



FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ DERGİSİ

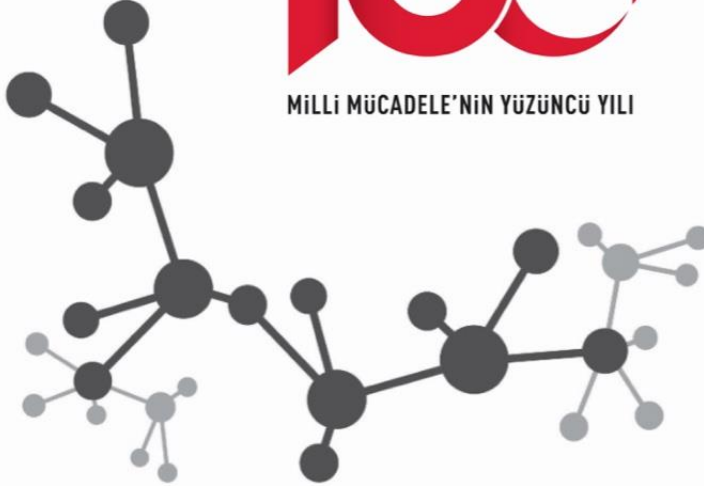
Journal of Natural and Applied Sciences

aralık



100

MİLLİ MÜCADELE'NİN YÜZÜNCÜ YILI



Cilt:27 Sayı: 03 Volume:27 Issue: 03 e-ISSN: 1308 6529

2023
ISPARTA



SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ

Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi

Cilt 27, Sayı 3, Yıl 2023

SÜLEYMAN DEMİREL UNIVERSITY

Journal of Natural and Applied Sciences

Volume 27, Issue 3, Year 2023

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

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

DERGİ HAKKINDA

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

ABOUT THE JOURNAL

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



SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ DERGİSİ

İMTİYAZ SAHİBİ

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

BAS EDİTÖR

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

EDİTÖRLER

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

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

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

DANIŞMA KURULU

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

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

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

TEKNİK EDİTÖRLER

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

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

Muhammet Çağrı Gencer,
Arş. Gör.
Süleyman Demirel Üniversitesi

BÜRO İŞLERİ

Uğur KARATEPE, Memur
Süleyman Demirel Üniversitesi

KAPAK TASARIM

Mehmet ÖZKARTAL, Prof. Dr.
Süleyman Demirel Üniversitesi

Mehmet Nuri KIVRAK

PRIVILEGE OWNER

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

EDITOR IN CHIEF

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

EDITORS

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

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

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

ADVISORY BOARD

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

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

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

TECHNICAL EDITORS

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

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

Muhammet Çağrı Gencer, Res. Asst.
Süleyman Demirel University

OFFICE WORK

Uğur KARATEPE, Staff
Süleyman Demirel University

COVER DESIGN

Mehmet ÖZKARTAL, Prof. Dr.
Süleyman Demirel University

Mehmet Nuri KIVRAK

Araştırma Makaleleri / Research Articles

| | |
|---|---------|
| Betonarme Binaların Mevcut Deprem Performansının Belirlenmesi İçin TBDY-2018' de Önerilen Doğrusal Hesap Yönteminin Uygulanması Üzerine Bir İrdeleme..... | 337-350 |
| <i>A Study on the Application of Linear Calculation Method Recommended in TBDY-2018 to Determine the Existing Earthquake Performance of Reinforced Concrete Buildings</i> | |
| Tansu GÖKÇE, Varol KARAYEL, Furkan ÇALIM, Şahabeddin RİFAİ, Fatih ŞAHİN, Ercan YÜKSEL | |
| Isparta Aya Yorgi (İshotya) Kilisesi'nin Mimari Özelliklerinin Analizi ve Koruma Önerisi | 351-365 |
| <i>Analysis of the Architectural Features of Isparta Aya Yorgi (Ishotya) Church and Proposal for Conservation</i> | |
| Yavuz Bahadır CERTEL, Mikail AÇIKEL | |
| Q- rung orthopair probabilistic hesitant fuzzy hybrid aggregating operators in multicriteria decision making problems..... | 366-373 |
| <i>Multi-kriterli karar verme problemleri içindeki Q- katsayılı ortopair olasılıksal karmaşık Bulanık Ağırlaştırılmış Hibrid operatörler</i> | |
| Şerif ÖZLÜ | |
| Eldeş (Ilgın/Konya) ve Çevresinin Etnobotanik Özellikleri | 374-386 |
| <i>Ethnobotanical Features of Eldeş (Ilgın/Konya) and Its Surroundings</i> | |
| Hakkı DEMİRELMA, Deniz ERSOY DEPRELİ | |
| Kükürt Polimer Betonların Basınç Dayanımı ve Elastisite Modülü İlişkinin Yönetmelikler Açısından Karşılaştırılması | 387-397 |
| <i>Comparison of Design Guidelines for Relationship of Sulfur Polymer Concrete Compressive Strength and Modulus of Elasticity</i> | |
| Onur ÖZTÜRK, Adnan ÖNER, Murat KARADENİZ | |
| Otidea mirabilis (Otideaceae): Türkiye Mikotası İçin Yeni Bir Kayıt | 398-400 |
| <i>Otidea mirabilis (Otideaceae): A New Record for the Turkish Mycota</i> | |
| Ertuğrul SESLİ | |
| Comparison of Classical and Robust Factor Analyses Methods..... | 401-410 |
| <i>Klasik ve Sağlam Faktör Analizleri Yöntemlerinin Karşılaştırılması</i> | |
| Barış ERGÜL, Zeki YILDIZ | |
| The Greatest Common Divisors and The Least Common Multiples in Neutrosophic Integers..... | 411-416 |
| <i>Nötrosöfik Tamsayılarda En Büyük Ortak Bölen ve En Küçük Ortak Kat</i> | |
| Yılmaz ÇEVEN, Özlem ÇETİN | |
| The Effects of Milk Feeding Frequency on the Growth and Behaviour of the Calves..... | 417-425 |
| <i>Süt İçirme Sıklığının Buzağuların Davranışları Üzerine Etkileri</i> | |
| İbrahim ÖZTOP, Serkan ÖZKAYA | |
| Kelebek Vana Tasarımlarında Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği Analizleri Kullanılarak Akış Katsayısı Özelliklerinin Artırılması | 426-433 |
| <i>Increasing Flow Coefficient Characteristics by Using Computational Fluid Dynamics Analysis in Butterfly Valve Designs</i> | |
| Erhan ÖZKAN | |
| Hazır Giyim Üretiminde Karşılaşılan Ölçü ve Simetri Hatalarının Önlenmesi..... | 434-440 |
| <i>Prevention of Measurement and Symmetry Errors Encountered in Clothing Production</i> | |
| Mehmet KÜÇÜK, Şafak BİROL | |
| A new alien generic and a species records for the flora of Türkiye: Soleirolia soleirolii (Requien) Dandy (Urticaceae)..... | 441-446 |
| <i>Türkiye Florası için yeni bir yabancı cins ve tür kaydı: Soleirolia soleirolii (Requien) Dandy (Urticaceae)</i> | |
| Barış BANİ, Hasan YAŞAYACAK | |
| Hidroelektrik Santrallerin Kabulüne Etki Eden Faktörlerin Araştırılması: Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Erciş Meslek Yüksekokulu Öğrencileri Örnekleme..... | 447-456 |
| <i>Investigation of Factors Affecting the Acceptance of Hydroelectric Power Plants: Van Yüzüncü Yıl University Ercis Vocational School Students Sample</i> | |
| Onur ÖZDEMİR, Özer ÖZAYDIN, Veysel YILMAZ | |

- An Investigation On the Use Of Geopolymer As An Alternative Adhesive For Aluminum Panels..... 457-463
Geopolimerin Alüminyum Panellere Alternatif Yapıştırıcı Olarak Kullanımı Üzerine Bir Araştırma
Cengiz BAGCI, Kardelen GUMUSLUOGLU, Semih KARAHAN
- Self-Driving and Merging Droplets on Wettability Gradient Surfaces: A Lattice Boltzmann Study 464-473
Islanabilirlik Gradyan Yüzeylerinde Kendi Kendini Yürüten ve Birleştiren Damlacıklar: Bir Lattice Boltzmann Çalışması
Mehmet Alptuğ BOYLU, Umut CEYHAN
- A Renewable Energy Application to the Electrochemical Reactor in the Treatment of Metal Cutting Wastewater: Double Criteria Optimization of Process 474-484
Metal Kesme Atıksularının Arıtılmasında Elektrokimyasal Reaktöre Yenilenebilir Enerji Uygulaması: Prosesin Çift Kriterli Optimizasyonu
Murat SOLAK, Tuğba ARSLAN, Ahmet AKBURAK
- Farklı Karbon Dolgular İçeren Kitosan Filmlerin Elektrik ve Optik Özelliklerinin İncelenmesi 485-494
Investigation of Electrical and Optical Properties of Chitosan Films Containing Different Carbon Fillers
Ömer Bahadır Mergen
- New Faunistic Data for Asilidae (Diptera) Fauna of Türkiye with Specimens Caught by Pitfall Traps..... 495-502
Türkiye Asilidae (Diptera) Faunası İçin Çukur Tuzaklarla Yakalanan Örneklerle Yeni Faunistik Veriler
Ebru Ceren FİDAN, Adem ASLAN, Davut Ümit ŞİRİN, Hakan ÇALIŞKAN
- Evaluation of the Effect of Plastic Bag Charging on Consumers' Behaviors by a Questionnaire on University Staff 503-526
Plastik Poşet Ücretlendirmesinin Tüketici Davranışları Üzerine Etkisinin Üniversite Personellerine Yönelik Anketle Değerlendirilmesi
Başak UÇMAN, Hüseyin YAZICI
- Jelatin ve Sodyum Aljinat Polimerleriyle Kenevir Yağının Mikroenkapsülasyonu ve Salınım Özelliklerinin İncelenmesi 527-532
Microencapsulation of Hemp Oil with Gelatin and Sodium Alginate Polymers and Investigation of Release Properties
Okan BAYRAM, Fethiye GÖDE

Betonarme Binaların Mevcut Deprem Performansının Belirlenmesi İçin TBDY-2018' de Önerilen Doğrusal Hesap Yönteminin Uygulanması Üzerine Bir İrdeleme

Tansu GÖKÇE*¹, Varol KARAYEL², Furkan ÇALIM³, Şahabeddin RİFAİ³, Fatih ŞAHİN³, Ercan YÜKSEL³

¹ Bristol Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, BS8 1TR, Bristol, Birleşik Krallık

² IF Mühendislik Müşavirlik Ltd. Şti. İstanbul

³ İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 34467, İstanbul

(Alınış / Received: 29.07.2022, Kabul / Accepted: 06.03.2023, Online Yayınlanma / Published Online: 25.12.2023)

Anahtar Kelimeler

Performans değerlendirme,
Doğrusal hesap yöntemi,
Doğrusal olmayan hesap
yöntemi,
Deprem güvenliği.

Öz: Betonarme binaların mevcut deprem güvenliklerinin belirlenmesi için 2018 Bina Deprem Yönetmeliğinde (TBDY-2018) doğrusal ve doğrusal olmayan hesap yöntemleri tanımlanmıştır. İlgili hesap yöntemleri çok sayıda binada uygulandıktan sonra elde edilen tecrübe üç katlı mevcut bir betonarme bina üzerinde sayısal olarak örneklenerek, doğrusal değerlendirme yönteminin çok mu konservatif olduğu sorusuna cevap aranmıştır. İncelenen betonarme binanın deprem performansı TBDY-2018 de önerilen doğrusal elastik yöntem uygulandığında, binanın 'Kontrollü Hasar (KH)' performans seviyesini sağlayamadığı sonucuna ulaşılmıştır. Buna karşılık yığılı plastik mafsallı kabulü ile 11 adet deprem kaydı kullanılarak zaman tanım alanında gerçekleştirilen doğrusal olmayan analizler ile yayılı şekildeğiştirme durumunu esas alan itme analizleri sonucunda binanın, 'Kontrollü Hasar (KH)' performans seviyesini sağladığı ortak sonucuna ulaşılmıştır. Değerlendirme farkının, TBDY-2018 Bölüm EK 15.A.2'de yer alan yerdeğiştirmiş eksen dönmesi alt başlığındaki (15A.1) denkleminde en alt kat kolonlarında alt uçlarında dönmenin "sıfır (0)" alınmasından kaynaklandığı görüşüne ulaşılmıştır.

A Study on the Application of Linear Calculation Method Recommended in TBDY-2018 to Determine the Existing Earthquake Performance of Reinforced Concrete Buildings

Keywords

Performance evaluation,
Linear static analysis,
Non-linear analysis,
Seismic safety.

Abstract: Linear and nonlinear analysis methods are defined in the 2018 Turkish Building Earthquake Code (TBDY-2018) to determine the existing earthquake safety of reinforced concrete (RC) buildings. After applying the relevant calculation methods in many buildings, the experience gained was numerically sampled on an existing three-story RC building, and an answer was sought as to whether the linear analysis method is too conservative. When the seismic performance of the RC building was applied using the linear analysis method suggested in TBDY-2018, it was concluded that the building could not provide the 'Controlled Damage (KH)' performance level. On the other hand, as a result of non-linear time history analyses using 11 earthquake records with the assumption of lumped plastic hinges and pushover analyses based on the spread plasticity, it was concluded that the building provides the 'Controlled Damage (KH)' performance level. It has been concluded that the difference in the evaluation is due to the fact that rotation is taken as "zero (0)" at the lower ends of the lowest story columns in the equation (15A.1) in the sub-title of displaced axis rotation in TBDY-2018 Section Annex 15.A.2.

1. Giriş

Betonarme binaların deprem performansının belirlenmesi için TBDY-2018 de doğrusal ve doğrusal

olmayan hesap yöntemleri tanımlanmıştır. Bu yöntemler pratikte çok sayıda bina üzerinde uygulandıktan sonra, doğrusal hesap yönteminin bazı binalarda ürettiği konservatif sonuçlar dikkat

*İlgili yazar: tansu.gokce@bristol.ac.uk

çekmiştir. Bu durumu örneklemek üzere mevcut bir betonarme binanın deprem performansı farklı yöntemler ile elde edilerek karşılaştırılmıştır.

Örnek olarak seçilen yapı sistemi, İstanbul Çekmeköy de bulunan bir fabrika tesisi içerisindeki ofis binasıdır. Zemin + 2 normal kat olmak üzere toplam 3 katlı olan betonarme binanın mevcut deprem performansı, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018 (TBDY-2018) [1] çerçevesinde doğrusal hesap yöntemi kullanılarak [2] nolu referanstaki teknik raporda tayin edilmiş ve istenilen “*Kontrollü Hasar -KH (Can Güvenliği-CG)*” performans seviyesini sağlamadığı belirtilmiştir.

Yapı sahibinin isteği doğrultusunda, makalenin ikinci yazarı tarafından binada inceleme yapılmıştır. Üç katlı betonarme binanın taşıyıcı sistem tertibi değerlendirildiğinde, etkiyen yatay yüklerin her iki doğrultuda tertiplenmiş 200×1000 mm perde sayılabilecek boyutlardaki kolonlar, 450×450 mm kolonlar ve merdiven kenarında yer alan ve iki doğrultuda da çalışan 2 adet betonarme perde tarafından taşındığı görülmüştür. Özellikle 200×1000 mm kesitli kolonların büyük çoğunluğunun taşıyıcı sistemin dört dış aksında rijit yönleri ile konumlanmış olması, iki ana doğrultudaki yatay rijitliğe katkılarının yanı sıra burulma kararlılığı bakımından da olumlu bulunmuştur.

Teknik raporda [2] 12.5 MPa olarak tayin edilen beton basınç dayanımı, üç katlı binanın kolonlarında ortaya çıkabilecek aksel basınç gerilmelerinin düşük seviyelerde oluşacağını göstermektedir. Boyuna ve enine donatıların S420 (Nervürlü) kalitesinde olması ve binanın konumlandığı sahaya ait yerel zemin sınıfının ZC olarak tayin edilmesi de diğer olumlu durumlardır.

Taşıyıcı sistem elemanlarında sargı donatısı sıklaştırması yapılmadığı için süneklik düzeyi yüksek olmamasına karşın; bina kat sayısının az olması, yatay yük taşıyıcı sistemin oluşturulmasında yukarıda belirtilen olumlu özellikler, yerinde tayin edilen malzeme özellikleri ve yerel zemin şartları ile bu makalenin yazarlarının depreme karşı yapı tasarımı konusundaki tecrübe ve bilgi birikimi birlikte değerlendirildiğinde, binanın TBDY-2018 de tanımlanan doğrusal hesap yöntemi kullanılarak yapılan performans analizinde ‘*Kontrollü Hasar-KH*’ performans seviyesini sağlayamamış olması şüphe ile karşılanmıştır.

Teknik rapor [2] dikkatlice incelendikten sonra TBDY-2018 Bölüm 15.5 ‘Doğrusal Hesap Yöntemi ile Binanın Mevcut Deprem Performansının Belirlenmesi’ başlığı altında tanımlı işlemlerin tam olarak uygulandığı; bina performans düzeyi ile ilgili olarak elde edilen sonuç üzerinde TBDY-2018 (15A.1) denkleminde en alt kat kolonlarının alt uçlarında dönmenin “sıfır (0)” alınmasının çok etkin olduğu görüşüne varılmıştır.

Bunun üzerine, örnek bina bu makale kapsamında TBDY-2018 de tanımlanan doğrusal ve doğrusal olmayan yöntemler kullanılarak değerlendirilmiş, ulaşılan sonuçlar birbirleriyle ve teknik rapor [2] ile karşılaştırılmıştır.

TBDY-2018 de yer alan (15A.1) denkleminin taşıyıcı sistemin en alt kat kolonlarına uygulanması durumunda kullanılabilecek bir öneri geliştirilmiştir. Önerinin uygulandığı durumda “doğrusal hesap yöntemiyle” belirlenen bina deprem performans büyüklükleri “doğrusal olmayan hesap yöntemi” sonuçları ile uyumlu hale gelmiştir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Mevcut Bina Taşıyıcı Sistem Özellikleri

2.1.1. Binadan bilgi toplanması

Bina için hazırlanan teknik raporda [2], yerinde ayrıntılı inceleme yapılarak taşıyıcı sistem rölevesinin çıkarıldığı belirtilmiştir. Taşıyıcı sistem rölevesinden ulaşılan tipik kat kalıp planı Şekil 1’de yer almaktadır.

Raporda, binanın her katından üçer adet olmak üzere toplam 9 adet karot alınarak, laboratuvarında test edildiği belirtilmiştir. Yapılan deneylerde karakteristik beton basınç dayanımı $f_{ck}=12.5$ MPa olarak elde edilmiştir. Betonarme elemanlarda yapılan pas payı sıyırması çalışmasında, boyuna ve enine (sargı) donatı cinsinin S420 betonarme çeliği (nervürlü) olarak saptandığı, kolonlardaki boyuna donatı oranının %1.2 seviyelerinde olduğu, etriyelerin ise 8 mm çaplı donatılardan 220-230 mm aralıklar ile tertiplendiği, kolon-kiriş birleşim bölgelerinde sıklaştırma yapılmadığının ortaya çıkarıldığı da raporda belirtilmiştir.

Binanın konumlandığı sahada, işveren tarafından önceki yıllarda hazırlatılan sondaja dayalı zemin raporundaki değerlerden, yerel zemin sınıfının TBDY-2018’deki ZC zemin sınıfına karşı geldiği bilgisi de raporda yer almaktadır.

Bu makale çalışması kapsamında bina üzerinde ilave ayrıntılı bir inceleme yapılmamış, yerinde bazı gözlemler gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen performans hesaplarında, teknik raporda [2] yer alan tüm veriler aynen kullanılmıştır. Binada ayrıntılı inceleme yapıldığı için [2], TBDY-2018 Tablo 15.1’de verilen *bilgi düzey katsayısı* 1.0 olarak alınmıştır.

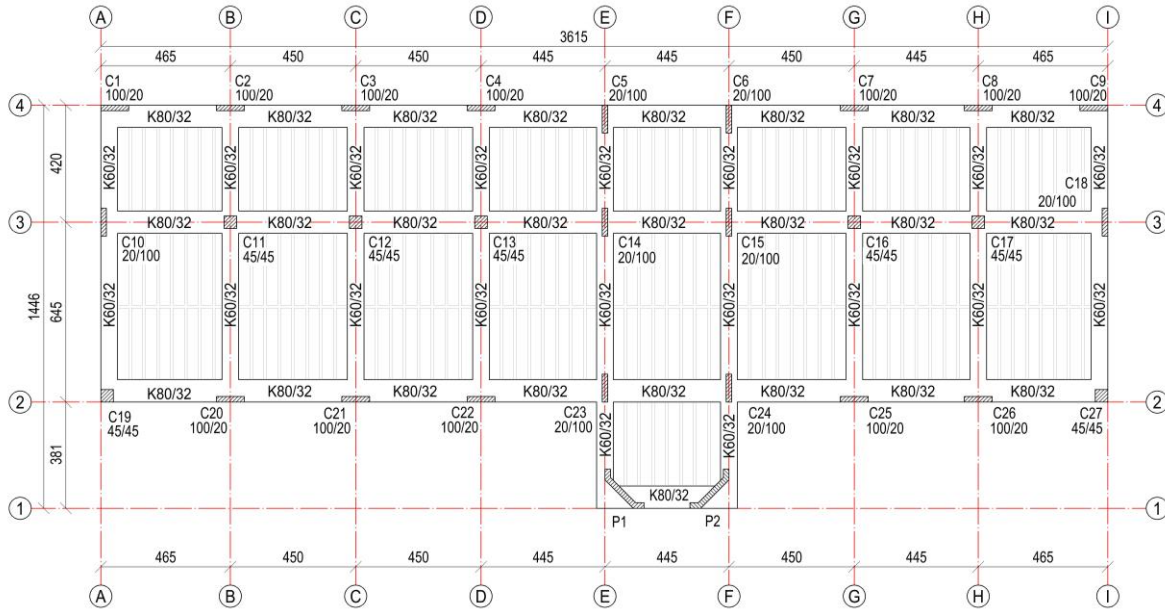
2.1.2. Taşıyıcı sistem özellikleri

Zemin + 2 normal kat olmak üzere toplam 3 katlı binanın tipik kalıp planı Şekil 1’de verilmiştir. Binada 320 mm yükseklikli asmolon döşeme sistemi kullanılmıştır. Yatay yükler, her iki doğrultuda da betonarme çerçeveler tarafından taşınmaktadır. Merdiven bölgesinde yer alan ve taşıyıcı sistemin her

iki doğrultudaki yatay rijitliğine katkı veren 2 adet betonarme perde eleman da mevcuttur, (P1 ve P2 perdeleri).

200×1000 mm kesitli kolonların (perdelerin) büyük çoğunluğunun binanın her iki doğrultusunda dış cephelerde kuvvetli yönleri ile konumlanmış olması, yatay rijitliği artırıcı etkisinin yanında taşıyıcı sistemin burulma kararlılığına olumlu etkisi bakımından da dikkat çekmektedir.

Üç katlı binanın açıklık değerleri, 200×1000 mm ve 450×450 mm kolon kesit boyutları ile $f_{ck}=12.5$ MPa olarak belirlenen beton basınç dayanımı birlikte değerlendirildiğinde, kolonlarda oluşan aksel gerilmelerin $0.20f_{ck}\sim 0.3\times f_{ck}$ gibi düşük seviyelerde kaldığı, bu durumun da kolon süneklikleri bakımından olumlu olduğu söylenebilir. Ayrıntılı inceleme raporunda [2], bodrum katı bulunmayan binanın yüzeysel temel sistemi ile ilgili bir bilgiye rastlanmamıştır.



Şekil 1. Zemin, 1. ve 2. normal kat tavanı kalıp planı.

2.2. Doğrusal hesap yöntemi ile betonarme binanın deprem performansının belirlenmesinde 2007 ve 2018 deprem yönetmelikleri arasındaki temel farklılıklar

Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkındaki Yönetmelik 2007 (DBYBHY - 2007)'de [3] doğrusal elastik hesap yöntemi ile bina deprem performansı tayini, Bölüm 7.5'e göre özetle; önce taşıyıcı sistem davranış katsayısı $R=1$ alınarak, üç boyutlu hesap modeli üzerinde gerçekleştirilecek doğrusal analizler (eşdeğer deprem yükü veya mod birleştirme yöntemi ile) ile elastik iç kuvvetler ve yerdeğiştirmeler elde edilmektedir. Eleman hasar sınırlarını tayin etmek üzere, önceden hesaplanan eleman taşıma kapasiteleri ile analizlerden elde edilen iç kuvvetler kullanılarak, eleman üzerindeki kesme kuvveti ve normal kuvvet seviyelerine de bağlı olarak etki/kapasite oranları (r_s) hesaplanmaktadır. Örnek olmak üzere, DBYBHY-2007 yönetmeliğinde kiriş ve kolonlar için verilen hasar sınırları sırasıyla Tablo 1 ve Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 1. Betonarme kirişler için hasar sınırlarını tanımlayan etki/kapasite oranları (r_s) [3].

| Sünek Kirişler | | | Hasar Sınırı | | |
|-------------------------------|-----------|-----------------------------|--------------|----|----|
| $\frac{\rho - \rho'}{\rho_b}$ | Sargılama | $\frac{V_e}{b_w d f_{ctm}}$ | MN | GV | GÇ |

| | | | | | |
|------------|-----|-------------|-----|-----|----|
| ≤ 0.0 | Var | ≤ 0.65 | 3 | 7 | 10 |
| ≤ 0.0 | Var | ≥ 1.30 | 2.5 | 5 | 8 |
| ≥ 0.5 | Var | ≤ 0.65 | 3 | 5 | 7 |
| ≥ 0.5 | Var | ≥ 1.30 | 2.5 | 4 | 5 |
| ≤ 0.0 | Yok | ≤ 0.65 | 2.5 | 4 | 6 |
| ≤ 0.0 | Yok | ≥ 1.30 | 2 | 3 | 5 |
| ≥ 0.5 | Yok | ≤ 0.65 | 2 | 3 | 5 |
| ≥ 0.5 | Yok | ≥ 1.30 | 1.5 | 2.5 | 4 |

Tablo 2. Betonarme kolonlar için hasar sınırlarını tanımlayan etki/kapasite oranları (r_s) [3].

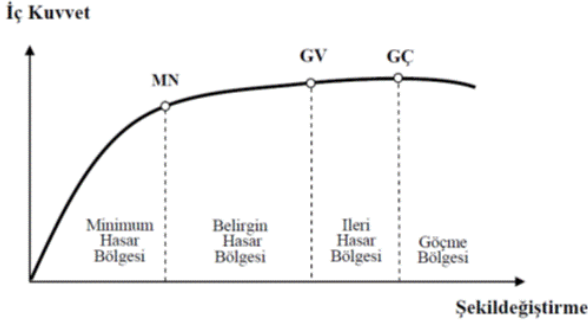
| Sünek Kirişler | | | Hasar Sınırı | | |
|--------------------------|-----------|-----------------------------|--------------|-----|-----|
| $\frac{N_k}{A_c f_{cm}}$ | Sargılama | $\frac{V_e}{b_w d f_{ctm}}$ | MN | GV | GÇ |
| ≤ 0.1 | Var | ≤ 0.65 | 3 | 6 | 8 |
| ≤ 0.1 | Var | ≥ 1.30 | 2.5 | 5 | 6 |
| ≥ 0.4 ve ≤ 0.7 | Var | ≤ 0.65 | 2 | 4 | 6 |
| ≥ 0.4 ve ≤ 0.7 | Var | ≥ 1.30 | 1.5 | 2.5 | 3.5 |
| ≤ 0.1 | Yok | ≤ 0.65 | 2 | 3.5 | 5 |
| ≤ 0.1 | Yok | ≥ 1.30 | 1.5 | 2.5 | 3.5 |
| ≥ 0.4 ve ≤ 0.7 | Yok | ≤ 0.65 | 1.5 | 2 | 3 |
| ≥ 0.4 ve ≤ 0.7 | Yok | ≥ 1.30 | 1 | 1.5 | 2 |
| ≥ 0.7 | - | - | 1 | 1 | 1 |

Hasar sınırlarını kontrol eden diğer bir büyüklük de kat yerdeğiştirmelerinden elde edilen görelî kat ötelemeleri oranları olup, bu oranlara karşı gelen hasar sınırları Tablo 3'te yer almaktadır.

Tablo 3. Göreli kat öteleme sınırları [3].

| Görelî Kat Ötelenmesi Oranı | Hasar Sınırı | | |
|--------------------------------|--------------|------|------|
| | MN | GV | GÇ |
| δ_{ji} / h_{ji} | 0.01 | 0.03 | 0.04 |

Son olarak, Bölüm 7.7'de binanın mevcut deprem performansının tayin edilmesine yönelik olarak kat bazında kolon ve kiriş elemanlarını hasar sınır düzeylerine ait yüzde olarak verilen oranlar kullanılarak, binanın mevcut deprem performansı düzeyi ortaya çıkarılmaktadır. İlgili performans düzeyleri Şekil 2' de gösterilmektedir.

**Şekil 2.** Bina performans düzeyi [3].

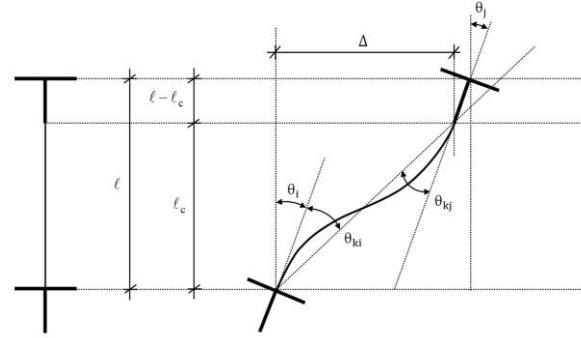
TBDY-2018'de doğrusal elastik hesap yöntemi ile bina deprem performansının tayininde Bölüm 15.5 'e göre özetle; 2008 yönetmeliğine benzer olarak önce taşıyıcı sistem davranış katsayısı $R=1$ alınarak, üç boyutlu hesap modeli üzerinde gerçekleştirilecek doğrusal analizler (eşdeğer deprem yükü veya mod birleştirme yöntemi ile) ile elastik iç kuvvetler, yer değiştirmeler ve düğüm noktası dönmeleri elde edilmektedir. Eleman hasar sınırlarını tayin etmek üzere 2007 yönetmeliğinde kullanılan iç kuvvet etki/kapasite oranları değil, düğüm noktası dönmeleri kullanılmaktadır. TBDY-2018'in doğrusal elastik yöntemle deprem performansının tayini bölümünde getirilen en önemli değişiklik, düğüm noktaları dönmelerinden plastik dönmelerin elde edilmesi, bu dönmelerin kesit analizleri ile elde edilen kesit plastik dönme kapasitesi ile oranlanarak elde edilen büyüklüklerin plastik dönme sınır değerleri ile karşılaştırılarak kesit hasar sınırlarının ortaya konmasıdır. İzlenen yol esasen şekildeğiştirmeye göre tasarım prensibine karşı gelmektedir. Kirişler için kesit uç dönme değeri doğrudan toplam kesit dönmesi (θ_{ki}) olarak kabul edilirken, kolonlar için yeni bir tanım olarak yerdeğiştirmiş eksen dönmesi ortaya konmakta ve kolon toplam uç dönmeleri olarak yerdeğiştirmiş eksen dönmesi kullanılmaktadır, Şekil 3. Kolonlar için yerdeğiştirmiş eksen dönmesi Denklem 1 ile elde edilmektedir.

$$\theta_{ki} = \frac{\Delta}{\ell_c} - \theta_i \quad (1)$$

Kesit toplam dönme değeri, kesitin akma dönmesi ile plastik dönmelerinin toplamı olarak Denklem 2 ile verilmektedir. Kesit akma dönmesi, kesit analizi ile

hesaplanabileceği gibi yönetmeliğin ilgili bölümünde pratik olarak kullanılacak eşitliklere yer verilmektedir. Denklem 2'de kesit akma dönmesi değeri yerine koyulduğunda kesitte oluşacak plastik dönme miktarı (talebi) hesaplanmaktadır.

$$\theta_{ki} = \theta_{yi} + \theta_{pi} \quad (2)$$

**Şekil 3.** Yerdeğiştirmiş eksen ve düğüm noktası dönmeleri ile kat öteleme ilişkisi, [1].

Analizler sonucunda elde edilen kesit plastik dönme talepleri, plastik dönme kapasitesi için Denklem 3 ile verilen sınır değer ile karşılaştırılarak eleman hasar sınırları elde edilmektedir. Kontrollü Hasar (KH) için Denklem 3 ile elde edilen değer 0.75 katının aşılması gerekmektedir, Denklem 4. Sınırlı Hasar (SH) için kesitte plastik dönme talebinin oluşmaması istenmektedir, Denklem 5.

$$\theta_p^{(G\ddot{O})} = \frac{2}{3} \left[(\phi_u - \phi_y) L_p \left(1 - 0.5 \frac{L_p}{L_s} \right) + 4.5 \phi_u d_b \right] \quad (3)$$

$$\theta_p^{(KH)} = 0.75 \times \theta_p^{(G\ddot{O})} \quad (4)$$

$$\theta_p^{(SH)} = 0 \quad (5)$$

Beton ve çelik şekildeğiştirmelerine (ε_c ; ε_s) ait sınır değerler Denklem 6, 7 ve 8 'de verilmektedir.

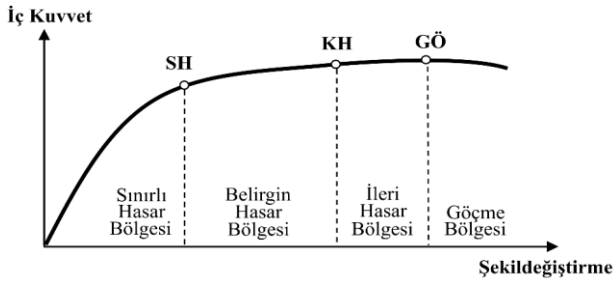
$$\varepsilon_c^{(G\ddot{O})} = 0.0035 + 0.04 \sqrt{\omega_{we}} \leq 0.018 \quad ; \quad (6)$$

$$\varepsilon_s^{(G\ddot{O})} = 0.4 \varepsilon_{su}$$

$$\varepsilon_c^{(KH)} = 0.75 \varepsilon_c^{(G\ddot{O})} \quad ; \quad \varepsilon_s^{(KH)} = 0.75 \varepsilon_s^{(G\ddot{O})} \quad (7)$$

$$\varepsilon_c^{(SH)} = 0.0025 \quad ; \quad \varepsilon_s^{(KH)} = 0.0075 \quad (8)$$

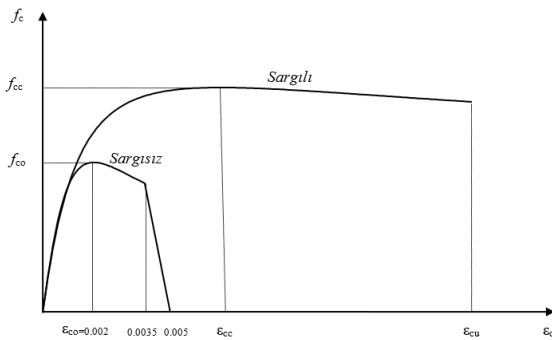
Bölüm 15.8' de, kat bazında kolon ve kiriş elemanların hasar sınır düzeylerine ait yüzde olarak verilen oranlar kullanılarak, binanın mevcut deprem performans düzeyi ortaya konmaktadır. İlgili performans düzeyleri Şekil 4' de tanımlandığı gibi sıralanmaktadır.



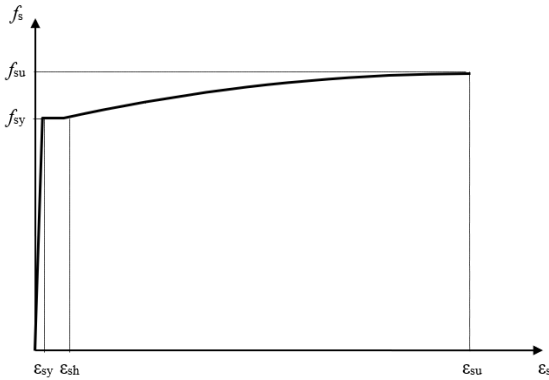
Şekil 4. Bina performans düzeyi [1].

2.3. Şekil değiştirme esaslı doğrusal ve doğrusal olmayan analizlere esas olan ortak malzeme modelleri

Şekil değiştirme esaslı doğrusal ve doğrusal olmayan analizlere esas olacak beton ve çelik modelleri sırasıyla, Şekil 5 ve Şekil 6' da verilmektedir.



Şekil 5. Sargılı ve sargısız beton modelleri [1].



Şekil 6. Betonarme çelik modeli [1].

İncelenen sistemde, Tablo 4'ün ikinci satırında yer alan S420 kalitesindeki çelik bilgileri kullanılmıştır.

Tablo 4. Donatı çeliklerine ait bilgi [1].

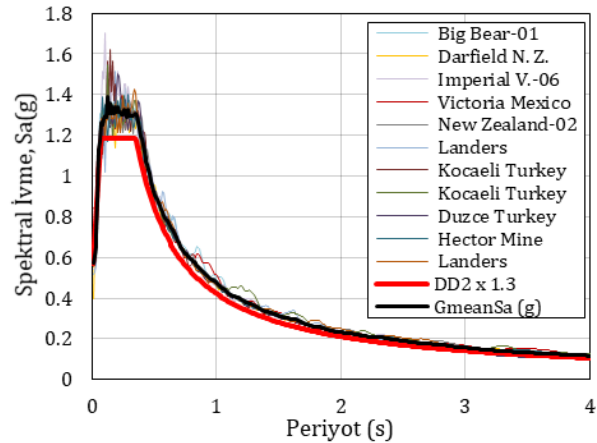
| Kalite | f_{sy} (Mpa) | ϵ_{sy} | ϵ_{sh} | ϵ_{su} | f_{su} / f_{sy} |
|--------|-------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-------------------|
| S220 | 220 | 0.0011 | 0.011 | 0.12 | 1.20 |
| S420 | 420 | 0.0021 | 0.008 | 0.08 | 1.15 - 1.35 |
| B420C | 420 | 0.0021 | 0.008 | 0.08 | 1.15 - 1.35 |
| B500C | 500 | 0.0025 | 0.008 | 0.08 | 1.15 - 1.35 |

2.4. Gerçekleştirilen analizler

Yapının doğrusal ve doğrusal olmayan analizleri üç farklı yazılım ile yapılmıştır. Bunlardan ilki, akademik amaçlı hazırlanmış olup geliştirme süreci devam eden ve doğrusal yaklaşımla tamamen yönetmelik koşullarına göre analiz ve değerlendirme yapabilen STATERA [4] isimli yazılımdır. İkincisi, "kesin çözüm" olarak kabul edilen ve detaylı üç boyutlu modelleme ile doğrusal olmayan analizin yapıldığı ETABS yazılımıdır [5]. Üçüncü yazılım ise düzlem sistemlerin doğrusal ve doğrusal olmayan analizlerini yapabilen DC2B yazılımıdır [6].

2.4.1. Deprem ivme kayıtlarının seçimi ve ölçeklendirilmesi

Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizlerde kullanılan deprem yer hareketlerinin seçimi, TBDY-2018 uyarınca, mevcut yapının bulunduğu bölgenin depremselliği, zemin sınıfı, faylanma mekanizmaları ve fay sistemlerine olan mesafeleri dikkate alınarak yapılmıştır. Seçilen 11 adet deprem ivme kaydının her iki yatay bileşeni hedef spektrumun 1.3 katı ile spektral uyum sağlanacak şekilde dönüştürülmüştür (Şekil 7).



Şekil 7. Ölçeklendirilmiş deprem kayıtlarının bileşke spektrumları, bileşke spektrumların geometrik ortalamaları

2.4.2. Kesit Analizleri

Kolonlarda aksel kuvvetin moment ve eğrilığe olan etkisini dikkate almak için, aksel kuvvetler G+nQ yük birleşiminden elde edilmiştir. İlgili moment-eğrilik değerleri SAP2000 yazılımı [7] *Section Designer Modülü* kullanılarak elde edilmiştir. Beton için Mander vd. [8] makalesi esaslarını içeren ve TBDY-2018 Ek 5A'da tanımlanan (Şekil 5) sargılı ve sargısız beton gerilme-şekil değiştirme bağıntıları kullanılmıştır. "Göçmenin Önlenmesi" performans düzeyi için beton birim kılcalmasının hesabında TBDY-2018'da verilen Denk. (5.4) uygulanmıştır. 200×1000 mm kesitli kolonlarda, mevcut zayıf sargının beton davranış modeline etkisi olmadığı görülmüştür.

Tipik kesitlere ait hasar sınırları, TBDY-2018’de farklı performans düzeyleri için tanımlanan denklemler (Denklem 3, 4, 5) kullanılarak hesaplanmıştır.

2.4.3. Yapının üç boyutlu doğrusal analizi

Örnek binanın performans hesabına ait ayrıntılı bilgi [2] de yer almaktadır. Bu makalede STATERA [4] yazılımı ile benzer performans sonuçları elde edilmiştir.

STATERA, betonarme üç boyutlu çerçeve türü sistemlerin TBDY-2018’de tanımlanan doğrusal hesap yöntemi kullanılarak deprem performanslarını belirlemek üzere oluşturulmuş bir yazılımdır. Betonarme taşıyıcı sistemin tüm bileşenleri “çubuk elemanlar” ile idealleştirilmiştir. Etkin rijitlik hesabında kullanılan çarpanlar kolonlarda 0.60, kirişlerde 0.35 olarak seçilmiştir. Kat döşemeleri için rijit diyafram kabulü yapılmıştır.

Mod birleştirme yöntemi ile kat hizalarına etkileyen deprem yükleri hesaplanmış ve kat kütle merkezlerine etkilmiştir. Deprem yükleri Tablo 5’te verilmiştir.

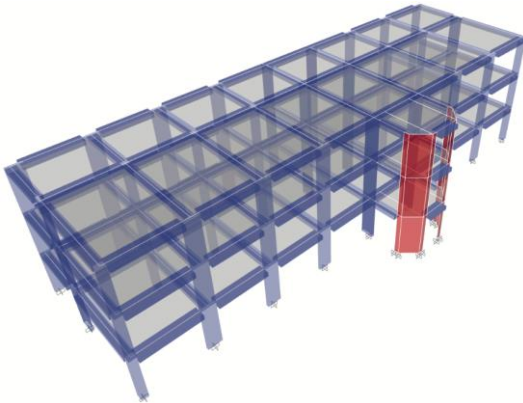
Tablo 5. Katlara etkileyen deprem yükleri.

| Kat | Kat Kütlesi (ton) | Kat Kuvvetleri [kN] | |
|----------------------|-------------------|---------------------|---------------|
| | | X doğrultusu | Y doğrultusu |
| 2. Normal | 507.60 | 3725.22 | 2912.629 |
| 1. Normal | 534.35 | 2122.09 | 1390.515 |
| Zemin | 534.76 | 1152.52 | 968.358 |
| V_t | | 6999.83 | 5271.5 |

Çubuk uçlarına plastik mafsallar atanmış ve plastik dönme sınırları tanımlanmıştır. Elemanların akma dönmeleri $\theta_y = \Phi_y \times L_s / 3$ bağıntısı ile hesaplanırken kesme açıklığı $L_s = L/2$ olarak alınmıştır.

2.4.4. Yapının üç boyutlu doğrusal olmayan analizi

Yapının doğrusal olmayan üç boyutlu hesap modeli ETABS yazılımı [5] kullanılarak yapılmıştır, Şekil 8.



Şekil 8. Yapının üç boyutlu ETABS modeli.

Çubukların doğrusal olmayan davranışı yığılıl plastisite ile temsil edilmiştir. Çubuk elemanların uçlarında plastik mafsall bölgeleri tanımlanmış, bunların arasında kalan bölge ise doğrusal olarak modellenmiş ve etkin kesit rijitlikleri Denklem 9a’ya göre belirlenmiştir. Hesaplarda kullanılan M_y akma momenti ve ϕ_y akma eğriliği, dikdörtgen kesitli kolonların 0° ve 90° doğrultuları için (G+nQ) yük durumunda oluşan aksel yük değerleri esas alınarak hesaplanmıştır. Plastik mafsall akma dönmesi, θ_y , Denklem 9b’ye göre belirlenmiştir.

$$(EI)_e = \frac{M_y L_s}{\theta_y} \frac{L_s}{3} \quad (9a)$$

$$\theta_y = \frac{\phi_y L_s}{3} + 0.0015 \eta \left(1 + 1.5 \frac{h}{L_s} \right) + \frac{\phi_y d_b f_{ye}}{8 \sqrt{f_{ce}}} \quad (9b)$$

Betonarme perdeleri temsil eden kabuk sonlu elemanlar üzerinde tüm moment ve kuvvetler dikkate alınırken, döşemeleri temsil eden membran sonlu elemanlar üzerinde sadece düzlemine dik momentler ve düzlemi içindeki kuvvetler kullanılmıştır. Perde ve döşeme elemanlarının etkin kesit rijitliği çarpanları TBDY-2018 Tablo 4.2 doğrultusunda tanımlanmıştır, Tablo 6.

Tablo 6. Betonarme taşıyıcı sistem etkin kesit rijitliği çarpanları.

| Betonarme Taşıyıcı Sistem Elemanı | Etkin Kesit Rijitliği Çarpanı | |
|-------------------------------------|-------------------------------|--------------|
| Perde - Döşeme (Düzlem İçi) | Eksenel | Kayma |
| Perde | 0.50 | 0.50 |
| Bodrum perdesi | 0.80 | 0.50 |
| Döşeme | 0.25 | 0.25 |
| Perde - Döşeme (Düzlem Dışı) | Eğilme | Kesme |
| Perde | 0.25 | 1.00 |
| Bodrum perdesi | 0.50 | 1.00 |
| Döşeme | 0.25 | 1.00 |

Zaman tanım alanında yapılan analizlerde kullanılan "Direct Integration" çözüm yönteminde sönüm oranı %5 olarak kabul edilmiş ve tanımlanmasında kütle ve rijitlik orantılı "Rayleigh Damping" kullanılmıştır.

2.4.5. Yapının iki boyutlu doğrusal olmayan analizi

DC2B [6], düzlem çerçevelerin doğrusal olmayan analizini yayılı şekildeğiştirme yaklaşımını esas alarak yapan bir yazılımdır. İncelenen üç boyutlu sistemin kısa ve uzun doğrultularında yer alan "A aksı" ve "4 aksı" çerçevelerinin doğrusal olmayan analizi DC2B yazılımı ile yapılmıştır. Analizlerin üç boyutlu yapı davranışını yeterince temsil edebilmesi için, düzlem çerçevelere aktarılan yük ve kütle hesapları dikkatlice yapılmıştır.

Doğrusal olmayan analizde, her çubuk sanal 100 dilime bölünmüştür. Dilimlerin doğrusal olmayan

davranışı, kesit analizleri ile elde edilen moment-eğrilik ilişkileri üzerinden tanımlanmaktadır.

Üç boyutlu doğrusal olmayan analiz sonuçlarıyla doğru karşılaştırma yapabilmek üzere, deprem kayıtlarının her biri için “kat kesme kuvveti / taban kesme kuvveti oranları” hesaplanmış ve 11 deprem kaydı için belirlenen büyüklüklerin ortalaması alınmıştır. Bu ortalama büyüklükler, DC2B yazılımı ile yapılan itme analizinde “kat yatay kuvvet oranları” olarak kullanılmıştır. Benzer şekilde, 11 deprem kaydı için üç boyutlu hesap modeli kullanılarak elde edilen tepe yerdeğiştirme istemlerinin ortalaması alınmış; “A aksı” ve “4 aksı” çerçeveleri için yapılan doğrusal olmayan analizlerde kullanılan “hedef yerdeğiştirmeler” elde edilmiştir.

3. Bulgular

3.1. Analizler sonuçlarının karşılaştırılması

3.1.1. Serbest titreşim analizi sonuçları

Etkin kesit rijitliği çarpanlarının kullanıldığı doğrusal hesap modeli ile yapılan serbest titreşim analizinde elde edilen ilk beş titreşim moduna ait periyot ve kütle katılım oranları Tablo 7’de verilmiştir. Sistemin doğrusal olmayan analiz modelinde elde edilen ilk beş moduna ait periyot ve kütle katılım oranları Tablo 8’de, mod şekilleri de Tablo 9’da gösterilmiştir. Burulmanın etkin mod olduğu görülmektedir.

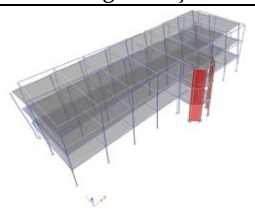
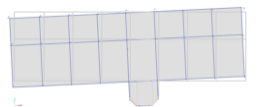
Tablo 7. Doğrusal analizlerde elde edilen modal özellikler.

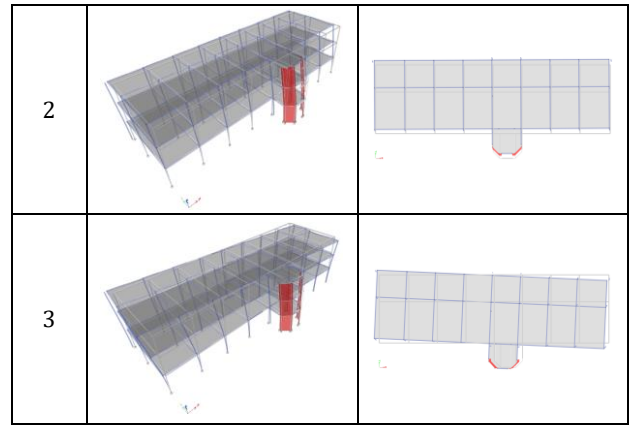
| Mod | Periyot T (s) | Kütle Katılım Oranı | | |
|-----|---------------|---------------------|----------------|----------------|
| | | U _x | U _y | R _z |
| 1 | 0.817 | 0.0324 | 0.4860 | 0.2608 |
| 2 | 0.753 | 0.1078 | 0.2756 | 0.3952 |
| 3 | 0.648 | 0.6384 | 0.0036 | 0.1271 |
| 4 | 0.204 | 0.0226 | 0.0207 | 0.1167 |
| 5 | 0.170 | 0.0119 | 0.1588 | 0.0110 |

Tablo 8. Doğrusal olmayan analizlerde elde edilen modal özellikler.

| Mod | Periyot T (s) | Kütle Katılım Oranı | | |
|-----|---------------|---------------------|----------------|----------------|
| | | U _x | U _y | R _z |
| 1 | 1.676 | 0.3327 | 0.0341 | 0.4420 |
| 2 | 1.133 | 0.0373 | 0.7076 | 0.0057 |
| 3 | 0.817 | 0.4100 | 0.0082 | 0.3430 |
| 4 | 0.456 | 0.0565 | 0.0062 | 0.0811 |
| 5 | 0.263 | 0.0368 | 0.1512 | 0.0051 |

Tablo 9. Yapının ilk üç mod şekli.

| Mod | Mod Şekli | |
|-----|---|---|
| | 3D görünüş | Plan görüntüsü |
| 1 |  |  |



3.1.2. Görel kat ötelemesi kontrolleri

İki ana doğrultuda görel kat ötelemesi kontrolleri yapılmıştır. Ardışık iki kat arasındaki yerdeğiştirme farkını ifade eden azaltılmış görel kat ötelemesi (Δ_i) ve görel kat ötelemesi oranı (Δ_i/h_i) Denklem 10’a göre hesaplanmıştır. Üç farklı yazılım ile gerçekleştirilen analizlerde, 11 deprem kaydının ortalaması yatay yük dağılımı için elde edilen Δ_i/h_i oranları Tablo 10’da verilmiştir.

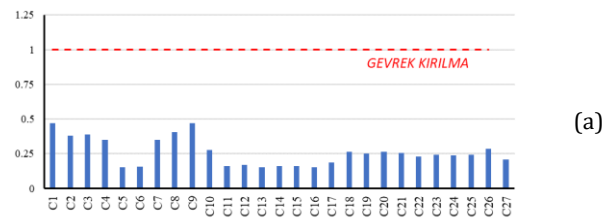
$$\Delta_i = u_i - u_{i-1} \quad (10)$$

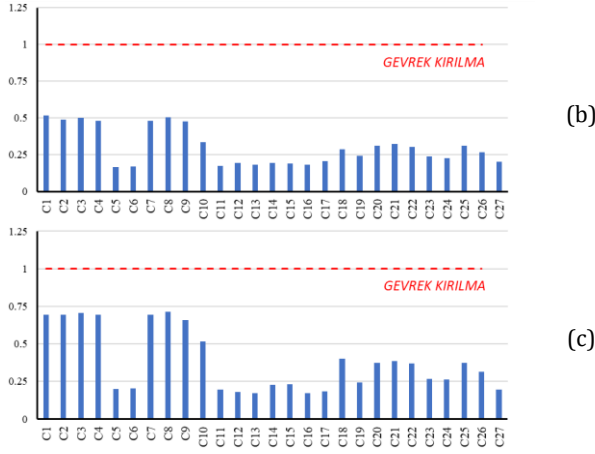
Tablo 10. Görel kat ötelemesi oranları (Δ_i/h_i).

| Kat | STATERA | | ETABS | | DC2B | |
|-----|---------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | X | Y | X | Y | X | Y |
| 3 | 0.0097 | 0.0111 | 0.0115 | 0.0160 | 0.0125 | 0.0154 |
| 2 | 0.0100 | 0.0105 | 0.0125 | 0.0154 | 0.0119 | 0.0145 |
| 1 | 0.0053 | 0.0053 | 0.0074 | 0.0079 | 0.0067 | 0.0085 |

3.1.3. Kolon kesme güvenliği kontrolleri

11 deprem kaydı için yapılan doğrusal olmayan analiz sonucunda taşıyıcı sistemin kolonlarına etkiyen en büyük kesme kuvvetleri, ilgili kolon kapasiteleri ile karşılaştırılmıştır. Taşıyıcı sistemin kolonlarında her deprem kaydı için ortaya çıkan en büyük kesme kuvvetlerinin ortalaması; beton basınç dayanımı 12.5 MPa, donatı akma dayanımı 420 MPa, enine donatı $\phi 8/220$ mm alınarak hesaplanan kolon kesme kapasitesine oranlanarak Şekil 9 da verilen çubuk diyagram elde edilmiştir. Buna göre binadaki tüm kolonların kesme güvenliği kontrollerini sağladığı gözlenmiştir.





Şekil 9. Kolon kesme güvenliği kontrolü: (a) 2. normal kat, (b) 1. normal kat, (c) Zemin kat

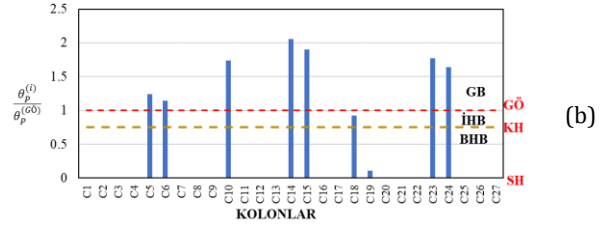
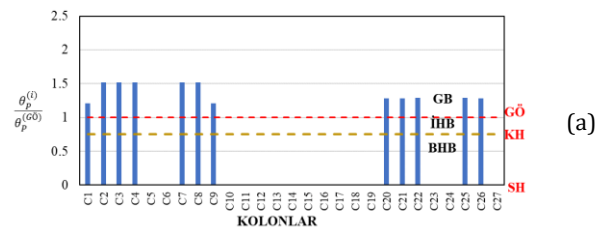
3.1.4. Kolon hasar dağılımları

Çalışmanın amacının; TBDY-2018 Bölüm 15.5 de verilen doğrusal hesap yöntemleri ile deprem hesabında, zemin kat kolonlarındaki hasar durumunun belirlenmesinde alt uçlarında dönmelerin 'sıfır (0)' alınması yaklaşımının irdelenmesi olduğu için, hasar dağılımları değerlendirmesinde kirişler kapsam dışı bırakılmış sadece kolonlara yönelik değerlendirme yapılmıştır.

3.1.4.1. Üç boyutlu doğrusal analiz

Performans analizinde deprem etkisi ile düşey yüklerin birlikte dikkate alınabilmesi için iki birleşik yük durumu tanımlanmıştır. Bunlar G+0,3Q+EX ve G+0,3Q+EY dir. Her yük birleşimi için, kolonun iki eğilme ekseninde uçlarında oluşan yatay ötelenmeler (Δ_x ve Δ_y), yerdeğiştirmiş eksen dönmeleri (θ_{ki} ve θ_{kj}), plastik dönmeler (θ_{pi} ve θ_{pj}) ve GÖ performans düzeyi için plastik dönme ($\theta_{p(GÖ-CP)}$) değerleri hesaplanmıştır. Her katta kolonların hasar düzeyleri (en büyük plastik dönme talebinin plastik dönme sınırına oranı) çubuk diyagram şeklinde elde edilmiştir. Şekil 10'da iki farklı yük birleşimi için zemin kat kolonlarında oluşan hasar düzeyleri gösterilmektedir.

STATERA yazılımı ile yönetmelik koşullarına göre yapılan doğrusal analiz ve değerlendirme sonucunda; yapının zemin katında çok sayıda kolonda plastik dönme sınırlarının aşılması göçme bölgesine geçildiği görülmüştür.



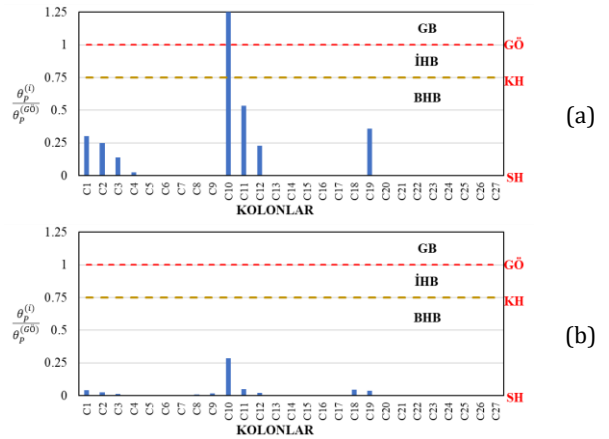
Şekil 10. STATERA - Zemin kat kolonlarının hasar dağılımı: (a) G+0,3Q+EX yük birleşimi, (b) G+0,3Q+EY yük birleşimi.

3.1.4.2. Üç boyutlu doğrusal olmayan analiz

ETABS yazılımı kullanılarak 11 deprem kaydı için zaman tanım alanında yapılan doğrusal olmayan analizlerde elde edilen plastik mafsal dönmeleri, hasar sınırları ile karşılaştırılmıştır.

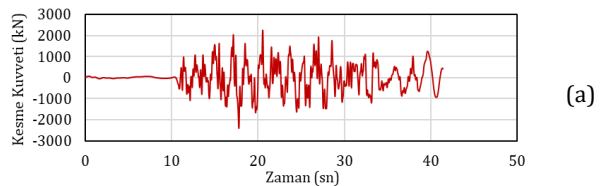
Doğrusal analiz sonuçlarından farklı olarak; 11 adet deprem kaydından sadece biri için zemin kattaki C10 kolonunda (3-A aksları) *Göçmenin Önlenmesi* (GÖ) hasar sınırının aşıldığı belirlenmiştir, Şekil 11a.

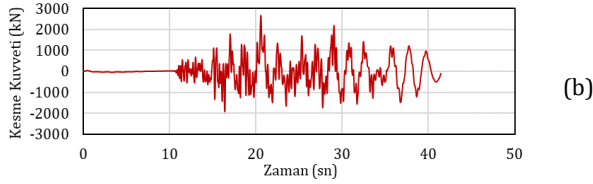
Onbir adet deprem kaydı sonuçlarının ortalamasına göre yapılan değerlendirmede, 9 adet kolonun inelastik bölgeye geçtiği ve *Sınırlı Hasar* (SH) bölgesinde bulunduğu tespit edilmiştir, Şekil 11b.



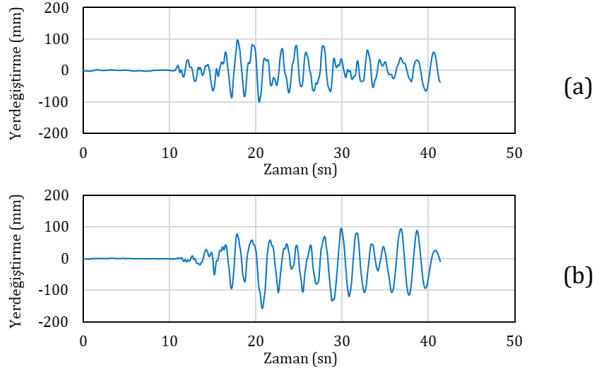
Şekil 11. ETABS - Zemin kat kolonlarının hasar dağılımı: (a) En büyük deprem, (b) 11 deprem kaydının ortalaması.

Kolonlar üzerinde en büyük hasara sebep olan 1999 Düzce deprem kaydı etkisinde meydana gelen taban kesme kuvveti zaman serisi Şekil 12'de, en üst kat kütle merkezinin yerdeğiştirmesinin zamana bağlı değişimi de Şekil 13'te iki ana doğrultu için verilmiştir.





Şekil 12. 1999 Düzce deprem kaydı etkisinde oluşan taban kesme kuvvetleri zaman serisi: (a) X doğrultusu, (b) Y doğrultusu.



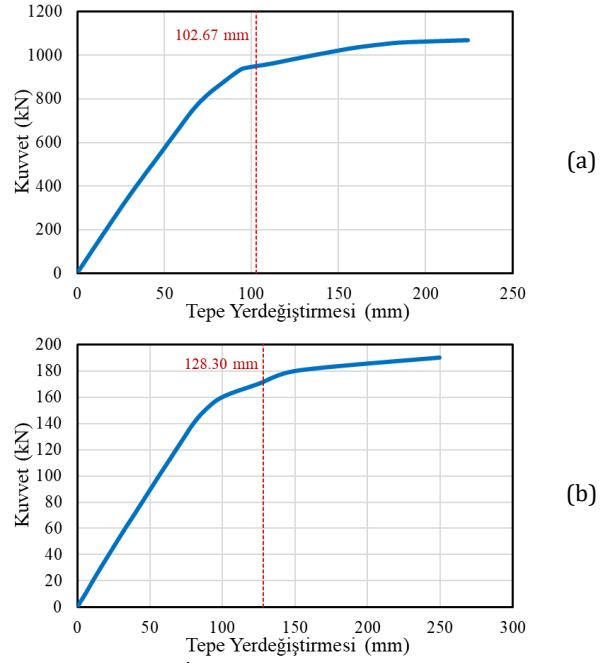
Şekil 13. 1999 Düzce deprem kaydı etkisinde oluşan tepe yer değıştirmesi zaman serisi: (a) X doğrultusu, (b) Y doğrultusu.

3.1.4.3. İki boyutlu doğrusal olmayan analiz

ETABS yazılımıyla gerçekleştirilen analizlerde 11 adet deprem kaydı için elde edilen kat kesme kuvvetleri oranlarının ortalaması, yatay yük dağıtım oranı olarak kullanılarak DC2B yazılımı ile itme analizleri yapılmıştır. Binanın iki ana doğrultusunda elde edilen *taban kesme kuvveti - tepe yatay yer değıştirmesi* ilişkileri Şekil 14 de verilmiştir.

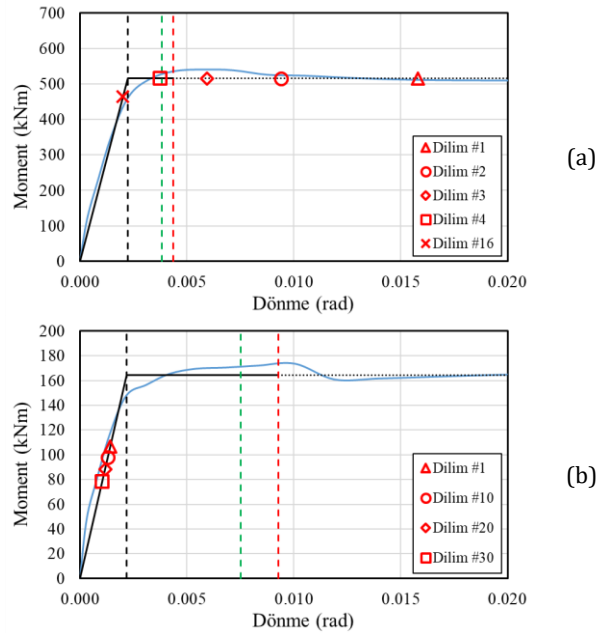
Onbir adet depremin ortalama tepe yer değıştirmesi istemine karşı gelen yer değıştirme düzeyinde (Şekil 14'te kırmızı çizgi ile gösterilmiştir) çubuk uç kuvvetleri ve eğrilik değeri kaydedilmiştir. Elde edilen sonuçların diğer yazılımların sonuçlarıyla karşılaştırılabilmesi için, plastik mafsal boyu olarak $L_p=d/2$ yaklaşımı kullanılarak, DC2B tarafından hesaplanan eğrilik değeri üzerinden dönme değeri geçilmiştir.

Şekil 14 de iki ana doğrultu için işaret edilen ortalama yer değıştirme düzeyinde, sistemin çubuk elemanları üzerinde tanımlı 100'er adet sanal dilimde ortaya çıkan eğriliklerden dönmelere geçilmiş ve sınır durumlar ile karşılaştırılmıştır.



Şekil 14. DC2B - İtme analizi sonuçları: (a) Aks 4, uzun doğrultu, (b) Aks A, kısa doğrultu.

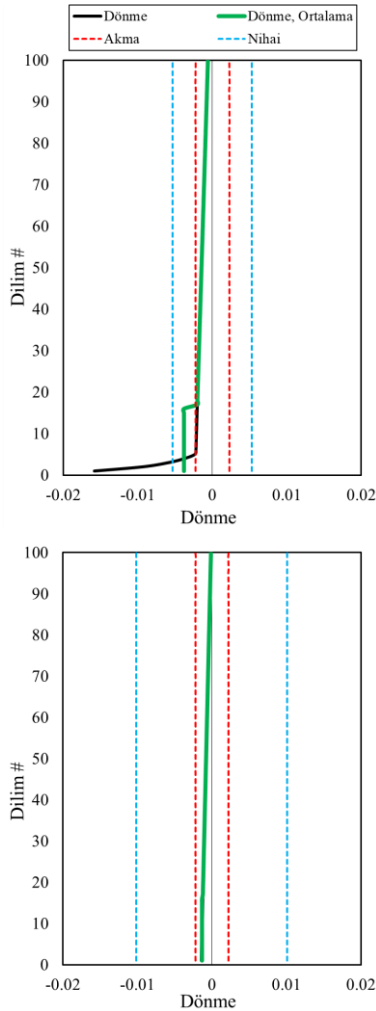
Kısa doğrultu için yapılan analizde, güçlü ekseninde çalışan 200×1000 mm kesitli C10 kolonunda en büyük hasar gözlenmiştir. C10 kolonunda, G+nQ yük birleşiminden elde edilen sabit aksenal yük (474 kN) değeri kullanılarak hesaplanan moment-dönme ilişkisi Şekil 15(a)'da mavi renkle verilmiştir. Moment-dönme ilişkisinin ideal elastoplastik yaklaşımla idealleştirilmesi durumu da siyah renkle gösterilmiştir. Dönme sınır durumları (SH, KH, GÖ) da aynı şekil üzerinde gösterilmiştir. Her çubuğun 100 sanal dilime bölündüğü modelde, zemin kat kolonlarında her dilimin kalınlığı 33 mm olmaktadır.



Şekil 15. Moment-dönme ilişkileri: (a) 200×1000 mm kesitli C10 kolonu, (b) 450×450 mm kesitli C19 kolonu.

Şekil 15a'da kolon yüksekliği boyunca akma sınırını aşan dört dilim ile elastik bölgede kalan bir dilimin numaraları verilmiştir. C10 kolonu alt ucunda, 99 mm'lik yüksekliğe karşı gelen ilk üç dilimde hesaplanan dönme değerleri *GÖ sınır koşulunu* aşarken, dördüncü dilimdeki dönme değeri *KH bölgesinde* kalmıştır. Diğer dilimlerde *SH sınır koşulu* aşılmamıştır.

Bir karşılaştırma yapılabilme üzere, 450×450 mm kesitli C19 kolonu için G+nQ yük birleşiminden elde edilen sabit eksenel yük (318 kN) kullanılarak hesaplanan moment-dönme grafiği ile ideal elastoplastik yaklaşımla idealleştirilmiş biçimi Şekil 15(b)'de verilmiştir. C19 kolonunun her bir diliminde hesaplanan ortalama dönme değeri doğrusal elastik bölgede kalmış, kalıcı hasar oluşmamıştır. Bu sonuç, üç boyutlu doğrusal olmayan analiz sonuçlarıyla uyumludur.



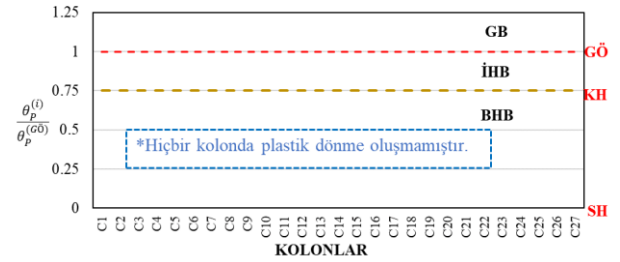
Şekil 16. DC2B analizi sonucunda elde edilen Zemin kat kolonları hasar dağılımı: (a) 200×1000 mm kesitli C10 kolonu, (b) 450×450 mm kesitli C19 kolonu.

DC2B ile yapılan analizde, C10 kolonunda plastik mafsallık uzunluğuna ($d/2=500$ mm) isabet eden sanal dilimlerdeki dönme değerlerinin ortalaması nihai dönme değerini aşmamaktadır. Diğer kolon ve kiriş elemanlarda nihai dönmenin aşılmadığı, sadece birkaç

kolonda akma dönmesi değerinin sınırlı miktarda aşıldığı gözlenmiştir, Şekil 16.

Onbir adet deprem kaydı yerdeğiştirme istemleri ortalaması için DC2B ile yapılan değerlendirmede; hiçbir kolonda göçme durumuna geçilmemesi, en büyük hasarın C10 kolonunda oluşması ve inelastik bölgeye geçen az sayıdaki kolonda sınırlı hasar meydana gelmesi, ETABS yazılımı ile yapılan üç boyutlu doğrusal olmayan analiz sonuçları ile oldukça uyumlu sonuçlar elde edildiğini göstermektedir.

Doğrusal ve doğrusal olmayan analizler (ETABS, DC2B, STATERA) sonucunda tüm kat kirişlerinde ve 1. ve 2. Normal Kat kolonlarında herhangi bir kalıcı hasar oluşmamıştır, Şekil 17.



Şekil 17. Normal kat kolonlarının hasar dağılımı.

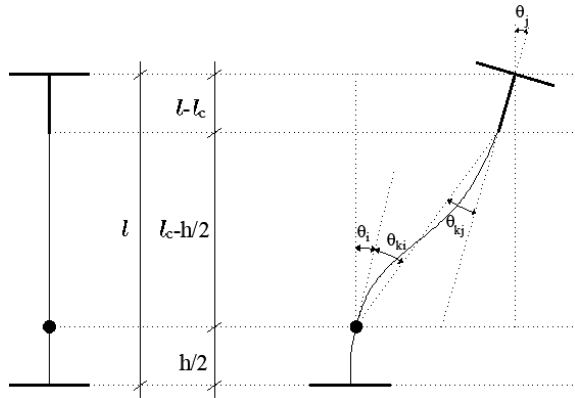
TBDY-2018 de verilen ve bu makalede uygulanan doğrusal ve doğrusal olmayan değerlendirme yaklaşımları; incelenen taşıyıcı sistemin kirişleri ve normal kat kolonlarında birbiriyle uyumlu sonuçlar verirken, zemin kat kolonları için elde edilen hasar dağılımlarında önemli bir farklılık elde edilmiştir. Bu farklılığın muhtemel sebebinin TBDY-2018 Bölüm EK 15.A.2'de yer alan yerdeğiştirmiş eksen dönmesi alt başlığındaki (15A.1) denkleminde en alt kat kolonlarının alt uçlarında dönmenin "sıfır (0)" alınmasından kaynaklandığı görüşüne ulaşılmıştır.

