitlere nazaran farklı aminoasitlerle farklı bağ türünde etkileşiminin

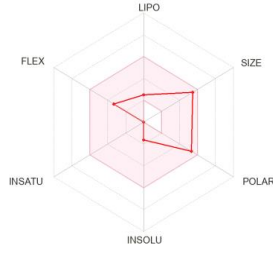
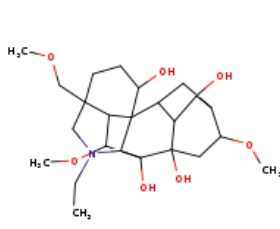
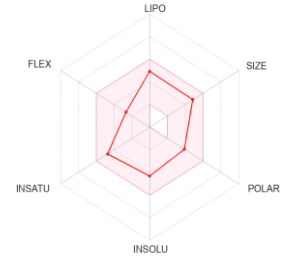
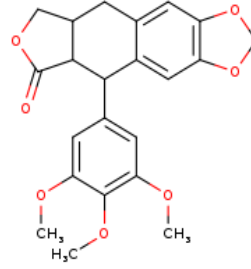
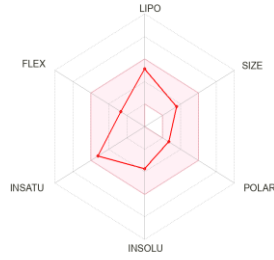
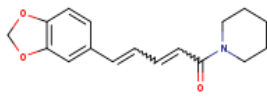
olduğu, güçlü afinite gösterdiği saptanmıştır. İnsektisit molekülleri ile karşılaştırma yapıldığında geleneksel hidrojen bağları ile etkileşimi olan L-12, L-16, L-18 moleküllerinin yanı sıra L-1, L-4, L-7, L-9, L-11, L-13, L-14, L-19 moleküllerinin insektisit moleküllerine benzer ve hatta daha iyi korelasyon sergilediği belirlenmiştir.

Yapılan çalışmada lineer regresyon grafiğinden elde edilen sonuçlar da analizde kullanılmıştır. Lineer regresyon sonuçlarının olduğu Tablo 4 incelendiğinde en yüksek korelasyonu sağlayan hacim ve alan parametrelerinin R^2 değerleri sırasıyla $0.8168, 0.8104$ olarak bulunmuş, istenen korelasyon $304.23 \leq V \leq 578.92, 236.27 \leq A \leq 565.77$ aralığında olduğu tespit edilmiştir. Lipofilité parametresinin R^2 değerlerinin 0.7170 olduğu belirlenmiş, lipofilik özelliğe sahip ligandların $\log p$ değerleri $-5.74 \leq \log P \leq 1.23$ aralığında değişiklik göstermiştir. Elektronegatiflik ve elektrofilik indeks önemli bir diğer parametrelerdir. Önerilen korelasyon değerleri $2.41 \leq \omega \leq 4.82, 4.45 \leq \chi \leq 5.44$ aralığında olan elektronegatiflik ve elektrofilik indeksin R^2 değerleri sırasıyla $0,7104$ ve $0,7035$ olarak saptanmıştır.

Çalışma sonucunda, Tablo 5' te 2D yapıları ve SwissADME haritaları gösterilen, iyi korelasyon sağlayan, ilaç olma potansiyeline sahip L-7, L-9, L-13, L-14, L-16, L-18, L-19 aday molekülleri öne çıkmaktadır. Bu moleküllerin in vivo deneysel olarak incelenmesi önerilmektedir.

Tablo 5: L-7, L-9, L-13, L-14, L-16, L-18, L-19 moleküllerinin 2D yapıları ve SwissADME haritaları

2D Yapıları	Swissadme Haritaları	2D Yapıları	Swissadme Haritaları
L-7 (Camptothecin)		L-9 (Celabenzine)	
L-13 (Napelline)		L-14 (Deguelin)	

**L-16 (Delcosine)****L-18 (Deoxpodophyllotoxin)****L-19 (Piperine)****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] Tarım ve Orman Bakanlığı. [https://arastirma.tarimorman.gov.tr/tepge/Belgeler/PDF/Tarım Ürünleri Piyasaları/ELMATÜPHAZİRAN2023-TEPGE.pdf](https://arastirma.tarimorman.gov.tr/tepge/Belgeler/PDF/Tarim_Urunleri_Piyasaları/ELMATÜPHAZİRAN2023-TEPGE.pdf) (Erişim Tarihi: 28.07.2023)
- [2] Tarım ve Orman Bakanlığı. Bitki Zararlıları Zirai Mücadele Teknik Talimatları. <https://www.tarimorman.gov.tr/TAGEM/Belgeler/yayin/Bitkizararlılarıziraimücadeletalimatları.pdf> (Erişim Tarihi: 28.07.2023)
- [3] Jentsch, P. (2017). The resurgence of Codling Moth in the Hudson Valley. *Fruit Quarterly*, 25, 3.
- [4] Thaler, R., Brandstätter, A., Meraner, A., Chabicovski, M., Parson, W., Zelger, R., Dalla, J., Via, R. (2008). Dallinger, Molecular phylogeny and population structure of the codling moth (*Cydia pomonella*) in Central Europe: II. AFLP analysis reflects human-aided local adaptation of a global pest species, *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 48(3), 838-849.
- [5] Yeşilirmak, M.M., Ay, R. (2023) *Cydia pomonella* (L)'da İnsektisit Direnci ve Mekanizmaları: Küresel Durum, *Türk Bilim ve Mühendislik Dergisi*, 5(1), 54-61.
- [6] Tarım ve Orman Bakanlığı. <https://arastirma.tarimorman.gov.tr/zmmae/Belgeler/Sol%20Menu/Yay%C4%B1nlar/%C3%9Ckımızde%20Zirai%20M%C3%BCcadel e%20Girdilerinin%20De%C4%9Ferlendirilm esi.pdf> (Erişim Tarihi:17.07.2024)
- [7] Joshi N.K., Hull L.A., Krawczyk G. (2020). Insecticide Baseline Sensitivity in Codling Moth (*Lepidoptera: Tortricidae*) Populations From Orchards Under Different Management Practices. *Journal of Entomological Science*, 55(1), 105-116.
- [8] Kadoić Balaško, M., Bažok, R., Mikac, K.M., Lemic, D., Pajač Živković, I. (2020). Pest Management Challenges and Control Practices in Codling Moth: A Review. *Insects*, 11, 38.
- [9] Pszczolkowski, M.A. (2023). Prospects of Codling Moth Management on Apples with Botanical Antifeedants and Repellents. *Agriculture*, 13, 311.
- [10] Berman, H. M., Westbrook, J., Feng, Z., Gilliland, G., Bhat, T. N., Weissig, H., Shindyalov, I. N., Bourne, P. E. 2000. The Protein Data Bank. *Nucleic Acids Res*, 28 235–242.
- [11] U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service. 1992-2016. Dr. Duke's Phytochemical and Ethnobotanical Databases.
- [12] Kim, S., Chen, J., Cheng, T., Gindulyte, A., He, J., He, S., Li, Q., Shoemaker, B. A., Thiessen, P. A., Yu, B., Zaslavsky, L., Zhang, J., Bolton, E. E. 2019. PubChem 2019 update: Improved access to chemical data. *Nucleic Acids Res*, 47(D1), 1102-1109.
- [13] Spartan 14v1.1.4 (2014) Wavefunction, Inc., Irvine, CA. (<https://www.wavefun.com/>)

- [14] Stewart, J. J. P. 2007. Optimization of parameters for semiempirical methods V: Modification of NDDO approximations and application to 70 elements. *Journal of Molecular Modeling*, 13(12), 1173–1213.
- [15] Stewart, J. J. P. 2008. Application of the PM6 method to modeling the solid state. *Journal of Molecular Modeling*, 14(6), 499–535.
- [16] Morris, G.M., Huey R., Lindstrom W., Sanner M.F., Belew R.K., Goodsell D.S., Olson A.J. (2009). AutoDock4 and AutoDockTools4: Automated docking with selective receptor flexibility. *Journal of Computational Chemistry*, 30(16), 2785-2791.
- [17] Trott, O., Olson, A. (2010). AutoDock Vina: improving the speed and accuracy of docking with a new scoring function, efficient optimization and multithreading. *Journal of Computational Chemistry*, 31(2), 455–461.
- [18] BIOVIA, Dassult Systèmes, [Discovery Studio Client], [Software], San Diego: Dassault Systèmes, [2021].
- [19] Daina, A., Michelin, O. & Zoete, V. (2017). SwissADME: a free web tool to evaluate pharmacokinetics, drug-likeness and medicinal chemistry friendliness of small molecules. *Sci Rep* 7, 42717.

Eş Zamanlı İnsülin ve Glukagon Konsantrasyon Artışının Karaciğer Glikoz Üretimine Etkisinin Matematik Model Kullanarak Analizi*

Perihan Hatice AYDIN¹, Fatih KARAASLAN²

^{1,2}İstanbul Sağlık Bilimleri Üniversitesi, Hamidiye Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Medikal Modelleme ve Simülasyon Anabilim Dalı, 34668, İstanbul, Türkiye

(Alınış / Received: 17.06.2024, Kabul / Accepted: 09.08.2024, Online Yayınlanma / Published Online: 23.08.2024)

Anahtar Kelimeler

Glikoz,
İnsülin,
Glukagon,
Matematik model

Özet: Sağlıklı bireylerde, kan glikoz değeri dar bir aralıkta korunur. İnsülin hormonu, kan glikoz konsantrasyonu artışı ile birlikte salgılanır. Dokularda glikoz kullanımını artırıp karaciğerde glikoz üretimini azaltarak, glikoz konsantrasyonunun normal seviyelere düşmesini sağlar. Glukagon ise, glikoz konsantrasyonu düştüğünde salgılanır ve karaciğerden glikozun serbest bırakılmasını artırarak, glikoz konsantrasyonunun artmasına etki eder. İnsülin ve glukagon hormonlarının, karaciğerde glikoz üretimi üzerine olan bu zıt etkileri bilinmesine rağmen, eş zamanlı insülin ve glukagon artışının karaciğerde glikoz üretimine etkisi hakkında yapılmış az sayıda in vivo çalışma vardır. İnsülin ve glukagonun, eş zamanlı artışında, karaciğerden glikoz çıkışını test etmek için bir matematik model geliştirilmiştir. Glikoz, insülin ve glukagon dinamiklerini içeren bu model, glikoz tolerans testi, insülin infüzyonu, insülin ve glikoz infüzyonu, glukagon infüzyonu çalışmalarına benzer sonuçlar verdiği gözlenmiştir. Daha sonra, modelde, eş zamanlı olarak, insülin ve glukagon infüzyonu ile, kan insülin ve glukagon konsantrasyonları yaklaşık 4 katına çıkarıldığında, karaciğerden glikoz çıkışının azaldığı gözlenmiştir. Bu sonuç, insülin hormonunun karaciğer glikoz üretimini inhibe edici özelliğinin, glukagonun glikoz üretimini uyarıcı etkisinden daha güçlü olduğu hipotezini desteklemektedir.

Analysis of the Effect of Simultaneous Increase in Insulin and Glucagon Concentrations on Hepatic Glucose Production Using a Mathematical Model

Keywords

Glucose,
Insulin,
Glucagon,
Mathematical model

Abstract: In healthy individuals, blood glucose levels are maintained within a narrow range. The hormone insulin is released in response to an increase in blood glucose concentration. By enhancing glucose uptake in tissues and reducing glucose production in the liver, it helps lower glucose concentration to normal levels. Conversely, glucagon is secreted when glucose concentration decreases and stimulates the release of glucose from the liver, thereby increasing glucose concentration. Despite the known opposing effects of insulin and glucagon on hepatic glucose production, there have been few in vivo studies investigating the simultaneous effects of increased insulin and glucagon levels on hepatic glucose production. A mathematical model was developed to test the hepatic glucose output during simultaneous insulin and glucagon elevation. This model, incorporating glucose, insulin, and glucagon dynamics, has been observed to produce results similar to those obtained in glucose tolerance tests, insulin infusion studies, insulin and glucose infusion studies, and glucagon infusion studies. Subsequently, when insulin and glucagon infusion were simultaneously increased, resulting in approximately fourfold elevation of blood insulin and glucagon concentrations, a decrease in hepatic glucose output was observed. This finding supports the hypothesis that the inhibitory effect of insulin on hepatic glucose production is stronger than the stimulatory effect of glucagon on glucose production.

*Bu çalışma, Perihan Hatice Aydın'ın 'Glikoz, insülin ve glukagon etkileşimi matematik modeli' başlıklı yüksek lisans tezinden üretilmiştir.

1. Giriş

Sağlıklı bir insanda, kan glikoz konsantrasyonu dar bir aralıkta (70-110 mg/dL) kontrol edilir. Kan glikoz konsantrasyonunun bu dar aralıkta tutulması, vücudun sağlıklı bir şekilde çalışması için önemlidir. İnsülin ve glukagon normal kan glikoz konsantrasyonunu korumak için önemli geri bildirim kontrol sistemleri olarak işlev görürler. Glikoz konsantrasyonu yükseldiğinde, artan insülin salınımı, kan glikoz konsantrasyonunu normal seviyelere doğru azaltmaktadır [1-7]. Düşük kan glikozu durumunda ise, glukagon, karaciğerdeki glikoz depolarını parçalayarak (glikojenoliz), kan glikoz seviyesini artırır. Beyin, retina ve gonadların germinal epiteli optimal enerji ihtiyaçlarını karşılamak için yeterli miktarda kullanabilecekleri tek besin glikozdur. Bu nedenle, kan glikoz konsantrasyonunun sabit seviyede tutulması gerekir. Karaciğer, önemli kan glikoz kontrol mekanizması olarak işlev görmektedir. Yemekten sonra kan glikoz konsantrasyon seviyesi yükseldiğinde ve insülin salınım hızı arttığında, bağırsaktan emilen glikozun yaklaşık üçte ikisi glikojen formunda karaciğerde depolanmaktadır. Kan glikoz konsantrasyonu ve insülin salınım hızı düştüğünde, karaciğer daha sonraki saatlerde glikozu tekrar kana salarak serbest bırakır. Böylece, karaciğer kan glikozu seviyesindeki dalgalanmaları azaltır. Ancak, ciddi karaciğer hastalıklarında kan glikoz konsantrasyonunu dar bir aralıkta tutmak neredeyse imkansız hale gelmektedir [2].

Normal koşullar altında, insülin ve glukagon, normoglisemiyi (kan glikoz konsantrasyonunun normal seviyesi) sağlamak için zıt yönde etki eden düzenleyici hormonlardır. İnsülinin karaciğerde glikoz üretimini azaltıcı etkisi olmasına karşılık glukagonun ise karaciğerde glikoz üretimini artırıcı etkisi olduğu çeşitli in vivo ve in vitro çalışmalarda gösterilmiştir. Fakat, insülin ve glukagonun eş zamanlı artışının karaciğer glikoz üretimi üzerine etkisini inceleyen çalışmalar nispeten azdır [8]. Bu çalışmamızda, insülin ve glukagonun eş zamanlı ve eş katlı konsantrasyon artışının karaciğer glikoz üretimi üzerine etkisini matematik model kullanarak analiz etmek amaçlanmıştır.

2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada, Stolwijk ve Hardy'nin matematik modelindeki glikoz ve insülin dinamiklerine, glukagon mekanizmaları entegre edilmiştir. Bu şekilde geliştirilen yeni model matlab/simulink'te kurulmuştur [9,10]. Stolwijk ve Hardy'nin modelinde, karaciğerden kana glikoz çıkışı normal değerinde sabit olarak kabul edilmiştir. Fakat karaciğerden kana

glikoz geçişi, kan glikoz konsantrasyonu, insülin ve glukagon konsantrasyonlarına bağlı olarak değişmektedir. Glikoz konsantrasyonu arttığı zaman, karaciğer glikoz çıkışı azalmakta, kan glukagon konsantrasyonu arttığı zaman ise karaciğer glikoz çıkışı artış gösterir. İnsülin hormonu ise karaciğerden kana glikoz geçişini inhibe etmektedir. Ayrıca, kan glikoz seviyesi azaldığında, glukagon sekresyonu artarak, karaciğerden glikoz çıkışını artırarak, kan glikoz regülasyonunda önemli fonksiyon görmektedir. Bu sebeplerle, fizyolojiye daha yakın bir model geliştirmek amacıyla, Stolwijk ve Hardy'nin modelinde, karaciğerden glikoz çıkışı üzerine insülin, glukagon ve kan glikoz konsantrasyonlarının etkileri ve glikoz konsantrasyonu azaldığında aktive olan glukagon mekanizmaları eklenmiştir. Böylece geliştirilen yeni matematik modelin bilgisi 2.1. kısmında verilmektedir.