4. Tartışma ve Sonuç

4.1. Öneriler

TBDY-2018 de yer alan (15A.1) denkleminde en alt kat kolonlarının alt uçlarında dönmenin "sıfır (0)" alınmasından kaynaklandığı düşünülen farklılığın giderilmesi için değişik yaklaşımlar kullanılabilir. İlk akla gelenler; kolon alt uçlarında temel rijitliğini temsil edebilecek "elastik ankastre mesnetler" kullanmak veya elastik zemine oturan temel sistemi ile üstyapı modelinin bütünlük oluşturulmasıdır.

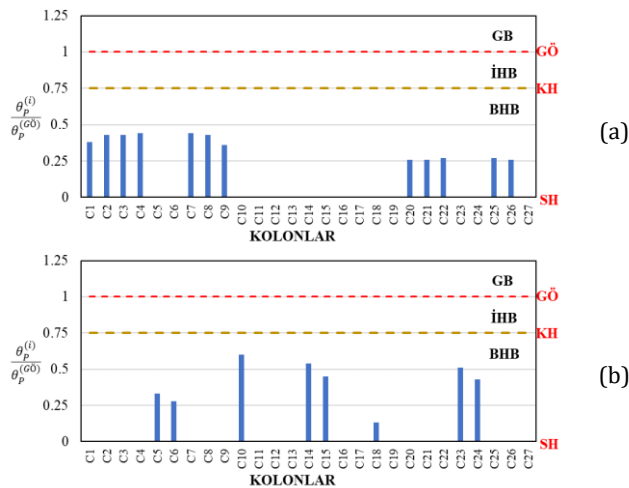
Bu makalede, yukarıdaki yaklaşımlardan farklı olarak; taşıyıcı sistemin en alt kat kolonlarında, plastik mafsallık boyunu temsil etmek üzere, alt uçtan $h/2$ kadar yukarıda ara nokta tanımlanması yolu önerilmektedir, Şekil 18. "h" eğilme doğrultusunda kolon kesiti faydalı yüksekliğini göstermektedir. Taşıyıcı sistemin en alt kat kolonlarının alt uçlarına yakın konumda tanımlanan bu ara noktadaki dönme büyüklükleri kullanılarak hasar değerlendirmeleri yapılmaktadır.



Şekil 18. Yerdeğiştirmiş eksen dönmesi hesabı için önerilen yaklaşım.

İncelenen sistemde, yerdeğiştirmiş eksen dönmesi değerlerinin *göçmenin önlenmesi* (GÖ) hasar sınırına karşı gelen dönme değerine oranları (r_i ve r_j) TBDY-2018 de tanımlanan ve bu makalede önerilen iki farklı yaklaşım ile hesaplanmış ve Ek A'da sunulan tablolarda sayısal olarak verilmiştir.

İncelenen taşıyıcı sistemin zemin kat kolonları için önerilen yaklaşım kullanıldığında, doğrusal olmayan analiz sonuçlarıyla uyumlu olarak hiçbir kolonda *İleri Hasar Bölgesi*'ne (İHB) geçilmemiştir, Şekil 19.



Şekil 19. Önerilen yaklaşım ile STATERA yazılımı tarafından zemin kat kolonları için belirlenen hasar dağılımı: (a) G+0,3Q+EX yük birleşimi, (b) G+0,3Q+EY yük birleşimi.

4.2. Sonuçlar

Betonarme binaların deprem performansının belirlenmesi için TBDY-2018 de tanımlanan doğrusal ve doğrusal olmayan hesap yöntemleri pratikte çok sayıda binada uygulandıktan sonra bazı binalarda doğrusal hesap yönteminin ürettiği aşırı güvenli sonuçlar dikkat çekmiştir. Bu durumu örneklemek amacıyla mevcut bir betonarme binanın deprem performansı farklı yöntemler kullanılarak belirlenmiş ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Doğrusal hesap yönteminin uygulanmasında kullanılmak üzere bina en alt kat kolonlarıyla ilgili bir öneri

geliştirilmiştir. Çalışma kapsamında elde edilen genel sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

- TBDY-2018 esaslarına göre yapılan doğrusal elastik analizde, 200×1000 mm kesitli zemin kat kolonlarının alt uçlarında plastik dönme kapasitesi aşarak "*Göçmenin Önlenmesi* (GÖ)" hasar seviyesi sınırının ötesine geçildiği gözlenmiştir. Dolayısıyla bu hesap yöntemi uygulandığında, bina için "*Kontrollü Hasar* (KH)" performans hedefinin sağlanmadığı sonucuna ulaşılmıştır.
- Onbir adet deprem kaydının kullanıldığı doğrusal olmayan hesap yaklaşımında, hiçbir kolonda plastik dönme kapasitesinin aşılmadığı ve binanın "*Kontrollü Hasar* (KH)" performans hedefini sağladığı gözlenmiştir.
- Binanın iki ana doğrultusundan çıkarılan düzlem çerçeveler üzerinde yayılı şekildeğiştirme yaklaşımını kullanarak yapılan itme analizlerinde elde edilen sonuçların, zaman tanım alanında gerçekleştirilen doğrusal olmayan analiz sonuçları ile çok uyumlu olduğu ve sınırlı sayıdaki kolonda akma sınırının aşıldığı görülmüştür.
- Uygulanan üç hesap yönteminde tüm kirişler ve normal kat kolonları için benzer hasar dağılımları elde ediliyor iken; zemin kat kolonlarının alt uçları için, doğrusal hesap yöntemi uygulandığında ortaya çıkan hasar dağılımı doğrusal olmayan hesap yöntemlerinin sonuçlarından oldukça farklıdır.
- Deprem performansının değerlendirilmesinde, mevcut haliyle doğrusal hesap yönteminin kullanımı en alt kat kolonlarında dolayısıyla binanın genelinde konservatif sonuçlara götürebilmektedir. Bu durum, binayı kullananları endişelendirmekte ve maddi kayıplara da neden olabilmektedir.
- TBDY-2018 (15A.1) denkleminin uygulanması sırasında, en alt kat kolonlarının alt uçlarında dönmenin "sıfır (0)" alınması ile ilişkili olduğu düşünülen konservatif hasar sonuçlarının düzeltilmesi amacıyla; kolon alt ucundan h/2 yüksekte bir ara nokta tanımlanarak, kolon hasarının değerlendirilmesinde bu noktadaki dönme büyüklüğünün kullanılması önerilmiştir.

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] Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, 2018 (TBDY-2018). Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara, Türkiye.
- [2] Jungheinrich İstif Makinaları San. ve Tic. Ltd. Şti Binasının (B Blok) Deprem Güvenliğinin Belirlenmesi 'Rise Mühendislik, Kasım 2020, İstanbul'
- [3] Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, 2007 (DBYBHY 2007). T.C. Bayındırlıkve İskan Bakanlığı, Ankara, Türkiye.
- [4] Rifai, Ş. 2018. Development of a computer program for analysis and linear seismic performance evaluation of frame type reinforced concrete buildings according to TSC-2018 [*Betonarme çerçeve türü binaların analizi ve TBDY 2018'e göre doğrusal yöntemler ile performans değerlendirilmesi için bir yazılım geliştirilmesi*] İstanbul Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 174s, İstanbul.
- [5] CSI, "ETABS Software for Building Analysis and Design," Computers and Structures Inc., Berkeley, California.
- [6] Karadoğan, F., Pala, S., Yüksel, E., Durgun, Y. 2015. Yapısal Çözümleme Cilt: II. OYTEV, İstanbul.
- [7] CSI, "SAP2000 Structural Analysis and Design," Computers and Structures Inc., Berkeley, California.
- [8] Mander, J.B., Priestly, M.J.N., Park, R. 1988. Theoretical Stress-Strain Model for Confined Concrete. Journal of Structural Division (ASCE), 114(8), 1804-1826.

Ekler

Ek A. TBDY-2018 de tanımlanan ve bu makalede önerilen iki ayrı yaklaşım ile zemin kat kolonlarında hesaplanan yerdeğiştirmiş eksen dönmesi değerleri ve hasar oranı karşılaştırmaları. (X Doğrultusu İçin)

| Kolon | L (m) | Yük Birleşimi | θ_y | $\theta_p(\text{gö})$ | Ara Noktasız Model (Yönetmelik) | | | | | | | Ara Noktalı Model (Öneri) | | | | | | | | | | |
|-------|-------|---------------|------------|-----------------------|---------------------------------|------------|------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------------------|-------|----------------|------------|------------|---------------|---------------|---------------|---------------|-------|-------|
| | | | | | Δ_x (m) | θ_i | θ_j | θ_{ki} | θ_{kj} | θ_{pi} | θ_{pj} | r_i | r_j | Δ_x (m) | θ_i | θ_j | θ_{ki} | θ_{kj} | θ_{pi} | θ_{pj} | r_i | r_j |
| C1 | 3.3 | G + 0.3Q + EX | 0.00252 | 0.00279 | -0.0195 | 0.0 | -0.0095 | 0.0059 | -0.0036 | 0.00338 | -0.00108 | 1.21 | 0.39 | -0.0195 | -0.0023 | -0.0095 | 0.0036 | -0.0036 | 0.0011 | -0.0011 | 0.38 | 0.39 |
| C2 | 3.3 | G + 0.3Q + EX | 0.00252 | 0.00222 | -0.0195 | 0.0 | -0.0091 | 0.0059 | -0.0032 | 0.00338 | -0.00070 | 1.52 | 0.31 | -0.0195 | -0.0024 | -0.0091 | 0.0035 | -0.0032 | 0.0010 | -0.0007 | 0.43 | 0.31 |
| C3 | 3.3 | G + 0.3Q + EX | 0.00252 | 0.00222 | -0.0195 | 0.0 | -0.0091 | 0.0059 | -0.0032 | 0.00338 | -0.00070 | 1.52 | 0.31 | -0.0195 | -0.0024 | -0.0091 | 0.0035 | -0.0032 | 0.0010 | -0.0007 | 0.43 | 0.31 |
| C4 | 3.3 | G + 0.3Q + EX | 0.00252 | 0.00222 | -0.0195 | 0.0 | -0.0092 | 0.0059 | -0.0033 | 0.00338 | -0.00077 | 1.52 | 0.35 | -0.0195 | -0.0024 | -0.0092 | 0.0035 | -0.0033 | 0.0010 | -0.0008 | 0.44 | 0.35 |
| C5 | 3.3 | G + 0.3Q + EX | 0.01459 | 0.00678 | -0.0195 | 0.0 | -0.0030 | 0.0059 | 0.0029 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00 | 0.00 | -0.0195 | -0.0038 | -0.0030 | 0.0021 | 0.0029 | 0.0000 | 0.0000 | 0.00 | 0.00 |
| C6 | 3.3 | G + 0.3Q + EX | 0.01459 | 0.00678 | -0.0195 | 0.0 | -0.0030 | 0.0059 | 0.0029 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00 | 0.00 | -0.0195 | -0.0038 | -0.0030 | 0.0021 | 0.0029 | 0.0000 | 0.0000 | 0.00 | 0.00 |
| C7 | 3.3 | G + 0.3Q + EX | 0.00252 | 0.00222 | -0.0195 | 0.0 | -0.0092 | 0.0059 | -0.0033 | 0.00338 | -0.00077 | 1.52 | 0.35 | -0.0195 | -0.0024 | -0.0092 | 0.0035 | -0.0033 | 0.0010 | -0.0008 | 0.44 | 0.35 |
| C8 | 3.3 | G + 0.3Q + EX | 0.00252 | 0.00222 | -0.0195 | 0.0 | -0.0091 | 0.0059 | -0.0032 | 0.00338 | -0.00070 | 1.52 | 0.32 | -0.0195 | -0.0024 | -0.0091 | 0.0035 | -0.0032 | 0.0010 | -0.0007 | 0.43 | 0.32 |
| C9 | 3.3 | G + 0.3Q + EX | 0.00252 | 0.00279 | -0.0195 | 0.0 | -0.0093 | 0.0059 | -0.0034 | 0.00338 | -0.00091 | 1.21 | 0.33 | -0.0195 | -0.0024 | -0.0093 | 0.0035 | -0.0034 | 0.0010 | -0.0009 | 0.36 | 0.33 |
| C10 | 3.3 | G + 0.3Q + EX | 0.01508 | 0.00651 | -0.0181 | 0.0 | -0.0072 | 0.0055 | -0.0017 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00 | 0.00 | -0.0181 | -0.0025 | -0.0072 | 0.0029 | -0.0017 | 0.0000 | 0.0000 | 0.00 | 0.00 |
| C11 | 3.3 | G + 0.3Q + EX | 0.00610 | 0.00323 | -0.0181 | 0.0 | -0.0070 | 0.0055 | -0.0015 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00 | 0.00 | -0.0181 | -0.0026 | -0.0070 | 0.0029 | -0.0015 | 0.0000 | 0.0000 | 0.00 | 0.00 |
| C12 | 3.3 | G + 0.3Q + EX | 0.00602 | 0.00332 | -0.0181 | 0.0 | -0.0070 | 0.0055 | -0.0015 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00 | 0.00 | -0.0181 | -0.0026 | -0.0070 | 0.0029 | -0.0015 | 0.0000 | 0.0000 | 0.00 | 0.00 |
| C13 | 3.3 | G + 0.3Q + EX | 0.00602 | 0.00332 | -0.0181 | 0.0 | -0.0072 | 0.0055 | -0.0017 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00 | 0.00 | -0.0181 | -0.0026 | -0.0072 | 0.0029 | -0.0017 | 0.0000 | 0.0000 | 0.00 | 0.00 |
| C14 | 3.3 | G + 0.3Q + EX | 0.01749 | 0.00370 | -0.0181 | 0.0 | -0.0031 | 0.0055 | 0.0024 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00 | 0.00 | -0.0181 | -0.0035 | -0.0031 | 0.0020 | 0.0024 | 0.0000 | 0.0000 | 0.00 | 0.00 |
| C15 | 3.3 | G + 0.3Q + EX | 0.01749 | 0.00370 | -0.0181 | 0.0 | -0.0030 | 0.0055 | 0.0025 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00 | 0.00 | -0.0181 | -0.0035 | -0.0030 | 0.0020 | 0.0025 | 0.0000 | 0.0000 | 0.00 | 0.00 |
| C16 | 3.3 | G + 0.3Q + EX | 0.00602 | 0.00332 | -0.0181 | 0.0 | -0.0072 | 0.0055 | -0.0017 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00 | 0.00 | -0.0181 | -0.0026 | -0.0072 | 0.0029 | -0.0017 | 0.0000 | 0.0000 | 0.00 | 0.00 |
| C17 | 3.3 | G + 0.3Q + EX | 0.00610 | 0.00323 | -0.0181 | 0.0 | -0.0071 | 0.0055 | -0.0017 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00 | 0.00 | -0.0181 | -0.0026 | -0.0071 | 0.0029 | -0.0017 | 0.0000 | 0.0000 | 0.00 | 0.00 |
| C18 | 3.3 | G + 0.3Q + EX | 0.01508 | 0.00651 | -0.0181 | 0.0 | -0.0042 | 0.0055 | 0.0013 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00 | 0.00 | -0.0181 | -0.0032 | -0.0042 | 0.0022 | 0.0013 | 0.0000 | 0.0000 | 0.00 | 0.00 |
| C19 | 3.3 | G + 0.3Q + EX | 0.00537 | 0.00709 | -0.0160 | 0.0 | -0.0074 | 0.0048 | -0.0025 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00 | 0.00 | -0.0160 | -0.0020 | -0.0074 | 0.0028 | -0.0025 | 0.0000 | 0.0000 | 0.00 | 0.00 |
| C20 | 3.3 | G + 0.3Q + EX | 0.00241 | 0.00189 | -0.0160 | 0.0 | -0.0077 | 0.0048 | -0.0028 | 0.00243 | -0.00043 | 1.28 | 0.23 | -0.0160 | -0.0019 | -0.0077 | 0.0029 | -0.0028 | 0.0005 | -0.0004 | 0.26 | 0.23 |
| C21 | 3.3 | G + 0.3Q + EX | 0.00241 | 0.00189 | -0.0160 | 0.0 | -0.0077 | 0.0048 | -0.0028 | 0.00243 | -0.00042 | 1.28 | 0.22 | -0.0160 | -0.0019 | -0.0077 | 0.0029 | -0.0028 | 0.0005 | -0.0004 | 0.26 | 0.22 |
| C22 | 3.3 | G + 0.3Q + EX | 0.00241 | 0.00187 | -0.0160 | 0.0 | -0.0077 | 0.0048 | -0.0029 | 0.00242 | -0.00046 | 1.29 | 0.25 | -0.0160 | -0.0019 | -0.0077 | 0.0029 | -0.0029 | 0.0005 | -0.0005 | 0.27 | 0.25 |
| C23 | 3.3 | G + 0.3Q + EX | 0.01650 | 0.00416 | -0.0160 | 0.0 | -0.0036 | 0.0048 | 0.0012 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00 | 0.00 | -0.0160 | -0.0029 | -0.0036 | 0.0019 | 0.0012 | 0.0000 | 0.0000 | 0.00 | 0.00 |
| C24 | 3.3 | G + 0.3Q + EX | 0.01650 | 0.00416 | -0.0160 | 0.0 | -0.0028 | 0.0048 | 0.0020 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00 | 0.00 | -0.0160 | -0.0031 | -0.0028 | 0.0018 | 0.0020 | 0.0000 | 0.0000 | 0.00 | 0.00 |
| C25 | 3.3 | G + 0.3Q + EX | 0.00241 | 0.00187 | -0.0160 | 0.0 | -0.0077 | 0.0048 | -0.0029 | 0.00242 | -0.00047 | 1.29 | 0.25 | -0.0160 | -0.0019 | -0.0077 | 0.0029 | -0.0029 | 0.0005 | -0.0005 | 0.27 | 0.25 |
| C26 | 3.3 | G + 0.3Q + EX | 0.00241 | 0.00189 | -0.0160 | 0.0 | -0.0077 | 0.0048 | -0.0029 | 0.00243 | -0.00044 | 1.28 | 0.24 | -0.0160 | -0.0019 | -0.0077 | 0.0029 | -0.0029 | 0.0005 | -0.0004 | 0.26 | 0.24 |
| C27 | 3.3 | G + 0.3Q + EX | 0.00537 | 0.00709 | -0.0160 | 0.0 | -0.0065 | 0.0048 | -0.0017 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00 | 0.00 | -0.0160 | -0.0022 | -0.0065 | 0.0026 | -0.0017 | 0.0000 | 0.0000 | 0.00 | 0.00 |

Ek B. TBDY-2018 de tanımlanan ve bu makalede önerilen iki ayrı yaklaşım ile zemin kat kolonlarında hesaplanan yerdeğiştirmiş eksen dönmesi değerleri ve hasar oranı karşılaştırmaları. (Y Doğrultusu İçin)

| Kolon | L (m) | Yük Birleşimi | θ_y | $\theta_{p(\text{çö})}$ | Ara Noktasız Model (Yönetmelik) | | | | | | | | Ara Noktalı Model (Öneri) | | | | | | | | | |
|-------|-------|---------------|------------|-------------------------|---------------------------------|------------|------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------|---------------------------|----------------|------------|------------|---------------|---------------|---------------|---------------|-------|-------|
| | | | | | Δ_y (m) | θ_i | θ_j | θ_{ki} | θ_{kj} | θ_{pi} | θ_{pj} | r_i | r_j | Δ_y (m) | θ_i | θ_j | θ_{ki} | θ_{kj} | θ_{pi} | θ_{pj} | r_i | r_j |
| C1 | 3.3 | G + 0.3Q + EY | 0.01444 | 0.00932 | 0.0202 | 0.0 | -0.0058 | 0.0061 | 0.0004 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00 | 0.00 | -0.0034 | -0.0058 | 0.0028 | 0.0004 | 0.0000 | 0.0000 | 0.00 | 0.00 |
| C2 | 3.3 | G + 0.3Q + EY | 0.01459 | 0.00678 | 0.0195 | 0.0 | -0.0058 | 0.0059 | 0.0001 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00 | 0.00 | -0.0032 | -0.0058 | 0.0027 | 0.0001 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.00 | 0.00 |
| C3 | 3.3 | G + 0.3Q + EY | 0.01459 | 0.00678 | 0.0188 | 0.0 | -0.0058 | 0.0057 | -0.0001 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00 | 0.00 | -0.0030 | -0.0058 | 0.0027 | -0.0001 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.00 | 0.00 |
| C4 | 3.3 | G + 0.3Q + EY | 0.01459 | 0.00678 | 0.0181 | 0.0 | -0.0062 | 0.0055 | -0.0007 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00 | 0.00 | -0.0028 | -0.0062 | 0.0027 | -0.0007 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.00 | 0.00 |
| C5 | 3.3 | G + 0.3Q + EY | 0.00252 | 0.00222 | 0.0174 | 0.0 | -0.0088 | 0.0053 | -0.0035 | 0.00275 | -0.00097 | 1.24 | 0.44 | -0.0020 | -0.0088 | 0.0033 | -0.0035 | 0.0007 | -0.0010 | 0.0000 | 0.33 | 0.44 |
| C6 | 3.3 | G + 0.3Q + EY | 0.00252 | 0.00222 | 0.0167 | 0.0 | -0.0084 | 0.0051 | -0.0034 | 0.00254 | -0.00087 | 1.14 | 0.39 | -0.0019 | -0.0084 | 0.0031 | -0.0034 | 0.0006 | -0.0009 | 0.0000 | 0.28 | 0.39 |
| C7 | 3.3 | G + 0.3Q + EY | 0.01459 | 0.00678 | 0.0160 | 0.0 | -0.0056 | 0.0048 | -0.0007 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00 | 0.00 | -0.0024 | -0.0056 | 0.0024 | -0.0007 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.00 | 0.00 |
| C8 | 3.3 | G + 0.3Q + EY | 0.01459 | 0.00678 | 0.0153 | 0.0 | -0.0048 | 0.0046 | -0.0002 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00 | 0.00 | -0.0024 | -0.0048 | 0.0022 | -0.0002 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.00 | 0.00 |
| C9 | 3.3 | G + 0.3Q + EY | 0.01444 | 0.00932 | 0.0146 | 0.0 | -0.0045 | 0.0044 | -0.0001 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00 | 0.00 | -0.0024 | -0.0045 | 0.0021 | -0.0001 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.00 | 0.00 |
| C10 | 3.3 | G + 0.3Q + EY | 0.00247 | 0.00210 | 0.0202 | 0.0 | -0.1000 | 0.0061 | -0.0038 | 0.00367 | -0.00137 | 1.74 | 0.65 | -0.0024 | -0.1000 | 0.0037 | -0.0038 | 0.0013 | -0.0014 | 0.0000 | 0.60 | 0.65 |
| C11 | 3.3 | G + 0.3Q + EY | 0.00610 | 0.00323 | 0.0195 | 0.0 | -0.0085 | 0.0059 | -0.0026 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00 | 0.00 | -0.0026 | -0.0085 | 0.0033 | -0.0026 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.00 | 0.00 |
| C12 | 3.3 | G + 0.3Q + EY | 0.00602 | 0.00332 | 0.0188 | 0.0 | -0.0081 | 0.0057 | -0.0024 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00 | 0.00 | -0.0025 | -0.0081 | 0.0032 | -0.0024 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.00 | 0.00 |
| C13 | 3.3 | G + 0.3Q + EY | 0.00602 | 0.00332 | 0.0181 | 0.0 | -0.0079 | 0.0055 | -0.0024 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00 | 0.00 | -0.0024 | -0.0079 | 0.0031 | -0.0024 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.00 | 0.00 |
| C14 | 3.3 | G + 0.3Q + EY | 0.00250 | 0.00134 | 0.0174 | 0.0 | -0.0086 | 0.0053 | -0.0034 | 0.00277 | -0.00087 | 2.06 | 0.64 | -0.0020 | -0.0086 | 0.0032 | -0.0034 | 0.0007 | -0.0009 | 0.0000 | 0.54 | 0.64 |
| C15 | 3.3 | G + 0.3Q + EY | 0.00250 | 0.00134 | 0.0167 | 0.0 | -0.0083 | 0.0051 | -0.0033 | 0.00255 | -0.00076 | 1.90 | 0.57 | -0.0020 | -0.0083 | 0.0031 | -0.0033 | 0.0006 | -0.0008 | 0.0000 | 0.45 | 0.57 |
| C16 | 3.3 | G + 0.3Q + EY | 0.00602 | 0.00332 | 0.0160 | 0.0 | -0.0071 | 0.0048 | -0.0022 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00 | 0.00 | -0.0021 | -0.0071 | 0.0028 | -0.0022 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.00 | 0.00 |
| C17 | 3.3 | G + 0.3Q + EY | 0.00610 | 0.00323 | 0.0153 | 0.0 | -0.0068 | 0.0046 | -0.0022 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00 | 0.00 | -0.0020 | -0.0068 | 0.0027 | -0.0022 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.00 | 0.00 |
| C18 | 3.3 | G + 0.3Q + EY | 0.00247 | 0.00210 | 0.0146 | 0.0 | -0.0074 | 0.0044 | -0.0030 | 0.00194 | -0.00052 | 0.92 | 0.25 | -0.0017 | -0.0074 | 0.0027 | -0.0030 | 0.0003 | -0.0005 | 0.0000 | 0.13 | 0.25 |
| C19 | 3.3 | G + 0.3Q + EY | 0.00537 | 0.00709 | 0.0202 | 0.0 | -0.0092 | 0.0061 | -0.0031 | 0.00077 | 0.00000 | 0.11 | 0.00 | -0.0026 | -0.0092 | 0.0036 | -0.0031 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.00 | 0.00 |
| C20 | 3.3 | G + 0.3Q + EY | 0.01552 | 0.00524 | 0.0195 | 0.0 | -0.0070 | 0.0059 | -0.0011 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00 | 0.00 | -0.0029 | -0.0070 | 0.0030 | -0.0011 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.00 | 0.00 |
| C21 | 3.3 | G + 0.3Q + EY | 0.01552 | 0.00524 | 0.0188 | 0.0 | -0.0064 | 0.0057 | -0.0007 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00 | 0.00 | -0.0029 | -0.0064 | 0.0028 | -0.0007 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.00 | 0.00 |
| C22 | 3.3 | G + 0.3Q + EY | 0.01557 | 0.00515 | 0.0181 | 0.0 | -0.0066 | 0.0055 | -0.0011 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00 | 0.00 | -0.0027 | -0.0066 | 0.0028 | -0.0011 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.00 | 0.00 |
| C23 | 3.3 | G + 0.3Q + EY | 0.00238 | 0.00164 | 0.0174 | 0.0 | -0.0086 | 0.0053 | -0.0033 | 0.00290 | -0.00092 | 1.77 | 0.56 | -0.0021 | -0.0086 | 0.0032 | -0.0033 | 0.0008 | -0.0009 | 0.0000 | 0.51 | 0.56 |
| C24 | 3.3 | G + 0.3Q + EY | 0.00238 | 0.00164 | 0.0167 | 0.0 | -0.0083 | 0.0051 | -0.0032 | 0.00268 | -0.00082 | 1.64 | 0.50 | -0.0020 | -0.0083 | 0.0031 | -0.0032 | 0.0007 | -0.0008 | 0.0000 | 0.43 | 0.50 |
| C25 | 3.3 | G + 0.3Q + EY | 0.01557 | 0.00515 | 0.0160 | 0.0 | -0.0060 | 0.0048 | -0.0011 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00 | 0.00 | -0.0023 | -0.0060 | 0.0025 | -0.0011 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.00 | 0.00 |
| C26 | 3.3 | G + 0.3Q + EY | 0.01552 | 0.00524 | 0.0153 | 0.0 | -0.0056 | 0.0046 | -0.0010 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00 | 0.00 | -0.0023 | -0.0056 | 0.0024 | -0.0010 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.00 | 0.00 |
| C27 | 3.3 | G + 0.3Q + EY | 0.00537 | 0.00709 | 0.0146 | 0.0 | -0.0068 | 0.0044 | -0.0024 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00 | 0.00 | -0.0018 | -0.0068 | 0.0026 | -0.0024 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.00 | 0.00 |

Isparta Aya Yorgi (İshotya) Kilisesi'nin Mimari Özelliklerinin Analizi ve Koruma Önerisi

Yavuz Bahadır CERTEL^{*1} , Mikail AÇIKEL²

¹ Akdeniz Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, 07058, Antalya, Türkiye

² Akdeniz Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, İç Mimarlık Bölümü, 07058, Antalya, Türkiye

(Alınış/Received:17.08.2022, Kabul/Accepted:29.03.2023, Online Yayınlanma/Published Online: 25.12.2023)

Anahtar Kelimeler

Isparta, Osmanlı Kilise
Mimarisi,
Aya Yorgi Kilisesi,
Koruma,
Yeniden İşlevlendirme

Öz: Tarihi yapılar ait oldukları dönemin kültürü, medeniyeti, sanatı ve toplumsal yapısı hakkında önemli bilgiler verirler. Ancak toplumsal veya teknolojik değişimlere ayak uyduramayan yapılar zamanla işlevlerini ve kullanıcılarını kaybederek âtil duruma düşmekte ve bakımsız kalarak yok olma sürecine girmektedirler. Tarihi yapıların korunmasında yeni işlevle kullanımı oldukça etkili bir koruma yöntemidir. Bu yöntemle tarihi yapıların özgün kimliğine, mimarisine ve konumuna uygun yeni ihtiyaçlar doğrultusunda tekrar kullanıma açılması, bu yapıların düzenli bakımlarının yapılarak varlıklarını devam ettirmelerini sağlamakta ve aynı zamanda kültürel ve ekonomik faydalar üretmektedir. Bu çalışma kapsamında Isparta kentinde bulunan Aya Yorgi Kilisesi'nin tarihsel süreçte geçirdiği dönüşüm, yapının Isparta kent tarihindeki yeri ve yapının kullanıcıları, sosyal ve kültürel özellikleri, mimari nitelikleri ve mevcut durumu gibi nitelikleri nitel araştırma yöntemleri kullanılarak belirlenmiştir. Yapının mekânsal kurgusu, cephe özellikleri, iç mekanındaki mimari donatılar, bezemeleri, strüktürel yapısı ve kullanılan yapı malzemeleri gibi mimari bilgileri ve korunmuşluk durumu, yapılan saha araştırmaları ve rölöve çalışmalarıyla tespit edilerek belgelenmiş ve analiz edilmiştir. Yapının mimarisini ve kimliğini oluşturan tüm bu özellikleri göz önüne alınarak bu değerli kültür mirasının gelecek nesillere aktarılabilmesi için sürdürülebilir koruma anlayışının oldukça etkili bir enstrümanı olan yeniden işlevlendirme yoluyla korunmasına yönelik öneriler getirilmiştir.

Analysis of the Architectural Features of Isparta Aya Yorgi (Ishotya) Church and Proposal for Conservation

Keywords

Isparta,
Aya Yorgi Church,
Conservation,
Reusing

Abstract: Historical buildings provide important information about the culture, civilization, art and social structure of the period they belong to. However, structures that cannot keep up with social or technological changes, lose their functions and users over time, become idle and enter the process of extinction by being neglected. Its use with a new function in the protection of historical buildings is a very effective conservation method. With this method, the reopening of historical buildings in line with new needs in accordance with their original identity, architecture and location ensures that these buildings continue their existence by regular maintenance, and at the same time produces cultural and economic benefits. Within the scope of this study, the transformation of the Aya Yorgi Church in the city of Isparta in the historical process, the place of the building in the history of the city of Isparta, and the social and cultural characteristics of the people of Karaman, who are the users of the building, were determined by literature research. Architectural information such as the spatial features of the building, its façade features, the architectural fittings in its interior, its decorations, its structural structure and the building materials used, and its state of preservation have been determined by field researches and survey studies and conveyed with technical drawings and photographs. Considering all these features that create the architecture and identity of the building, suggestions have been made to protect this valuable cultural heritage through reuse with a new function, which is a very effective instrument of the sustainable conservation, in order to transfer it to future generations.

1. Giriş

Anadolu coğrafyası, tarihin hemen her döneminde imparatorluklara ve kadim medeniyetlere ev sahipliği yapmıştır; bu nedenle hem kültürel hem de arkeolojik açıdan büyük bir zenginliğe sahiptir. Yapılan arkeolojik çalışmalar, Pisidia yöresinin önemli bir yerleşim merkezi olan Isparta'da yerleşimin, Paleolitik Dönemde başladığını göstermektedir. Tarıma elverişli toprakları, zengin su kaynakları ve iklim koşulları, eski çağlardan beri bölgenin yerleşim için tercih edilmesinin en önemli gerekçeleri olmuştur [1]. Anadolu'nun, yerleşim tarihi oldukça eski olan kentlerinden biri olan Isparta, farklı dönemlerde, farklı etnik ve dini grupların yaşadığı bir kent olması sebebiyle tarihi eserler açısından oldukça zengindir. Günümüze kadar yönetimi, farklı devletler arasında el değiştirerek varlığını sürdüren Isparta kentinde Osmanlı ve Selçuklu dönemine ait, iyi korunmuş çok sayıda tarihi esere rastlamak mümkündür.

Anadolu gibi kozmopolit yapıya sahip coğrafyalarda çeşitli dönemlerde yaşanan rejim değişiklikleri, yönetimin farklı gruplar arasında el değiştirmesi gibi siyasi gelişmeler sonucunda yaşanan göçler, belirli dini gruplara ait dini yapıların cemaatlerinin azalmasına ve zamanla bu yapıların terk edilmesine neden olmaktadır [2]. Kentin tarihindeki kozmopolit nüfus yapısından kaynaklanan kültürel zenginlik, arkeolojik buluntular ve Osmanlı ve Selçuklu dönemine ait mimari eserlerin çeşitliliği üzerinden gözlemlenebilmektedir. Isparta kent merkezinde bulunan, konut dışı tescilli yapılar; Mimar Sinan Cami ve Bedesteni, Dalboyunoğlu Hamamı, Bey Hamamı, Hacı Abdi Cami, Kavaklı Cami, Ulu Cami, Garnizon Binası, Valilik Binası, Gar Binası, Gazi İlkokulu, Cumhuriyet İlkokulu, Eski Ticaret Yüksek Okulu, Üzüm Pazarı Dükkanları Aya Yorgi Kilisesi ve Aya Payana Kilisesi olarak sıralanabilir [3]. Osmanlı dönemine ait olan bu yapılar genel olarak korunarak günümüze sağlıklı bir biçimde ulaşabilmişlerdir. Ancak aynı dönemlerde yaşayan ve kent nüfusunun önemli bir kısmını teşkil eden gayrimüslim toplulukların eserleri maalesef aynı özenle korunamamıştır.

Bu durumun temel nedeni, 19. yüzyılda gerçekleşen savaşlar ve bu savaşlar paralelinde yaşanan siyasi gelişmeler neticesinde Anadolu'da yaşayan gayrimüslim nüfusun yaşadıkları yerleri terk etmeleridir. Terk edilen konutlar yeni gelen nüfusun kullanımında büyük ölçüde korunarak günümüze ulaşabilmiştir. Ancak kullanıcılarını kaybeden dini yapılar âtil duruma düşmüş ve bakımsızlıktan zamanla eskimiş ya da yıkılarak yok olmuşlardır. Günümüze ulaşabilen, Isparta kent merkezindeki iki kilise ise aynı sebeplerle yok olma tehdidiyle karşı karşıyadır.

Yapıldıkları dönemin sosyo-ekonomik yapısını ve mimari birikimini gösteren bu kültür varlıkları taşıdıkları tarihi ve özgün sanatsal değerlerle de ülkemiz için özel bir yere sahiptir. Ancak mevcut durumları hak ettikleri konumda bulunmadıklarını göstermektedir. Bu değerli kültür mirası unsurlarının içinde buldukları durumdan kurtarılarak gelecek nesillere aktarılması ve korunarak yaşatılması düşüncesiyle yapılan bu çalışmada, Isparta Doğancı mahallesinde yer alan Aya Yorgi Kilisesi'ni, tarihi ve mimari özellikleriyle tanıtmak ve bu özelliklere uygun, yeni bir işlevle yapının korunmasına yönelik öneriler sunmak hedeflenmektedir. Ayrıca yapının yeniden kullanılmasının kent sakinlerine sağlayacağı ekonomik, kültürel ve sosyal faydaların ortaya konması hedeflenmiştir.

Literatürde bulunan, Aya Yorgi Kilisesinin materyal olarak kullanıldığı çalışmalardan farklı olarak yapının mekânsal özellikleri, strüktürü, kullanılan yapı malzemeleri, cephe ve kütle özellikleri ve bezemeleri gibi mimari bileşenleri detaylı olarak analiz edilerek teknik çizimlerle ifade edilmiştir. Bu mimari özelliklerin yanı sıra Anadolu'da gelişen kilise mimari tipolojisi üzerinde etkili olan toplum yapısı ve yasal düzenlemeler irdelenmiştir. Yapının tüm bu mekânsal ve yapısal özellikleri, kimliği ve ait olduğu yapı grubu içerisindeki özel yeri ve özgün nitelikleri de göz önüne alınarak yeni bir işlev önerisi getirilmiştir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Materyal

Çalışma kapsamında Aya Yorgi Kilisesi'nin tarihi ve mimari özelliklerinin tespit edilerek tanıtılması, yapının varlığını tehdit eden unsurların belirlenmesi ve yapının korunmasına yönelik öneriler getirilmesi amaçlanmıştır.

Çalışmada nitel araştırma modeli kullanılarak veriler; gözlem, görüşme ve doküman analizi ile toplanmıştır. Veri toplama metodu, araştırma konusunu sonuca ulaştıracak bilgilerin elde edilmesi amacıyla kullanılan araştırma tekniğidir. Araştırma konusuna göre veri toplama, doküman incelemesi, anket, görüşme, gözlem, deney gibi farklı yollarla gerçekleştirilebilir [4].

Bu doğrultuda yapı yerinde incelenerek yapının mekânsal, strüktürel ve malzeme özellikleri, yapı teknikleri, iç mekânında bulunan zemin kaplamaları ve bezemeler gibi iç mekan bileşenleri, cephe özellikleri ve korunmuşluk durumu detaylı şekilde incelenerek fotoğraflarla belgelenmiş ve yapılan rölüve çalışmaları sonucunda oluşturulan teknik çizimlere aktarılmıştır. Daha sonra yapılan literatür araştırmaları kapsamında yapı ve kullanıcıları ile yapı türünün içinde bulunduğu Anadolu'daki Osmanlı dönemi kilise mimarisi hakkında genel tarihi bilgilere

ulaşmıştır. Elde edilen bilgiler doğrultusunda yapının mimarlık tarihindeki yeri ve özgün değeri saptanmıştır. Bu kapsamda yapının yerinde incelenmesiyle elde edilen veriler analiz edilerek yapının kimliğine ve mimari özelliklerine uygun yeni bir işlevle yapının korunmasına yönelik öneriler geliştirilmiştir.

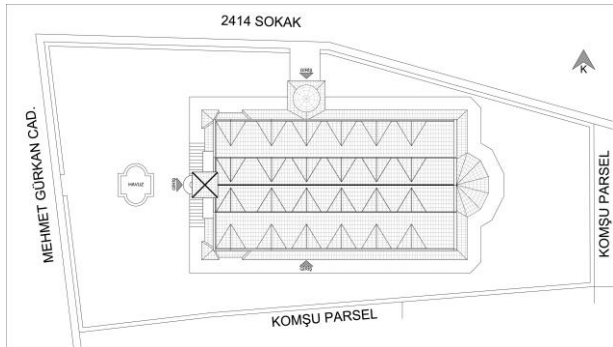
2.2. Metot

Yapılan çalışmalar kapsamında Aya Yorgi Kilisesi;

- Genel özellikleri ve Tarihçesi,
 - Mimari Özellikleri (mekânsal özellikleri, strüktür ve malzeme özellikleri, cephe özellikleri, bezeme özellikleri)
 - Mevcut Durumu
- olarak üç genel başlıkta ele alınmıştır.

2.2.1. Genel Özellikleri ve Tarihçesi

Isparta, Doğancı Mahallesi, 201 Ada, 26 Parsel üzerinde bulunan Aya Yorgi Kilisesi, doğu-batı yönünde uzanan, üç nefli, bazilikal planlı klasik bir Osmanlı kilisesidir. Yapı bahçe duvarlarıyla çevrelenmiş ve bahçenin tamamı batı girişi kotunda tesviye edilmiştir (Şekil 1).



Şekil 1. Aya Yorgi Kilisesi vaziyet planı [36]

Yapının Isparta Müzesinde bulunan kitabesine göre yapımı, 1857 yılında başlamış ve 1860 yılında tamamlanmıştır. Batı cephesinde yer alan ve sonradan eklenti olarak yapılan çan kulesinin yapım tarihi bilinmemektedir (Şekil 2).



Şekil 2. Aya Yorgi Kilisesi güneybatı görünüşü [36]

Aralarında Aya Yorgi Kilisesi'nin kitabesinin de bulunduğu, Karamanlı Ortodoksların Grek alfabesiyle, Türkçe yazılı olan mezar taşı ve yapı kitabelerinden 16 tanesi üzerinde araştırma yapan Demir [5]'in çalışmasına göre kitabenin Latin harflerine çevrilmiş metni şu şekildedir:

“(1) Pu serif Eisodia tes Panagias ekklesiası evvel (2) Allahu azimü's-şanın sanie valitetu'llahı (3) keremi inayetleriyle padişahimiz şevketlü (4) Abdülmecid efentimizin eyam-ı devletlerinte (5) ve arhierasımız Kıyros Kıy Meletios efentimizi (6) vaktinde çümle Ortodoks hristianları (7) imtat ve gayretleri ile 1857 mayus tarihinte (8) Miysli Hacı Nikola ve Rodoslu Andreas Soulinas (9) ustalartan temeli konulup 1858 mayos 20 tarihi (10) merhum Hacı Nikola Usta vefat ettikte (11) 1860 senesi içinte Andrea ustadan hitam (11) pulmuştur.” [5].

1924 yılında, Türkiye ve Yunanistan arasında gerçekleştirilen nüfus mübadelesi sonrasında kullanıcılarını kaybeden kilise, belirli bir süre askeri depo olarak kullanıldıktan sonra âtil kalmış, daha sonra 1975 yılında koruma altına alınarak tescil edilmiştir [6]. 1993 yılında restorasyon kapsamına alınan kilisenin 1998 yılında Turizm Bakanlığı'ndan sağlanan ödenekle çevre düzenlemesi yapılmıştır [3], (Tablo 1).

Tablo 1. Tarihsel süreçte Aya Yorgi Kilisesi

| | |
|-----------|---|
| 1857-1860 | • İnşaat süreci |
| 1924 | • Mübadele sonrası terk edilmesi |
| 1975 | • Tescillenmesi |
| 1993 | • Restorasyon kapsamında bakım ve onarım ve güçlendirme yapılması |
| 1998 | • Bakım ve çevre düzenlemesi yapılması |
| 2022 | • Yeniden kullanımla koruma önerisi |

Yapının tarihsel süreçteki gelişiminin ve mimari özelliklerinin daha iyi anlaşılabilmesi için dönemin toplumsal yapısının ve Osmanlı coğrafyasında bulunan kilise yapılarının mimari tipolojisi üzerinde oldukça etkili olan siyasi iklimin anlaşılması önemlidir.

19. Yüzyılda Isparta'nın demografik yapısı:

Osmanlı Devleti'nin son dönemlerinde, 1872 ve 1882 tarihlerinde yapılan emlak ve nüfus sayımına göre Isparta'da 41 mahalle ve 27 köyde bulunan 6660 hanede, toplam 33110 kişi yaşamaktadır. Bu nüfus, 28.166 Müslüman, 4402 Rum-Ortodoks, 552 Ermeni Ortodoks şeklinde dağılım göstermektedir [7]. Böcüzade Süleyman Sami Efendi, 1910 yılında tamamladığı Isparta Tarihi adlı eserinde Isparta il merkezindeki 28 mahalle içerisinde Temel, Kemer, Çavuş, Emre ve Zemyan (Zımmiyan) Mahalleleri olmak üzere 5 adet Rum mahallesi ve Acem mahallesi adıyla bilinen 1 adet Ermeni mahallesinin bulunduğundan bahsetmektedir [7]. Bahsedilen

Ermeniler İran'dan Osmanlı topraklarına iltica etmişler ve 1781 yılında Isparta'da Acemler Mahallesi adıyla bilinen bölgeye yerleştirilmişlerdir. Ayrıca ticaret yaparak geçimlerini sağlamaları için de Acemler Hanı kendilerine tahsis edilmiştir [8]. Bu tarihlerde Isparta merkezindeki yerleşimler içerisinde Gayrimüslimlerin yoğun olarak yaşadıkları mahallelerde 4'ü büyük, 2'si orta, 2'si küçük ve 2'si açık olmak üzere 10 adet Rum kilisesi ve 1 adet Ermeni kilisesinin mevcut olduğu bilinmektedir. Ayrıca yine bu tarihlerde şehirdeki 35 adet ilkököl içerisinde 3'ü erkek ve 1'i kızlara mahsus 4 adet Rum İlkokulu ve 1 adet Ermeni İlkokulu bulunmaktadır. Bunların yanında gayrimüslimlere ait çok sayıda ticarethane ve atölye bulunmaktadır [7].

Osmanlı Devleti'nin son döneminde, Isparta il merkezinde bulunan 10 adet Rum kilisesinden, Aya Yorgi (Ishotya) ve Aya Baniya Kiliseleri olmak üzere iki tanesi günümüze ulaşabilmiştir (Şekil 3).



Şekil 3. Aya Yorgi (sol) ve Aya Baniya (sağ) Kiliseleri [37]

Gayrimüslim nüfusun, ilin genel nüfusuna oranı ve yerleşim yerlerinin genişliği değerlendirildiğinde, Isparta il merkezi ve Eğirdir'de özellikle Rum nüfusun hem ekonomik sistemde hem de demografik yapıda azımsanmayacak bir yer tuttuğu görülmektedir. Konya'da 1847-1900 yılları arasında yayınlanan salnameler, Isparta sancağında yaşayan gayrimüslimlerin, Meclis-İ İdare-i Liva, Meclis-i Temyiz-i Hukuk, Sandık Eminlikleri, Tahrirat-ı Liva, Meclis-i Belediye, Mahkeme-i Ticaret, Menafi Komisyonları gibi idari kurumlarda yönetici pozisyonlarında aktif görev aldıklarını göstermektedir [9]. Özellikle Tanzimat Fermanı'nın ilanından sonra gayrimüslim toplulukların Osmanlı Devleti nazarında eşit vatandaşlık haklarına sahip olmalarının yanı sıra yüzyıllar boyunca aynı coğrafyayı paylaştıkları Müslüman toplumla da kültürel olarak uyum içerisinde yaşadıkları anlaşılmaktadır; öyle ki giyim kuşamları, adetleri ve dilleri ile Müslümanlardan ayırt edilebilen bir tarafları bulunmamaktadır; Böküzade Süleyman Sami, Isparta Tarihi adlı eserinde, gayrimüslim gruplardan şu şekilde bahsetmiştir; *"Müslüman, Hıristiyan genellikle Türkçe konuşur ve yazarlar. Hatta Rumların çoğunluğu Rumca bilmez ve serbest Rumca söz bile söyleyemezler. Usul-i maişet ve idarece Müslümanlardan hiç farkları yoktur. Yerli İslam kadınlarının tesettüre olan riayet-i kâmilelerini takliden ve takdiren Hıristiyan kadınları dahi başörtüsüz sokağa çıkmazlar. Asla Rumca bilmezler. Rumca konuşmazlar. Yalnız mektuplarını, defterlerini Rumca harflerle, yine Türkçe yazarlar. Ermenilerin*

kendi aralarında ve aile arasında daima Ermenice söyledikleri ve mektuplarını, defterlerini Ermeni harflerle, Ermenice yazdıkları görülür." [7].

Türk gelenekleriyle yaşayan, yaygın Türkçe isimlere sahip olan ve Türkçe'den başka dil bilmeyen bu Ortodoks gruplar, ağırlıklı olarak Orta Anadolu'nun Karaman yöresinde yaşadıkları için Karamanlı Rumlar olarak bilinmektedirler [10]. Karamanlılar, Osmanlı'nın inanç temelinde belirlenen millet tanımına göre Romen, Ulah, Arnavut, Arap ve Ermeniler gibi diğer Ortodoks Hıristiyan topluluklarla birlikte Rum milletinden sayılmışlardır [11]. Yüzylerce yıl Anadolu'da yaşayan, pek çok tarihi belgeye konu olan, Charles Texier, Evliya Çelebi, Avram Galanti gibi seyyahların da eserlerinde bahsettikleri, anadili Türkçe olan bu Ortodoks gruplar, Karamanlı Türkçesi ile zengin bir edebiyat ortaya koymuşlardır. Bu topluluğun, mezar taşları ve mimari eserlerindeki kitabeleri de Grek alfabesiyle, Türkçe olarak yazılmıştır. [5]. Günümüzde Isparta Müzesinde bulunan Aya Yorgi Kilisesi kitabesinin de Grek harfleriyle ve Karaman Türkçesiyle yazıldığı bilinmektedir.

Karamanlılar tarihi süreç içerisinde de kendilerini Türk olarak tanımlamış ve Türkçe olarak ortaya koydukları edebi eserlerinde de bunu vurgulamışlardır. 1922 yılında bir grup Karamanlı Ortodoks, Türk olduklarını dile getirerek Kayseri'de müstakil bir Türk Ortodoks Patrikhanesi kurarak Milli Mücadelede Ankara Hükümetinin yanında yer almışlardır [10].

Karamanlılar, 1924 yılına kadar, Trabzon'dan Fırat, Toroslar ve Silifkeden geçen hattın batısında kalan bölgelerde yaşamışlardır. Ağırlıklı olarak Kayseri, Niğde, Nevşehir, Karaman, Konya, Isparta, Burdur ve Antalya yörelerinde yaşamışlardır. Bu bölgelerin dışında Karadeniz kıyılarında, İzmir'de ve İstanbul'da da Karamanlı yerleşimlerinin bulunduğu bilinmektedir [12].

Ancak Karamanlı Hıristiyanlar, 1923 yılında imzalanan Lozan Barış Antlaşması kapsamında, milliyetlerinden ziyade dini inançları dikkate alınarak Rum milletinden kabul edilmiş ve 1924 yılında Türkiye ve Yunanistan arasında gerçekleşen nüfus mübadelesine tabi tutularak Yunanistan'a gönderilmişlerdir [13]. Araştırmacıların yaygın görüşü Karamanlı Hıristiyanların, Anadolu'nun Türk hâkimiyetine geçmesinden önce Anadolu coğrafyasına yerleşerek Hıristiyan inancını kabul eden, Bizans ordularında paralı askerlik yapan Kuman, Kıpçak ve Peçenek gibi Türk topluluklarının bakiyesi oldukları yönünde olmasına karşın, egemen Türk kültürüne adapte olan Rumlar olduklarını savunan görüşler de mevcuttur.

Türkçe konuşan, Hıristiyan bir topluluk olduğu bilinen Karamanlı halkı, Anadolu'da yaşayan

Rumlardan ve Müslüman Türklerden farklı bir topluluktur, bu anlamda Karamanlı halkının somut kültürel mirası olarak günümüze ulaşan öğeler sanat tarihi açısından da özgün değerler taşımaktadır.

Karamanlı Ortodoksların etnik kökenleri çok kapsamlı ve tamamen başka bir araştırmanın konusu olmakla birlikte, yüzlerce yıl boyunca bir parçası oldukları Osmanlı toplumunun kültürel ve ekonomik gelişimine önemli katkıları aşikâr olan bu topluluğun kültürel mirası, tıpkı tüm insanlığa ait değerler olan diğer kültür mirası unsurları gibi korunmayı ve yaşatılmayı hak etmektedir.

Osmanlı'da kilise yapım kuralları:

Çokuluslu bir toplumsal yapıya sahip olan Osmanlı Devleti'nde toplum, dini inançları ve mezheplerine göre farklı sınıflara ayrılmıştır; Tanzimat'tan önce, temel olarak Müslüman ve gayrimüslim olarak ayrılan topluluklar devlet nezdinde farklı statülere ve haklara sahiptirler. Gayrimüslim nüfusa, ikamet ettikleri yerler, evleri, giyimleri gibi konularda kısıtlamalar ve kurallar getirilmiştir; gayrimüslimler belirli renkleri giyemez, ata binemez, silah taşıyamaz, Müslümanlardan icazet almadan Müslüman mahallelerinde cami, türbe ve mektep gibi yerlerin yakınlarında ikamet edemezlerdi [11].

Ayrıca gayrimüslimlerin dini yaşayışları da belirli kurullarla sınırlandırılmıştır; dini ayinler Müslümanların görebileceği şekilde yapılamaz, çan çalınmaz, kilise dışında istavroz çıkarılamaz, yüksek sesle ayin yapılamaz ve bayrak ve flama taşınmazdı [11]. Gayrimüslim nüfusun tabi olduğu bu kurallar, Osmanlı coğrafyasındaki kilise mimarisinin şekillenmesinde de oldukça etkili olmuştur, zira Osmanlı hukukunda kilise yapımı ve onarımı konusunda oldukça kapsamlı kurallar bulunmaktadır; Osmanlı Hukuku'na göre fethedilen bir yerdeki ibadethanelere dokunulmaz, ancak yenisinin inşa edilmesi veya mevcut bir dini yapının başka bir yere taşınmasına izin verilmezdi ayrıca yapının tamirat ve tadilat işleri de izinsiz yapılamazdı, tamirat işleri resmi izin dahilinde ve yapının eski şekliyle aynen yapılması şartıyla mümkündür. [14]. İslam hukukuna göre Müslüman beldelerde çan çalınmasına izin verilmez, bunun yerine demir çingirak ya da tahta çalınabilirdi. Ayrıca ibadet sırasında sesin dışarıdan duyulmaması gerekirdi [15].

Osmanlı yönetimi altındaki gayrimüslimlere getirilen bu kısıtlamalar dini yapıların mimari gelişimini de önemli ölçüde şekillendirmiştir; Osmanlı hakimiyeti altındaki coğrafyada yapılan kilise ve sinagog yapılarında kubbe yapımı ve çatının kurşunla kaplanması yasaklandığı için yapılar genellikle tonoz örtüyle yapılmış, varsa kubbeler, kırma çatıyla kapatılmıştır. Ayrıca çan çalınması yasak olduğu için Tanzimatın ilanına kadar, Osmanlı coğrafyasındaki kiliselerde çan kulesi görülmez [16]. Tanzimat Fermanı'nın ilanından sonra gayrimüslimlerin

yaşayış, ibadet ve mimari yapıları üzerindeki kısıtlamalar kaldırılmıştır [17]. Müslüman ve Hıristiyan ayrımı olmaksızın bütün tebaa kanun önünde eşit kabul edilmiş, Gayrimüslimler, vatandaş ya da ekalliyet (azınlık) statüsüne kavuşmuşlardır [18]. İslahat ve Tanzimat fermanlarının ilanından önceki dönemlerde Osmanlı kiliseleri, Bizans'a dayanan mimari gelenekleri ve uygulanan kurallar çerçevesinde özgün bir mimari oluşturmuştur [16]. Aya Yorgi Kilisesi'nde bulunan, eklenti çan kulesi, Osmanlı Devleti'nin bir siyasi geçiş dönemi olan Tanzimatın özelliklerini göstermesi cihetiyle, yapının sanat tarihindeki özgün değerini ortaya koymaktadır.

2.2.2. Mimari Özellikleri

Osmanlı Dönemi Anadolu Kiliselerinin Mekânsal Özellikleri

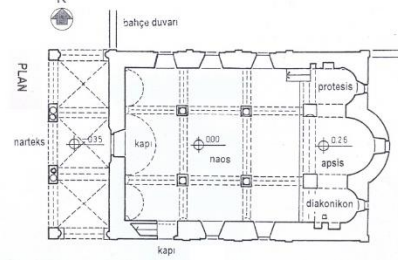
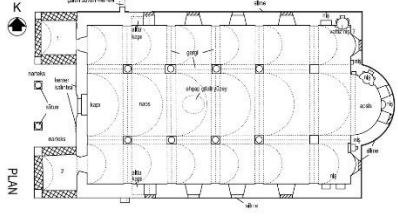
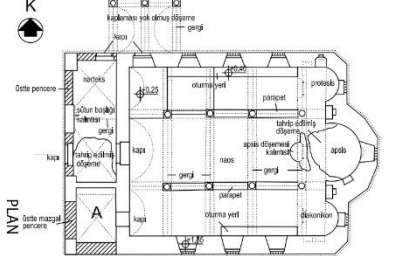
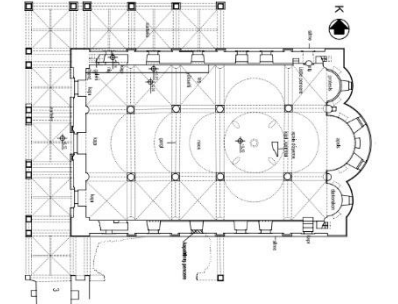
Hıristiyanlığın ilk yıllarında, ibadethane olarak eski dinin yapılarından ziyade mahkeme ve toplantı salonu olarak kullanılan bazilikalılar tercih edilmiştir [19]. Kelime anlamı, "Krala ait" olan bazilika kelimesi, Batı'da 5. yüzyıldan itibaren "kilise binası" anlamında kullanılmaya başlanmıştır [18]. Bizans döneminde yaygınlaşan bazilika tipi kiliselerin, Anadolu'da yaygın olarak görülmesinin sebebi Osmanlı döneminde kiliselerin sadece, mevcut şekilleriyle aynen tamir edilebilmesine izin verilmesi ve kubbe ve çan kulesi yapımı, konusundaki kısıtlamaları olarak açıklanabilir. Bu şekilde Bizans dönemi kiliseleri varlığını sürdürmüş ve Osmanlı yönetimi altında yeni yapılan kiliseler de benzer şekillerde yapılmışlardır.

Kiliselerde ana ibadet mekanı naos olarak tanımlanmaktadır. Naos bazilikal planlı kiliselerde neflerden oluşmaktadır. Anadolu'da yaygın olarak üç nefli bazilikal kiliseler bulunmaktadır [21]. Bu tip kiliselerde orta nef yan neflerden daha yüksektir. Doğu yönünün kutsal sayılması nedeniyle yapılar doğu-batı ekseninde ve ritüelin yapıldığı bema alanı naosun doğusunda yer alacak şekildedir [20]. Din adamlarının kullanımına özel olan bu kısım, alçak bir korkulukla ya da ikonostasis adıyla bilinen ahşap panellerle naostan ayrılır. Ahşap panellerle ayrılan bema alanının arkasında, genellikle yarım daire planlı olan apsis yer alır. Apsisin kuzeyinde ve güneyinde pastophoria adı verilen odalar bulunmaktadır. Kuzeyde yer alan oda, ritüel için kutsal eşyaların hazırlandığı, Protesis adı verilen odadır. Güneyde ise diakonikon adı verilen, din adamlarının kullanımı için ayrılmış bir oda bulunur. Kilisenin batısında bir avlu bulunur ve avlu ve naos arasında narteks adı verilen kapalı hol yer alır [19]. Batıdaki ana girişin yanı sıra kuzey ve güney yönlerde, batıya yakın bir aksta bemaaya açılan kapılar bulunabilir [19].

Ülkemizdeki en yaygın yaygın kilise tipi olan üç nefli, bazilikal planlı kiliselerin, Anadolu'nun farklı bölgelerinde çok sayıda örneğine rastlamak mümkündür. Açıkgöz'ün, [19] Anadolu'da

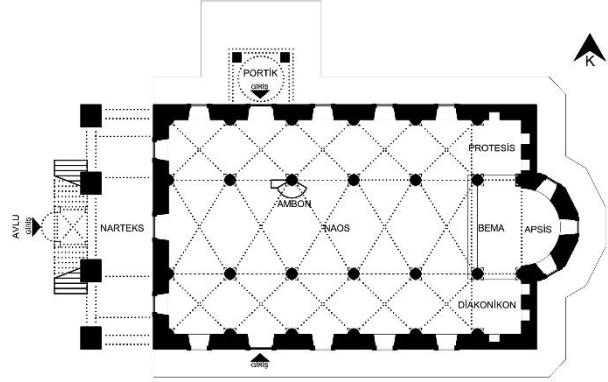
gayrimüslim nüfusun yoğun olarak yaşadığı Kayseri bölgesinde bulunan 19. yüzyıl kiliseleri üzerine yaptığı çalışmasında incelediği 23 adet kilisenin 17 tanesi üç nefli bazilikal plan şemasına sahiptir. Tablo 2'de bu yapıların bir kısmının planları ve özellikleri görülmektedir.

Tablo 2. Anadolu'da 19. yüzyıla ait üç nefli bazilikal planlı kilise örnekleri [19]

| | |
|---|--|
|  | <p>Ağırnas Agios Prokopios Kilisesi Doğu-batı eksenli, üç nefli, bazilikal planlı</p> |
|  | <p>İncesu Agios Dimitrios Kilisesi Doğu-batı eksenli, üç nefli, bazilikal</p> |
|  | <p>Tavlusun Agios Basielos Kilisesi Doğu-batı eksenli, üç nefli, bazilikal planlı</p> |
|  | <p>Endürük Aya Triada Kilisesi Doğu-batı eksenli, üç nefli, bazilikal planlı</p> |

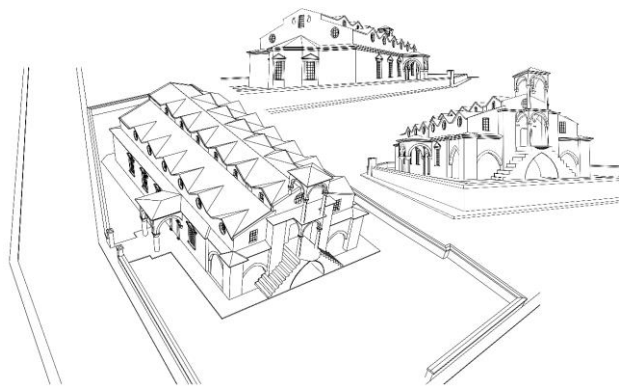
Anadolu'daki Ortodoks kiliselerinin mimarisinin şekillenmesinde Kilise gelenekleri ve Osmanlı siyasi ikliminin yanı sıra ibadet biçimi de etkili olmuştur; ibadet sırasında kadın ve erkekler farklı mekanları kullanmaktaydı, kadınlar ya kenar neflerde ya da galeri katında ibadete katılırlardı. Bu amaçla ya nartheks üzerinde ya da yan nefler üzerinde galeri katları bulunmaktadır [22]. Naos ve bemada dini törenlerde kullanılan eşyaların kullanıldığı nişler bulunmaktadır. Naosta çoğunlukla güneydeki ayaklardan doğudan üçüncü sıradaki ayakta, orta nefe bakacak şekilde yapılan despot koltuğu ve kuzey sıradaki taşıyıcılardan doğu yönünde, 3. veya 4. ayağa oturan, üzerinde İncil okunması için yapılan ambon bulunmaktadır [19].

Aya Yorgi Kilisesi de İstanbul ve Anadolu'da bulunan, Osmanlı dönemi kiliselerin büyük çoğunluğu gibi [19] üç nefli, bazilikal planlı bir kilisedir. Yapının planı ve genel özellikleri incelendiğinde, Tablo 2'de gösterilen kiliselerle önemli benzerlikler gösterdiği açıkça görülebilmektedir. Yapı Anadolu'da gelişen kiliselerin mimari geleneğine uygun biçimde, doğu-batı yönünde uzanan dikdörtgen bir plana sahiptir; batısında avluyla bağlantılı nartheks, doğusunda yarım daire planlı apsis yer almaktadır. Yapının boyu yaklaşık olarak 31m., eni 16.50 m., yüksekliği ise 10.50 m. dir (Şekil 4).



Şekil 4. Aya Yorgi Kilisesi planı [36]

Temel olarak bir ana ibadet mekanı olan naos, bir giriş mekanı olan nartheks ve nartheks üzerinde bir galeri katından oluşan yapı, çapraz tonozlarla kurulmuş, modüler bir mimariye sahiptir. Giriş mekanından itibaren standart aks aralıklarıyla kurulan strüktür, apsisde bir yarım kubbe ile tamamlanmaktadır. Osmanlı kilise yapım kurallarına uygun olarak apsis üzerinde bulunan yarım kubbenin üzeri kırma çatı ile kapatılmıştır. (Şekil 5).



Şekil 5. Aya Yorgi Kilisesi farklı açılardan perspektif çizimleri [36]

Kuzey, güney ve batısında üç adet giriş kapısı bulunmaktadır. Batıdaki anıtsal kemerli girişler üç yönlüdür; bu girişin sağında ve solunda bulunan iki adet merdivenle çan kulesine çıkılmaktadır [3]. Ana girişin yanı sıra kuzey ve güney cephelerinde, naosa açılan birer kapı bulunmaktadır. Kuzey giriş kapısı üzerinde iki adet sütun üzerine oturan, kubbeli bir

giriş saçağı (portik) bulunmaktadır (Şekil 6). Yapının kuzey cephesinden geçen bir yol bulunması nedeniyle buradaki girişi vurgulamak amacıyla bir saçak eklenmiş olması muhtemeldir.



Şekil 6. Aya Yorgi Kilisesi kuzey ve batı girişleri [36]

Kilise mimari geleneğine uygun olarak yapının batısında narteks, doğusunda apsis yer almaktadır. nartekste bulunan ahşap kirişlerden, burada bir galeri katı olduğu anlaşılmaktadır (Şekil 7).



Şekil 7. Narteks ve ahşap asma kat taşıyıcıları [36]

İki basamaklı olan apsis zemini yerden 60 cm yükseklikte ve çay taşlarıyla süslüdür [3]. Doğal zemini eğimli olan yapı, bir çevre duvarı içerisine alınmış ve eğimli olan bahçesi batı girişi seviyesinde doldurularak tesviye edilmiştir (Şekil 8).



Şekil 8. Aya Yorgi Kilisesi kuzey cephesi [36]

Yapının içerisinde herhangi bir eşya bulunmamaktadır. Ancak kuzey sırasındaki taşıyıcılardan doğudan 4. sıradaki kolonda ahşap merdivenle çıkılabilen, taştan bir ambon bulunduğu anlaşılmaktadır. Taş elemanın yüzeyinde ahşap merdiven ve korkulukların bağlantı noktaları ve

ahşap bağlantı elemanları görülebilmektedir (Şekil 9).

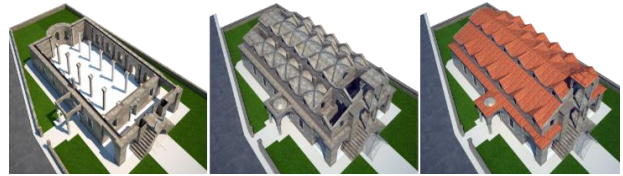


Şekil 9. İç mekandaki ambonun farklı açılardan görünümü [36]

Strüktür ve Malzeme Özellikleri

Yapının yükü, zemine 100 cm kalınlığındaki çift cidarlı taş duvarlar ve 70 cm çapındaki sütunlarla aktarılmaktadır. Yan neflerde 410-415 cm, orta nefte is 635 cm açıklığındaki kemerler, tonoz örtünün yükünü taşıyıcı sütunlara ve kemerlere iletmektedirler. Kemerleri güçlendirmek için demir gergiler ve kılıçlar yapılmış, kılıçlar cephede açıkta bırakılmıştır.

Yapı, iki sıra sütunla üç nef ayrılmıştır. Orta nef yaklaşık 9,5 metre, yan nefler ise yaklaşık 7 metre iç yüksekliğe sahiptir (Şekil 5). Her nefin üzeri çapraz tonoz sistemiyle örtülmüştür. Tonozların üzeri ise ahşap çatı sistemi ve kiremit çatı örtüsüyle kapatılmıştır, narteks kısmının üzerinde tonoz örtü bulunmaz, bu kısım sadece taşıyıcı kemerler üzerine kurulu ahşap çatı ile kapatılmıştır (Şekil 10).



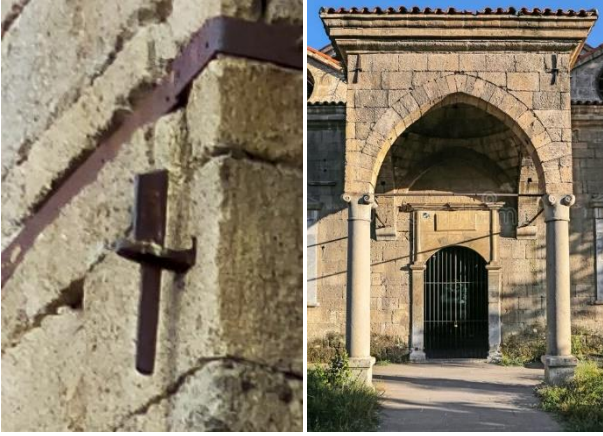
Şekil 10. Aya Yorgi Kilisesi strüktür şeması [36]

Yapının, eklenti çan kulesi tuğladan, diğer kısımları ise tamamen taştan yapılmıştır. İki katlı, eklenti çan kulesinin ise taşıyıcı ayakları ve kemerleri taştan, çapraz tonoz örtüleri ise tuğladan yapılmış ve yüzeyleri sıvanarak kapatılmıştır. Sivanın döküldüğü kısımlarda kullanılan tuğla malzeme görülebilmektedir (Şekil 11).



Şekil 11. Çan kulesi ve çapraz tonoz örtüsü [36]

Yapının alt duvarları çift cidarlı, moloz dolgu tekniğiyle yapılmıştır. Üst kısımdaki duvarlar ise daha ince, kesme taşlarla örülmüştür. Köşelerde büyük ve düzgün kesilmiş kalker taşları, diğer kısımlarında ise nispeten küçük kesilmiş taşlar kullanılmıştır [3]. Taşıyıcı duvarların kemerlerle birleştikleri noktalarda demir kılıç ve köşelerde demir kama gibi güçlendirme elemanları kullanılmıştır (Şekil 12).



Şekil 12. Cephede görülen kılıç ve güçlendirme elemanları [36]

Genel olarak küfeki taşıyla, yığma tekniğiyle yapılan yapıda kullanılan taşlar çeşitlilik göstermektedir; Kapılarda ve pencerelerde kullanılan kemer, lento ve söveler mermerden üretilmiştir (Şekil 13).



Şekil 13. Kapı ve pencere söveleri [36]

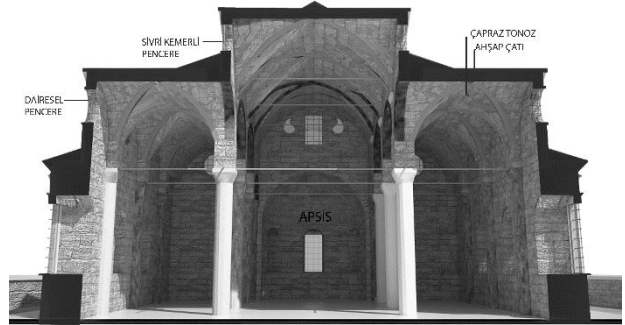
Asma kat, doğramalar ve çatıda ahşap malzeme, pencere parmaklıkları, gergi, kılıç ve kemer elemanlarında demir malzeme kullanılmıştır.

Yapının taşıyıcı sütunları iri, silindirik taşların üst üste konularak birleştirilmesiyle oluşturulmuştur, duvar tarafında bulunan tek yüzlü sütunlar ise taşıyıcı özellikleri olmaması sebebiyle nispeten daha küçük taşlarla örülerek yapılmışlar ve yüzeyleri sıvanarak kapatılmıştır. Sütunların başlıkları ise silindirden kareye geçen bir forma sahiptir. Ayrıca yapıyı güçlendirmek için demirden sütun gergileri ve güçlendirme putrelleri kullanılmıştır (Şekil 14).



Şekil 14. Taşıyıcı ve dekoratif sütunlar [36]

Anadolu'daki kilise mimarisinde yaygın olarak görülen biçimde apsis, içeride dairesel planlı ve üstü bir yarım kubbe ile örtülüdür; dışarda ise beş kenarlı (yarım ongen) bir yapıdadır ve yarım kubbenin üzeri de ahşap çatı sistemi ile kapatılmıştır (Şekil 15).



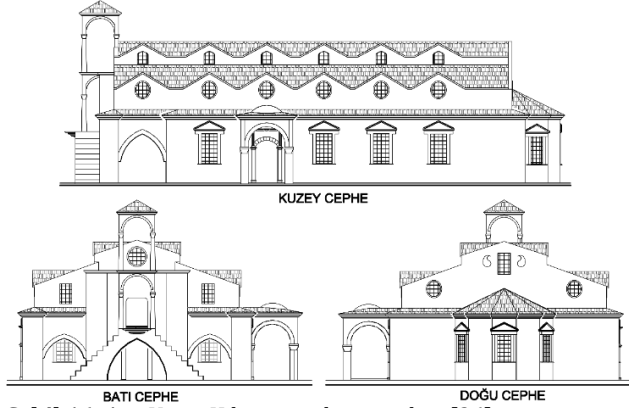
Şekil 15. Aya Yorgi Kilisesi 3 boyutlu kesiti [36]

Cephe Özellikleri

Yapı yalın bir cephe düzenine karşın oldukça etkili kütle hareketlerine sahiptir. Simetrik bir plana sahip olan yapının kuzey ve güney cepheleri de simetrik bir düzen gösterir. Kuzey cephesinde farklı olarak kubbeli bir giriş saçağı (portik) bulunur. Her iki cephede de alta üçer adet dikdörtgen pencere ve birer kapı, üstte altışar adet dairesel ve altışar adet sivri kemerli pencereler bulunmaktadır (Şekil 15).

Alta çift cidarlı, moloz dolgu tekniğiyle örülen kalın duvarların oluşturduğu kademenin üzeri, kırma çatı ile örtülmüştür, bu kademedeki saçakların altında, cephe boyunca devam eden, taş bir silme bulunmaktadır. Zemin seviyesindeki pencereler mermer söveli ve üçgen alınıklıdır. Pencereler iç

mekânda yuvarlak kemerli bir yapıda iken dışarıda dikkörtgen bir çerçeve içine alınmıştır (Şekil 17). İki yan nef ve daha yüksek bir orta nefle kademeli olarak yükselen yapının ilk kademesindeki yükseltide dairesel pencereler ve en üst kademede sivri kemerli pencereler kullanılmıştır (Şekil 16). Bu pencerelerde küfeki taşından yapılmış söveler kullanılmıştır.



Şekil 16. Aya Yorgi Kilisesi cephe çizimleri [36]

Batı cephesinde üç kemer açıklığı bulunan narteks ve üzerinde galeri pencereleri bulunmaktadır. Batı cephesinde yapının inşasından sonra eklenen, iki katlı çan kulesi bulunmaktadır.



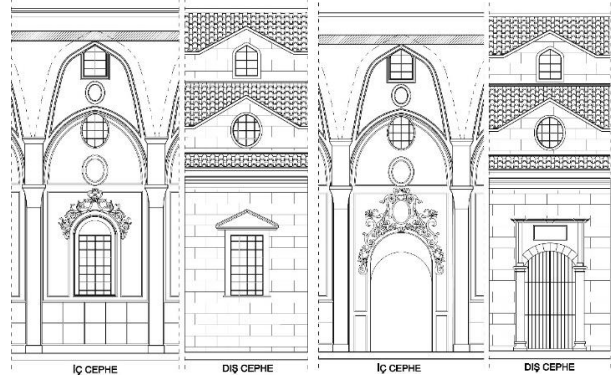
Şekil 17. Apsis iç ve dış görünüşü [36]

Apsisin bulunduğu doğu cephesinde, içeride yarım daire planlı ve yarım kubbe ile örtülü olan apsis, dışarıda beş kenarlı şekilde inşa edilmiş ve üzeri, yarım bir kule çatı ile kapatılmıştır. Doğu cephede apside 3 adet dikkörtgen pencere, yan neflerde birer adet dairesel pencere ve orta nefte bir dikkörtgen ve iki adet su damlası şeklinde pencere açıklığı bulunmaktadır (Şekil 17). Yapının dış cepheleri sıvanmamış, Isparta yöresinde sıklıkla kullanılan bir malzeme olan kesme küfeki taşı açıkta bırakılmıştır.

Bezeme Özellikleri

Bezemele ilgili günümüze ulaşabilen çok fazla unsur yoktur. Yüzeyle kalıntılardan yapının özgün iç mekânının tamamen sıvalı olduğu anlaşılmaktadır. Ancak özellikle tavan kısmı başta olmak üzere sıvalar büyük ölçüde dökülmüş durumdadır. Yan duvarlarda bulunan sıva ve bezemeler nispeten daha sağlam ve bezemeler okunabilir durumdadır. Sıva ve sıva katları beyaz ağırlıkta olmak üzere gri, yeşil, mavi, kırmızı, sarı ve siyah renk tonlarında boyalıdır [23]. Yapının

genel kütle organizasyonu ve cephe düzenini oluşturan kademelenme ve bu kademelerdeki pencere açıklıkları hem form hem de oransal olarak iç mekândaki bezemelerle oldukça uyumlu bir kompozisyon oluşturmaktadır (Şekil 18).



Şekil 18. Aya Yorgi Kilisesi iç mekân bezemeleri ve cephe düzeni [36]

Kilisenin yan duvarları her bir sütun sırası bir bölüm oluşturacak şekilde, pilasterlerle ayrılmıştır. Modüler bir strüktürü olan yapının iç mekânındaki bezemeler genel kompozisyon olarak aynı düzene sahip olsalar da kullanılan motifler her modülde farklılaşmaktadır. Böylece modüler düzenden kaynaklanan tekdüzeliğin önüne geçilmiştir. Pencere eşğine kadar olan kısımlarda, dış cephede kullanılan taş duvar taklit edilmiştir. Üst kısımlarda ise her bir modül alçı profillerle çerçeve içine alınarak, pencere açıklıkları ile birlikte bir bezeme kompozisyonu oluşturulmuştur (Şekil 19). Protesis, diakonikon ve apsis duvarlarında, bema alanına bakan duvarlarda nişler bulunmaktadır. Yan duvarlardaki bezemeler, restore edilebilecek seviyede bilgiyi sağlayabilmektedir. Ancak özellikle tavanında bulunan bezemelerin büyük çoğunluğu maalesef günümüze ulaşamamıştır.



Şekil 19. Aya Yorgi Kilisesi iç mekân bezemeleri [36]

Aya İshotya Kilisesi'nin de içinde yer aldığı Osmanlı Dönemi Anadolu kiliselerinin özellikle iç mekânlarında görülen alçı süsleme korint ve pilaster başlıkları, tavan göbeği ya da kartuşları gibi bezeme unsurları Barok ve Yeni Klasik form repertuarına aittir [6].

2.2.3. Mevcut Durumu

Genel taşıyıcı sistemi sağlıklı bir şekilde günümüze ulaşabilen yapının ana taşıyıcı sisteminde önemli bozulmalar görülmemekle birlikte yapının cephesinde, çatısında ve iç mekânında önemli deformasyonlar görülmektedir; Terk edilen pek çok yapıda olduğu gibi Aya Yorgi Kilisesi'nde de vandalizm etkileri görülmektedir; yapının batı, doğu ve güney cephelerinde, sprey boyayla yazılmış yazılar bulunmaktadır (Şekil 20).



Şekil 20. Doğu ve Batı cephelerindeki vandalizm etkileri [36]

Özellikle narteks, çan kulesi ve çan kulesine çıkan merdivenlerde önemli malzeme kayıpları ve deformasyonlar mevcuttur. Narteks kısmında bulunan ahşap asma katın sadece ana taşıyıcıları mevcuttur. Yapının çatısı genel olarak bütünlüğünü korumakla beraber narteks ve çan kulesi üzerindeki ahşap çatı konstrüksiyonu çökmüş durumdadır. Ayrıca bu kısımdaki taşıyıcı kemer elemanları da önemli ölçüde hasarlı durumdadır. Narteks bölümündeki taşıyıcı kemerlerin sadece yan duvarları ve üzerindeki çatının alın duvarı ayakta kalabilmiştir. (Şekil 21).



Şekil 21. Çan kulesi ve Narteks kısmındaki bozulmalar [36]

Yapının çatısı yenilenmiş olmasına karşın belirli kısımları hasarlı durumdadır. Çatıdan ve zeminden gelen su iç mekândaki sıvaların ve bezemelerin dökülmesine neden olmuştur, dış cephede ise duvarların zemine ve saçaklara yakın kısımlarında yosunlanma, çiçeklenme ve derz aralarında bitkilenme görülmektedir (Şekil 22).



Şekil 22. Muhtelif cephelerdeki çiçeklenme, yosunlanma ve bitki oluşumları [36]

Pencerelerde kullanılan demir parmaklıklar, güçlendirme putrelleri, kılıçlar ve kama elemanları korozyona uğramış durumdadır. Yapının özgün ahşap gergi elemanları mevcut olmayıp bağlantı noktaları görülebilmektedir.

Yapının içerisinde herhangi bir mobilya, avize vb. taşınır eşya bulunmamaktadır, 1903 yılında yapıldığı bilinen çanı ise Isparta Müzesi'nde sergilenmektedir. Pencere ve kapı boşluklarında çerçeve ve cam mevcut olmayıp yalnız demir parmaklıklar bulunmaktadır. Sadece çatı pencerelerinin bir kısmında özgün doğramaları korunmuştur. İç mekândaki sıvalar büyük ölçüde dökülmüş ve bezemeler de oldukça yıpranmış durumdadır [24]. Yapının zemin kaplamaları günümüze ulaşamamıştır. Bema alanındaki mozaik zemin kaplaması ise tahrip edilmiş durumdadır.

3. Bulgular

Aya Yorgi kilisesi; tarihsel süreci, mimari durumu ve çevresel analiz kriterleri kapsamında yapılan çalışmalar ve uluslararası koruma ölçütleri bağlamında, yeniden işlevlendirme değerlendirmesi ve yeniden işlevlendirme önerisi olarak iki başlıkta değerlendirilmiştir.

3.1. Yeniden İşlevlendirme Değerlendirmesi

Yapının taşıyıcı strüktürü oldukça iyi korunmuş durumda olmakla beraber özgün niteliklerinin önemli bir kısmının tahrip olduğu ya da günümüze ulaşmadığı görülmektedir. Ancak yapının bütünlüğünü bozacak seviyede, geri dönülemez hasalar oluşmamıştır. Günümüze ulaşamamış olan, her kilisede mutlaka var olduğu bilinen sunak, despot koltuğu, ambon, sıralar ve benzeri taşınır eşyalara dair bilgiler bulunmadığı için bunların yerine konması mümkün değildir. Ancak bezemelerin günümüze ulaşabilen kısmı, özgün biçimiyle restore

edilebilmesine imkan verecek kadar bilgiyi sağlamaktadır. Yapıda oluşan tahribatın temel nedenini, yapının kullanım dışı olması ve gerekli bakımlarının ve temizliğinin düzenli olarak yapılmamış olması olarak açıklamak mümkündür. Tarihi yapıların varlıklarını sürdürebilmeleri, meydana gelen hasarların zamanında tespit edilerek bu hasarların uygun müdahalelerle giderilmesi ve sürekli bakımlarının yapılarak yapının zayıflayan kısımlarının güçlendirilmesiyle sağlanabilmektedir [2]. Bu açıdan yapının korunabilmesi için en etkili çözüm olarak yapının kültürel kimliğine, mimari özelliklerine ve bulunduğu konuma uygun, yeni bir fonksiyonla tekrar kullanıma açılması önerilmektedir.

Yapıların yeni bir işlevle yeniden kullanımı, bu eserlerin korunması ve gelecek nesillere sağlıklı bir şekilde aktarılabilmesi için uluslararası otoritelerce kabul görmüş, oldukça etkili bir yöntemdir. Tarihi yapıları koruma türlerinden olan yeniden işlevlendirme, içinde bulunulan toplumun zamanla farklılaşan ihtiyaçlarına bağlı olarak, özgün işlevini kaybeden mimari mirasın yeniden kullanılması olarak adlandırılmaktadır [25].

Önleyici, sürekli bakımın düzenli olarak yapılabilmesi için yeniden kullanım mutlaka gereklidir [26]. Bu yolla yapılan sürekli bakım yapıda meydana gelen hasarların ilerleyerek büyük onarımlar gerektirecek seviyeye ulaşmasının önüne geçmektedir. Ancak yapıya yüklenen yeni işlev, anıtın değişmeden ve bozulmadan korunması için en az müdahaleyle gerçekleştirilmelidir [2]. Yapılan her bir yapı o zamanın, o günün ve o şehrin ihtiyaç duyduğu işleve yönelik zamanın imkan ve koşullarına göre inşa edilmektedir [27]. Günümüzde o işleve gerek olmayabilir fakat tarihi, sosyal ve ekonomik nedenler yapının kullanılmasını gerektirebilmektedir [28].

Mimari eserlerin korunması konusunda önemli bir kılavuz olan Venedik tüzüğü'nün 3. Ve 4. maddelerinde yeniden kullanım ve sürekli bakım hakkında şu şekilde bahsedilmektedir. "Anıtların korunmasındaki temel tutum korumanın kalıcı olması, devamlılığının sağlanmasıdır. Anıtların korunması, her zaman onları herhangi bir yararlı toplumsal amaç için kullanmakla kolaylaştırılabilir. Bunun için bu çeşit bir kullanım arzu edilir, fakat bu nedenle yapının planı ya da süslemeleri değiştirilmemelidir. Ancak bu sınırlar içinde yeni işlevin gerektirdiği değişiklikler tasarlanabilir ve buna izin verilebilir" [29].

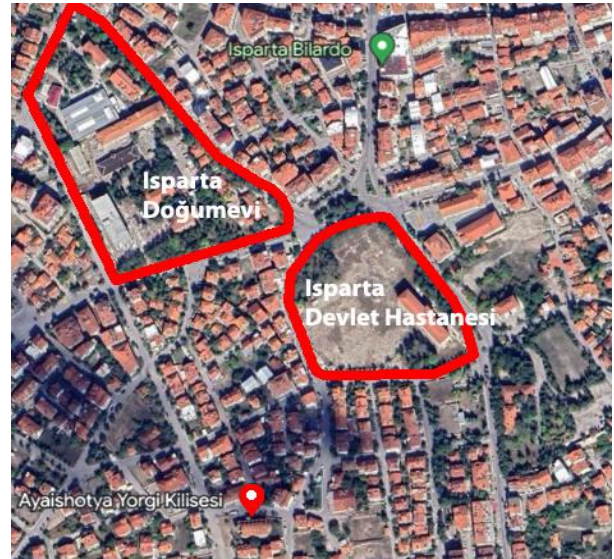
Tarihi yapıları toplum için önemli bir kaynak olarak değerlendirerek kullanılmasının yanı sıra yapının yaşatılması ve gelecek nesillere aktarılacak kültürel bir ürün olarak görülmesi yapılara yaklaşımda doğru bir bakış açısı oluşturabilmektedir [31]. Aya Yorgi Kilisesi'nin yapılacak olan restorasyonun ardından yeniden işlevlendirilmesi, temel olarak yapının sahip olduğu tarihi ve kültürel değerlerinin

korunması ve gelecek nesillere aktarılabilmesinin yanı sıra ekonomik olarak da fayda sağlayacaktır. Mevcut bir yapının onarılarak yeniden kullanılması yeni bir yapı üretmekten çok daha az işgücü, enerji ve maliyet gerektirmektedir. [30].

Verilecek olan yeni işlevin belirlenmesinde birtakım unsurlar göz önünde bulundurulmalıdır. Tarihi yapıların yeniden kullanımına yönelik projeler geliştirilirken, bu yapıların toplumsal değerleri, özgün kimlikleri ve manevi değerlerine saygılı olunması gerekir. Yeni işlevin belirlenmesinde yapının plan kurgusu, boyutları ve mekân özellikleri göz önünde bulundurularak bu özelliklerine uygun bir işlev seçilmeli ve yapılan müdahalenin sınırlı ve geri alınabilir olması ilklerine uyulmalıdır [2]. Bunların yanı sıra yapının bulunduğu konum ve yakın çevresi ile olan ilişkisi de yeni işlevin belirlenmesi konusunda göz önünde bulundurulmalıdır.

3.2. Yeniden İşlevlendirme Önerisi

Aya Yorgi Kilisesi'nin bulunduğu Doğancı Mahallesi Isparta kent merkezine oldukça yakın konumda bulunan, konut yapılarının yanı sıra ticari yapıların da yoğun olarak bulunduğu bir bölgedir. Yakın zamana kadar bu bölgede bulunan Isparta Devlet Hastanesi ve Doğumevi yapıları bölgenin merkezini oluşturmaktadır (Şekil 23).

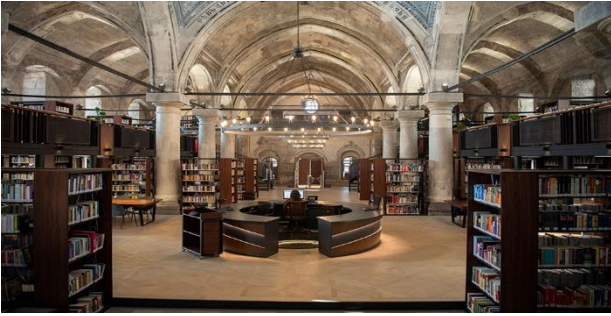


Şekil 23. Aya Yorgi Kilisesi ve Eski Hastane alanları konumu [38]

Bu yapıların yakın geçmişte yıkılarak mevcut hastanelerin yeni yapılan Isparta Şehir Hastanesi'ne taşınmasından sonra boş kalan arsalar, eğitim kampüsü yapılmak üzere Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi'ne (ISUBU) tahsis edilmiştir. Sağlık yapıları etrafında örgütlenen, ticaret ve konut yapılarından oluşan bu bölgenin, bu gelişmelerin ardından bir eğitim merkezi etrafında değişmesi ve dönüşmesi zorunlu hale gelmiştir.

Yapının mekânsal özellikleri, ebatları, özgün kimliği, tarihi ve manevi değeri ve bir eğitim merkezi etrafında yeniden örgütlenen bir bölgede bulunan konumu göz önüne alındığı zaman, eğitime hizmet eden bir kütüphane yapısı olarak yeniden işlevlendirilmesi uygun görünmektedir.

Ülkemizde kiliselerin, başta Ayasofya olmak üzere, cami, müze, kültür salonu, toplantı ve sergi salonu gibi işlevlerle yeniden kullanıldığı örneklerle rastlamak mümkündür. Kiliselerin, bu yaygın kullanımların yanı sıra kütüphane olarak da kullanıldığı örnekler mevcuttur; Kayseri Meryem Ana ve Giresun Kapusen Kiliseleri, kütüphane kullanımlarına başarılı örnekler olarak gösterilebilir (Şekil 24), (Şekil 25).



Şekil 24. Kayseri Meryem Ana Kilisesi, Şehir Kütüphanesi [34]



Şekil 25. Giresun Kapusen Kilisesi, Çocuk Kütüphanesi [35]

Bir kütüphane yapısı için temel olarak kitaplık ve okuma salonu, giriş, idari ofis servis birimleri ve sosyal alanlar yeterli olacaktır (Tablo 3).

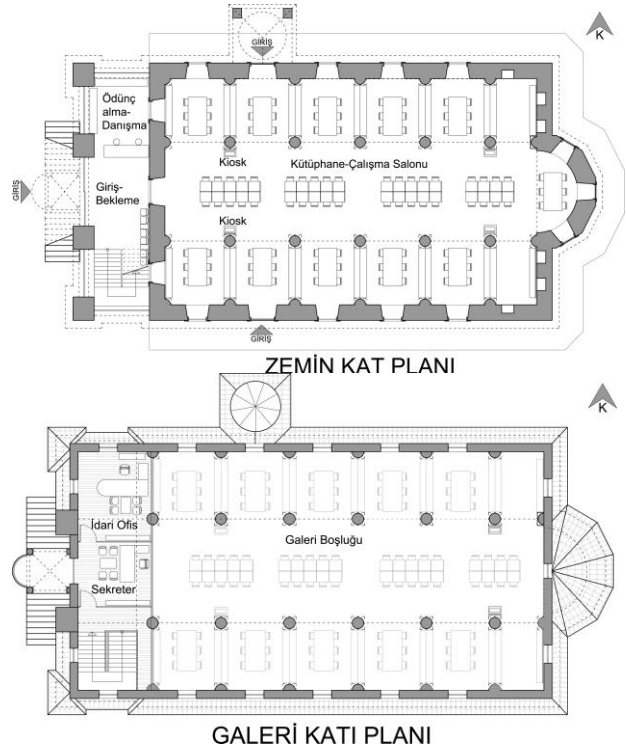
Tablo 3. Kütüphane işlevi için gerekli mekanlar [36]

| Mekân | İşlev |
|------------------|--|
| Giriş | Güvenlik, danışma ve bekleme |
| Okuma salonu | Kitaplık ve Okuma |
| İdari ofis | Yönetici ve çalışanların kullanımı |
| Servis birimleri | Teknik mekanlar, wc, depo ve gerekli ekipmanların saklanması |
| Sosyal alanlar | Kullanıcıların, yeme içme ihtiyaçlarını da karşılayabileceği bir dinlenme mekânı |

Çalışmanın ilk bölümünde, Aya Yorgi Kilisesi'nin yapısal ve mekânsal özellikleri incelenmişti; yapının mekânsal kurgusu, bir giriş mekânı olan narteks, narteksin üzerinde bulunan bir galeri katı ve bir toplu

ibadet mekânı olan naostan oluşmaktadır. Toplu kullanım için tasarlanmış olan bu yapı için yeni bir işlev belirlenirken yine toplu kullanıma uygun bir işlev seçilmesi, yapının taşıyıcı sistemi ve önemli iç mekân özelliklerini bozmamak adına en az müdahaleyle yeni işleve uyarlanabilmesi açısından oldukça önemlidir.

Yapının giriş mekânı olan narteks, danışma ve bekleme işlevini karşılayacak bir giriş mekânı için uygun büyüklüğe sahiptir. Bu mekânın üstünde bulunan asma katın bir idari ofis olarak işlevlendirilebileceği gibi kilisenin ana mekânının da kütüphane ve okuma salonu olarak hizmet vermeye oldukça uygun boyutlarda olduğu düşünülmektedir (Şekil 26).



Şekil 26. Aya Yorgi Kilisesi öneri kat planları [36]

Yapının kullanım alanını arttırmak adına yan nefler, sökülebilir, hafif strüktür sistemleriyle asma katlar oluşturulması açısından oldukça uygundur. Yapı strüktürü açısından yan neflerin yaklaşık 7 metrelik yüksekliği bu türden bir müdahale için elverişlidir (Tablo 4).

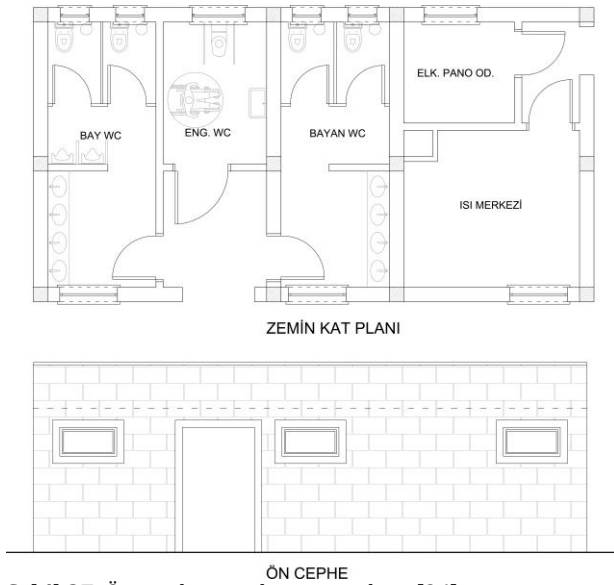
Tablo 4. Eski ve yeni işlev karşılaştırması [36]

| Mekân | Özgün İşlev | Yeni İşlev |
|-------------|------------------|-------------------------------------|
| Naos | Toplanma-İbadet | Okuma-Kitaplık |
| Narteks | Giriş-Bekleme | Giriş-Bekleme |
| Galeri katı | Toplanma-İbadet | İdari birim |
| Avlu | Toplanma-Bekleme | Sosyal alanlar, Dinlenme |
| Çağdaş Ek | --- | Servis mekanları ve Teknik hacimler |

Yapının mekânsal kurgusu, ebatları ve bulunduğu konum kütüphane fonksiyonunu karşılamak için yeterlidir. Ancak genel olarak tarihi yapıların teknik

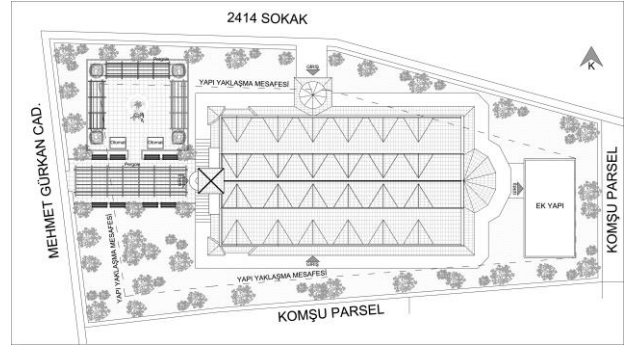
tesisat sistemlerinin günümüzün ihtiyaçlarını karşılamaları pek mümkün değildir. Yapının yeni işleve adapte edilmesi ve gerekli teknik donatıların eklenmesi gerekmektedir. Tarihi yapılarda ısıtma, aydınlatma, havalandırma ve sıhhi tesisat sistemleri için günümüz yapılarındaki gibi teknik şaftlar ya da sıva altı tesisat sistemlerinin uygulanması uygun değildir. Bu tür donatılar sıva üstü kablo kanalları ve asılı havalandırma sistemleri ile çözülebilmektedir. Bu donatılar için bir teknik merkez ve kullanıcıların ihtiyaçları için bir servis mekânı gereksinimini karşılamak için bir ek yapı ihtiyacı doğmaktadır. Tarihi çevrede yeni/ek yapı üretimi, önemli bir araştırma, uygulama ve tartışma konusu olmuş, bu konuda tarihi dokuyu taklit etme ve yok sayma arasında çeşitlenen çok farklı yaklaşımlar ortaya çıkmıştır [32].

Burada oluşan ek yapı ihtiyacının giderilmesi için "Saygılı Yaklaşım" benimsenmiştir. Bu bağlamda ortaya çıkan destek mekanları gereksinimi karşılamak için de yapının görünürlüğü en az olan doğu kısmında kalan arka bahçesinde, yapıdan bağımsız, gerekli fonksiyonları asgari büyüklüklerle karşılayabilecek, yapının tarihi değerine ve kimliğine saygılı, tarihi yapının ana malzemesi olan küfeki taşıyla yığma tekniğiyle üretilecek, oldukça yalın bir form ve cepheye sahip, koruma ilkelerine ve günümüzde uygulanan yapı blokları arası mesafeler, yapı yaklaşma sınırları gibi yapılaşma şartlarına uygun bir çağdaş ek yapı önerilmiştir (Şekil 27).



Şekil 27. Öneri ek yapı planı ve cephesi [36]

Kütüphane kullanımı ve destek mekanlarına ek olarak yapının batı cephesindeki avluda kullanıcıların yeme, içme ve dinlenme ihtiyaçlarını karşılayabilmek için ahşap malzemeyle üretilmiş yarı açık oturma mahalleri ve personel çalıştırmayı gerektirmeyen, işletme maliyeti düşük olan yiyecek-içecek otomatlarının da yerleştirilebileceği bir dinlenme alanı önerilmiştir (Şekil 28).



Şekil 28. Aya Yorgi Kilisesi öneri vaziyet planı [36]

Bu şekilde yapının strüktürel sistemine, cephesine ve iç mekanına müdahale gerekmeden ve yapıya ekstra bir yük getirilmeden yapılacak bir dönüşüm, yapının kullanılması yoluyla korunmasını ve sürekli bakım ve onarım ihtiyacının karşılanmasını sağlayacaktır .

4. Tartışma ve Sonuç

Çalışmada incelenen Aya Yorgi Kilisesi, Isparta'da günümüze ulaşabilen iki kiliseden biridir. Osmanlı kilise mimarisinin özelliklerini taşıması ve yapı üzerinden Tanzimat Fermanı'nın etkilerinin gözlemlenebiliyor olması bakımından da sayılı kilise örneklerden biridir. Yapı bütünlüğü ve mekansal özellikleri korunmuş olsa da bezemeleri, özgün mobilyaları, doğramaları gibi yapı bileşenlerine yönelik özgün nitelikleri günümüze ulaşamamıştır. Yapının mevcut durumu, bu değerli kültürel mirasın günümüze ulaşamayan diğer terk edilmiş kiliselerle aynı kaderi paylaşacağı konusunda kaygı uyandırmaktadır.

Tarihi yapılar, somut kültürel mirasın en güçlü unsurları olarak kentlerin tarihi, sanatsal ve toplumsal özelliklerinin depolandığı birer bellek merkezidir. Çeşitli nedenlerle özgün işlevini sürdürümemeyerek atıl duruma düşen yapıların belirli prensipler dahilinde, yeni bir işlevle tekrar kullanılarak koruma altına alınması, küresel ölçekte kabul görmüş bir koruma stratejisi olarak benimsenmiş durumdadır. Ülkemizde ve yurtdışında işlevini kaybetmiş durumda olan ibadethanelerin yeni işlevlerle kullanıldığı çok sayıda örneğe rastlamak mümkündür. Bu bağlamda tarihi yapılara yapılan yeniden işlevlendirme ile yapının sahip olduğu değerli izlerin -bilgilerin aktarılması sağlanmaktadır. 1924 yılında gerçekleştirilen mübadelenin diğer tarafı olan Yunanistan'da ve diğer Balkan ülkelerinde de kullanıcılarını kaybederek atıl duruma düşen çok sayıda cami, medrese, han gibi Osmanlı eserleri bulunmaktadır. Bunların bir kısmı kilise, müze ve sergi salonu gibi işlevlerle kullanılırken önemli bir kısmı günümüze ulaşamamış veya yok olma tehdidiyle karşı karşıyadır [33]. Ülkemizde aynı durumda olan tarihi yapıların yeni işlevlerle kullanılarak korunması, karşılıklı olarak kültürel mirasın yaşatılmasını teşvik edici yönüyle de stratejik öneme sahiptir.

Terk edilmiş tarihi yapıları yeni işlevlerle halkın kullanımına açarak koruma altına almak, temel olarak kültür mirasının korunmasını sağlamakla birlikte yapıların çevrelerinde yeni sosyal ve kültürel dinamikler yaratılmasına ve ekonomik canlanmaya imkân vererek önemli faydalar sağlamaktadır. Aya Yorgi Kilisesi'nin kütüphane işleviyle yeniden kullanımı örneğinde, kentin tarihi kimliğinin daha görünür kılarak toplumun tarih ve koruma bilincinin gelişmesi, bölgeye kazandırılan bir kütüphane yapısının eğitim faaliyetlerine yapacağı olumlu katkılar, kentsel bir odak noktası oluşturan yapının bulunduğu bölgeyi daha değerli kılarak bölge sakinlerinin yaşam standartlarının yükselmesi gibi sosyal ve kültürel faydaları olacağı öngörülmektedir. Bunların yanı sıra pek çok ekonomik kazanımı da beraberinde getirecektir; yeni işlevle kullanıma açılacak olan tarihi kilise, üniversite kampüsü çevresinde yeniden örgütlenen bölgede doğacak olan kütüphane ihtiyacını, farklı bir arsa üzerinde yeni bir yapı üretmekten çok daha düşük bir maliyetle karşılaması yönüyle ekonomik bir değer yaratacaktır. Bunun yanı sıra bulunduğu çevrede yaratacağı kullanıcı hareketliliği, bölgenin ticari faaliyetlerine de pozitif yönde katkı sağlayacaktır.

Bu amaçlar doğrultusunda, çalışmadan elde edilen bulgular ışığında tarihi yapıya en az müdahale ile yüklenen işlevi yerine getirebilecek ve yapının özgün işlevine, kimliğine ve mekân kurgusuna uygun bir yeni işlev önerisi oluşturulmuştur. Bu şekilde tarihi yapıların yeniden işlevlendirilmesi ile sürdürülebilir ve sağlıklı bir koruma gerçekleştirilebileceği düşünülmektedir.

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] Seren, S. 1982. Isparta Tarihi, Çeltüt Matbaacılık, İstanbul, 415s.
- [2] Ahunbay, Z. 2021. Kültür Mirasını Koruma İlke ve Teknikleri, Yem Yayınları, İstanbul, 256s.
- [3] Türk, A., Öçal, H. 2007. Isparta Kenti Konut Dışı Sivil Mimari Yapıları ve Özellikleri, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 11 (1), 38-47.
- [4] Symon, G. E., Cassell, C. E. 1998. Qualitative methods and analysis in organizational research: A practical guide. Sage Publications Ltd.

- [5] Demir, N. 2008. Türkiye'de Bulunan Grek Harfli Türkçe Kitabeler ve Karaman Türklerinin Dili, VI. Uluslararası Türk Dili Kurultayı 13-18 Ekim, Ankara.
- [6] Aydın, A., Şahin, Ö. 2018. Tarihi Yapıların Yeniden İşlevlendirilmesi: Isparta Aya İshotya Yorgi Kilisesi'nin Gül Müzesi'ne Dönüşümü. Tüba-Ked Türkiye Bilimler Akademisi Kültür Envanteri Dergisi, 17(1), 63-75.
- [7] Temizer, A. ed. 2014. Böcüzade Süleyman Sami, Isparta Tarihi, Isparta İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü Yayını, Isparta, 775s.
- [8] Demirci, D. 2010. Isparta'da Bulunan Beş Karamanlıca Kitabının İncelenmesi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Sosyal Bilimler Dergisi, 32 (1), 155-176
- [9] Aydın, M. 2015. XIX. Yüzyılın Son Çeyreğinden XX. Yüzyılın İlk Çeyreğine Kadarki Dönemde Konya Sâlnâmelerine Göre Isparta Merkez'de Yönetimdeki Gayr-İ Müslimler, Türk-İslam Medeniyeti Akademik Araştırmalar Dergisi, 10 (19), 9-19.
- [10] Ekin, C. 2017. Karamanlıların Soy Kütükleri: Karamanlıca (Grek Harfli Türkçe) Kitabeli Mezar Taşları, Sanat Tarihi Dergisi, 26 (2), 221-241.
- [11] Soykan, T. 2000. Osmanlı İmparatorluğu'nda Gayrimüslimler, Ütopya Kitabevi, İstanbul, 270s.
- [12] Yüce, N. 2011. Karamanlı Türkleri, Türk Dili ve Edebiyatı Dergisi, 42 (42), 155-164.
- [13] Anzerlioğlu, Y. 2003. Karamanlı Ortodoks Türkler, Phoenix Yayınları, Ankara, 376 s.
- [14] Tuğlacı, P. 1991. İstanbul Ermeni Kiliseleri, Pars Yayın Ltd., İstanbul, 451s.
- [15] Ercan, Y. 2001. Osmanlı Yönetiminde Gayrimüslimler, Turhan Yayınları, Ankara, 316s.
- [16] Karaca, Z. 2002. Rum Ortodoks Kiliseleri, Görüş Dergisi, 52(1), İstanbul, 72-78.
- [17] Karal, E. Z., 1947. Osmanlı Tarihi, V. Cilt, TTK Basımevi, Ankara, 344s.
- [18] Bozkurt, G. 1996. Gayrimüslim Osmanlı Vatandaşlarının Hukuki Durumu (1839- 1914), TTK Basımevi, Ankara, 244s.
- [19] Karaca, Z. 2001. İstanbul'da Osmanlı Dönemi Rum Kiliseleri, Yapı Kredi Yayınları, İstanbul, 364s.
- [20] Ahunbay, M. 1997. Kilise Maddesi, Eczacıbaşı Sanat Ansiklopedisi, II. Cilt, 1010- 1014.
- [21] Güngör Açıköz, Ş. 2007. Kayseri ve Çevresindeki 19. Yüzyıl Kiliseleri ve Korunmaları İçin Öneriler, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 416s, İstanbul.

- [22] Fortescue, A., 1911. The Orthodox Eastern Church, Catholic Truth Society, London, 282s.
- [23] Akyol, A. A., Kadioğlu, Y. K., Eskici, B. 2011. Isparta Aya Yorgi Kilisesi'nde Korumaya Yönelik Arkeometrik Çalışmalar, 26. Arkeometri Sonuçları Toplantısı, 24 - 28 Mayıs, Ankara, 101-117.
- [24] Dinler V. 2011. Anatolia's Religious Heritage As Abandoned Spaces From Places Of Worship To Ruins, Abandoned And Forgotten Places Of Worship, The Conversion Of Spaces And Places Of Worship in Anatolia. Ed. Obaldia, V. R. 10-11 April, İstanbul, 100-114.
- [25] Plevoets, B., Van Cleempoel, K. 2011. Adaptive reuse as a strategy towards conservation of cultural heritage: a literature review. Proceedings Structural Studies, Repairs and Maintenance of Heritage Architecture XI, Chianciano Terme, Italy.
- [26] Zakar, L., Eyüpgiller, K. K. 2015. Mimari Restorasyon Koruma Teknik ve Yöntemleri, Ömür Matbaacılık, İstanbul, 196s.
- [27] Warren, J., Worthington J., Taylor S. 1998. Context: New Buildings in Historic Settings. Boston: Architectural Press.
- [28] Karadayı Yenice, T. ve Altınoluk, Ü. 2019. New uses for old buildings: the case of 'Soğukçeşme' Street, İstanbul, Turkey, ICONARP International Journal of Architecture & Planning, 7(1): 314-329.
- [29] Venedik Tüzüğü (1964), http://www.icomos.org.tr/Dosyalar/ICOMOSTR_tr0243603001536681730.pdf (Erişim Tarihi: 03.06.2022).
- [30] Altınoluk, Ü. 1998. Binaların yeniden kullanımı. Yapı Endüstri Merkezi Yayınları, İstanbul, 143s.
- [31] Kee, T. 2019. Sustainable adaptive reuse – economic impact of cultural heritage. Journal of Cultural Heritage Management and Sustainable Development, 165-183.
- [32] Bilgin Altınöz, A. G. 2010. Tarihi Dokuda 'Yeni'nin İnşası. Ege Mimarlık, 4 (75), 18-26
- [33] Kanetaki, E. 2005. Yunanistan'da Osmanlı Yapıları Yeniden Kullanım Olanakları ve Sorunlar, 239-244, Pekak, M. ed. Yeniden Kurulan Yaşamlar. Bilgi Üniversitesi Yayını, İstanbul, 480s.
- [34] <https://www.kayseri.bel.tr/projelerimiz/sehir-kutuphanesi-meryem-ana-kilisesi#> (Erişim Tarihi: 21.08.2022).
- [35] <https://www.kulturportali.gov.tr/turkiye/giresun/gezilecekyer/cocuk-kutuphanesi> (Erişim Tarihi: 21.08.2022).
- [36] Certel, B. Y. 2021. Kişisel fotoğraf ve çizim arşivi
- [37] Isparta İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü Arşivi. 2021. <https://isparta.ktb.gov.tr/TR-70963/kiliseseler.html> (Erişim Tarihi: 21.08.2022).
- [38] Yandex Haritalar. 2021. https://yandex.com.tr/harita/103846/isparta/geo/doganci_mah_/2215915201/?ll=30.544390%2C37.752011&z=15.4 (Erişim Tarihi: 21.08.2022).

Q- rung orthopair probabilistic hesitant fuzzy hybrid aggregating operators in multi-criteria decision making problems

Şerif ÖZLÜ*¹

¹Gaziantep University, Nizip Vocational HighSchool, Food Processing, 27300, Gaziantep, Türkiye

(Alınış / Received: 30.10.2022, Kabul / Accepted: 31.10.2023, Online Yayınlanma / Published Online: 25.12.2023)

Keywords

Q- Rung orthopair hesitant fuzzy sets,
q-ROPHHWAG,
q-ROPHHOWAG
Decision Making

Abstract: With the increase of complex information in applications of decision making problems, the use of probabilistic hesitant fuzzy set structure has expanded. Therefore, this paper aims to present two new operators namely q-rung orthopair probabilistic hesitant fuzzy hybrid weighted arithmetic and geometric (q-ROPHHWAG) operator and q-rung orthopair probabilistic hesitant fuzzy hybrid ordered weighted arithmetic and geometric (q-ROPHHOWAG) operator for $q > 0$. The presented operators are better than existing operators in many respects as adding a new parameter, having more flexible structure and presenting comparative analysis in its own. Moreover, we mention from some properties of the proposed operators. In addition to, we give an algorithm and example to indicate effective, reality and flexible of presented method and operators. Then, we solve an example over Pythagorean probabilistic hesitant fuzzy sets with our operators and the results are agreement and the offered operators have superior effect than other operators.

Multi-kriterli karar verme problemleri içindeki Q- katsayılı ortopair olasılıksal karmaşık Bulanık Ağırlaştırılmış Hibrid operatörler

Anahtar Kelimeler

Q Rank Orthopair kararsız bulanık küme,
q-ROPHHWAG,
q-ROPHHOWAG
Karar verme

Öz: Karar verme problemlerinin uygulamalarında karmaşık bilgilerin artması ile olasılıklı tereddütlü bulanık küme yapısının kullanımı genişlemiştir. Bu nedenle, bu makale, $q > 0$ için q-katsayılı ortopair olasılıksal kararsız bulanık hibrit ağırlıklı aritmetik ve geometrik (q-ROPHHWAG) operatörü ve q-katsayılı ortopair olasılıklı tereddütlü bulanık hibrit sıralı ağırlıklı aritmetik ve geometrik (q-ROPHHOWAG) operatörü olmak üzere iki yeni operatör sunmayı amaçlamaktadır. Sunulan operatörler, yeni bir parametre eklenmesi, daha esnek bir yapıya sahip olması ve kendi içinde karşılaştırmalı analizler sunması bakımından birçok açıdan mevcut operatörlerden daha iyidir. Ayrıca önerilen operatörlerin bazı özelliklerinden de bahsettik. Ek olarak, sunulan yöntem ve operatörlerin etkili, gerçek ve esnek olduğunu belirtmek için bir algoritma ve örnek veriyoruz. Daha sonra operatörlerimizle Pisagor olasılıklı tereddütlü bulanık kümeler üzerinden bir örnek çözüyoruz ve sonuçlar diğer operatörlere göre uyumlu ve daha büyük bir etkiye sahiptir.

1. Introduction

Probabilistic hesitant fuzzy set (PHFS) is an effective construction adding probability value to HFS and helping to carry more information as an extension of HFS. Therefore, it can completely explain the fuzzy of decision-making information, which has attracted more and several researchers' attention. The basic operation of PHFSs was defined in [1] and some aggregation operators were penned by Zheng and coauthors [2]. Moreover, Zhai et al. [3] obtained measures of probabilistic interval-valued

intuitionistic hesitant fuzzy sets and the application in reducing excessive medical examinations, Batool and others [4] realized Pythagorean probabilistic hesitant fuzzy aggregation operators in MCDM. Furthermore, Batool et al. worked decision making mechanism based EDAS method by utilizing Pythagorean probabilistic hesitant fuzzy sets, Ren and coauthors [5, 6, 7] introduced to calculation and aggregation of Q-rung orthopair probabilistic hesitant fuzzy information and gave q-rung orthopair probabilistic hesitant fuzzy power Muirhead mean

operator, respectively. Moreover, some works can be ordered [8,9,10,11,12,13].

Despite the above studies, the desire to model more information, integration in the world, the desire for a quick solution has prevented the resolution of fuzzy information but generalized structures are the most basic structures to reach this solution. In this paper, we obtain two new operators called q-ROPHHWAG and q-ROPHHOWAG combining two different aggregating operator namely q-ROPHWA and q-ROPHWG. These operators include a new parameter as different unlike the base operators. Generalized concepts have more advantages as follow;

1. Combining two operators in the same formula will prevent separate calculations and will enable us to obtain fast solutions in the future;
2. The use of two different variables is important for the decision makers in terms of the precision of the results.
3. Self-comparison analysis is very necessary in this age of noisy information.

Then, we give some properties q-ROPHHWAG and q-ROPHHOWAG, and define an algorithm. We give an investment example through algorithm. The end of paper, a comparative analysis is revealed with Batool's aggregation operators and superior results are obtained.

The remaining of paper is organized as follow; in section 2, some basic definitions are given as HFS, PHFS so on, in section 3, we give definitions of q-ROPHWA and q-ROPHWG; define q-ROPHHWAG and q-ROPHHOWAG, in section 4, an algorithm and an application are presented, in section 5, comparative analysis is made with Batool' method.

2. Material and Method

Q- Rung Orthopair Probabilistic Hesitant Fuzzy Sets Based On Hybrid Aggregating Operators

The concept of q- Rung Orthopair probabilistic hesitant fuzzy sets was defined by Ren and others [31] in 2021. In this section, this concept is applied for Hybrid aggregating Operators.

Definition 2.1 [6] Let $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ be a reference set. A q- Rung Orthopair probabilistic hesitant fuzzy sets \tilde{h} is defined as follows:

$$\tilde{h} = \{((x, \mu_{\tilde{h}}(x), \nu_{\tilde{h}}(x)) : x \in X),$$

for $\mu_{\tilde{h}} = \{\mathfrak{S}_1(\kappa_1), \mathfrak{S}_2(\kappa_2), \dots, \mathfrak{S}_n(\kappa_n)\}$ and $\nu_{\tilde{h}} = \{\mathfrak{R}_1(\check{\kappa}_1), \mathfrak{R}_2(\check{\kappa}_2), \dots, \mathfrak{R}_m(\check{\kappa}_m)\}$ in here, \mathfrak{S}_n and \mathfrak{R}_m indicate possible membership values and possible non-membership values, respectively and also, $0 < \mathfrak{S} < 1$, $0 < \mathfrak{R} < 1$ and $0 < \mathfrak{S}^q + \mathfrak{R}^q < 1$. In addition to, $0 < \kappa_n < 1$ and $0 < \check{\kappa}_m < 1$ where $\sum_{n=1}^{|\mu_{\tilde{h}}|} 1\kappa_n \leq 1$ $\sum_{m=1}^{|\nu_{\tilde{h}}|} 1\check{\kappa}_m \leq 1$ for $|\mu_{\tilde{h}}|$ and $|\nu_{\tilde{h}}|$ are

number of elements of membership and non-membership values.

Definition 2.2 [6] Let $\tilde{h} = \langle \mu_{\tilde{h}}(x), \nu_{\tilde{h}}(x) \rangle$, $\tilde{h}_1 = \langle \mu_{\tilde{h}_1}(x), \nu_{\tilde{h}_1}(x) \rangle$ and $\tilde{h}_2 = \langle \mu_{\tilde{h}_2}(x), \nu_{\tilde{h}_2}(x) \rangle$ be three q-ROPHFEs. Then,

1. $\tilde{h}_1 \oplus \tilde{h}_2 = \langle \cup_{\mathfrak{S}_{1n} \in \mu_{\tilde{h}_1}, \mathfrak{S}_{2n} \in \mu_{\tilde{h}_2}} \{[(\mathfrak{S}_{1n}^q + \mathfrak{S}_{2n}^q + \mathfrak{S}_{1n} \mathfrak{S}_{2n})^{\frac{1}{q}}] (\kappa_{1n} \kappa_{2n} / \sum_{n=1}^{|\mu_{\tilde{h}_1}|} \kappa_{1n} \sum_{m=1}^{|\mu_{\tilde{h}_2}|} \kappa_{2m}), \cup_{\mathfrak{R}_{1\ell} \in \nu_{\tilde{h}_1}, \mathfrak{R}_{2\ell} \in \nu_{\tilde{h}_2}} [\mathfrak{R}_{1\ell} \mathfrak{R}_{2\ell}] (\check{\kappa}_{1\ell} \check{\kappa}_{2\ell} / \sum_{\ell=1}^{|\mu_{\tilde{h}_1}|} \check{\kappa}_{1\ell} \sum_{\ell=1}^{|\mu_{\tilde{h}_2}|} \check{\kappa}_{2\ell})\} \rangle$
2. $\tilde{h}_1 \otimes \tilde{h}_2 = \langle \cup_{\mathfrak{S}_{1m} \in \mu_{\tilde{h}_1}, \mathfrak{S}_{2m} \in \mu_{\tilde{h}_2}} \{[\mathfrak{S}_{1m} \mathfrak{S}_{2m}] (\kappa_{1m} \kappa_{2m} / \sum_{m=1}^{|\mu_{\tilde{h}_1}|} \kappa_{1m} \sum_{n=1}^{|\mu_{\tilde{h}_2}|} \kappa_{2n}), \cup_{\mathfrak{R}_{1\ell} \in \nu_{\tilde{h}_1}, \mathfrak{R}_{2\ell} \in \nu_{\tilde{h}_2}} [(\mathfrak{R}_{1\ell}^q + \mathfrak{R}_{2\ell}^q + \mathfrak{R}_{1\ell} \mathfrak{R}_{2\ell})^{\frac{1}{q}}] (\check{\kappa}_{1\ell} \check{\kappa}_{2\ell} / \sum_{\ell=1}^{|\mu_{\tilde{h}_1}|} \check{\kappa}_{1\ell} \sum_{\ell=1}^{|\mu_{\tilde{h}_2}|} \check{\kappa}_{2\ell})\} \rangle$
3. $\tilde{h}^\lambda = \langle \cup_{\mathfrak{S}_n \in \mu_{\tilde{h}}} \{[(1 - (1 - \mathfrak{S}_n^q)^\lambda)^{\frac{1}{q}}] (\kappa_n)\}, \cup_{\mathfrak{R}_m \in \nu_{\tilde{h}}} \mathfrak{R}_m^\lambda (\check{\kappa}_m)\rangle$
4. $\lambda \tilde{h} = \langle \cup_{\mathfrak{S}_n \in \mu_{\tilde{h}}} \mathfrak{S}_n^\lambda (\kappa_n) \cup_{\mathfrak{R}_m \in \nu_{\tilde{h}}} \{[(1 - (1 - \mathfrak{R}_m^q)^\lambda)^{\frac{1}{q}}] (\check{\kappa}_m)\} \rangle$

Definition 2.3 [6] Let $\tilde{h}_j = \langle \mu_{\tilde{h}_j}(x), \nu_{\tilde{h}_j}(x) \rangle$ be collection of q-ROPHFSs for $(j = 1, 2, \dots, \pi)$ and in here, $\mu_{\tilde{h}_j} = \{\mathfrak{S}_{jn}(\kappa) : n = 1, 2, \dots, |\mu_{\tilde{h}_j}|\}$ and $\nu_{\tilde{h}_j} = \{\mathfrak{R}_{jn}(\kappa) : n = 1, 2, \dots, |\nu_{\tilde{h}_j}|\}$ define q-rung orthopair probabilistic hesitant fuzzy weighted average (q-ROPHWA) operator for $w_j \in [0, 1]$ and $\sum_{j=1}^{\pi} w_j = 1$ as follow;

1. q-ROPHWA: $\Phi^n \rightarrow \Phi$ is a mapping called as q-rung orthopair probabilistic hesitant fuzzy weighted average (q-ROPHWA) operator for $q > 0$ and $w_j \in [0, 1]$ and $\sum_{j=1}^{\pi} w_j = 1$ is defined as below;
- 2.

$$\begin{aligned} & q-ROPHWA(\tilde{h}_1, \tilde{h}_2, \dots, \tilde{h}_\pi) \\ &= w_1 \tilde{h}_1 \oplus w_2 \tilde{h}_2 \oplus \dots \oplus w_\pi \tilde{h}_\pi \\ &= \left\langle \cup_{\mathfrak{S}_{1n} \in \mu_{\tilde{h}_1}, \mathfrak{S}_{2n} \in \mu_{\tilde{h}_2}, \dots, \mathfrak{S}_{\pi n} \in \mu_{\tilde{h}_\pi}} \left\{ \left((1 - \prod_{j=1}^{\pi} (1 - \mathfrak{S}_{jn}^q)^{w_j})^{\frac{1}{q}} \right) \right\} \right. \\ & \quad \left(\frac{\prod_{j=1}^{\pi} \kappa_{jn}}{\prod_{j=1}^{\pi} \sum_{n=1}^{|\mu_{\tilde{h}_j}|} \kappa_{jn}} \right), \\ & \quad \cup_{\mathfrak{R}_{1n} \in \nu_{\tilde{h}_1}, \mathfrak{R}_{2n} \in \nu_{\tilde{h}_2}, \dots, \mathfrak{R}_{\pi n} \in \nu_{\tilde{h}_\pi}} \left\{ \left(\prod_{j=1}^{\pi} (\mathfrak{R}_{jn})^{w_j} \right) \right\} \\ & \quad \left. \left(\prod_{j=1}^{\pi} \check{\kappa}_{jn} / \prod_{j=1}^{\pi} \sum_{n=1}^{|\nu_{\tilde{h}_j}|} \check{\kappa}_{jn} \right) \right\rangle \end{aligned}$$

Example 2.4 Let accept two q-ROPHFEs that $\tilde{h}_1 = \{\{0.3(0.5)\}, \{0.5(0.5), 0.2(0.2)\}\}$ and $\tilde{h}_2 = \{\{0.2(0.4), 0.3(0.1)\}, \{0.4(0.3)\}\}$, and also $w = (0.6, 0.4)$ for $q = 2$. In this statement, if we calculate to q-ROPHWA;

$$\begin{aligned}
 q - ROPHWA(\tilde{h}_1, \tilde{h}_2) &= \langle \{ (1 - ((1 - 0.3^2)^{0.6} \times (1 - 0.2^2)^{0.4})^{\frac{1}{2}}((0.5 \times 0.4)/((0.5) \times (0.4 + 0.1))), (1 - ((1 - 0.3^2)^{0.6} \times (1 - 0.3^2)^{0.4})^{\frac{1}{2}}((0.5 \times 0.1)/((0.5) \times (0.4 + 0.1)))) \}, \{ ((0.5)^{0.6} \times (0.4)^{0.4}((0.5 \times 0.3)/((0.5 + 0.2) \times (0.3))), ((0.2)^{0.6} \times (0.4)^{0.4}((0.2 \times 0.3)/((0.5 + 0.2) \times (0.3)))) \} \rangle \\
 &= \langle \{0.2651(0.8), 0.1924(0.2)\}, \{0.4573(0.7142), 0.2639(0.2857)\} \rangle
 \end{aligned}$$

Definition 2.5 [6] Let $\tilde{h}_j = \langle \mu_{\tilde{h}_j}(x), \nu_{\tilde{h}_j}(x) \rangle$ be collection of q-ROPHFSs for $(j = 1, 2, \dots, \pi)$ and in here, $\mu_{\tilde{h}_j} = \{\mathfrak{S}_{j_n}(\kappa) : n = 1, 2, \dots, |\mu_{\tilde{h}_j}|\}$ and $\nu_{\tilde{h}_j} = \{\mathfrak{R}_{j_n}(\kappa) : n = 1, 2, \dots, |\nu_{\tilde{h}_j}|\}$ define q-rung orthopair probabilistic hesitant fuzzy weighted geometric (q-ROPHWG) operator for $w_j \in [0, 1]$ and $\sum_{j=1}^{\pi} w_j = 1$ as follow;

1. *q-ROPHWG*: $\Phi^n \rightarrow \Phi$ is a mapping called as q-rung orthopair probabilistic hesitant fuzzy weighted geometric (q-ROPHWG) operator for $q > 0$ and $w_j \in [0, 1]$ and $\sum_{j=1}^{\pi} w_j = 1$ is defined as below;

$$\begin{aligned}
 q - ROPHWG(\tilde{h}_1, \tilde{h}_2, \dots, \tilde{h}_{\pi}) &= \tilde{h}_1^{w_1} \otimes \tilde{h}_2^{w_2} \otimes \dots \otimes \tilde{h}_{\pi}^{w_{\pi}} \\
 &= \langle \bigcup_{\mathfrak{S}_{1n} \in \mu_{\tilde{h}_1}, \mathfrak{S}_{2n} \in \mu_{\tilde{h}_2}, \dots, \mathfrak{S}_{\pi n} \in \mu_{\tilde{h}_{\pi}}} \left\{ \left(\prod_{j=1}^{\pi} (\mathfrak{S}_{j_n})^{w_j} \right) \right\} \\
 &\quad \left(\frac{\prod_{j=1}^{\pi} \kappa_{j_n}}{\prod_{j=1}^{\pi} \sum_{n=1}^{|\mu_{\tilde{h}_j}|} \kappa_{j_n}} \right), \\
 &\quad \bigcup_{\mathfrak{R}_{1n} \in \mu_{\tilde{h}_1}, \mathfrak{R}_{2n} \in \mu_{\tilde{h}_2}, \dots, \mathfrak{R}_{\pi n} \in \mu_{\tilde{h}_{\pi}}} \left\{ \left(1 - \prod_{j=1}^{\pi} (1 - \mathfrak{R}_{j_n}^q)^{w_j} \right)^{\frac{1}{q}} \right\} \\
 &\quad \left(\prod_{j=1}^{\pi} \check{\kappa}_{j_n} / \prod_{j=1}^{\pi} \sum_{n=1}^{|\nu_{\tilde{h}_j}|} \check{\kappa}_{j_n} \right) \rangle
 \end{aligned}$$

Example 2.6 Let accept two q-ROPHFEs that $\tilde{h}_1 = \langle \{0.3(0.5)\}, \{0.5(0.5), 0.2(0.2)\} \rangle$ and $\tilde{h}_2 = \langle \{0.2(0.4), 0.3(0.1)\}, \{0.4(0.3)\} \rangle$, and also $w = (0.6, 0.4)$ for $q = 2$. In this statement, if we calculate to q-ROPHWG;

$$\begin{aligned}
 q - ROPHWG(\tilde{h}_1, \tilde{h}_2) &= \langle \{ ((0.3)^{0.6} \times (0.2)^{0.4}((0.5 \times 0.4)/((0.5) \times (0.4 + 0.1))), ((0.3)^{0.6} \times (0.3)^{0.4}((0.5 \times 0.1)/((0.5) \times (0.4 + 0.1)))) \}, \{ (1 - ((1 - 0.5^2)^{0.6} \times (1 - 0.4^2)^{0.4})^{\frac{1}{2}}((0.5 \times 0.3)/((0.5 + 0.2) \times (0.3))), (1 - ((1 - 0.2^2)^{0.6} \times (1 - 0.3^2)^{0.4})^{\frac{1}{2}}((0.2 \times 0.3)/((0.5 + 0.2) \times (0.3)))) \} \rangle \\
 &= \langle \{0.255(0.8), 0.3(0.2)\}, \{0.4639(0.7142), 0.2998(0.2857)\} \rangle
 \end{aligned}$$

Definition 2.7 Let $\tilde{h}_j = \langle \mu_{\tilde{h}_j}(x), \nu_{\tilde{h}_j}(x) \rangle$ be q-ROPHFE and in here, $\mu_{\tilde{h}_j} = \{\mathfrak{S}_{j_n}(\check{\kappa}) : n = 1, 2, \dots, |\mu_{\tilde{h}_j}|\}$ and $\nu_{\tilde{h}_j} = \{\mathfrak{R}_{j_n}(\kappa) : n = 1, 2, \dots, |\nu_{\tilde{h}_j}|\}$. In this statement score function of $h_{\mathfrak{R}}$ is defined as follow;

$$\begin{aligned}
 S(\tilde{h}_j(x)) &= \left(\frac{1}{|\mu_{\tilde{h}_j}|} \sum_{\mathfrak{S}_{j_n} \in \mu_{\tilde{h}_j}} (\mathfrak{S}_{j_n} \kappa_n) \right)^q \\
 &\quad - \left(\frac{1}{|\nu_{\tilde{h}_j}|} \sum_{\mathfrak{R}_{j_n} \in \nu_{\tilde{h}_j}} (\mathfrak{R}_{j_n} \check{\kappa}_n) \right)^q
 \end{aligned}$$

If score values are same, the following accuracy function is used;

$$\begin{aligned}
 A(\tilde{h}_j(x)) &= \left(\frac{1}{|\mu_{\tilde{h}_j}|} \sum_{\mathfrak{S}_{j_n} \in \mu_{\tilde{h}_j}} (\mathfrak{S}_{j_n} \kappa_n) \right)^q + \\
 &\quad \left(\frac{1}{|\nu_{\tilde{h}_j}|} \sum_{\mathfrak{R}_{j_n} \in \nu_{\tilde{h}_j}} (\mathfrak{R}_{j_n} \check{\kappa}_n) \right)^q
 \end{aligned}$$

Q- Rung Orthopair Probabilistic Hesitant Fuzzy Sets Based On Hybrid Operators

In this section, we define two new operators by combining geometric and averaging operator based on probabilistic hesitant fuzzy sets.

Definition 2.8 Let $\tilde{h}_j = \langle \mu_{\tilde{h}_j}(x), \nu_{\tilde{h}_j}(x) \rangle$ be collection of q-ROPHFSs for $(j = 1, 2, \dots, \pi)$ and in here, $\mu_{\tilde{h}_j} = \{\mathfrak{S}_{j_n}(\kappa) : n = 1, 2, \dots, |\mu_{\tilde{h}_j}|\}$ and $\nu_{\tilde{h}_j} = \{\mathfrak{R}_{j_n}(\kappa) : n = 1, 2, \dots, |\nu_{\tilde{h}_j}|\}$ for $\lambda \in [0, 1]$.

1. *q-ROPHHWAG*: $\Phi^n \rightarrow \Phi$ is a mapping called as q-rung orthopair probabilistic hesitant fuzzy hybrid weighted arithmetic and geometric (q-ROPHHWAG) operator for $q > 0$ and $w_j \in [0, 1]$ and $\sum_{j=1}^{\pi} w_j = 1$ is defined as below;

$$\begin{aligned}
 &2. \left(\sum_{j=1}^{\pi} w_j \tilde{h}_j \right)^{\lambda} \left(\sum_{j=1}^{\pi} \tilde{h}_j^{w_j} \right)^{1-\lambda} \\
 &= \langle \bigcup_{\mathfrak{S}_{1n} \in \mu_{\tilde{h}_1}, \mathfrak{S}_{2n} \in \mu_{\tilde{h}_2}, \dots, \mathfrak{S}_{\pi n} \in \mu_{\tilde{h}_{\pi}}} \left\{ \left(1 - \prod_{j=1}^{\pi} (1 - \mathfrak{S}_{j_n}^q)^{w_j} \right)^{\frac{\lambda}{q}} \left(\prod_{j=1}^{\pi} (\mathfrak{S}_{j_n})^{w_j} \right)^{(1-\lambda)} \right\} \\
 &\quad \left(\frac{\prod_{j=1}^{\pi} \kappa_{j_n} \prod_{j=1}^{\pi} \kappa_{j_n}}{\prod_{j=1}^{\pi} \sum_{n=1}^{|\mu_{\tilde{h}_j}|} \kappa_{j_n} \prod_{j=1}^{\pi} \sum_{n=1}^{|\mu_{\tilde{h}_j}|} \kappa_{j_n}} \right) \\
 &\quad \bigcup_{\mathfrak{R}_{1n} \in \mu_{\tilde{h}_1}, \mathfrak{R}_{2n} \in \mu_{\tilde{h}_2}, \dots, \mathfrak{R}_{\pi n} \in \mu_{\tilde{h}_{\pi}}} \left\{ \left(1 - a \left(\prod_{j=1}^{\pi} (1 - \mathfrak{R}_{j_n}^q)^{w_j} \right)^{(1-\lambda)} \right)^{\frac{1}{q}} \right\} \\
 &\quad a = \left(1 - \left(\prod_{j=1}^{\pi} (\mathfrak{R}_{j_n})^{w_j} \right)^{\lambda} \right) \\
 &\quad \left(\frac{\prod_{j=1}^{\pi} \check{\kappa}_{j_n} \prod_{j=1}^{\pi} \check{\kappa}_{j_n}}{\prod_{j=1}^{\pi} \sum_{n=1}^{|\nu_{\tilde{h}_j}|} \check{\kappa}_{j_n} \prod_{j=1}^{\pi} \sum_{n=1}^{|\nu_{\tilde{h}_j}|} \check{\kappa}_{j_n}} \right) \rangle
 \end{aligned}$$

3. $q - ROPHHOWAG: \Phi^n \rightarrow \Phi$ is a mapping called as q -rung orthopair probabilistic hesitant fuzzy hybrid ordered weighted arithmetic and geometric (q -ROPHOWAG) operator for $q > 0$ and $w_j \in [0,1]$ and $\sum_{j=1}^{\pi} w_j = 1$ is defined as below;

$$\begin{aligned} & \left(\sum_{j=1}^n w_j \check{h}_{\sigma(j)} \right)^\lambda \left(\sum_{j=1}^n \check{h}_{\sigma(j)}^{w_j} \right)^{1-\lambda} \\ &= \left\langle \bigcup_{\mathfrak{S}_{\sigma(1)n} \in \mu_{h_1}, \mathfrak{S}_{\sigma(2)n} \in \mu_{h_2}, \dots, \mathfrak{S}_{\sigma(\pi)n} \in \mu_{h_\pi}} \left\{ a \left(\prod_{j=1}^{\pi} (\mathfrak{S}_{\sigma(j)n})^{w_j} \right)^{(1-\lambda)} \right\} \right. \\ & a = \left(\left(1 - \prod_{j=1}^{\pi} (1 - \mathfrak{S}_{\sigma(j)n}^q)^{w_j} \right)^{\frac{\lambda}{q}} \right) \\ & \left(\frac{\prod_{j=1}^{\pi} \kappa_{j_n} \prod_{j=1}^{\pi} \kappa_{j_n}}{\prod_{j=1}^{\pi} \sum_{n=1}^{|\mu_{h_j}|} \kappa_{j_n} \prod_{j=1}^{\pi} \sum_{n=1}^{|\mu_{h_j}|} \kappa_{j_n}} \right) \\ & \bigcup_{\mathfrak{R}_{\sigma(1)n} \in \mu_{h_1}, \mathfrak{R}_{\sigma(2)n} \in \mu_{h_2}, \dots, \mathfrak{R}_{\sigma(\pi)n} \in \mu_{h_\pi}} \left\{ \left(1 - a \left(\prod_{j=1}^{\pi} (1 - \mathfrak{R}_{\sigma(j)n}^q)^{w_j} \right)^{(1-\lambda)} \right)^{\frac{1}{q}} \right\} \\ & a = \left(\left(1 - \left(\prod_{j=1}^{\pi} (\mathfrak{R}_{\sigma(j)n})^{w_j} \right)^q \right)^{\lambda} \right) \\ & \left(\frac{\prod_{j=1}^{\pi} \check{\kappa}_{j_n} \prod_{j=1}^{\pi} \check{\kappa}_{j_n}}{\prod_{j=1}^{\pi} \sum_{n=1}^{|\nu_{h_j}|} \check{\kappa}_{j_n} \prod_{j=1}^{\pi} \sum_{n=1}^{|\nu_{h_j}|} \check{\kappa}_{j_n}} \right) \end{aligned}$$

where $\sigma(1), \sigma(2), \dots, \sigma(j)$ is a permutation of $j = 1, 2, \dots, \pi$ and also $\mathfrak{R}_{\sigma(j-1)} \geq \mathfrak{R}_{(j)}$ and $\mathfrak{S}_{\sigma(j-1)} \geq \mathfrak{S}_{(j)}$.
 Theorem 2.9 Let $\check{h}_j = \langle \mu_{\check{h}_j}(x), \nu_{\check{h}_j}(x) \rangle$ be collection of q -ROPHFSs for $(j = 1, 2, \dots, \pi)$ and $\lambda \in [0,1]$ where $w_j \in [0,1]$ and $\sum_{j=1}^{\pi} w_j = 1$;

$$\begin{aligned} &= \left(\sum_{j=1}^n w_j \check{h}_j \right)^\lambda \left(\sum_{j=1}^n \check{h}_j^{w_j} \right)^{1-\lambda} \\ &= \left\langle \bigcup_{\mathfrak{S}_{1n} \in \mu_{h_1}, \mathfrak{S}_{2n} \in \mu_{h_2}, \dots, \mathfrak{S}_{\pi n} \in \mu_{h_\pi}} \left\{ \left(\left(1 - \prod_{j=1}^{\pi} (1 - \mathfrak{S}_{j_n}^q)^{w_j} \right)^{\frac{\lambda}{q}} \right) \left(\prod_{j=1}^{\pi} (\mathfrak{S}_{j_n})^{w_j} \right)^{(1-\lambda)} \right\} \right. \\ & \left(\frac{\prod_{j=1}^{\pi} \kappa_{j_n} \prod_{j=1}^{\pi} \kappa_{j_n}}{\prod_{j=1}^{\pi} \sum_{n=1}^{|\mu_{h_j}|} \kappa_{j_n} \prod_{j=1}^{\pi} \sum_{n=1}^{|\mu_{h_j}|} \kappa_{j_n}} \right) \\ & \bigcup_{\mathfrak{R}_{1n} \in \mu_{h_1}, \mathfrak{R}_{2n} \in \mu_{h_2}, \dots, \mathfrak{R}_{\pi n} \in \mu_{h_\pi}} \left\{ \left(1 - a \left(\prod_{j=1}^{\pi} (1 - \mathfrak{R}_{j_n}^q)^{w_j} \right)^{(1-\lambda)} \right)^{\frac{1}{q}} \right\} \\ & a = \left(\left(1 - \left(\prod_{j=1}^{\pi} (\mathfrak{R}_{j_n})^{w_j} \right)^q \right)^{\lambda} \right) \\ & \left(\frac{\prod_{j=1}^{\pi} \check{\kappa}_{j_n} \prod_{j=1}^{\pi} \check{\kappa}_{j_n}}{\prod_{j=1}^{\pi} \sum_{n=1}^{|\nu_{h_j}|} \check{\kappa}_{j_n} \prod_{j=1}^{\pi} \sum_{n=1}^{|\nu_{h_j}|} \check{\kappa}_{j_n}} \right) \end{aligned}$$