Tablo 1. Model Parametrelerinin Sembol, Tanım ve Normal Değerleri

Sembol	Tanım	Normal Değerler
Ga	Karaciğerden kana glikoz çıkışı normal değeri	8400 (mg/saat)
Gk	Glikoz Konsantrasyonu	0.81(mg/ml)
T	İnsülinin bağımsız doku glikoz kullanımı sabit katsayısı	2470 (ml/saat)
W	İnsüline bağımlı doku glikoz kullanımı sabit katsayısı	139000(mg glikoz/saat)(1/(mUinsülin/ml))(1/(mg glikoz/ml))
ik	Plazma insülin konsantrasyonu	0.055 (mU/ml)
İs	İnsülin sekresyonu	418 (mU/saat)
Nİs	Normal insülin sekresyonu	418 (mU/saat)
İy	İnsülin yıkımı	418 (mU/saat)
Q	İdrar glikoz kaybı katsayısı	7200 (ml/saat)
M	Kan glikoz konsantrasyonu	2.5 (mg/ml)

	-tübüler reabsorbsiyon eşik değeri	
ESSH	Ekstraselüler sıvı hacmi	15000 ml
L	İnsülin klerens	7600 (ml/saat)
Z	İnsülin salgılama katsayısı	1430(mU/ml)(mg/saat)
K	İnsülin salgılanmasının durduğu eşik glikoz konsantrasyonu	0.51 (mg/ml)
<i>Glk</i>	Glukagon konsantrasyonu	58 (pg/ml)
Gs	Glukagon sekresyonu	2436000(pg/saat)
Gns	Normal glukagon sekresyonu	2436000 (pg/saat)
Gc	Glukagon klerens	42000 (ml/saat)
Gy	Glukagon yıkımı	2436000 (pg/saat)
A	İnsülin konsantrasyonu n karaciğerde glikoza etkisi(N)	1
B	Glikoz konsantrasyonu n karaciğerde glikoza etkisi(N)	1
C	Glukagon konsantrasyonu n karaciğerde glikoza etkisi(N)	1
D	İnsülin konsantrasyonu n glukagon sekresyonuna etkisi(N)	1
J	Glikoz Konsantrasyonu	1

	n glukagon sekresyonuna etkisi (N)	
E	Glukagon konsantrasyonu n insülin sekresyonuna etkisi(N)	1
Ginf	Glikoz infüzyon	0
Glinf	Glukagon infüzyonu	0
İinf	İnsülin infüzyonu	0
tkgç	Toplam karaciğerden glikoz çıkışı	8400 (mg/saat)
ibgk	İnsülin bağımsız glikoz kullanımı	2000,7 (mg/saat)
igk	İnsüline bağımlı glikoz kullanımı	6192,45 (mg/saat)
igç	İdrarda glikoz çıkışı	0
tgk	Toplam glikoz kullanımı	8193,15 (mg/saat)

2.1. Geliştirilen matematik model

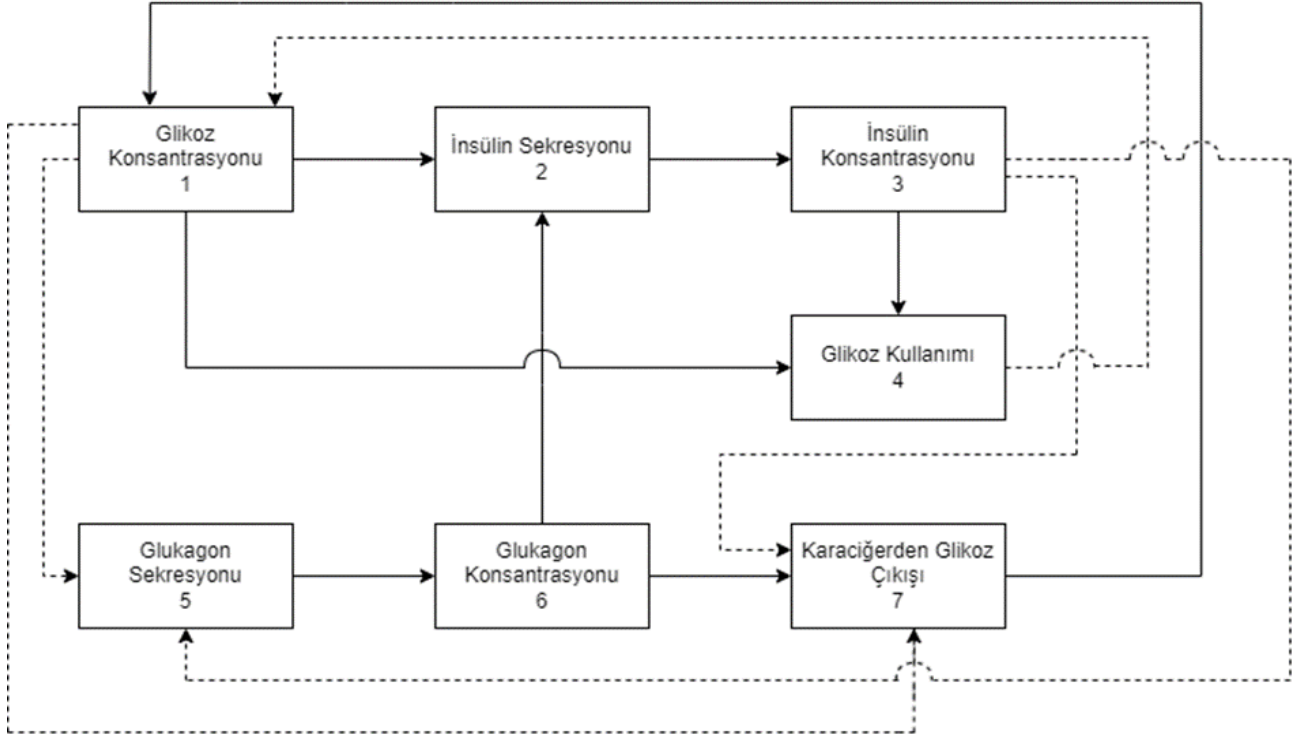
Glikoz-insülin-glukagon etkileşimi içeren model, 7 adet blok ile aşağıda açıklanmaktadır. Modelin blok diyagramı Şekil 1'de, Matlab-Simulink diyagramı ise ekte yer alan Şekil 2' de dir. Modelin, değişken ve parametreleri hakkında bilgiler Tablo 1'de yer almaktadır. Model denklemleri, 0.01 saat adım genişliğiyle Runge-Kutta 4 sayısal yöntemi kullanılarak 2021b Matlab/Simulink 'te çözülmüştür (Şekil 2).

Blok 1: Glikoz Konsantrasyonu

Modelde, *tkgç*, karaciğerden glikoz çıkışı, *tgk*, toplam glikoz kullanımı, *ESSH*, ekstraselüler sıvı hacmi ve *Ginf* glikoz infüzyonu olmak üzere, glikoz konsantrasyonu (*Gk*) denklem 1'de hesaplanmaktadır. Simülasyonların birkaç saatten fazla olmaması, kanama veya kan hacmini artırıcı uygulamalar yapılmaması sebebiyle, ekstraselüler (hücre dışı) sıvı hacminin normal değerinde sabit kaldığı kabul edilmiştir.

$$\frac{dGk}{dt} = \frac{tkg\check{c} + Ginf - tgk}{ESSH} \quad (1)$$

Kan glikoz konsantrasyonu eşik değerin üzerinde ise, insülin salınımı ($\dot{I}s$), normal insülin sekresyonu (Nis), kan glikoz konsantrasyonunun normalize insülin



Şekil 1. Blok Diyagram. Düz ok aynı yönde etkiyi, noktalı ok ise zıt yönde etkiyi temsil etmektedir

Blok 2: İnsülin Sekresyonu

İnsülin sekresyonunda en önemli faktör plazma glikoz konsantrasyonudur [11]. Kan glikoz konsantrasyonu artışı, pankreastan insülin salınımını artırırken, glikoz konsantrasyonu azalışı, insülin sekresyonunu azaltır [12-15]. İnsülin salınımında etkili faktörlerden birisi de glukagon hormonudur. Plazma glukagon artışı, insülin sekresyonunu uyarırken, glukagon konsantrasyonu azalışı, insülin salınımı üzerine inhibe edici etkisi bulunmaktadır [15-20]. Geliştirdiğimiz modelde, insülin sekresyonunun, kan glikoz konsantrasyonu ve glukagon konsantrasyonuna bağlı olarak değiştiği kabul edilmiştir.

Stolwijk ve Hardy'nin modeline [9,10] benzer şekilde; Gk , kan glikoz konsantrasyonu; K , insülin salınımının durduğu kan glikoz eşik değeri; Nis , normal insülin sekresyonu ve Z , İnsülin salgılama katsayısı olmak üzere, kan glikoz konsantrasyonunun insülin sekresyonu üzerine olan normalize etkisi (F) -denklem 2 'te hesaplanmaktadır.

Glukagonun, insülin sekresyonu üzerine etkisi, Schade ve arkadaşlarının yaptığı deneysel çalışma [21] sonuçlarından elde edilen veriler kullanılarak, eğri uydurma yöntemi ile denklem 3 elde edilmiştir. E , glukagonun (Gk) normalize insülin sekresyonu üzerine olan etkisini göstermektedir.

sekresyonu üzerine etkisi (F) ve glukagonun normalize insülin sekresyonu üzerine etkilerinin (E) çarpımı olarak modellenmiştir (denklem 4). Kan glikoz konsantrasyonu eşik değerin altında ise, Hardy'nin modeline- Stolwijk ve Hardy [9,10] benzer şekilde, insülin sekresyonunun durduğu kabul edilmiştir (denklem 5).

$$F = \frac{(Z \times (Gk - K))}{Nis} \quad (2)$$

$$E = 0.9808 + \frac{0.05831}{0.3245 + e^{\frac{1.901 - Gk \times 0.1643}{11}}} \quad (3)$$

$$\dot{I}s = Nis \times F \times E \quad Gk > K \quad (4)$$

$$\dot{I}s = 0 \quad Gk \leq K \quad (5)$$

Blok 3: İnsülin Konsantrasyonu

$\dot{I}s$, insülin sekresyonu, $\dot{I}y$, insülin yıkımı, $\dot{I}inf$, insülin infüzyonu ve $ESSH$, ekstraselüler sıvı hacmi olmak üzere, insülin konsantrasyonu ($\dot{I}k$) denklem 6'da hesaplanmaktadır.

$$\frac{d\dot{I}k}{dt} = \frac{\dot{I}s + \dot{I}inf - \dot{I}y}{ESSH} \quad (6)$$

$$\dot{I}y = L \times \dot{I}k \quad (7)$$

İnsülin yıkımı (İy), insülin klerensi (L) ve insülin konsantrasyonunun (İk) çarpımı olarak modellenmiştir [9,10].

Blok 4: Glikoz Kullanımı

Modelde, toplam glikoz kullanımı (tgk), Stolwijk ve Hardy'nin modeline benzer şekilde, insüline bağımlı glikoz kullanımı (igk), insülin bağımsız glikoz kullanımı (ibgk) ve idrarla glikoz kaybının (igç) toplamı olarak hesaplanmaktadır-[9,10].

$$tgk = igk + ibgk + igç \quad (8)$$

Glikoz, çoğu dokuda insülin bağımsız olarak kolaylaştırılmış difüzyon yoluyla geçiş yapmak ister. Dokuların insülin bağımsız glikoz alma hızı (ibgk), glikoz kullanım oranı (T) ile kan glikoz konsantrasyonunun çarpımına eşittir [9,10].

$$ibgk = T \times Gk \quad (9)$$

Kas ve yağ dokusu gibi bazı hücrelerde, glikozun dokulara girişi insüline bağımlıdır. Hücrelerin glikoz alma hızı (igk), plazmadaki insülin konsantrasyonu (İk) glikoz konsantrasyonu (Gk) ve insüline bağımlı doku glikoz kullanım katsayısı (W) ile orantılıdır [9,10].

$$igk = (W \times Gk \times İk) \quad (10)$$

Glikoz konsantrasyonu (Gk) belirli bir eşik değerin (M) altında kaldığında, kandaki glikoz idrara geçmez. Ancak glikoz konsantrasyonu bu eşik değeri aştığında, böbrek tübuler glikoz reabsorbsiyonu yetersiz kalır[22-25] böylece glikoz böbrekler tarafından glikoz konsantrasyonu (Gk) ve eşik plazma glikoz konsantrasyonu (M) arasındaki fark (Gk-M) ile orantılı (Q) şekilde idrara atılır (igç) [9,10].

$$igç = 0 \quad Gk < M \quad (11)$$

$$igç = Q \times (Gk - M) \quad Gk > M \quad (12)$$

Blok 5: Glukagon Sekresyonu

Glukagon sekresyonuna, kan glikoz konsantrasyonu yanında insülin konsantrasyonu ve sinir sistemi doğrudan etki etmektedir [26]. Kan glikoz konsantrasyonunda azalma, glukagon salınımını uyarak, karaciğerden glikoz çıkışını artırmakta, böylece kan glikoz seviyesini normal seviyeye çıkarmaya yardımcı olmaktadır [27,28]. İnsülinin ise glukagon sekresyonu üzerine inhibe edici etkisi vardır. İnsülin konsantrasyonunda artış, doğrudan etki ile glukagon sekresyonunu azaltmaktadır[29]. Modelde, glukagon sekresyonunun, kan glikoz konsantrasyonu ve insülin konsantrasyonuna bağlı olarak değiştiği kabul edilmiştir.

Dale ve arkadaşları tarafından yapılan deneysel çalışma sonuçlarından elde edilen verilerin , eğri uydurma yöntemi ile kullanılması sonucunda, insülin konsantrasyonuna bağlı olarak, normalize glukagon sekresyonunun nasıl değiştiği (D) bulunmuştur (denklem 14)[30]. Aynı şekilde, Jhon ve arkadaşlarının deneysel çalışma sonuçlarından elde edilen veriler ile, kan glikoz konsantrasyonunun, normalize glukagon salınımı üzerine etkisi tespit edilmiştir (J) (denklem 15) [1]. Böylece, glukagon sekresyonu (Gs), normal glukagon sekresyonu (Gns) ile insülinin ve glikoz konsantrasyonlarının, normalize glukagon sekresyonuna etkilerinin çarpımı olarak modellenmiştir (denklem 13).

$$Gs = D \times J \times Gns \quad (13)$$

$$D = 1 - \frac{0.002572}{0.02655 + e^{2.709 - \frac{Ik \times (-8.655)}{-0.2578}}} \quad (14)$$

$$J = 0.8561 + \frac{0.03961}{0.01 + e^{\frac{Gk-1}{0.1244}}} \quad (15)$$

Blok 6: Glukagon Konsantrasyonu

Glukagon konsantrasyonu (Glk), Gs, glukagon sekresyonu, Gy, glukagon yıkımı, Glinf, glukagon infüzyonu ve ESSH, ekstraselüler sıvı hacmi olmak üzere, denklem 16'da modellenmiştir.

$$\frac{dGlk}{dt} = \frac{Gs + Glinf - Gy}{ESSH} \quad (16)$$

Blok 7: Karaciğerden Glikoz Çıkışı

İnsülin, doğrudan etki ile, karaciğerde depolanmış glikozun yıkımını inhibe etmekte, böylece karaciğerden glikoz çıkışı azalmaktadır. Diğer yanda ise, glukagon, karaciğerde depolanmış glikozun (glikojen) yıkımını artırarak (glikojenoliz), karaciğerden glikoz çıkışını artırır. Artan kan glikoz seviyesi ise, karaciğerden glikoz çıkışını azaltmaktadır.

Modelde, karaciğerden toplam glikoz çıkışı (tkgç), insülin, glukagon ve glikoz konsantrasyonunun, karaciğerden normal glikoz çıkışına (Ga) etkilerinin çarpımı ile hesaplanmaktadır (denklem 17). İnsülin konsantrasyonunun karaciğer glikoz çıkışına etkisi (A), Dale ve arkadaşlarının deneysel çalışmalarından [30] eğri uydurma ile elde edilmiştir (denklem 18). Glukagon ve glikozun karaciğer glikoz çıkışına etkileri ise Shulman [31] ve Cherrington [32] çalışmalarından alınmıştır (denklem 19 ve 20).

$$tkgç = (A \times B \times C \times Ga) \quad (17)$$

$$A = 2.2 - \frac{155}{88.98 + e^{6.5 - \frac{Ik \times 396.9}{8}}} \quad (18)$$

$$B = 1.6 - \frac{0.6841}{0.7251 + e^{4.568 - \frac{Gk \times 10.08}{1.505}}} \quad (19)$$

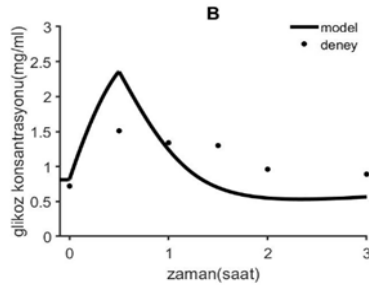
$$C = 0.7793 + \frac{1.402}{1.197 + e^{2.4 - \frac{Gk \times 0.02621}{2}}} \quad (20)$$

3. Bulgular

Model sonuçları, gerçek veriler ile aşağıda 7 başlık altında karşılaştırılmış ve analiz edilmiştir.

3.1. Modelin glikoz tolerans testi ile karşılaştırılması

Michael ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada, sağlıklı bireylerde gerçekleştirilen glikoz infüzyonu deneyinde, ortalama 30 dakika boyunca 64400 mg/saat hızında glikoz infüzyonu yapılmış ve kan glikoz konsantrasyonları üç saat boyunca ölçülmüştür [33]. Bu çalışma ile benzer şekilde, modelde, aynı miktar ve hızda glikoz infüzyonu yapılarak (Şekil 3A), glikoz konsantrasyonu çıkışı elde edilmiştir (Şekil 3B). Şekil 3B'ye bakıldığında, modelin glikoz infüzyonuna verdiği yanıtın gerçek verilere oldukça yakın olduğu görülmektedir.

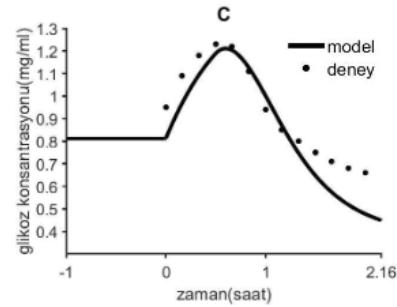
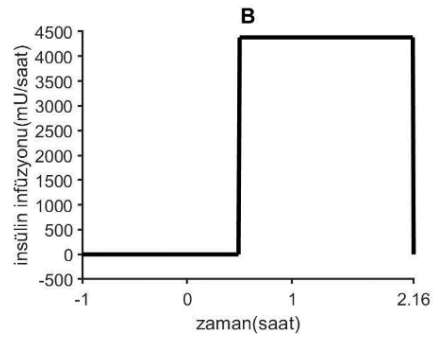
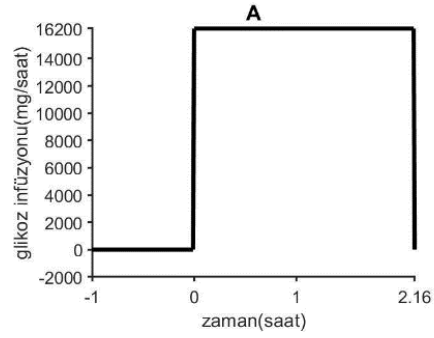


Şekil 3. (A) Glikozun, 30 dk süresince ve 64400 mg/saat hızında infüzyonu (B) Glikoz infüzyonunun glikoz konsantrasyonuna etkisi.

3.2. Modelin insülin ve glikoz infüzyonu ile test edilmesi

Elrick ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada sağlıklı bireylerde gerçekleştirilen glikoz ve insülin infüzyonu deneyinde, 1 saat süresince 16200 mg/saat hızında glikoz infüzyonu yapılırken, glikoz infüzyonunun başlangıcından 30 dakika sonra 30 dakika boyunca 4380 mU/saat hızında insülin infüzyonu yapılmıştır [34]. Kan glikoz konsantrasyonları 2.16 saat boyunca ölçülmüştür. Bu çalışmaya benzer şekilde, aynı miktar ve hızlarda glikoz infüzyonu (Şekil 4A) ve insülin infüzyonu (Şekil 4B) modelde yapılarak plazma glikoz konsantrasyonu çıkışı elde edilmiştir. Modelin glikoz konsantrasyon yanıtı, gerçek kan glikoz konsantrasyonlarıyla karşılaştırıldığında, modelin gerçeğe yakın sonuçlar verdiği gözlenmektedir (Şekil 4C). Bu bulgu, geliştirilen modelin glikoz ve insülin

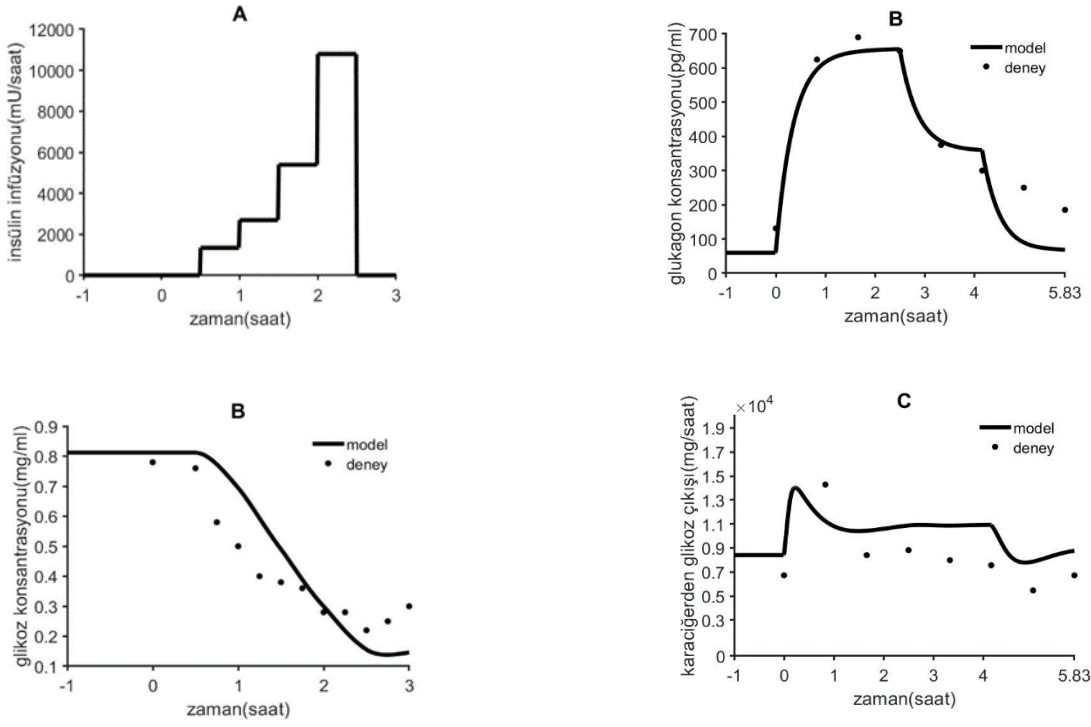
infüzyonlarının etkilerini gerçeğe yakın olarak simüle ettiğini göstermektedir.



Şekil 4. (A) Glikozun 16200 mg/saat 2.16 saat süresince infüzyonu (B) İnsülin 4380 mU/saat hızında infüzyonu (C) İnsülin ve glikoz infüzyonunun glikoz konsantrasyonuna etkisi.

3.3. Modelin insülin infüzyonu ile test edilmesi

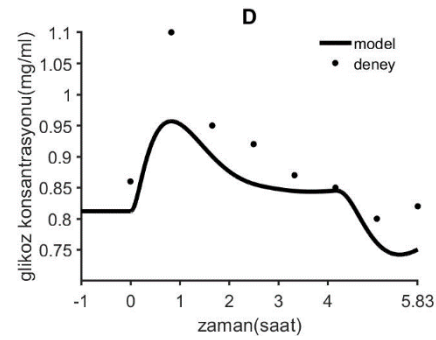
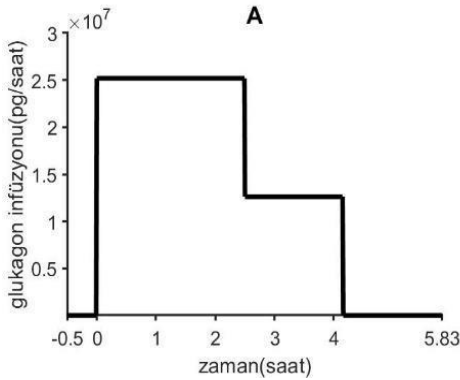
Sönksen ve arkadaşlarının, sağlıklı kişiler üzerinde yaptığı çalışmada, insülin infüzyonu, yarım saat boyunca artan dozlarda uygulanmıştır [35]. Bu infüzyon dozları sırasıyla 1344 mU/saat, 2694 mU/saat, 5394 mU/saat ve 10794 mU/saat olarak belirlenmiştir. Simülasyon süresi, deneysel çalışma gibi 3 saattir. Bu deneysel çalışma ile benzer şekilde, aynı miktar ve hızlarda insülin infüzyonu (Şekil 5A) modele yapılmış ve plazma glikoz konsantrasyonu çıkışı elde edilmiştir. Modelin gerçek kan glikoz konsantrasyonlarıyla karşılaştırılması sonucunda, modelin gerçeğe yakın sonuçlar verdiği gözlenmektedir (Şekil 5B).



Şekil 5. (A) Modelde insülin infüzyonu. 1344 mU/saat, 2694 mU/saat, 5394 mU/saat ve 10794 mU/saat hızında insülin infüzyonu (B) İnsülin infüzyonunun, glikoz konsantrasyonuna etkisi.

3.4. Modelin glukagon infüzyonu ile test edilmesi

Judith ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada sağlıklı bireylerde, 2.5 saat boyunca 25.200.000 pg/saat hızında glukagon infüzyonu uygulanmış ve daha sonra doz yarıya düşürülerek 1.66 saat süresince 12.600.000 pg/saat hızında infüzyon devam etmiştir [36]. Aynı doz ve sürede, glukagon infüzyonu modele yapılmış (Şekil 6A) ve modelin glukagon konsantrasyonu (Şekil 6B), karaciğerden glikoz çıkışı (Şekil 6C) ve plazma glikoz konsantrasyonu çıkışları elde edilmiştir (Şekil 6D). Modelin deneysel verilerle karşılaştırılması sonucunda, modelin gerçeğe yakın sonuçlar verdiği gözlenmektedir.

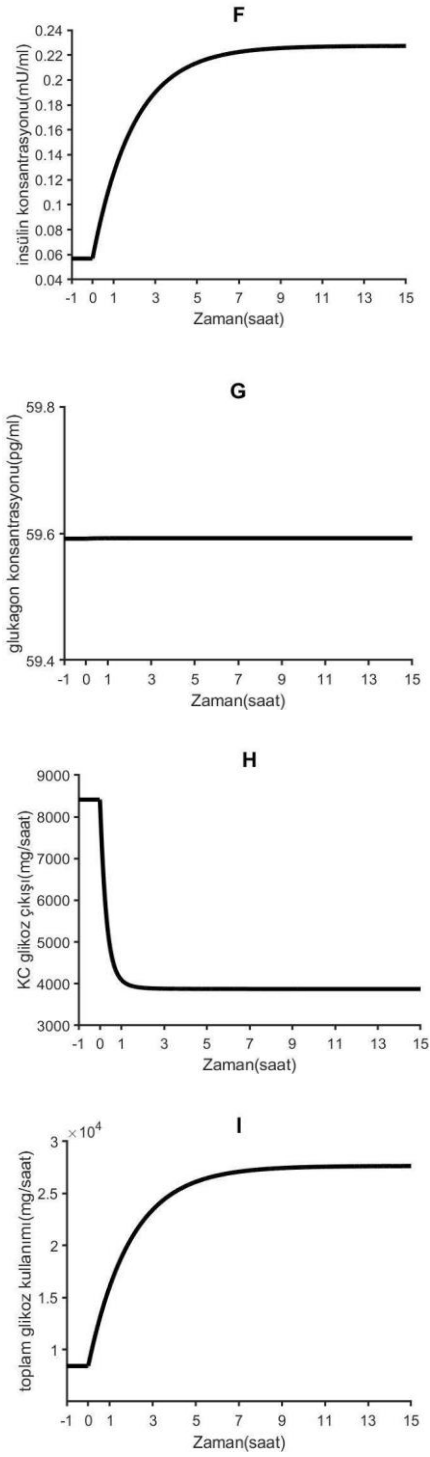
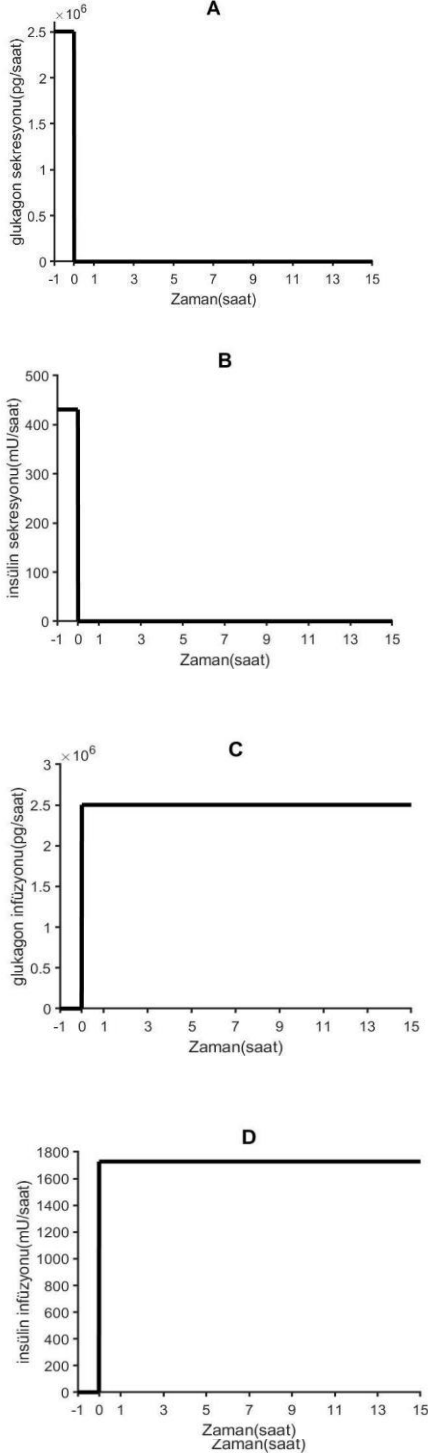


Şekil 6. (A) Glukagon infüzyonu 25.200.000 pg/saat hızında ve daha sonra doz yarıya düşürülerek 1.66 saat süresince 12.600.000 pg/saat hızında infüzyon (B) Glukagon infüzyonunun glukagon konsantrasyonuna etkisi (C) Glukagon infüzyonunun karaciğerde glikoz çıkışına etkisi (D) Glukagon konsantrasyonunun glikoz konsantrasyonuna etkisi

3.5. Glukagon infüzyon hızı sabit tutulurken, insülin infüzyon hızı dört kat artırılması

Kurt ve arkadaşlarının yaptığı deneysel çalışmada, insülin ve glukagon sekresyonunu durdurmak için somatostatin enjeksiyonu yapılmıştır [8]. Daha sonra glukagon normal sekresyon değerinde, sabit hızda verilmiştir. İnsülin ise, normal sekresyonunun 4 katı kadar, 3 saat süresince enjekte edilmiştir. Deney boyunca, kan glikoz konsantrasyonu, glikoz enjeksiyonu ile sabit tutulmuştur. Bu çalışmanın sonucunda, karaciğerden kana glikoz çıkışı azalmış ve glikoz kullanımı artmıştır. Deneysel çalışmaya benzer şekilde, modelde glukagon sekresyonu (Şekil 7A) ve insülin sekresyonu (Şekil 7B) infüzyon öncesi sıfıra indirilmiştir. Glukagon infüzyonu normal sekresyon değeri olan 2436000 pg/saat hızında uygulanmıştır. (Şekil 7C) İnsülin infüzyonu normal değeri olan 438 mU/saat hızından, 4 katı olan 1752 mU/saat hızına

çıkarılmıştır (Şekil 7D). Simülasyon süresince glikoz konsantrasyonu sabit tutulmuştur (Şekil 7E). İnsülin konsantrasyonu, infüzyon hızına paralel olarak, normal değerinin 4 katına yani 0.055 mU/ml'den 0.22 mU/ml artmıştır (şekil 7F). Glukagon konsantrasyonu ise, normal glukagon infüzyonu yapılması sebebiyle, simülasyon süresince normal konsantrasyon değeri olan 58 pg/ml de sabit kalmıştır. (Şekil 7G). İnsülin infüzyonu ile karaciğerden glikoz çıkışı 8400 mg/saat hızından yaklaşık 4000 mg/saat hızına düşmüştür (Şekil 7H). Toplam glikoz kullanımı yaklaşık 3 kat artmıştır (Şekil 7I).