Proof. Firstly, we can write by utilizing operational rules for q -ROPHFSs;

$$\begin{aligned} &= \left(\sum_{j=1}^n w_j \check{h}_j \right)^\lambda \left(\sum_{j=1}^n \check{h}_j^{w_j} \right)^{1-\lambda} \\ &= \left\langle \bigcup_{\mathfrak{S}_{1n} \in \mu_{h_1}, \mathfrak{S}_{2n} \in \mu_{h_2}, \dots, \mathfrak{S}_{\pi n} \in \mu_{h_\pi}} \left\{ \left(\left(1 - \prod_{j=1}^{\pi} (1 - \mathfrak{S}_{j_n}^q)^{w_j} \right)^{\frac{\lambda}{q}} \right) \left(\frac{\prod_{j=1}^{\pi} \kappa_{j_n}}{\prod_{j=1}^{\pi} \sum_{n=1}^{|\mu_{h_j}|} \kappa_{j_n}} \right) \right\} \right. \\ & \bigcup_{\mathfrak{R}_{1n} \in \mu_{h_1}, \mathfrak{R}_{2n} \in \mu_{h_2}, \dots, \mathfrak{R}_{\pi n} \in \mu_{h_\pi}} \left\{ \left(\prod_{j=1}^{\pi} (\mathfrak{R}_{j_n})^{w_j} \right) \left(\frac{\prod_{j=1}^{\pi} \check{\kappa}_{j_n}}{\prod_{j=1}^{\pi} \sum_{n=1}^{|\nu_{h_j}|} \check{\kappa}_{j_n}} \right) \right\}^\lambda \\ & \left(\bigcup_{\mathfrak{S}_{1n} \in \mu_{h_1}, \mathfrak{S}_{2n} \in \mu_{h_2}, \dots, \mathfrak{S}_{\pi n} \in \mu_{h_\pi}} \left\{ \left(\prod_{j=1}^{\pi} (\mathfrak{S}_{j_n})^{w_j} \right) \left(\frac{\prod_{j=1}^{\pi} \kappa_{j_n}}{\prod_{j=1}^{\pi} \sum_{n=1}^{|\mu_{h_j}|} \kappa_{j_n}} \right) \right\} \right. \\ & \bigcup_{\mathfrak{R}_{1n} \in \mu_{h_1}, \mathfrak{R}_{2n} \in \mu_{h_2}, \dots, \mathfrak{R}_{\pi n} \in \mu_{h_\pi}} \left\{ a \left(\prod_{j=1}^{\pi} \check{\kappa}_{j_n} / \prod_{j=1}^{\pi} \sum_{n=1}^{|\nu_{h_j}|} \check{\kappa}_{j_n} \right) \right\}^{1-\lambda} \\ & a = \left(\left(1 - \prod_{j=1}^{\pi} (1 - \mathfrak{R}_{j_n}^q)^{w_j} \right)^{\frac{1}{q}} \right) \end{aligned}$$

from here

$$\begin{aligned} &= \left\langle \bigcup_{\mathfrak{S}_{1n} \in \mu_{h_1}, \mathfrak{S}_{2n} \in \mu_{h_2}, \dots, \mathfrak{S}_{\pi n} \in \mu_{h_\pi}} \left\{ \left(\left(1 - \prod_{j=1}^{\pi} (1 - \mathfrak{S}_{j_n}^q)^{w_j} \right)^{\frac{\lambda}{q}} \right) \left(\frac{\prod_{j=1}^{\pi} \kappa_{j_n}}{\prod_{j=1}^{\pi} \sum_{n=1}^{|\mu_{h_j}|} \kappa_{j_n}} \right) \right\} \right. \\ & \bigcup_{\mathfrak{R}_{1n} \in \mu_{h_1}, \mathfrak{R}_{2n} \in \mu_{h_2}, \dots, \mathfrak{R}_{\pi n} \in \mu_{h_\pi}} \left\{ \left(\left(1 - \left(1 - \left(\prod_{j=1}^{\pi} (\mathfrak{R}_{j_n})^{w_j} \right)^q \right)^{\lambda} \right)^{\frac{1}{q}} \right) \left(\frac{\prod_{j=1}^{\pi} \check{\kappa}_{j_n}}{\prod_{j=1}^{\pi} \sum_{n=1}^{|\nu_{h_j}|} \check{\kappa}_{j_n}} \right) \right\} \\ & \left(\bigcup_{\mathfrak{S}_{1n} \in \mu_{h_1}, \mathfrak{S}_{2n} \in \mu_{h_2}, \dots, \mathfrak{S}_{\pi n} \in \mu_{h_\pi}} \left\{ \left(\prod_{j=1}^{\pi} (\mathfrak{S}_{j_n})^{w_j} \right)^{(1-\lambda)} \right\} \left(\frac{\prod_{j=1}^{\pi} \kappa_{j_n}}{\prod_{j=1}^{\pi} \sum_{n=1}^{|\mu_{h_j}|} \kappa_{j_n}} \right) \right. \\ & \bigcup_{\mathfrak{R}_{1n} \in \mu_{h_1}, \mathfrak{R}_{2n} \in \mu_{h_2}, \dots, \mathfrak{R}_{\pi n} \in \mu_{h_\pi}} \left\{ \left(\left(1 - \left(\prod_{j=1}^{\pi} (1 - \mathfrak{R}_{j_n}^q)^{w_j} \right)^{(1-\lambda)} \right)^{\frac{1}{q}} \right) b \right\} \\ & b = \left(\prod_{j=1}^{\pi} \check{\kappa}_{j_n} / \prod_{j=1}^{\pi} \sum_{n=1}^{|\nu_{h_j}|} \check{\kappa}_{j_n} \right) \\ & \text{Then,} \\ &= \left\langle \bigcup_{\mathfrak{S}_{1n} \in \mu_{h_1}, \mathfrak{S}_{2n} \in \mu_{h_2}, \dots, \mathfrak{S}_{\pi n} \in \mu_{h_\pi}} \left\{ \left(\left(1 - \prod_{j=1}^{\pi} (1 - \mathfrak{S}_{j_n}^q)^{w_j} \right)^{\frac{\lambda}{q}} \right) \left(\prod_{j=1}^{\pi} (\mathfrak{S}_{j_n})^{w_j} \right)^{(1-\lambda)} \right\} \right. \\ & \left(\frac{\prod_{j=1}^{\pi} \kappa_{j_n} \prod_{j=1}^{\pi} \kappa_{j_n}}{\prod_{j=1}^{\pi} \sum_{n=1}^{|\mu_{h_j}|} \kappa_{j_n} \prod_{j=1}^{\pi} \sum_{n=1}^{|\mu_{h_j}|} \kappa_{j_n}} \right) \\ & \bigcup_{\mathfrak{R}_{1n} \in \mu_{h_1}, \mathfrak{R}_{2n} \in \mu_{h_2}, \dots, \mathfrak{R}_{\pi n} \in \mu_{h_\pi}} \end{aligned}$$

$$\left\{ \left(\left(1 - \left(1 - \left(\prod_{j=1}^{\pi} (\mathfrak{R}_{j_n})^{w_j} \right)^q \right)^\lambda \right) \right) \right\}$$

$$\left(\frac{\prod_{j=1}^{\pi} \check{\kappa}_{j_n}}{\prod_{j=1}^{\pi} \sum_{n=1}^{|\nu_{h_j}|} \check{\kappa}_{j_n}} \right) + \left\{ \left(1 - \left(\prod_{j=1}^{\pi} (1 - \mathfrak{R}_{j_n}^q)^{w_j} \right)^{(1-\lambda)} \right) \right\}$$

$$\left(\frac{\prod_{j=1}^{\pi} \check{\kappa}_{j_n}}{\prod_{j=1}^{\pi} \sum_{n=1}^{|\nu_{h_j}|} \check{\kappa}_{j_n}} \right) - \left\{ \left(1 - \left(1 - \left(\prod_{j=1}^{\pi} (\mathfrak{R}_{j_n})^{w_j} \right)^q \right)^\lambda \right) \right\}$$

$$\left(\prod_{j=1}^{\pi} \check{\kappa}_{j_n} / \prod_{j=1}^{\pi} \sum_{n=1}^{|\nu_{h_j}|} \check{\kappa}_{j_n} \right)$$

$$\times \left\{ \left(1 - \left(\prod_{j=1}^{\pi} (1 - \mathfrak{R}_{j_n}^q)^{w_j} \right)^{(1-\lambda)} \right) \right\} b^{\frac{1}{q}}$$

$$b = \left(\prod_{j=1}^{\pi} \check{\kappa}_{j_n} / \prod_{j=1}^{\pi} \sum_{n=1}^{|\nu_{h_j}|} \check{\kappa}_{j_n} \right)$$

and thus

$$= \left\langle \bigcup_{\mathfrak{S}_{1_n} \in \mu_{h_1}, \mathfrak{S}_{2_n} \in \mu_{h_2}, \dots, \mathfrak{S}_{\pi_n} \in \mu_{h_\pi}} \left\{ \left(1 - \prod_{j=1}^{\pi} (1 - \mathfrak{S}_{j_n}^q)^{w_j} \right)^{\frac{\lambda}{q}} \left(\prod_{j=1}^{\pi} (\mathfrak{S}_{j_n})^{w_j} \right)^{(1-\lambda)} \right\} \right. \right.$$

$$\left. \left(\frac{\prod_{j=1}^{\pi} \kappa_{j_n} \prod_{j=1}^{\pi} \kappa_{j_n}}{\prod_{j=1}^{\pi} \sum_{n=1}^{|\mu_{h_j}|} \kappa_{j_n} \prod_{j=1}^{\pi} \sum_{n=1}^{|\mu_{h_j}|} \kappa_{j_n}} \right) \right.$$

$$\left. \bigcup_{\mathfrak{R}_{1_n} \in \mu_{h_1}, \mathfrak{R}_{2_n} \in \mu_{h_2}, \dots, \mathfrak{R}_{\pi_n} \in \mu_{h_\pi}} \left\{ \left(1 - \left(1 - \left(\prod_{j=1}^{\pi} (\mathfrak{R}_{j_n})^{w_j} \right)^q \right)^\lambda \right) \right\} \right.$$

$$\left. \left(\frac{\prod_{j=1}^{\pi} \check{\kappa}_{j_n}}{\prod_{j=1}^{\pi} \sum_{n=1}^{|\nu_{h_j}|} \check{\kappa}_{j_n}} \right) + \left\{ \left(1 - \left(\prod_{j=1}^{\pi} (1 - \mathfrak{R}_{j_n}^q)^{w_j} \right)^{(1-\lambda)} \right) \right\} \right.$$

$$\left. \left(\frac{\prod_{j=1}^{\pi} \check{\kappa}_{j_n}}{\prod_{j=1}^{\pi} \sum_{n=1}^{|\nu_{h_j}|} \check{\kappa}_{j_n}} \right) - \left\{ \left(1 - \left(1 - \left(\prod_{j=1}^{\pi} (\mathfrak{R}_{j_n})^{w_j} \right)^q \right)^\lambda \right) \right\} \right.$$

$$\left. \left(\frac{\prod_{j=1}^{\pi} \check{\kappa}_{j_n}}{\prod_{j=1}^{\pi} \sum_{n=1}^{|\nu_{h_j}|} \check{\kappa}_{j_n}} \right) \times \left\{ \left(1 - \left(\prod_{j=1}^{\pi} (1 - \mathfrak{R}_{j_n}^q)^{w_j} \right)^{(1-\lambda)} \right) \right\} \right.$$

$$\left. \left(\prod_{j=1}^{\pi} \check{\kappa}_{j_n} / \prod_{j=1}^{\pi} \sum_{n=1}^{|\nu_{h_j}|} \check{\kappa}_{j_n} \right)^{\frac{1}{q}} \right\rangle$$

and if the basic operations are made;

$$= \left\langle \bigcup_{\mathfrak{S}_{1_n} \in \mu_{h_1}, \mathfrak{S}_{2_n} \in \mu_{h_2}, \dots, \mathfrak{S}_{\pi_n} \in \mu_{h_\pi}} \left\{ \left(1 - \prod_{j=1}^{\pi} (1 - \mathfrak{S}_{j_n}^q)^{w_j} \right)^{\frac{\lambda}{q}} \left(\prod_{j=1}^{\pi} (\mathfrak{S}_{j_n})^{w_j} \right)^{(1-\lambda)} \right\} \right. \right.$$

$$\left. \left(\frac{\prod_{j=1}^{\pi} \kappa_{j_n} \prod_{j=1}^{\pi} \kappa_{j_n}}{\prod_{j=1}^{\pi} \sum_{n=1}^{|\mu_{h_j}|} \kappa_{j_n} \prod_{j=1}^{\pi} \sum_{n=1}^{|\mu_{h_j}|} \kappa_{j_n}} \right) \right.$$

$$\bigcup_{\mathfrak{R}_{1_n} \in \mu_{h_1}, \mathfrak{R}_{2_n} \in \mu_{h_2}, \dots, \mathfrak{R}_{\pi_n} \in \mu_{h_\pi}} \left\{ \left(1 - \left(1 - \left(\prod_{j=1}^{\pi} (\mathfrak{R}_{j_n})^{w_j} \right)^q \right)^\lambda \right) b^{\frac{1}{q}} \right\}$$

$$b = \left(\prod_{j=1}^{\pi} (1 - \mathfrak{R}_{j_n}^q)^{w_j} \right)^{(1-\lambda)}$$

$$\left(\frac{\prod_{j=1}^{\pi} \check{\kappa}_{j_n} \prod_{j=1}^{\pi} \check{\kappa}_{j_n}}{\prod_{j=1}^{\pi} \sum_{n=1}^{|\nu_{h_j}|} \check{\kappa}_{j_n} \prod_{j=1}^{\pi} \sum_{n=1}^{|\nu_{h_j}|} \check{\kappa}_{j_n}} \right)$$

Now, we discuss some special cases of q-ROPHHWAG as following;

- If $\lambda = 1$, q-ROPHHWAG is reduced to (q-ROPHWA).
- If $\lambda = 0$, q-ROPHHWAG is reduced to (q-ROPHWG).
- If $\lambda = 0.5$, q-ROPHHWAG is reduced to (q-ROPHWA) and (q-ROPHWG).

Theorem 3.2 Let $\check{h}_j = \langle \mu_{h_j}(x), \nu_{h_j}(x) \rangle$ and $h_j^* = \langle \mu_{h_j}^*(x), \nu_{h_j}^*(x) \rangle$ be collection of q-ROPHFSs for $(j = 1, 2, \dots, \pi)$. Thus, q-ROPHHWAG provides following properties;

1. (Idempotency) Let be $h_j = h$ for $(j = 1, 2, \dots, \pi)$. Thus, q-ROPHHWAG $(h_1, h_2, \dots, h_\pi) = h$.
2. (Boundedness) Let be h_j^+ and h_j^- maximum and minimum elements for $j = 1, 2, \dots, \pi$. Thus, $h_j^- \leq q-ROPHHWAG(h_1, h_2, \dots, h_\pi) \leq h_j^+$.
3. (Monotonicity) Let be $\mu_{h_j} \geq \mu_{h_j}^*$ and $\nu_{h_j} \leq \nu_{h_j}^*$. In this statement,

$$q-ROPHHWAG(h_1, h_2, \dots, h_\pi) \geq q-ROPHHWAG(h_1^*, h_2^*, \dots, h_\pi^*).$$

It is open that q-ROPHHWAG carries above all of the properties owing to q-ROPHWA and q-ROPHWG. As similar, q-ROPHHOWAG carries to above all of the properties.

Example 3.1 Let accept two q-ROPHFEs that $h_1 = \langle \{0.3(0.5)\}, \{0.5(0.5), 0.2(0.2)\} \rangle$ and $h_2 = \langle \{0.2(0.4), 0.3(0.1)\}, \{0.4(0.3)\} \rangle$, and also $w = (0.6, 0.4)$ for $q = 2$ and $\lambda = 0.3$. In this statement, if we calculate to q-ROPHHWAG;

$$q-ROPHHWAG(h_1, h_2) = \langle \{ (1 - (1 - 0.3^2)^{0.6} \times (1 - 0.2^2)^{0.4})^{\frac{0.3}{2}} \times (0.3^{0.6} \times 0.2^{0.4})^{(1-0.3)} \left(\frac{0.5^2 \times 0.4^2}{(0.5)^2 \times (0.4 + 0.1)^2} \right), (1 - (1 - 0.3^2)^{0.6} \times (1 - 0.3^2)^{0.4})^{\frac{0.3}{2}} \times (0.3^{0.6} \times 0.3^{0.4})^{(1-0.3)} \left(\frac{0.5^2 \times 0.1^2}{(0.5)^2 \times (0.4 + 0.1)^2} \right) \}, \{ (1 - (1 - 0.5^{0.6} \times 0.4^{0.4})^2)^{0.3} \times ((1 - 0.5^2)^{0.6} \times (1 - 0.4^2)^{0.4})^{(1-0.3)} \frac{1}{2} \left(\frac{0.5^2 \times 0.3^2}{(0.5 + 0.2)^2 \times (0.3)^2} \right), (1 - (1 - 0.2^{0.6} \times 0.4^{0.4})^2)^{0.3} \times ((1 - 0.2^2)^{0.6} \times (1 - 0.4^2)^{0.4})^{(1-0.3)} \frac{1}{2} \left(\frac{0.2^2 \times 0.3^2}{(0.5 + 0.2)^2 \times (0.3)^2} \right) \} \rangle$$

$$= \langle \{0.258(0.64), 0.3(0.04)\}, \{0.4619(0.862), 0.2896(0.1379)\} \rangle$$

For q-ROPHHOWAG, firstly we calculate to score values for \tilde{h}_1 and \tilde{h}_2 as follow; $S(\tilde{h}_1) = -0.0616$ and $S(\tilde{h}_2) = -0.0023$. Thus, $\tilde{h}_1 < \tilde{h}_2$ and

$$\begin{aligned} & \left\{ \left((1 - (1 - 0.3^2)^{0.4} \times (1 - 0.2^2)^{0.6})^{\frac{0.3}{2}} \times (0.3^{0.4} \right. \right. \\ & \times 0.2^{0.6})^{(1-0.3)} \left. \left. \frac{0.5^2 \times 0.4^2}{(0.5)^2 \times (0.4 + 0.1)^2} \right), (1 - (1 \right. \\ & - 0.3^2)^{0.4} \times (1 - 0.3^2)^{0.6})^{\frac{0.3}{2}} \times (0.3^{0.4} \\ & \times 0.3^{0.6})^{(1-0.3)} \left. \left. \frac{0.5^2 \times 0.1^2}{(0.5)^2 \times (0.5 + 0.1)^2} \right) \right\}, \left\{ (1 - (1 \right. \\ & - (0.5^{0.4} \times 0.4^{0.6})^2)^{0.3} \times ((1 - 0.5^2)^{0.4} \times (1 \\ & - 0.4^2)^{0.6})^{1-0.3} \left. \right\}^{\frac{1}{2}} \left(\frac{0.5^2 \times 0.3^2}{(0.5 + 0.2)^2 \times (0.3)^2} \right), (1 - (1 \\ & - (0.2^{0.4} \times 0.4^{0.6})^2)^{0.3} \times ((1 - 0.2^2)^{0.4} \times (1 \\ & - 0.4^2)^{0.6})^{(1-0.3)} \left. \right\}^{\frac{1}{2}} \left(\frac{0.2^2 \times 0.3^2}{(0.5 + 0.2)^2 \times (0.3)^2} \right) \} \} \\ = \\ & \{ \{0.2382(0.64), 0.3(0.04)\}, \{0.442(0.862), 0.3276(0.1379)\} \} \end{aligned}$$

3. Results

3.1. An Application Of Multi-Attribute Decision-Making Method Under Q-Rophhwag

In this section, we apply the presented q-ROPHHWAG into an algorithm and test over a MCDM problem with n alternatives and m criteria to indicate effective of averaging operators over NDHPFS. Let $A = \{A_1, A_2, \dots, A_m\}$ be a set of alternatives, $C = \{C_1, C_2, \dots, C_n\}$ be a set of criteria and let $w_j = (w_1, w_2, \dots, w_n)$ be a weight vector of criteria where $w_j > 0, j = 1, 2, \dots, n$ and $\sum_{j=1}^n w_j = 1$. Then, the following steps have been defined for algorithm.

1. Consist of Decision making matrix as $(\phi_{ij})_{m \times n}$ for $i = 1, 2, \dots, m$ and $j = 1, 2, \dots, n$,

$$[\phi_{ij}]_{m \times n} = \begin{pmatrix} \delta_{11} & \delta_{12} & \dots & \delta_{1n} \\ \delta_{21} & \delta_{22} & \dots & \delta_{2n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ \delta_{m1} & \delta_{m2} & \dots & \delta_{mn} \end{pmatrix}$$

2. Determine q- Rung Orthopair probabilistic hesitant fuzzy elements by utilizing $\phi_i = q - ROPHHWAG(\phi_{i1}, \phi_{i2}, \dots, \phi_{in})$ or $\phi_i = q - ROPHHOWAG(\phi_{i1}, \phi_{i2}, \dots, \phi_{in})$ operator for $i = 1, 2, \dots, m$,
3. Calculate score values of q- Rung Orthopair probabilistic hesitant fuzzy elements,
4. Determine alternatives rankings in descending order.

3.2. Numerical example

A company that wants to invest is doing some work to identify different alternatives and as a result of these researches, it determines four criteria and five alternatives as following; A_1 ; A hybrid car production company, A_2 ; A flue filter company, A_3 ; A recycle

production company, A_4 ; A aircraft manufacturing factory responding to forest fire company; if criteria, C_1 ; minimum cost, maximum profitability, C_2 ; the proximity to raw material, C_3 ; least harm to the environment; C_4 ; experience and for criteria determined weights by decision makers as follow; $w = (0.3, 0.2, 0.2, 0.3)$.

Decision makers construct decision making matrix as follow in Table 1.

Obtain aggregated values by using q-ROPHHWAG based on data in Table 2 for $q = 2$ and $\lambda = 0.3$.

$$\begin{aligned} & \left(\bigcup_{\mathfrak{S}_{1n} \in \mu_{h_1}, \mathfrak{S}_{2n} \in \mu_{h_2}, \dots, \mathfrak{S}_{\pi n} \in \mu_{h_\pi}} \left\{ \left(1 - \prod_{j=1}^{\pi} (1 - \mathfrak{S}_{j_n}^q)^{w_j} \right)^{\frac{\lambda}{q}} b \right\} \right) \\ & b = \left(\left(\prod_{j=1}^{\pi} (\mathfrak{S}_{j_n})^{w_j} \right)^{(1-\lambda)} \right) \\ & \left(\frac{\prod_{j=1}^{\pi} \kappa_{j_n} \prod_{j=1}^{\pi} \kappa_{j_n}}{\prod_{j=1}^{\pi} \sum_{n=1}^{|\mu_{h_l}|} \kappa_{j_n} \prod_{j=1}^{\pi} \sum_{n=1}^{|\mu_{h_l}|} \kappa_{j_n}} \right) \\ & \left(\bigcup_{\mathfrak{R}_{1n} \in \mu_{h_1}, \mathfrak{R}_{2n} \in \mu_{h_2}, \dots, \mathfrak{R}_{\pi n} \in \mu_{h_\pi}} \left\{ \left(1 - \left(1 - \left(\prod_{j=1}^{\pi} (\mathfrak{R}_{j_n})^{w_j} \right)^q \right)^{\lambda} \right) b \right\}^{\frac{1}{q}} \right) \\ & b = \left(\left(\prod_{j=1}^{\pi} (1 - \mathfrak{R}_{j_n}^q)^{w_j} \right)^{(1-\lambda)} \right) \\ & \left(\frac{\prod_{j=1}^{\pi} \check{\kappa}_{j_n} \prod_{j=1}^{\pi} \check{\kappa}_{j_n}}{\prod_{j=1}^{\pi} \sum_{n=1}^{|\nu_{h_l}|} \check{\kappa}_{j_n} \prod_{j=1}^{\pi} \sum_{n=1}^{|\nu_{h_l}|} \check{\kappa}_{j_n}} \right) \end{aligned}$$

and results are as follow;

$$\begin{aligned} \phi_1 & = \{ \{0.3642(0.0044), 0.4558(0.0044), 0.2682(0.0177), \\ & \quad 0.3982(0.04), 0.3573(0.0177), \\ & \quad 0.4963(0.01), 0.3051(0.04), 0.3959(0.04)\}, \\ & \quad \{0.4735(0.0123), 0.3868(0.0030), 0.4598(0.0493), \\ & \quad 0.5503(0.0123), 0.3703(0.0123), 0.4798(0.0044), \\ & \quad 0.5503(0.0493), 0.4798(0.0123)\} \} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi_2 & = \{ \{0.3628(0.1111), 0.3900(0.0493), 0.4386(0.0044) \\ & \quad , 0.3275(0.0011), 0.4665(0.0019), \\ & \quad 0.3525(0.0123), 0.3969(0.0011), \\ & \quad 0.4222(0.0004)\}, \{0.4691(0.0004), 0.4509(0.000069), \\ & \quad 0.5123(0.0270), 0.5224(0.0051), \\ & \quad 0.4926(0.0010), 0.5050(0.0001), 0.5224(0.3319), \\ & \quad 0.5050(0.0132)\} \} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi_3 & = \{ \{0.3497(0.0024), 0.5091(0.1560), 0.3645(0.0024) \\ & \quad , 0.3014(0.00008103), 0.5283(0.1560), \\ & \quad 0.4492(0.0024), 0.3176(0.0000813), \\ & \quad 0.4688(0.0024)\}, \{0.3274(0.0097), 0.3730(0.0390), \\ & \quad 0.3435(0.0152), 0.4114(0.0024), 0.3874(0.0609), \\ & \quad 0.4484(0.0270), 0.4114(0.0038), \\ & \quad 0.4484(0.0152)\} \} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi_4 &= \{ \{0.3416(0.0062), 0.4080(0.0062), 0.3606(0.0393), \\ &\quad 0.3770(0.0251), 0.4294(0.0393), \\ &\quad 0.4465(0.0040), 0.3965(0.0251), 0.4688(0.0251)\}, \\ &\quad \{0.5872(0.0066), \\ &\quad 0.4083(0.0066), 0.6009(0.0416), 0.5656(0.0037), \\ &\quad 0.4259(0.0416), 0.3756(0.0066), \\ &\quad 0.5656(0.0234), 0.37568(0.0234)\} \} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi_5 &= \{ \{0.3976(0.0051), 0.4592(0.0318), 0.4555(0.0051), \\ &\quad 0.3976(0.0051), 0.5193(0.0318), \\ &\quad 0.4592(0.0318), 0.4555(0.0051), 0.5193(0.0318)\}, \\ &\quad \{0.3589(0.0123), 0.4769(0.0123), \\ &\quad 0.4155(0.0123), 0.4182(0.0192), 0.5221(0.0123), \\ &\quad 0.5228(0.0192), 0.4182(0.0192), \\ &\quad 0.5228(0.0192)\} \} \end{aligned}$$

Table 1. Evaluations of alternatives made by decision makers

| | C_1 | C_2 |
|-------|--|--|
| A_1 | $\{ \{0.3(0.1)\}, \{0.7(0.4), 0.5(0.2)\} \}$ | $\{ \{0.3(0.2), 0.5(0.3)\}, \{0.4(0.1)\} \}$ |
| A_2 | $\{ \{0.5(0.2)\}, \{0.3(0.5), 0.2(0.1)\} \}$ | $\{ \{0.2(0.4), 0.1(0.2)\}, \{0.8(0.3)\} \}$ |
| A_3 | $\{ \{0.4(0.3)\}, \{0.5(0.2), 0.6(0.4)\} \}$ | $\{ \{0.7(0.8), 0.4(0.1)\}, \{0.3(0.9)\} \}$ |
| A_4 | $\{ \{0.5(0.2)\}, \{0.8(0.2), 0.3(0.2)\} \}$ | $\{ \{0.4(0.5), 0.6(0.4)\}, \{0.5(0.9)\} \}$ |
| A_5 | $\{ \{0.5(0.6)\}, \{0.4(0.5), 0.7(0.5)\} \}$ | $\{ \{0.4(0.5), 0.4(0.5)\}, \{0.5(0.8)\} \}$ |
| | C_3 | C_4 |
| A_1 | $\{ \{0.8(0.2), 0.3(0.4)\}, \{0.3(0.1), 0.2(0.2)\} \}$ | $\{ \{0.2(0.1), 0.5(0.1)\}, \{0.3(0.5), 0.6(0.5)\} \}$ |
| A_2 | $\{ \{0.3(0.5), 0.7(0.1)\}, \{0.2(0.1), 0.5(0.8)\} \}$ | $\{ \{0.4(0.3), 0.5(0.2)\}, \{0.4(0.2), 0.6(0.7)\} \}$ |
| A_3 | $\{ \{0.5(0.4), 0.6(0.4)\}, \{0.2(0.4), 0.3(0.5)\} \}$ | $\{ \{0.1(0.1), 0.5(0.8)\}, \{0.2(0.6), 0.5(0.3)\} \}$ |
| A_4 | $\{ \{0.3(0.2), 0.4(0.5)\}, \{0.3(0.2), 0.4(0.5)\} \}$ | $\{ \{0.2(0.5), 0.4(0.5)\}, \{0.5(0.4), 0.4(0.3)\} \}$ |
| A_5 | $\{ \{0.4(0.5), 0.7(0.5)\}, \{0.2(0.1), 0.5(0.1)\} \}$ | $\{ \{0.3(0.2), 0.5(0.5)\}, \{0.3(0.4), 0.5(0.5)\} \}$ |

Table 2. Score Values under q-ROPHHWAG

| q values | Ranking Alternatives |
|----------|-------------------------------|
| q = 2 | $A_3 > A_5 > A_4 > A_1 > A_2$ |
| q = 3 | $A_3 > A_5 > A_4 > A_1 > A_2$ |
| q = 5 | $A_3 > A_5 > A_4 > A_1 > A_2$ |
| q = 8 | $A_3 > A_5 > A_1 > A_4 > A_2$ |
| q = 10 | $A_3 > A_5 > A_1 > A_4 > A_2$ |
| q = 15 | $A_3 > A_5 > A_1 > A_4 > A_2$ |
| q = 25 | $A_3 > A_5 > A_1 > A_4 > A_2$ |
| q = 40 | $A_3 > A_5 > A_1 > A_4 > A_2$ |
| q = 75 | $A_3 > A_5 > A_1 > A_4 > A_2$ |

Table 3. Score Values under q-ROPHHWAG

| λ values | Ranking Alternatives |
|----------|-------------------------------|
| λ = 0.1 | $A_3 > A_5 > A_4 > A_1 > A_2$ |
| λ = 0.2 | $A_3 > A_5 > A_4 > A_1 > A_2$ |
| λ = 0.3 | $A_3 > A_5 > A_4 > A_1 > A_2$ |
| λ = 0.4 | $A_3 > A_5 > A_4 > A_1 > A_2$ |
| λ = 0.5 | $A_3 > A_5 > A_4 > A_1 > A_2$ |
| λ = 0.6 | $A_3 > A_5 > A_4 > A_1 > A_2$ |
| λ = 0.7 | $A_3 > A_5 > A_4 > A_1 > A_2$ |
| λ = 0.8 | $A_3 > A_5 > A_4 > A_1 > A_2$ |
| λ = 0.9 | $A_3 > A_5 > A_4 > A_1 > A_2$ |

If the score values are surveyed according to orderings of Alternatives, alternative A_3 is the most desirable for all of alternatives and the most undesirable alternative is A_2 for different q values. Now let's keep the q values constant and change the λ values.

As seen from score values; the best alternative is same for all λ and $q = 2$ values. The proposed operator is reality, objective and effective.

5. Comparative and discussion

In this section, the proposed operator under probabilistic hesitant fuzzy (PHFS) environment is compared with some operators which defined over q-ROPHFS. If we solve with our method to example over coronavirus disease of Batool [4], the results are as following;

Table 4. Comparative Analyzes according to Score Values under q-ROPHHWAG for different pairs of (λ, q)

| Methods | Ranking Alternatives |
|---------------------|-------------------------|
| The proposed method | $A_2 > A_4 > A_1 > A_3$ |
| PyPHFWA[4] | $A_2 > A_4 > A_1 > A_3$ |
| PyPHFWG[4] | $A_2 > A_4 > A_1 > A_3$ |
| PyPHFOWA[4] | $A_2 > A_4 > A_1 > A_3$ |
| PyPHFOWG[4] | $A_2 > A_4 > A_1 > A_3$ |
| PyPHFHWG[4] | $A_2 > A_4 > A_1 > A_3$ |
| PyPHFHWG[4] | $A_2 > A_4 > A_1 > A_3$ |

6. Discussion and Conclusion

Q- rung orthopair fuzzy sets revealed as generalization of pythagorean fuzzy sets and intuitionistic fuzzy sets is very important that it presents a comparative analysis within itself, contains multiple structures within own of it, and changes according to the desire, request and need of the decision makers. Probabilistic hesitant fuzzy sets (PHFS) propose to evaluate for an each element in cluster probabilistic concept for experts. Q- rung orthopair probabilistic hesitant fuzzy sets (q-ROPHs) are to presented by combining these both structures. Aggregation operators based on q-ROPHs called q-ROPHWA and q-ROPHWG are

significant mathematical tool to aggregate presented information. In this paper, we define $q - ROPHHWAG$ and $q - ROPHHOWAG$ because of some drawbacks $q-ROPHWA$ and $q-ROPHWG$. Then, some properties of both operators are given. The presented operators are superior according to existing operators as $q-ROPHWA$ and $q-ROPHWG$ to overcome with fuzzy and ambiguous information.

1. Combining two operators in the same formula will prevent separate calculations and will enable us to obtain fast solutions in the future;
 2. The use of two different variables is important for the decision makers in terms of the precision of the results.
 3. Self-comparison analysis is very necessary in this age of noisy information.
- Furthermore, we established an algorithm and example to indicate effective our operators and

gave comparative analysis, and results are almost agreement.

In the future, we will use our work to solve other real life MCDM problems by using different aggregation operators, TOPSIS, VIKOR, ELECTRE family and PROMETHEE based on interval probabilistic hesitant fuzzy sets, dual probabilistic hesitant fuzzy sets and pythagorean dual probabilistic fuzzy sets.

Declaration and 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] Xu Z.S., Zhou W. 1986. Consensus building with a group of decision makers under the hesitant probabilistic fuzzy environment. *Fuzzy Optim. Decis. Mak.* 16(4), 481-503, 2017. Atanassov, K. T., Intuitionistic fuzzy sets. *Fuzzy Sets Syst.* 20(1), 87-96.
- [2] Zhang, S., Xu ZS, He, Y. 2017. Operations and integrations of probabilistic hesitant fuzzy information in decision making" *Inf Fusion* 38, 1-11.
- [3] Zhai ,Y., Xu, Z., Liao, H. 2017. Measures of probabilistic interval-valued intuitionistic hesitant fuzzy sets and the application in reducing excessive medical examinations. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 26(3), 1651-1670.
- [4] Batoool, B., Abdullah, S., Ashraf, S., Ahmad, M. 2021. Pythagorean probabilistic hesitant fuzzy aggregation operators and their application in decision-making. *Kybernetes* 6, 688-694.
- [5] Batoool, B., Abosuliman, SS, Abdullah, S., Ashraf, S. 2021. EDAS method for decision support modeling under the Pythagorean probabilistic hesitant fuzzy aggregation information. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 16(5) 1-14.
- [6] Ren, Y., Yuan, X., Zhao, X., Yu, B. 2021. Calculation and aggregation of Q-rung orthopair probabilistic hesitant fuzzy information. *IEEE 5th Advanced Information Technology, Electronic and Automation Control Conference (IAEAC)* 5, 2146-2150.
- [7] Ren ,Y., Yuan, X., Lin, R. 2021. A novel MADM algorithm for landfill site selection based on q-rung orthopair probabilistic hesitant fuzzy power Muirhead mean operator. *Plos one*, 16(10), 258-275.
- [8] Ashraf, S., Kousar, M., Hameed, M. S. 2023. Early infectious diseases identification based on complex probabilistic hesitant fuzzy N-soft information. *Soft Computing*, 1-26.
- [9] Attaullah, Ashraf, S., Rehman, N., & Khan, A. 2023. q-Rung Orthopair Probabilistic Hesitant Fuzzy Rough Aggregation Information and Their Application in Decision Making. *International Journal of Fuzzy Systems*, 25(5), 2067-2080.
- [10] Wan, B., Zhang, J., Garg, H., & Huang, W. (2023). Q-rung orthopair hesitant fuzzy preference relations and its group decision-making application. *Complex & Intelligent Systems*, 1-22.
- [11] Qahtan, S., Alsattar, H. A., Zaidan, A. A., Deveci, M., Pamucar, D., Delen, D., & Pedrycz, W. 2023. Evaluation of agriculture-food 4.0 supply chain approaches using Fermatean probabilistic hesitant-fuzzy sets based decision making model. *Applied Soft Computing*, 138, 110170.
- [12] Liao, N., Wei, G., & Chen, X. 2022. TODIM method based on cumulative prospect theory for multiple attributes group decision making under probabilistic hesitant fuzzy setting. *International Journal of Fuzzy Systems*, 1-18.

Eldeş (Ilgın/Konya) ve Çevresinin Etnobotanik Özellikleri

Hakkı DEMİRELMA*¹, Deniz ERSOY DEPRELİ²

^{1,2}Selçuk Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü, 42130, Konya, Türkiye

(Alınış / Received: 29.11.2022, Kabul / Accepted: 24.08.2023, Online Yayınlanma/ Published Online: 25.12.2023)

Anahtar Kelimeler

Eldeş,
Etnobotanik,
Ilgın,
Konya

Öz: Bu çalışma 2019-2020 yıllarında Konya İli Ilgın İlçesine bağlı Eldeş ve çevresinde yetişen bitki türlerinin etnobotanik özelliklerini tespit etmek amacıyla yapılmıştır. Eldeş, Türkiye Grid sistemine göre B3 karesinde bulunmaktadır. Çalışma alanından toplanan bitkilerin yerel isimlerinin, kullanım alanlarının belirlenmesi için yörede yaşayan 143 kişiyle (67'si erkek, 76'sı kadın) görüşülmüştür. Araştırma alanındaki bitkilerden toplamda 42 familyaya ait 129 taksondan 76 takson gıda, 91 takson tıbbi, 27 takson hayvan yemi, 20 takson eşya, 16 takson süs bitkisi, 20 takson yakacak, 3 takson boya bitkisi, 9 takson çay, 3 takson baharat ve 6 takson yağ olarak kullanıldığı tespit edilmiştir.

Ethnobotanical Features of Eldeş (Ilgın/Konya) and Its Surroundings

Keywords

Eldeş,
Etnobotany,
Ilgın,
Konya

Abstract: This study had been made by purpose of describing the features of the plant species which exist in the Eldeş, Ilgın District-Konya City and its surroundings in the years 2019-2020. Eldeş is located in the B3 square according to the Türkiye Grid system. The meetings were held with 143 experienced local people (67 are man, 76 are woman), to determine the local name and the purposes of usage of the plants which had been collected from working area. It is determined totally 129 taxa, which relating to 42 families. The purposes of using these taxa are, 76 taxa as foods, 91 taxa as medicals, 27 taxa as animal foods, 20 taxa as stuffs, 16 taxa as ornamental plants, 20 taxa as fuel, 3 taxa as color plants, 9 taxa as herbal tea, 3 taxa as spice and 6 taxa as oil.

1. Giriş

İnsanlık tarihinin başlangıcından bu yana günümüze kadar bitkilerin başta tedavi etmek üzere pek çok alanda kullanıldığı görülmektedir. Yüzyıllardan bu yana insanlar, bitkilerin tedavi edici gücünü tecrübe etmiş ve hayatını sağlıklı bir şekilde sürdürebilmek için bitkilerden faydalanmıştır. Halk hekimliğinde sıklıkla kullanılan ilaçlar, uzun deneyimler ve gözlemler sonucunda günümüze kadar gelmiştir [17]. Eski çağlardan bu yana insanlar tarafından kullanılan bitkiler, sadece gıda olarak değil aynı zamanda tıpta da kullanılmaktadır [21]. İnsanların hayat kalitesinin belirlenmesinde etkin rol oynayan çeşitli psikolojik rahatsızlıklar ve hastalıklar veya herhangi bir şekilde meydana gelmiş sakatlıklar ve buna bağlı hastalıkların tedavi edilmesinde eski dönemlerden beri doğal bitkiler kullanılmaktadır [19]. İnsanlar beslenme gereksinimini karşılamak için tabiat içerisinde yer alan gıdalardan faydalanma yoluna gitmişler, bunların sürdürülebilir olması için besinleri üretilen çeşitli hastalık faktörlerine karşı da kendilerini koruma amaçlı yöntemler tercih etmişlerdir [11]. Bitkilerin çok farklı alanlarda

kullanım çeşitliliği bulunmasına rağmen, daha çok gıda ve tedavi alanlarında kullanıldıkları görülmektedir. Bunun dışında bitkilerin, mekanların süslenmesinde, doğal boya maddesi elde edilmesinde, parfümeri ve kozmetik sanayinde, ağaç veya tahtadan yapılan çeşitli el aletlerinin yapımında vs. kullanılmaları sayılabilir [18]. Tedavi amacıyla faydalanılan bitki sayısında eski çağlardan zamanımıza kadar geçen sürede gözle görülür bir artış görülmektedir [15]. Dünya sağlık örgütü (WHO) tarafından 20.000 kadar tıbbi bitkinin var olduğunu bildirmekle birlikte bu sayının tam olarak belirlenemediğinden daha fazla sayıda olabileceği belirtilmektedir [14]. Ülkemizde son yıllarda Konya ili ve çevresinde çok sayıda etnobotanik çalışmalar yapılmıştır [1-13]. Günümüzde etnobotanik üzerine yapılan çalışmalar ve onlarla ilgili yayınlara sayı bakımından baktığımızda en çok Sivas ile ilgili olduğu daha sonra ise sırasıyla İstanbul, Konya, İçel, Erzurum, Trabzon ve Balıkesir illerinin yoğun olarak çalışıldığı görülmektedir [22]. Son zamanlarda etnobotanik ile ilgili çalışmaların kayıt altına alınması, elde edilen verilerin zaman içerisinde kaybolmasını önlemek amacıyla bir veri tabanı

altında kaydetmeye yönelik çalışmaların yapıldığı görülmektedir [23]. Bu çalışma Konya ili sınırları içerisinde bulunan Ilgın ilçesine bağlı Eldes ve çevresinde yaşamını sürdüren insanların kullandığı bitkilerin yerel ve latince isimlerinin belirlenmesi, bitkilerden faydalanma, kullanım amaçları ve metodlarının kayıt altına alınması sonucu ortaya çıkan kaynak bir çalışmadır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Çalışılan Bölge Hakkında Bilgiler

Eldes Köyü, Konya iline bağlı, Ilgın ilçesine 10 km uzaklıktadır. Kuzeydoğusunda Karakaya, Yala, Kürtütepe, Akyokuşlar ve Kızıyokuş dağları ile çevrilidir. Ardıç, meşe, çam ormanlarının bir piknik alanına dönüştürdüğü, Gökçeyurt (Kembos) çayı ve Eldes çayı çevresinde kurulan orman köyüdür. Eldes 6360 sayılı Büyükşehir Belediye kanununda yapılan değişikliğe göre 06.12.2012 tarihinde Eldes mahallesi olarak değişmiştir. Eldes halkının geçim kaynağı tarım ve hayvancılıktır. Tarım olarak 4000 dekar arazinin 2000 dekarı sulu tarım olarak kullanılmaktadır. Bölgede tarım ürünü olarak arpa, buğday, şeker pancarı, haşhaş, baklagiller ekilmekte ve bunun dışında meyvecilik yapılmaktadır [25]. Bölgenin nüfusu 383'tür. Erkek nüfus sayısı 205, kadın nüfus sayısı ise 178 olarak bildirilmiştir [27]. Ayrıca bölge çok göç vermemektedir. Bölgenin sulak bir alan olmasından dolayı bölge halkı kışın şehir merkezine gitseler bile yaz mevsimlerinde tarlalarını ekip dikmek için gelmektedirler. Çalışma alanı haritası şekil 2'de verilmiştir [26].

2.1.1. Çalışılan Bölgenin İklimi Hakkında Bilgiler

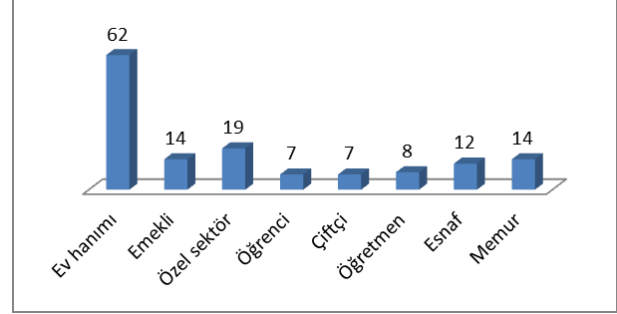
Ilgın ilçesi 2018 yılına ait toplam yağış miktarı 469.6 mm'dir. En az yağış aldığı aylar Ağustos ayı 6.6 mm ve Eylül ayı 3.5 mm'dir. En çok yağış aldığı aylar Haziran ayı 153.6 mm ve Aralık ayı 108.4 mm'dir. Toplam ortalama sıcaklığı 13,33°C'dir. Aylık ortalama sıcaklığın en düşük olduğu ay Ocak 12,3°C'dir. En yüksek olduğu ay ise Temmuz 23,8°C'dir. Verilen bilgilere göre Ilgın'ın yarı kurak nemli bir iklime sahip olduğu söylenebilir [24].

2.1.2. Çalışılan bölgenin Bitki Örtüsü Hakkında Bilgiler

Bölgede çoğunlukla bozkır bitki örtüsü hakim durumdadır. Dağlık alanlara ise ormanlık alanlar görülmektedir. Bölgenin ormanlarını meşe, ardıç ve çam türleri oluşturmaktadır. Kamefit, hemikriptofit ve geofitler ova ve alçak platolarda görülmektedir [25,36].

2.2. Kaynak Kişiler Hakkında Bilgiler

Araştırmamızda 143 kişi ile yüz yüze görüşülmüştür. Bu kişilerden 67'si erkek (%47), 76'sı kadındır (%53). Erkekler (22-81), kadınlar (16-81) yaş aralığındadır. Ayrıca kaynak kişilerin meslek grupları bakımından dağılımı ise; ev hanımı 62, emekli 14, özel sektör 19, öğrenci 7, çiftçi 7, öğretmen 8, esnaf 12 ve memur 14'tür (Şekil 1).



Şekil 1. Kaynak kişi meslekleri dağılımı

2.3. Bitkilerin İşlenmesi

Çalışma alanından toplanan bitkilerin etnobotanik özellikleri araştırılırken yöre halkı ile yüz yüze görüşmeler yapılmış ve veriler kayıt altına alınmıştır. Çalışma alanındaki bitkiler doğal ortamlarında fotoğraflanmıştır. Bölgeden toplanan bitki türlerinin teşhisinde "Flora of Turkey and the East Aegean Island" isimli kaynak kullanılmıştır [16]. Toplanan örnekler, Selçuk Üniversitesi Fen Fakültesi Biyoloji Bölümü (KNYA) Herbaryumu'nda korunmaktadır.



Şekil 2.Çalışma alanı haritası

3. Bulgular

Çalışma alanından toplanan bitkilerin familya,

bilimsel ve yerel adları, kullanılan kısımları, kullanım amaçları tablo şeklinde verilmiştir (tablo 1).

Tablo1.Eldes ve çevresinin etnobotanik açıdan önemli olan bitkilerinin listesi

| Familya Adı | Bitkinin Bilimsel Adı | Yerel Adı | Kullanılan Kısım | Kullanım Amacı |
|------------------------|--|------------------------------|--------------------------|------------------------|
| Adoxaceae | <i>Sambucus ebulus</i> L. | İt üzümü, mürver | Meyve, Çiçek | Boya, Tıbbi |
| Amaranthaceae | <i>Beta vulgaris</i> L. var. <i>altissima</i> Döll | Şeker pancarı | Yaprak, meyve | Gıda, Hayvan yemi |
| | <i>Chenopodium album</i> L. subsp. <i>iranicum</i> Aellen | Sirken | Yaprak | Gıda, Tıbbi |
| | <i>Spinacia oleracea</i> L. | Ispanak | Toprak üstü kısımları | Gıda, Tıbbi |
| Amaryllidaceae | <i>Allium atroviolaceum</i> Boiss. | Yabani morsoğan | - | - |
| | <i>Allium cepa</i> L. | Soğan | Soğan | Gıda, Tıbbi |
| | <i>Allium moschatum</i> L. | Yılan sarmısağı | - | - |
| | <i>Allium porrum</i> L. | Pırasa | Yaprak | Gıda, Tıbbi |
| | <i>Allium sativum</i> L. | Sarımsak | Yaprak, soğan | Gıda, Tıbbi |
| Anacardiaceae | <i>Rhus coriaria</i> L. | Sumak | Meyve | Gıda, Tıbbi |
| Apiaceae | <i>Anethum graveolens</i> L. | Dereotu | Yaprak | Gıda, Tıbbi |
| | <i>Daucus carota</i> L. | Havuç | Kök | Gıda, Tıbbi |
| | <i>Eryngium campestre</i> L. var. <i>virens</i> Link | Diken | Kök, dalları | Tıbbi |
| | <i>Petroselinum crispum</i> (Mill.) A.W.Hill. | Maydanoz | Yaprak, otsu gövde | Gıda, Tıbbi |
| | <i>Scandix australis</i> L. subsp. <i>grandiflora</i> (L.) Thell. | Leylek gagası, iğnelik | Yaprak, otsu gövde | Gıda, Tıbbi |
| Aracaceae | * <i>Arum orientale</i> M.Bieb. | Yılan bıçağı | Toprak üstü kısım | Tıbbi, Süs |
| Asparagaceae | <i>Muscari armeniacum</i> Leichtlin ex Baker | Dağ sümbülü, Arap sümbülü | Toprak üstü kısım | Süs |
| Boraginaceae | <i>Anchusa azurea</i> var. <i>azurea</i> Mill. | Emzik otu | Çiçek | Hayvan yemi |
| | <i>Echium italicum</i> L. | İt kuyruğu | Yaprak ve çiçekleri | Hayvan yemi, Tıbbi |
| Brassicaceae | <i>Brassica oleracea</i> L. var. <i>botrytis</i> (L.) Alef. | Karnabahar | Çiçek | Gıda, Tıbbi |
| | <i>Brassica oleracea</i> L. | Lahana, ilana | Yaprakları | Gıda, Tıbbi |
| | <i>Capsella bursa-pastoris</i> (L.) Medik. | Cırcıca | Yaprak | Gıda, Hayvan yemi |
| | <i>Descurainia sophia</i> (L.) Webb & Prantl | Süpürge otu | Gövde, Çiçek | Gıda, Tıbbi, Eşya, Çay |
| | <i>Eruca vesicaria</i> (L.) Cav. | Roka | Yaprak | Gıda, Tıbbi |
| | <i>Lepidium sativum</i> L. subsp. <i>sativum</i> | Bahçe teresi | Yaprak otsu gövde | Gıda, Tıbbi |
| | <i>Nasturtium officinale</i> R.Br. | Su teresi | Yaprak, otsu gövde | Gıda, Hayvan yemi |
| | <i>Sinapis arvensis</i> L. | Hardal | Yaprak, gövde, tohum | Gıda, Tıbbi |
| Caprifoliaceae | <i>Dipsacus laciniatus</i> L. | Çingen çalısı | - | - |
| Caryophyllaceae | * <i>Dianthus recognitus</i> Schischk. | Dağ karanfili | Çiçek | Eşya, Tıbbi |
| Asteraceae | <i>Achillea millefolium</i> L. subsp. <i>pannonica</i> (Scheele) Hayek | Beyaz arı otu | Çiçek ve yaprakları | Tıbbi, Hayvan yemi |
| | <i>Achillea wilhelmsii</i> (K.Koch) Greuter | Sarı arı otu | Çiçek ve yaprakları | Tıbbi, Hayvan yemi |
| | <i>Arctium minus</i> (Hill). Bernh | Domuz bıtırağı | Kök | Tıbbi |
| | <i>Bellis perennis</i> L. | Papatya | Çiçek | Tıbbi, Süs, Boya |
| | <i>Cardopatum corymbosum</i> (L.) Pers. | Mavi diken | Çiçek | Süs, Hayvan yemi |
| | <i>Cyanus depressus</i> (M.Bieb.) Soják | | Çiçek, toprak üstü kısım | Süs, Hayvan yemi |
| | * <i>Centaurea consanquinea</i> DC. | - | - | - |
| | <i>Centaurea solstitialis</i> L. subsp. <i>solstitialis</i> | Sarı diken | Çiçek | Hayvan yemi |

| Familiya Adı | Bitkinin Bilimsel Adı | Yerel Adı | Kullanılan Kısım | Kullanım Amacı |
|----------------|--|-------------------------|------------------------------------|--|
| Asteraceae | <i>Centaurea urvillei</i> DC. subsp. <i>stepposa</i> Wagenitz | Çoban çökerten | Çiçek | Hayvan yemi |
| | <i>Cichorium intybus</i> L. | Güneyik, hindiba | Toprak üstü kısım | Tıbbi, Çay |
| | <i>Echinops ritro</i> L. | Kenger | - | - |
| | <i>Helianthus annuus</i> L. | Günaşık, çitlek | Tohum | Gıda, Tıbbi, Hayvan yemi, Yakacak |
| | <i>Helianthus tuberosus</i> L. | Yer elması | Kök | Gıda, Tıbbi |
| | <i>Inula britannica</i> L. | Sarı papatya | Toprak üstü kısımları | Tıbbi, Süs |
| | <i>Lactuca sativa</i> L. | Bahçe marulu | Yaprakları | Gıda, Tıbbi |
| | <i>Lactuca serriola</i> L. | Acı marul | Yaprak, kök | Gıda, Tıbbi |
| | <i>Scorzonera cana</i> (C.A.Mey.) Griseb. var. <i>cana</i> | Dede sakalı | Yaprakları | Gıda |
| | <i>Taraxacum officinale</i> F.H.Wigg. | Güneyik | Çiçek, Yaprak | Gıda, Tıbbi, Çay, Hayvan yemi |
| | <i>Tragopogon bupththalmoides</i> (DC.) Boiss. var. <i>bupththalmoides</i> | Yemlik | Yaprak | Gıda, Tıbbi, Hayvan yemi |
| | * <i>Tripleurospermum callosum</i> (Boiss. & Heldr.) E.Hossain | Papatya | Çiçek ve yaprakları | Gıda, Tıbbi, Süs |
| | <i>Xanthium strumarium</i> L. subsp. <i>strumarium</i> | Bitirak | - | - |
| | <i>Xeranthemum annuum</i> L. | Güvercin gözü süpürgesi | Otsu gövde ve yaprak | Eşya |
| Convolvulaceae | <i>Convolvulus arvensis</i> L. | Beyaz sarmaşık | Toprak üstü kısım | Hayvan yemi |
| Cucurbitaceae | <i>Cucumis melo</i> L. | Kelek, kavun | Meyve | Gıda, Tıbbi, Hayvan yemi |
| | <i>Cucumis melo</i> L. var. <i>flexuosus</i> (L.) Naudin | Acur | Meyve | Gıda |
| | <i>Cucurbita moschata</i> Duchesne | Kışlık kabak | Meyve, çiçek, çekirdek | Gıda, Tıbbi |
| | <i>Cucurbita pepo</i> L. | Yazlık kabak | Meyve, çiçek | Gıda |
| | <i>Ecballium elaterium</i> (L.) A.Rich | Acı kavun, it keleş | Meyve içindeki sıvı | Tıbbi |
| Cupressaceae | <i>Juniperus oxycedrus</i> L. subsp. <i>oxycedrus</i> | Diken ardıç | Kozalak, gövde | Tıbbi, Yakacak, Eşya |
| Elaeagnaceae | <i>Elaeagnus angustifolia</i> L. | İğde | Meyve, çiçek, dal | Gıda, Tıbbi, İnanç, Süs, Eşya |
| Equisetaceae | <i>Equisetum arvense</i> L. | Ulama, kırkkilit | Toprak üstü kısım | Tıbbi, Gıda |
| Euphorbiaceae | <i>Euphorbia stricta</i> L. | Sütleşen | Sütü | Tıbbi |
| Fagaceae | <i>Quercus pubescens</i> Willd. | Pelit, meşe | Gövde ve dalları, meyve, | Gıda, Tıbbi, Yakacak, Eşya |
| Poaceae | <i>Bromus tectorum</i> L. | | Toprak üstü kısım | Hayvan yemi |
| | <i>Phragmites australis</i> (Cav.) Trin. Ex Steud. | Kamış, saz | Gövde, dal, yaprak | Eşya |
| | <i>Triticum aestivum</i> L. | Buğday | Tohum kabuğu | Gıda, Tıbbi, Süs |
| | <i>Zea mays</i> L. subsp. <i>mays</i> | Mısır, mekke | Meyve, püskül, tohum, sapları | Gıda, Tıbbi, Yağ, Yakacak, Hayvan yemi, Eşya |
| Guttiferae | <i>Hypericum perforatum</i> L. subsp. <i>perforatum</i> | Sarı kantaron | Toprak üstü kısımları | Tıbbi, Gıda, Çay, Yağ |
| Juglandaceae | <i>Juglans regia</i> L. | Ceviz | Meyve, Yaprak, Gövde, Meyve kabuğu | Gıda, Tıbbi, Eşya, Yakacak, Yağ |
| Lamiaceae | <i>Ajuga chamaepitys</i> (L.) Schreb. subsp. <i>chia</i> (Schreb.) Arcang. | Yer çamı | Toprak üstü kısım | Tıbbi |
| | <i>Ballota nigra</i> L. subsp. <i>anatolica</i> P.H.Davis | Yalancı ısırğan | Toprak üstü kısım | Tıbbi |
| | <i>Mentha aquatica</i> L. | Nane | Yaprak | Gıda, Tıbbi, Baharat, Yağ |
| | <i>Mentha longifolia</i> (L.) L. subsp. <i>typhoides</i> (Brig.) Harley | Su nanesi | - | - |

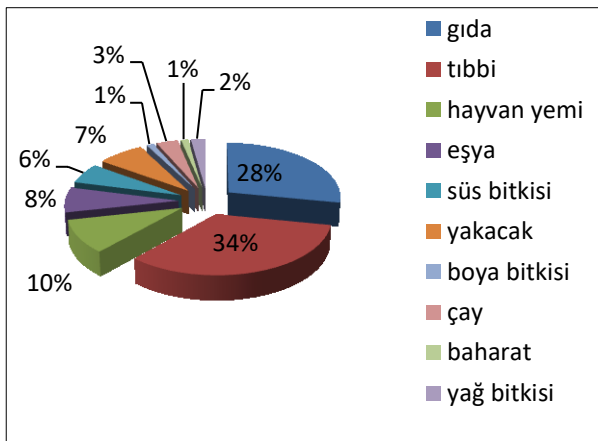
| Familya Adı | Bitkinin Bilimsel Adı | Yerel Adı | Kullanılan Kısım | Kullanım Amacı |
|---------------|--|---------------------|---------------------------|-------------------------------------|
| Lamiaceae | <i>Ocimum basilicum</i> L. | Fesleğen, reyhan | Yaprak | Gıda, Baharat, Süs, Tıbbi |
| | * <i>Origanum sipyleum</i> L. | Dağ çayı | Çiçek | Gıda, Tıbbi, Çay |
| | * <i>Phlomis nissolii</i> L. | Çalba | Toprak üstü kısım | Tıbbi |
| | * <i>Salvia adenocaulon</i> P.H.Davis | Adaçayı | Toprak üstü kısımları | Gıda, Tıbbi |
| | <i>Salvia verticillata</i> L. subsp. <i>amasiaca</i> (Freyn ex Bornm.) Bornm. | Adaçayı | Toprak üstü kısım | Tıbbi |
| | * <i>Stachys cretica</i> L. subsp. <i>anatolica</i> Rech.f. | Çay otu | Toprak üstü kısım | Tıbbi |
| | * <i>Thymus sipyleus</i> Boiss. | Kekik | Toprak üstü kısım | Gıda, Baharat, Çay, Yağ, Tıbbi |
| Fabaceae | <i>Cicer arietinum</i> L. | Nohut | Tohum, otsu gövde | Gıda, Yakacak |
| | <i>Medicago sativa</i> L. | Mor yonca | Tüm bitki | Hayvan yemi |
| | <i>Melilotus officinalis</i> (L.) Desr. | Sarı yonca | Tüm bitki | Hayvan yemi |
| | <i>Onobrychis caput-galli</i> (L.) Lam. | Yonca | Tüm bitki | Hayvan yemi |
| | <i>Phaseolus vulgaris</i> L. | Fasülye | Meyve, Yaprak, otsu gövde | Gıda, Yakacak |
| | <i>Trifolium repens</i> L. var. <i>giganteum</i> Lag.-Foss. | Üç gül, beyaz yonca | Tüm bitki | Hayvan yemi |
| Fabaceae | * <i>Viciaca nescens</i> Labill. | Yonca | Toprak üstü kısım | Hayvan yemi |
| Malvaceae | <i>Abelmoschus esculentus</i> (L.) Moench | Bamya | Meyve | Gıda |
| | <i>Alcea biennis</i> Winterl | Gül hatmi | Çiçek | Gıda, Tıbbi, Süs, Çay, Hayvan yemi, |
| | <i>Malva neglecta</i> Wallr. | Ebegümeçi | Yaprak | Gıda, Tıbbi |
| Moraceae | <i>Morus alba</i> L. | Beyaz dut | Yaprak, Meyve | Gıda, Tıbbi, Eşya, Yakacak |
| | <i>Morus nigra</i> L. | Kara dut | Yaprak, Meyve | Gıda, Tıbbi, Eşya, Yakacak |
| Nitrariaceae | <i>Peganum harmala</i> L. | Üzerlik | Tüm bitki | Nazar, Süs, Tıbbi |
| Onagraceae | <i>Epilobium lanceolatum</i> Sebast. & Mauri | Pembe çiçekli ot | Tüm bitki | Süs |
| Papaveraceae | <i>Fumaria officinalis</i> L. | Şahtere | Toprak üstü kısım | Tıbbi |
| | <i>Papaver libanoticum</i> (Schott & Kotschy ex Boiss.) Kadereit subsp. <i>polychaetum</i> (Schott&Kotschy ex Boiss.) Kadereit | Gelincik | Çiçek, Yaprak | Gıda, Tıbbi, Boya |
| | <i>Papaversomniferum</i> L. var. <i>somniferum</i> | Haşhaş | Yaprak, Kabuk, Tohum | Gıda, Yağ, Yakacak, Süs |
| Pinaceae | <i>Pinus nigra</i> J.F.Arnold subsp. <i>pallasiana</i> (Lamb.) Holmboe | Çam | Kozalak, gövde | Yakacak, Tıbbi, Eşya, Süs |
| Polygonaceae | <i>Polygonum cognatum</i> Meissn. | Beçigula, madımak | yaprak, ince otsu gövde | Gıda, Tıbbi |
| | <i>Rumex alpinus</i> L. | Ekşiot | Yaprak | Gıda, Tıbbi |
| | <i>Rumex conglomeratus</i> Murray | Labada, ilibade | Yaprak | Gıda, Tıbbi |
| Portulacaceae | <i>Portulaca oleraceae</i> L. | Semiz otu | Toprak üstü kısım | Gıda, Tıbbi |
| Ranunculaceae | <i>Adonis flammea</i> Jacq. | Kan damlası | Çiçek | Gıda, Tıbbi |
| | <i>Consolida orientalis</i> (J. Gay.) Schrödinger | - | Toprak üstü kısım | Süs |
| | <i>Consolida regalis</i> Gray | - | Toprak üstü kısım | Süs |
| | <i>Nigella sativa</i> L. | Çörekotu | Tohum | Gıda, Tıbbi |
| Rosaceae | <i>Cerasus avium</i> (L.) Moench | Vişne | Meyve | Gıda, Tıbbi |
| | <i>Crataegus azarolus</i> L. var. <i>azarolus</i> | Kızılık, dedeyemiş | Meyve, gövde ve dal | Gıda, Eşya, Tıbbi, Yakacak |
| | <i>Crataegus monogyna</i> Jacq. subsp. <i>azarella</i> (Gris.) Franco | Alıç | Meyve, odun | Gıda, Eşya, Yakacak, Tıbbi |

| Familiya Adı | Bitkinin Bilimsel Adı | Yerel Adı | Kullanılan Kısım | Kullanım Amacı |
|------------------------------|--|---------------------|---------------------------------|---|
| Rosaceae | <i>Cydonia oblonga</i> Mill. | Ayva | Meyve, yaprak, çiçek, çekirdek | Gıda, Tıbbi |
| | <i>Fragaria vesca</i> L. | Çilek | Meyve | Gıda |
| | <i>Malus pumila</i> Mill. | Elma, alma | Meyve | Gıda, Tıbbi |
| | <i>Armeniaca vulgaris</i> Lam. | Kayısı | Meyve, çekirdek | Gıda, Tıbbi, Eşya, Hayvan yemi, Yakacak |
| | <i>Cerasus avium</i> (L.) Moench | Kiraz | Meyve, Sap, odun | Gıda, Tıbbi, Eşya, Hayvan yemi, Yakacak |
| | <i>Prunus divaricata</i> Ledeb. subsp. <i>divaricata</i> | Gövem erik | Meyve | Gıda, Tıbbi |
| | <i>Prunus domestica</i> L. | Erik | Meyve, gövde ve dalları, yaprak | Gıda, Eşya, Yakacak |
| | <i>Persica vulgaris</i> Mill. | Şeftali | Meyve | Gıda, Tıbbi |
| | <i>Rosa canina</i> L. | Kuşburnu | Meyve | Gıda, Çay, Tıbbi, yakacak |
| | <i>Rosa semperflorens</i> W.M.Curtis | Gül | Çiçek | Süs |
| <i>Rubus sanctus</i> Schreb. | Böğürtlen | Meyve | Gıda, Eşya, Tıbbi | |
| Rubiaceae | <i>Galium verum</i> L. subsp. <i>glabrescens</i> Ehrend. | Dil kanatan | Çiçek | Tıbbi, Çay |
| Salicaceae | <i>Populus nigra</i> L. subsp. <i>nigra</i> | Karakavak | Gövde | Eşya, Yakacak |
| Salicaceae | <i>Salix babylonica</i> L. | Salkım söğüt | Gövde, dal, yaprak | Eşya, Yakacak, Tıbbi, Hayvan yemi |
| Santalaceae | <i>Viscum album</i> L. | Ökse otu, gövelek | Tüm bitki | Tıbbi, Hayvan yemi |
| Solanaceae | <i>Capsicum annuum</i> L. | Biber | Meyve | Gıda, Tıbbi |
| | <i>Lycopersicon esculentum</i> Mill. | Domates, gavete | Meyve | Gıda, Tıbbi |
| | <i>Solanum tuberosum</i> L. | Patates | Toprak altı yumru | Gıda, Tıbbi |
| Ulmaceae | <i>Ulmus glabra</i> Huds. | Karaağaç | Gövde | Yakacak |
| Urticaceae | <i>Urtica dioica</i> L. | Isırgan, kanser otu | Yaprak, Tohum | Gıda, Tıbbi |
| Vitaceae | <i>Vitis vinifera</i> L. | Üzüm, asma | Meyve | Gıda, Tıbbi, Yakacak |
| Zygophyllaceae | <i>Tribulus terrestris</i> L. | Çakır diken | Toprak üstü kısım | Tıbbi |

* Endemik Taksonlar

4. Tartışma ve Sonuç

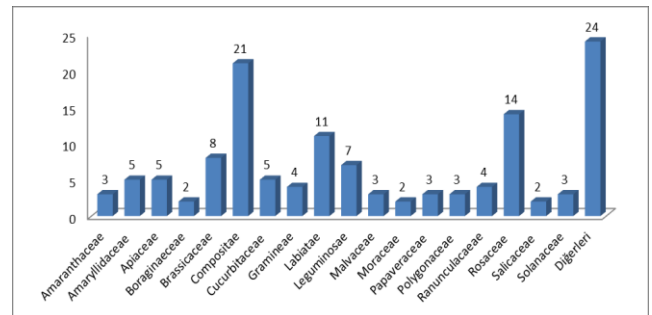
Araştırma alanında yapılan çalışmalar sonucunda 42 familyaya ait 129 taksondan 76 takson gıda, 91 takson tıbbi, 27 takson hayvan yemi, 20 takson eşya, 16 takson süs bitkisi, 20 takson yakacak, 3 takson boya bitkisi, 9 takson çay, 3 takson baharat ve 6 takson yağ olarak kullanıldığı tespit edilmiştir. Bu taksonlara ait kullanım alanları yüzdeleri ile ilgili grafik aşağıda verilmiştir (Şekil 3).



Şekil 3. Bitkilerin kullanım yüzdelerinin gösterimi

Şekil 3'te görüldüğü gibi araştırma bölgesinde 1. sırada % 34'lük oranla bitkilerin tıbbi özelliklerinden, 2. sırada % 28'lik oranla gıda olarak ve 3. olarak ise % 10'luk oranla hayvan yemi olarak yararlanılmaktadır. Alanda en az kullanılanlar ise % 1'lik oranlarla boya bitkileri ve baharatları sayabiliriz. Konya ili ve çevresinde yapılan çalışmalara baktığımızda, [2,7] çalışmalarında ilk sırayı tıbbi, 2. sırayı gıda bitkileri almakta olup bizim çalışmamızla uyum göstermektedir. [1,3,4,10,13] çalışmalarında ise ilk sırayı gıda 2. sırayı ise tıbbi bitkiler almaktadır.

Araştırma alanından toplanan bitkilerin familyaları ve bu familyalara ait tür sayıları Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 4. Familya ve kullanılan tür sayıları

Şekil 4'te görüldüğü gibi yöre halkı tarafından en fazla Asteraceae (21), Rosaceae (14) ve Lamiaceae (11) familyalarının taksonlarını kullandığı halde, diğerleri sütun grafiği içerisinde yer alan Adoxaceae, Anacardiaceae, Aracaceae, Asparagaceae, Caprifoliaceae, Caryophyllaceae, Convolvulaceae, Cupressaceae, Elaeagnaceae, Equisetaceae, Euphorbiaceae, Fagaceae, Guttiferae, Juglandaceae, Nitrariaceae, Onagraceae, Pinaceae, Portulacaceae, Rubiaceae, Santalaceae, Ulmaceae, Urticaceae, Vitaceae, Zygophyllaceae familyalarına ait sadece bir takson kullanılmaktadır (Şekil 4).

Eldes yöresinde gıda olarak faydalanılan bitkilerin, hem hazırlanış hem de kullanım şekli itibarıyla yurdumuzun diğer yörelerindeki bitkilerin hazırlanışı ve kullanışı ile genel olarak benzerlik göstermektedir. Bunun yanında etnobotanik özellikler, toplumların farklı coğrafi kesimlerde yaşamaları ve kültürlerinin değişiklik göstermesi sebebiyle farklılık göstermektedir. Ayrıca her kesimdeki kişilerin atalarından aldığı farklı bilgi birikimi sebebiyle de etnobotanik bilgilerde farklılık olması kaçınılmazdır. Bitkisel droglara ve bitkisel droglarla yapılan tedavilere karşı olan ilgi gün geçtikçe artmaktadır. Özellikle kırsal kesimlerde yaşayan halkın büyük bir kısmı ufak tefek hastalıklara karşı hazır ilaçları kullanmanın yerine daha ucuza maledilmesinden dolayı geleneksel ilaçları kullanmaktadırlar [20]. Çalışma alanında belirlenen bu bitkilerin, yöre insanları tarafından yukarıda sıraladığımız kullanım alanlarında sıkça kullandığı görülmüştür. Ayrıca yapmış olduğumuz çalışma sonucunda elde edilen bulgulardan *Spinacia oleaceae* (ıspanak)'nin çok fazla tüketilmesi durumunda böbrek taşı oluşumuna sebep olduğu, *Capsella bursa-pastoris* (cırcıca)'in ise fazla kullanımı böbrek hastalarına zararlı olduğu kaynak şahıs verilerinden kayıtlara geçilmiştir.

Ülkemizin bitki çeşitliliği bakımından oldukça zengin ve eşsiz olduğu yapılan araştırmalar ve gözlemler sonucunda ortaya konulmakla birlikte Türkiye florasında yaklaşık olarak 12.000 takson ve 3500 civarında endemik takson tespit edilmiştir [28]. Zengin bir bitki çeşitliliğine sahip olan bu coğrafyada eski dönemlerde de bitkilerin çeşitli alanlarda kullanımının yaygın olduğu görülmektedir. Biyolog Narin Sadıkoğlu hazırlamış olduğu yüksek lisans tezinde 1928 yılına kadar etnobotanik üzerine yapılan çalışmaların Osmanlı Türkçesi ile yazıldığını, 1928-1997 yılları arasında etnobotanik alanında 765 çalışmanın olduğunu bildirmiştir [22]. Günümüzde de bu çeşitlilik bitkilerin farklı alanlarda geliştirilerek kullanılmasını mümkün kılmaktadır. Bitkilerin tıbbi ve aromatik özelliklerinden faydalanılan alanlarda son zamanlarda ciddi bir artış görülmektedir. Terler Bulut ve arkadaşlarının yapmış olduğu çalışmada *Thymus* türlerinin toprak üstünde kalan kısımlarını demleme ve kaynatmayla, nezle, öksürük ve gribe karşı kullanıldığı, buna ilaveten soğutularak da ağızdaki yaralar için gargara yapılarak uygulandığı,

yağının ise baş ağrısı ve sinüzit tedavisinde kullanıldığı bildirilmiştir [29]. Ayrıca bitkilerin farklı alanlarda kullanımına ait çalışmalara bakacak olursak, yapılan bir çalışmada yalnızca kırsal bölgelerde değil, aynı zamanda şehir içerisinde de bitkilerin etnobotanik kullanımına sahip olduğu bitkilerle uygulama yapılan alanların görsel kalitesinin arttığını, estetik bakımdan peyzaj düzenlemelerinin yapılmasının mümkün olduğu görülmektedir [30].

Araştırmamızı son yıllarda yapılan bazı etnobotanik araştırmalarda kullanılan bitkilerle kıyaslayacak olursak şöyle bir tablo ile karşılaşıyoruz (Ek A). Bu tabloda (✓) tik =onay işareti ile gösterilen bitkiler araştırmamızda ve o yörede kullanılan bitkilerdir. (×) çarpı işareti ile gösterilen bitkiler ise o bölgede kullanılmayan bitki taksonlarını ifade etmektedir.

Araştırmamızı 10 adet etnobotanik araştırma ile kıyasladığımızda, bu araştırmaları tablomuzda isimleri çok uzun olduğu ve fazla yer kapladığı için birer harf vererek tablomuza yerleştirdik. Bu araştırmalar sırasıyla şöyledir;

- A. Eldes Köyü (Ilgın/Konya) ve Çevresinin Etnobotanik Özellikleri (2020).
- B. An Ethnobotanical Field Survey in the Kadınhanı District of Konya in Turkey (2022) [13].
- C. Sarıveliler (Karaman) ve Çevresinde Yetişen Bitkilerin Etnobotanik Özellikleri (2011)[31].
- D. Güzeloluk Köyü ve Çevresinin (Erdemli / Mersin) Etnobotanik Özellikleri (2009) [8].
- E. Aydınlar Köyü ve Çevresinin (erdemli / mersin) Etnobotanik Özellikleri (2008) [6].
- F. Pozantı (Adana) ve Çevresindeki Bazı Bitkilerin Yerel Adları ve Etnobotanik Özellikleri (2006) [5].
- G. Denizli ilinin bazı ilçelerinin etnobotanik özellikleri üzerine bir araştırma (2005)[3].
- H. Çatalca Yöresinde Etnobotanik Bir Araştırma (2003) [33].
- I. Yahyalı (Kayseri) ve Tarsus (Mersin)'dan Etnobotanik Bir Araştırma (2013) [34].
- İ. Nevşehir' in Güney İlçelerinde (Acıgöl, Derinkuyu, Gülşehir, Nevşehir Merkez, Ürgüp) Etnobotanik Araştırmalar (2014) [35].
- J. Denizli İlinin Bazı İlçelerinin Etnobotanik Özellikleri Üzerine Bir Araştırma (2019) [3].

Yapılan bu çalışma ile bitkilerin etnobotanik özelliklerinin belirlenmesi sayesinde daha sonra yapılacak olan çeşitli etnobotanik çalışmalara ışık tutacağı ve bilimsel araştırmalara katkıda bulunacağı düşünülmektedir.

Teşekkür

Bu çalışma yüksek lisans tezinden üretilmiştir. Bölgenin etnobotanik yönden araştırılması sırasında, alandan toplanan bitkilerin; yerel adlarının, kullanım alanlarının, kullanım amaçlarının belirlenmesinde bize yardımcı olan yöre halkına teşekkür ederiz.

Etik Beyanı

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

Kaynakça

- [1] Abay, G., Kılıç, A., 2001. Pürenbeleni ve Yanıktepe (Mersin) yörelerindeki bazı bitkilerin yöresel adları ve etnobotanik özellikleri, *Ot Sistematik Botanik Dergisi*, 8 (2), 97-104.
- [2] Akçiçek, E., Vural, M., 2003. Kumalar Dağı (Afyon) ve çevresindeki bazı bitkilerin yöresel adları ve etnobotanik özellikleri, *Ot Sistematik Botanik Dergisi*, 10 (2), 151-162.
- [3] Akkavak Zurnacı, Y., 2019. Denizli ilinin bazı ilçelerinin etnobotanik özellikleri üzerine bir araştırma, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 215 s, Denizli.
- [4] Bağcı, Y., 2016. Sarıveliler (Karaman) ve çevresinde yetişen bitkilerin etnobotanik özellikleri, *Selçuk Üniversitesi Fen Fakültesi Fen Dergisi*, 42 (1), 84-107.
- [5] Bağcı, Y., Savran, A., Dural, H. 2006. Pozantı (Adana) ve çevresindeki bazı bitkilerin yerel adları ve etnobotanik özellikleri, *Selçuk Üniversitesi Fen Fakültesi Fen Dergisi*, 2 (27), 77-82.
- [6] Eşen, B., 2008. Aydınlar Köyü ve çevresinin (Erdemli/Mersin) etnobotanik özellikleri, *Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, 113s, Konya.
- [7] Metin, A., 2009. Mut ve çevresinde (Mersin) yetişen bitkilerin etnobotanik özellikleri, *Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, 239s, Konya.
- [8] Saday, H., 2009. Güzeloluk Köyü ve Çevresinin (Erdemli/Mersin) etnobotanik özellikleri, *Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, 117 s, Konya.
- [9] Şenkardeşler, İ., Tuzlacı, E., 2014. Gündoğmuş (Antalya/Türkiye) yöresinden bazı etnobotanik bilgiler, *Clinical and Experimental Health Sciences*, 4 (2), 63-75.
- [10] Tugay, O., Ertuğrul, K., Yıldızıtugay, E., 2005. Başarakavak (Konya) Kasabası Etnobotanik Alan Araştırması 2004, *TÜBA Kültür Envanter Dergisi*, 4, 245-256.
- [11] Tulukcu, E., Sağdıç, O., 2011. Konya'da aktarlarda satılan tıbbi bitkiler ve kullanılan kısımları, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi*, 27 (4), 304-308.
- [12] Tugay, O., Bağcı, İ., Ulukuş, D., Özer, E., Canbulat, M.A., 2012. Kurucuova (Beyşehir, Konya/Türkiye) Kasabası'nda gıda olarak kullanılan doğal bitkiler. *Biological Diversity and Conservation* 5/3, 140-145.
- [13] Bağcı, Y., Keskin, L., 2022. An Ethnobotanical Field Survey in the Kadınhanı District of Konya in Turkey, *KSÜ Tarım ve Doğa Derg.* 25 (2): 312-336.
- [14] Arslan, N., 2016. Pencereinden: Tıbbi ve Aromatik Bitkiler, *Türkiye Tohumcular Birliği Dergisi*, Sayı 17, Sayfa: 66-69.
- [15] Baytop, T., 1999. Türkiye'de Bitkiler ile Tedavi, Geçmişte ve Bugün, *Nobel Tıp Kitabevleri, İlaveli İkinci Baskı, İstanbul*, 480 s.
- [16] Davis, P.H., 1965-1985. *Flora of Turkey and The East Aegean Islands*. Edinburgh Üniv. Pres. 1-9 v., Edinburgh.
- [17] Faydaloğlu, E., Sürücüoğlu, M.S., 2011. Geçmişten günümüze tıbbi ve aromatik bitkilerin kullanılması ve ekonomik önemi, *Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 11 (1), 52-67.
- [18] Kıncal, S., Ceylan, O., Görk, G., 2021. Ula (Muğla) ilçesinin etnobotanik özellikleri, *Biological Diversity and Conservation*, 14(1), 69-81.
- [19] Satıl, F., Aktaş, E., 2021. Toplum Ruh Sağlığı Merkezindeki Terapi Bahçelerinde Kullanılan Bitkiler Üzerine Etnobotanik Bir Çalışma, *Türk Doğa ve Fen Dergisi*, 10 (1), 182-189.
- [20] Savran, A., Bağcı, Y., Kargıoğlu, M., 2009. Gemerek (Sivas) ve çevresindeki bazı bitkilerin yerel adları ve etnobotanik özellikleri, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 8 (1), 313-321.
- [21] Yaman, S., Özdemir, Z., Şit, M., Özer, B., Çatal, O., 2018. Kekik Yağı Karvakrol'un İnsan Sağlığına Etkileri. 1st International Symposium on Innovative Approaches in Scientific Studies, 11-13 Nisan, Antalya, 391-392.
- [22] Sadıkoğlu, N., 1998. Cumhuriyet Dönemi Türk Etnobotanik Araştırmalar Arşivi, İstanbul Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Farmasötik Botanik Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 75s, İstanbul.
- [23] Bellikci Koyu, E., 2020. Türkiye'nin Etnobotanik Veri Tabanı, Ege Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 345s, İzmir.

- [24] Konya Meteoroloji Müdürlüğü, 2019. Konya ili ve Ilgın ilçesinin sıcaklık ve yağış verileri, Konya.
- [25] <https://eldesnet.tr.gg/eldestanitim.htm> (Erişim Tarihi: 31.07.2023).
- [26] www.ilgin.gov.tr/coğrafi-yapisi; <http://cografya.harita.com> (Erişim Tarihi: 26.04.2022).
- [27] <https://www.nufusune.com/195911-konya-ilgin-eldes-mahallesi-nufusu> (Erişim tarihi: 31.07.2023).
- [28] Güner, A., Aslan, S., Ekim, T., Vural, M., Babac, T., (edlr.), (2012). Türkiye Bitkileri Listesi (Damarlı Bitkiler). Nezahat Gökyiğit Botanik Bahçesi ve flora Araştırmaları Derneği Yayını, İstanbul.
- [29] Terler Bulut, A., Özek, G., Küçük, S., 2023. Thymus sibthorpii Benth. Üzerine morfo-anatomik, uçucu yağ bileşenleri ve etnobotanik araştırmalar, Biological Diversity and Consevation, 16/1, 38-50.
- [30] Yener, D., İnal, Ö., 2022. Kent Peyzajına Ekolojik Bir Yaklaşım - Etnobotanik Kullanıma Sahip Bitkiler: Marmara Bölgesi Örneği, Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 13(1), 93-104.
- [31] Erdoğan, R., 2011. Sarıveliler (Karaman) ve çevresinde yetişen bitkilerin etnobotanik özellikleri, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 139s, Konya.
- [32] Koçyiğit, M., 2005. Yalova ilinde etnobotanik bir araştırma, İstanbul Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 176s, İstanbul.
- [33] Ecevit Genç, G., 2003. Çatalca yöresinde etnobotanik bir araştırma, İstanbul Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Farmasötik Botanik Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 152s, İstanbul.
- [34] Sağıroğlu, M., Topuz, T., Ceylan, K. ve Turna, M., 2013. An Ethnobotanical Survey from Yahyalı (Kayseri) and Tarsus (Mersin), SAÜ Fen Edebiyat Dergisi, 2, 13-37.
- [35] Şenkardeş, İ., 2014. Nevşehir'in Güney İlçelerinde (Acıgöl, Derinkuyu, Gülşehir, Nevşehir-Merkez, Ürgüp) Etnobotanik Araştırmalar, Marmara Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 459s, İstanbul.
- [36] <https://www.konyapedia.com/makale/2611/ilgin> (Erişim tarihi: 10.08.2023)

Ekler

Ek A. Araştırmamızın son yıllarda yapılan etnobotanik araştırmalarla bitki taksonlarının karşılaştırılması

| Bitkinin Bilimsel Adı | Yerel Adı | A | B | C | D | E | F | G | H | I | İ | J |
|---|------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| <i>Sambucus ebulus</i> L. | İt üzümü, Mürver | ✓ | x | x | x | x | x | x | ✓ | x | x | x |
| <i>Beta vulgaris</i> L. var. <i>altissima</i> Döll | Şeker pancarı | ✓ | x | x | x | x | x | ✓ | x | x | x | ✓ |
| <i>Chenopodium album</i> L. subsp. <i>iranicum</i> Aellen | Sirken | ✓ | ✓ | x | ✓ | ✓ | x | ✓ | x | x | ✓ | ✓ |
| <i>Spinacia oleracea</i> L. | Ispanak | ✓ | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x |
| <i>Allium atroviolaceum</i> Boiss. | Yabani mor soğan | ✓ | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x |
| <i>Allium cepa</i> L. | Soğan | ✓ | x | x | x | x | x | ✓ | x | ✓ | ✓ | ✓ |
| <i>Allium moschatum</i> L. | Yılan sarmısağı | ✓ | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x |
| <i>Allium porrum</i> L. | Pırasa | ✓ | x | x | x | ✓ | x | ✓ | x | x | x | ✓ |
| <i>Allium sativum</i> L. | Sarımsak | ✓ | x | ✓ | x | ✓ | ✓ | ✓ | x | ✓ | ✓ | ✓ |
| <i>Rhus coriaria</i> L. | Sumak | ✓ | ✓ | ✓ | x | x | x | ✓ | x | ✓ | x | ✓ |
| <i>Anethum graveolens</i> L. | Dereotu | ✓ | ✓ | ✓ | x | x | x | ✓ | x | ✓ | x | ✓ |
| <i>Daucus carota</i> L. | Havuç | ✓ | x | x | x | x | x | x | x | ✓ | x | x |
| <i>Eryngium campestre</i> L. var. <i>virens</i> Link | Diken | ✓ | ✓ | x | x | x | x | x | ✓ | x | ✓ | x |
| <i>Petroselinum crispum</i> (Mill.) A.W.Hill. | Maydanoz | ✓ | ✓ | x | x | ✓ | ✓ | ✓ | x | ✓ | ✓ | ✓ |

| Bitkinin Bilimsel Adı | Yerel Adı | A | B | C | D | E | F | G | H | I | İ | J |
|--|---------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| <i>Scandix australis</i> L. subsp. <i>grandiflora</i> (L.) Thell. | Leylek gagası, İğnelik | ✓ | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x |
| <i>Arum orientale</i> M.Bieb. | Yılan bıçağı | ✓ | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x |
| <i>Muscari armeniacum</i> Leichtlin ex Baker | Dağ sümbülü, Arap sümbülü | ✓ | x | x | ✓ | ✓ | x | x | x | x | x | x |
| <i>Anchusa azurea</i> L. var. <i>azurea</i> Mill. | Emzik otu | ✓ | x | ✓ | x | x | x | ✓ | x | x | x | ✓ |
| <i>Echium italicum</i> L. | İt kuyruğu | ✓ | ✓ | x | x | x | x | x | x | x | ✓ | x |
| <i>Brassica oleracea</i> L. var. <i>botrytis</i> (L.) Alef. | Karnabahar | ✓ | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x |
| <i>Brassica oleracea</i> L. | Lahana, ilana | ✓ | ✓ | x | x | ✓ | ✓ | x | x | x | x | x |
| <i>Capsella bursa-pastoris</i> (L.) Medik. | Çirciciva | ✓ | ✓ | x | x | x | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| <i>Descurainia sophia</i> (L.) Webb & Prantl | Süpürge otu | ✓ | ✓ | x | x | x | x | x | x | x | x | x |
| <i>Eruca vesicaria</i> (L.) Cav. | Roka | ✓ | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x |
| <i>Lepidium sativum</i> L. subsp. <i>sativum</i> | Bahçe teresi | ✓ | ✓ | x | x | x | x | x | x | x | x | x |
| <i>Nasturtium officinale</i> R.Br. | Su teresi | ✓ | x | x | x | x | x | ✓ | x | x | x | ✓ |
| <i>Sinapis arvensis</i> L. | Hardal | ✓ | ✓ | x | x | ✓ | x | ✓ | ✓ | x | ✓ | ✓ |
| <i>Dipsacus laciniatus</i> L. | Çingen çalısı | ✓ | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x |
| <i>Dianthus recognitus</i> Schischk. | Dağ karanfili | ✓ | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x |
| <i>Achillea millefolium</i> L. subsp. <i>pannonica</i> (Scheele) Hayek | Beyaz arı otu | ✓ | ✓ | x | x | x | ✓ | x | x | x | x | x |
| <i>Achillea wilhelmsii</i> (K.Koch.) Greuter | Sarı arı otu | ✓ | ✓ | x | x | x | x | x | x | ✓ | ✓ | x |
| <i>Arctium minus</i> (Hill) Bernh. | Domuz bıtırağı | ✓ | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x |
| <i>Bellis perennis</i> L. | Papatya | ✓ | x | x | x | x | x | x | x | ✓ | x | x |
| <i>Cardopatum corymbosum</i> (L.) Pers. | Mavi diken | ✓ | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x |
| <i>Centaurea consanguinea</i> DC. | - | ✓ | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x |
| <i>Cyanus depressus</i> (M.Bieb.) Soják | - | ✓ | ✓ | x | x | x | x | x | x | x | ✓ | x |
| <i>Centaurea solstitialis</i> L. subsp. <i>solstitialis</i> | Sarı diken | ✓ | ✓ | x | x | x | x | ✓ | ✓ | x | ✓ | ✓ |
| <i>Centaurea urvillei</i> DC. subsp. <i>stepposa</i> Wagenitz | Çoban çökerten | ✓ | x | x | ✓ | ✓ | x | x | x | x | x | x |
| <i>Cichorium intybus</i> L. | Güneyik, hindiba | ✓ | ✓ | x | x | x | x | x | x | x | ✓ | x |
| <i>Echinops ritro</i> L. | Kenger | ✓ | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x |
| <i>Helianthus annuus</i> L. | Günaşık, Çitlek | ✓ | x | x | x | x | x | x | x | ✓ | x | x |
| <i>Helianthus tuberosus</i> L. | Yer elması | ✓ | x | x | x | x | x | ✓ | x | x | ✓ | ✓ |
| <i>Inula britannica</i> L. | Sarı papatya | ✓ | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x |
| <i>Lactuca sativa</i> L. | Bahçe marulu | ✓ | x | x | x | ✓ | x | x | x | x | x | x |
| <i>Lactuca serriola</i> L. | Acı marul | ✓ | ✓ | x | ✓ | ✓ | x | ✓ | x | x | ✓ | ✓ |

| Bitkinin Bilimsel Adı | Yerel Adı | A | B | C | D | E | F | G | H | I | İ | J |
|---|--------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| <i>Scorzonera cana</i> (C.A.Mey.) Griseb. var. <i>cana</i> | Dede sakalı | ✓ | ✓ | ✓ | x | x | x | ✓ | x | x | x | ✓ |
| <i>Taraxacum officinale</i> F.H.Wigg. | Güneyik | ✓ | ✓ | x | x | x | ✓ | x | x | x | x | x |
| <i>Tragopogon buphthalmoides</i> (DC.) Boiss. var. <i>buphthalmoides</i> | Yemlik | ✓ | ✓ | x | x | x | x | x | x | x | x | x |
| <i>Tripleurospermum callosum</i> (Boiss. & Heldr.) E.Hossain | Papatya | ✓ | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x |
| <i>Xanthium strumarium</i> L. subsp. <i>strumarium</i> | Pıtırac | ✓ | x | x | x | x | x | x | x | ✓ | x | x |
| <i>Xeranthemum annuum</i> L. | Güvercin gözü süpürgesi | ✓ | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x |
| <i>Convolvulus arvensis</i> L. | Beyaz sarmaşık | ✓ | ✓ | x | x | x | x | ✓ | x | x | ✓ | ✓ |
| <i>Cucumis melo</i> L. | Kelek, Kavun | ✓ | x | x | x | x | x | ✓ | x | x | x | ✓ |
| <i>Cucumis melo</i> L. var. <i>flexuosus</i> (L.) Naudin | Acur | ✓ | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x |
| <i>Cucurbita moschata</i> Duchesne | Kışlık kabak | ✓ | x | x | x | x | x | ✓ | x | x | x | ✓ |
| <i>Cucurbita pepo</i> L. | Yazlık kabak | ✓ | x | x | x | ✓ | x | ✓ | x | ✓ | ✓ | ✓ |
| <i>Ecballium elaterium</i> (L.) A.Rich | Acı kavun, İt keleş | ✓ | x | ✓ | x | ✓ | x | ✓ | ✓ | ✓ | x | ✓ |
| <i>Juniperus oxycedrus</i> L. subsp. <i>oxycedrus</i> | Diken ardıç | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | x | ✓ | ✓ | x | ✓ | ✓ |
| <i>Elaeagnus angustifolia</i> L. | İğde | ✓ | ✓ | x | x | x | ✓ | x | ✓ | ✓ | ✓ | x |
| <i>Equisetum arvense</i> L. | Ulama, Kırkkilit | ✓ | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x |
| <i>Euphorbia stricta</i> L. | Sütleş | ✓ | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x |
| <i>Quercus pubescens</i> Willd. | Pelit, Meşe | ✓ | ✓ | x | x | x | x | x | x | x | ✓ | x |
| <i>Geranium pyrenaicum</i> Burm.f. | İtır | ✓ | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x |
| <i>Bromus tectorum</i> L. | - | ✓ | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x |
| <i>Phragmites australis</i> (Cav.) Trin. & Steud. | Kamış, Saz | ✓ | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x |
| <i>Triticum aestivum</i> L. | Buğday | ✓ | x | x | x | x | x | ✓ | x | ✓ | x | ✓ |
| <i>Zea mays</i> L. subsp. <i>mays</i> | Mısır, Mekke | ✓ | ✓ | ✓ | x | ✓ | ✓ | ✓ | x | ✓ | x | ✓ |
| <i>Hypericum perforatum</i> L. subsp. <i>perforatum</i> | Sarı kantaron | ✓ | x | ✓ | x | x | x | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| <i>Juglans regia</i> L. | Ceviz | ✓ | ✓ | ✓ | x | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| <i>Ajuga chamaepitys</i> (L.) Schreb. subsp. <i>chia</i> (Screb.) Arcang. | Yer çamı | ✓ | ✓ | x | x | ✓ | x | x | x | x | x | x |
| <i>Ballota nigra</i> L. subsp. <i>anatolica</i> P.H.Davis | Yalancı ısırgan | ✓ | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x |
| <i>Marrubium parviflorum</i> Fisch. & Mey. subsp. <i>parviflorum</i> | Çay otu | ✓ | x | x | x | x | x | x | x | x | ✓ | x |
| <i>Mentha aquatica</i> L. | Nane | ✓ | x | x | x | x | ✓ | x | x | x | x | x |
| <i>Mentha longifolia</i> (L.) L. subsp. <i>typhoides</i> (Brig.) Harley | Su nanesi | ✓ | x | x | x | x | x | x | x | ✓ | ✓ | x |
| <i>Ocimum basilicum</i> L. | Feslihan, Reyhan, Fesleş | ✓ | x | x | x | ✓ | ✓ | ✓ | x | ✓ | x | ✓ |
| <i>Origanum sipyleum</i> L. | Dağ çayı | ✓ | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x |

| Bitkinin Bilimsel Adı | Yerel Adı | A | B | C | D | E | F | G | H | I | İ | J |
|--|--------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| <i>Phlomis nissolii</i> L. | Çalba | ✓ | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x |
| <i>Salvia adenocaulon</i> P.H.Davis | Adaçayı | ✓ | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x |
| <i>Salvia verticillata</i> subsp. <i>amasiaca</i> (Freyn ve Bornm.) Bornm. | Adaçayı | ✓ | ✓ | x | x | x | x | x | x | x | x | x |
| <i>Stachys cretica</i> L. subsp. <i>anatolica</i> Rech.f. | Çay otu | ✓ | ✓ | x | x | x | x | x | x | x | x | x |
| <i>Thymus sipyleus</i> Boiss. | Kekik | ✓ | x | ✓ | x | x | x | x | x | x | ✓ | x |
| <i>Cicer arietinum</i> L. | Nohut | ✓ | x | x | x | x | x | ✓ | x | x | x | ✓ |
| <i>Medicago sativa</i> L. | Mor yonca | ✓ | ✓ | x | ✓ | ✓ | x | x | x | x | x | x |
| <i>Melilotus officinalis</i> (L.) Desr. | Sarı yonca | ✓ | ✓ | x | x | x | x | x | x | x | x | x |
| <i>Onobrychis caput-galli</i> (L.) Lam. | Yonca | ✓ | x | x | x | x | x | ✓ | x | x | x | ✓ |
| <i>Phaseolus vulgaris</i> L. | Fasülye | ✓ | x | x | x | x | x | ✓ | x | x | x | ✓ |
| <i>Trifolium repens</i> L. var. <i>giganteum</i> Lag.-Foss. | Üç gül, Beyaz yonca | ✓ | ✓ | x | x | x | x | x | x | x | x | x |
| <i>Vicia canescens</i> Labill. | Yonca | ✓ | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x |
| <i>Abelmoschus esculentus</i> (L.) Moench | Bamya | ✓ | x | x | x | x | x | ✓ | x | x | x | ✓ |
| <i>Alcea biennis</i> Winterl | Gül hatmi, Fatmaana gülü | ✓ | ✓ | x | ✓ | ✓ | x | x | ✓ | ✓ | x | x |
| <i>Malva neglecta</i> Wallr. | Ebegümeci | ✓ | ✓ | ✓ | x | x | x | x | x | ✓ | ✓ | x |
| <i>Morus alba</i> L. | Beyaz dut | ✓ | ✓ | ✓ | x | ✓ | x | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| <i>Morus nigra</i> L. | Karadut | ✓ | x | x | x | ✓ | x | ✓ | ✓ | x | ✓ | ✓ |
| <i>Peganum harmala</i> L. | Üzerlik | ✓ | ✓ | x | x | x | x | ✓ | x | x | ✓ | ✓ |
| <i>Epilobium lanceolatum</i> Sebast. & Mauri | Çaydaki pembe çiçekli ot | ✓ | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x |
| <i>Fumaria officinalis</i> L. | Şahtere | ✓ | x | x | x | x | ✓ | x | x | x | x | x |
| <i>Papaver libanoticum</i> (Schott & Kotschy ex Boiss.) Kadereit subsp. <i>polychaetum</i> (Schott & Kotschy ex Boiss.) Kadereit | Gelincik | ✓ | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x |
| <i>Papaver somniferum</i> L. var. <i>somniferum</i> | Haşhaş | ✓ | x | x | x | x | x | ✓ | x | x | x | ✓ |
| <i>Pinus nigra</i> J.F.Arnold subsp. <i>pallasiana</i> (Lamb.) Holmboe | Çam | ✓ | ✓ | ✓ | x | x | x | x | x | x | x | x |
| <i>Globularia orientalis</i> L. | - | ✓ | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x |
| <i>Veronica anagalloides</i> Guss. | - | ✓ | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x |
| <i>Polygonum cognatum</i> Meissn. | Beçigula, Madımak | ✓ | ✓ | ✓ | x | x | ✓ | ✓ | x | x | ✓ | ✓ |
| <i>Rumex alpinus</i> L. | Ekşiot | ✓ | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x |
| <i>Rumex conglomeratus</i> Murray | Labada, İlibade | ✓ | x | x | x | x | x | x | x | ✓ | x | x |
| <i>Portulaca oleracea</i> L. | Semizotu | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | x | ✓ | x | x | ✓ | ✓ |
| <i>Anagallis arvensis</i> L. var. <i>caerulea</i> (L.) Gouan | - | ✓ | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x |

| Bitkinin Bilimsel Adı | Yerel Adı | A | B | C | D | E | F | G | H | I | İ | J |
|---|---------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| <i>Adonis flammea</i> Jacq. | Kan damlası | ✓ | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x |
| <i>Consolida orientalis</i> (J.Gay.)Schrödinger | - | ✓ | x | x | x | x | x | x | x | x | ✓ | x |
| <i>Consolida regalis</i> Gray | - | ✓ | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x |
| <i>Nigella sativa</i> L. | Çörekotu | ✓ | x | x | x | x | x | ✓ | x | x | x | ✓ |
| <i>Reseda lutea</i> L. var. <i>nutans</i> Boiss. | - | ✓ | x | x | x | x | x | x | x | ✓ | ✓ | x |
| <i>Cerasus avium</i> (L.) Moench | Vişne | ✓ | x | ✓ | x | x | x | ✓ | x | x | ✓ | ✓ |
| <i>Crataegus azarolus</i> L. var. <i>azarolus</i> | Kızılık, Dedeyemiş | ✓ | x | x | x | x | x | x | x | ✓ | ✓ | x |
| <i>Crataegus monogyna</i> Jacq. subsp. <i>azarella</i> (Gris.) Franco | Alıç | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | x | ✓ | ✓ | x | ✓ | ✓ |
| <i>Cydonia oblonga</i> Mill. | Ayva | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| <i>Fragaria vesca</i> L. | Çilek | ✓ | ✓ | x | x | x | x | ✓ | x | x | x | ✓ |
| <i>Malus pumila</i> Mill. | Elma | ✓ | x | ✓ | x | x | ✓ | ✓ | x | ✓ | ✓ | ✓ |
| <i>Armeniaca vulgaris</i> Lam. | Kayısı | ✓ | x | x | x | x | x | ✓ | x | ✓ | x | ✓ |
| <i>Cerasus avium</i> (L.) Moench | Kiraz | ✓ | x | x | x | x | x | ✓ | x | ✓ | x | ✓ |
| <i>Prunus divaricata</i> Ledeb. subsp. <i>divaricata</i> | Gövem erik | ✓ | x | x | x | x | x | ✓ | x | x | ✓ | ✓ |
| <i>Prunus domestica</i> L. | Erik | ✓ | x | x | x | ✓ | x | ✓ | x | x | x | ✓ |
| <i>Persicavulgaris</i> Mill. | Şeftali | ✓ | x | x | x | x | x | ✓ | x | ✓ | x | ✓ |
| <i>Rosa canina</i> L. | Kuşburnu | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | x | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| <i>Rosa semperflorens</i> W.M.Curtis | Gül | ✓ | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x |
| <i>Rubus sanctus</i> Schreb. | Böğürtlen | ✓ | x | x | x | x | x | x | ✓ | x | ✓ | x |
| <i>Galium verum</i> L. subsp. <i>glabrescens</i> Ehrend. | Dil kanatan | ✓ | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x |
| <i>Populus nigra</i> L. subsp. <i>nigra</i> | Karakavak | ✓ | ✓ | x | x | ✓ | x | ✓ | x | x | ✓ | ✓ |
| <i>Salix babylonica</i> L. | Salkım söğüt | ✓ | ✓ | x | x | x | x | x | x | x | x | x |
| <i>Viscum album</i> L. | Ökse otu, Gövelek | ✓ | ✓ | ✓ | x | x | x | ✓ | ✓ | x | ✓ | ✓ |
| <i>Capsicum annuum</i> L. | Biber | ✓ | x | x | x | x | x | ✓ | x | ✓ | x | ✓ |
| <i>Lycopersicon esculentum</i> Mill. | Domates, Gavete | ✓ | ✓ | x | x | x | x | x | x | x | x | x |
| <i>Solanum tuberosum</i> L. | Patates | ✓ | x | x | x | x | x | ✓ | x | ✓ | x | ✓ |
| <i>Ulmus glabra</i> Huds. | Karaağaç | ✓ | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x |
| <i>Urtica dioica</i> L. | Isırgan, Kanser otu | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | x | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| <i>Vitis vinifera</i> L. | Üzüm, Asma | ✓ | x | ✓ | x | ✓ | x | ✓ | x | ✓ | ✓ | ✓ |
| <i>Tribulus terrestris</i> L. | Çakır diken | ✓ | x | x | x | x | x | ✓ | x | x | ✓ | ✓ |

Kükürt Polimer Betonların Basınç Dayanımı ve Elastisite Modülü İlişkisinin Yönetmelikler Açısından Karşılaştırılması

Onur ÖZTÜRK¹, Adnan ÖNER², Murat KARADENİZ³

^{1,2} Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 41001, Kocaeli, Türkiye

³ Bayburt Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 69000, Bayburt, Türkiye

(Alınış/Received: 18.01.2023, Kabul/Accepted: 24.10.2023, Online Yayınlanma/ Published Online: 25.12.2023)

Anahtar Kelimeler

Kükürt,
Kükürt Polimer Beton,
Elastisite Modülü,
Basınç Dayanımı

Öz: Üstün mekanik ve durabilite özellikleri ile kükürt polimer betonlar (KPB) geleneksel Portland çimento betonlarına (PÇB) alternatif yapı malzemesi olarak son yıllarda ön plana çıkmıştır. Betonun önemli bir tasarım parametresi olan elastisite modülü ile ilgili araştırmaların KPB'ler açısından literatürde yetersiz olduğu ve standartlarda önerilen tahmin modellerinde halen göz önünde bulundurulmadığı görülmektedir. Bundan dolayı bu çalışma kapsamında, KPB'lerin basınç dayanımı-elastisite modülü ilişkisinin uluslararası standartlarca önerilmiş olan analitik modeller ve geleneksel PÇB'ler ile karşılaştırmalı olarak incelenmesi amaçlanmıştır. Deneysel çalışma sonucunda KPB'lerin elastisite modüllerinin, benzer basınç dayanımı değerlerine sahip PÇB'lere göre daha düşük değerlerde kaldığı belirlenmiştir. PÇB'ler için standartlarda önerilmiş olan analitik modellerin KPB'lerin elastisite modülleri tahmininde ACI 363R-92 ve NS 3473 standartları haricinde yaklaşık değerler elde edilemediği görülmüştür. Deneysel çalışmadaki veriler kullanılarak bu çalışma kapsamında yeni bir analitik model önerilmiştir. Önerilen analitik model, yakın sonuç veren standartlardaki modeller ile istatistiksel olarak karşılaştırmalı incelenmiş ve önerilen modelin deneysel değerlere en yakın sonuçları verdiği belirlenmiştir.

Comparison of Design Guidelines for Relationship of Sulfur Polymer Concrete Compressive Strength and Modulus of Elasticity

Keywords

Sulfur,
Sulfur Polymer Concrete,
Modulus of Elasticity,
Compressive Strength

Abstract: Sulfur polymer concrete (SPC) with its superior mechanical and durability properties has come to the fore in recent years as an alternative construction material to traditional Portland cement concrete (PCC). It is seen that the studies on the modulus of elasticity, which is an important design parameter of concrete, are insufficient in the literature for SPC and are still not considered in the prediction models suggested in the standards. This study aims to examine the compressive strength-modulus of elasticity relationship of SPC comparatively with analytical models proposed by international standards and traditional PPC. As a result of the experimental study, it was determined that the modulus of elasticity of SPC remained at lower values than PCC with similar compressive strength values. It was observed that the analytical models proposed in the standards for PCC could not obtain approximate values for the estimation of the modulus of elasticity of SPC, except for the ACI 363R-92 and NS 3473 standards. A new analytical model was proposed using the experimental data within the scope of this study. The proposed analytical model was statistically compared with the models in the standards that gave close results, and it was determined that the proposed model gave the closest results to the experimental values.

1. Giriş

Geleneksel Portland çimento betonu, tüketimi dünya nüfusu ve gelirlerdeki artış devam ettikçe katlanarak artan ve dünyada en yaygın şekilde kullanılan insan yapımı yapı malzemesidir [1]. PÇB, içerisinde bağlayıcı olarak bulunan çimentonun imalatı sırasında açığa çıkan yüksek CO₂ emisyonu nedeniyle çevre dostu bir yapı malzemesi olarak görülmemektedir [2]. Çimento endüstrisi küresel ısınma emisyonlarının %82'sinden sorumludur [3]. Bunun yanı sıra çimento endüstrisi ürettiği yüksek miktarda toz ve üretim için tükettiği fosil yakıtlar nedeniyle birçok çevresel sorunu da beraberinde getirmektedir [4]. Yakın gelecekte PÇB tüketimi oranı azaltılmazsa, çimento sektörü küresel ısınma sorununun büyük bir parçası olmaya devam edecektir.

Çimento tüketiminin azaltılması için literatürde birçok yöntem önerilirken beton içinde kullanılan çimento miktarının azaltılması ve alternatif yapı malzemesi çalışmaları en yaygın olarak denenilen yöntemler olarak dikkat çekmektedir[5]. Kükürt her ne kadar genellikle tarım, ilaç ve kauçuk ürünlerin imalatında kullanılsa da son yıllarda inşaat mühendisliğinde su+çimento'ya alternatif bağlayıcı malzeme olarak tercih edilmesi, çimento üretiminde çevreye verilen zararların azaltılmasını sağlayan alternatif bir yapı malzemesi olmasını sağlamıştır. Kükürt petrol endüstrisinden yan ürün olarak elde edildiği için çimento gibi bir üretim prosesi gerektirmemektedir. Çimentoya alternatif bir yapı malzemesi olarak çimento üretiminin ve kullanımının azaltılmasını sağlayarak bu prosesin küresel ısınma üzerindeki olumsuz etkilerini azaltmaktadır.

Son yıllarda özellikle fosil yakıt kullanımındaki artış, petrol endüstrisinden yan ürün olarak elde edilen kükürtün rezervlerindeki artışı da beraberinde getirmiştir [6]. Bu artan kükürt rezervlerinin değerlendirilmesi amacıyla özellikle petrol üreticilerinin desteğiyle kükürte yeni kullanım alanlarının oluşturulması hedeflenmiştir. Kükürt, 1921 yılında ilk defa inşaat mühendisliği uygulamalarında bağlayıcı olarak kullanılması denenmiştir [7]. 1921-1960 yılları arasında devam eden çalışmaların amacı kükürtün PÇB'ye alternatif olarak inşaat uygulamalarında bağlayıcı olarak kullanılabilmesinin gösterilmesiydi. Bağlayıcı olarak saf kükürtün kullanıldığı betonlarda kükürtün soğuması ile betonun içyapısında gerçekleşen faz dönüşümü sonucunda kısa sürede parçalanma ve göçmelerin meydana geldiği belirlenmiştir[8]. Dayanım ve dayanıklılık kaybına yol açan bu faz dönüşümünün engellenmesi amacıyla kimyasal veya fiziksel olarak kükürt kristalizasyonu kontrol edilerek saf kükürtün modifiye edilmesi gerekliliği anlaşılmıştır [9]. Kükürt modifikasyonunda kristalizasyonun kimyasal olarak kontrol edilmesinde disiklopentadien (DCPD) ve DCPD, siklopentadien ve dipenten kombinasyonları yaygın olarak kullanılırken

fiziksel kontrolde ise olefin hidrokarbon polimerleri ve uçucu kül gibi fiziksel stabilizatör kullanılmaktadır. Bu yöntemde en yaygın olarak kullanılan olefin hidrokarbon polimerleri ise escopol ve bitüm olarak özetlenebilmektedir [10]. Genel olarak, saf kükürdü modifiye etmek için kimyasal katkı maddeleri eklenir, bunların neredeyse tamamı polimerik polisülfid başlığı altına girer veya alternatif olarak, karışım anında polimerik polisülfid oluşumu sağlamak için saf kükürt ile reaksiyona girebilen maddelerdir. Bu nedenle belirtilen kimyasal katkılar ile reaksiyona giren saf kükürt polimerize kükürt (kükürt polimer) veya modifiye kükürt olarak tanımlanmaktadır. Saf kükürtün soğuma sırasında meydana gelen hacimsel değişikliklerin azaltılması ve durabilite özelliklerinin iyileştirilmesi için kimyasal katkı ile modifiye edilen kükürt betonlar da "kükürt polimer beton" (KPB) olarak isimlendirilmektedir.

Deneysel çalışmalar modifiye edilmiş kükürt kullanılarak hazırlanan KPB'lerin; hızlı priz alma, 1 saat içinde hedef basınç dayanımının %78'ine ulaşma, korozif ortamlarda yüksek dirence sahip olma, düşük geçirimsizlik özelliği ve geri dönüşüm gibi PÇB'lere oranla birçok avantaja sahip olduğunu göstermiştir [2,11]. Aynı zamanda KPB, hızlı priz alma ve mukavemet kazanma özelliği dikkate alınarak 3D yazıcı teknolojilerinde de kullanım alanı bulmuştur [12]. KPB'lerin yüksek aşınma dirençleri nedeniyle beton kaplama blokları olarak kullanılabilirliği konusunda da deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir [13]. Ayrıca literatürde uçucu kül ve geri dönüştürülmüş agrega, elektrolitik mangan kalıntısı, atık ilmenit çamuru gibi atık maddelerin değerlendirilmesine yönelik deneysel çalışmalar da bulunmaktadır [14,15,16].

KPB'ler göstermiş oldukları üstün dayanım ve durabilite özellikleri nedeniyle son yıllarda gerçekleştirilen birçok deneysel çalışmaya konu olmuştur. Yapı malzemesi olarak kullanılmasının yanı sıra aynı zamanda zemin iyileştirme yöntemlerinde çimentonun yerini alarak geoteknik alanında kendisine kullanım alanı bulmuştur [17,18]. İnşaat mühendisliğinde alternatif yapı malzemesi olarak görülen kükürt bağlayıcılar ile hazırlanan betonların, önemli bir tasarım parametresi olmasına rağmen elastisite modüllerinin belirlenmesi ile ilgili literatürde detaylı bir çalışma yer almamaktadır. Beton, betonarme ve öngerilmeli yapıların deformasyon hesaplarında kullanılmasından dolayı betonların elastisite modüllerinin tayin edilmesi büyük önem taşır. PÇB'lerin elastisite modülü ile basınç dayanımı arasındaki ilişki bilinmektedir ve bu konu ile ilgili birçok analitik model literatürde önerilmiştir [19]. Bu analitik modeller aynı zamanda çeşitli uluslararası standartlarda da yer almıştır ve malzemenin tahrip edilmeden yaklaşık olarak elastisite modülünün bulunmasını sağlamaktadırlar. Deneysel çalışmalar göz önünde bulundurularak analitik olarak elde edilmiş olan tüm bu standartlarda

yer alan modeller geleneksel PÇB'lere ait veriler kullanılarak hazırlanmıştır ve kükürt bağlayıcı betonlar yaygın kullanım alanı bulmasına ve akademik yönden çok sayıda araştırmaya konu olmasına rağmen halen tasarım standartlarının içinde kendilerine yer bulamamıştır. Kükürt betonların analitik olarak hesaplanan elastisite modülü tahmin modeli ile ilgili literatürde yer alan çalışmaların yetersiz olduğu görülmektedir.

Son yıllarda inşaat mühendisliği uygulamalarında yaygın olarak kullanılması, önemli bir tasarım parametresi olan elastisite modülü basınç dayanımı ilişkisi ile ilgili konularda literatürde eksiklikler olması ve standartlarda verilmiş olan elastisitemodülü tahmin modellerinde kükürt bağlayıcı betonların göz önüne alınmamış olması nedeniyle bu deneysel çalışma gerçekleştirilmiştir. Hazırlanmış olan KPB'lerin basınç dayanımı-elastisite modülü ilişkileri değerlendirilmiş ve benzer basınç dayanımı değerine sahip PÇB'ler ile karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Elde edilen elastisite modülü değerleri kullanılarak ve literatürde yer alan analitik modeller de göz önünde bulundurularak çalışma kapsamında yeni bir tahmin modeli önerilmiştir. Önerilen bu model uluslararası standartlarda önerilmiş olan modeller ile karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Bu çalışma sonunda elde edilen analitik modelin sadece PÇB'lerin değil aynı zamanda KPB'lerin de elastisite modülü değerlerinin tahribatsız olarak analitik yöntemler ile tahmin edilebilmesi imkânını sağlaması amaçlanmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Kullanılan malzemeler

Bu çalışmada Tüpraş-İzmit rafinerisinde petrol işleme yöntemi olan Claus prosesi sonucunda açığa çıkan saf kükürt ve aynı rafineriden temin edilen özgül ağırlığı 1.034 g/cm³, viskozitesi 416 cSt olan 50/70 penetasyonlu bitüm kullanılmıştır. İri taneli olarak temin edilen kükürtün saflığı %99.8'dir. Kükürde ait fiziksel ve kimyasal özellikler Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Kükürtün fiziksel ve kimyasal özellikleri

| Özellik | Birim | Değer | Test Metodu |
|----------------------------|-------|------------------------|----------------------|
| Görünüm | | Katı parçacıklı | Gözle muayene |
| Koku | | Kokusuz | |
| Erime/Donma Noktası | °C | 119 | ASTM D-97 |
| Kaynama Noktası Başlangıcı | °C | 445 | ASTM D-86 |
| Bağıl Yoğunluk (15°C'de) | kg/L | 2.1 | ASTM D1298 |
| Alev Alma Sıcaklığı | °C | 206 | ASTM D-93 |

Geleneksel Portland çimentosu betonlarında bağlayıcı olarak CEM I 42.5 tip çimento kullanılmıştır. Filler

olarak Çatalağzı Termik Santralinden temin edilmiş olan F sınıfı uçucu kül kullanılmıştır. Uçucu kül ve çimentonun kimyasal bileşimi Tablo 2'de, mekanik ve fiziksel özellikleri ise Tablo 3'te özetlenmiştir.

Tablo 2. Çimento ve uçucu külün kimyasal bileşimi

| | Çimento | Uçucu Kül |
|--------------------------------|---------|-----------|
| SiO ₂ | 22.10 | 57.32 |
| Al ₂ O ₃ | 4.37 | 25.21 |
| Fe ₂ O ₃ | 3.30 | 6.86 |
| CaO | 65.63 | 1.47 |
| MgO | 1.20 | 1.86 |
| SO ₃ | 2.62 | 0.47 |
| Na ₂ O | 0.28 | 0.41 |
| K ₂ O | 0.46 | 4.08 |
| Cl ⁻ | 0.048 | 0.01 |
| KK* | 2.64 | 1.19 |
| ÇK** | 0.68 | - |

*KK: Kızdırma Kaybı
**ÇK: Çözünmeyen Kalıntı

Tablo 3. Çimento ve uçucu külün mekanik ve fiziksel özellikler

| Fiziksel Özellikler | | |
|------------------------------------|---------|-----------|
| Özellikler | Çimento | Uçucu Kül |
| Özgül Ağırlık (g/cm ³) | 3.14 | 2.29 |
| Özgül Yüzey (cm ² /g) | 3420 | 2765 |
| Hacim Sabitliği (mm) | 1.05 | 1.00 |
| Priz Başlangıcı (dak.) | 179 | - |
| Priz Sonu (dak.) | 200 | - |
| Mekanik Özellikler | | |
| Basınç Day. (MPa)(7 gün) | 47.5 | - |
| Basınç Day. (MPa)(28gün) | 58.1 | - |

Deneysel çalışma kapsamında hazırlanan hem KPB hem de PÇB'lerde aynı tip agrega kullanılmıştır. Betonlarda özgül ağırlığı 2.68 g/cm³ ve incelik modülü 4.88 olan kırmataş ile özgül ağırlığı 2.60 g/cm³ ve incelik modülü 2.28 olan doğal kum kullanılmıştır.

2.2. Numunelerin hazırlanması

Kükürt polimer beton karışımlarında kullanmak için öncelikle saf kükürt kimyasal katkı olarak sadece bitüm kullanılarak modifiye edilmiştir. Literatürde açıklanmış olan yöntem uygun olarak saf kükürte ağırlıkça % 2.5 oranında bitüm katılarak minimum 20 dk boyunca sabit 135±5°C sıcaklıkta yüksek hızda karışım homojen hale gelene kadar karıştırma yapılmış ve sonra oda sıcaklığına gelene kadar soğutulmuştur [10,11,20]. Elde edilen modifiye kükürt (MK), beton karışımı sırasında erime süresinin çok değişken olmaması için belirli inceliğe gelene kadar öğütülmüştür. Çalışmada kullanılan MK Şekil 1'de gösterilmiştir.

MK hazırlanmasında ve kükürt bağlayıcı betonların dökümlerinde sıcaklık çok önemli bir faktördür. Bundan dolayı karışım süresince sıcaklık 135±5°C değerinde sabit tutulması için Şekil 2'de gösterilen sıcaklık kontrollü mekanik karıştırıcı kullanılmıştır.



Şekil 1. Öğütülmüş modifiye kükürt



Şekil 2. Sıcaklık kontrollü mekanik karıştırıcı

Ani priz ve soğuk derz oluşumunun engellenmesi amacıyla karışımlar hazırlanırken kullanılan agregalar, uçucu kül, tüm karıştırma ekipmanları ve kalıplar 135°C etüv içerisinde 2 saat süre ile ön ısıtmaya tabi tutulmuştur. Sıcaklık kontrollü mekanik karıştırıcı 135±5°C değerine sabitlendikten sonra saf kükürt karıştırıcıya konularak sıvı faza gelmesi sağlanmıştır. Saf kükürt tamamen eriyip sıvılaştıktan sonra içerisine etüvde bekletilmiş olan uçucu kül ilave edilerek 10 dakika düşük hızda, 10 dakika yüksek hızda olmak üzere toplam 20 dakika karıştırılarak karışımın homojen hale gelmesi sağlanmıştır. Uçucu kül ve saf kükürt arasındaki reaksiyonların tam olarak sağlandığından ve karışımın homojen hale geldiğinden emin olduktan sonra bu karışıma modifiye kükürt ilave edilmiştir. MK, beton karışımına ilave edildikten sonra 10 dk süre ile karıştırma işlemine devam edilmiştir. Daha sonra saf kükürt, modifiye kükürt ve uçucu külden oluşan karışımın içerisine etüvde bekletilmiş olan doğal kum ve kırmataş ilave edilerek karışımın homojen hale geldiğine emin olana kadar minimum 20 dakika süre ile karıştırılması sağlanmıştır. Beton karışımı etüvde ısıtılan 100x200 mm'lik silindir metal kalıplar içerisine

doldurulmuştur. Metal kalıplara yerleştirilen KPB karışımı, plastik tokmak ve sıcak demir çubuk yardımıyla şişlenerek yerleştirme işlemleri tamamlanmıştır. Yerleştirme işlemi tamamlandıktan sonra tüm numuneler 7-13°C/dk hızda oda sıcaklığında soğumaya bırakılmıştır. Dökümleri tamamlanmış ve kalıptan çıkarılmış olan silindir numune Şekil 3'te gösterilmiştir.



Şekil 3. KPB numunesi

Elastisite modülü üzerinde beton basınç dayanımı önemli bir faktördür, bu nedenle KPB ile PÇB deney sonuçlarının karşılaştırmalı olarak incelenebilmesi için her iki betonun basınç dayanımının benzer olması hedeflenmiştir. Deneysel çalışmada öncelikle KPB numuneleri hazırlanmış ve bu numunelerin ortalama basınç dayanımı PÇB'lerin hedef basınç dayanımı olarak seçilmiştir. PÇB'ler için birçok farklı w/c oranına ve dozaja sahip alternatif deneme dökümleri gerçekleştirilerek KPB basınç dayanımına en yakın değeri veren deneme karışımı bu çalışmada kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan malzemelerin 1 m³ için karışım miktarları Tablo 4'te ve KPB'lerin karışımında kullanılan malzemelerin ağırlıkça yüzdeleri ise Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 4. 1 m³ beton için gerçek karışım miktarları

| Malzeme | KPB | PÇB |
|---------------------------------|-------|--------|
| Saf Kükürt (kg/m ³) | 776.4 | - |
| MK (kg/m ³) | 24.0 | - |
| W/C | - | 0.50 |
| Çimento (kg/m ³) | - | 403.9 |
| Su (kg/m ³) | - | 201.9 |
| Doğal Kum (kg/m ³) | 343.1 | 680.2 |
| Kırmataş (kg/m ³) | 343.1 | 1051.7 |
| Uçucu Kül (kg/m ³) | 800.5 | - |
| Kimyasal katkı (%) | - | 1.3 |

Tablo 5. KPB ağırlıkça karışım yüzdesi

| | Bağlayıcı (%) | Uçucu Kül (%) | Agrega (%) | Doğal Kum | Kırmataş |
|------------|---------------|---------------|------------|-----------|----------|
| Saf Kükürt | | | | | |
| MK | | | | | |
| KPB | 33.95 | 1.05 | 35.00 | 15.00 | 15.00 |

Deneysel çalışma kapsamında 6' şar adet KPB ve PÇB numunesi olmak üzere toplamda 12 adet silindir numune hazırlanmıştır.

KPB'ler kalıptan çıkarıldıktan sonra laboratuvar ortamında kendi kendine soğumaya bırakılmış ve deney süresine kadar aynı ortamda kürlenmiştir. PÇB'ler ise kalıptan çıkarıldıktan sonra su havuzunda kürlenmiştir. PÇB numuneler deneylerden önce havuzdan çıkarılarak sabit ağırlığa gelinceye kadar laboratuvar ortamında bekletilmiş ve 28 gün sonunda tüm numuneler deneye tabi tutulmuştur.

2.3. Deney prosedürü

KPB ve PÇB'lerden hazırlanan 100 mm çaplı 200 mm yüksekliğindeki numuneler üzerinde statik elastisite modülü değerinin belirlenmesi amacıyla deneyler gerçekleştirilmiştir. Betonların şekil değiştirme davranışlarının belirlenmesi amacıyla, silindir numuneler üzerine şekil değiştirme ölçümlerinin alındığı, deplasman ölçerlerin bağlı olduğu bir kafes kullanılmıştır. Kafes üzerinde düşey deformasyonların okunması için 2 adet deplasman ölçer yerleştirilmiştir. Düşey yüklemelerin oluşturulduğu hidrolik pres içerisine yerleştirilen yük hücresi kullanılarak silindir numune üzerinde meydana gelen gerilme büyüklükleri belirlenmiştir. Bilgisayara bağlı olan 8 kanallı data toplama sistemi kullanılarak yük hücresinden gelen her yük verisine karşılık alınan düşey deplasman değerleri kaydedilmiştir. Şekil 4'te gösterilen deney düzeneğinden elde edilen veriler kullanılarak silindir numunelere ait gerilme-şekil değiştirme grafikleri çizilmiş ve bu grafikler kullanılarak elastisite modülü değerleri hesaplanmıştır. Deneyler ASTM C-469 standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir [21].



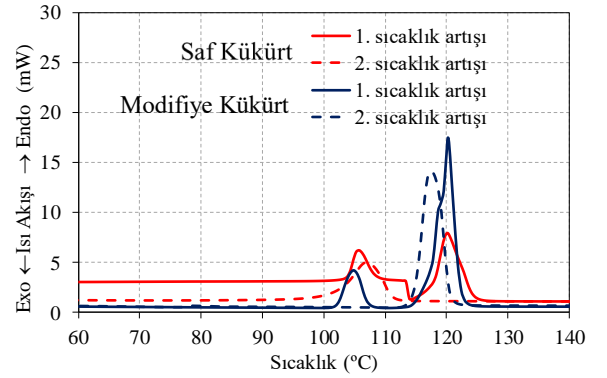
Şekil 4. Statik elastisite modülü deney düzeneği

3. Bulgular

3.1. MK deney sonuçları

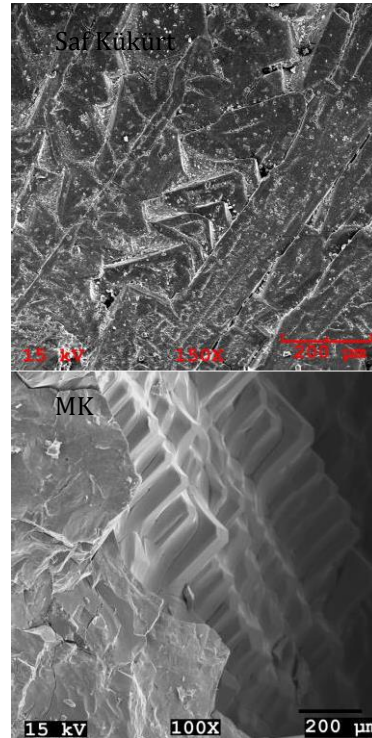
Saf kükürte bitüm ilave edilerek gerçekleştirilen modifikasyon uygulamasının gerçekleşip gerçekleşmediğinin belirlenmesi amacıyla saf kükürt ve MK numuneleri üzerinde karşılaştırmalı olarak DSC (Diferansiyel Taramalı Kalorimetri) ve SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu) analizleri gerçekleştirilmiştir. DSC analizinde, numuneler öncelikle oda sıcaklığından 150°C'ye kadar ısıtılmış (1. Sıcaklık artışı) daha sonra

bu sıcaklık seviyesinden oda sıcaklığına kadar soğutulmuştur. Daha sonra tekrar ısı yüklemesi uygulanarak (2. sıcaklık artışı) oda sıcaklığından 150°C'ye kadar ısıtılarak üç farklı sıcaklık rejimi uygulanmıştır. Tüm ısıl hareketlilik adımları 5°C/dk olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Saf ve modifiye kükürt numunelerine ait DSC diyagramları Şekil 5'te verilmiştir. Saf kükürt numunesinin DSC analizleri incelendiğinde, birinci sıcaklık artışından sonraki soğuma periyodunda S_{α} kristallerinin meydana geldiği gözlenirken, MK numunesinde ise S_{β} kristalleşmesinin meydana geldiği gözlenmiştir. Karışıma bitüm ilavesinin, kükürt kristalleşmesini baskıladığı ve kristallerin büyümesini engellediği için soğutma periyodunda S_{β} kristallerinin S_{α} kristallerine dönüşmesini engellediği belirlenmiştir.



Şekil 5. Saf kükürt ve MK'ya ait DSC diyagramları

Saf kükürt ve MK numunelerinden alınan SEM görüntüleri Şekil 6'da gösterilmiştir.



Şekil 6. Saf kükürt ve MK'ya ait SEM görüntüleri

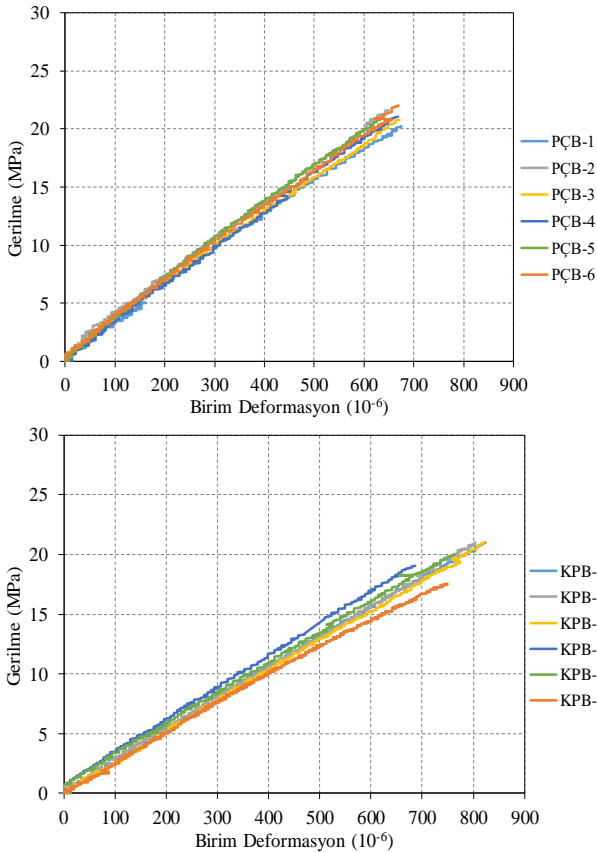
Saf kükürtün kristallenme sonrasında ortorombik

kükürt morfolojisine sahip geniş ve yoğun S_{α} kristal yapısında olduğu görülmüştür. Saf kükürt içerisine bitüm ilavesi ile birlikte kristal büyümesi bitüm tarafından sınırlandırılarak kontrol altına alınmaktadır. Bunun sonucu olarak, plakalı yapı görünümüne sahip monoklinik faza dönüşümünü engellenmektedir. Saf kükürde ait yoğun ve geniş ortorombik kristal yapının, bitüm ilavesi ile birlikte plakalı yapıya sahip monoklinik kristal formunda sabit kaldığı ve S_{β} - S_{α} dönüşümünün gerçekleşmediği belirlenmiştir.

DSC ve SEM analizlerinden elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde, MK monoklinik kristal formunda sabit kaldığı ve S_{β} - S_{α} dönüşümünün gerçekleşmediği anlaşılmaktadır. Saf kükürte %2.5 oranında bitüm ilave edilerek yapılan modifikasyonun başarılı olduğu belirlenmiştir.

3.2. Statik elastisite modülü deney sonuçları

KPB ve PÇB numunelerinden elde edilen gerilme-birim şekil değiştirme grafikleri Şekil 7'de verilmiştir.



Şekil 7. Gerilme-birim şekil değiştirme grafikleri

Statik elastisite modülü hesaplarında basınç dayanımının %40'ına karşılık gelen gerilme ve deformasyon değerleri kullanılarak elastisite modülü değeri belirlendiği için bu grafiklerde basınç dayanımının %40'ına kadar olan değişimler verilmiştir. Tüm deneyler PÇB'lerde 28 gün sonunda

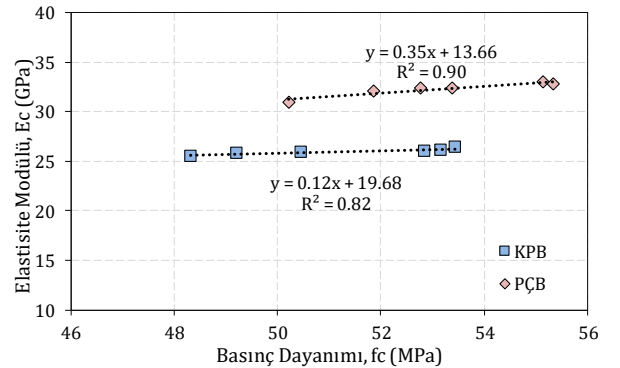
gerçekleştirilirken KPB'ler 28 günlük nihai basınç dayanımının %94'üne 7 gün sonunda ulaştığı bilindiğinden hem 7 hem de 28 günlük deney sonuçları kullanılmıştır [20].

Yakın basınç dayanımı değerlerine sahip olmasına karşın KPB'lerin PÇB'lere oranla daha gevrek davranış gösterdiği ve deneylerin ani kırılma ile sonlandığı gözlenmiştir. Benzer gerilme değerleri altında KPB numunelerinin birim deformasyon değerleri, PÇB numunelerinin birim deformasyon değerinden daha büyük seviyelerde kaldığı görülmüş ve deneylerden elde edilen bu sonuçların literatürde bulunan çalışmalar ile paralellik gösterdiği belirlenmiştir [14]. Ayrıca PÇB'lerin KPB'lerden daha yüksek rijitliğe sahip olduğu grafiklerden anlaşılmaktadır.

Deneylerden elde edilen sonuçlar Tablo 6'da özetlenmiştir. Basınç dayanımı değişiminin elastisite modülü üzerindeki etkisinin belirlenmesi için Şekil 8'deki grafik hazırlanmıştır. Geleneksel Portland çimento betonlarında elde edilen maksimum elastisite modülü değeri 33.04 GPa iken bu beton türünde elde edilen ortalama değer 32.29 GPa olarak bulunmuştur. Kükürt bağlayıcılı betonlarda ise maksimum ve ortalama elastisite modülü değerleri sırasıyla 26.4 ve 25.98 GPa olarak belirlenmiştir.

Tablo 6. Deney sonuçları

| | Basınç Dayanımı f_c (MPa) | Elastisite Modülü, E_c (MPa) |
|-------|--------------------------------|--------------------------------|
| KPB-1 | 52.84 | 26016 |
| KPB-2 | 53.15 | 26132 |
| KPB-3 | 53.44 | 26431 |
| KPB-4 | 50.46 | 25913 |
| KPB-5 | 49.20 | 25829 |
| KPB-6 | 48.32 | 25538 |
| PÇB-1 | 50.22 | 30987 |
| PÇB-2 | 52.77 | 32414 |
| PÇB-3 | 51.86 | 32080 |
| PÇB-4 | 53.38 | 32400 |
| PÇB-5 | 55.14 | 33044 |
| PÇB-6 | 55.33 | 32818 |



Şekil 8. Elastisite modülü-basınç dayanımı ilişkisi

Kükürt bağlayıcılı betonlarda, bağlayıcı olarak su ve çimento kullanılan geleneksel betonlarda görüldüğü

gibi, basınç dayanımındaki artışın elastisite modülünü modüllerinin, benzer basınç dayanımı değerlerine sahip PÇB'lere göre daha düşük olduğu belirlenmiştir.

3.3. Analitik modeller

Betonun heterojen yapıda olması göz önünde bulundurulduğunda elastisite modülü ile basınç dayanımı arasındaki ilişki kompleks olduğu açıkça görülmekte olmasına karşın beton basınç dayanımının elastisite modülü üzerindeki etkisi oldukça önemli bir parametre olarak görülmektedir. Basınç dayanımı artışının elastisite modülünün artmasına neden olduğu ancak bu artışın lineer olmadığı ve basınç dayanımı büyüklüğünün üstel bir fonksiyonu olarak değişim gösterdiği bilinmektedir [22]. Özellikle geleneksel Portland çimentosu betonları üzerinde gerçekleştirilmiş olan deneysel çalışmalar sonucunda basınç dayanımı-elastisite modülü ilişkisinin tanımlandığı birçok analitik model önerilmiştir [23].

Bu çalışma kapsamında 8 farklı uluslararası standartta tanımlanmış olan geleneksel Portland çimentosunun basınç dayanımına bağlı olarak elastisite modülü değerinin hesaplanmasını sağlayan analitik model incelenmiştir. Hem PÇB hem de KPB'lerin elastisite modülü tahmini için kullanılan bu analitik modeller Tablo 7'de verilmiştir. Bu modellerin PÇB'ler için önerildiği göz önünde bulundurulduğunda uluslararası standartlarda yer almayan KPB'lerin elastisite modülü tahmini için kullanılmalarının uygunluğu araştırılmıştır.

Tablo 7. Standartlarda önerilen analitik modeller [24,25,26,27,28,29,30,31]

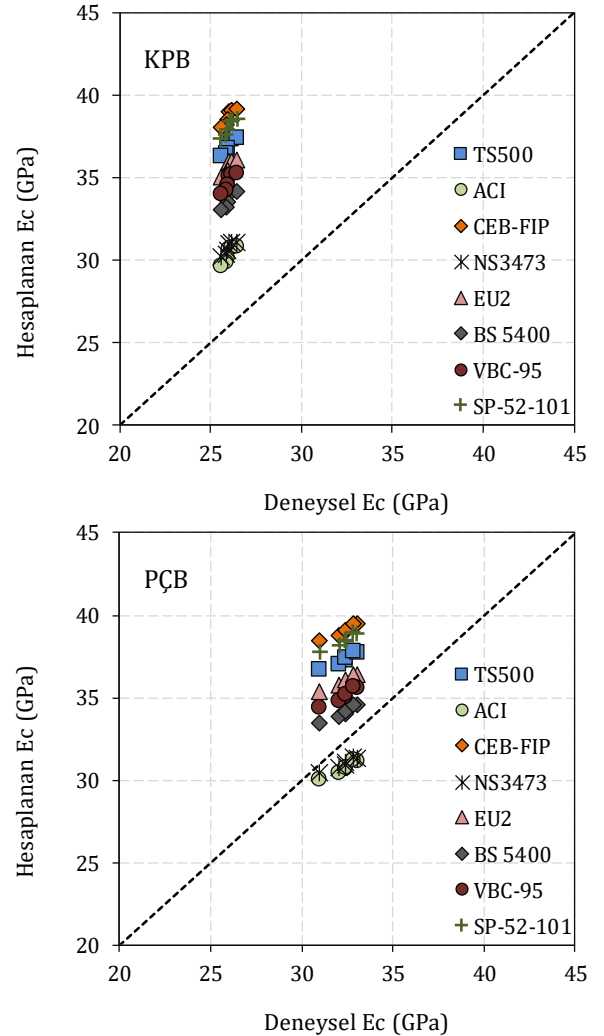
| Standart | Analitik Model (MPa) |
|------------------|---|
| TS 500 (2000) | $E_c = 3520 \sqrt{f_c} + 14000$ |
| ACI 363R-92 | $E_c = 3320 \sqrt{f_c} + 6890$ |
| CEB-FIP 1993 | $E_c = 10000 \sqrt[3]{f_c} + 8$ |
| NS 3473 | $E_c = 9500 (f_c)^{0.3}$ |
| EN 1992-1-1 | $E_c = 22000 \left(\frac{f_c}{10}\right)^{0.3}$ |
| BS 5400-4 (1990) | $E_c = 8647.5 (f_c)^{0.348}$ |
| VBC-95 | $E_c = 22250 + 250 (f_c)$ |
| SP 52-101 (2003) | $E_c = 11.652 \ln(f_c) - 7.4713$ |

Deneysel çalışmada kullanılan sıcaklık kontrollü karıştırıcı kapasitesi göz önünde bulundurulduğunda KPB dökümlerinde D:100/H:200 mm silindir kalıp kullanılmıştır. Boyut etkisi olmaması için PÇB'ler de aynı ebatta kalıp kullanılarak hazırlanmıştır. Standartlarda önerilmiş olan analitik modellerde tanımlanmış olan basınç dayanımı değeri standart silindir (D:150 mm, H:300 mm) numunelerin 28 günlük basınç dayanımı değerleri olduğu için deneysel çalışmada kullanılan D: 100 mm, H: 200 mm PÇB silindir numunelere ait değerler eşdeğer standart silindir değerlerine dönüştürülmüştür. 100/200 mm silindir numune basınç dayanımı değerinin (f_{c100}) 150/300 mm standart silindir numune basınç

dayanımı (f_{c150}) değerine dönüştürülmesinde literatürde Yazıcı ve Sezer tarafından önerilmiş olan Denklem (1) kullanılmıştır [32]. Denklem (1) PÇB'ler için önerilmiş olmasına karşın KPB betonlarda boyut etkisinin basınç dayanımı değişimi üzerindeki etkisini gösteren deneysel bir çalışma literatürde yer almadığından ve çalışmada PÇB'ler için önerilmiş olan standart modellerin her iki beton için karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesi amaçlandığından KPB'lerin boyuta bağlı basınç dayanımı değişimlerinde de Denklem (1) kullanılmıştır.

$$f_{c150} = 0.9728 f_{c100} - 0.1082 \quad (1)$$

Bu deneysel çalışma kapsamında PÇB ve KPB'ler için elde edilen basınç dayanımı-elastisite modülü sonuçları standartlarca önerilen analitik modeller kullanılarak hesaplanmış ve elde edilen değerler deneysel sonuçlarla karşılaştırmalı olarak Şekil 9'da verilmiştir.



Şekil 9. KPB ve PÇB için deneysel-hesaplanan elastisite modülü karşılaştırması

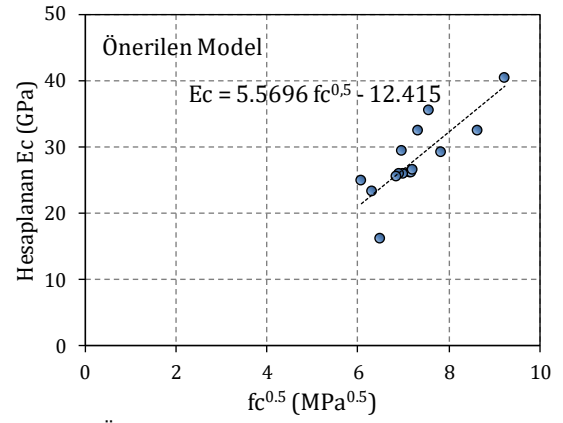
KPB ve PÇB'lere ait grafikler göz önüne alındığında; uluslararası standartlarca önerilmiş olan analitik modellerin, PÇB'lerde deneysel sonuçlara daha yakın

sonuçlar verirken, KPB'lerde bu modellerin yüksek sonuçlar verdiği ve deneysel sonuçları tam olarak temsil edemediği anlaşılmıştır. PÇB'ler için önerilmiş olan analitik modellerde kullanılan parametrik değerlerin, KPB'lerin PÇB'lere oranla daha fazla şekil değiştirme özelliğinin olması nedeniyle kükürt bağlayıcılı betonların elastisite modülü tahminlerinde kullanılmasının uygun olmadığı açıkça görülmektedir.

Yapılmış olan deneysel çalışmada elde edilen KPB'lere ait elastisite modülü değerlerine en yakın sonucu sırasıyla ACI363R-92 ve NS 3473 standartlarına önerilen analitik modeller kullanılarak yapılan tahminlerin verdiği belirlenmiştir. En yakın tahmin sonuçlarını veren ACI363R-92 standardına ait modelin parametrik katsayılarının, deney sonuçları ve literatürden elde edilen veriler birlikte kullanılarak KPB betonlar için yeniden düzenlenmesi çalışmanın bu bölümünde amaçlanmıştır. Kükürt bağlayıcılı betonların nispeten yeni bir konu olması ve üzerinde son yıllarda çalışmaya başlanması nedeniyle literatürde bu betonlara ait çok fazla veri bulunmamaktadır. Bu nedenle sadece Hammons vd., Shin vd., ve Ghasemi vd. tarafından yapılmış olan kükürt bağlayıcı betonlar ile ilgili çalışmalardan elde edilen elastisite modülü değerleri bu çalışmada istatistiki değerlendirme yapmak amacıyla kullanılabilmiştir. [2,14,33]. Literatürden veriler alınırken yapılmış olan deneysel çalışmalarda kullanılan numunelerin silindir, 100 mm çapında ve H/D oranı 2 olmasına dikkat edilmiştir. Literatürden elde edilen basınç dayanımı değerleri boyut etkisinin tüm çalışmada sabit olması açısından Denklem (1) ile standart silindir dönüşümü gerçekleştirildikten sonra analitik model oluşturulmuştur. 3 farklı çalışmadan toplam 9 adet veri elde edilmiş ve yapılmış olan deneysel çalışmaya ait 6 KPB verisiyle birleştirilerek toplam 15 adet numuneye ait istatistiki değerlendirme yapılmıştır. Deneysel çalışmadan elde edilen basınç dayanımı değerleri literatürden elde farklı aralıklardaki değerler ile desteklenerek daha geniş bir dayanımı aralığında basınç dayanımı-elastisite modülü ilişkisi değerlendirmesi sağlanmıştır. Elde edilen tüm veriler kullanılarak oluşturulan basınç dayanımının karekökünün deneysel olarak elde edilen elastisite modülü ile ilişkisi Şekil 10'da verilmiştir.