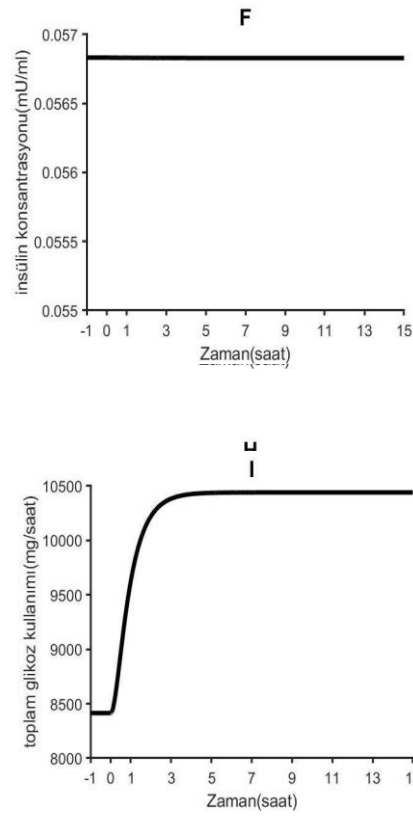
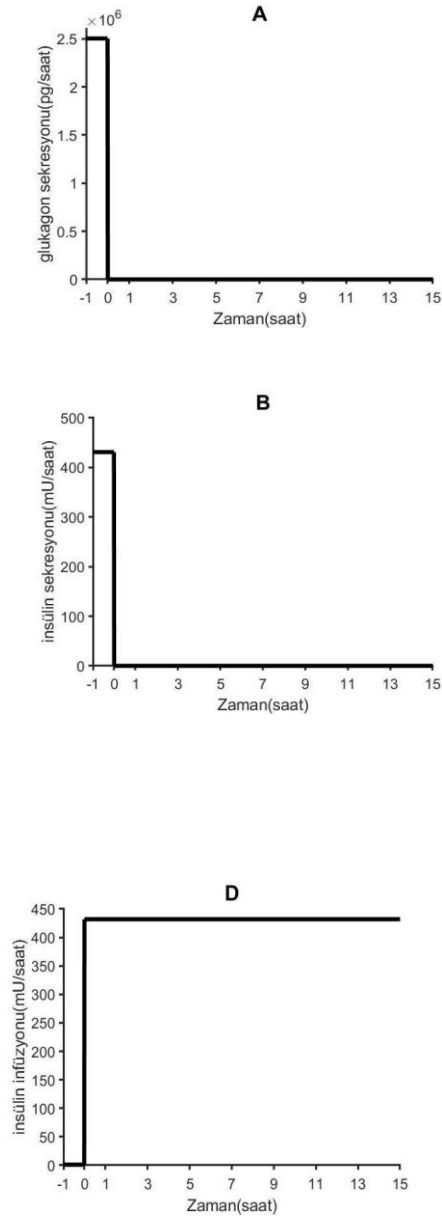


Şekil 7. İnsülin infüzyon hızının 4 katına çıkarılması ile (A)glukagon sekresyonu (B)insülin sekresyonu (C)glukagon infüzyonu (D)insülin infüzyonu (E)glikoz konsantrasyonu (F) insülin konsantrasyonu (G)glukagon konsantrasyonu (H)karaciğerden glikoz çıkışı (I)toplam glikoz kullanımı

3.6. İnsülin infüzyon hızı sabit tutulurken, glukagon infüzyon hızının dört kat artırılması

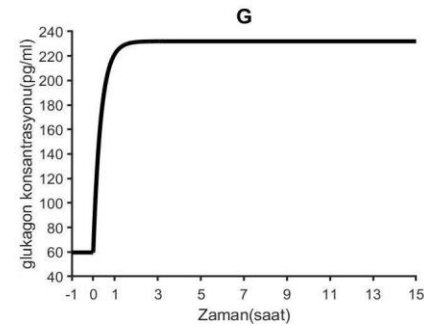
Kurt ve arkadaşlarının yaptığı deneysel çalışmada, insülin ve glukagon sekresyonunu durdurmak için somatostatin enjeksiyonu yapılmıştır [8]. Daha sonra insülin normal sekresyon değerinde, sabit hızda verilmiştir. Glukagon infüzyonu ise, normal glukagon

sekresyonunun 4 katı kadar 3 saat süresince yapılmıştır. Bu çalışmanın sonucunda, karaciğerden kana glikoz çıkışı, kan glikoz konsantrasyonu ve glikoz kullanımı artmıştır. Deneysel çalışmaya benzer şekilde, modelde, glukagon sekresyonu (Şekil 8A) ve insülin sekresyonu (Şekil 8B) infüzyon öncesi durdurulmuştur. İnsülin infüzyonu, normal sekresyon hızı olan 438 mU/saat uygulanmıştır. (Şekil 8D) Glukagon infüzyonu ise, normal sekresyon hızı olan 2.436.000 pg/saat değerinden, 4 katı olan 9.744.000 pg/saat hızına çıkarılmıştır. (Şekil 8C) İnsülin ve glukagonun bu infüzyonlarına modelin verdiği yanıt, deneysel çalışmaya benzer şekilde Glukagon konsantrasyonu 58 pg/ml'den 232 pg/ml artmıştır (şekil 8G). İnsülin konsantrasyonu 0.055 mU/ml de sabit kalmıştır (Şekil 8F). Glikoz konsantrasyonu artışı gözlemlenmekte olup (Şekil 8E), karaciğerden glikoz çıkışı (Şekil 8H) ve toplam glikoz kullanımı (Şekil 8I) da artmıştır.



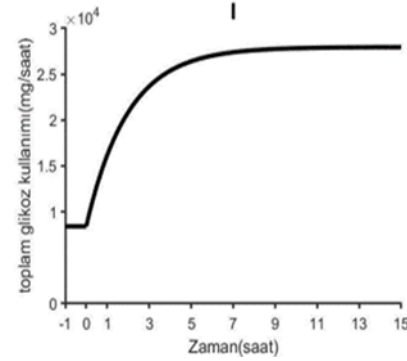
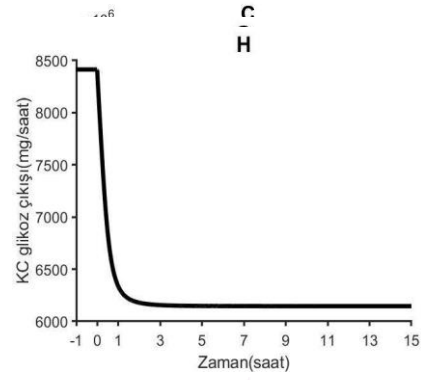
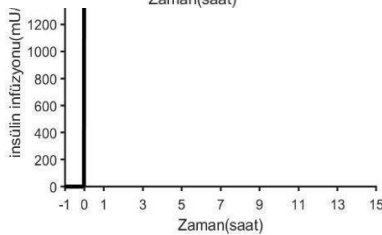
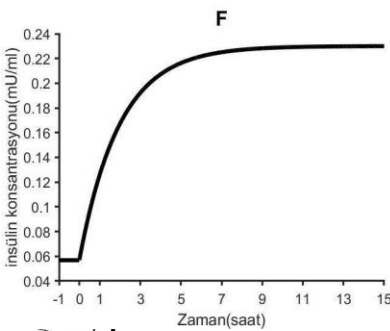
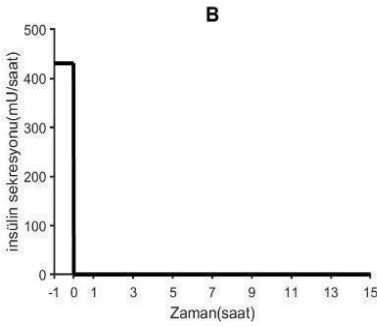
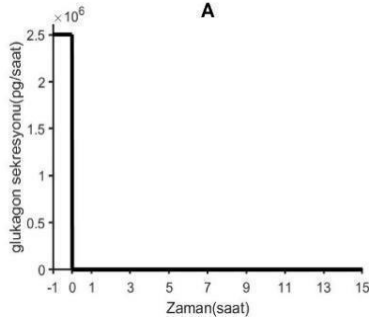
Şekil 8. Glukagon infüzyon hızının 4 katına çıkarılması ile (A)glukagon sekresyonu (B)insülin sekresyonu (C)glukagon infüzyonu (D)insülin infüzyonu (E)glikoz konsantrasyonu (F) insülin konsantrasyonu (G)glukagon konsantrasyonu (H)karaciğerden glikoz çıkışı (I)toplam glikoz kullanımı

3.7. İnsülin infüzyon hızı ve glukagon infüzyon hızının dört kat artırılması



Kurt ve arkadaşlarının yaptığı deneysel çalışmada, insülin ve glukagon sekresyonunu durdurmak için somatostatin enjeksiyonu yapılmıştır [8]. Daha sonra insülin ve glukagon sekresyonlarının 4 katı kadar enjeksiyon 3 saat süresince yapılmıştır. Deney boyunca, kan glikoz konsantrasyonu, glikoz enjeksiyonu ile sabit tutulmuştur. Bu çalışmanın sonucunda, karaciğerden kana glikoz çıkışının azaldığı ve glikoz kullanımı artmıştır. Deneysel çalışmaya benzer şekilde, modelde, glukagon sekresyonu (Şekil 9A) ve insülin sekresyonu (Şekil 9B) durdurulmuş ve glukagon (Şekil 9C) ve insülin (Şekil 9D). normal

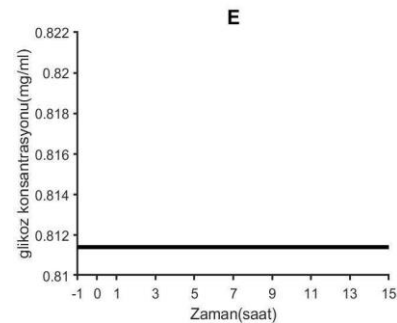
sekresyonlarının 4 katı enjekte edilmiştir. Kan glikoz konsantrasyonu, deneysel çalışmaya benzer şekilde, normal değerinde sabit tutulmuştur (Şekil 8E). İnsülin konsantrasyonu (Şekil 9F) ve glukagon konsantrasyonu (Şekil 9G), deneysel çalışmaya benzer şekilde yaklaşık olarak normal değerinin 4 katına çıkmıştır. Yine deneysel çalışmaya benzer olarak, modelde, karaciğerden glikoz çıkışı yaklaşık %60 kadar azalmıştır (Şekil 9H). Glikoz kullanımı ise yaklaşık %75 artmıştır. Toplam glikoz kullanımı %60 artmıştır (Şekil 9I).



Şekil 9. Glukagon infüzyonu ve insülin infüzyon hızının 4 katına çıkarılması ile (A) glukagon sekresyonu (B) insülin sekresyonu (C) glukagon infüzyonu (D) insülin infüzyonu (E) glikoz konsantrasyonu (F) insülin konsantrasyonu (G) glukagon konsantrasyonu (H) karaciğerden glikoz çıkışı (I) toplam glikoz kullanımı

4. Tartışma ve Sonuç

Sağlıklı bireylerde kan glikoz seviyesi dar bir aralıkta sabit kalır. İnsülin hormonu, kan glikoz konsantrasyonu arttığında salgılanarak dokularda glikoz kullanımını artırır ve karaciğerde glikoz üretimini azaltır. Glukagon ise, glikoz konsantrasyonu düştüğünde salgılanarak karaciğerden glikoz salınımını artırır. İnsülin ve glukagon hormonlarının karaciğer üzerindeki zıt etkileri bilinmekte olup, ancak eş zamanlı insülin ve glukagon artışının karaciğerde glikoz üretimine etkisini inceleyen in vivo çalışmalar sınırlıdır. Bu sebeple, insülin ve glukagonun, eş zamanlı artışında, karaciğerden glikoz çıkışını test etmek için tarafımızca bir matematik model geliştirilmiştir. Stolwijk ve Hardy, kan glikoz konsantrasyonu regülasyonu için bir matematik model geliştirmiştir [9,10]. Onların bu modelinde, karaciğerden kana glikoz çıkışı normal değerinde sabittir. Glikoz konsantrasyonu değişimine karşı, insülin salınımı değişmektedir. Glikoz konsantrasyonu



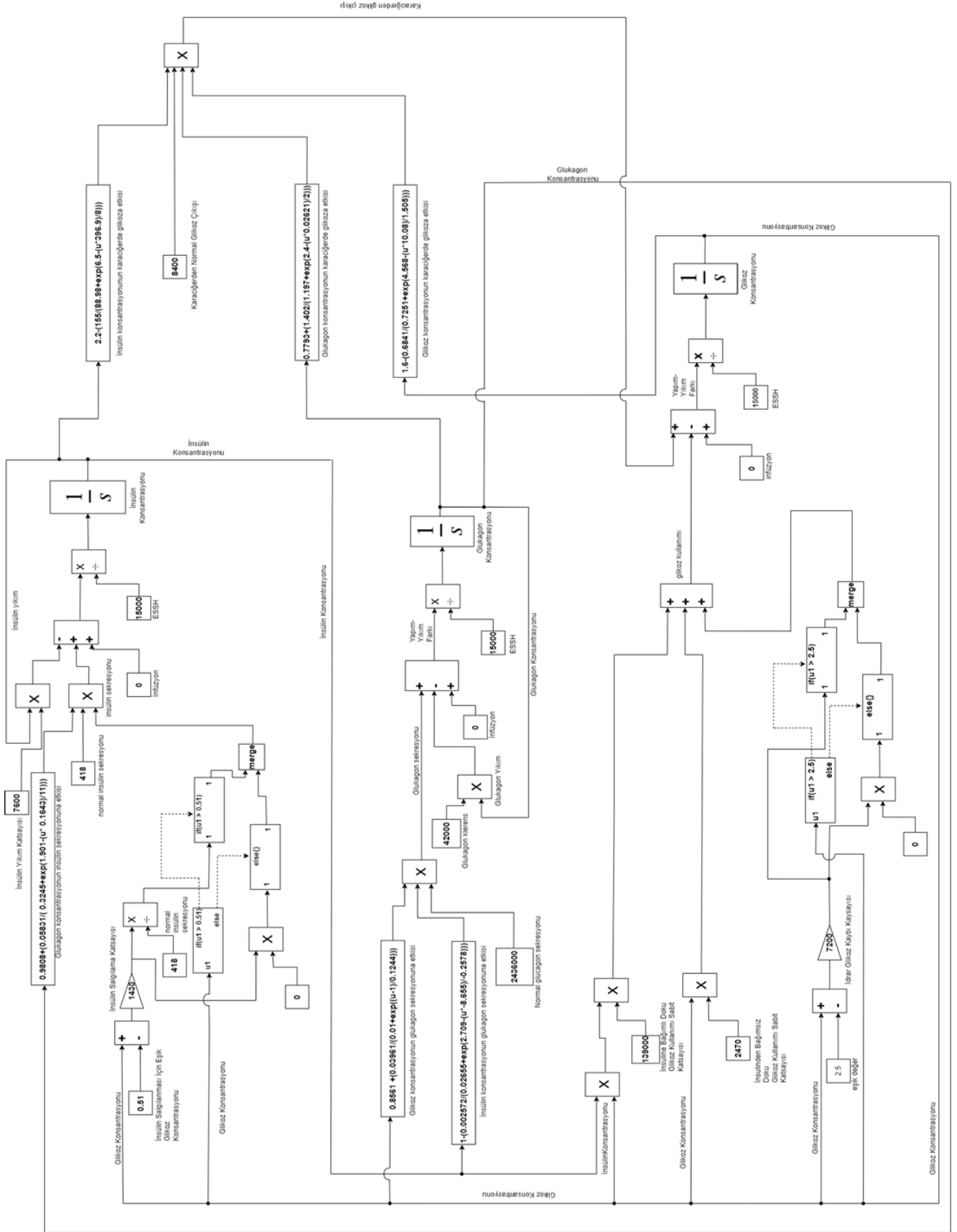
artışında, insülin salınımı artmakta, artan insülin salınımı ise dokularda glikoz kullanımını artırarak, kan glikoz konsantrasyonunun normale dönmesine yardımcı olmaktadır. Kan glikoz konsantrasyonu azalmasında ise tersi olaylar gelişmektedir. Fizyoloji bilgilerimize göre ise, karaciğerde glikoz üretimi, kan insülin konsantrasyonu yanında, glukagon ve glikoz konsantrasyonuna bağlı olarak değişmektedir [1,2]. Plazma insülin artışı, karaciğerde glikoz üretimini azaltırken, plazma glukagon artışı, karaciğerde glikoz üretimini artırmaktadır. Kan glikoz artışı ise, insüline benzer şekilde, karaciğerde glikoz üretimini azaltmaktadır [1,2]. Fizyolojiye daha yakın bir model geliştirmek için, Stolwijk ve Hardy'nin modelinde, karaciğerden glikoz çıkışına; insülin, glukagon ve glikoz konsantrasyonu etkileri eklenerek yeni bir matematik model elde edilmiştir. Geliştirdiğimiz bu model öncelikle sağlıklı insanlar üzerinde gerçekleştirilen çalışma sonuçları ile test edilmiştir. Model; glikoz tolerans testi, insülin infüzyonu, insülin ve glikoz infüzyonu, glukagon infüzyonu deneysel çalışmalarına yakın sonuçlar vermiştir. Daha sonra modelde, Kurt ve arkadaşlarının deneysel çalışmasına [8] benzer şekilde, insülin ve glukagon infüzyonu ile insülin ve glukagon konsantrasyonları, normal değerlerinin 4 katına çıkarılmıştır. Modelde, insülin ve glukagon konsantrasyonlarının eş zamanlı ve eşit oranlı artışında, karaciğerden glikoz çıkışının azaldığı gözlenmiştir. Bu sonuç, insülinin karaciğerde glikoz üretimini inhibe edici etkisinin, glukagonun karaciğerde glikoz üretimini artırıcı etkisinden daha büyük olduğu hipotezini desteklemektedir. Diyabet tedavisinde insülin infüzyonu, hipoglisemi riskini beraber getirmektedir. Bu sebeple, eş zamanlı olarak, insülin yanında glukagon uygulamasının (dual tedavi) hipoglisemi riskini azaltabileceğine dair çalışmalar bulunmaktadır [37]. Model, diyabet hastalığını simüle edecek şekilde geliştirildikten sonra, dual tedavinin etkilerini analiz etmek için kullanılabilir.