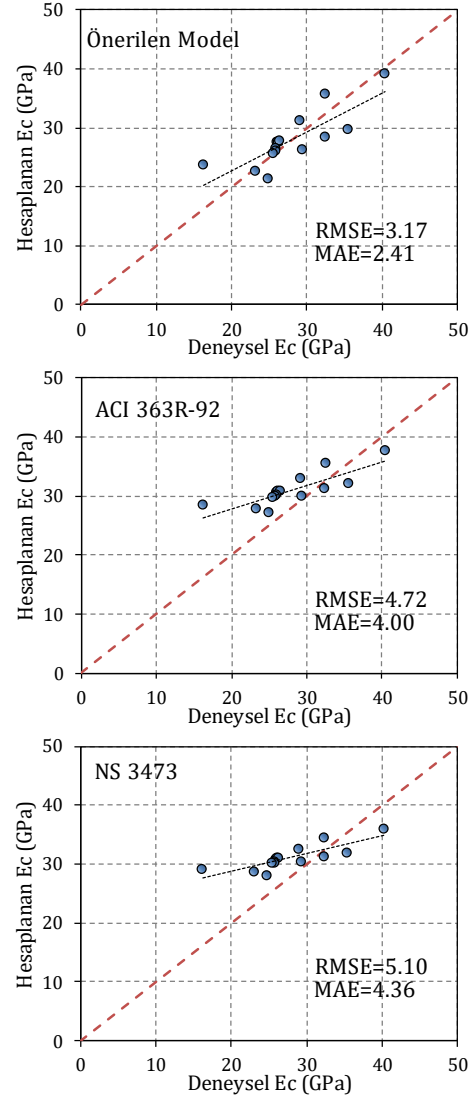
Kullanılan tahmin modelleri içinde gerçek değerlere en yakın sonuç elde edilen ACI standardına ait basınç dayanımı karekökünün elastisite modülü ile lineer ilişkisi değerlendirilerek belirlenmiş olan yeni parametrik katsayılar Denklem 2'de verilmiştir. Burada "E_c" elastisite modülünü, "f_c" ise 28 günlük standart silindir bas dayanımını temsil etmektedir.

$$E_c = 5.5696 \sqrt{f_c} - 12.415 \quad (2)$$



Şekil 10. Önerilen analitik model

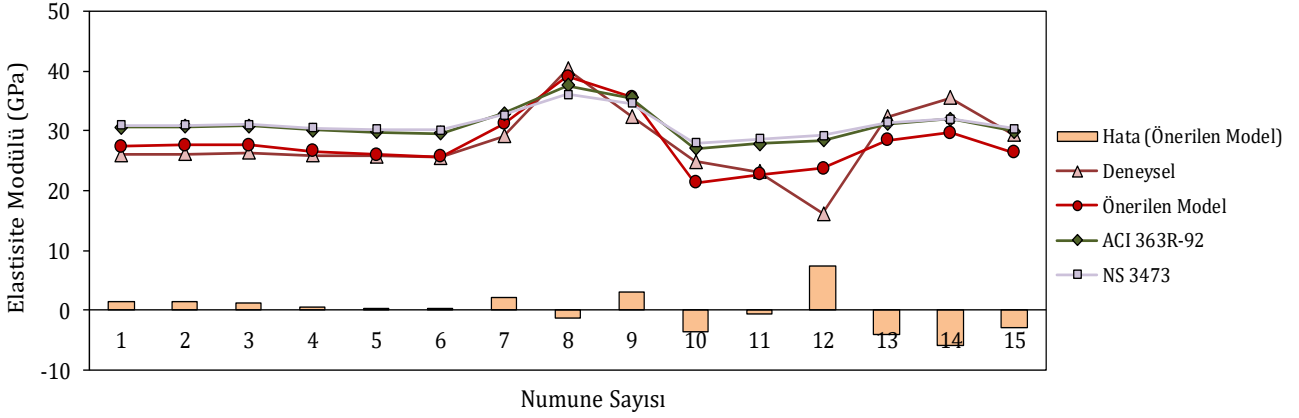
Önerilen analitik model, KPB'ler için en yakın tahmin modelini veren ACI 363R-92 ve NS 3473 standartları ile birlikte tüm veriler kullanılarak karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Bu 3 farklı tahmin modeline ait istatistiki parametreler Şekil 11'de verilmiş olan deneysel ve hesaplanan elastisite modülü grafiği içerisinde gösterilmiştir.



Şekil 11. Modellere ait istatistiki parametreler

Karşılaştırmalı olarak incelenen bu üç modelin hataları kök ortalama kare hatası (RMSE) ve ortalama mutlak hata (MAE) değerleri hesaplanarak istatistiki olarak değerlendirilmiştir. RMSE ve MAE değerleri sırasıyla Denklem 3 ve 4 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{m=1}^N |H_m - D_m|^2} \quad (3)$$



Şekil 12. Deneysel veriler ve modellere ait hata grafiği

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{m=1}^N |H_m - D_m| \quad (4)$$

Burada; H hesaplanan değer, D deneysel değer, N toplam veri sayısıdır. Önerilen model, ACI 363R-92 ve NS 3473 standartları için RMSE değerleri sırasıyla 3.17, 4.72 ve 5.10 olarak bulunurken MAE değerleri sırasıyla 2.41, 4.00 ve 4.36 olarak bulunmuştur. Deneysel sonuçlar ve üç modele ait tahminlerin her biri numune için ayrı ayrı gösterildiği grafikte aynı zamanda önerilen analitik model ile deneysel veriler arasındaki farkın gösterildiği hata grafiği Şekil 12'de birlikte verilmiştir. Modellere ait istatistiki veriler ve grafikler incelendiğinde deneysel değerlere en yakın sonuçları veren ve en düşük hata oranının önerilen analitik modele ait olduğu görülmektedir. Önerilen model ile deneysel sonuçların birbirine yakın değerler verdiği sadece 12 numaralı numunede önemli bir sapma olduğu görülmektedir. Literatürde yapılan çalışmadan alınmış olan bu numunede agrega olarak düşük mekanik özelliklere sahip karbonat esaslı kayaç kullanıldığından deneysel elastisite modülü değerinin normal agregalara göre oldukça düşük çıktığı belirlenmiştir [2]. Bu nedenle önerilen model ile deneysel sonuç arasındaki hata miktarı yüksektir.

4. Tartışma ve Sonuç

Bu deneysel çalışma kapsamında kükürt polimer betonların basınç dayanımı-elastisite modülü ilişkisinin uluslararası standartlarca önerilmiş olan analitik modeller açısından karşılaştırılması amaçlanmıştır. Çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

Saf kükürt içerisine ağırlıkça %2.5 bitüm ilavesi ile elde edilen modifiye kükürtün monoklinik kristal formunda

sabit kaldığı ve S_{β} - S_{α} dönüşümünün gerçekleşmediği belirlenmiştir. Çalışmada gerçekleştirilen modifikasyonun başarılı olduğu görülmüştür. KPB'lerde PÇB'lerde görüldüğü gibi, basınç dayanımındaki artışın elastisite modülünü arttırdığı anlaşılmıştır.

PÇB'lerden ve KPB'lerden elde edilen ortalama elastisite modülü değerleri sırasıyla 32.29 ve 25.98 GPa olarak bulunmuştur. KPB'lerin elastisite modüllerinin, benzer basınç dayanımı değerlerine sahip PÇB'lere göre daha düşük değerlerde kaldığı belirlenmiştir.

TS 500 (2000), ACI 363R-92, CEB-FIP 1993, NS 3473, EN 1992-1-1, BS 5400-4 (1990), VBC-95 ve SP 52-101 (2003) standartları tarafından önerilmiş olan analitik modeller kullanılarak hem PÇB hem de KPB'lerin elastisite modülü değerleri hesaplanmıştır. Bu modeller, geleneksel çimento kullanılan betonlara ait deneysel sonuçlar kullanılarak belirlendiği için PÇB'lerde deneysel sonuçlara daha yakın tahminler verirken, KPB'lerde bu modellerin deneysel verilerden daha yüksek sonuçlar verdiği görülmüştür.

ACI 363R-92 ve NS 3473 standartları tarafından önerilmiş olan analitik modellerin KPB'lerin elastisite modülü tahminlerinde diğer standartlardaki modellere oranla daha başarılı olduğu belirlenmiştir. ACI 363R-92 standardında verilen analitik modele ait tahminlerin RMSE ve MAE değerleri sırasıyla 4.72 ve 4.00 olarak bulunurken bu değerler NS 3473 standardında 5.10 ve 4.36 olarak belirlenmiştir. Göz önüne alınan standartlar içinde istatistiki olarak en yakın tahmini ACI 363R-92 standardında önerilmiş olan analitik model gerçekleştirmiştir.

Deneysel çalışmadan ve literatürde yer alan deneysel verilerden yararlanılarak bu çalışma kapsamında

KPB'lerin elastisite modülü tahmini için yeni bir analitik model önerilmiştir. Bu modele ait tahminlerin RMSE ve MAE değerleri sırasıyla 3.17 ve 2.41 olarak bulunmuştur.

Önerilen model ve en yakın tahmin değerlerini veren ACI 363 R-92 ve NS 3473 standartlarındaki modeller ile karşılaştırmalı olarak incelenmiş ve deneysel değerlere en yakın değerlere ve en düşük hata oranlarına sahip olan modelin deneysel çalışma sonunda önerilen analitik modele ait olduğu görülmüştür.

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] Miller, S.A., Moore F.C. 2020. Climate and health damages from global concrete production. *Nature Climate Change*, 10, 439-443.
- [2] Ghasemi S., Nikudel M.R., Zalooli A., Khomehchiyan M., Alizadeh A., Yousefvand F., Ghasemi A.M.R. 2022. Durability Assessment of Sulfur Concrete and Portland Concrete in Laboratory Conditions and Marine Environments. *Journal of Materials Civil Engineering*, 34(8), 1-14.
- [3] Kurad R., Silvestre J.D., Brito J., Ahmed H. 2017. Effect of incorporation of high volume of recycled concrete aggregates and fly ash on the strength and global warming potential of concrete. *Journal of Cleaner Production*, 166, 485-502.
- [4] Kartam N., Al-Mutairi N., Al-Ghusain I., Al-Humoud J. 2004. Environmental management of construction and demolition waste in Kuwait. *Waste Management*, 24, 1049-1059.
- [5] Mehta P.K. 2009. Global concrete industry sustainability. *Concrete International*, 31(2), 45-48.
- [6] Wagenfeld J.G., Khalid A.A., Almheiri S., Slavens A.F., Calvet N. 2019. Sustainable Applications Utilizing Sulfur, A By-Product from Oil and Gas Industry: A State of the Art Review. *Waste Management*, 95, 78-89.
- [7] Bacon R.F., Davis H.S. 1921. Recent Advances in the American Sulfur Industry, *Chemical and Metallurgical Engineering*, 24, 65-72.
- [8] Mohamed A.M.O., El Gamal M.M. 2009. Hydro-Mechanical Behavior of a Newly Developed Sulfur Polymer Concrete. *Cement & Concrete Composites*, 31, 186-194.
- [9] You X. 2021. Research progress of the modification in sulfur concrete. *Materials Sciences and Applications*, 12, 353-361.
- [10] Öztürk O. 2019. Kükürt ve Kükürt Polimer Betonların Mekanik ve Dayanıklılık Özelliklerinin İncelenmesi. Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 232s, Kocaeli.
- [11] Öztürk O., Öner A. 2020. Investigation of Long Term Mechanical Properties of Sulphur Polymer Concrete and Comparison with Portland Cement Concrete. *Erzincan University Journal of Science and Technology*, 13(3), 1252-1262.
- [12] Hager I., Golonka A., Putanowicz R. 2016. 3D Printing of Buildings and Building Components as the Future of Sustainable Construction. *Procedia Engineering*, 151, 292-299.
- [13] Al-Otaibi S., Al-Aibani A., Al-Bahar S., Abdulsalam M., Al-Fadala S. 2018. Potential for Producing Concrete Blocks Using Sulphur Polymeric Concrete in Kuwait. *Journal of King Saud University-Engineering Sciences*, 31(4), 327-331.
- [14] Shin M., Kim K., Gwon S.W., Cha S. 2014. Durability of Sustainable Sulfur Concrete with Fly Ash and Recycled Aggregate Against Chemical and Weathering Environments. *Construction and Building Materials*, 69, 167-176.
- [15] Yang C., Lv X., Tian X., Wang Y., Komarneni S. 2014. An Investigation on the Use of Electrolytic Manganese Residue as Filler in Sulfur Concrete. *Construction and Building Materials*, 73, 305-310.
- [16] Contreras M., Gazquez M.J., Garcia-Diaz I., Alguacil F.J., Lopez F.A., Bolivar J.P. 2013. Valorization of Waste Ilmenite Mud in the Manufacture of Sulphur Polymer Cement. *Journal of Environmental Management*, 128, 625-630.
- [17] Mohammadi A., Dehastani M., Asce A.M., Shooshpasha I., Asadollahi S. 2014. Mechanical Properties of Sandy Soil Stabilized with Modified Sulfur. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 27(4), 1-7.
- [18] Karadeniz M., Öztürk O., Kara Z.E., Opan M. 2022. Düşük basınçlı kükürt enjeksiyonunun serbest basınç mukavemetine etkisi. *Kırklareli University Journal of Engineering and Science*, 8(2), 322-342.
- [19] Türkel E.B. 2002. Betonda Basınç Dayanımı ile Elastisite Modülü Arasındaki İlişkiler. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 79s, İstanbul.
- [20] Öztürk O., Öner A. 2022. Long-term Durability of Bitumen Modified Sulfur Polymer Concrete Under Freeze-Thaw Cycles. *Int J Civ Eng*, 20, 529-543.
- [21] ASTM C-469, 2014. Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression. American Society for Testing and Materials, Pennsylvania.

- [22]Tangüner R. 2007. Uçucu Küllü Düşük ve Yüksek Mukavemetli Betonların Elastiklik Modülünün İncelenmesi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 75s, İstanbul.
- [23]Vakhshouri B., Nejadi S. 2019. Empirical models and design codes in prediction of modulus of elasticity of concrete. *Front Struct Civ Eng*, 13(1), 38-48.
- [24]TS 500, 2000. Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [25]ACI 363R-92,1984. Materials and General Properties of Concrete, ACI Manual of Concrete Practice Part 1, Michigan.
- [26]CEB-FIB, 1993. CEB-FIB Model Code for Concrete Structures, Committee Euro-International du Beton, Michigan.
- [27]NS 3473, 2003. Concrete Structures - Design and Detailing Rules, Norwegian Standards, Norway.
- [28]EN 1992-1-1, 2004. Eurocode 2: Design of Concrete Structures-Part 1-1: General Rules and Rules for Buildings, European Committee for Standardization, Brussels.
- [29]BS 5400-4, 1990. Steel, concrete and composite bridges, Part 4: Code of practice for design of concrete bridges, British Standard, UK.
- [30]VBC, 1995. Voorschriften Beton TGB 1990, Constructieve Eisen en Rekenmethoden, Nederlandse.
- [31]SP-52-101, 2003. Concrete and reinforced concrete structures without prestressing, In Gosstroj of Russia, Moscow.
- [32]Yazıcı Ş., İnan Sezer G. 2007. The effect of cylindrical specimen size on the compressive strength of concrete. *Building and Environment*, 42, 2417-2420.
- [33]Hammons M.I., Simith D.M., Wilson D.E., Reece C.S. 1993. Investigation of Modified Sulfur Concrete as a Structural Material. Construction Productivity Advancement Research (CPAR) Program-Final Report, CPAR-SL-93-1.

Otidea mirabilis (Otideaceae): Türkiye Mikotası İçin Yeni Bir Kayıt

Ertuğrul SESLİ*¹

¹Trabzon Üniversitesi, Fatih Eğitim Fakültesi, Matematik ve Fen Bilimleri Eğitimi Bölümü, 61335, Trabzon, Türkiye

(Alınış / Received: 04.02.2023, Kabul / Accepted: 16.03.2023, Online Yayınlanma / Published Online: 25.12.2023)

Anahtar Kelimeler

Keseli mantarlar,
Solkulak,
Taksonomi

Öz: *Otidea mirabilis* Bolognini & Jamoni (Otideaceae) türüne ait askokarplar 2021 yılı Ekim ayında Trabzon ili Maçka ilçesi Sevinç mahallesinde tespit edildi. Askokarpların öncelikli olarak fotoğrafları çekildi, olası mikorizal ilişkileri ile yayılış alanındaki baskın bitki örtüsü not edildi, birkaç tanesi toplanarak laboratuvara getirildi. Makroskobik özellikleri belirlendi ve materyal kurutulularak fungaryum dolabına yerleştirildi. Mikroskobik özellikler kuru materyalden alınan ince kesitlerin incelenmesi ile ortaya çıkarıldı. Çalışma sonucunda *O. mirabilis* Türkiye mikotası için yeni kayıt olarak tespit edildi; burada ilgili şekiller ve kısa bir tartışma ile birlikte verildi. Yarık çanak biçimindeki yeni kayıt, açık sarımsı veya yeşilimsi gri, pürüzsüz veya hafif buruşuk iç yüzey; mavimsi menekşe, yeşilimsi mavi tonlu kahverengi veya koyu sarımsı dış yüzey; beyazımsı ve 8–12 mm uzunluğundaki sap; silindirik, 175–220 × 9–14 µm askuslar; eliptik veya iğ şeklinde, pürüzsüz, yağ damlalı ve 13–16 × 6–8 µm askosporlar ve ince, silindirik, kavisli parafizler ile teşhis edilir.

Otidea mirabilis (Otideaceae): A New Record for the Turkish Mycota

Keywords

Ascomycota,
Otidea mirabilis,
Taxonomy

Abstract: Fruiting bodies belonging to *Otidea mirabilis* Bolognini & Jamoni (Otideaceae) species were detected in the Sevinç neighborhood of Maçka district of Trabzon province in October 2021. Firstly, fruiting bodies were photographed, possible mycorrhizal relationships and the dominant vegetation in the distribution area were noted, a few of them were collected and brought to the laboratory. Their macroscopic features were determined, and the material was dried and placed in the fungarium cabinet. Microscopic features were revealed by examining thin sections taken from the dry material. As a result of the study, *O. mirabilis* was identified as a new record for the Turkish mycota; provided here with relevant illustrations and a brief discussion. In the slit cup shape new record is diagnosed with light yellowish or greenish grey, smooth or slightly wrinkled inner surface; bluish violet, brown or greenish blue tint ocherish outer surface; whitish and 8–12 mm long stipe; cylindrical, 175–220 × 9–14 µm asci; elliptical or spindle-shaped, smooth, oil-dropped and 13–16 × 6–8 µm ascospores and thin, cylindrical, curved paraphyses.

1. Giriş

Otidea (Pers.) Bonord. cinsi günümüzde dünya genelinde yaklaşık 144 kayıt ile temsil edilmektedir [1]. Bu kayıtların tamamının ayrı türler olduğu elbette söylenemez fakat bu sayı göz önüne alınarak cinsin büyüklüğü hakkında bir kanaate varılabilir. *Otidea* cinsi bu çalışmadan önce Türkiye'de *O. alutacea* (Pers.) Masee, *O. bufonia* (Pers. : Fr.) Boud., *O. cochleata* (L. : Fr.) Fuckel, *O. leporina* (Batsch) Fuckel, *O. onotica* (Pers. : Fr.) Fuckel ve *O. nannfeldtii* Harmaja türleri ile temsil edilmekte idi [2]. *Otidea* cinsi 1870

yılında apotezyum ve parafizlerin kendine özgü şekillerinden dolayı Fuckel tarafından kurulmuştur. Bu cins, ayrık veya kulak şeklinde askokarpları, tepede kıvrık başlıklı parafizleri, silindirimsi, amilyoit olmayan askus ve eliptik, damlalı askosporları nedeniyle Pezizales'in diğer üyelerinden ayrılır. Çokgenli filogenetik analizler, cinsin monofiletik olduğunu kanıtlamıştır. Cins meşe, gürgen ve benzeri kapalı tohumlular ile dış mikorizal yaşar [3]. Materyalin toplandığı saha denizden ortalama 650 metre yükseklikte, güneye bakan, meşe-gürgen ormanı olup yer yer böğürtlen, kuşburnu, gıcırdikeni,

*İlgili yazar: ertugrulsesli@trabzon.edu.tr

laden, fındık ve daha birçok çalı ve otsu bitkileri de içermektedir. Sahada yer yer ladin ağaçları da bulunmaktadır. Yaz ve kış ayları genellikle ılıman ve yağışlı geçmektedir. Bu çalışmanın amacı Türkiye'de yayılış gösteren mevcut *Otidea* türlerine yeni bir kayıt ekleyebilmektir.

2. Materyal ve Metot

Bu araştırmanın materyali olan askokarplar Doğu Karadeniz Bölümü'nde ilgili proje kapsamında gerçekleştirdiğimiz arazi gezilerinin birisinde (06.10.2021) Trabzon, Maçka, Sevinç mahallesinde saptanmıştır. İlk olarak çevrede yayılış gösteren flora ve olası mikorizal yaşam ilişkileri not edilmiş, materyalinin her bölümünü kapsayan fotoğraflar çekilmiş, küçük bir saksı küreği yardımı ile askokarplar sökülümüş, değişime uğrama riski olan renk ve büyüklük gibi morfolojik özellikler not edildikten sonra kese kâğıdına konularak laboratuvara taşınmıştır. İlk birkaç saat periyodik hareketlerle askokarpların saldığı sporlar elden geldiğince beyaz bir kâğıt üzerine çöktürülmüş, tat ve koku gibi özellikler not edilmiş, materyal elektrikli bir ısıyayar üzerinde kurutulmuş ve nihayet etiketlenerek fungaryum dolabına yerleştirilmiştir. Daha önceden fungaryum numunesi haline getirilen askosporların migrofotografi sistemi sayesinde en ve boyları ölçülmüş ve dijital fotoğrafları çekilmiştir. Askus ve parafizlerin görüntülenerek gerekli ölçümlerinin yapılabilmesi ve askokarpların yüzeysel hif yapısının belirlenebilmesi için kuru materyalden ince kesitler alınmıştır. Kesitler %5'lik amonyak çözeltisi içerisinde 3-5 dakika tutulduktan sonra bir pens yardımı ile lam üzerine alınmış, lamel kapatıldıktan sonra üzerine baskı uygulanmış ve elde edilen görüntüler mikrofotografi sistemi sayesinde dijital hale dönüştürülmüştür. Türkçe isimler Nezahat Gökyiğit Botanik Bahçesi veri tabanına göre verilmiştir. Materyalin kalan kısmı Trabzon Üniversitesi, Fatih Eğitim Fakültesi'ndeki kişisel fungaryumda saklanmaktadır.

3. Bulgular

3.1. *Otidea mirabilis* Bolognini & Jamoni (Solkulak)- Funghi e Ambiente 85-86: 56, 2001 (Otideaceae / Yerkulağgiller) (Şekil 1)

Askokarplar ince, bir tarafta tamamen bölünmüş, kenarı içeriye kıvrık ve yaklaşık 40–65 × 20–30 mm boyutlarındadır. Sap kısa, beyazımsı bir miselyum ile kaplı, yaklaşık 8–12 mm uzunluğundadır. Askosporları üreten iç yüzey açık sarımsı veya yeşilimsi gri, pürüzsüz veya hafif buruşuk; dış yüzey tozsuz miselyumla kaplı, koyu mavimsi menekşe, yeşilimsi mavi tonlu kahverengi veya koyu sarımsı kahverengidir. Kuru örneklerde dış yüzey daha koyu kahverengi, taban kısmı ve iç yüzey soluk devetüyü rengindedir.

Askuslar, silindirik veya uzun kese biçiminde, 175–220 × 9–14 µm, sekiz askosporlu ve amiloyit değildir. Askosporlar tek sıralı, şeffaf silindir biçiminde, eliptik veya iğ biçiminde, pürüzsüz, 13–16 × 6–8 µm boyutlarında ve iki büyük yağ damlalıdır. Parafizler ince silindirik, aşağıda dallanmış ve bölmeli, 2–3 µm genişliğinde, tepede şemsiye sapı biçiminde bükülmüş ve 3–4 mikrona kadar genişlemiştir. Dış zar tabakası 100–125 µm kalınlığında olup 15–32 × 12–16 µm boyutlarında küresel veya armut biçimli hücreler içerir.

3.1.1 İncelenen örnekler

Türkiye, Trabzon, Maçka, Sevinç, 40°50'42.74" K ve 39°37'42.20" D, 651 m, 06.10.2021. Yaz sonlarından sonbahar sonlarına kadar karışık ağaçlı ve geniş yapraklı ağaç ormanlarında, parklarda, meşe, fındık, gürgen, kayın, kavak, huş ve ladin ağaçları altında öbekler halinde yayılış gösterir. E. Sesli 4389.

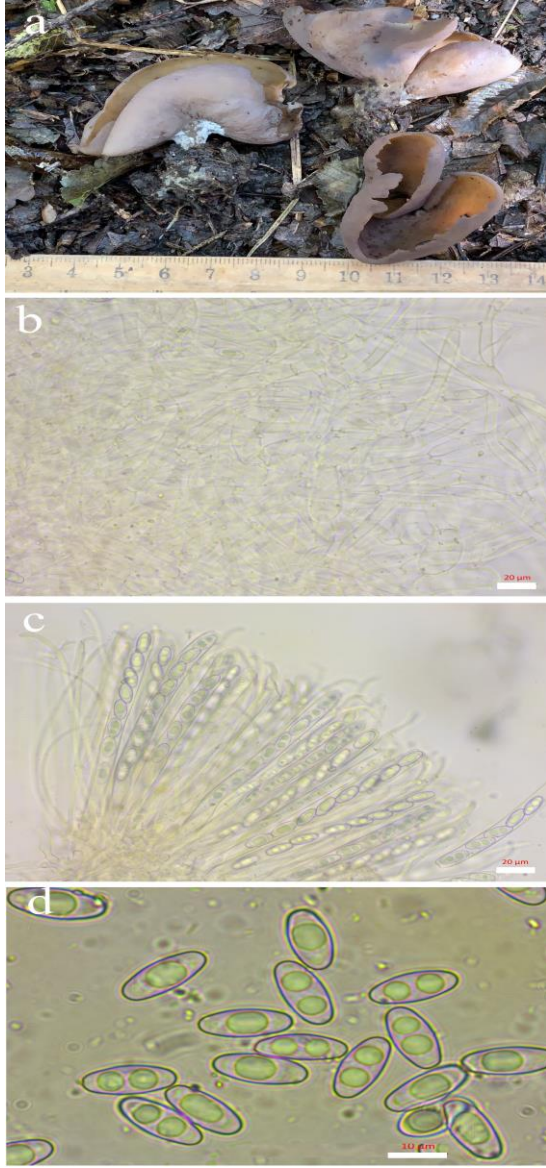
4. Tartışma ve Sonuç

Bu araştırmanın konusu olan *Otidea mirabilis* (solkulak) türü kulak şekline benzer biçimde, bir tarafta tamamen yarılmış, yaklaşık 40–65 × 20–30 mm boyutlarında askokarp; beyazımsı miselyum ile kaplı, yaklaşık 8–12 mm uzunluğundaki sap; açık sarımsı veya yeşilimsi gri, pürüzsüz veya hafif buruşuk iç yüzey; tozsuz miselyumla kaplı, koyu mavimsi menekşe, yeşilimsi mavi tonlu kahverengi veya koyu sarımsı kahverengi dış yüzey; 175–220 × 9–14 µm boyutlarında askuslar; tek sıralı, şeffaf silindir biçiminde, eliptik veya iğ biçiminde, pürüzsüz, 13–16 × 6–8 µm boyutlarında ve iki büyük yağ damlalı askosporlar ve ince silindirik, aşağıda dallanmış ve bölmeli, tepede şemsiye sapı biçiminde bükülmüş 2–3 µm genişliğinde parafizlerle diğer akraba türlerden ayrılır. Yeni kayda yakın türlerden *O. tuomikoskii* Harmaja daralmış kulak biçiminde olması, iç yüzeyinin sarı, dış yüzeyinin açık sarı veya turuncu olması, askuslarının (110–165 × 8.5–10 µm) ve askosporlarının (9–11.5 × 5.5–6.5 µm) daha küçük olması ve benzeri özellikleri ile yeni kayıttan farklılık gösterir. Diğer bir tür, *O. alutacea* (Pers.) Massee yaklaşık aynı büyüklükte fakat koyu balçık renginde veya grimsi kahverengi askokarp, biraz daha uzun (12–18 µm) askosporlar ve oldukça uzun (250–300 µm) askuslar ile yeni koleksiyondan farklılık gösterir. Dış görünüş olarak bir miktar benzerlik gösteren bir diğer tür *O. cochleata* (L. ex St. Amans) Fuckel kulak şeklinde olmayan, iç yüzeyi koyu kahverengi, dış yüzeyi açık kahverengi ve sapsız askokarplar üretilir. *O. concinna* (Pers.) Sacc. daha küçük boyutlu, nispeten kulak biçiminde, açık limon renginde, daha küçük askosporlu (10–12 × 5–6 µm) ve yine daha küçük askuslu (140–160 × 8–12 µm) askokarplar ile kendini belli eder.

O. abietina (Pers.) Fuckel iğne yapraklı ağaç ormanlarında kulak şeklinde olmayan, turuncumsu veya kırmızımsı kahverengi ve daha büyük askosporlu

(17–20 × 9–10 µm) askokarplar ile yeni kayıttan farklılık gösterir [3, 4, 5].

Çalışma sonucuna göre *Otidea mirabilis* Türkiye mikotası için yeni kayıttır [2].



Şekil 1. *Otidea mirabilis*: a- askokarplar, b- dış zardan yüzeysel kesit, c- askuslar ve parafizler, d- askosporlar (ölçek çubukları: b ve c: 20 µm, d: 10 µm)

Teşekkür

Bu araştırmanın finansmanı Trabzon Üniversitesi bilimsel araştırma projeleri birimince (TAP: 20TAP00123) sağlanmıştır.

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] Kirk, P.M., Cannon, P.F., Minter, D.W., Stalpers, J.A. 2008. Dictionary of the Fungi (10th ed.). CAB International, Wallingford, UK, 655s.
- [2] Sesli, E., Asan, A., Selçuk, F. (editörler), Abacı Günyar, Ö., Akata, I., Akgül, H., Aktaş, S., Alkan, S., Allı, H., Aydoğdu, H., Berikten, D., Demirel, K., Demirel, R., Doğan, H.H., Erdoğan, M., Ergül, C.C., Eroğlu, G., Giray, G., Halikî Uztan, A., Kabaktepe, Ş., Kadaifçiler, D., Kalyoncu, F., Karaltı, İ., Kaşık, G., Kaya, A., Keleş, A., Kırbağ, S., Kıvanç, M., Ocak, İ., Ökten, S., Özkale, E., Öztürk, C., Sevindik, M., Şen, B., Şen, İ., Türkekul, İ., Ulukapı, M., Uzun, Ya., Uzun, Yu., Yoltaş, A. 2020. Türkiye mantarları listesi. Ali Nihat Gökyiğit Vakfı Yayını, İstanbul, 1177s
- [3] Olariaga, I., Van Vooren, N., Carbone, M., Hansen, K. 2015. A monograph of *Otidea* (Pyronemataceae, Pezizomycetes). Persoonia: Molecular Phylogeny and Evolution of Fungi, 35(1), 166-229.
- [4] Mornand, J., Courtecuisse, R. 2005. Le genre *Otidea* et espèces affines en France. Bull. Mens. Soc. Linn. Lyon, 74(1), 65-84
- [5] Breitenbach, J., Kränzlin, F. 1984. Pilze der Schweiz. Band I Ascomyceten, Verlag Mykologia, Luzern, 310s.

Comparison of Classical and Robust Factor Analyses Methods

Bariş ERGÜL*¹, Zeki YILDIZ²

^{1,2}University of Eskişehir Osmangazi, Faculty of Science, Department of Statistics, 26040, Eskişehir, Türkiye

(Alınış / Received: 13.02.2023, Kabul / Accepted: 14.09.2023, Online Yayınlanma / Published Online: 25.12.2023)

Keywords

MLE, GLS, MCD, M, Classical
Factor Analysis, Robust
Factor Analysis

Abstract: Factor analysis is a multivariate statistical analysis technique that has become very popular in recent years. In the factor analysis model, the error covariance matrix is assumed to be the multivariate normal distribution, and outliers are likely to be accounted for. Various estimation methods were compared with Monte Carlo simulation for the factor analysis model. The performances of the estimation methods were evaluated based on the ratio of the total variance explained and the criterion fit values. Considering the MLE, PCA, WLS, and GLS methods for classical factor analysis and the MCD, M, and S methods for robust factor analysis, the ratio of total variance explained, and fit values decreased as the sample size increased. When the number of variables increases, the ratio of total variance explained, and fit values increase at different sample sizes. It can be said that the WLS and GLS methods are better than others for classical factor analysis and the MCD and M methods are better than others for robust factor analysis.

Klasik ve Sağlam Faktör Analizleri Yöntemlerinin Karşılaştırılması

Anahtar Kelimeler

MLE, GLS, MCD, M, Klasik
Faktör Analizi, Sağlam Faktör
Analizi

Öz: Faktör analizi, son yıllarda popüler hale gelen çok değişkenli istatistiksel analiz tekniklerinden biridir. Bu çalışmada, hata kovaryans matrisinin çok değişkenli normal dağılım ve aykırı değerler olması durumunda faktör analizi modeli kullanılmıştır. Faktör analizi modeli için farklı tahmin yöntemleri Monte Carlo simülasyonu ile karşılaştırılmıştır. Tahmin yöntemlerinin performansı, açıklanan toplam varyans oranı ve uyum değerleri kriterine göre değerlendirilmiştir. Klasik faktör analizi için MLE, PCA, WLS ve GLS yöntemleri ve sağlam faktör analizi için MCD, M ve S yöntemleri dikkate alındığında, toplam varyansın açıklama oranı ve fit değerleri, farklı örneklem büyüklüklerinde artarak, her bir örneklem büyüklüğünde azalmıştır. Değişken sayısı arttıkça açıklanan toplam varyans oranı ve fit değerleri farklı örneklem büyüklüklerinde artmaktadır. Klasik faktör analizi için WLS ve GLS yöntemlerinin, sağlam faktör analizi için MCD ve M yöntemlerinin daha iyi yöntemler olduğu söylenebilir.

1. Introduction

Today, many variables shed light on problems, events, facts or perceptions, attitudes, and behaviors. It is no longer sufficient to examine a single variable to solve the problems arising from these events, phenomena, perceptions, attitudes, and behaviors. However, as the number of variables increases, the study of events, phenomena, perceptions, attitudes, and behaviors becomes even more complex.

Factor analysis is a multivariate statistical analysis technique that has become very popular in recent years. Factor analysis aims to determine the original (independent) variables in the data set with linear combinations called factors. The first step is to create the covariance matrix (or correlation matrix) when

the number of original variables is p . The factor analysis model contains many parameters, including the variances of the error components. The error components are the parts of the observed variables that are not explained by the factors. The variances of the error components are important because they determine the amount of variance in the observed variables that are not explained by the factors [1].

p is the independent variable, assuming that x_1, x_2, \dots, x_p , and k associate the latent factors f_1, f_2, \dots, f_k with the following statistical model:

$$x_j - \mu_j = \lambda_{j1}f_1 + \lambda_{j2}f_2 + \dots + \lambda_{jk}f_k + \varepsilon_j \quad (1)$$

$\lambda_{j1}, \lambda_{j2}, \dots, \lambda_{jk}$ refers to the factor loadings, ε_j refers to the error terms.

* Corresponding author: bergul@ogu.edu.tr

Factor Analysis Model with k factor is defined as follows with matrix notation when defined by $x = (x_1, x_2, \dots, x_p)'$, $f = (f_1, f_2, \dots, f_k)$ and $\varepsilon = (\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_p)'$.

$$x - \mu = \Lambda f + \varepsilon \tag{2}$$

Λ refers to the matrix of factor loadings, f refers to the factor score vector and ε refers to the error vector.

The assumptions of the factor analysis model are as follows: [2]

1. The factors and the vector of the error terms are independent of each other and their mean is a zero vector. ($E(f) = E(\varepsilon) = 0, Cov(x, f) = \Lambda$)
2. The covariance matrix of the factors is equal to the unit vector. ($Cov(f) = I_k$)
3. The joint distribution of the factors is a multivariate normal distribution.

These assumptions are strong, and they may not always be met in real data. However, it has been shown that the classical estimates have good asymptotic properties under some weak assumptions. This means that the estimates will be approximately correct as the sample size increases.

Some of the weak assumptions that are sufficient for the classical estimates to have good asymptotic properties include:

- i. The factors are not perfectly correlated.
- ii. The error terms are not perfectly correlated.
- iii. The error terms have a finite variance.

These assumptions are more likely to be met in real data than the strong assumptions listed above. Therefore, the factor analysis model can be a useful tool for data analysis even if the strong assumptions are not met.

It is important to note that the factor analysis model is a statistical model, and as such, it is only an approximation of reality. The estimates from the factor analysis model will never be perfect, but they can be a useful tool for understanding the data [3-4].

The main purpose of factor analysis is to obtain the matrix Λ and the covariance of the error matrix (Ψ) obtained by orthogonal transformation. The maximum likelihood method and the basic factor methods are obtained by separating the matrix Σ where $\Sigma = Cov(x)$.

$$\Sigma = \Lambda \Lambda' + \Psi \tag{3}$$

The factor analysis model is shown in equations (1) and (2). The variance of the variables to which the common factor contributes is called the common variance. The common variance can be replaced in the equation by h_i^2 in the equation $\Sigma = \Lambda \Lambda' + \Psi$ and $\Sigma = H^2 + \Psi$ can be written. The common variance is the sum of the loadings of the variables on the common factor. When $k > 1$, there is always some natural uncertainty associated with the factor model.

Let T which is any $m \times m$ dimensional orthogonal matrix and consider $TT' = T'T = I$. The equality in (2) can be written as follows:

$$\begin{aligned} x - \mu &= \Lambda f + \varepsilon = \Lambda TT' + \varepsilon = \Lambda^* f^* + \varepsilon \\ \Lambda^* &= \Lambda T \text{ ve } f^* = T' f \text{ and,} \\ E(f^*) &= T' E(f) = 0 \text{ and,} \\ Cov(f^*) &= T' Cov(f) T = T' T = I \end{aligned} \tag{4}$$

Based on the observations on x , it is impossible to distinguish Λ factor loadings and Λ^* factor loadings. That is, f ve $f^* = T f$ factors have the same statistical properties. In general, although Λ^* factor loadings and Λ factor loadings are different, they were both obtained from the same covariance matrix.

$$\Sigma = \Lambda \Lambda' + \Psi = \Lambda T T' \Lambda' + \Psi = (\Lambda^*) (\Lambda^*)' + \Psi \tag{5}$$

Since orthogonal matrices correspond to coordinate system transformations, the uncertainty structure is removed by "factor rotation". Λ factor loadings are determined by an orthogonal matrix T .

$$\Lambda^* = \Lambda T \text{ and } \Lambda \tag{6}$$

The common variance is determined by the diagonal elements of the matrix $\Lambda \Lambda' = (\Lambda^*) (\Lambda^*)'$ is not affected by the choice of the orthogonal matrix T .

The factor analysis progresses by identifying conditions that allow the estimation of λ and ψ matrices. The matrix of factor loadings is then rotated (multiplied by an orthogonal matrix), with the rotation determined by some of the "ease of interpretation" criteria. Once the factor loadings and error terms have been determined, the factors are determined and the estimated values of the factors themselves (called factor scores) are produced [5].

The factor analysis model for this study assumed that the covariance matrix error terms had a multivariate normal distribution, and outliers are likely to be considered. Various estimation methods were compared with the Monte Carlo simulation for the factor analysis model. The performance of the estimation methods was evaluated based on the ratio of the total variance explained and fit values. In the second phase of the study, estimation methods were presented. Later, the estimation methods were compared with the simulation study for different sample sizes.

The remainder of this paper is arranged as follows. The Factor Analysis models are described in Section 2. Section 3 describes simulation results for Classical and Robust estimation of the Factor Analysis models. Section 4 considers an application of the Classical and Robust Factor Analysis models to Women Track Records data. Different estimation techniques are compared in terms of computational efficiency. Conclusions and a few remarks are given in Section 5.

2. Material and Methods

The sample covariance matrix (S) is an estimator of the unknown population covariance matrix Σ . If the out-of-diagonal elements of the S matrix obtain small values, the variables (or if the sample correlation matrix is essentially close to zero or zero value) are unrelated and it is not useful to analyze a factor. However, the main purpose of the factor analysis is to determine common factors.

Three of the most commonly used methods for parameter estimation in factor analysis are the principal component (and the corresponding basic factor), the maximum likelihood method and the robust estimation method.

2.1. Principal Component Method

The principal component factor analysis of the S sample covariance matrix is indicated by $\hat{\lambda}_1 \geq \hat{\lambda}_2 \dots \geq \hat{\lambda}_p$, the eigenvalues/eigenvectors pairs $(\hat{\lambda}_1, \hat{e}_1), (\hat{\lambda}_2, \hat{e}_2), \dots, (\hat{\lambda}_p, \hat{e}_p)$. To show the number of common factors given with $k < p$, the prediction matrix of the estimated factor loadings \tilde{l}_{ij} is given as follows [5]:

$$\tilde{\Lambda} = \left[\begin{array}{c} \sqrt{\hat{\lambda}_1} \hat{e}_1 \quad \vdots \quad \sqrt{\hat{\lambda}_2} \hat{e}_2 \quad \vdots \quad \dots \quad \sqrt{\hat{\lambda}_k} \hat{e}_k \end{array} \right] \quad (7)$$

The estimated error term matrix is provided by the diagonal elements of the $S - \tilde{\Lambda}\tilde{\Lambda}'$ matrix:

$$\tilde{\Psi} = \begin{bmatrix} \tilde{\Psi}_1 & 0 \dots & 0 \\ 0 & \tilde{\Psi}_2 \dots & 0 \\ 0 & 0 \dots & \tilde{\Psi}_p \end{bmatrix} \quad (8)$$

Here, it is expressed by $\tilde{\Psi}_i = s_{ii} - \sum_{j=1}^k \tilde{l}_{ij}^2$. The common variance is estimated as follows:

$$\tilde{h}_i^2 = \tilde{l}_{i1}^2 + \tilde{l}_{i2}^2 + \dots + \tilde{l}_{ik}^2 \quad (9)$$

The principal component factor analysis for the correlation matrix found by the sample is obtained starting with R instead of S .

$$S - (\tilde{\Lambda}\tilde{\Lambda}' + \tilde{\Psi}) \quad (10)$$

The diagonal elements of the S matrix will be equal to the diagonal elements of the $\tilde{\Lambda}\tilde{\Lambda}' + \tilde{\Psi}$ matrix. To prevent this situation, this problem is solved by taking the factor as the number of principal components of the S matrix. This raises several factors. This allows the selection of eigenvalues larger than the value of 1, as in the principal component analysis [5].

2.2. Maximum Likelihood Method, Weighted Least Squares, and Generalized Least Squares Method

If the distribution of factors and error terms are assumed to be normal, the maximum likelihood estimation of factor loadings and error variance can be written. When the joint probability functions of the f_j and ε_j are normally distributed, $x_j - \mu = \Lambda f_j + \varepsilon_j$ also has the normal distribution. In this case, the maximum likelihood function can be written. The maximum likelihood function varies between Λ and $\Psi, \Sigma = \Lambda\Lambda' + \Psi$. Estimation of $\hat{\Lambda}$ and Ψ is resolved by providing the following conditions [5-6]:

$$S\hat{\Psi}\hat{\Lambda} = \hat{\Lambda}(I + \hat{\Lambda}'\hat{\Psi}^{-1}\hat{\Lambda}) \quad (11)$$

$$\hat{\Psi} = \text{diag}(S - \hat{\Lambda}\hat{\Lambda}') \quad (12)$$

$$\hat{\Psi} = \text{diag}(S - \hat{\Lambda}\hat{\Lambda}') \quad (13)$$

These equations are resolved iteratively until they converge. For all of the Weighted Least Squares (WLS), Generalized Least Squares (GLS), and Maximum Likelihood (MLE) estimation, gradient algorithms have been developed: those with the Fletcher-Powell and Newton-Raphson methods have been proposed for the MLE [7-8], while the algorithms using the Newton-Raphson and Gauss-Newton methods have been developed for the GLS [9-10] with the gradient algorithms. On the other hand, inequality-based algorithms have been developed for the MLE excluding the GLS. The GLS solution weights the residual matrix by the inverse of the correlation matrix. This has the effect of weighting those variables with low loadings even more than those with high loadings. The WLS solution weights the residual matrix by 1/diagonal of the inverse of the correlation matrix. This has the effect of weighting items with low loadings more than those with high loadings [11].

2.3. Minimum Covariance Determinant (MCD), M and S Estimation Methods

The minimum covariance determinant (MCD) estimator for location and scale can be found using an algorithm implemented by [12]. This algorithm essentially requires step C. In this step, an approximate value for the MCD method is taken, and it is possible to reach another value with a smaller determinant. The MCD algorithm can be summarized as follows: The algorithm aims to find subsets of observations that minimize the determinant of the

covariance matrix calculated for a sample of size n . The MCD method is based on the following assumptions. To this end, h observations are examined and the goal is to find a subset of h observations that minimize the determinant of the covariance matrix. Typically, h is taken as $h \approx [0.75 \cdot n]$, where $[.]$ denotes the integer part. h represents the minimum number of observations without outliers. The mean vector calculated for h observations gives the estimate of the location parameter vector for MCD and the covariance matrix calculated for the same values gives the estimate of the scale parameter for MCD [13].

Another method for finding a robust covariance estimate is the M-estimator. The M-estimator aims to minimize the determinant for the multivariate location and scale parameters by finding the S estimator. The S estimator aims to find the weighted mean and the covariance matrix by iterations [14].

The M-estimator for the estimation of μ and Σ uses the S estimation method, which was first introduced in a publication referred to as [15] and then further studied in [16]. For a data set consisting of p -variable observations $\{x_1, \dots, x_n\}$, the S estimator for (μ, Σ) is obtained from the solution of $\sigma(d_1, \dots, d_n) = \min$. Here, $(x_i - \mu)' \Sigma^{-1} (x_i - \mu)$ and $\det(\Sigma) = 1$. Where $\sigma = \sigma(z)$, is the M-estimator of $z = \{z_1, \dots, z_n\}$. It is defined as the solution of $\frac{1}{n} \sum \rho\left(\frac{z}{\sigma}\right) = \delta$ where ρ is non-decreasing, $\rho(0) = 0$ and $\rho(\infty) = 1$ and $\delta \in (0,1)$. More simply, the S estimator finds the positive definite symmetric matrix Σ that minimizes the μ vector and $\det(\Sigma)$. S-estimators have a close connection with M estimators, and the solution for (μ, Σ) is also the solution of an equation defining a weighted sample mean and a covariance matrix with an M estimator [13].

3. Results

In this study, the results have been presented based on derived data. For this purpose, the error variances, factor loadings, and the covariance matrix of variables were derived from a multivariate normal distribution. It is assumed that each variable has the same variance and that all the covariance between the variables is equal. All factor loadings are assumed equal in size and set to $\lambda_i = 1$. Thus, the data is derived by the following method: [17]

1. For each observation, construct scores for the construct with the desired number of factors derived from a multivariate normal distribution with a mean value μ , where the variance of each factor is σ_f^2 and the covariance between the two scores is γ .

2. Generate an equal number of variables for each factor, where the score s_i for the variable i is $s_i = \mu + e(i)$, where $e(i) \sim N(0, \sigma_e^2)$.

For the simulation study, the number of repetitions was selected 1000, the number of sample sizes was selected $n = 100, 500, 1000$, the number of variables was selected $p = 15, 20, 25, 30$, and the number of the factor was selected $k = 2, 3, 4$. The average of the factors was selected as 5, the variance and covariances of the factors were 1 and 0.5, respectively, and variances of error term 1 were selected. The R program was used for simulation. 7 methods were selected; the MLE (the maximum likelihood estimation), the PCA (the principal components), the WLS (the weighted least squares), the GLS (the generalized least squares) methods, the MCD (minimum covariance determinant), M, and S estimation methods.

Then, 10 outlier observations were added to the dataset and the results were discussed accordingly.

To make comparisons among methods, the method that gives the highest value ratio of the total variance explained and fit values is considered better method. Fit values refer to how well the factor model reproduces the correlation matrix.

Table 1-2 for classical factor analysis shows that the MLE method is better than others for $n=100$, $p=15$, and $k=2$. The GLS method is better than others for $n=500$, $p=15$, and $k=2$. The WLS method is better than others for $n=1000$, $p=15$, and $k=2$. The WLS method is better than others for $n=100$, $p=15$, and $k=3$. The GLS method performs better than others for $n=500$, $p=15$, and $k=3$. The MLE method is better than others for $n=1000$, $p=15$, and $k=3$. The MLE method performs better than others for $n=100$, $p=15$, and $k=4$. The GLS method is better than others for $n=500$, $p=15$, and $k=4$. The WLS method performs better than others for $n=1000$, $p=15$, and $k=4$.

In all classical methods, the ratio of total variance is explained, and the fit values decrease with each increase in sample size $n=100, 500$ and 1000 . When the number of variables increases, the ratio of total variance explained and the fit values increase as the sample size increases $n=100, 500$ and 1000 . In the classical factor analysis, in the cases where $n=100, 500$ and 1000 and $p=15, 20, 25, 30$, it can be seen that the ratio of total variance explained and the fit values increase considering the $k=2$ factor structure. It can be said that MLE, WLS and GLS methods are better than others for classical factor analysis.

Table 1-2 for robust factor analysis shows that the M method is better than others for $n=100$, $p=15$, and $k=2$. The MCD method performs better than others for $n=500$, $p=15$, and $k=2$. The MCD method is better than others for $n=1000$, $p=15$, and $k=2$. The MCD method is better than others for $n=100$, $p=15$, and $k=3$. The MCD method performs better than others for $n=500$, $p=15$, and $k=3$. The MCD method is better

than others for $n=1000$, $p=15$, and $k=3$. The MCD method is better than others for $n=100$, $p=15$, and $k=4$. The MCD method is better than others for $n=500$, $p=15$, and $k=4$. The MCD method is better than others for $n=1000$, $p=15$, and $k=4$.

In all robust methods, the ratio of total variance explained and the fit values decrease with each increase in sample size increases $n=100,500$ and 1000 . When the number of variables increases, the ratio of total variance explained and the fit values increase as the sample size increases $n=100,500$ and 1000 . In the robust factor analysis, it can be said that MCD and M methods are better than others for robust factor analyses.

The classical factor analysis methods outperformed other techniques in terms of the ratio of total variance explained and fit values. This is because the dataset used in the analysis was derived from a multivariate normal distribution and did not contain any outliers.

The classical factor analysis methods are based on the assumption that the data follows a multivariate normal distribution. This assumption is not always met in real data, but it is a good approximation for many datasets. The robust factor analysis methods are designed to be more robust to depart from the multivariate normal distribution, but they are not as efficient as the classical factor analysis methods when the data does follow a multivariate normal distribution.

The results of the study support the theoretical framework of classical factor analysis. Classical factor analysis is best suited for datasets that follow a multivariate normal distribution. However, it is important to note that the classical factor analysis methods may not be as accurate for datasets that do not follow a multivariate normal distribution.

In addition to the assumptions about the distribution of the data, the results of the study also depend on the sample size. The classical factor analysis methods are more accurate for larger sample sizes. This is because the classical factor analysis methods rely on maximum likelihood estimation, which is a more efficient estimator for larger sample sizes.

Overall, the results of the study suggest that the classical factor analysis methods are a good choice for estimating the factor analysis model when the data follows a multivariate normal distribution and the sample size is large. However, it is important to note that the classical factor analysis methods may not be as accurate for datasets that do not follow a multivariate normal distribution.

The analysis of the ratio of total variance explained and fit values indicate that classical factor analysis methods outperform other techniques. This is because the dataset used in the analysis was derived from a multivariate normal distribution and does not contain any outliers. These results support the theoretical framework of classical factor analysis, which is best suited for datasets that follow a multivariate normal distribution.

Table 1. The Ratio of Total Variance Explained for Classical and Robust Factor Analysis (1000 repetitions)

| Sample size | Method | p=15 | | | p=20 | | | p=25 | | | p=30 | | |
|-------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| | | k=2 | k=3 | k=4 | k=2 | k=3 | k=4 | k=2 | k=3 | k=4 | k=2 | k=3 | k=4 |
| 100 | MLE | 0,5084 | 0,5363 | 0,5811 | 0,5110 | 0,5526 | 0,5764 | 0,5544 | 0,5746 | 0,6003 | 0,5754 | 0,5974 | 0,6155 |
| | PCA | 0,5079 | 0,5327 | 0,5601 | 0,5109 | 0,5441 | 0,5672 | 0,5539 | 0,5744 | 0,5924 | 0,5753 | 0,5973 | 0,6153 |
| | WLS | 0,5082 | 0,5366 | 0,5582 | 0,5264 | 0,5474 | 0,5694 | 0,5444 | 0,5747 | 0,5936 | 0,5755 | 0,5974 | 0,6158 |
| | GLS | 0,5065 | 0,5321 | 0,5573 | 0,5162 | 0,5464 | 0,5707 | 0,5785 | 0,5794 | 0,6007 | 0,5783 | 0,6002 | 0,6174 |
| | MCD | 0,5074 | 0,5354 | 0,5801 | 0,5183 | 0,5484 | 0,5744 | 0,5749 | 0,5764 | 0,5998 | 0,5768 | 0,5935 | 0,6168 |
| | M | 0,5078 | 0,5353 | 0,5774 | 0,5194 | 0,5471 | 0,5691 | 0,5634 | 0,5733 | 0,5993 | 0,5773 | 0,5994 | 0,6171 |
| | S | 0,5069 | 0,5323 | 0,5702 | 0,5071 | 0,5413 | 0,5688 | 0,5538 | 0,5744 | 0,5925 | 0,5712 | 0,5923 | 0,6161 |
| | MLE | 0,4914 | 0,5074 | 0,5420 | 0,5027 | 0,5316 | 0,5574 | 0,5125 | 0,5344 | 0,5745 | 0,5356 | 0,5536 | 0,5823 |
| | PCA | 0,4910 | 0,5071 | 0,5415 | 0,5026 | 0,5315 | 0,5564 | 0,5124 | 0,5343 | 0,5741 | 0,5352 | 0,5533 | 0,5819 |
| WLS | 0,4913 | 0,5075 | 0,5430 | 0,5030 | 0,5356 | 0,5573 | 0,5126 | 0,5345 | 0,5744 | 0,5355 | 0,5537 | 0,5830 | |
| GLS | 0,4915 | 0,5077 | 0,5432 | 0,5108 | 0,5436 | 0,5626 | 0,5128 | 0,5352 | 0,5749 | 0,5357 | 0,5539 | 0,5832 | |
| 500 | MCD | 0,4911 | 0,5073 | 0,5364 | 0,5092 | 0,5315 | 0,5569 | 0,5117 | 0,5337 | 0,5742 | 0,5325 | 0,5515 | 0,5811 |
| | M | 0,4910 | 0,5063 | 0,5360 | 0,5088 | 0,5311 | 0,5560 | 0,5110 | 0,5332 | 0,5731 | 0,5327 | 0,5519 | 0,5817 |
| | S | 0,4902 | 0,5045 | 0,5332 | 0,5036 | 0,5304 | 0,5547 | 0,5095 | 0,5330 | 0,5711 | 0,5306 | 0,5502 | 0,5800 |
| | MLE | 0,4823 | 0,4936 | 0,5211 | 0,4918 | 0,5148 | 0,5448 | 0,5085 | 0,5247 | 0,5539 | 0,5215 | 0,5399 | 0,5712 |
| | PCA | 0,4816 | 0,4928 | 0,5200 | 0,4911 | 0,5144 | 0,5432 | 0,5082 | 0,5244 | 0,5533 | 0,5208 | 0,5398 | 0,5705 |
| | WLS | 0,4826 | 0,4944 | 0,5223 | 0,4927 | 0,5156 | 0,5449 | 0,5085 | 0,5248 | 0,5542 | 0,5218 | 0,5404 | 0,5726 |
| | GLS | 0,4821 | 0,4934 | 0,5207 | 0,4936 | 0,5168 | 0,5464 | 0,5088 | 0,5253 | 0,5549 | 0,5226 | 0,5411 | 0,5733 |
| | MCD | 0,4805 | 0,4918 | 0,5198 | 0,4892 | 0,5140 | 0,5428 | 0,5066 | 0,5231 | 0,5538 | 0,5195 | 0,5384 | 0,5702 |
| | M | 0,4800 | 0,4914 | 0,5195 | 0,4889 | 0,5137 | 0,5422 | 0,5061 | 0,5220 | 0,5521 | 0,5192 | 0,5380 | 0,5700 |
| S | 0,4791 | 0,4904 | 0,5185 | 0,4877 | 0,5130 | 0,5406 | 0,5038 | 0,5222 | 0,5510 | 0,5177 | 0,5361 | 0,5690 | |

Table 2. The Fit Values for Classical and Robust Factor Analysis (1000 repetitions)

| Sample size | Method | p=15 | | | p=20 | | | p=25 | | | p=30 | | |
|-------------|--------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| | | k=2 | k=3 | k=4 | k=2 | k=3 | k=4 | k=2 | k=3 | k=4 | k=2 | k=3 | k=4 |
| 100 | MLE | 0,9267 | 0,9359 | 0,9446 | 0,9484 | 0,9569 | 0,9614 | 0,9636 | 0,9727 | 0,9754 | 0,9764 | 0,9794 | 0,9813 |
| | PCA | 0,9265 | 0,9348 | 0,9432 | 0,9482 | 0,9551 | 0,9610 | 0,9626 | 0,9726 | 0,9744 | 0,9763 | 0,9792 | 0,9811 |
| | WLS | 0,9265 | 0,9361 | 0,9436 | 0,9496 | 0,9558 | 0,9612 | 0,9616 | 0,9727 | 0,9753 | 0,9765 | 0,9795 | 0,9817 |
| | GLS | 0,9261 | 0,9345 | 0,9427 | 0,9488 | 0,9556 | 0,9613 | 0,9704 | 0,9733 | 0,9768 | 0,9770 | 0,9798 | 0,9822 |
| | MCD | 0,9262 | 0,9354 | 0,9445 | 0,9490 | 0,9564 | 0,9612 | 0,9701 | 0,9732 | 0,9753 | 0,9767 | 0,9794 | 0,9819 |
| | M | 0,9263 | 0,9353 | 0,9442 | 0,9492 | 0,9562 | 0,9610 | 0,9675 | 0,9731 | 0,9751 | 0,9768 | 0,9795 | 0,9820 |
| | S | 0,9261 | 0,9348 | 0,9439 | 0,9473 | 0,9543 | 0,9610 | 0,9625 | 0,9729 | 0,9743 | 0,9759 | 0,9788 | 0,9813 |
| 500 | MLE | 0,9168 | 0,9308 | 0,9426 | 0,9337 | 0,9458 | 0,9481 | 0,9554 | 0,9623 | 0,9718 | 0,9761 | 0,9780 | 0,9788 |
| | PCA | 0,9165 | 0,9305 | 0,9427 | 0,9337 | 0,9456 | 0,9467 | 0,9551 | 0,9622 | 0,9714 | 0,9757 | 0,9777 | 0,9786 |
| | WLS | 0,9167 | 0,9310 | 0,9431 | 0,9340 | 0,9462 | 0,9476 | 0,9552 | 0,9624 | 0,9716 | 0,9759 | 0,9782 | 0,9793 |
| | GLS | 0,9170 | 0,9313 | 0,9435 | 0,9351 | 0,9465 | 0,9485 | 0,9558 | 0,9631 | 0,9726 | 0,9764 | 0,9784 | 0,9798 |
| | MCD | 0,9164 | 0,9262 | 0,9388 | 0,9347 | 0,9455 | 0,9470 | 0,9540 | 0,9611 | 0,9715 | 0,9741 | 0,9764 | 0,9782 |
| | M | 0,9162 | 0,9261 | 0,9385 | 0,9343 | 0,9453 | 0,9468 | 0,9535 | 0,9608 | 0,9706 | 0,9744 | 0,9766 | 0,9784 |
| | S | 0,9160 | 0,9221 | 0,9354 | 0,9335 | 0,9446 | 0,9456 | 0,9526 | 0,9605 | 0,9697 | 0,9730 | 0,9751 | 0,9777 |
| 1000 | MLE | 0,9071 | 0,9243 | 0,9310 | 0,9233 | 0,9370 | 0,9453 | 0,9485 | 0,9516 | 0,9689 | 0,9724 | 0,9745 | 0,9771 |
| | PCA | 0,9066 | 0,9239 | 0,9300 | 0,9211 | 0,9367 | 0,9442 | 0,9483 | 0,9513 | 0,9683 | 0,9719 | 0,9742 | 0,9762 |
| | WLS | 0,9077 | 0,9248 | 0,9324 | 0,9244 | 0,9376 | 0,9455 | 0,9485 | 0,9517 | 0,9692 | 0,9728 | 0,9757 | 0,9776 |
| | GLS | 0,9072 | 0,9244 | 0,9320 | 0,9257 | 0,9379 | 0,9463 | 0,9489 | 0,9524 | 0,9698 | 0,9731 | 0,9759 | 0,9788 |
| | MCD | 0,9055 | 0,9210 | 0,9295 | 0,9204 | 0,9361 | 0,9431 | 0,9469 | 0,9505 | 0,9677 | 0,9604 | 0,9737 | 0,9755 |
| | M | 0,9053 | 0,9207 | 0,9292 | 0,9201 | 0,9357 | 0,9427 | 0,9466 | 0,9502 | 0,9671 | 0,9601 | 0,9733 | 0,9752 |
| | S | 0,9043 | 0,9201 | 0,9281 | 0,9191 | 0,9349 | 0,9413 | 0,9454 | 0,9493 | 0,9654 | 0,9585 | 0,9722 | 0,9746 |

Table 3-4 for classical factor analysis with 10 outliers shows that the MLE method is better than others for n=100, p=15, and k=2. The MLE method performs better than others for n=500, p=15, and k=2. The MLE method is better than others for n=1000, p=15, and k=2. The MLE method is better than others for n=100, p=15, and k=3. The MLE method performs better than others for n=500, p=15, and k=3. The MLE method is better than others for n=1000, p=15, and k=3. The GLS method is better than others for n=100, p=15, and k=4. The GLS method performs better than others for n=500, p=15, and k=4. The MLE method is better than others for n=1000, p=15, and k=4.

Considering all classical methods, the ratio of total variance explained and the fit values decrease with each increase in sample size n=100,500 and 1000. When the number of variables increases, the ratio of total variance explained and the fit values increase as the sample size increases n=100,500 and 1000. It can be said that MLE and GLS methods are better than others for classical factor analysis.

Table 3-4 for robust factor analysis with 10 outliers shows that the M method is better than others for n=100, p=15, and k=2. The MCD method performs better than others for n=500, p=15, and k=2. The

MCD method is better than others for n=1000, p=15, and k=2. The MCD method is better than others for n=100, p=15, and k=3. The MCD method performs better than others for n=500, p=15, and k=3. The MCD method is better than others for n=1000, p=15, and k=3. The MCD method is better than others for n=100, p=15, and k=4. The MCD method performs better than others for n=500, p=15, and k=4. The MCD method is better than others for n=1000, p=15, and k=4.

When considering all robust factor analysis methods, it can be seen that the ratio of total variance explained and fit values decreases as the sample size increases n=100, 500 and 1000. However, as the number of variables increases, the ratio of total variance explained and fit values increases for each sample size n=100, 500 and 1000. This suggests that the MCD and M methods are better than others for robust factor analysis. The analysis of the ratio of total variance explained and fit values shows that robust factor analysis methods outperform classical methods. This is particularly important since the dataset used in the analysis includes 10 outliers, indicating that robust factor analysis is a more suitable approach for such data, as supported by theoretical expectations.

Table 3. The Ratio of Total Variance Explained for Classical and Robust Factor Analysis with 10 outliers (1000 repetitions)

| Sample Size | Method | p=15 | | | p=20 | | | p=25 | | | p=30 | | | |
|-------------|--------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| | | k=2 | k=3 | k=4 | k=2 | k=3 | k=4 | k=2 | k=3 | k=4 | k=2 | k=3 | k=4 | |
| 100 | MLE | 0,4069 | 0,4793 | 0,4993 | 0,4212 | 0,4936 | 0,5222 | 0,4822 | 0,5064 | 0,5302 | 0,5227 | 0,5469 | 0,5763 | |
| | PCA | 0,4050 | 0,4785 | 0,4973 | 0,4202 | 0,4911 | 0,5115 | 0,4716 | 0,5052 | 0,5283 | 0,5195 | 0,5324 | 0,5685 | |
| | WLS | 0,3794 | 0,4461 | 0,5211 | 0,4205 | 0,4747 | 0,5068 | 0,4723 | 0,5093 | 0,5468 | 0,5214 | 0,5386 | 0,5758 | |
| | GLS | 0,3905 | 0,4565 | 0,5228 | 0,4152 | 0,4651 | 0,5043 | 0,4727 | 0,5061 | 0,5465 | 0,5022 | 0,5345 | 0,5694 | |
| | MCD | 0,5153 | 0,5712 | 0,6046 | 0,5498 | 0,5823 | 0,6186 | 0,5985 | 0,6218 | 0,6466 | 0,5792 | 0,6137 | 0,6237 | |
| | M | 0,5067 | 0,5517 | 0,6003 | 0,5527 | 0,5911 | 0,6225 | 0,6013 | 0,6234 | 0,6532 | 0,5764 | 0,6131 | 0,6231 | |
| | S | 0,5134 | 0,5491 | 0,5841 | 0,5234 | 0,5579 | 0,5702 | 0,5642 | 0,5829 | 0,6091 | 0,5666 | 0,5886 | 0,6083 | |
| | 500 | MLE | 0,4005 | 0,4538 | 0,4842 | 0,4185 | 0,4757 | 0,5151 | 0,4470 | 0,4823 | 0,5276 | 0,4681 | 0,5126 | 0,5688 |
| | | PCA | 0,3921 | 0,4529 | 0,5001 | 0,4171 | 0,4744 | 0,5088 | 0,4464 | 0,4814 | 0,5244 | 0,4606 | 0,5086 | 0,5653 |
| WLS | | 0,3736 | 0,4432 | 0,5012 | 0,4033 | 0,4601 | 0,5065 | 0,4342 | 0,4820 | 0,5253 | 0,4623 | 0,5117 | 0,5675 | |
| GLS | | 0,3882 | 0,4537 | 0,5119 | 0,4029 | 0,4623 | 0,5142 | 0,4355 | 0,4813 | 0,5255 | 0,4642 | 0,5094 | 0,5661 | |
| MCD | | 0,5116 | 0,5394 | 0,5507 | 0,5482 | 0,5743 | 0,6035 | 0,5662 | 0,5889 | 0,6226 | 0,5735 | 0,6076 | 0,6233 | |
| M | | 0,4911 | 0,5275 | 0,5464 | 0,5473 | 0,5712 | 0,6004 | 0,5636 | 0,5826 | 0,6213 | 0,5714 | 0,6062 | 0,6228 | |
| S | | 0,4923 | 0,5283 | 0,5421 | 0,5034 | 0,5334 | 0,5587 | 0,5427 | 0,5522 | 0,5746 | 0,5520 | 0,5774 | 0,5956 | |
| 1000 | | MLE | 0,3996 | 0,4382 | 0,4768 | 0,4039 | 0,4565 | 0,4888 | 0,4236 | 0,4751 | 0,5077 | 0,4543 | 0,4974 | 0,5228 |
| | | PCA | 0,3723 | 0,4344 | 0,4731 | 0,4005 | 0,4514 | 0,4849 | 0,4206 | 0,4722 | 0,5038 | 0,4514 | 0,4927 | 0,5201 |
| | WLS | 0,3877 | 0,4327 | 0,4742 | 0,4024 | 0,4543 | 0,5858 | 0,4221 | 0,4737 | 0,5065 | 0,4525 | 0,4951 | 0,5216 | |
| | GLS | 0,3898 | 0,4366 | 0,4753 | 0,4013 | 0,4552 | 0,4877 | 0,4227 | 0,4740 | 0,5071 | 0,4531 | 0,4962 | 0,5220 | |
| | MCD | 0,4976 | 0,5226 | 0,5362 | 0,5222 | 0,5561 | 0,5744 | 0,5421 | 0,5511 | 0,5672 | 0,5517 | 0,5688 | 0,5844 | |
| | M | 0,4897 | 0,5199 | 0,5347 | 0,5227 | 0,5542 | 0,5727 | 0,5416 | 0,5507 | 0,5666 | 0,5513 | 0,5683 | 0,5837 | |
| | S | 0,4888 | 0,5195 | 0,5322 | 0,5029 | 0,5301 | 0,5723 | 0,5401 | 0,5500 | 0,5643 | 0,5507 | 0,5665 | 0,5807 | |

Table 4. The Fit Values for Classical and Robust Factor Analysis with 10 outliers (1000 repetitions)

| Sample size | Method | p=15 | | | p=20 | | | p=25 | | | p=30 | | |
|-------------|--------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| | | k=2 | k=3 | k=4 | k=2 | k=3 | k=4 | k=2 | k=3 | k=4 | k=2 | k=3 | k=4 |
| 100 | MLE | 0,8122 | 0,8479 | 0,8618 | 0,8391 | 0,9169 | 0,9382 | 0,9323 | 0,9381 | 0,9493 | 0,9543 | 0,9725 | 0,9788 |
| | PCA | 0,8113 | 0,8478 | 0,8614 | 0,8380 | 0,9154 | 0,9363 | 0,9311 | 0,9372 | 0,9481 | 0,9536 | 0,9683 | 0,9775 |
| | OLS | 0,8116 | 0,8477 | 0,8611 | 0,8377 | 0,9143 | 0,9311 | 0,9317 | 0,9375 | 0,9489 | 0,9540 | 0,9721 | 0,9780 |
| | WLS | 0,7711 | 0,8012 | 0,8828 | 0,8385 | 0,9137 | 0,9359 | 0,9311 | 0,9386 | 0,9504 | 0,9551 | 0,9704 | 0,9783 |
| | GLS | 0,8019 | 0,8424 | 0,8855 | 0,8362 | 0,9132 | 0,9343 | 0,9319 | 0,9377 | 0,9500 | 0,9528 | 0,9697 | 0,9778 |
| | MCD | 0,9282 | 0,9617 | 0,9777 | 0,9562 | 0,9769 | 0,9821 | 0,9794 | 0,9824 | 0,9902 | 0,9821 | 0,9832 | 0,9953 |
| | M | 0,9273 | 0,9608 | 0,9769 | 0,9623 | 0,9782 | 0,9834 | 0,9816 | 0,9835 | 0,9914 | 0,9816 | 0,9826 | 0,9947 |
| | S | 0,9265 | 0,9492 | 0,9734 | 0,9518 | 0,9646 | 0,9703 | 0,9645 | 0,9699 | 0,9816 | 0,9769 | 0,9787 | 0,9901 |
| | 500 | MLE | 0,8105 | 0,8459 | 0,8520 | 0,8362 | 0,8944 | 0,9227 | 0,8611 | 0,9005 | 0,9352 | 0,9446 | 0,9623 |
| PCA | | 0,8100 | 0,8453 | 0,8532 | 0,8351 | 0,8921 | 0,9209 | 0,8607 | 0,8994 | 0,9340 | 0,9403 | 0,9597 | 0,9688 |
| OLS | | 0,8102 | 0,8451 | 0,8556 | 0,8347 | 0,8907 | 0,9213 | 0,8603 | 0,8998 | 0,9343 | 0,9406 | 0,9604 | 0,9694 |
| WLS | | 0,8075 | 0,8454 | 0,8544 | 0,8334 | 0,8884 | 0,9204 | 0,8593 | 0,9002 | 0,9345 | 0,9411 | 0,9616 | 0,9706 |
| GLS | | 0,8084 | 0,8457 | 0,8568 | 0,8326 | 0,8893 | 0,9222 | 0,8586 | 0,8996 | 0,9349 | 0,9425 | 0,9601 | 0,9691 |
| MCD | | 0,9244 | 0,9584 | 0,9612 | 0,9427 | 0,9652 | 0,9781 | 0,9587 | 0,9743 | 0,9815 | 0,9758 | 0,9781 | 0,9836 |
| M | | 0,9201 | 0,9567 | 0,9609 | 0,9412 | 0,9623 | 0,9723 | 0,9576 | 0,9734 | 0,9806 | 0,9749 | 0,9777 | 0,9822 |
| S | | 0,9203 | 0,9576 | 0,9601 | 0,9356 | 0,9588 | 0,9675 | 0,9531 | 0,9671 | 0,9703 | 0,9736 | 0,9756 | 0,9778 |
| 1000 | | MLE | 0,8014 | 0,8354 | 0,8423 | 0,8267 | 0,8846 | 0,9124 | 0,8515 | 0,8907 | 0,9251 | 0,9348 | 0,9528 |
| | PCA | 0,7962 | 0,8323 | 0,8402 | 0,8211 | 0,8820 | 0,9105 | 0,8477 | 0,8884 | 0,9237 | 0,9308 | 0,9499 | 0,9570 |
| | OLS | 0,8003 | 0,8344 | 0,8409 | 0,8236 | 0,8827 | 0,9112 | 0,8483 | 0,8890 | 0,9241 | 0,9316 | 0,9508 | 0,9581 |
| | WLS | 0,7978 | 0,8335 | 0,8412 | 0,8245 | 0,8834 | 0,9117 | 0,8491 | 0,8892 | 0,9243 | 0,9322 | 0,9518 | 0,9588 |
| | GLS | 0,7984 | 0,8351 | 0,8415 | 0,8225 | 0,8837 | 0,9121 | 0,8497 | 0,8898 | 0,9246 | 0,9329 | 0,9523 | 0,9594 |
| | MCD | 0,9143 | 0,9481 | 0,9510 | 0,9324 | 0,9556 | 0,9680 | 0,9488 | 0,9645 | 0,9717 | 0,9666 | 0,9757 | 0,9795 |
| | M | 0,9135 | 0,9476 | 0,9504 | 0,9317 | 0,9547 | 0,9675 | 0,9479 | 0,9636 | 0,9708 | 0,9659 | 0,9753 | 0,9792 |
| | S | 0,9126 | 0,9465 | 0,9490 | 0,9251 | 0,9486 | 0,9572 | 0,9410 | 0,9597 | 0,9634 | 0,9651 | 0,9742 | 0,9786 |

4. Real-Life Application

Athletics is one of the most widely followed sports events worldwide. Countries prepare for competitions throughout the year. This study used data obtained before competitions on a country basis for female athletics athletes. In this dataset,

100 m (s), 200 m (s), 400 m (s), 800 m (min), 1500 m (min), 3000 m (min), and marathon (min) values were taken as independent variables. The analysis used data from 55 countries. The data was obtained from <https://towardsdatascience.com/factor-analysis-on-women-track-records-data-with-r-and-python-6731a73cd2e0> [18].

Table 5 shows the results of evaluating MLE and GLS techniques for classic factor analysis. The table shows that the ratio of total variance explained and the fit values are higher for the MLE method than for the GLS method. This suggests that the MLE method is a better choice for estimating the factor analysis model. However, the table also shows that the GLS method produces similar results to the MLE method. This suggests that the GLS method is a good choice for estimating the factor analysis model when the MLE method is not available or when the data does not meet the assumptions of the MLE method.

Table 5 also shows that there is some uncertainty regarding which factor the 400m variable belongs to when the GLS method is used. This is because the 400m variable has high loadings on both factors. This suggests that the 400m variable is a measure of both speed and endurance.

The results of the study suggest that the MLE method is a better choice for estimating the factor analysis model. However, the GLS method is a good choice for estimating the factor analysis model when the MLE method is not available or when the data does not meet the assumptions of the MLE method.

Table 5. The results of classic factor analysis (CFA) for athletics data (MLE and GLS)

| | CFA (GLS) | | CFA (MLE) | |
|-----------------|--------------|--------------|--------------|-------|
| | F1 | F2 | F1 | F2 |
| 100 m | | 0,803 | | 0,811 |
| 200 m | | 0,773 | | 0,760 |
| 400 m | 0,556 | 0,558 | 0,623 | |
| 800 m | 0,899 | | 0,910 | |
| 1500 m | 0,564 | | 0,533 | |
| 3000 m | 0,691 | | 0,669 | |
| Maraton | 0,666 | | 0,634 | |
| Var. Exp. | 0,388 | 0,332 | 0,389 | 0,332 |
| Total Var. Exp. | 0,720 | | 0,721 | |
| Fit Value | 0,971 | | 0,972 | |

The graphs in Figure 1 show the distribution of the data for each of the seven variables. The number of outliers detected in the dataset is 17.

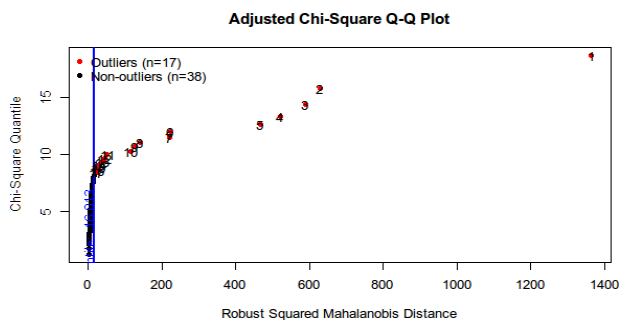


Figure 1. The Adj. Chi-Square Graph for Athletics Data

Based on the results of the robust factor analysis, a 2-factor structure was used and the analysis was continued using the two best methods, MCD and M methods. The results of this analysis are presented in Table 6. The results of the study suggest that the M method is a better choice for factor analysis in this situation. The M method is a robust factor analysis method that is less sensitive to outliers. This is important because the dataset contains outliers. The results of the study also suggest that the 400m variable belongs to the second factor. This is consistent with the theoretical framework of factor analysis. The 400m variable is a measure of both speed and endurance. It is therefore likely to be associated with both factors.

The results of the study can be summarized as follows:

- i. The M method is a better choice for factor analysis in this situation.
- ii. The 400m variable belongs to the second factor.
- iii. The 100m, 200m, and 400m variables belong to the short-distance running factor (F2).
- iv. The 800m, 1500m, 3000m, and marathon variables belong to the middle and long-distance running factor (F1).

The results of the study can be used to improve athletic training programs and to help athletes improve their performance. The results suggest that athletes who want to improve their performance in short-distance running should focus on training for speed. Athletes who want to improve their performance in middle and long-distance running should focus on training for endurance.

The results of the study are also interesting from a theoretical perspective. This is an important finding because it suggests that the M method can be used to analyze data that contains outliers.

Table 6. The results of robust factor analysis (RFA) for athletics data (MCD and M)

| | RFA (MCD) | | RFA (M) | |
|-----------------|-----------|--------------|--------------|--------------|
| | F1 | F2 | F1 | F2 |
| 100 m | | 0,906 | | 0,895 |
| 200 m | | 0,902 | | 0,905 |
| 400 m | | 0,703 | | 0,752 |
| 800 m | 0,844 | | 0,833 | |
| 1500 m | 0,936 | | 0,916 | |
| 3000 m | 0,888 | | 0,872 | |
| Maraton | 0,656 | | 0,733 | |
| Var. Exp. | 0,491 | 0,388 | 0,494 | 0,418 |
| Total Var. Exp. | 0,879 | | 0,912 | |
| Fit Value | 0,972 | | 0,973 | |

5. Discussion and Conclusion

Factor analysis is a simulation study that is used to test the effectiveness of this method and to determine how accurate the factor analysis results are. These studies are also used to evaluate how factors such as different number of factors, sample sizes or distribution of sample affect the results of factor analysis. It is the results of these studies that help to determine the most suitable conditions for the use of factor analysis methods.

In this study, classical and robust factor analysis methods, and simulation studies carried out in different number of variables, number of factors and sample sizes were evaluated. The study provides valuable insights into the performance of factor analysis methods. The results of the study can be used to help researchers choose the most suitable factor analysis method for their data.

In general, when classic factor analysis is applied to a dataset that is derived from a multivariate normal distribution, the best methods are Maximum Likelihood Estimation (MLE), Weighted Least Squares (WLS), and Generalized Least Squares (GLS). Overall, classic factor analysis has been found to produce better results, likely because the data used in this analysis is derived from a multivariate normal distribution.

On the other hand, the covariance matrix is easily affected by outliers, and the eigenvalue and eigenvector, which are calculated according to the covariance matrix, are sensitive to outliers too, thus leading to deviation in the results.

This study investigated when robust covariance matrix is used that reduces the influence of outliers, the eigenvalue and eigenvector calculated by that are less sensitive to outliers, thus affecting robust factor analysis results.

When robust factor analysis techniques are applied to datasets that contain outliers, they tend to produce better results compared to other techniques. This is because robust methods, such as M and MCD, are designed to handle outliers more effectively and result in a higher the ratio of total variance explained and better-fit values. In situations where outliers are present, using robust factor analysis techniques is likely to produce better results.

Finally, this study investigated robust estimation methods as alternatives to classical estimation. The results of the simulation study show that such methods are available for factor analysis, and give clear evidence that all robust estimation methods under investigation have a high efficiency by outliers. On the contrary, classical factor analysis is

strongly influenced by the uncontrolled effects of outliers which makes them often totally unreliable. Especially MCD and M methods turn out to be very appealing estimation methods for robust factor analysis.

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] Pison, G., Rousseeuw, P. J., Filzmoser, P., Croux, C. 2003. Robust Factor Analysis. *Journal of Multivariate Analysis*, 84(1), 145-172.
- [2] Er, F., Sönmez, H. 2006. Öğrenci Başarı Notları İçin Robust Faktör Analizi Uygulaması. *Anadolu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 7(1), 149-155.
- [3] Browne, M. W., Shapiro, A. 1988. Robustness of normal theory methods in the analysis of linear latent variable models. *British Journal of Mathematical and Statistical Psychology*, 41, 193-208.
- [4] Mooijaart, A., Bentler, P. M. 1991. Robustness of normal theory statistics in structural equation models. *Statistica Neerlandica*, 45, 159-171.
- [5] Johnson, R. A., Wichern, D.W. 2007. *Applied Multivariate Statistical Analysis*. Fifth Edition, Pearson Education Int., New Jersey.
- [6] Rencher, A. C. 2002. *Methods of Multivariate Analysis*. Second Edition, John Wiley & Sons, Inc.
- [7] Jennrich, R. I., Robinson, S.M. 1969. A Newton-Raphson Algorithm for Maximum Likelihood Factor Analysis, *Psychometrika*, 34, 111 -123.
- [8] Jöreskog, K. G. 1967. Some Contributions to Maximum Likelihood Factor Analysis. *Psychometrika*, 32, 443-482.
- [9] Jöreskog, K. G., Goldberger, A.S. 1972. Factor Analysis by Generalized Least Squares. *Psychometrika*, 37, 243.
- [10] Lee, S. Y. 1978. The Gauss-Newton Algorithm for the Weighted Least Squares Factor Analysis. *Journal of the Royal Statistical Society: Series D (The Statistician)*, 27, 103-114.

- [11] Revelle, W. 2022. How To: Use the psych package for Factor Analysis and data reduction. R package, R Core Team, 1-95.
- [12] Rousseeuw, P. J., Van Driessen, K. 1999. A fast algorithm for the minimum covariance determinant estimator. *Technometrics*, 41(3), 212-223.
- [13] Todorov, V., Filzmoser, P. 2009. An Object-Oriented Framework for Robust Multivariate Analysis. *Journal of Statistical Software*, 32(3), 2-47.
- [14] Fan, J., Wang, W., Zhong, Y. 2016. Robust Covariance Estimation for Approximate Factor Models. *arXiv:1602.00719v1*, 1-31.
- [15] Davies, P. L. 1987. Asymptotic Behavior of S-Estimators of Multivariate Location Parameters and Dispersion Matrices. *The Annals of Statistics*, 15, 1269-1292.
- [16] Lopuhaa, H. P. 1989. On the Relation Between S-Estimators and M-Estimators of Multivariate Location and Covariance. *The Annals of Statistics*, 17, 1662-1683.
- [17] Törmanen, J. 2012. Systems intelligence inventory. Student Project, Master's thesis, Aalto University School of Science.
- [18] Pramodithha, R. 2023. Web Page Access Adress:
<https://towardsdatascience.com/factor-analysis-on-women-track-records-data-with-r-and-python-6731a73cd2e0>

The Greatest Common Divisors and The Least Common Multiples in Neutrosophic Integers

Yılmaz ÇEVEN¹, Özlem ÇETİN²

¹Süleyman Demirel University, Faculty of Arts and Sciences, Department of Mathematics, 32260, Isparta, TURKEY

²Süleyman Demirel University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, 32260, Isparta, TURKEY

(Alınış / Received: 15.02.2023, Kabul / Accepted: 02.10.2023, Online Yayınlanma / Published Online: 25.12.2023)

Keywords

Neutrosophic integers,
gcd of neutrosophic integers,
lcm of neutrosophic integers,
Euclid's Algorithm for
neutrosophic integers,
Bezout's Theorem for
neutrosophic integers

Abstract: As a continuation of previous studies, we give some results about the neutrosophic integers theory. We first stated that the neutrosophic real numbers are not closed according to the division operation. Later, we gave divisibility properties of neutrosophic integers. We have given properties such as the greatest common divisor for two neutrosophic integers being positive and unique. Then, we gave the Euclid's Theorem, Bezout's Theorem for neutrosophic integers set $Z[I]$. It is known that these concepts are important for number theory in integers set Z . Finally, it is defined the least common multiple for neutrosophic integers. Finally, a theorem is given which enables one to easily find the least common multiple of neutrosophic integers and after a conclusion about the sign of the product of two neutrosophic integers, a theorem is given that shows the relationship of between the greatest common divisor with the least common multiple.

Nötrosifik Tamsayılarda En Büyük Ortak Bölen ve En Küçük Ortak Kat

Anahtar Kelimeler

Nötrosifik tam sayılar,
nötrosifik tamsayılarda
ebob,
nötrosifik tam sayılarda
ekok,
nötrosifik tam sayılar için
Euclid Algoritması,
nötrosifik tam sayılar için
Bezout Teoremi

Öz: Bu makalede önceki çalışmaların devamı olarak, nötrosifik tam sayılar teorisi ile ilgili bazı sonuçlar verilecektir. İlk olarak nötrosifik reel sayıların bölme işlemi altında kapalı olmadığı ifade edilmiştir. Daha sonra nötrosifik tam sayıların bölünebilme özellikleri verilmiş, iki nötrosifik tam sayının en büyük ortak böleninin pozitif ve tek olduğu gösterilmiştir. Sayılar teorisi kuramında tam sayılar için verilen Euclid ve Bezout teoremlerinin nötrosifik tam sayılar için karşılığı incelenmiştir. Son olarak iki nötrosifik tam sayının en küçük ortak katı tanımlanmış ve bu sayının nasıl bulunacağı ile ilgili sonuçlar verilmiştir. İki nötrosifik tam sayının çarpımının işareti hakkındaki incelemeden sonra en küçük ortak kat ile en büyük ortak bölen arasındaki ilişki verilmiştir.

1. Introduction

Neutrosophy is a concept that presented by F. Smarandache to deal with indeterminacy in nature and science [1]. This concept has many applications in various fields and many studies have been done in this field. The first studies in which algebraic structures were applied in neutrosophy theory is given by Kandasamy and Smarandache in [2,3]. One of the fields in which neutrosophy theory is applied is neutrosophic number theory. Neutrosophic number theory is the science that studies the properties of neutrosophic integers. Neutrosophic number theory was introduced in [4]. Also, in [5] and [6], the authors examined some properties of neutrosophic integers. Studies on neutrosophic integers have inspired many

articles. For some of these, see [7-12]. The source of inspiration for our work is the studies in [13].

In this paper, firstly, it is given divisibility properties of neutrosophic integers. Then we have given some properties on the greatest of common divisor (gcd) of neutrosophic integers, Euclid's Theorem, Bezout's Theorem. Finally, it is defined the least of common multiple (lcm) of neutrosophic integers and given a result that shows the relationship of between the gcd and the lcm.

2. Material and Method

A well-known definition and a theorem of integers are given below.

Definition 2.1 Let $u, v \in Z$ and $u \neq 0$. It is called u divides v iff $v = uk$ for any integer k . It is denoted by $u|v$.

Theorem 2.2 Let $\alpha, \beta, \delta \in Z$. Then

- i) for $\alpha \in Z - \{0\}, \alpha|\alpha$,
- ii) for $\alpha \in Z - \{0\}, \alpha|0$,
- iii) for any $x \in Z$, if $\alpha|\beta$, then $\alpha|\beta x$,
- iv) if $\alpha|\beta$ and $\beta|\delta$, then $\alpha|\delta$,
- v) for all $x, y \in Z$, if $\alpha|\beta$ and $\alpha|\delta$, then $\alpha|\beta x + \delta y$,
- vi) if $\alpha x|\beta x$ for $x \neq 0$, then $\alpha|\beta$,
- vii) if $\alpha|\beta$ and $\beta \neq 0$, then $|\alpha| \leq |\beta|$,
- viii) if $\alpha|\beta$ and $\alpha \neq 0$, then $\frac{\beta}{\alpha}|\beta$,
- ix) if $\alpha|\beta$ and $\beta|\alpha$, then $\alpha = \pm\beta$.

The set $Z[I] = \{u + vI : u, v \in Z, I^2 = I\}$ is known as the ring of the neutrosophic integers and I is called an indeterminate element.

Definition 2.3 [4] For any $\alpha, \beta \in Z[I]$, we say that $\alpha|\beta$ if there exists a $k \in Z[I]$ such that $\beta = k\alpha$.

Theorem 2.4 [6] Let $\alpha = \alpha_1 + \alpha_2 I$ and $\beta = \beta_1 + \beta_2 I$ be any two elements in $Z[I]$. In this case, $\alpha|\beta$ iff $\alpha_1|\beta_1$ and $\alpha_1 + \alpha_2|\beta_1 + \beta_2$.

Definition 2.5 [6] Let $a + bI \in Z[I]$. $a + bI$ is a positive neutrosophic number if and only if $a > 0$, $a + bI > 0$.

Definition 2.6 [4] Let $\alpha = \alpha_1 + \alpha_2 I \in Z[I]$. The conjugate and norm for α is defined by

$$\bar{\alpha} = \alpha_1 + \alpha_2 - \alpha_2 I$$

and

$$N(\alpha) = \alpha \cdot \bar{\alpha} = \alpha_1(\alpha_1 + \alpha_2)$$

respectively.

Theorem 2.7 [4] Let $\alpha, \beta \in Z[I]$. Then

$$N(\alpha\beta) = N(\alpha)N(\beta).$$

Proposition 2.8 [4] The elements $\pm 1, \pm(1 - 2I)$ of $Z[I]$ have inverses in $Z[I]$.

Definition 2.9 [6] We say that $\alpha = \gcd(\beta, \gamma)$ if $\alpha|\beta$ and $\alpha|\gamma$ and for each divisor $\delta|\beta$ and $\delta|\gamma$, then $\delta|\alpha$. Also if $\gcd(\beta, \gamma) = 1$, then it is called that β and γ are relatively prime in $Z[I]$.

Theorem 2.10 [6, Theorem 3.7] Let $\alpha = \alpha_1 + \alpha_2 I$ and $\beta = \beta_1 + \beta_2 I \in Z[I]$. Then $m + nI = \gcd(\alpha, \beta)$ if $m = \gcd(\alpha_1, \beta_1)$ and $m + n = \gcd(\alpha_1 + \beta_1, \alpha_2 + \beta_2)$.

Theorem 2.11 [4] (Division Theorem) Let x and $y \in Z[I]$ and $N(y) \neq 0$. In this case, there exist $b, r \in Z[I]$ such that $x = by + r$, where $|N(r)| < |N(y)|$.

3. Results

The set $R[I] = \{u + vI : u, v \in R\}$ are not closed under

the division. For example; $\frac{4+I}{1-2I} = 4 - 9I \in R[I]$ but there do not exist any $a + bI \in R[I]$ such that $\frac{1+3I}{2I} = a + bI$. In the following, we will answer the question "for which neutrosophic real numbers division operation is closed".

Definition 3.1 Let $\alpha + \beta I$ and $\gamma + \delta I$ be two neutrosophic real numbers and $\alpha + \beta I \neq 0$. If $\gamma + \delta I = (k + tI) \cdot (\alpha + \beta I)$ for any $k + tI \in R[I]$, then we say $\alpha + \beta I$ divides $\gamma + \delta I$ and denote $\alpha + \beta I | \gamma + \delta I$. In this case $\frac{\gamma + \delta I}{\alpha + \beta I} = k + tI \in R[I]$.

Theorem 3.2 Let $\alpha, \beta, \gamma \in Z[I]$. Then

- i) $\alpha|0$ and $\alpha|\alpha$ for any $\alpha \neq 0$,
- ii) if $\alpha|\beta$, then $\alpha|\beta u$ for all $u \in Z[I]$,
- iii) if $\alpha|\beta$ and $\beta|\gamma$, then $\alpha|\gamma$,
- iv) if $\alpha|\beta$ and $\alpha|\gamma$, then $\alpha|\beta\gamma$,
- v) if $\alpha|\beta$ and $\alpha|\gamma$, then $\alpha|\beta u + \gamma v$ for all $u, v \in Z[I]$.
- vi) if $\gamma|\alpha$ and $\alpha \neq 0$, then $N(\gamma) \leq N(\alpha)$,
- vii) if $\gamma|\alpha, \gamma \neq 0$, then $\frac{\alpha}{\gamma}|\alpha$,
- viii) if $\gamma|\alpha$ and $\alpha|\gamma$, then $\alpha = u\gamma$ where u is a unit element.

Proof. The proofs of (i)-(v) are similar in Z .

(vi) [4], Theorem 3.10.

(vii) By Theorem 2.4, $x|y$ if and only if $x_1|y_1$ and $x_1 + x_2|y_1 + y_2$. We see that

$$\frac{y}{x} = \frac{y \cdot \bar{x}}{x \cdot \bar{x}} = \frac{(x_1 + x_2)y_1 + x_1 y_2 - x_2 y_1}{(x_1 + x_2)x_1 + (x_1 + x_2)x_1} I.$$

By hypothesis, we have $\frac{y_1}{x_1}|y_1$ and so

$$\frac{x_1(y_1 + y_2)}{x_1(x_1 + x_2)} | y_1 + y_2$$

by Theorem 2.2 (viii). Hence we obtain $\frac{y}{x}|y$.

(viii) if $x|y$ and $y|x$, then $x = ky$ and $y = tx$ for any $k, t \in Z[I]$. Hence we have $x = (kt)x$. So it should be $kt = 1$. Then we obtain $k = t = \mp 1$ or $k = t = \mp(1 - 2I)$. So we have $y = ux$ where u is a unit element.

Proposition 3.3 The gcd of two neutrosophic integers is positive.

Proof. Let $u = a + bI, v = c + dI \in Z[I]$ and $z = m + nI = gcd(u, v)$. Then, by Theorem 2.10, $m = gcd(a, c) \in Z$ and $m + n = gcd(a + b, c + d) \in Z$. It is known that gcd of two integer is positive integer. So we have $m > 0$ and $m + n > 0$. Then we obtain $z = m + nI > 0$ by Definition 2.5.

Proposition 3.4 Let $u = a + bI \in Z[I]$. If $u > 0$ or $u < 0$, then $N(u) > 0$.

Proof. If $a + bI > 0$ or $a + bI < 0$, then $(a > 0, a + b > 0)$ or $(a < 0, a + b < 0)$ by Definition 2.5. Hence we have $N(a + bI) = a(a + b) > 0$.

By Definition 2.6 and using Theorem 3.2 (vi), we can write the following Definition:

Definition 3.5 For non-zero α and β in $Z[I]$, the gcd of α and β is a common divisor which its norm is maximal.

If z is the gcd of α and β , we have $N(z) > 0$. Unit multiples of z are $z, -z, (1 - 2I)z, -(1 - 2I)z$. These are some common divisors of x and y . We see that $N(-z) = N((1 - 2I)z) = N(-(1 - 2I)z) = -N(z) < 0$ by Proposition 3.5 (vi) in [4].

Definition 3.6 We call x and y are relatively prime when they only have unit factors in common.

Lemma 3.7 Let $r, x \in Z[I]$. If $r|x$, then $ur|x$ where u is a unit element.

Proof. Let $r|x$. Then we have $x = kr$ for any $k \in Z[I]$. We know that $u \in \{\pm 1, \pm(1 - 2I)\}$ and $(1 - 2I)^2 = 1$. Since also we can write x as $x = (-k)(-r)$ or $x = k(1 - 2I)(1 - 2I)r$ or $x = k(-1 + 2I)(-1 + 2I)r$, we get that $-r, (1 - 2I)r, (-1 + 2I)r$ divide x . Hence $ur|x$ where u is a unit element.

Lemma 3.8 Let $x = a + bI \in Z[I]$. Then only one of the numbers $x, -x, (1 - 2I)x, (-1 + 2I)x$ is a positive neutrosophic integer.

Proof. Case 1: Let $x > 0$. Then we know that $a > 0$ and $a + b > 0$. In this case, since $-x = -a - bI$ and $-a < 0, -(a + b) < 0$, we have $-x < 0$. Since $(1 - 2I)x = (1 - 2I)(a + bI) = a + (-2a - b)I$ and $a > 0, a + (-2a - b) = -(a + b) < 0$, we have $(1 - 2I)x$ is neither positive nor negative. Similarly since $-a < 0, -a + (2a + b) = a + b > 0, -(1 - 2I)x = -a + (2a + b)I$ we have $-(1 - 2I)x$ is neither positive nor negative.

Case 2: Let $x < 0$. Then we know that $a < 0$ and $a + b < 0$. In this case, since $-x = -a - bI$ and $-a > 0, -(a + b) > 0$, we have $-x > 0$.

Since $a < 0, a + (-2a - b) = -(a + b) > 0, (1 - 2I)x = a + (-2a - b)I$, we have $(1 - 2I)x$ is neither positive nor negative. Similarly since $-a > 0, -a + (2a + b) = a + b < 0, -(1 - 2I)x = -a + (2a + b)I$ we have $-(1 - 2I)x$ is neither positive nor negative.

Case3: Suppose that $x = a + bI$ is neither positive nor negative. Then a and $a + b$ are opposite sign. If $a > 0, a + b < 0$, it can be easily seen that only $(1 - 2I)x > 0$. If $a < 0, a + b > 0$, we easily see that only $-(1 - 2I)x > 0$.

Proposition 3.9 The gcd of two non-zero neutrosophic integers is unique.

Proof. Let v and z be gcd of neutrosophic numbers x and y . Then it is clear that $v|z$ and $z|v$. By Theorem 3.2 (viii), we have $z = uv$ where u is a unit. Since gcd of two neutrosophic integers is positive by Proposition 3.3 and only one of the numbers $\pm v, \pm(1 - 2I)v$ is a positive by Lemma 3.8, $z = uv$ where $uv > 0$ is the gcd of neutrosophic numbers x and y .

Theorem 3.10 (Euclid's Algorithm) Let x and $y \in Z[I]$ be non-zero and $N(x) \neq 0, N(y) \neq 0$. Define the neutrosophic integers r_i and q_i for $i \geq 1$ by repeated application of the Division Algorithm to divisors and remainders. We have

$$y = xq_1 + r_1, |N(r_1)| < |N(x)| \text{ and } N(r_1) \neq 0,$$

$$x = r_1q_2 + r_2, |N(r_2)| < |N(r_1)| \text{ and } N(r_2) \neq 0,$$

$$r_1 = r_2q_3 + r_3, |N(r_3)| < |N(r_2)| \text{ and } N(r_3) \neq 0,$$

⋮

$$r_{j-2} = r_{j-1}q_j + r_j, |N(r_j)| < |N(r_{j-1})| \text{ and } N(r_j) \neq 0,$$

$$r_{j-1} = r_jq_{j+1}$$

Then, for any unit element u, ur_j is positive neutrosophic integer where r_j is the non-zero last remainder and it is the gcd of x and y .

Proof. We have a decreasing sequences of positive integers such that $|N(x)| > |N(r_1)| > |N(r_2)| > \dots$. So this sequence is finite and $r_k = 0$ for any $k \in Z^+$. Now starting from the last equation to first equation, we have $r_j|r_{j-1}, r_j|r_{j-2}, r_j|r_{j-3}, \dots, r_j|x$ and $r_j|y$. By Lemma 3.7, $ur_j|x$ and $ur_j|y$. So ur_j is a common divisor of x and y . If z is another common divisor of x and y , we have $z|x$ and $z|y$. Hence starting from the first equation to last equation, we have $z|r_1, z|r_2, \dots, z|r_j$. By Theorem 3.2 (ii), $z|ur_j$. Then, by Lemma 3.8, for any unit element u, ur_j is positive neutrosophic integer where r_j is the non-zero last remainder and it is the gcd of x and y .

In the division operation in Z , the quotient and remainder are unique. But as we will see in the following example, the quotient and remainder are not unique in division in $Z[I]$.

Example 3.11 We apply the Division Theorem to the numbers $y = 4 + 5I$ and $x = 6 + 9I$. Since $N(4 + 5I) = 36$ and $N(6 + 9I) = 90$, we can write as $x = by + k$ such that $|N(k)| < |N(y)|$. Consider the ratio $\frac{x}{y}$ and rationalize the denominator:

$$\frac{x}{y} = \frac{x \cdot \bar{y}}{y \cdot \bar{y}} = \frac{54 + 6I}{36} = \frac{54}{36} + \frac{6}{36}I \cong 1,5 + (0,16)I$$

The neutrosophic integers around $1,5 + (0,16)I$ is the numbers $1 + 0I, 2 + 0I, 1 + I$ and $2 + I$ in the coordinate plane (see [5]). If we choose $q_1 = 1 + 0I, q_2 = 2 + 0I, q_3 = 1 + I$ and $q_4 = 2 + I$, then we can write

$$6 + 9I = 1 \cdot \underbrace{(4 + 5I)}_{q_1} + 2 + 4I, \quad |N(r_1)| = 12 < |N(y)| = 36,$$

$$\begin{aligned}
 6+9I &= 2 \cdot \underbrace{(4+5I)}_y + \underbrace{-2-I}_{r_2}, \\
 |N(r_2)| &= 6 < |N(y)| = 36, \\
 6+9I &= \underbrace{(1+I)}_{q_2} \cdot \underbrace{(4+5I)}_y + \underbrace{2-5I}_{r_3}, \\
 |N(r_3)| &= 6 < |N(y)| = 36, \\
 6+9I &= \underbrace{(2+I)}_{q_4} \cdot \underbrace{(4+5I)}_y + \underbrace{-2-10I}_{r_4}, \\
 |N(r_4)| &= 24 < |N(y)| = 36
 \end{aligned}$$

Also it can be another equalities satisfying $x = qy + r$ such that $|N(r)| < |N(y)|$.

Example 3.12 Let us find gcd of $4 + 5I$ and $6 + 9I$. By Division Algorithm and Euclid Algorithm, we have

$$\begin{aligned}
 6 + 9I &= (4 + 5I).2 - 2 - I, \\
 |N(-2 - I)| &= 6 < |N(4 + 5I)| = 36 \\
 4 + 5I &= (-2 - I)(-2 - I) + 0.
 \end{aligned}$$

Hence, since $-2 - I < 0$, we have $-(-2 - I) = 2 + I$ is gcd of $4 + 5I$ and $6 + 9I$.

Secondly, since

$$\begin{aligned}
 6 + 9I &= (4 + 5I).1 + 2 + 4I, \\
 |N(2 + 4I)| &= 12 < |N(4 + 5I)| = 36 \\
 4 + 5I &= (2 + 4I).1 + 2 + I, \\
 |N(2 + I)| &= 6 < |N(4 + 5I)| = 12 \\
 2 + 4I &= (2 + I)(1 + I) + 0,
 \end{aligned}$$

we get that $2 + I$ is gcd of $4 + 5I$ and $6 + 9I$.

Thirdly, since

$$\begin{aligned}
 6 + 9I &= (4 + 5I).(1 + I) + 2 - 5I, \\
 |N(2 - 5I)| &= 6 < |N(4 + 5I)| = 36 \\
 4 + 5I &= (2 - 5I)(2 - 5I) + 0,
 \end{aligned}$$

and since $2 - 5I$ is not a positive neutrosophic integer, we obtain that $(1 - 2I)(2 - 5I) = 2 + I$ is gcd of $4 + 5I$ and $6 + 9I$.

Example 3.13 The conjugate of the number $4 + 5I$ is $9 - 5I$. Since

$$\begin{aligned}
 4 + 5I &= (9 - 5I).2I + 4 - 3I, \\
 |N(4 - 3I)| &= 4 < |N(9 - 5I)| = 36 \\
 9 - 5I &= (4 - 3I)(2 + I) + 1, |N(1)| = 1 < \\
 |N(4 - 3I)| &= 4, \\
 4 - 5I &= (4 - 5I).1 + 0,
 \end{aligned}$$

we get $gcd(4 + 5I, 9 - 5I) = 1$. So they are relatively prime in $Z[I]$.

Theorem 3.14 (Bezout's Theorem) For $0 \neq x$ and $0 \neq y \in Z[I]$ and $N(x) \neq 0, N(y) \neq 0$, if $gcd(x, y) = z$, then $z = xa + yb$ for some $a, b \in Z[I]$.

Proof. By back-substitution in Euclid Algorithm, we can find $a, b \in Z[I]$ such that $r_j = xa + yb$. If r_j is the gcd of x and y , proof is clear. If r_j is not gcd but ur_j where u is a unit element is gcd of x and y , then we

get $ur_j = x(ua) + y(ub)$ multiplying the above equality by u . So proof is clear.

Corollary 3.15 For $0 \neq \alpha$ and $0 \neq \beta \in Z[I]$ and $N(\alpha) \neq 0, N(\beta) \neq 0$, α and β are relatively prime iff $\alpha a + \beta b = 1$ for some $a, b \in Z[I]$.

Proof. Since α and β are relatively prime, we know that $gcd(\alpha, \beta) = 1$. Hence, by Theorem 3.14, $\alpha a + \beta b = 1$ for some $a, b \in Z[I]$. Conversely, let $\alpha a + \beta b = 1$ for some $a, b \in Z[I]$. If w is a joint divisor of α and β , then, by Theorem 3.2 (v), we have $w|\alpha a + \beta b = 1$. Hence we get $gcd(\alpha, \beta) = 1$.

Theorem 3.16 For α, β and $\gamma \in Z[I]$, if $\alpha|\beta\gamma$ and $gcd(\alpha, \beta) = 1$, then $\alpha|\gamma$.

Proof. Let $\alpha|\beta\gamma$ and $gcd(\alpha, \beta) = 1$. By Corollary 3.15, we have $\alpha a + \beta b = 1$ for some $a, b \in Z[I]$. Multiplying γ , we have $\alpha a\gamma + \beta b\gamma = \gamma$. Then, by Theorem 3.2 (v), since $\alpha|\alpha a\gamma$ and $\alpha|\beta b\gamma$, we have $\alpha|\alpha a\gamma + \beta b\gamma = \gamma$.

Example 3.17 Consider $x = 4 + 5I$ and $y = 9 - 5I$. We know that $gcd(x, y) = 1$ from Example 3.13. Hence using the equalities in Example 3.13, we have

$$\begin{aligned}
 1 &= 9 - 5I - (4 - 3I)(2 + I) \\
 &= 9 - 5I - (4 + 5I - (9 - 5I).2I)(2 + I) \\
 &= -(2 + I)x + (1 + 6I)y
 \end{aligned}$$

Example 3.18 For the neutrosophic numbers $x = 4 + 5I$ and $y = 6 + 9I$ in Example 3.12, if we use the equality $6 + 9I = (4 + 5I).(1 + I) + 2 - 5I$, we have $2 - 5I = 6 + 9I - (4 + 5I).(1 + I)$. Multiplying both sides by $1 - 2I$, we have, since $(1 - 2I)(2 - 5I) = 2 + I$,

$$\begin{aligned}
 gcd(4 + 5I, 6 + 9I) &= 2 + I \\
 &= (6 + 9I)(1 - 2I) - (4 + 5I)(1 + I)(1 - 2I) \\
 &= x.(1 - 2I) + y.(-1 + 3I)
 \end{aligned}$$

Definition 3.19 (LCM) For α and $\beta \in Z[I]$, if $\alpha|\gamma$ and $\beta|\gamma$, γ is called a joint multiple of α and β . The smallest of the positive joint multiples of α and β is called the lcm of α and β .

Theorem 3.20 For $x = x_1 + x_2I, y = y_1 + y_2I \in Z[I]$ and $x_1 \neq 0, x_1 + x_2 \neq 0, y_1 \neq 0$ and $y_1 + y_2 \neq 0, w = w_1 + w_2I = lcm(x, y)$ if and only if $w_1 = lcm(x_1, y_1)$ and $w_1 + w_2 = lcm(x_1 + x_2, y_1 + y_2)$.

Proof. Let $w = w_1 + w_2I = lcm(x, y)$. We know that $x|w$ and $y|w$. If $v = v_1 + v_2I$ is another common multiple of x and y then $w|v$. Then $x_1|w_1, x_1 + x_2|w_1 + w_2, y_1|w_1, y_1 + y_2|w_1 + w_2, w_1|v_1, w_1 + w_2|v_1 + v_2$ by Theorem 2.4. In this case, we have $w_1 = lcm(x_1, y_1)$ and $w_1 + w_2 = lcm(x_1 + x_2, y_1 + y_2)$. Conversely, let $w_1 = lcm(x_1, y_1)$ and $w_1 + w_2 =$

$lcm(x_1 + x_2, y_1 + y_2)$. Then we have $x_1|w_1, y_1|w_1, x_1 + x_2|w_1 + w_2, y_1 + y_2|w_1 + w_2$. Hence we get $x|w$ and $y|w$ and so w is a common multiple of x with y . Now let v be another common multiple of x with y . Then $x|v$ and $y|v$. Since $x_1|v_1, y_1|v_1, x_1 + x_2|v_1 + v_2, y_1 + y_2|v_1 + v_2, v_1$ is a common multiple of x_1 and y_1 and $v_1 + v_2$ is a common multiple of $x_1 + x_2$ and $y_1 + y_2$. Since $w_1 = lcm(x_1, y_1)$ and $w_1 + w_2 = lcm(x_1 + x_2, y_1 + y_2)$, we have $w_1|v_1, w_1 + w_2|v_1 + v_2$. So we obtain $w|v$ and $w = w_1 + w_2I = lcm(x, y)$.

Example 3.21 Consider $x = 2 + 4I, y = 3 + I$. Since $lcm(2,3) = 6 = w_1$ and $lcm(2 + 4, 3 + 1) = 12 = w_1 + w_2$, we have $w = w_1 + w_2I = 6 + 6I = lcm(2 + 4I, 3 + I)$.

We remember the coordinate system for $Z[I]$ in [5]: Let $x \in Z[I]$. We know that $x > 0$ in Region 1, $x < 0$ in Region 3, x is neither positive nor negative in Region 2 and 4.

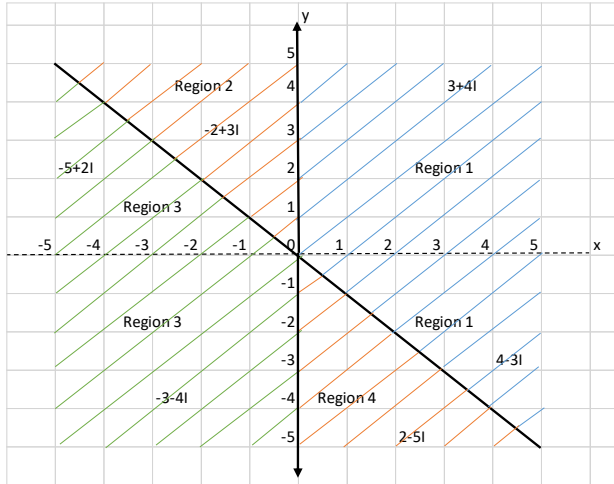


Figure 1. Neutrosophic integers

Theorem 3.22 Let $\alpha, \beta \in Z[I]$.

- i) If α and β have the same sign, then $\alpha\beta > 0$,
- ii) if α and β have the opposite sign, then $\alpha\beta < 0$
- iii) if α and β are neither positive nor negative and are in the same region, then $\alpha\beta > 0$
- iv) if α and β are neither positive nor negative and are in the different region, then $\alpha\beta < 0$
- v) if only one of α and β is positive or negative and the other is neither positive nor negative, then $\alpha\beta$ is neither positive nor negative.

Proof. Let $\alpha = \alpha_1 + \alpha_2I$ and $\beta = \beta_1 + \beta_2I$. By Definition 2.5, we know that

- $\alpha = \alpha_1 + \alpha_2I > 0$ iff $\alpha_1 > 0, \alpha_1 + \alpha_2 > 0$,
- $\alpha = \alpha_1 + \alpha_2I < 0$ iff $\alpha_1 < 0, \alpha_1 + \alpha_2 < 0$,
- $\alpha = \alpha_1 + \alpha_2I$ is neither negative nor positive iff $\alpha_1 > 0, \alpha_1 + \alpha_2 < 0$ or $\alpha_1 < 0, \alpha_1 + \alpha_2 > 0$.

Since $\alpha\beta = \alpha_1\beta_1 + (\alpha_1\beta_2 + \alpha_2\beta_1 + \alpha_2\beta_2)I$, we should investigate the signs of $\alpha_1\beta_1$ and $\alpha_1\beta_1 + \alpha_1\beta_2 + \alpha_2\beta_1 + \alpha_2\beta_2 = (\alpha_1 + \alpha_2)(\beta_1 + \beta_2)$.

i) Let $\alpha = \alpha_1 + \alpha_2I$ and $\beta = \beta_1 + \beta_2I$ have the same sign. Then $\alpha_1, \alpha_1 + \alpha_2, \beta_1, \beta_1 + \beta_2$ has same sign. Hence we get $\alpha_1\beta_1 > 0, (\alpha_1 + \alpha_2)(\beta_1 + \beta_2) > 0$. So $\alpha\beta > 0$.

ii) Let $\alpha = \alpha_1 + \alpha_2I$ and $\beta = \beta_1 + \beta_2I$ have the opposite sign. Then we see that $\alpha_1, \alpha_1 + \alpha_2$ are positive and $\beta_1, \beta_1 + \beta_2$ are negative or $\alpha_1, \alpha_1 + \alpha_2$ are negative and $\beta_1, \beta_1 + \beta_2$ are positive. Hence we get $\alpha_1\beta_1 < 0, (\alpha_1 + \alpha_2)(\beta_1 + \beta_2) < 0$. So $\alpha\beta < 0$.

iii) Let $\alpha = \alpha_1 + \alpha_2I$ and $\beta = \beta_1 + \beta_2I$ are neither positive nor negative and are in the same region. Then we see that α_1, β_1 are positive and $\alpha_1 + \alpha_2, \beta_1 + \beta_2$ are negative or α_1, β_1 are negative and $\alpha_1 + \alpha_2, \beta_1 + \beta_2$ are positive. Hence we get $\alpha_1\beta_1 > 0, (\alpha_1 + \alpha_2)(\beta_1 + \beta_2) > 0$. So $\alpha\beta > 0$.

iv) Let $\alpha = \alpha_1 + \alpha_2I$ and $\beta = \beta_1 + \beta_2I$ are neither positive nor negative and are in the different region. Then we see that $\alpha_1, \beta_1 + \beta_2$ are positive and $\alpha_1 + \alpha_2$ and β_1 are negative or $\alpha_1 + \alpha_2, \beta_1$ are positive and $\alpha_1, \beta_1 + \beta_2$ are negative. Hence we get $\alpha_1\beta_1 < 0, (\alpha_1 + \alpha_2)(\beta_1 + \beta_2) < 0$. So $\alpha\beta < 0$.

v) Let only one of $\alpha = \alpha_1 + \alpha_2I$ and $\beta = \beta_1 + \beta_2I$ be positive or negative and the other neither positive nor negative. Since $\alpha\beta = \alpha_1\beta_1 + (\alpha_1\beta_2 + \alpha_2\beta_1 + \alpha_2\beta_2)I$ we should investigate the signs of $\alpha_1\beta_1$ and $\alpha_1\beta_1 + \alpha_1\beta_2 + \alpha_2\beta_1 + \alpha_2\beta_2 = (\alpha_1 + \alpha_2)(\beta_1 + \beta_2)$.

Then we have eight case:

- $\alpha_1 > 0, \beta_1 > 0, \alpha_1 + \alpha_2 > 0, \beta_1 + \beta_2 < 0$
 $\implies \alpha\beta$ is neither positive nor negative,
- $\alpha_1 > 0, \beta_1 < 0, \alpha_1 + \alpha_2 > 0, \beta_1 + \beta_2 > 0$
 $\implies \alpha\beta$ is neither positive nor negative,
- $\alpha_1 > 0, \beta_1 > 0, \alpha_1 + \alpha_2 < 0, \beta_1 + \beta_2 > 0$
 $\implies \alpha\beta$ is neither positive nor negative,
- $\alpha_1 > 0, \beta_1 < 0, \alpha_1 + \alpha_2 < 0, \beta_1 + \beta_2 < 0$
 $\implies \alpha\beta$ is neither positive nor negative,
- $\alpha_1 < 0, \beta_1 > 0, \alpha_1 + \alpha_2 > 0, \beta_1 + \beta_2 > 0$
 $\implies \alpha\beta$ is neither positive nor negative,
- $\alpha_1 < 0, \beta_1 < 0, \alpha_1 + \alpha_2 > 0, \beta_1 + \beta_2 < 0$
 $\implies \alpha\beta$ is neither positive nor negative,
- $\alpha_1 < 0, \beta_1 > 0, \alpha_1 + \alpha_2 < 0, \beta_1 + \beta_2 < 0$
 $\implies \alpha\beta$ is neither positive nor negative,
- $\alpha_1 < 0, \beta_1 < 0, \alpha_1 + \alpha_2 < 0, \beta_1 + \beta_2 > 0$
 $\implies \alpha\beta$ is neither positive nor negative.

Theorem 3.23 For neutrosophic integers α and β ,

$$\gcd(\alpha, \beta).lcm(\alpha, \beta) = \alpha\beta \text{ if } \alpha\beta > 0$$

and

$$\gcd(\alpha, \beta).lcm(\alpha, \beta) = -\alpha\beta \text{ if } \alpha\beta < 0.$$

Proof. Let $\alpha\beta > 0$. Denote $\gcd(\alpha, \beta) = \delta$ and $\frac{\alpha\beta}{\delta} = m$. Then since $\delta|\beta$ and $\delta|\alpha$, we have $\beta = \delta t$ and $\alpha = \delta k$ for any $k, t \in Z[I]$. It is clear that $\gcd(k, t) = 1$, otherwise $\gcd(\alpha, \beta) > \delta$. Hence since $m = \frac{\alpha\beta}{\delta} = \frac{\delta k\beta}{\delta} = k\beta$ and $m = \frac{\alpha\beta}{\delta} = \frac{\alpha\delta t}{\delta} = \alpha t$, we get $\alpha|m$ and $\beta|m$.

Hence m is a joint multiple of α and β . Now if another joint multiple of α and β is n , then since $\alpha|n$ and $\beta|n$, we have $n = ar$ and $n = \beta s$ for any $r, s \in Z[I]$. In this case, since $ar = \beta s$ and $\delta kr = \delta ts$, we have $kr = ts$. Hence we see that $k|ts$. Since $gcd(k, t) = 1$, by Theorem 3.16, we get $k|s$. Hence $s = kl$ for any $l \in Z[I]$. Then since $n = \beta s = \beta kl = ml$, we obtain $m|n$. Therefore $m = lcm(\alpha, \beta)$, by the equality $\frac{\alpha\beta}{\delta} = m$. We have $gcd(\alpha, \beta).lcm(\alpha, \beta) = \alpha\beta$. If $\alpha\beta < 0$, then since or $-\alpha\beta = \alpha(-\beta)$ or $-\alpha\beta = (-\alpha)\beta$, taking $-\alpha\beta = ab > 0$, the proof can be easily proved.

Example 3.24 Consider Example 3.21. We see that $gcd(x, y) = 1 + I$ and $xy = 6 + 18I > 0$. Since $lcm(x, y) = 6 + 6I$, we have

$$gcd(x, y).lcm(x, y) = (1 + I)(6 + 6I)$$

$$= 6 + 18I$$

$$= (2 + 4I)(3 + I)$$

$$= xy$$

4. Discussion and Conclusion

In this study, as a continuation of previous studies [4, 5], we gave some results about the neutrosophic integers theory. We first stated that the neutrosophic real numbers are not closed according to the division operation. Using known properties on integers and properties given on Gaussian integers ([13]), we gave divisibility properties of neutrosophic integers. We defined the gcd of two neutrosophic integers and proved it is positive and unique. Then, we gave the Euclid's Theorem, Bezout's Theorem for neutrosophic integers set $Z[I]$ which it is an important concept in number theory in the integers set Z . Finally, it is defined the lcm of two neutrosophic integers. A theorem is given which enables one to easily find the lcm of two neutrosophic integers. After a conclusion about the sign of the product of two neutrosophic integers, a theorem is given that shows the relationship of between the gcd and the lcm.

Declaration of Ethical Code

In this paper, we undertake that all of 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] Smarandache, F. 1998. A unifying field in logics. Neutrosophy: neutrosophic probability, set and logic. Rehoboth: American Research Press,
- [2] Kandasamy, W. B., Smarandache, F. 2006. Some Neutrosophic Algebraic Structures and Neutrosophic N-Algebraic Structures, Hexis, Phoenix, Arizona. N-Algebraic Structures, Hexis, Phoenix, Arizona.
- [3] Kandasamy W. B., Smarandache, F., 1999. Neutrosophic Rings, Hexis, Phoenix, Arizona.
- [4] Çeven, Y., Tekin, S., 2020. Some Properties of Neutrosophic Integers, Kırklareli University Journal of Engineering and Science, Vol. 6, 50-59.
- [5] Yurttakal, A. N., Çeven, Y., 2021. Some Elementary Properties of Neutrosophic Integers, Neutrosophic Sets and Systems, Vol. 41, 1-7.
- [6] Abobala, M., 2021. Partial Foundation of Neutrosophic Number Theory. Neutrosophic Sets and Systems, Vol. 39, 120-132.
- [7] Abobala, M., 2020. On Some Neutrosophic Algebraic Equations, Journal of New Theory, 33, 26-32.
- [8] Sankari, H., Abobala, M., 2020. Neutrosophic Linear Diophantine Equations With Two Variables, Neutrosophic Sets and Systems, Vol 38, 399-408.
- [9] Abobala, M., Ibrahim, M. A., 2021. An Introduction To Refined Neutrosophic Number Theory, Neutrosophic Sets and Systems, 40-53.
- [10] Merkepci, H., Hatip, A., 2023. Algorithms for Computing Pythagoras Triples and 4-Tiples in Some Neutrosophic Commutative Rings, International Journal of Neutrosophic Science (IJNS), Vol. 20, No. 03, PP. 107-114.
- [11] Bal, M., Ahmad, K. D., Ali, R., 2022. A Review On Recent Developments In Neutrosophic Linear Diophantine Equations, Journal of Neutrosophic and Fuzzy Systems (JNFS), Vol. 2, No. 1, PP. 61-75.
- [12] Edalatpanah, S. A., 2020. Systems of Neutrosophic Linear Equations, Neutrosophic Sets and Systems, Vol. 33, pp. 92-104.
- [13] Conrad, K., 2016. The Gaussian integers. <http://www.math.uconn.edu/~kconrad/blurbs>,

The Effects of Milk Feeding Frequency on the Growth and Behaviour of the Calves

İbrahim Öztop¹, Serkan Özkaya²

^{1,2}Isparta University of Applied Sciences, Agricultural Faculty, Animal Science Department, 32260, Isparta, Turkey

(Alınış / Received: 11.03.2023, Kabul / Accepted: 15.05.2023, Online Yayınlanma / Published Online: 25.12.2023)

Keywords

Milk feeding frequency,
Growth,
Behaviour,
Health,
Calves

Abstract: In this study, it was aimed to examine the effects of milk feeding frequency on the growth, behaviour and health of calves during the suckling period. The Holstein calves (5 in each group) at the age of 5-day-old were used in the study. Computer controlled feeder (CCF) was used in the study. First group calves were given 4 lt/day of milk replacer feed (G1), in the morning and evening. In the second group (G2), a maximum of 12 lt/day of milk, which is natural suckling behaviour, in the morning (05:00-08:00), midday (10:00-13:00) and evening (16:00-20:00) were allowed to consume substitute feed. The time spent for rumination by both groups was close to each other. Cross-sucking and vocalization behaviour was more common in G1, but decreased with age. Tongue Rolling behaviour was more common in G2, but decreased with age. The results showed that the milk feeding frequency did not have a significant effect on the behavioural patterns of the calves.

Süt İçirme Sıklığının Buzağların Davranışları Üzerine Etkileri

Anahtar Kelimeler

Süt içme sıklığı,
Gelişim,
Davranış,
Sağlık,
Buzağı

Öz: Yapılan bu çalışmada, süt içme sıklığının süt içme dönemindeki buzağların davranış özellikleri üzerine etkilerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Çalışmada 5 günlük yaşta 10 adet (her grupta 5 buzağı) Holstein buzağı kullanılmıştır. Çalışmada bilgisayar kontrollü besleyici (BKB) kullanılmıştır. Birinci grup buzağlara, sabah-akşam olmak üzere 4 lt/gün süt ikame yemi (G1) verilmiştir. İkinci gruba (G2) ise doğal emzirme davranışı olan sabah (05:00-08:00), öğlen (10:00-13:00), akşam (16:00-20:00) olmak üzere azami 12 lt/gün süt ikame yemi tüketmelerine müsaade edilmiştir. Her iki grubun ruminasyon için harcadıkları zaman birbirine yakın olmuştur. Çapraz emme davranışı ve bağırma G1'de fazla görülmüştür ancak yaşla beraber azalma gözlenmiştir. Dil çevirme davranışı G2'de fazlaca görülmüş ancak yaşla beraber azalmıştır. Elde edilen sonuçlar, süt içme sıklığının buzağların davranış kalıpları üzerine önemli etkisinin olmadığını göstermiştir.

1. Introduction

The study was approved by the Animal Experiments Local Ethics Committee Isparta University of Applied Sciences with its decision date 27.05.2021 and numbered 002.

In recent years, there has been concern and pressure from conscious consumers about the welfare of livestock. This affects the preferences of consumers of animal products and increases the pressure to introduce animal welfare legislation. The legislation on animal welfare in the European Union countries is one of the strongest in the world, and the import of animal products that do not comply with this legislation is limited [1, 2].

Calves, which are the future of the herd, should be fed as high-yielding dairy cows or fast-growing livestock in the future. For this reason, great care must be taken in the rearing of calves. The amount of milk and the methods of feeding with milk can affect behaviour and welfare. Raising in individual boxes, deprivation of sucking behaviour and restricted milk intake are considered factors that can reduce calf welfare [3].

In modern dairy farms, most calves are separated from their dams within the first 24 hours after birth. This type of herd management does not allow adequate bonding between the dam and the calf and prevents the natural sucking behaviour of the calves.

Various methods have been used and tried to give milk to calves for many years. Undesirable sucking behaviours have emerged due to insufficient sucking behaviour in feeding milk calves with bottles [4].

In the traditional calf rearing method, the amount of milk intake is restricted and 8-10% of the live weight of milk [5] or 500 grams of powdered milk per day per calf [6] is recommended. However, when calves are reared by the dam, the lactation process takes place in three periods of the day; early morning (05:00-08:00), midday (10:00-13:00) and afternoon (16:00-20:00) [7, 8].

Calves born in dairy cattle are separated immediately after birth and are fed a restricted of milk twice a day, usually with bottled or bucket-nipple. This situation increases the milk sucking desire of the calves [9] and they can perform a large number of non-nutritive sucking actions; they suck the materials of the boxes where they are reared, suck them with close neighbour calves, this is called cross-sucking [3, 10]. Cross-sucking can lead to inter-sucking, i.e. between heifers and cows [11, 12, 13]. It was defined by [14] that the calf's desire to suckle is a need because the animal must perform the suckling behaviour in order to intake milk and satisfy its hunger.

As stated above, the difference in milk feeding methods has an impact on the performance, behaviour and welfare of the calves. The difference of milk feeding methods affects the level of stress to which it is exposed and thus the behaviour of the calf. However, the amount of milk and the frequency of feeding the calves also affect the calves' behaviour. This study contributes to the understanding of the effects of the frequency of giving milk replacer to the calves with computer-controlled automatic feeders on the growth, behaviour and health of the calves.

The aim of this study is to examine the effects of milk feeding frequency on the growth, behaviour, feed intake and health of calves during the suckling period. The study sought and answers to the following questions:

- How does the amount and frequency of milk given to calves fed with a computer- controlled automatic milk feeder affect the growth and feed intake?
- How does this affect the growth of calves' oral behaviour?
- How does this affect the oxidative stress level in calves during the suckling period?
- How does this affect the antioxidative defense mechanism and the immune response?

2. Material and Method

2.1. Animal material

In the study, 10 Holstein calves born in Isparta University of Applied Sciences, Faculty of Agriculture,

Education, Research and Application Farm were used. The power analysis method was used to determine the number of animals, and according to the frequency of diarrhoea cases, the highest value average was 17, the lowest value average was 3, and the standard deviation was 0.35, and it was found that 5 animals in each group were required for 95% power.

2.2. Feed material

In the study, commercially starter and milk replacer used on the farm were used.

2.3. Method

Calves with similar live weights at an average 5-old-day were divided into 2 groups. The first group (G1) was fed with traditional method. This group includes milk replacer (Pro Milk, Interchem Limited, Dublin, Ireland) with a total of 4 lt/day computer-controlled automatic feeder (I-Mom, ITech Robotic Automation Ltd. Sti., Isparta, Turkiye). The second group (G2) was fed with a computer-controlled automatic feeder in the morning (05:00-08:00), midday (10:00-13:00), evening (16:00-20:00), which is natural sucking behaviour [7, 8]. The G2 was allowed to intake a maximum of 12 lt/day of milk replacer. The milk replacer was prepared in a computer controlled automatic feeder according to the daily limits of the calves during suckling. For 1 litre of milk replacer, an average of 125 grams of powder was mixed with water at 38-40 °C and fed to the calves.

2.4. Calf behaviour

Calves were recorded with Everest QC.Q1.F1 digital camera (Segment Computer Inc. Ltd., Istanbul, Turkiye). Behaviours of calves were recorded between 06:00-09:00, 13:00-16:00, 19:00-22:00 and 22:00-24:00. The observed behaviour of the calves is shown below:

Table 1. Behaviours observed in calves and their description

| Behaviour | Definition |
|--------------------|--|
| Eating starter | Calf having starter in its mouth or head in the concentrate trough |
| Ruminating | Repetitive movements of lower jaw in the lateral plane |
| Sucking | The time when the calf had a teat in its mouth |
| Licking itself | Calf licking any part of itself |
| Licking penmate | Calf's tongue touching any part of another calf |
| Licking structures | Calf's tongue touching any part of pen structures or teat buckets |
| Biting structures | Calf holding any part of the pen structures between jaws |
| Cross-sucking | Calf sucking any part of another calf |
| Tongue rolling | Calf rolling its tongue in a repetitive way outside the mouth |
| Vocalization | Calf keeping its head stretched upwards and mouth open |

When the calves reached the 2-month-old, milk feeding was reduced to one meal, and the amount of milk intake was given by decreasing every day, and the calves were weaned at the end of 7 days. The experiment was terminated when the calves were reduced to a single meal.

2.5. Statistical analyses

T-Test was used in the analysis of behavioural data obtained from the study, and repeated measurements analysis of variance technique was used in the analysis of computer-controlled automatic feeder and feeder visits. Differences between groups were examined with the Tukey test. Minitab 20 (Minitab, LLC, 2020, Penn State, USA) package program was used in the analysis of the data.

3. Results

3.1. CCF visit

As seen in Figure 1, G1 spent more time in CCF in the first days. After 40-day-old, G2 spent more time in CCF.

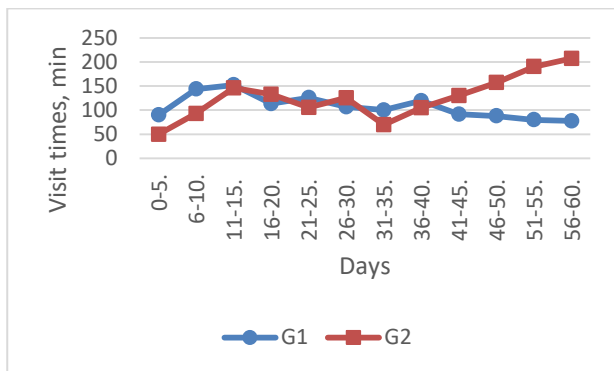


Figure 1. Total time spent by calves in CCF

The awarded visit times of the calves in CCF are shown in Figure 2. Naturally, G2 spent more time in CCF while milk intake. The time used by both groups for milk intake in CCF increased at first, but decreased over time.

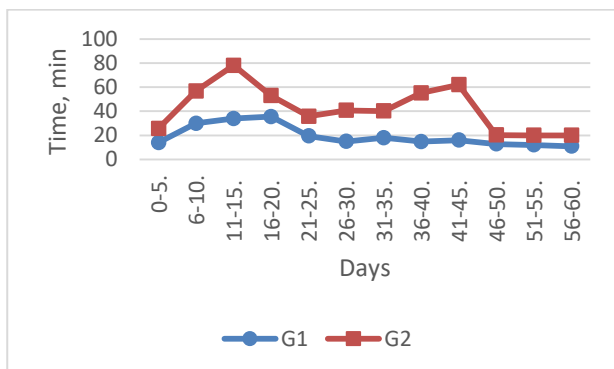


Figure 2. Awarded visit times of calves in CCF

The unrewarded visit times of the calves in the CCF are shown in Figure 3. G1 spent more time without milk intake in the first days. However, after 45-day-old, G2's unrewarded visit time has increased.

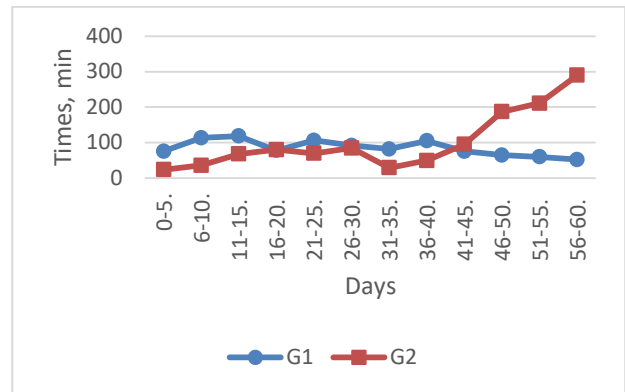


Figure 3. Unrewarded visit times of calves in CCF

3.2. Starter Feeder visit

In the first weeks of life, calves are fed with liquid feed because their rumen is undeveloped. As seen in Figure 4, the number of feeder visits in the first days of their lives was similar for both groups. Feeder visits have increased in parallel with the age of the calves. However, G1 made more feeder visits than G2.

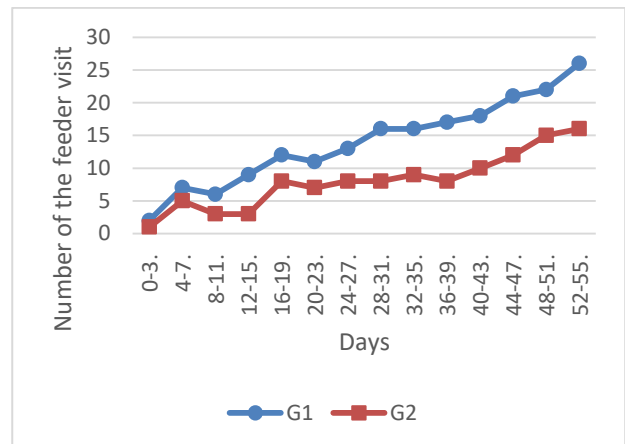


Figure 4. Daily starter feeder visits of calves

Feeder visits of calves in the morning, midday, evening and night hours are shown in Figure 5. After morning milk feeding, G1 visited the feeder, while G2 did not. Feeder visits of G1 remained almost the same as morning visits at midday, while G2 increased until midday milk feeding. After midday feeding, feeder visits of G2 decreased while G1 increased. After the evening milk feeding was finished, G1 increased their feeder visits, while the G2 decreased compared to midday, however, increased compared to morning. The night feeder visits of both groups were close to each other.

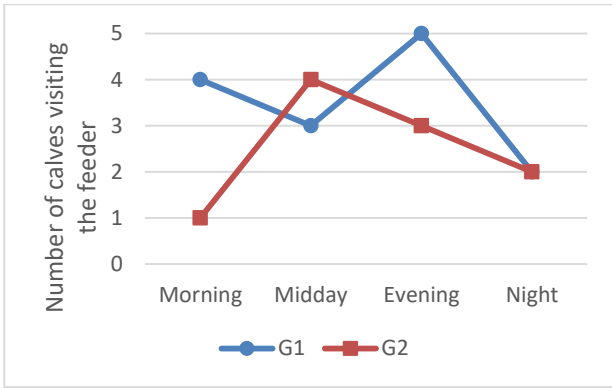


Figure 5. Starter Feeder visits of calves at meals

3.3. Ruminating

Rumination times of calves increased with age (Figure 6). Calves that spent less time ruminating in the early lives spent more time ruminating as they got older. However, G1 spent more time in the rumination than G2.

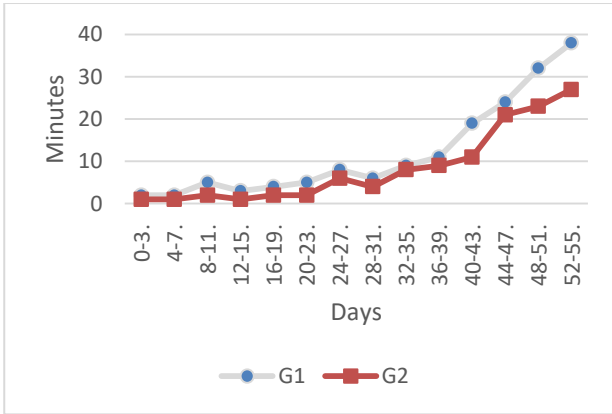


Figure 6. Time spent rumination

While G1 started to ruminate in the morning, this situation decreased at midday, but increased in the evening (Figure 7). In addition, while G2 calves did not ruminate much in the morning, rumination increased at midday and remained the same at night.

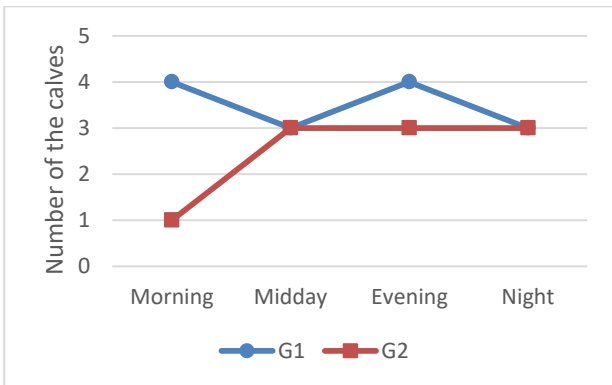


Figure 7. Preferred time period of calves for rumination

3.4. Cross-sucking and tongue rolling

Undesirable behaviour such as cross-sucking was observed in G1 more than in G2 (Figure 8).

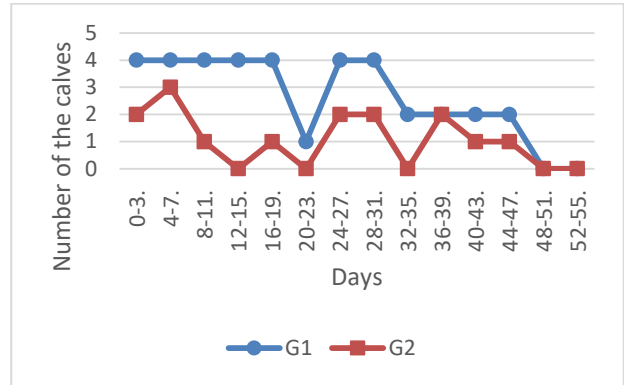


Figure 8. Calves with cross-sucking behaviour

Tongue rolling behaviour was higher in G2 than G1 (Figure 9).

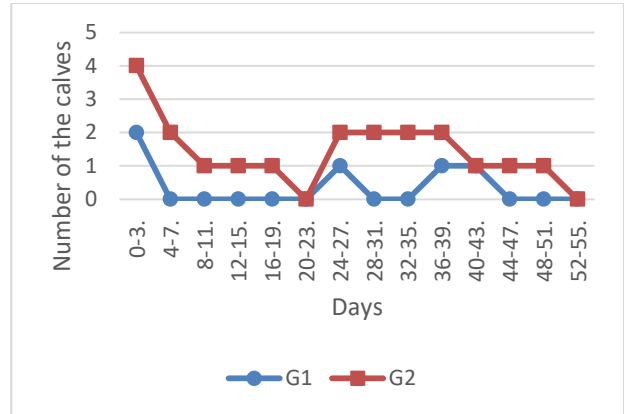


Figure 9. Calves with tongue rolling behaviour

3.5. Vocalization

Vocalization behaviour was observed more in G1 (Figure 10). More vocalization in absence of milk.

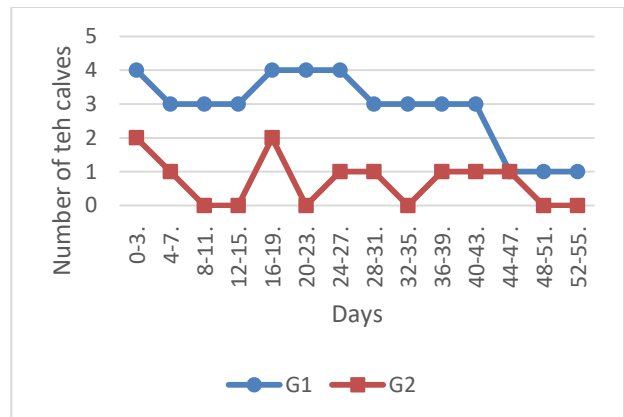


Figure 10. Vocalization behaviour

3.6. Licking itself

Group 1 (G1) performed more self-licking behaviour than G2 (Figure 11). However, this behaviour decreased with age.

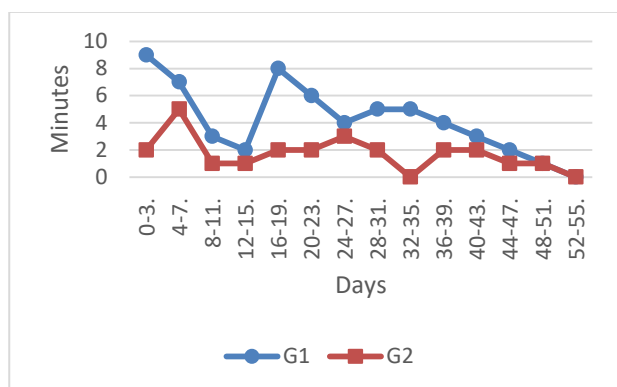


Figure 11. Self-licking behaviour

3.7. Licking and biting structures

Behaviours such as licking and biting structures were almost absent in the both groups (figure 12). Although there behaviours were higher in G1 in the first days, a decrease in these behaviours was observed in the other periods of their lives.

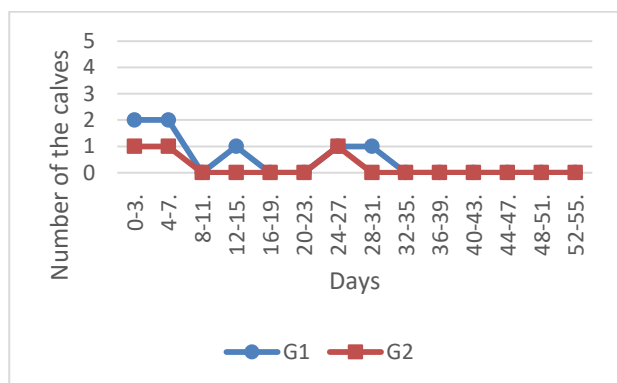


Figure 12. Licking and biting structure behaviours

3.8. Licking penmate

Licking penmate behaviour was observed more in G1 than in G2 (Figure 13). Licking penmate behaviour decreased with age.