Kaynakça

- [1] Hall, J.E. 2011. Guyton and Hall Textbook of Medical Physiology, 12th ed., Elsevier, USA ,939-954.
- [2] Barrett, K.E., Barman, S.M., Boitano, S., Brooks, H.L., 2010. Ganong's Review of Medical Physiology, 24th ed., McGraw Hill, New York, 315-336
- [3] Henquin, J.C., Dufrane D., Kerr, J., Nenquin, M. 2015. Dynamics of Glucose-Induced Insulin - Secretion in Normal Human Islets. Am J Physiol Endocrinol Metab,309, 640-650.
- [4] Bertin, F.R., Taylor, S.D., Bianco, A.W., Sojka-Kritchevsky, J.E. 2016. The Effect of Fasting Duration on Baseline Blood Glucose Concentration, Blood Insulin Concentration, Glucose/Insulin Ratio, Oral Sugar Test, and Insulin Response Test Results in Horses. Journal of Veterinary Internal Medicine. 30, 1726-1731.
- [5] Bouche, C., Lopez, X., Fleischman, E., Cypess, A., O'Shea, S., Stefanovski, D., Bergman, R., Rogatsky, E., Stein, D., Kahn, C.D., Kulkarni, R., Goldfine, A.B. 2010. Insulin Enhances Glucose-Stimulated Insulin Secretion in Healthy Humans. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 107(10), 4770-4775.
- [6] Nesher, R., Cerasi, E. 2002. Modeling Phasic Insulin Release. Diabetes, 51, 53-59.
- [7] Muscelli, E., Mari, A., Natali, A., Astiarraga, A., Camastra, S., Frascerra, S., Holst, J.J., Ferrannini, E. 2006. Impact of Incretin Hormones on β Cell Function in Subjects with Normal or Impaired Glucose Tolerance. Am J Physiol Endocrinol Metab, 291, 1144-1150.
- [8] Steiner, K. E., Williams, P. E., Lacy, W. W., Cherrington, A.D. 1990. Effects of Insulin on Glucagon-Stimulated Glucose Production in the Conscious Dog. Metabolism, 39(12), 1325-1333.
- [9] Khoo, M. 2000. Physiological Control Systems, John Wiley & Sons, Inc., New Jersey, 124-128.
- [10] Stolwijk, J.E., Hardy, J.D. 1974. Regulation and Control in Physiology. Medical Physiology, 13th ed., V.B. Mountcastle. C.V Mosby, St.Louis, 1343-1358.
- [11] Prato, D., Leonetti S., Simonson, F., Sheehan, P., Matsuda, M., DeFronzo, R.A. 1994. Effect of Sustained Physiologic Hyperinsulinaemia and Hyperglycaemia on Insulin Secretion and Insulin Sensitivity in Man. Diabetologia, 37, 1025-1035.
- [12] O'Connor, MD., Landahl, H. D., Grodsky, G.M. 1977. Role of Rate of Change of Glucose Concentration as a Signal for Insulin Release. Endocrinology, 101(1), 85-8.
- [13] Steil, G.M., Grodsky, G.M. 2013. The Artificial Pancreas: is It Important to Understand How the β Cell Controls Blood Glucose?. J Diabetes Sci Technol., 7(5),1359-1369.
- [14] Steil G.M, Rebrin K, Janowski R, Darwin C, Saad M.F. 2003. Modeling Beta-Cell Insulin Secretion--Implications for Closed-Loop Glucose Homeostasis. Diabetes Technol Ther, 5(6), 953-964.
- [15] Mari, A., Schmitz, O., Gastaldelli, A., Oestergaard, T., Nyholm, B., Ferrannini, E. 2002. Meal and Oral Glucose Tests for Assessment of Beta-Cell Function: Modeling Analysis in Normal Subjects, Am J Physiol Endocrinol Metab, 283(6), 1159-1166.
- [16] Richter, E.A., Galbo, H., Holst, J.J., Sonne, B. 1981. Significance of Glucagon for Insulin Secretion and Hepatic Glycogenolysis During Exercise in Rats. Horm Metab Res., 13(6),323-326.

- [17] Kaneto, A., Kaneko, T., Kajinuma, H., Kosaka, K. 1977. Effect of Vasoactive Intestinal Polypeptide Infused Intrapancreatically on Glucagon and Insulin Secretion, *Metabolism*, 26(7),781-786.
- [18] Galbo, H., Holst, J.J., Christensen, N.J. 1979. The Effect of different diets and of insulin on the Hormonal Response to Prolonged Exercise. *Acta Physiol Scand*, 107(1),19-32.
- [19] Raskin, P., Unger, R.H. 1978. Glucagon and Diabetes. *Med Clin North Am.*, 62(4),713-722.
- [20] Felig, P., Wahren, J., Sherwin, R., Hendler, R. 1976. Insulin, Glucagon, and Somatostatin in Normal Physiology and Diabetes Mellitus. *Diabetes*, 25(12),1091-1099.
- [21] Schade, D.S., Eaton, R.P. 1977. The Effect of Short term Physiological Elevations of Plasma Glucagon Concentration on Plasma Triglyceride Concentration in Normal and Diabetic Man. *Horm Metab Res*, 9(4),253-257.
- [22] DeFronzo, R. A., Davidson, J. A., Del Prato, S. 2012. The Role of the Kidneys in Glucose Homeostasis: a New Path Towards Normalizing Glycaemia. *Diabetes, Obesity and Metabolism*, 14(1), 5-14.
- [23] Triplitt, C.L. 2012. Understanding the Kidneys' role in Blood Glucose Regulation. *American Journal of Managed Care*, 18(1), 11.
- [24] Mather, A., Pollock, C. 2011. Glucose Handling by the Kidney, *Kidney International*, 79, 1-6.
- [25] De Marco, V. G., Aroor, A. R., Sowers, J. R. 2014. The Pathophysiology of Hypertension in Patients With Obesity. *Nature Reviews Endocrinology*, 10(6), 364-376.
- [26] Wanner, M. 1986. *Handbook of Experimental Pharmacology*. ss 1-83. Born, G. V. R., Farah, A., Herken, H., Welch, A. D., eds. 1985. Continuation of *Handbuch der experimentellen Pharmakologie*, Vol. 78, The Tetracyclines. Editors, Hlavka, J. J., Boothe, J. H. SPB Academic Publishing, Netherlands, 803s.
- [27] Ohneda, A., Aguilar, E., Eisentraut, A. M., Unger, R. H. 1969. Control of Pancreatic Glucagon Secretion by Glucose. *Diabetes*, 18(1), 1-10.
- [28] Unger, R. H., Aguilar, E., Müller, W. A., Eisentraut, A. M. 1970. Studies of Pancreatic Alpha Cell Function in Normal and Diabetic Subjects. *The Journal of Clinical Investigation*, 49(4), 837-848.
- [29] Cooperberg, B. A., & Cryer, P. E. 2010. Insulin Reciprocally Regulates Glucagon Secretion in Humans. *Diabetes*, 59(11), 2936-2940.
- [30] Edgerton, D.S., Kraft, G., Smith, M., Farmer, B., Williams, P.E., Coate, K.C., Printz, R.L., O'Brien, R.M., Cherrington, A.D. 2017. Insulin's Direct Hepatic Effect Explains the Inhibition of Glucose Production Caused by Insulin Secretion. *JCI Insight*. 2(6),1863.
- [31] Shulman, G.I., Liljenquist, J.E., Williams, P.E., Lacy, W.W., Cherrington, A.D. 1978. Glucose Disposal During Insulinopenia in Somatostatin-Treated Dogs, The Roles of Glucose and Glucagon. *J Clin Invest*. 62(2),487-491.
- [32] Cherrington, A. D. 2010. Control of Glucose Production in Vivo by Insulin and Glucagon. *Comprehensive Physiology*, 759-785.
- [33] Perley, M.J., Kipnis, D.M. 1967. Plasma Insulin Responses to Oral and Intravenous Glucose: Studies in Normal and Diabetic Subjects. *J Clin Invest*, 46(12),1954-1962.
- [34] Elrick, H., Hlad, J., Arai, Y., Smith A. 1956. The Interaction of Glucagon and Insulin on Blood Glucose. *J Clin Invest*, 35(7),757-762.
- [35] Sönksen, P.H., Srivastava, M.C., Tompkins, C.V., Nabarro, J.D. 1972. Growth-Hormone and Cortisol Responses to Insulin Infusion in Patients with Diabetes Mellitus. *Lancet*, 2(7769),155-159.
- [36] Fradkin, J., Shamon, H., Felig, P., Sherwin, R.S. 1980. Evidence for an Important Role of Changes in Rather Than Absolute Concentrations of Glucagon in the Regulation of Glucose Production in Humans. *J Clin Endocrinol Metab*, 50(4),698-703.
- [37] Pedersen, C., Bouman, S. D., Porsgaard, T., Rosenkilde, M. M., Roed, N. K. 2018. Dual Treatment with a Fixed Ratio of Glucagon and Insulin Increases the Therapeutic Window of Insulin in Diabetic Rats. *Physiological Reports*, 6(6), 1-9.

Ek A.



Şekil 2. Matlab/Simulink Diyagramı (integratörlerin ilk değerleri değişkenlerin normal değeri)

Aldose Reductase Evaluation against Diabetic Complications Using ADME and Molecular Docking Studies and DFT Calculations of Spiroindoline Derivative Molecule

Kenan GÖREN*¹, Ümit YILDIKO²

¹Kafkas University, Faculty of Science and Arts, Department of Chemistry, Kars, Turkey

²Kafkas University, Architecture and Engineering Faculty, Department of Bioengineering, Kars, Turkey

(Alınış / Received: 27.04.2024, Kabul / Accepted: 13.08.2024, Online Yayınlanma / Published Online: 23.08.2024)

Keywords

Spiroindoline Derivative,
DFT,
Molecular Docking,
MEP,
ADME,
NBO

Abstract: In this study, the target molecule ethyl-2-(5-nitro-5'-(4-nitrophenyl)-2-oxo-3'H-spiro[indoline-3,2'-[1,3,4]oxadiazol]-1-yl)acetate, which is a spiroindoline derivative, were performed NBO analysis, molecular electrostatic potential surface (MEPS), nonlinear optics (NLO), HOMO-LUMO energy calculations, optimized molecular geometry, and mulliken atomic charges using B3LYP/B3PW91 basis set and 6-311G(d,p) approximations. Calculated results were reported. Density Functional Theory (DFT) computations were utilized to research the molecule theoretically. Moreover, molecular docking analysis of the tested compound, a spiroindoline derivative molecule targeting aldose reductase against diabetic complications, was performed using molecular docking to determine the structure-activity connection. The molecular docking scores of our study molecule showed good results of -6.83 (PDB ID:3ABV) and 6.78 (PDB ID:3AE2) kcal. The molecular docking study provided important information worth considering for further research. A notable outcome of bioisosteric and isosteric substitutions is the alteration in lipophilic character, an impressive characteristic in several aspects. Thus, utilizing SwissADME, lipophilic character assessments were performed for the concerned compounds.

Spiroindolin Türevi Molekülünün DFT Hesaplamaları ve ADME ve Moleküler Doking Çalışmaları Kullanılarak Diyabetik Komplikasyonlara Karşı Aldoz Redüktaz Değerlendirmesi

Anahtar Kelimeler

Spiroindolin Türevi,
DFT,
Moleküler Doking,
MEP,
ADME,
NBO

Özet: Bu çalışmada, spiroindolin türevi olan, hedef molekül etil-2-(5-nitro-5'-(4-nitrofenil)-2-okso-3'H-spiro[indolin-3,2'-[1,3,4]oksadiazol]-1-il)asetat'ın B3PW91/B3LYP temel set ve 6-311G(d,p) yaklaşımlar kullanılarak NBO analizi, moleküler elektrostatik potansiyel yüzey (MEPS), HOMO-LUMO enerji hesaplamaları, doğrusal olmayan optik (NLO), optimize edilmiş moleküler geometri ve mulliken atomik yükleri hesaplamaları yapıldı. Hesaplanan sonuçlar açıklandı. Molekülün teorik olarak incelenmesi için Yoğunluk Fonksiyonel Teorisi (DFT) hesaplamaları kullanıldı. Ayrıca, diyabet komplikasyonlarına karşı aldoz redüktazı hedef alan spiroindolin türevi molekülü olan test edilen bileşiğin yapı-aktivite bağlantısını belirlemek amacıyla moleküler doking analizi yapıldı. Çalışma molekülümüzün moleküler doking skorları -6,83 (PDB ID:3ABV) ve 6,78 (PDB ID:3AE2) kcal gibi iyi sonuçlar verdi. Moleküler doking çalışması, ileri araştırmalar için dikkate değer önemli bilgiler sağladı. Biyoizosterik ve izosterik yer değiştirmelerin dikkate değer bir sonucu, çeşitli yönlerden etkileyici bir özellik olan lipofilik karakterdeki değişikliklerdir. Bu yüzden SwissADME kullanılarak söz konusu bileşikler için lipofilik karakter değerlendirmeleri yapılmıştır.

1. Introduction

During a hyperglycemic condition, aldose reductase, a NADPH-dependent oxidoreductase, is crucial for the catalytic synthesis of sorbitol from glucose. Such

enzyme is a crucial part of the polyol the route that is the body's natural means of breaking down a little amount of unphosphorylated glucose [1]. The enzyme sorbitol dehydrogenase then helps sorbitol be converted to fructose. It is noteworthy that a major

*Corresponding author: kenangoren49@gmail.com

factor in cell and organ damage is osmotic stress, which is linked to sorbitol buildup and redox imbalance after NADPH depletion [2]. As a result, cataracts, neuropathy, retinopathy, nephropathy, and other diabetes problems eventually develop. Congestive heart failure, myocardial ischemia, and cardiac arrest are among the cardiovascular disorders that are eventually brought on by this. Reactive oxygen species produced by elevated AR are also thought to be the cause of many cancers, including those of the breast, liver, cervix, ovarian, and rectal regions [3]. Acknowledging AR inhibition as a critical tactic to avoid and mitigate long-term diabetes consequences has gained significance [4, 5]. Therefore, we carried out molecular docking research in an effort to find efficient therapies for diabetes complications.

One excellent example of a diverse collection of chemical compounds formed from isatin is spirogynole. These substances are rich in physiologically relevant natural products with multifunctional pharmacological activity and have extraordinary biological features. They also make up a large portion of medications [6]. The presence of many heterocyclic motifs that attach to the oxindole ring's C-3 position is the distinguishing characteristic of spirooxindoles. They are promising candidates for drug development because of their special position [7]. Synergistic effects are frequently observed when bioactive macromolecules with various ranges of action or complementing pharmacophoric components are used together. Thus, an important endeavor to stop the drug is still being done in persistently advanced investigations [8].

Information regarding the pharmacological characteristics of molecular systems may be obtained by theoretical methods like molecular docking and DFT. DFT is a technique used in many-body systems to approximate the solution of the Schrödinger equation [9]. Walter Kohn chose the electron density, a function of both space and time, as a fundamental variable in a 1964 research he did with P. Hohenberg. He said that using the many-body wave function as a fundamental variable in a variational approximation complicated the issue [10].

The structure of the molecule studied theoretically was taken from the literature [11]. The optimal structural characteristics, stabilization energy, and chemical bonding of the molecule derived from spiroindoline are presented in this work. The band gap energies were computed using molecular orbitals. The parameters of ADME and drug similarity were examined. The molecule, a derivative of spiroindoline, was predicted theoretically utilizing the DFT technique, the B3LYP/B3PW91 basis set and 6-311G(d,p) approximations. Furthermore, our drug underwent molecular docking investigations, and binding energies and interaction types were computed for the spiroindoline derivative molecule targeting aldose reductase against diabetes sequelae.

2. Material and Method

All of the study's quantum chemical computations were carried with the Gaussian 09 software, B3LYP/6-311G(d,p)-B3PW91/6-311G(d,p) basis sets and approximations, and DFT methodologies [12]. Data on molecules were plotted and shown in GaussView 6.0. Our molecule's various charges were compared in the graph using the Origin 2019b 64Bit application. Our compound was subjected to a molecular docking investigation utilizing the Schrödinger LLC model on the Maestro Molecular Modeling platform (version 12.5) [13]. The enzyme for our molecule was obtained from the Protein Data Bank (PDB ID:3ABV and 3AE2) in order to conduct molecular docking investigations [14]. Using the Discovery Studio 2021 Client application, molecular docking pictures of our compound were obtained [15]. Lastly, the ADME analysis in our study was conducted using the online database SwissADME [16].

3. Results

3.1. Structure details and analysis

The most stable and lowest energy state of a molecule is known as geometry optimization [17]. Gaussian 09W software was employed in the investigation to finalize the spiroindoline derivative molecule's optimal shape [12]. Calculated results for some structural characteristics (bond angles, bond lengths) optimized using B3LYP/B3PW91 basis set and 6-311G(d,p) approximations for quantum chemical calculations with DFT approach Table 1 It is listed in. One variational approach is DFT. The BLYP (Becke, Lee, Yang, and Parr) technique and the B3LYP technique, which was developed by modifying BLYP, are the most often used DFT methods. In very large nuclei, electrons close to the nucleus are considered approximately effective nuclear potentials (ECPs). Relativistic effects play a significant role in this behavior for these atoms [18]. The spiroindoline derivative molecule was examined by comparing two optimized base sets. We observed that there were very small differences in bond lengths and angles between the basis sets and approaches used. The aromatic ring's optimal bond lengths and bond angles are between typical ranges. It has been found that our molecule's the C-C aromatic bond distances had higher values in the B3LYP computation compared to the B3PW91 method. The bond lengths optimized of C-C in the aromatic benzene fall in the range of 1.443 to 1.512 Å for the B3LYP/6-311G(d,p) technique and

in the range of 1.439 to 1.507 Å to the B3PW91/6-311G(d,p). The elongation due to displacements make the bond lengths evident. In the ring, C23-H46 and C5-H38 bond lengths are longer than other C-H bonds because of the substitution of oxygen and nitrogen atoms. Methyl C-H bond lengths have the same impact. It was discovered that the bond angle

between C25-C24-N30-O31 in tetrahedral structures had the largest deviation at -179.67798° . C8-C7-N11-N12 The lowest change in bond angle is -156.57642° . We saw that when atoms were selected as dihedral bonds in the Gaussian 09 program, some dihedral angles gave negative results in angle degrees, while others gave positive values.

Table 1. The spiroindoline derivative molecule's theoretically determined some bond lengths (Å) and bond angles ($^\circ$)

Bond Lengths	B3PW91/ 6-311G(d,p)	B3LYP/ 6-311G(d,p)	Bond Lengths	B3PW91/ 6-311G(d,p)	B3LYP/ 6-311G(d,p)
C1-N27	1.38806	1.39374	C7-O10	2.76229	2.78096
C3-C7	1.43965	1.44370	N12-C13	1.36783	1.37165
C4-N9	1.45544	1.46109	C13-C14	1.48921	1.49376
C8-O15	1.20977	1.20896	C13-O10	1.23470	1.23652
N9-C16	1.48397	1.49069	C24-N30	1.38214	1.38750
C17-O18	1.19713	1.19850	N30-O31	1.24010	1.24602
O19-C20	1.45150	1.45973	N30-O32	1.39726	1.41029
C20-C21	1.50786	1.51264	C16-H33	1.08848	1.08769
C7-N11	1.38020	1.38754	N11-H39	1.01234	1.01263
N11-N12	1.32799	1.33500	C23-H46	1.08235	1.08122
Bond Angles	B3PW91/ 6-311G(d,p)	B3LYP/ 6-311G(d,p)	Bond Angles	B3PW91/ 6-311G(d,p)	B3LYP/ 6-311G(d,p)
O28-N27-O29	118.23984	118.13535	C3 -C7-O10	111.84539	112.32317
C1-N27-O29	115.08418	115.07689	N9-C8-O15	117.49646	117.24558
C2-N27-C1	120.53120	120.49629	C16-C17-O19	117.49646	110.60899
C2-C3-C7	131.89445	131.56935	N12-C13-O10	110.56337	125.85262
C4-C5-N9	126.66730	126.62472	C24-N30-O31	127.26668	127.37411
Planar Bond Angles	B3PW91/ 6-311G(d,p)	B3LYP/ 6-311G(d,p)	Planar Bond Angles	B3PW91/ 6-311G(d,p)	B3LYP/ 6-311G(d,p)
C6-C1-N27-O29	-178.37363	-178.38623	C8-C7-N11-N12	-156.57642	-154.86457
C16-C17-O19-C20	-177.16420	-176.19686	O10-C13-C14-C26	177.86945	177.73634
C4-N9-C16-C17	-165.90029	-167.85701	C23-C24-N30-O32	-179.63563	-179.65346
C5-C1-N27-O29	-178.37363	-178.38623	C25-C24-N30-O31	-179.67798	-179.73446

3.2. Mulliken atomic charges

Charge of an atom has been utilized to determine the electrostatic potential outside molecule surfaces and to analyze electronegativity equalization and charge transfer in processes [19]. Mulliken atomic charges are crucial for describing the electronic charge distribution within a molecule as they are based on the atoms' the electronic charges that make up the molecule [20]. Table 2 displays the mulliken atomic charges that were determined utilizing the B3LYP/B3PW91 basis set and 6-311G(d,p) approximations estimates to the molecule corresponding to the spiroindoline derivative. The electron density is redistributed at atoms C14, C25,

C22, O10, N12, and N30 when the aromatic ring has negative values. The C7 and C13 carbon atoms have positive charges because of the significant negative charges on the nitrogen atoms N11 and N12. It was noted that the C atoms were both positive and negative.

Furthermore, Figure 2 provides a) Structure Optimization, b) Bond Lengths, c) Atomic Mass, and d) Mulliken Charges utilizing the B3PW91/6-311G(d,p) basis set and method. The graph in Figure 1 compares the mulliken charges of a few C atoms in our molecule using the same basis sets and methods. We found that the basis sets and methods employed in this comparison had mulliken loads that are compatible with one another.

Table 2. Mulliken Atomic Charges of the spiroindoline derivative molecule

ATOMS	B3PW91/ 6-311G(d,p)	B3LYP/ 6-311G(d,p)	ATOMS	B3PW91/ 6-311G(d,p)	B3LYP/ 6-311G(d,p)
C2	-0.023	-0.023	N9	-0.549	-0.513
C4	0.145	0.133	O10	-0.397	-0.391
C5	-0.049	-0.045	N11	-0.314	-0.289
C6	-0.109	-0.098	N12	-0.297	-0.277
C7	0.166	0.161	N27	-0.006	-0.010
C8	0.314	0.287	O28	-0.329	-0.319

C13	0.364	0.334	O29	0.256	0.254
C14	-0.216	-0.210	N30	-0.003	-0.013
C16	-0.126	-0.103	O31	-0.338	-0.328
C17	0.396	0.379	O32	-0.269	-0.270
C20	-0.057	0.023	H33	0.203	0.182
C21	-0.357	-0.314	H34	0.191	0.173
C22	-0.045	0.040	H36	0.160	0.141
C23	-0.099	-0.090	H38	0.141	0.128
C25	-0.109	-0.100	H40	0.150	0.145
C40	-0.035	-0.031	H42	0.139	0.121

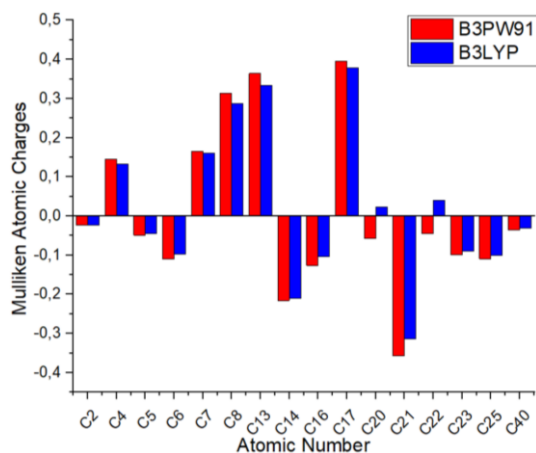


Figure 1. Mulliken atomic charge comparison for the spiroindoline derivative molecule

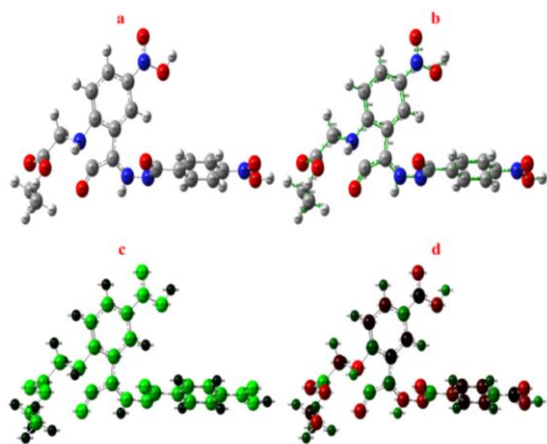


Figure 2. The spiroindoline derivative molecule with DFT/B3PW91/6-311G(d,p) basis set a) Structure Optimization, b) Bond Lengths, c) Atomic Mass, d) Mulliken Charge

3.3. HOMO and LUMO analysis

The reactivity, bioactivity, and electrical characteristics of organic molecules are explained in part by the FMO hypothesis. HOMO energy is a representation of electron donation. In reactivity analysis, it is crucial to estimate the energy values of

a given molecule's HOMO and LUMO, as well as to ascertain its locations [21]. Utilizing the energy gap (ΔE) that is determined by subtracting the LUMO and HOMO energies, together with many significant quantum chemical characteristics, is a very efficient method in computational chemistry for predicting the reactivity of a given molecule. Values for HOMO-

LUMO energy are taken straight out the Gaussian output files [22]. Table 3 displays quantum chemical reactivity descriptors computed with these energy values. From the HOMO-LUMO energy values, the global chemical reactivity descriptors of our molecule like electronegativity (χ), global hardness (η), global softness (S) and electrophilicity index (ω) are 1.6464 to the B3PW91/6-311G(d,p) basis set and approach, respectively, 1.2080, 0.6040 and -5.0958. These calculations are $\chi=1.4590$, $\eta=1.2144$, $S=0.6072$, and $\omega=5.0612$ for the B3LYP/6-311G(d,p) basis set and approximation. As given in Table 3, the energy difference values for the two base and set approaches were calculated as 2.4360 eV and 2.4288 eV, respectively. Figure 3 and Figure 4 show 3D HOMO-LUMO diagrams with energy values in line with computed utilizing B3LYP/6-311G(d,p)-B3PW91/6-311G(d,p) basis sets and approximations. For both methods, it is clear that HOMOs are distributed almost throughout the molecule. Figure 5 and Figure 6 show the Fermi energy (E_f) and band gap of our working molecule using the same two basis set approaches.

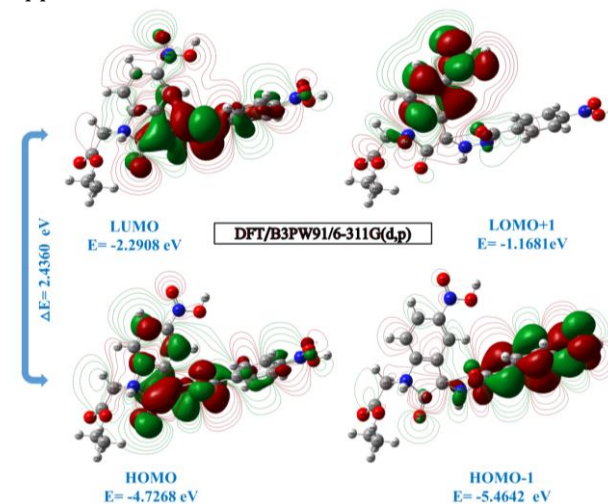


Figure 3. The spiroindoline derivative molecule's boundary molecular orbitals as per the B3PW91/6-311G(d,p) level

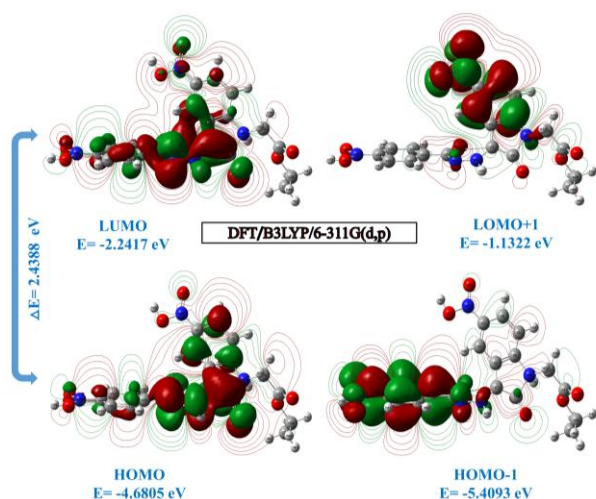


Figure 4. The spiroindoline derivative molecule's boundary molecular orbitals as per the B3LYP/6-311G(d,p) level

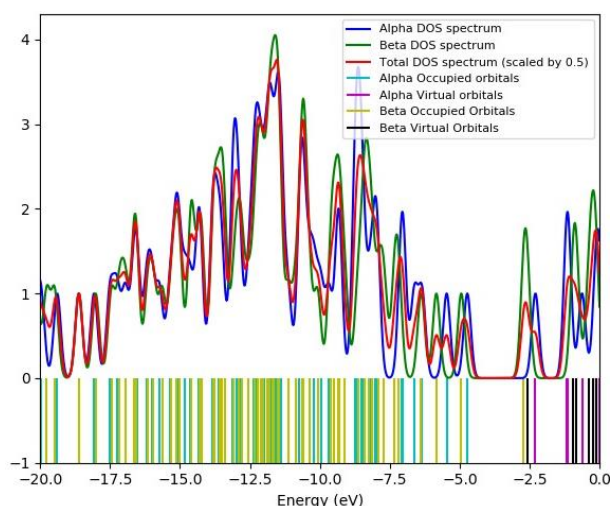


Figure 5. Fermi energy (E_f) and bandgap of the spiroindoline derivative molecule with B3PW91/6-311G(d,p) basis set

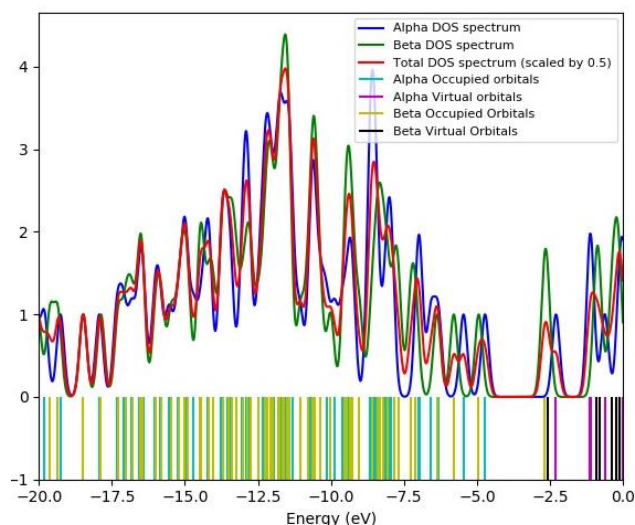


Figure 6. Fermi energy (E_f) and bandgap of the spiroindoline derivative molecule with B3LYP/6-311G(d,p) basis set

Table 3. Spiroindoline derivative molecule's computed quantum chemical properties by B3PW91/B3LYP/6-311G(d,p) techniques

Molecules Energy		DFT/B3PW91/ 6-311G(d,p)	DFT/B3LYP/ 6-311G(d,p)
E_{LUMO}		-2.2908	-2.2417
E_{HOMO}		-4.7268	-4.6805
E_{LUMO+1}		-1.1681	-1.1322
E_{HOMO-1}		-5.4642	-5.4093
Energy Gap	$(\Delta E) E_{HOMO}-E_{LUMO} $	2.4360	2.4388
Ionization Potential	$(I=-E_{HOMO})$	4.7268	4.6805
Electron Affinity	$(A=-E_{LUMO})$	2.2908	2.2417
Chemical hardness	$(\eta=(I-A)/2)$	1.2080	1.2194
Chemical softness	$(s=1/2\eta)$	0.6040	0.6097
Chemical Potential	$(\mu=-(I+A)/2)$	-3.5088	-3.5596
Electronegativity	$(\chi=(I+A)/2)$	1.6464	1.6208
Electrophilicity index	$(\omega=\mu^2/2\eta)$	5.0958	5.1954

3.4. Molecular electrostatic potential (MEP)

The use of MEP surface analysis yields limitations for forecasting the electrophilic and nucleophilic assaults of any chemical compound and offers information about the chemical reactivity of a molecule. One instrument that gives information on the size, shape, and the molecule's electrostatic potential values is the commonly used MEP [23]. Furthermore, the

names of biological processes and the demonstration of hydrogen bond interactions in molecular modeling studies are attributed to the reactive moieties in chemical reactions. Different hues correspond to different electrostatic potential levels on the surface. The potentials are arranged as follows: red<orange<yellow<green<blue [24]. Figure 7. shows the MEP surface obtained following the computation with B3LYP/B3PW91 basis set and 6-311G(d,p)

approximations. The electronegative O atom has negative potential areas, shown in Figure 7. The positive potential represented in blue was obtained in the C–H and N–H bond areas. Electrophilic areas on the surface of the oxygen and nitrogen groups in our molecule show that red-colored areas represent negative prospective areas.

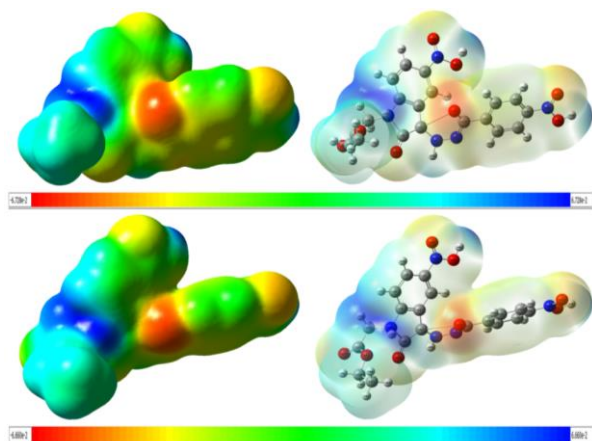


Figure 7. MEP of the spiroindoline derivative molecule utilizing DFT(B3PW91/B3LYP) and 6-311G(d,p) approximation and basis sets

3.5. Non-Linear Optical Properties (NLO)

Electromagnetic beam interaction in a variety of situations can produce new fields with different phase, frequency, amplitude, and other propagation properties than the incident fields. This phenomenon is known as NLO results [25]. NLO is at the forefront of current research due to its critical role in providing Because of its vital role in providing functionalities like optical modulation, frequency shifting, optical switching, optical logic, and optical memory for developing technologies in fields like telecommunications, optical interconnects, and signal processing, NLO is at the forefront of current research [26]. Our study molecule's polar features of were calculated with the DFT B3LYP/B3PW91 basis

set and 6-311G(d,p) approximations utilizing the Gaussian 09W package. In this investigation, we effectively investigated DFT-NLO materials by calculating linear polarizability (α), the total molecular dipole moment (μ), and first-order hyperpolarizability (β) from the gaussian. These results are listed in Table 4. Equations (1) through (3) may be used since the values of the initial hyperpolarization tensors of the Gaussian 09W output file are given in atomic units (a.u.), the computed values are transformed to electrostatic units (1 a.u.= 8.6393×10^{-33} esu) for both methods. It was found to be 2.48×10^{-30} and 2.56×10^{-30} esu, respectively. The predominance of one component over another suggests a large movement of loads in that direction. The highest hyperpolarizability values were found in the β_{YYY} direction, which was also where the electron cloud's delocalization was greatest. The urea molecule is one of the model molecules used in studies on systems that exhibit NLO properties. The computed values of μ and β for both approaches are around four and seven times, respectively, more than those of the typical NLO material "urea." The relatively large dipole moment and hyperpolarizability of our compound may indicate that The substance can serve as a foundational element for NLO materials.

$$\mu = (\mu_x^2 + \mu_y^2)^{1/2} \quad (1)$$

$$\beta_{Total} = (\beta^2_x + \beta^2_y + \beta^2_z)^{1/2} \quad (2)$$

$$\beta_{Total} = [(\beta_{xxx} + \beta_{xyy} + \beta_{xzz})^2 + (\beta_{yyy} + \beta_{yxx} + \beta_{yzz})^2 + (\beta_{zzz} + \beta_{zxx} + \beta_{zyy})^2]^{1/2} \quad (3)$$

Table 4. The spiroindoline derivative molecule's NLO parameters computed utilizing B3PW91/B3LYP and 6-311G(d,p) approaches and basis set

Parameters	B3PW91/ 6-311G(d,p)	B3LYP/ 6-311G(d,p)	Parameters	B3PW91/ 6-311G(d,p)	B3LYP/ 6-311G(d,p)
μ_x	-6.0785	6.1785	β_{xxx}	-5.7848	18.5127
μ_y	1.6220	1.4563	β_{yyy}	-43.9294	-49.2287
μ_z	0.2028	-0.1940	β_{zzz}	-1.3001	2.3678
$\mu(D)$	6.2944	6.3507	β_{xyy}	-13.003	13.4038
α_{xx}	-152.8694	-156.4866	β_{xxy}	-5.0991	-5.1296
α_{yy}	-184.3685	-185.6480	β_{xxz}	43.2432	-41.8450
α_{zz}	-182.6224	-184.0751	β_{xzz}	-14.6662	13.3821
α_{xy}	-0.1931	0.1666	β_{yzz}	-6.2615	-5.1861
α_{xz}	-29.1015	-28.7701	β_{yyz}	-0.1764	0.4113
α_{yz}	-3.7211	3.9983	β_{xyz}	41.9318	41.2029
$\alpha(\text{au})$	-165.168	-163.827	$\beta(\text{esu})$	2.48×10^{-30}	2.56×10^{-30}

3.6. NBO analysis

The most precise "natural Lewis structure" image is

produced by NBO analysis because every orbital feature is mathematically selected to have the maximum percentage of electron density. The NBO

method's ability to offer details on interactions in both virtual and occupied orbital spaces is a helpful feature that can improve the investigation of intra- and intermolecular mutual effect [27]. The interactions lead to an empty non-Lewis orbital and the loss of occupancy of the localized NBO of the ideal Lewis structure. For each donor (i) and acceptor (j), the stabilization energy $E(2)$ associated with delocalization $i \rightarrow j$ is given by where q_i is the donor orbital occupancy, ϵ_j and ϵ_i are diagonal elements, and $F(i, j)$ is predicted [28]. Natural bond analysis is used to understand distinct secondary interactions between occupied orbitals of one subsystem and unoccupied orbitals of another subsystem, which is known as intermolecular delocalization. The fact that NBO analysis offers details on both occupied and vacant orbital spaces is a helpful feature that can improve the examination of intra- and

extramolecular effects [29]. The NBO analysis of the spiroindoline derivative molecule was computed with the B3LYP/6-311G(d,p) basis set and approached to explain the delocalization and hybridization of the molecule's the electron density, and the NBO analysis values are in Table 5. is also given. When Table 5 is examined, the existence of strong interactions and charge transitions within the molecule is clearly observed. According to the results calculated with the DFT(B3LYP/6-311G(d,p) basis set approach, the highest energy value is 15.41 kcal/mol between $\pi(C23-C24) \rightarrow \pi^*(C14-C22)$. The other highest energy values obtained are $(C3-C4) \rightarrow \pi^*(C5-C6)$ 15.04 kcal/mol, $(C1-C2) \rightarrow \pi^*(C3-C4)$ 15.02 kcal/mol, $(C14-C22) \rightarrow \pi^*(C25-C26)$ 14.24 kcal/mol, $(C7-N11) \rightarrow \pi^*(C8-O15)$ 13.87 kcal/mol, $(C25-C26) \rightarrow \pi^*(C23-C24)$ 12.86 kcal/mol.

Table 5. Chosen NBO outcomes of the spiroindoline derivative molecule are computed utilizing DFT(B3LYP/6-311G(d,p) technique and basis set

NBO(i)	Type	Occupancies	NBO(j)	Type	Occupancies	E(2) ^a (Kcal/mol)	E(j)-E(i) ^b (a.u.)	F(i, j) ^c (a.u.)
C1-C2	π	0.81618	C3-C4	π^*	0.82900	15.02	0.28	0.084
C3-C4	π	0.82900	C5-C6	π^*	0.86892	15.04	0.29	0.083
C4-N9	σ	0.99160	C5-C6	σ^*	0.86892	5.17	1.37	0.053
C5-C6	π	0.86892	C1-C2	π^*	0.81618	11.55	0.28	0.076
C7-C8	σ	0.98506	C3-C7	σ^*	0.98073	5.52	0.28	0.076
C7-N11	π	0.85730	C8-O15	π^*	0.99736	13.87	0.32	0.084
C8-O15	σ	0.99736	C7-C8	σ^*	0.98506	2.10	1.64	0.075
N11-H39	σ	0.98898	C3-C7	σ^*	0.98073	2.33	1.15	0.065
C14-C22	π	0.81044	C25-C26	π^*	0.86874	14.24	0.28	0.081
C14-C26	σ	0.98732	C14-C22	σ^*	0.81044	2.05	1.25	0.064
C16-C17	σ	0.98709	O19-C20	σ^*	0.99318	2.20	0.91	0.057
C16-H34	σ	0.98361	C17-O18	π^*	0.99502	2.54	0.58	0.051
C21-H42	σ	0.98993	O19-C20	σ^*	0.99318	2.29	0.74	0.052
C22-H45	σ	0.98833	C14-C26	σ^*	0.98732	2.31	1.07	0.063
C23-C24	π	0.80307	C14-C22	π^*	0.81044	15.41	0.29	0.08
C23-H46	σ	0.98880	C24-C25	σ^*	0.98543	2.20	1.06	0.061
C24-C25	σ	0.98543	C23-C24	σ^*	0.98338	2.50	1.24	0.070
C24-N30	σ	0.99436	C24-C25	σ^*	0.98543	5.34	1.41	0.045
C25-C26	π	0.86874	C23-C24	π^*	0.80307	12.86	0.27	0.079
C25-H47	σ	0.98859	C23-C24	σ^*	0.98338	2.15	1.06	0.060
C26-H48	σ	0.98816	C24-C25	σ^*	0.98543	2.19	1.04	0.060
N27-O28	σ	0.99678	C1-N27	σ^*	0.99397	5.19	1.44	0.045
N27-O29	σ	0.99570	C1-C6	σ^*	0.98377	3.33	1.41	0.046
O29-H49	σ	0.99440	C1-N27	σ^*	0.99397	1.88	1.16	0.060
N30-O31	σ	0.99681	C24-C25	σ^*	0.98543	0.56	1.59	0.038
O32-H50	σ	0.99467	C24-N30	σ^*	0.99436	1.81	1.17	0.059

3.7. Molecular docking studies

A key component of medication design for the treatment of numerous disorders is molecular docking. During this procedure, we learned that a chemical may function as a medicine by attaching to a protein; for this reason, docking is crucial in the drug development process [30]. In molecular docking analysis, the enzyme for our molecule was taken from the Protein Data Bank (PDB ID: 3ABV and PDB ID:

3AE2) [14] and made with Schrödinger's Protein Preparation Wizard module [13]. This approach involved adding missing hydrogens, assigning bond ordering, and deleting all heteroatoms and water molecules other than the native ligand. The LigPrep module was used to prepare the ligand for all potential 3D conformations and states at physiological pH levels prior to molecular docking. The molecular docking scores of our study molecule gave good results as -6.83 (PDB ID:3ABV) and 6.78

(PDB ID:3AE2) kcal, and these values are given in Table 6. For molecular docking analysis, the best docking poses were selected and the protein-ligand interaction was shown visually in 2D-3D with Discovery Studio Client 2017 software in Figure 8 and Figure 9 [15].

The docking poses of our working molecule (PDB-CODE:3ABV) with the enzyme. The 2D and 3D docking poses we obtained from the Discovery Studio visualizer [15] are shown in Figure 8. When we analyze the molecule and ligand interaction, the best

bindings are as follows; While we observe ARG-46 (3.12 Å) Unfavorable Donor-Donor, SER-53 (4.00 Å) and SER-42 (4.03 Å) conventional hydrogen bonds, GLY-49 (5.27 Å) pi-alkyl bond in the oxygen of the nitro group, We observed HIS-216 (4.77 Å) and HIS-45 (6.41 Å) pi-pi t-shaped bond, ARG-44 (5.87 Å) pi-cation bonds in the benzene ring. We observed İLE-218, İLE-218, İLE-84, TRP-82, LEU-52, VAL-87 and ARG-47 van der Waals bonds in our molecule.

Table 6. Docking score of the spiroindoline derivative molecule PDB:3ABV and PDB:3AE2

Compound	Docking Score (cal/mol)			
	PDB: 3ABV	Control 3ABV	PDB: 3AE2	Control 3AE2
The Spiroindoline Derivative Molecule	-6.83	-8.20	-6.78	-7.80

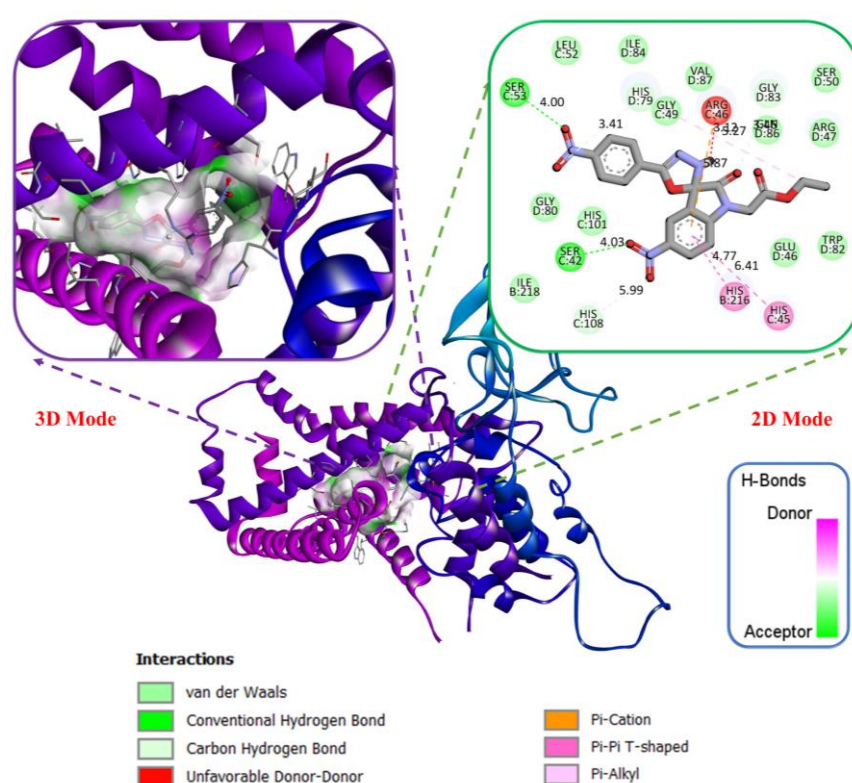


Figure 8. 3D and 2D representation of the interaction between the spiroindoline derivative molecule of 3ABV enzym

The docking poses of our study molecule (PDB-CODE:3AE2) with other enzymes. The 2D and 3D docking poses we obtained from the Discovery Studio visualizer are shown in Figure 9. When we analyze the molecule and ligand interaction, the best bindings are as follows; While we observed (5.26 Å) pi-alkyl bond TYR-91 (4.45 Å) pi-anion, ARG-46 (5.04 Å) attractice charge, HOH-1202 (3.07 Å) water hydrogen bond, TRP-172 (6.27 Å) pi-alkyl bond, MET-39 in the oxygen of the nitro group, we observed TYR-91 (4.05 Å) pi-cation bond and ARG-46 (4.58 Å) unfavorable positive-positive bond at the nitrogen of the nitro group. We observed TRP-173 (5.86 Å) pi-pi t-shaped bond, SER-42 (7.01 Å) amide-pi stacked bond, İLE-43 (4.22 Å), PRO-169 (5.69 Å) pi-alkyl bonds in the benzene ring. We observed HIS-216, İLE-218, İLE-30,

ASN-220, TRP-35, and TYR-33 van der Waals bonds in our molecule.

According to our literature research, docking analysis was not performed on the protein structures we selected, so docking analysis was performed to compare the ethyl2-(5-nitro-2-oxo-5'-(pyridin-4-yl)-3'H-spiro[indoline-3,2'-[1,3,4]oxadiazol]-1-yl)acetate [11] (control ligand) structure, which has a similar structure to our molecule, with the same proteins. Figure 10. Control Ligand-3ABV 2D Mode and control Ligand-3AE2 2D Mode view shown. When we look at the docking scores in Table 6, it was seen that the binding scores of both proteins were close to the control ligand binding scores.

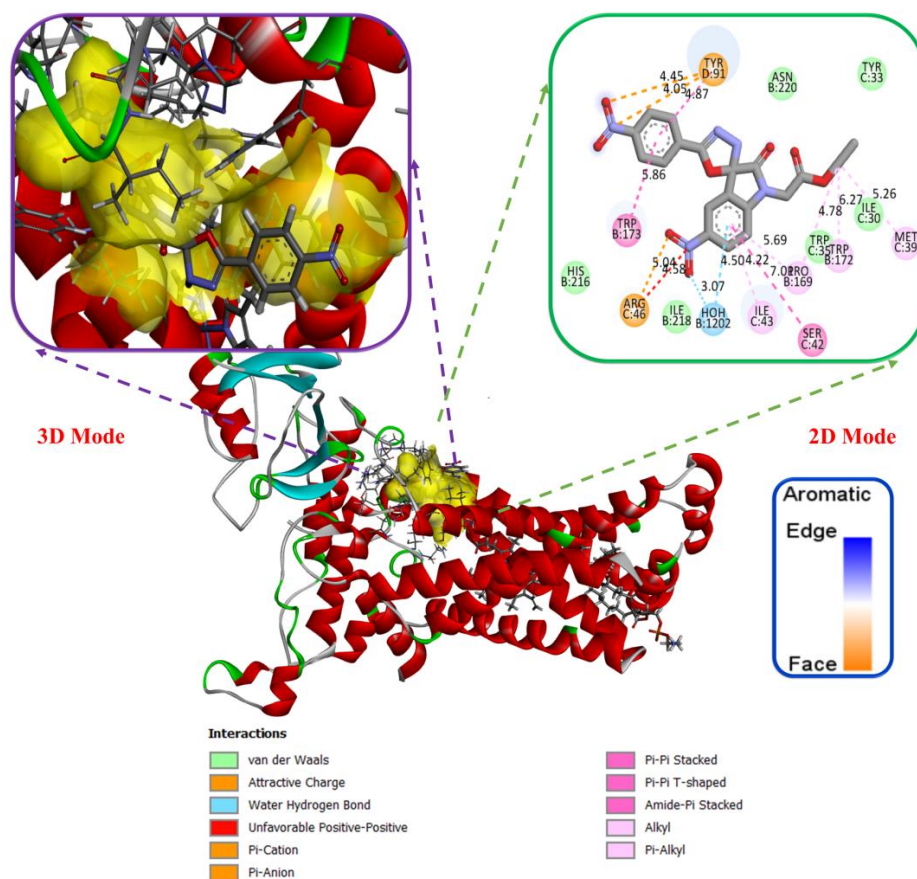


Figure 9. 3D and 2D representation of the interaction between the spiroindoline derivative molecule of 3AE2 enzyme

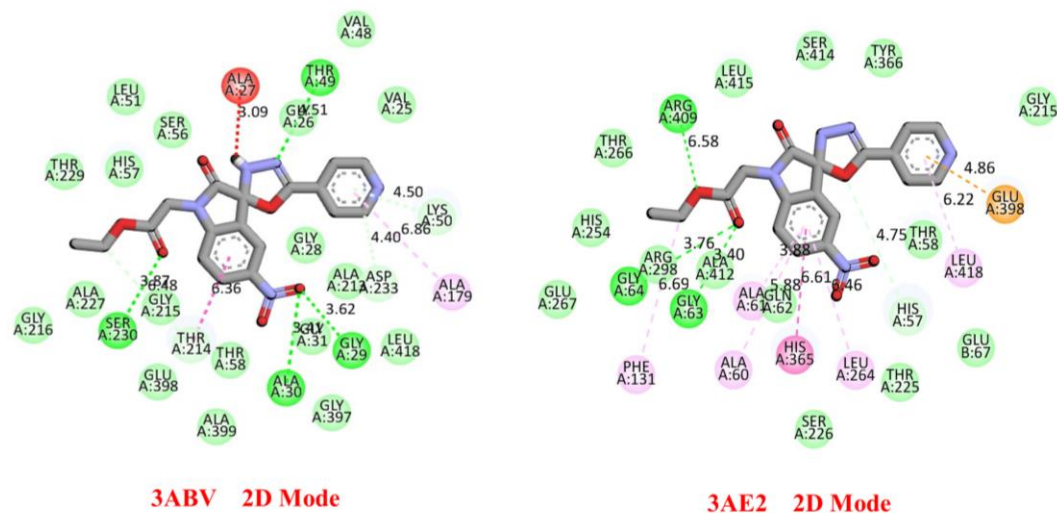


Figure 10. Control Ligand-3ABV and control Ligand-3AE2 2D Mode view

3.8. ADME analysis

ADME analysis is a useful tool in the drug development process for producing active pharmaceuticals. Examining the physicochemical characteristics is crucial for drug analysis. Lipophilicity is one of the most significant physicochemical characteristics. In pharmacology and the pharmaceutical business, estimates of the n-

octanol/water partition coefficient (logPow) are significant because they enable assessments of lipophilic nature [31]. For this purpose, SwissADME and its software were used [16]. This online application is likewise user-friendly and freely available. The physicochemical and lipophilic characteristics of our research substance are quantified numerically in Table 7. When we examine the values in Table 7, according to Lipinski's five

important rules; having less than 5 hydrogen bond donors (1), less than 10 hydrogen bond acceptors (9), lipophilicity coefficient LogP being less than 5 (0.94), molar refraction values between 4-130 (121.86) and finally We found that the molecular weight (MW) being lower than 500 (441.35) fits. It demonstrates that Lipinski's criteria has not been broken and that this molecule is appropriate for the drug development process. SwissADME software is used to account for the XLOGP3, iLOGP, MLOGP, SILICOS-IT, and WLOGP prediction models in the lipophilic character analysis. All models' arithmetic means are

displayed as consensus logPow [32]. As shown in Table 7, the consensus logPow value for our molecule was computed to be 0.94. In Adme analysis, the absorption percent of our study molecule ABS was found to be 49.70%. The physicochemical properties, color spaces, and structure of our study molecule are shown in Figure 10. The pink region on polar surface area maps symbolizes the physicochemical area suitable for oral bioavailability. According to the radar diagram, it is aside from the saturation setting, in the pink region.

Table 7. Physicochemical and lipophilicity of the spiroindoline derivative molecule

Code Spiroindoline Derivative Molecule	Lipophilicity consensus log P	Physico-chemical properties								
		MW ^a g/mol	Heavy Atoms	Aromatic heavy atoms	Rot. bond	H- acceptor bond	H-donor bond	MR ^b	TPSA ^c (Å ²)	% ABS ^d
	0.94	441.35	32	12	7	9	1	121.86	171.87	49.70

^aMW, molecular weight; ^cTPSA, topological polar surface area; ^bMR, molar refractivity; ^dABS%: absorption percent $ABS\% = 109 - [0.345 \times TPSA]$.

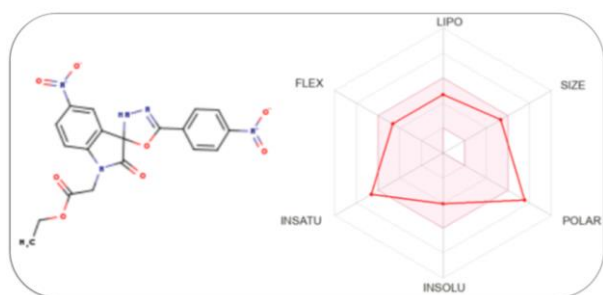


Figure 10. Color regions, physicochemical parameters and structure of the spiroindoline derivative molecule

4. Discussion and Conclusion

In this study, the spiroindoline derivative molecule was determined by optimizing the structure using DFT tools. We investigated the structural properties of [oxadiazol]-1-yl)acetate. In continuation of the theoretical calculations, Mulliken charges, HOMO-LUMO, MEP, NLO, NBO analyzes of our study molecule were performed utilizing B3LYP/B3PW91 basis set and 6-311G(d,p) approximations. Polarity ($\alpha = -165.168$ au and $\alpha = -163.827$ au) and static higher order polarity (2.48×10^{-30} esu and $\beta = 2.56 \times 10^{-30}$ esu) parameters were determined in the NLO analysis from the calculations made for the study molecule using two basis sets of approaches. In the HOMO-LUMO analysis, the basis sets and approaches used were calculated in harmony with each other as the difference in their energies (2.43 eV and 2.42). In the next stage of our study, molecular docking analysis of the spiroindoline derivative molecule focusing on aldose reductase to prevent problems from diabetes was performed by taking codes from the protein data bank (PDB ID: 3ABV and PDB ID: 3AE2). The two basis sets and approaches used gave good results as a result of molecular docking of -6.83 and -6.78 kcal/mol. Finally, in our study, ADME analysis of the molecule was performed. There is no corruption of

Lipinski's rule of five in drug similarity predictions, and all rules apply to the title compound with respect to its drug nature. Molecular docking results confirm this result with binding energy. Therefore, we predict that our study molecule may be a potential drug candidate for Diabetic complications.

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] Thakur, S., Gupta, S. K., Ali, V., Singh, P., Verma, M. 2021. Aldose Reductase: A cause and a potential target for the treatment of diabetic complications. Archives of Pharmacal Research, 44, 655-667.
- [2] Balestri, F., Moschini, R., Mura, U., Cappiello, M., Del, Corso. A. 2022. In search of differential inhibitors of aldose reductase. Biomolecules, 12(4), 485.
- [3] Papezikova, I., Pekarová, M., Chatzopoulou, M., Nicolaou, I., Demopoulos, V., Kubala, L., Lojek, A. 2008. The effect of aldose reductase inhibition by JMC-2004 on hyperglycemia-induced endothelial dysfunction. Neuroendocrinology Letters, 29(5), 775.

- [4] Kumar, P. A., Reddy, G. B. 2007. Focus on molecules: aldose reductase. *Experimental eye research*, 85(6), 739-740.
- [5] Marchese, A. D., Larin, E. M., Mirabi, B., Lautens, M. 2020. Metal-catalyzed approaches toward the oxindole core. *Accounts of Chemical Research*, 53(8), 1605-1619.
- [6] Zhou, F., Liu, Y. L., Zhou, J. 2010. Catalytic asymmetric synthesis of oxindoles bearing a tetrasubstituted stereocenter at the C-3 position. *Advanced Synthesis & Catalysis*, 352(9), 1381-1407.
- [7] Pavlovskaya, T. L., Redkin, R. G., Lipson, V. V., Atamanuk, D. V. 2016. Molecular diversity of spirooxindoles, Synthesis and biological activity. *Molecular diversity*, 20, 299-344.
- [8] Christy, N. A., Franks, A. S., Cross, L. B. 2005. Spironolactone for hirsutism in polycystic ovary syndrome. *Annals of Pharmacotherapy*, 39(9), 1517-1521.
- [9] Kolancılar, H. 2019. DFT Yöntemi Kullanılarak 1, 3-Bis-{{(2-Aminobenzoil) Amino} Propanın Teorik Hesaplamaları ve Bu Değerlerin Literatürdeki Deneysel Değerler ile Karşılaştırılması. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 7(3), 1319-1334.
- [10] Chen, Y.H., Chao, S. D. 2018. Solving many-body Schrödinger equations with kinetic energy partition method. *Annals of Physics*, 388, 54-68.
- [11] Güleç, Ö., Türkeş, C., Arslan, M., Demir, Y., Dincer, B., Ece, A., Küfrevioğlu, Ö. İ., and Beydemir, Ş. 2024. Novel spiroindoline derivatives targeting aldose reductase against diabetic complications: Bioactivity, cytotoxicity, and molecular modeling studies. *Bioorganic Chemistry*, 107221.
- [12] Frisch, M. 2019. Gaussian09. <http://www.gaussian.com> (Erişim Tarihi: 05.04.2024).
- [13] 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.
- [14] Burley, S. K., Berman, H. M., Bhikadiya, C., Bi, C., Chen, L., Di, Costanzo, L., Christie, C., Dalenberg, K., Duarte, J. M., Dutta, S. 2019. RCSB Protein Data Bank: biological macromolecular structures enabling research and education in fundamental biology, biomedicine, biotechnology and energy. *Nucleic acids research*, 47(D1), 464-474.
- [15] BIOVIA Discovery Studio D. SYSTÈMES BIOVIA Corporate Europe, BIOVIA 334 Cambridge Science Park Cambridge. 2016 <http://accelrys.com/products/collaborativescience/biovia-discovery-studio/> (Erişim Tarihi: 05.04.2024).
- [16] Daina, A., Michielin, O., Zoete, V. 2017. SwissADME: a free web tool to evaluate pharmacokinetics, drug-likeness and medicinal chemistry friendliness of small molecules. *Scientific reports*, 7(1), 42717.
- [17] Gören, K., Bağlan, M., Çakmak, İ. 2022. Theoretical Investigation of ¹H and ¹³C NMR Spectra of Diethanol Amine Dithiocarbamate RAFT Agent. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 12(3), 1677-1689.
- [18] Altürk, S., Avcı, D., Tamer, Ö., Atalay, Y. 2017. Comparison of different hybrid DFT methods on structural, spectroscopic, electronic and NLO parameters for a potential NLO material. *Computational and Theoretical Chemistry*, 1100, 34-45.
- [19] Bağlan, M., Gören, K., Yıldiko, Ü. 2023. HOMO-LUMO, NBO, NLO, MEP analysis and molecular docking using DFT calculations in DFPA molecule. *International Journal of Chemistry and Technology*, 7(1), 38-47.
- [20] Wang, X., Yao, J. 2017. Improvement of the self-consistent-charge density-functional-tight-binding theory by a modified Mulliken charge. *Theoretical Chemistry Accounts*, 136(10), 124.
- [21] Bağlan, M., Yıldiko, Ü., Gören, K. 2023. DFT Calculations and Molecular Docking Study in 6-(2''-Pyrrolidinone-5''-Yl)-Epicatechin Molecule from Flavonoids. *Eskişehir Teknik Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi B-Teorik Bilimler*, 11(1), 43-55.
- [22] Choudhary, V., Bhatt, A., Dash, D., Sharma, N. 2019. DFT calculations on molecular structures, HOMO-LUMO study, reactivity descriptors and spectral analyses of newly synthesized diorganotin (IV) 2-chloridophenylacetohydroxamate complexes. *Journal of computational chemistry*, 40(27), 2354-2363.
- [23] Bağlan, M., Yıldiko, Ü., Gören, K. 2022. Computational Investigation of 5,5,7-trihydroxy-3,7-dimethoxy-4-4-O-biflavone from Flavonoids Using DFT Calculations and Molecular Docking. *Adıyaman University Journal of Science*, 12(2), 283-298.

- [24] Bayoumy, A. M., Ibrahim, M., Omar, A. 2020. Mapping molecular electrostatic potential (MESP) for fulleropyrrolidine and its derivatives. *Optical and Quantum Electronics*, 52, 1-13.
- [25] Bağlan, M., Gören, K., Yıldiko, Ü. 2023. DFT Computations and Molecular Docking Studies of 3-(6-(3-aminophenyl) thiazolo [1, 2, 4] triazol-2-yl)-2H-chromen-2-one (ATTTC) Molecule. *Hittite Journal of Science and Engineering*, 10(1), 11-19.
- [26] Shokr, E. K., Kamel, M. S., Abdel-Ghany, H., Ali, M., Abdou, A. 2022. Synthesis, characterization, and DFT study of linear and non-linear optical properties of some novel thieno [2, 3-b] thiophene azo dye derivatives. *Materials Chemistry and Physics*, 290, 46-66.
- [27] Sakr, M. A., Sherbiny, F. F., El-Etrawy, A-A. S. 2022. Hydrazone-based materials; DFT, TD-DFT, NBO analysis, Fukui function, MESP analysis, and solar cell applications. *Journal of Fluorescence*, 32(5), 1857-1871.
- [28] Kurt, M., Babu, P. C., Sundaraganesan, N., Cinar, M., Karabacak, M. 2011. Molecular structure, vibrational, UV and NBO analysis of 4-chloro-7-nitrobenzofurazan by DFT calculations. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 79(5), 1162-1170.
- [29] Mihçioğur, Ö., Özpozan, T. 2017. Molecular structure, vibrational spectroscopic analysis (IR&Raman), HOMO-LUMO and NBO analysis of anti-cancer drug sunitinib using DFT method. *Journal of Molecular Structure*, 1149, 27-41.
- [30] Khodja, I. A., Boulebd, H., Bensouici, C., Belfaitah, A. 2020. Design, synthesis, biological evaluation, molecular docking, DFT calculations and in silico ADME analysis of (benz) imidazole-hydrazone derivatives as promising antioxidant, antifungal, and anti-acetylcholinesterase agents. *Journal of Molecular Structure*, 1218, (12-27).
- [31] Badran, A-S., Ibrahim, M. A. 2023. Synthesis, spectral characterization, DFT and in silico ADME studies of the novel pyrido [1, 2-a] benzimidazoles and pyrazolo [3, 4-b] pyridines. *Journal of Molecular Structure*, 1274, 13-54.
- [32] Singh, S. P., Singh, N. I., Nongalleima, K., Doley, P., Singh, C. B., Sahoo, D. 2018. Molecular docking, MD simulation, DFT and ADME-toxicity study on analogs of zerumbone against IKK- β enzyme as anti-cancer agents. *Network Modeling Analysis in Health Informatics and Bioinformatics*, 7(1-8).