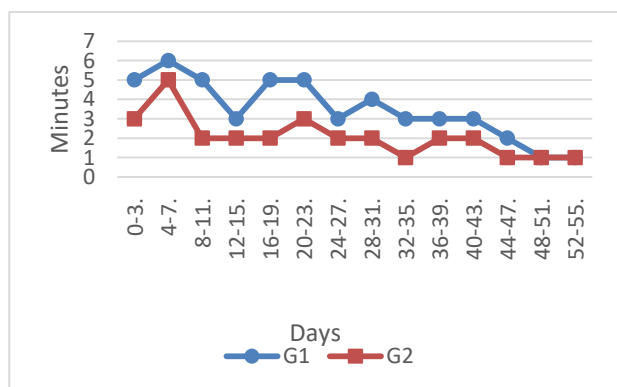


Figure 13. Licking penmate

4. Discussion and Conclusion

4.1. CCF visit

Calves fed a high percentage of milk or milk replacer reduce their visits to automatic feeding systems [15, 16]. However, calves fed with restricted milk frequently visit the feeder, although they do not receive milk during these visits [17]. Calves fed with restricted milk exhibit more frequent but shorter visits to the feeder [18]. Similar results were observed in our study. However, while this visits of the calves fed with restricted milk (G1) to the feeder decreased with age, the visits of the other group (G2) increased. It is thought that the reason for the increase in feeder visits of calves is hunger [19] and hunger increases the desire to suckle in calves [20].

4.2. Starter Feeder visit

In the first weeks of life, calves are fed with liquid foods because their rumen is underdeveloped, and the number of feeder visits in the first days of their lives was similar for both groups. Feeder visits have increased in parallel with the age of the calves. Since the rumen of newborn calves is underdeveloped and the main food sources are milk and/or milk replacer in the first weeks of their lives, they restricted their starter consumption [21]. Therefore, CCF visits are increase and feeder visits are decrease in the first weeks of their lives.

Feeding calves with 4-6 liters of milk daily is not sufficient for hunger [22]. Feeding high amounts of milk reduced the calves' hunger and increased the calves welfare [18, 23]. Calves fed with restricted liquid feed during the suckling period increase solid feed intake and therefore feeder visits increase [24].

4.3. Ruminating

In this study, it was observed that calves fed with high amount milk spare less time for rumination compared to calves fed with restricted milk. The reason for this may be the small amount of starter intake of the calves fed with high amount milk during the suckling period. This may be an indication that the rumen of calves fed with high amount milk is not well developed compared to those fed with restricted milk [25]. It has been reported that feeding with high amounts of milk suppresses metabolic and physical rumen development [26, 27, 28]. Hepola [25] reported that calves fed with restricted milk spend more time the rumination than calves fed *ad libitum*. It has been reported that calves fed with high amounts of milk spend less time for rumination [19]. After the calves start solid feed intake, they start to ruminate at 3-wk-age and increase the time they spend for rumination in parallel with solid feed intake [21].

4.4. Cross-sucking and tongue rolling

Cross-sucking behaviour is observed in calves suckling their dams [29]. In addition, this undesirable behaviour is more common in bucket-fed calves than in bottle-fed calves [30]. Cross-sucking can cause inflammation and hair loss in the absorbed body part [10, 31]. This behaviour can also cause mutual sucking, which means heifers and cows suck each other [11, 12, 13]. It has been reported that cross-sucking usually occurs within the first 10 min after milk feeding [31, 32] and this is related to the method of milk feeding [10]. As a matter of fact, cross-sucking behaviour was observed in restricted milk feeding group after morning and evening.

Studies have shown that calves housed in group's exhibit more cross-sucking behaviour than calves housed individually [33, 34]. Increasing the daily amount of milk reduces the occurrence of cross-sucking in calves [35].

It has been reported that stereotypical tongue-rolling behaviour occurs very rarely in calves fed with restricted milk [25]. Our study supports this result. Tongue-rolling behaviour rarely occurs in calves fed with restricted milk, probably because they have free access to solid forage [36]. Low solid feed intake improves tongue-rolling behaviour [37].

It has been reported that tongue-rolling behaviour is observed in calves fed *ad libitum* after morning meals [25]. As matter of fact, tongue-rolling behaviour was higher in G2 after morning meals. Intake of large amounts of milk reduces solid feed intake, which may tongue-rolling behaviour, [38] reported.

4.5. Vocalization

Calves' sense of hunger probably encourages them to vocalization [39]. Calves may vocalise loudly with the frustration of not milk feeding. They may also react to separation from the milk feeder [40]. Vocalization levels of calves with their dams are much lower than those of calves fed with restricted milk [41].

4.6. Licking itself

Calves with natural suckling behaviour spend less time licking themselves than calves fed with restricted milk [42, 43]. In addition, it has been reported by [44] that bottle-fed calves exhibit significantly more licking-self behaviour than calves suckle their dams.

4.7. Licking and biting structures

Behaviours such as material licking and biting have been observed in bucket-fed calves after a milk-feeding meal [31, 45, 46].

4.8. Licking pen-mate

No literature on this behaviour was found, so discussion with previous studies was not possible.

4.9. Conclusion

Calves fed with restricted milk spent more time at the feeder in the early days. However, the duration of visits to the feeder increase in groups that intake high amounts milk as they got older. As expected, visits with awards were higher in the group that intake high amount milk. Unrewarded visits were performed by calves fed with restricted milk. In addition, calves fed with restricted milk visited the starter feeder greater numbers.

The time spent for rumination was low in younger calves, but increased time spent ruminating as calves got older. Calves with restricted milk had more rumination time compared to calves fed with high amount milk. While calves fed with restricted milk preferred rumination after morning and evening meals, calves fed with high amount milk did not prefer rumination after morning meal.

Licking-self behaviour patterns were similar in both groups. Although the calves frequently preferred the licking-self behaviour pattern in the first period of their lives, they did not prefer this behaviour pattern with age. Licking pattern of roommate also showed similarity with licking-self behaviour pattern.

In the first period of their lives, the calves of both groups had more licking and biting structures behaviours. However, calves fed with restricted milk exhibited these behavioural patterns more than calves fed with high amount milk. This pattern of behaviour disappears with age.

Cross-sucking, which is one of the undesirable behaviour patterns in calves, was more common in calves' intake restricted milk. However, this behaviour pattern decreased with age in both groups. The tongue-rolling behaviour after was observed in calves fed with high amount milk. Although this behaviour pattern has decreased and increased over time, the calves have moved away from the behaviour pattern with age.

The pattern of vocalization behaviour, which is tough to be a sign of hunger, was observed more frequently in calves fed with restricted milk. However, with age, calves have moved away from this behaviour.

In this study, it has been to explain the changes in the behavioural patterns of calves by feeding different amounts and frequency of milk replacer during the suckling period. However, it also drew attention to some questions. Some of the issues to be explored in the future are:

1) Can the cross-sucking behaviour pattern, which is an undesirable behaviour that occurs during the suckling period, be prevented or how can it be prevented? For this, different strategies should be tried.

2) The effects of different feeding strategies on the undesirable behaviour of calves should be investigated in computer controlled feeders. For example, feeding with restricted milk at first, increasing the amount of milk in parallel with increasing age, and decreasing the amount of milk as weaning approaches.

3) How does the division of calves into male and female groups during the milk drinking period affect their behaviour?

Acknowledgment

We would like to thank the Isparta University of Applied Sciences Scientific Research Projects Management Unit, which financially supported the the study with Project no 2020-YL1-0107.

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.

The study was approved by the Animal Experiments Local Ethics Committee Isparta University of Applied Sciences with its decision date 27.05.2021 and numbered 002.

References

[1] Harper, G. C., Henson, S. J. 2001. Consumer concerns about animal welfare and the impact of food choice: the final report. EU FAIR CT98-978. Center for Food Economics Research, The University of Reading.

[2] Hewson, C. J. 2017. What is animal welfare? Common definitions and their practical consequence. *The Canadian Veterinary Journal*, 44(66), 496-499.

[3] De Passille, A. M., Rushen, J. 2006. Feeding management and stress in calves. In *ruminant Physiology, Digestion, Metabolism and Impact of Nutrition on Gene Expression, Immunology Stress* (PP. 499-510).

[4] Nilsen, P. P. 2018. Behaviours related to milk intake in dairy calves. The effects of milk feeding and weaning methods. Swedish University of Agricultural Sciences Ph. D. Dissertation.

[5] Drackley, J. K. 2005. Early growth effect on subsequent health and performance of dairy heifers. In *Calf and heifer rearing*. 213-235.

[6] Wicks, H. C. F., Fallon, R. J., Dawson, L. E. R., Speijers, M. H. M., Langa, J. R. S. O., Scaife, J. R., Brown, A., Twigg, J. 2005. Evaluation of the effect of changes in nutrition during the pre-weaning period on calf performance. In *Recent Advances in Animal Nutrition*, 315-335.

[7] Odde, K. G., Kiracofe, G. H., Schalles, R. R. 1985. Suckling behaviour in range beef calves. *Journal of Animal Science*, 109, 222-236.

[8] Day, M. L., Imakawa, K., Clutter, A. C., Wolfe, P. L., Zalesky, D. D., Nielsin, M. K., Kinder, L. E. 1987. Suckling behaviour of calves with dams varying in milk production. *Journal of Animal Science*, 65, 1207-1212.

[9] de Passille, A. M. B., Metz, J. H. M., Meking, P., Wiepkema, P. R. 1992. Does drinking milk stimulate sucking in young calves? *Applied Animal Behaviour Science*, 34, 23-36.

[10] Jensen, M. B. 2003. The effects of feeding method, milk allowance and social factors on milk feeding behaviour and cross-sucking in group housed dairy calves. *Applied Animal Behaviour Science*, 80(3), 191-206.

[11] Keil, N. M., Audige, L., Langhans, W. 2000. Factors associate with intersucking in Swiss dairy heifers. *Preventive Veterinary Medicine*, 45, 305-323.

[12] Keil, N. M., Langhans, W. 2001. Is intersucking in dairy cows the continuation of a habit developed in early life? *Journal of Dairy Science*, 84, 140-146.

[13] Lidfors, L., Isberg, L. 2003. Intersucking in dairy cattle-review and questionnaire. *Applied Animal Behaviour Science*, 80(3), 207-231.

[14] Toates, F. M., Jensen, P. 1991. Ethological and psychological models of motivation towards a synthesis. In *From Animals to Animals*, 194-205.

[15] Borderas, T. F., de Passille, A. M. B., Rushen, J. 2009. Feeding behaviour of calves fed small or large amounts of milk. *Journal of Dairy Science*, 92, 2843-2852.

[16] de Passille, A. M. B., Borderas, T. F., Rushen, J. 2011. Weaning age of calves fed a high milk allowance by automated feeders: Effects on feed, water, and energy intake, behavioural signs of hunger, and weight gains. *Journal of Dairy Science*, 94(3), 1401-1408.

[17] Jensen, M. B., Holm, L. 2003. The effect of milk flow rate and milk allowance on feeding related behaviour in dairy calves fed by computer controlled milk feeders. *Applied Animal Behaviour Science*, 82(2), 87-100.

- [18] de Paula Vieira, A., Guesdon, V., de Passille, A. M. B., von Keyserlingk, M. A. G., Weary, D. M. 2008. Behavioural indicators of hunger in dairy calves. *Applied Animal Behaviour Science*, 109(2-4), 180-189.
- [19] Jensen, M. B. 2006. Computer-controlled milk feeding of group-housed calves: the effect of milk allowance and weaning type. *Journal of Dairy Science*, 89(1), 201-206.
- [20] Rushen, J., de Passille A. M. B. 1995. The motivation of non-nutritive sucking in calves *Bos taurus*. *Animal Behaviour*, 49, 1503-1510.
- [21] Khan, M. A., Lee, H., Lee, W., Kim, H. S., Ki, K. S., Hur, T. Y., Suh, G. H., Kang, S. J., Choi, Y. J. 2008. Starch source evaluation in calf starter: II. Ruminal parameters, rumen development nutrient digestibilities, and nitrogen utilization in Holstein calves. *Journal of Dairy Science*, 91, 1140-1149.
- [22] Jung, J., Lidfors, L. 2001. Effects of amount of milk, milk flow and access to a rubber teat on cross-sucking and non-nutritive sucking in dairy calves. *Applied Animal Behaviour Science*, 72, 201-213.
- [23] Rosenberger, K., Costa, J., Neave, H., von Keyserlingk, M., Weary, D. 2017. The effect of milk allowance on behaviour and weight gains in dairy calves. *Journal of Dairy Science*, 100(1), 504-512.
- [24] Bach, A., Terre, M., Pinto, A. 2013. Performance and health response of dairy calves offered different milk replacer allowance. *Journal of Dairy Science*, 96, 7790-7797.
- [25] Hepola, H. 2008. Rearing strategies of young dairy calves in relation to production, behaviour and welfare. University of Helsinki, Department of Animal Science Publications.
- [26] Khan, M. A., Lee, H. J., Lee, W. S., Kim, H. S., Kim, S. B., Ki, K. S., Ha, J. K., Lee, H. G., Choi, Y. J. 2007. Pre- and postweaning performance of Holstein female calves fed milk through step-down and conventional methods. *Journal of Dairy Science*, 90(2), 876-885.
- [27] Steele, M. A., Doelman, J. H., Leal, L. N., Soberon, F., Carson, M., Metcalf, J. A. 2017. Abrupt weaning reduces postweaning growth and is associated with alterations in gastrointestinal markers of development in dairy calves fed an elevated plane of nutrition during the preweaning period. *Journal of Dairy Science*, 100(7), 5390-5399.
- [28] Shiasi Sardoabi, R., Alikhani, M., Hashemzadeh, F., Khorvash, M., Mirzaei, M., Drackley, J. K. 2021. Effects of different planes of milk feeding and milk total solids concentration on growth, ruminal fermentation, health, and behaviour of late weaned dairy calves during summer. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 12, 96.
- [29] Lidfors, L. M., Jensen, P., Algers, B. 1994. Suckling in free-ranging beef-cattle temporal patterning of suckling bouts and effects of age and sex. *Ethology*, 98, 321-332.
- [30] Jensen, M. B., Budde, M. 2006. The effects of milk feeding and group size on feeding behavior and cross-sucking in group-housed dairy calves. *Journal of Dairy Science*, 89(12), 4778-4783.
- [31] Lidfors, L. 1993. Cross-sucking in group-housed dairy calves before and after weaning off milk. *Applied Animal Behaviour Science*, 38, 15-24.
- [32] Margerison, J. K., Preston, T. R., Berry, N., Phillips, C. J. C. 2003. Cross-sucking and other oral behaviours in calves, and their relation to cow suckling and food provision. *Applied Animal Behaviour Science*, 80(4), 277-286.
- [33] Veissier, I., Ramires dde la Feb, A. R., Pradel, P. 1998. Nonnutritive oral activities and stress responses of veal calves in relation to feeding and housing consitions. *Applied Animal Behaviour Science*, 16, 217-231.
- [34] Babu, L. K., Pandey, H. N., Sahoo, A. 2004. Effect of individual versus group rearing on ethological and physiological responses of crossbred calves. *Applied Animal Behaviour Science*, 87, 177-191.
- [35] Nielsen, P. P., Jensen, M. B., Lidfors, L. 2008. Milk allowance and weaning method affect the use of a computer controlled milk feeder and the development of cross-sucking in dairy calves. *Applied Animal Behaviour Science*, 109(2), 222-236.
- [36] Redbo, I., Nordblad, A. 1997. Stereotypies in heifers are affected by feeding regime. *Applied Animal Behaviour Science*, 53(3), 193-202.
- [37] Webster, J. 1984. Calf husbandry, health and welfare. Granada Publishing Ltd.
- [38] Sato, S., Nagamine, R., Kubo, T. 1994. Tongue-playing in tethered Japanese Black cattle: diurnal patterns, analysis of variance and behavior sequences. *Applied Animal Behaviour Science*, 39(1), 39-47.
- [39] Thomas, T. J., Weary, D. M., Appleby, M. C. 2001. Newborn and 5-week-old calves vocalize in response to milk deprivation. *Applied Animal Behaviour Science*, 74(3), 165-173.
- [40] Jesper, J., Budzynska, M., Weary, D. M. 2008. Weaning distress in dairy calves: Acute behavioural responses by limit-fed calves. *Applied Animal Behavior Science*, 110, 136-143.

- [41] Hepola, H., Raussi, S., Veissier, I., Pursiainen, P., Okkelajarvi, K., Laroma, H., Vaisanen, T. 2006. Effect of restricted suckling on behavior, feed intake and growth of dairy calves. 40th International Congress of the ISAR. 8-12 August, Bristol, 153-155.
- [42] Kumar, A. 2014. Influence of weaning on the performance and behavior of calves and their dams in Murrah Buffalos. Ph. D. Dissertation, Deemed University, NDRI, Karnal.
- [43] Singh, P. K., Kamboj, M. L., Chandra, S., Kumar, A., Kumar, N. 2019. Influence of weaning on growth, health and behavior of buffalo (*Bubalus bubalis*) calves. Indian Journal of Animal Research, 53(5), 680-684.
- [44] Froberg, S., Gratte, E., Sjaunja, K. S., Olsson, I., Berg, C., Orihuela, A., Galina, C. S., Garcia, L., Lidfors, L. 2008. Effect of suckling (restricted suckling) on dairy cows udder health and milk let-down and their calves weight gain, feed intake and behavior. Applied of Animal Behaviour Science, 113(1-3), 1-14.
- [45] Hammell, K. L., Metz, J. H. M., Mekking, P. 1988. Sucking behavior of dairy calves fed milk ad libitum by bucket or teat. Applied Animal Behaviour Science, 20(3-4), 275-285.
- [46] Loberg, J., Lidfors, L. 2001. Effect of milkflow rate and presence of a floating nipple on abnormal sucking between dairy calves. Applied Animal Behaviour Science, 72(3), 189-199.

Kelebek Vana Tasarımlarında Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği Analizleri Kullanılarak Akış Katsayısı Özelliklerinin Artırılması

Erhan ÖZKAN*¹

¹Dikkan Ar-Ge Merkezi, 35730, İzmir, Türkiye

(Alınış / Received: 03.04.2023, Kabul / Accepted: 18.10.2023, Online Yayınlanma / Published Online: 25.12.2023)

Anahtar Kelimeler

Kelebek vana,
HAD,
Bilgisayar destekli tasarım,
CFX fluent,
Sonlu elemanlar analizi

Öz: Bu makalede; çift eksantrikli bir kelebek vananın verimini arttırmak, karbon ayak izini düşürmek, enerji tasarrufunu sağlamak için gerçekleştirilen bilgisayar destekli tasarım ve prototip üretim çalışmalarına yer verilmiştir. Hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD/HAD) ve sonlu elemanlar yöntemi (FEA/SEA) ile geliştirilmiş olan prototip ile klape mukavemeti artırılmış, vana ağırlığı optimize edilmiş ve akışa karşı direnci en aza indirilerek enerji kayıpları azaltılmış bir ürün tasarlanmıştır. Simülasyon tekniklerinin yoğun olarak kullanılması ile çevreye duyarlı ve yüksek verimli vanaların rekabet koşulları iyileştirilmiş olup pazara yenilikçi bir ürün sunulmuştur. Mukavemet ve akış optimizasyonları için bilgisayar ortamında ANSYS (Fluent / CFX ve Mechanical) programı ile analizler yapılması neticesinde optimize edilen vana tasarımı gerçekleştirilmiştir. Yüksek akış katsayılarında çalışabilen ve aynı zamanda farklı bir klape tasarımı ile sektörde en düşük enerji kayıplarına sahip bir prototip geliştirilmiştir. Solidworks sürdürülebilirlik raporu ile karbon ayak izi ve toplam tüketilen enerji değerleri tespit edilmiş olmakla birlikte yerli ve yabancı rakipler arasında en az basınç kaybı değerine sahip çift eksantrik kelebek vananın tasarımı gerçekleştirilmiştir.

Increasing Flow Coefficient Characteristics by Using Computational Fluid Dynamics Analysis in Butterfly Valve Designs

Keywords

Butterfly valve,
CFD,
Computer aided design,
CFX fluent,
Finite element analysis

Abstract: In this article; computer-aided design and prototype production studies carried out to increase the efficiency of a double eccentric butterfly valve, reduce its carbon footprint and provide energy savings were included. With the prototype developed by computational fluid dynamics (CFD/HAD) and finite element method (FEA/SEA), a product with increased disc strength, optimized valve weight, and reduced energy losses by minimizing resistance to flow has been designed. With the intensive use of simulation techniques, the competitive conditions of environmentally friendly and highly efficient valves have been improved and an innovative product has been introduced to the market. For strength and flow optimizations, the optimized valve design was carried out by analyses with the ANSYS (Fluent / CFX and Mechanical) program in the computer environment. A prototype has been developed that can operate at high flow coefficients and has the lowest energy losses in the industry with a different valve design. With the Solidworks sustainability report, the carbon footprint and total consumed energy values has been carried out.

1. Giriş

Hesaplı Akışkanlar Dinamiği (HAD-İngilizce kısaltması CFD) akışkanlar mekaniğinin bir alt dalı olarak kabul edilmektedir ve akışkanlardan kaynaklanan sorunların nümerik algoritmalar kullanılarak

çözümlemesini sağlamaktadır [1]. HAD yöntemi özellikle sıvı-gaz gibi akış içeren proseslerde kullanılmakta olan bir simülasyon aracı olarak tanımlanabilir [2]. Bu yöntem çoğu zaman, akışkanın akışı, ısı-kütle hareketlerini içermekte olan taşınım fonksiyonlarının bütün türlerine ilişkin çalışma

*İlgili yazar: erhanozkan81@icloud.com

biçimlerini belirlemek için kullanılır [3]. Fakat her zaman analitik yöntemlerden faydalanarak akışkan davranışların belirlemek mümkün olmayabilir ve çözüm için sayısal yöntemler kullanılabilir [4]. Analitik metotlar genelde matematiksel fonksiyonlar biçiminde çözüm üretirlerken nümerik metotlar genelde sayısal sonuçlar sağlamaktadır [5]. Bu yöntemler kullanılarak, gerçekleşen sonuç değerlerine oldukça yakın değerler elde edilebilmekte ve bu değerler istenilen düzeyde hassaslaştırılabilmektedir. Sonuçlardaki hassasiyetin artırılmak istenmesi durumunda bilgisayar tarafından çözülecek işlem sayısı artmaktadır, bu da hem çok uzun süren hesaplama sürelerine hem de kullanılmakta olan bilgisayarın zorlanmasına neden olmaktadır [6]. 1920'li yıllarda araştırılmakta olan sayısal analizler, HAD yöntemiyle yapılan çalışmaların temelini oluşturmaya rağmen teknolojiye yaşanan gelişmelere ve bilgisayar kullanımındaki artışa bağlı olarak HAD metodu ile çözüm elde edilmesindeki artış ancak 1990'dan sonra gerçekleşmiştir [7]. Bilgisayarların işlem kabiliyetlerinin, güçlerinin ve hızlarının her geçen gün daha da iyi seviyelere ulaşmasının yanı sıra test ve deney mekanizmalarının maliyetlerinin yüksekliği ve veri elde edilme sürelerinin uzunluğu bu durumun başlıca sebepleridir [8-11]. Karmaşık ve analizi zor akış problemleri, geliştirilen yüksek hızlı süper bilgisayarlar sayesinde daha basit şekilde çözüme ulaştırılabilmektedir. Bu da HAD yönteminin akışkan problemleri ve bilgisayar arasında köprü görevini görmesini sağlamaktadır [9].

Farklı firmalar tarafından sunulan birçok yazılım, HAD metodunu kullanarak sayısal çözümler ve simülasyonlar sunmakta ve dünyada yaygın olarak kullanılmaktadır. ANSYS FLUENT, ANSYS CFX, PHOENICS, Autodesk CFD, OpenFoam CFD, Solidworks Flow Simulation, COMSOL, Star-CCM+, POLYFLOW, simFlow, Abaqus/CFD, ICFM CFD, PAM-FLOW, CFD++ gibi birçok program ülkemizde de yaygın olarak kullanılmaktadır [10-13]. Geliştirilen bu programlar ile simülasyonlar gerçekleştirilirken, akışkanların akışı ve ısı transferini çözümlen denklemler ile akışkanlar mekaniğinde Navier-Stokes denklemleri olarak bilinmekte olan temel korunum yasalarının matematiksel eşitliklerinden yararlanılmaktadır [14,15]. Bu eşitlikler, süreklilik denklemi olarak bilinmekte olan kütle korunumu, Newton'un ikinci hareket kanunu olan momentum korunumu ve termodinamiğin birinci yasası olan enerjinin korunumu ile ifade edilmektedir [16].

Diğer taraftan bu simülasyonların yaygın bir şekilde kullanılarak akışkan davranışlarının araştırıldığı vana sektöründe vana fikrinin kimin tarafından ve ne zaman keşfedildiğine dair net bir bilgi bulunmamaktadır. Eski Mısır, Eski Roma, Eski Yunan Medeniyetleri gibi tarih öncesi çağlarda ilkel vana uygulamalarına rastlanmıştır, tarihte ise ilk vana uygulamalarına akarsuların akış yönünü değiştirmek ve önlerine set çekmek amacıyla kullanılan ağaç

tomrukları ve kayalar örnek verilebilir [17]. Modern çağlarda vana kullanımının 1705 yılında Thomas Newcomen'in geliştirdiği ve sanayide ilk defa kullanılan buhar makineleriyle başladığı kabul edilmektedir. Buhar, o yıllara kadar kullanılan diğer akışkanlardan farklı olarak basınç altında kullanılmaktaydı ve bu nedenle buharın niteliklerine uyumlu vana kullanılması gerekmektedir. 1705 yılından sonra gelişen teknoloji ile doğru orantılı olarak farklı tip ve özelliklerde vana ihtiyaçları ortaya çıkmıştır [18].

1930'lu yılların öncesinde el kumandalı vanalar kullanılmaktaydı ve bu tip vanaları kumanda etmek için mutlaka bir kişinin vananın başında çalıştırılması zorunluydu [19]. Yine aynı yılların başında kontrol odasından çıkmadan bir pedal aracılığı ile vananın açılıp kapatılması imkânı sağlanmış ve kontrol vanalarının ilk versiyonu kullanılmaya başlanmıştır. Günümüzde ise vanalarda tam otomasyon sağlanarak elektrik-elektronik kontrollü veya hidrolik-pnömatik kontrollü vanalar kullanılmaya başlanmıştır. Teknolojik gelişmelere ve ekonomik şartlara bağlı olarak vanaların kullanım tercihleri değişmekte olup örneğin tüm dünyada sanayi yatırımlarında durgunluk olduğu dönemlerde vana kullanımında genel bir azalma gözlemlenmiştir [20].

Artan sanayi yatırımları ile gelişmiş olan kelebek vanalar; klape adı verilen ve vana merkezinde yataklanmış düz bir diskin, akışkanın geçtiği deliğin ortasında 90° döndürülmesi ile akışkanın geçişini engelleme veya izin verme şeklinde görevlerini yerine getirmektedirler ancak kelebek vanalar hassas akış kontrolü sağlanması için uygun değildir. Sızdırmazlık yüzeyine kuvvet bileşeni uygulanması ve mil yataklarının sızdırmazlık yüzeyinde kesinti oluşturmaması daha yüksek basınç kademelerine çıkılabilmeye olanak sağlamaktadır. Ayrıca, küçük açma açılarında bile, klape sızdırmazlık yüzeyinden ayrılarak, sürtünmeyi ortadan kaldırmaktadır [21].

Sızdırmazlık performansının yüksek beklendiği yerlerde sızdırmazlık yüzeyi yumuşak olmayan, oturmalı tip ve sürgülü vanaların kullanımı uygun olmamaktadır. Sızdırmazlığın iyi olması için; elastomer kullanılarak %100 sızdırmazlık sağlanabilen küresel vanalar, kelebek vanalar, membranlı vanalar ve pistonlu vanalar kullanılmalıdır [22,23].

Bu çalışmayı başlatan motivasyon; mevcut kelebek vanaların klape yüzeyindeki sürtünmeyi azaltmak, özgün bir tasarım ile düşük karbon salınımı ve yüksek enerji verimi elde etmektir. Bu amaçla mevcut ürünler ve ulaşılmak istenilen hedefe sahip akışkanlar dinamiği hesaplamaları simülasyon çalışmaları ile gözden geçirilmiş ve bilgisayar destekli tasarım ve prototip imalat sonucunda yüzeydeki sürtünmeyi minimuma indirecek tasarım süreçleri detaylı olarak aktarılmıştır. Yüzeydeki akışkandan kaynaklı

sürtünmenin azaltılması ile sızdırmazlık sağlanmış, enerji ve su tasarrufu kazandırılmıştır. İçme suyu, dağıtım hatları, endüstriyel uygulamalar, su arıtma tesisleri, pompa istasyonları, deniz suyu uygulamaları ve sanayi atık sistemlerinde yaygın bir şekilde kullanılan vanaların EN GJS 400-18 LT standardına uygun hammadde verileri kullanılarak TS EN 1267 ve EN 1074 gerekliliklerini yerine getirmek amaçlı proses ve akış hattı tasarım simülasyonu ile prototip ürünün imal edilmesi sağlanmıştır. Çalışma ile ilgili standartlar değerlendirildiğinde boru hatlarında meydana gelebilecek olan yüksek gerilmelere karşı dayanıklı olan EN GJS 400-15 (GGG 40 olarak da tanımlanan) malzeme ile simülasyon destekli analizler ve prototip üretim faaliyetleri gerçekleştirilmiştir. Solidworks sürdürülebilirlik raporu ile ürün başına 140 kg CO₂ karbon ayak izi elde edilerek mevcut ürünlerde %26 iyileşme, malzeme, üretim ve ürün ömründe 1400 MJ/ürün toplam enerji tüketimi ile %32 enerji tasarrufu elde edilecek ürünün tasarımı ve prototip imalatı gerçekleştirilmiştir. Ürünün geliştirilmesi aşamasında elde edilen özgün bombeli gövde ve kademeli mil tasarımları için ulusal ve uluslararası patent başvuruları gerçekleştirilmiştir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği

HAD vana sektöründe yaygın olarak kullanılan tasarım ve analiz yöntemidir. Bu sayede akış koşullarını tanımlayan çeşitli denklemler kullanılarak vana içerisindeki 3 boyutlu akışlar simüle edilmektedir. Prototip üretiminden önce analizlerin tamamının sanal bir ortamda yapılıyor olması ve ilk seferde doğru temellere dayanan, daha az iş gücü ve malzeme kaybı sayesinde ürünün seri üretimine aktarılabilir olması tasarımcılar için oldukça önemlidir. Ürünlerin üç boyutlu tasarımları Solidworks çizim programı ile gerçekleştirilmiştir. HAD analizleri ve SEA için ANSYS bilgisayar destekli simülasyon programından faydalanılmıştır.

Çalışmaların deneysel doğrulamalar ile yapılabilmesi adına test düzeneğinin kapasitesine göre 200 mm çapına sahip kelebek vana ile uygulamalarda en yaygın olan 1000 mm çapındaki kelebek vana seçilmiştir. Sektörde, standartta tanımlandığı gibi ürünlerin anma çapları mm cinsinden önlerine DN eklenerek sınıflandırılmaktadır ayrıca ürünlerin kullanıldığı basınçlar ise PN ile ifade edilmektedir. Uygulamalarda en yaygın olarak kullanılan 16 bar basınç altında çalışabilecek ürünlerin tasarımları gerçekleştirilmiş olup DN 200, DN 1000 anma ve nominal basınçları PN16 olarak ifade edilmiştir.

HAD analizlerinde K-epsilon türbülans modeli ile çözülmüş, y+ değeri 3 ve altında tutularak sınır katmanlarında (boundary layers) ve ağ örgüsünde iyileştirmeler yapılmıştır.

2.2. Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği Formülasyonları

EN 1267:2012 (E) standardına göre akış katsayısı ve basınç kayıp katsayısı formülleri tanımlanmıştır. Buna göre akış katsayısı (Kv) Denklem 1 ile hesaplanmaktadır.

$$Kv = Q \sqrt{\frac{\rho}{\Delta p \times \rho_0}} \quad (1)$$

Bağıntıdaki Kv (m³/saat) akış katsayısını, Q m³/saat cinsinden akış debisi, ρ suyun kg/m³ cinsinden yoğunluğunu, ρ₀ suyun 15 °C'deki kg/m³ cinsinden yoğunluğunu, Δp (Giriş basıncı ile çıkış basıncı arasındaki fark) bar cinsinden vanadaki basınç kaybını ifade etmektedir.

Akışkan direnç katsayısı ζ (zeta) Denklem 2'ye göre ele alınmaktadır.

$$\zeta = \frac{2 \times \Delta P}{\rho \times u^2} \quad (2)$$

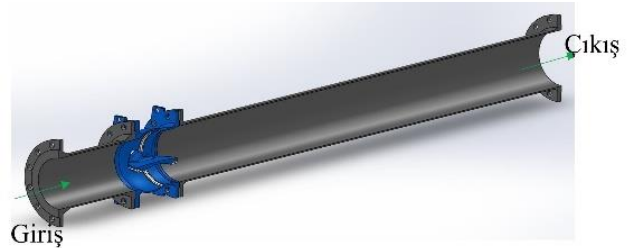
Denklem 2'de ΔP pascal cinsinden vanadaki basınç kaybını, u m/s cinsinden akış hızını, ρ ise suyun kg/m³ cinsinden yoğunluğunu ifade etmektedir.

TS EN 1267 akış direnci deney standardına göre Solidworks çizim programında vana tam açık pozisyonda olacak şekilde modellenmesi yapılmıştır. Gerçekleştirilen modelleme Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Üç boyutlu vana modeli

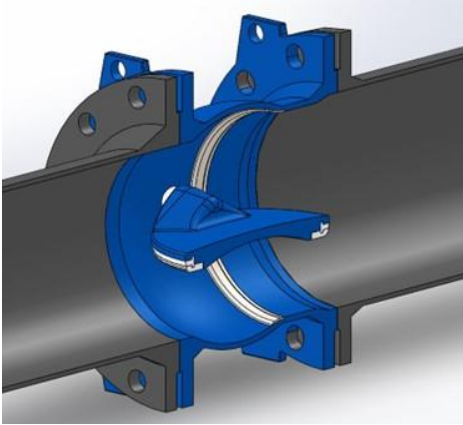
Bu modellemede akışkan giriş ve çıkış sınır koşullarının tanımlanması kritik bir öneme sahiptir. Standartta göre; vanadan 2xDN uzaklığında giriş sınır koşulları, 10xDN uzaklığında ise çıkış sınır koşulları tanımlanmıştır. Şekil 2'de HAD için akışkan yönü tasarımı yer almaktadır.



Şekil 2. HAD için akışkan yönlerinin tespit edilmesi

Sistemdeki akış katsayılarının doğru tespiti ve hesaplamaların gerçek veriler ile doğrulanması adına klape tam açık pozisyonda olacak şekilde hesaplama işlemleri gerçekleştirilmiştir. Şekil 3'te klape tam

açık pozisyona göre sistemdeki yerleşimi yer almaktadır.



Şekil 3. HAD simülasyonu için klapeenin tam açık pozisyon yerleşimi

EN 1267 ve EN 1704 standartlarında tanımlanan vana basıncına ait akışkan hızı sınır değerlerine göre PN 16 basınç sınıfında yer alan tasarımlarda akışkan giriş hızı 4 m/s olarak seçilmelidir. Bu çalışmadaki HAD analizlerinde bu değer giriş hızı olarak ele alınmıştır.

Çıkış sınır değeri analizlerinde ise en yüksek çalışma basıncı olan 16 bar üst sınır değeri olarak tanımlanmıştır.

2.3. Sonlu Elemanlar Analizi

SEA'da tasarımı gerçekleştirilen vananın EN 1704 standardında tanımlanan sınır koşullarına göre mukavemet değerleri tespit edilmiştir. SEA'da parçalar tekil ve montajlı olarak iki farklı sayısal yöntemle ele alınmış ve Rayleigh-Ritz metodu ile interpolasyon çözümü gerçekleştirilmiştir. Standartta belirtilen sınır koşulları aynen uygulanmış ve gövde parçası için nominal basınç değerinin bir buçuk katı, klape parçası için nominal basınç değerinin yüzde on fazlası olarak tanımlanmıştır. Bu aşamadan elde edilen sonuçlar ile malzeme analizi ve seçimi aşamasına geçilmiştir.

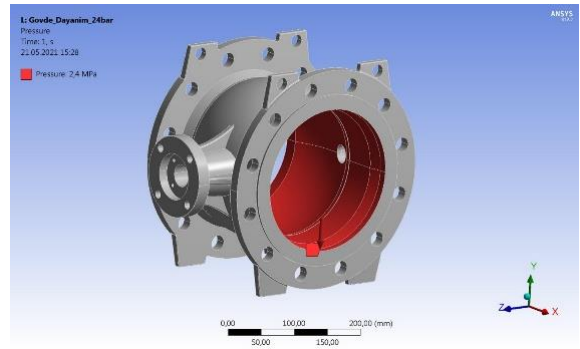
2.3.1. Malzeme Seçimi

Akışkanın temas ettiği gövde parçasının modellemesi gerçekleştirilirken TS EN 12266 ve TS EN 1074 standartlarına göre yapılan analizler neticesinde gövde basıncının bir buçuk kat basınç değerine dayanabilecek gövde malzemesi seçilmiştir. Basınç değerinin yüzde on fazlasına dayanacak klape malzemesi de yine aynı yöntemle seçilmiş olup gövde ve klape dayanım analizlerine göre parçalardaki gerilmeler ve deformasyon sonuçlarına göre malzeme seçimi yapılmıştır. Sonlu elemanlar mekanik analizlerine göre EN GJS 400-15 (GGG 40 olarak da tanımlanan) malzeme seçilmiştir. Şekil 4'te sonlu elemanlar yöntemi ile seçilen gövde ve klape malzemesine ait değerler yer almaktadır.

| GGG 40 Tipi Malzeme Seçimi | | |
|----------------------------|-------------------------------|-------------------|
| A | B | C |
| Özellik | Değer | Birim |
| Malzeme Seçim | Tablo | |
| İzotropik Elastisite | 7300 | kg m ³ |
| Alınan Değer | Young Modülü ve Poisson Oranı | |
| Young Modülü | 1,69E+11 | Pa |
| Poisson Oranı | 0,235 | |
| Yüzey Modülü | 1,06E+11 | Pa |
| Kayma Modülü | 6,82E+10 | Pa |
| Çekme Mukavemeti | 2,40E+08 | Pa |
| Üst Çekme Mukavemeti | 4,00E+08 | Pa |

Şekil 4. Gövde ve klape malzemesine ait sonlu elemanlar değerleri

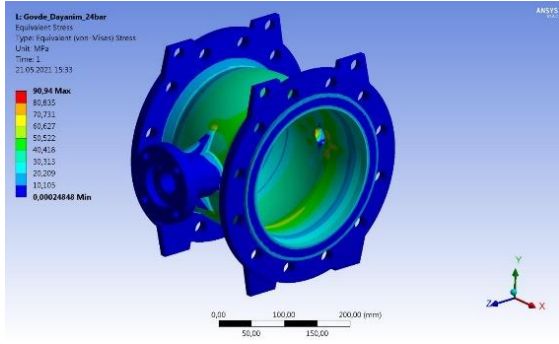
Sistemdeki gerilmeler ele alınıp sanal-simüle ortamda ürün ve proses tasarımı gerçekleştirilmiştir. Sonlu elemanlar analizlerinde gövde akışkan temas yüzeylerinde 24 bar basınç tanımlanmıştır. Şekil 5'te gövde yüzeylerine uygulanacak olan maksimum basınç değerleri gösterilmiştir. Ürün prosesinde, prototip üretim için düşük ergime sıcaklığı, uygun akışkanlık ve kolay döküm, işlenebilirlikte kolaylık, yüksek aşınma direnci ile yüksek mukavemet ve süneklik değerlerine sahip hammadde olan EN GJS 400-15 seçiminin yapılmış olması prosesi hızlandırmıştır.



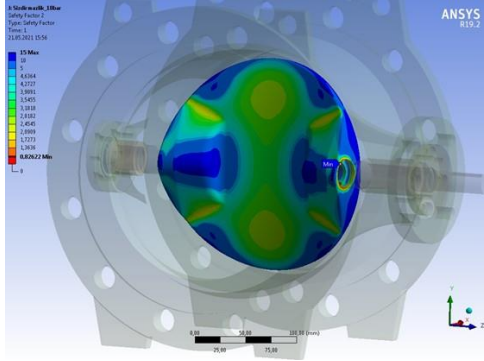
Şekil 5. Sonlu elemanlar analizleri için gövde akış temas yüzeyine tanımlanan en yüksek basınç yükü

Sayısal simülasyon uygulamaları sayesinde malzeme üzerindeki yük-gerilme dağılımları, operasyonlar arası boyutsal değişimler ve bunlar gibi metalurjik ve mekanik özelliklerin farklı parametrelerdeki değişimleri tasarımı yapılan prototip üretime aktarılmadan önce ortaya konabilmektedir. Gövde üzerindeki eşdeğer gerilmelerin analizlerine göre tasarım doğrulama işlemi gerçekleştirilmiştir. Şekil 6'da gövde için 16 barlık nominal basıncın bir buçuk katı olan 24 bar basınç altında çalışabilen gövde tasarımının mekanik analiz değerleri gösterilmiştir.

240 MPa akma mukavemeti değerleri ele alınarak gerçekleştirilen klape malzemeleri için nominal basıncın yüzde on fazlası sınır koşul tanımlanarak mekanik sayısal analiz yöntemi gerçekleştirilmiştir. Buna göre 16 barlık maksimum çalışma basıncının 1,1 katına denk gelen 18 bara göre klape mekanik analizi Şekil 7'de gösterilmiştir.



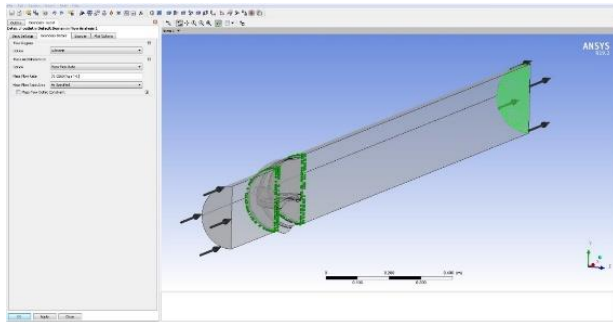
Şekil 6. Gövde tasarımı için seçilen malzemenin 24 Bar basınç altındaki mekanik analizi



Şekil 7. Gövdeye monte edilmiş ve nominal basınç değerinin 1,1 katı altında çalışan klapeenin mekanik analizi

2.4. Akış Simülasyonları

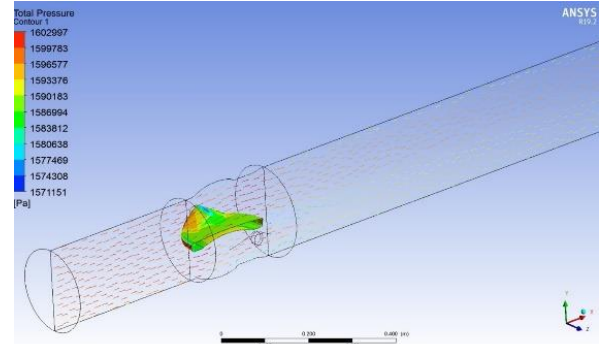
Sonlu elemanlar yöntemi ile uygun mekanik dayanıma sahip EN GJS 400-15 malzeme ile tasarımı yapılan ürünler; 16 bar basınç, 4m/s akış hızı altında ve klape tam açık pozisyonundaki HAD analizleri gerçekleştirilmiştir. Şekil 8'de HAD'a ait genel görünüm yer almaktadır.



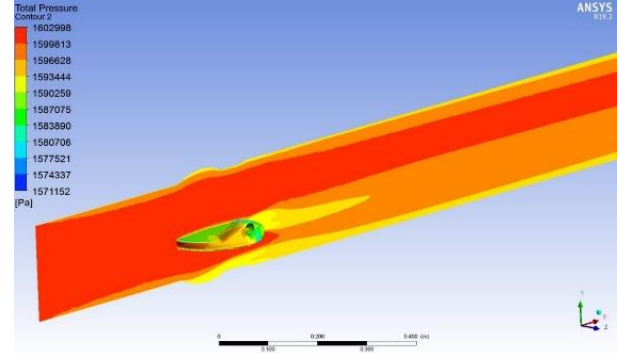
Şekil 8. Sistemin 16 bar, 4m/s akış hızındaki genel davranışı

Bu davranışın karakteristiğini daha iyi yorumlayabilmek adına hız vektörleri analizi gerçekleştirilmiştir. Buna göre klape tam açık pozisyonda iken klape ve gövde akışa karşı dayanımı daha net karakterize edilebilmiştir. Şekil 9'da sistemin hız vektörleri analizi gösterilmiştir.

Bu sistemin hız vektörleri analizini destekleyecek diğer parametre ise 16 bar basınç altındaki karakteristik davranışı olacaktır. Şekil 10'da sistemin basınç dağılımı gösterilmiştir.

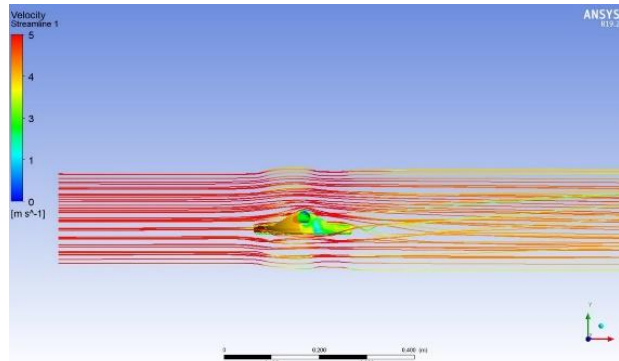


Şekil 9. Sistemin 4m/s hız vektörleri analizi



Şekil 10. Sistemin 16 bar basınç analizi

Akış belirli bir hız ve basınçta gerçekleştiğinde sistemin akış ipdikçikleri dağılım analizi gerçekleştirilerek toplam dayanım analiz edilmektedir. Şekil 11'de 4m/s vektör hızında, 16 bar basınç altındaki sistemin akış ipdikçikleri dağılım analizi yer almaktadır.



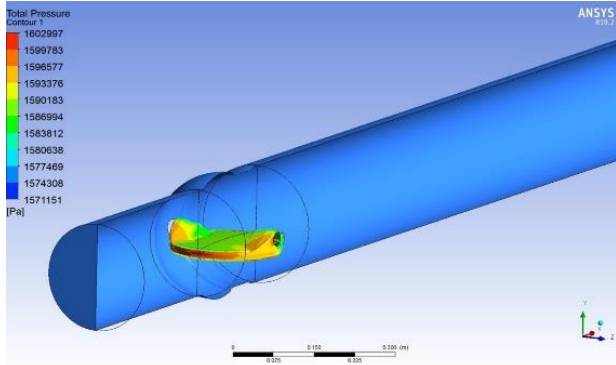
Şekil 11. Akış ipdikçikleri dağılımı

Tüm akış ve basınç analizleri gerçekleştirildikten sonra klape üzerindeki hidrodinamik kuvvetlerin analizleri gerçekleştirilmiştir. Şekil 12'de klape üzerindeki hidrodinamik kuvvetlere ait olan HAD analiz görseli yer almaktadır.

2.5. Tasarım Doğrulama, Geçerli Kılma ve Prototip Üretim

Hidrodinamik özellikleri analiz edilerek tasarımı gerçekleştirilen klapeenin döküm modeli ve maça sandığı üretimi Bilgisayar Destekli Üretim (CAM) yazılımları ile Bilgisayarlı Sayısal Kontrol (CNC)

tezgahlarında gerçekleştirilmiştir. Şekil 13'te klapeye ait ahşap model üretimi gösterilmiştir.



Şekil 12. Klape üzerindeki hidrodinamik kuvvetlere ait HAD analizi



Şekil 13. Yeni tasarım klape ahşap model üretimi

Tasarlanan ve mekanik dayanım analizlerinin simülasyon ile doğrulandığı klapenin monte edileceği gövdeye ait model tasarımı Şekil 14'te gösterilmiştir.



Şekil 14. Yeni tasarım bombeli gövde döküm modeli

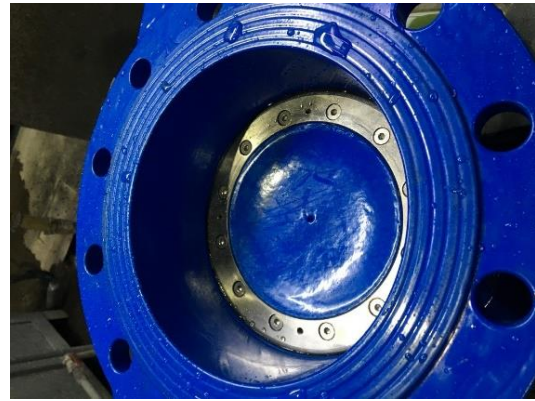
Dökümü gerçekleştirilen gövdenin boyut kontrolü Faro Arm Quantum cihazı ile gerçekleştirilmiş ve ölçümlere ait rapor Faro CAM2 yazılımı ile elde edilmiştir. Şekil 15'te gövde dökümünün hassas ölçümlerine ait rapor yer almaktadır.

Üretilen gövde ve monte edilen klapenin simülasyonda gerçekleştirilen basınç testleri EN 1074'e göre gerçekleştirilmiştir. Basınç testleri gövde için 24 bar basınç altında vananın sızdırma ve hasar görmemesine göre değerlendirilmektedir. Basınç

testinin gerçekleştirildiği tasarım Şekil 16'da yer almaktadır.



Şekil 15. Döküm gövdeye ait hassas ölçüm raporu



Şekil 16. Basınç testine alınan gövde ve klape düzeneği

Simülasyon çalışmalarında herhangi bir sorun tespit edilmeyen ve buna göre üretimi gerçekleştirilen gövde ve klapenin debi kapasite ölçümleri Kv test düzeneğinde yapılmıştır. Şekil 17'de prototip Kv test düzeneği yer almaktadır.



Şekil 17. Kv test düzeneği

3. Bulgular

16 bar hat basıncı olacak şekilde ürün ve deney tasarımları gerçekleştirilmiştir. 16 barlık hat basıncı

altında üründe herhangi bir plastik deformasyon ve sızdırma gözlenmemiştir.

16 bar iç ve dış basınç altında ve 4 m/s akışkan hızında vana tam açık pozisyona geldiğinde akışkan katsayısı K_v 'nin 1970 m³/saat olacak şekilde simülasyon çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Testler sonucunda elde edilen değerler neticesinde akış analizleri 1876 m³/saat ölçülmüştür. Bu ölçüm tasarım ile mukayese edildiğinde %5'lik bir hata payına tekabül etmektedir, EN 1074 standartlarında bu sapmanın %10'un altında olması beklenmektedir. Bu sebeple akış analizleri ve fiziksel test sonuçlarının birbirleri ile uyumlu olduğu tespit edilmiş ve herhangi bir uygunsuzluk ile karşılaşılmağıdır. Şekil 18'de verilen fiziksel test raporunda sonuçlar yer almaktadır.

| HESAPLAMALI AKIŞKANLAR DİNAMİĞİ (HAD) ANALİZ RAPORU | | | | | |
|--|---------------------|-------------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|---|
| VALVE TYPE : YENİ JENERASYON KELEBEK VANA / DIKKAN SERİSİ | | | | | |
| DN : | 200 | (220) | / | (Akışkan Hızı : | 4 m/s) |
| PN : | 16 | | | | |
| KLAPENİN AÇIK POZİSYONU (%) : 100 | | | | | |
| Giriş Basıncı (bar) | Çıkış Basıncı (bar) | HAD Analizindeki Akışkan Hızı (m/s) | Akışkan Debisi (m ³ /h) | Diferansiyel Basınç Farkı (ΔP) (bar) | Akış Katsayısı (Kv) (m ³ /h) |
| 15,99999 | 15,97870 | 4,084 | 273,7 | 0,02129 | 1875,8 |
| Not: Geometrinin simetrik olarak yansı kullanıldığı için hesaplamada da debi değerinin yansı kullanılmıştır. | | | | | |

Şekil 18. Ürüne ait K_v ölçüm raporu

Ürün komponentlerinin TS EN 12266 standardında belirtilen 1,5 x 16 bar = 24 bar gövde iç basıncına dayanım, 1,1 x 16 bar = 18 bar sızdırmazlık testleri başarıyla gerçekleştirilmiştir. Vanaların birçoğunda akış yolunun gerçek uzunluğundan kaynaklanan sürtünmenin oluşturduğu kayıplar, akış yönündeki ani değişiklikler, akış yönündeki engeller ve yüzey pürüzlülükleri sebebiyle bu değerler değişkenlik göstermektedir ancak prototip imalat test sonuçları ile simülasyon sonuçları kıyaslandığında ürünün K_v değerlerinde bir farklılık tespit edilmemiş ve bilgisayar destekli tasarım ve prototip üretim verileri neredeyse birebir örtüşmüştür.

Gövde tasarımında minimum 240 N/mm² akma mukavemetine göre gerçekleştirilen akış testlerinde 16 bar altında herhangi bir olumsuzluk tespit edilmemiş olup 24 bar basınç altında üründe plastik deformasyon meydana gelmemiştir.

Klape malzemesinin testlerinde 1,1 kat fazla gerçekleşen gerilmelerin altında problem tespit edilmemiş olup, maksimum basıncın iki katı yükler altında deformasyon gözlenmemiş ve ürün EN 1074 standardının gerekliliklerini başarıyla sağlamıştır.

Solidworks sürdürülebilirlik raporu ile ürün başına 140 kg CO₂ karbon ayak izi elde edilerek mevcut

ürünlerde %26 iyileşme; malzeme, üretim ve ürün ömrü ile 1400 MJ/ürün toplam enerji tüketimi ile %32 enerji tasarrufu elde edilecek ürünün tasarımı ve prototip imalatı gerçekleştirilmiştir. Ürünün geliştirilmesi aşamasında elde edilen özgün bombeli gövde ve kademeli mil tasarımları için ulusal ve uluslararası patent başvuruları tamamlanmıştır.

4. Tartışma ve Sonuç

İklim kriziyle mücadele kapsamında su kaynaklarının verimli kullanılması kaçınılmaz hale gelmiştir. İklim krizinin oluşmasının başlıca sebepleri arasında yer alan ve küresel ısınmanın ölçüsü olan karbon ayak izinin azaltılması için çalışmalar devam etmektedir. Bu çalışma neticesinde tasarımı gerçekleştirilmiş olan kelebek vana ürününde akış katsayılarındaki iyileştirmeler ile enerji kayıpları %32 azaltılmış, karbon ayak izi %26 düşürülmüştür. Gövde ve klape tasarımlarında simülasyon destekli testlerin, gerçek test verileri %95 oranında örtüşmesi simülasyon destekli tasarımların önemini bir kez daha ortaya koymuştur. Makalede gerçekleştirilen çalışmalar neticesinde özgün bombeli gövde ve kademeli mil yapısı için ulusal ve uluslararası patent başvuruları gerçekleştirilmiştir. Vana sektöründe ilk patent 1839 yılında yayımlanmış ve 1900'lü yılların ortasında neredeyse tüm vana komponentlerine ait patentler alınmıştır. Bu çalışma neticesinde ulusal ve uluslararası patentlerin tamamı taranmış, geliştirilen bombeli gövde ve kademeli mil tasarımı ile ilgili herhangi patentin alınmadığı tespit edilmiştir. Bu sonuç çalışmayı daha özgün bir hale getirmiştir. Makalede gerçekleştirilen çalışmaların ticarileşmesi neticesinde; uzun ömürlü, enerji verimi yüksek, çevre ve insan sağlığı değerlerini korumayı hedefleyen, tamamen yerli ve milli bir ürün vana sektörüne kazandırılmıştır.

Teşekkür

KOSGEB Ar-Ge İnovasyon Destek Programı kapsamında başarıyla tamamlanan "Akış Direnci Minimize Edilmiş, Düşük Torklarla Çalışan, Korozyon Dayanımı Artırılmış, Yüksek Performanslı Yeni Nesil Kelebek Vana" başlıklı projemize verdiği destek sebebiyle KOSGEB'e, "Çift Eksantrik Kelebek Vana" ve "Yeni Gövde Tasarımına Sahip Çift Eksantrik Kelebek Vana" başlıklı buluşlarımızın ulusal ve uluslararası patent sürecinde verdiği destek sebebiyle Türk Patent ve Marka Kurumu'na teşekkürlerimizi sunarım.

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 ederim.

Kaynakça

- [1] Keskin, G. 2019. Doğal havalandırmalı plastik serada bazı iklim parametrelerinin hesaplamalı akışkanlar dinamiği (had) ile belirlenmesi: hatay ili örneği. Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Hatay.
- [2] Cemek, B., Atış, A., Küçüktopçu, E. 2017. Evaluation of temperature distribution in different greenhouse models using computational fluid dynamics (CFD). *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 32(1), 54-63.
- [3] Aslanbay Güler B., İmamoğlu, E. 2020. Bilgisayar destekli simülasyon ve hesaplamalı akışkanlar dinamiği. *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi*, 13(1), 42-52.
- [4] Küçüktopçu, E. 2016. Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) Kullanarak Kümes İçi Çevre Koşullarının Belirlenmesi. Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Samsun.
- [5] Arsenoia, V., Vlăduț, V., Țenu, I., Voicea, I., Moiceanu, G., Cârlescu, P. M. 2019. Mathematical Modeling and Numerical Simulation of the Drying Process of Seeds in a Pilot Plant. *INMATEH-Agricultural Engineering*, 57(1), 55-62.
- [6] Malekjani, N., Jafari, S.M. 2018. Simulation of food drying processes by Computational Fluid Dynamics (CFD); recent advances and approaches. *Trends in Food Science and Technology*, 78, 206-223.
- [7] Süfer Ö., Kumcuoğlu, S., Tavman, Ş. 2016. Gıda Mühendisliğinde Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği Uygulamaları. *Akademik Gıda*, 14(4), 465-471.
- [8] Skousen, P.L. 1997. *Valve Handbook*, Mc Graw-Hill Company, 121-155.
- [9] Zappe, R.W. 1998. *Valve Selection Handbook*, Fourth Edition, GP Publishing, 73-76.
- [10] Nesbitt, B. 2007. *Handbook of Valves and Actuators*, Elsevier, 96-102.
- [11] Flitney, R. 2007. *Seals and Sealing Handbook*, Elsevier Inc., 59-64.
- [12] Tokay, S. 2013. Vanalar ve Vana Uygulamaları, Duyar Akademi Yayınları Kitap Dizisi, No:1, 19-31.
- [13] Lin, Z., Sun, X., Yu, T., Zhang, Y., Li, Y., Zhu, Z. 2020. Gas-solid two-phase flow and erosion calculation of gate valve based on the CFD-DEM model, *Powder Technology*, 366, 395-407.
- [14] Demir, U., Coşkun, G., Soyhan, H.S., Türkcan, A. 2022. Effects of variable valve timing on the air flow parameters in an electromechanical valve mechanism—A cfd study, *Fuel* 308(6), 121956.
- [15] Filo, G., Lisowski, E., Rajda, J. 2019. Flow analysis of a switching valve with innovative poppet head geometry by means of CFD method, *Flow Measurement and Instrumentation*, 70, 101643.
- [16] Trokhaniak, V.I., Rogovski, I.L., Titova, L.L., Dziubata, Z.I., Luzan, P.H., Popyk, P.S. 2020. Using CFD Simulation to Investigate the Impact of Fresh air Valves on Poultry House Aerodynamics in Case of a Side Ventilation System, 62(3), 155-164)
- [17] Duan, Y., Revell, A., Sinha, J., Hahn, W. 2019. A computational fluid dynamics (CFD) analysis of fluid excitations on the spindle in a high-pressure valve, *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, 175, 103922.
- [18] Hurtado-Misal, A.D., Hernández-Sanjuan, D., Coronado-Hernández, Ó. E., Espinoza-Román, H.G., Espinoza-Román, V.S., 2021. Analysis of sub-atmospheric pressures during emptying of an Irregular pipeline without an air valve using a 2D CFD model, *Water* 13(18), 2526.
- [19] Liu, N., Liu, Z., Li, Y., Sang, L. 2019. An optimization study on the seal structure of fully-rotary valve energy recovery device by CFD, *Desalination*, 459, 46-58.
- [20] Bhowmik, P.K., Suh, K.Y. 2021. Flow mapping using 3D full-scale CFD simulation and hydrodynamic experiments of an ultra-supercritical turbine's combined valve for nuclear power plant, *International Journal of Energy and Environmental Engineering*, 12(3) 365-381.
- [21] Saha, B.K., Li, S, Lv, X., 2020. Analysis of pressure characteristics under laminar and turbulent flow states inside the pilot stage of a deflection flapper servo-valve: Mathematical modeling with CFD study and experimental validation, *Chinese Journal of Aeronautics* 33(3), 1107-1118.
- [22] Vellguth, K., Brüning, J., Tautz, L., Seidel, F. 2019. User-dependent variability in mitral valve segmentation and its impact on CFD-computed hemodynamic parameters, *International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery*, 14(1), 1687-1696.
- [23] Wang, M., Wang, Y., Tian, W., Qiu, S., Su, G.H. 2021. Recent progress of CFD applications in PWR thermal hydraulics study and future directions, *Annals of Nuclear Energy* 150, 107836.

Hazır Giyim Üretiminde Karşılaşılan Ölçü ve Simetri Hatalarının Önlenmesi

Mehmet KÜÇÜK*¹, Şafak BİROL²

¹Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü, 35040, İzmir, Türkiye ²TYH
Tekstil, İzmir Ar-Ge Merkezi, 35070, İzmir, Türkiye

(Alınış/Received:13.04.2023, Kabul/Accepted:13.10.2023, Online Yayınlanma/Published Online:25.12.2023)

Anahtar Kelimeler

Ölçü ve simetri problemi,
Numune departmanı,
Hazır giyim,
Toplam kalite kontrol,
Numune üretimi

Öz: Hazır giyim üretiminde kalite ile birlikte müşterilerin temel beklentisi her bir bedene sahip ürünün, ilgili bedene ait ölçülere sahip olmasıdır. Bununla birlikte, hazır giyim ürünlerindeki simetrisinin, şekil ve estetik olarak sağlanmasıdır. Ürünlerde karşılaşılan ölçü ve simetri sorunlarına, kullanılan kumaş, gerçekleştirilen kesim işlemi, operatörün tecrübesizliği, dikimde kullanılan makine gibi faktörler sebep olabilmektedir. Bu araştırmanın amacı, müşteri beklentileri doğrultusunda ürünlerde beklenen ölçülerin ve simetrik görüntünün sağlanması amacıyla yeni bir ölçüm sisteminin geliştirilmesidir. Bununla birlikte, her adımda kalite kontrol felsefesinin toplam kalite yönetimi başlığı altında numune departmanına entegre edilmesidir. Gerçekleştirilen takip ve analizler sonucunda, departmanın ilk durumunda 392 adet ürün incelenmiştir. Bunlardan 210 (%53,5) tanesi sağlam iken, geriye kalan hatalı ürünlerden 66 (%16,8) tanesi basic t-shirt, 60 (%15,3) tanesi polo t-shirt, 56 (%14,2) tanesi de sweatshirt ürünleridir. Geliştirilen sistemin numune departmanında uygulanması ile toplamda 360 adet ürün incelenmiş ve bunlardan 237 (%65,8) tanesi sağlam, geriye kalan ürünlerden 110 (%30,5) tanesi ise dikim işlemi sırasında geliştirilen sistem sayesinde hatası tespit edilerek kurtarılan ürünlerdir.

Prevention of Measurement and Symmetry Errors Encountered in Clothing Production

Keywords

Measurement and symmetry
problem,
Sampling department,
Clothing,
Total quality control,
Sample production

Abstract: Along with the quality of clothing production, the basic expectation of the customers is that the product in every size has the dimensions of the relevant body. Moreover, symmetry in clothing products can be achieved in shape and aesthetics. The measurement and symmetry problems encountered can be caused by processes such as the fabric used, the cutting process, the inexperience of the operator, and the machine used in sewing. The aim of this research is to develop a new measurement system in order to provide the desired dimensions and symmetrical appearance in the products in line with customer expectations. However, at every step, the philosophy of quality control is imposed on the sample department under the title of total quality management. As a result of the follow-up and analysis, 392 products were examined in the initial state of the department. While 210 (53.5%) of them were intact, the remaining 66 (16.8%) were faulty basic t-shirts, 60 (15.3%) were faulty polo t-shirts, and 56 (14.2%) were also faulty sweatshirt products. With the application of the developed system in the sample department, a total of 360 products were examined and 237 (65.8%) of them were intact, while 110 (30.5%) of the remaining products were found to be faulty and recovered thanks to the system developed during the sewing process.

1. Giriş

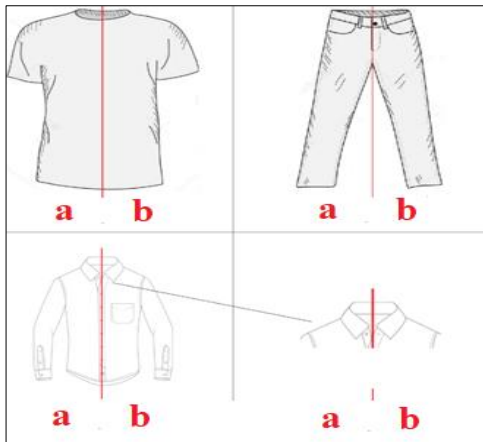
Dünya ekonomisinin küreselleşmesi, hızlı teknolojik gelişmeler ve toplumsal değer yargılarında meydana gelen gelişmeler, kalitenin farklı şekillerde

nitelendirilmesine neden olmuştur. Günümüzde, verimlilik kavramının tanımlanmasında olduğu gibi kalite kavramında da hala bir birlik sağlanabilmiş değildir. Örneğin, kalite uzmanları kaliteyi "kullanıma uygunluk" olarak tanımlarken, Avrupa Kalite

Organizasyonu (EQO) "bir mal ya da hizmetin tüketicinin isteklerine uygunluk derecesi" olarak tarif etmiştir [1]. Bu tanımların hepsinde müşterilerin isteklerinin ve beklentilerinin karşılanması ortak özelliktir. Kalitenin tanımında yer alan müşteri beklentilerine uygunluğun tespiti ise, tüm üretim faaliyetleri sonucunda elde edilen çıktının özelliklerinin kontrol edilmesi ile gerçekleştirilebilmektedir.

Kontrol işlemi, muayene, kalite kontrol, kalite güvence ve toplam kalite yönetimi şeklinde bir hiyerarşiye sahiptir [2]. Toplam kalite yönetimi (TKY) daha fazla tatmin olan müşteriler, azalan maliyetler, daha yüksek kaliteli ürünler ve artan kalite performansı gibi birçok fayda sağlayan bir felsefedir [3]. Kalite yönetimi açısından hatayı yapmadan önce önlemek, yapıldıktan sonra bulup düzeltmeye çalışmaktan çok daha az zarar sebeptir. Bunun için gerekli olan, tepkici planlama yaklaşımının terk edilip, önleyici planlama yaklaşımına geçilmesidir. Hataların henüz gerçekleşmeden tespit edilmesi, emek yoğun bir yapıya sahip olmasından dolayı her üretim aşamasında fazlaca hata ile karşılaşılma ihtimalinin yüksek olduğu hazır giyim sektöründe daha da önemli bir hal almaktadır.

Günlük hayatta, hayatın her bölümünde kullanılmakta olan hazır giyim ürünleri satın alınırken, ölçüleri ve simetri özellikleri dikkat edilen birkaç önemli noktadan birisidir. Her bir hazır giyim ürününde söz konusu olan simetri özelliği (gömlek yakası, pantolonun bacakları, kazakların kolları gibi) (Şekil 1), ürünün göze hitap eden en önemli noktasıdır. Şekil 1'de örnek olarak gösterildiği gibi, ürünlerde istenen bir model uygulaması (baskı, nakış uygulamaları ile albeni kazandırma gibi) yok ise, bir tişörtün yakasından itibaren kolları, etek ucu, bir pantolonun bacakları, bir gömleğin yaka uçları, kolları, bir ceketin yaka uçları, kolları gibi bölgelerde $a=b$ (Şekil 1) olmak zorundadır. Eğer bu durum ($a=b$) sağlanamıyorsa, o ürünün ticarileştirilme şansı son derece zayıftır.



Şekil 1. Hazır giyim ürünlerindeki simetri durumu

Simetri probleminin yanında sıklıkla karşılaşılan bir diğer husus ise hazır giyim ürünlerinin ölçülerindeki (omuz genişliği, tüm boy, kol boyu, yaka düşüklüğü,

yaka açıklığı gibi) hataların nedenlerinin tespit edilmesidir. Bir ürün siparişi gelirken belirtilen önemli noktalardan olan ölçü tablosu, beden bazında bir ürüne ait tüm ölçülerin belirtildiği tablodur (Tablo 1). Müşterinin belirttiği ölçüler, üretimden sonra her bir bedene ait, ürünün sahip olması gereken ölçülerdir.

Tablo 1. Bir sweatshirtte ait ölçü tablosu örneği

| Ölçüler (cm) | XS | S | M | L | XL |
|--------------|----|----|----|----|----|
| Boy | 75 | 77 | 78 | 80 | 81 |
| Göğüs Gen. | 53 | 55 | 57 | 59 | 61 |
| Etek Ucu G. | 50 | 52 | 54 | 56 | 58 |
| Yaka Açıkl. | 18 | 18 | 19 | 19 | 20 |
| Ön Yaka Düş. | 10 | 11 | 11 | 12 | 12 |
| Arka Yaka D. | 1 | 2 | 2 | 3 | 3 |
| Kolevi Çap | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 |
| Kol Boyu | 66 | 67 | 68 | 69 | 70 |
| Kol Pazu | 39 | 41 | 43 | 45 | 47 |
| Kol Ağzı | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 |

Ölçü problemi nedeniyle ticarileştirilemeyen ürünler, hammaddenin, operatörlerin, üretim sürelerinin, altyapının vb. boş yere kullanılması anlamına gelmektedir. Bu nedenle toplam kalite yönetimi felsefesi ve sürdürülebilirlik anlayışı ile tüm üretim süreci ele alınmalı ve hatalar daha en başından tespit edilerek kalıcı olarak ortadan kaldırılmalıdır.

Konfeksiyon sektöründe hatalar çok çeşitlidir. Tüm konfeksiyon sürecinde görülebilen hataların ortadan kaldırılması amacıyla çeşitli uygulamalar mevcuttur. Toplam kalite yönetimi felsefesi, kalite kontrolün her aşamadan sonra yapılmasını gerektirdiğinden konfeksiyon sektörü için vazgeçilmez bir araçtır. Üretimi tamamlanan bir üründe ölçü ve simetri problemleri de sıklıkla karşılaşılan hatalardan bazılarıdır.

Çalışma kapsamı ile ilgili yapılan literatür taramalarında erişilen çalışmalar şu şekildedir. Erdil (2020) kapsamlı bir literatür araştırması ile toplam kalite yönetiminin temel unsurlarını ve ana kavramlarını bir konfeksiyon firması üzerinden ortaya çıkarmaya çalışmıştır. Bu doğrultuda ele alınan firmanın çalışanlarına, müşterilerine ve tedarikçilerine anketler uygulanmıştır. Elde edilen verilerin analizleri ile firmanın toplam kalite yönetimi kapsamında eksik olduğu alanlar ile ilgili çeşitli öneriler sunulmuştur [4]. Bolatan ve Akgül (2019) yönetimlerde stratejik planlamanın toplam kalite yönetiminin başarısı üzerindeki etkilerini değerlendirmiştir. Bu doğrultuda geliştirilen hipotezlerle en küçük kareler yöntemi kullanılarak bu ilişki ele alınmıştır. Gerçekleştirilen analizler, firmaların toplam kalite yönetimini başarılı bir şekilde uygulamak için kalite seviyesine, kültüre, üst yönetimin katılımına, liderliğine, çalışanların sorumluluk alması ve bağlılığına daha fazla önem göstermesi gerektiğini göstermiştir [3]. Mengistie (2019) bir tekstil firmasını ele alarak, bu firmadaki toplam kalite yönetimi uygulamalarının organizasyonel performans üzerindeki etkilerini incelemiştir. Değerlendirme sonucunda, toplam kalite

yönetiminin tüm yapılarının (müşteri odaklılık, çalışanın güçlendirilmesi, üst yönetimin taahhüdü, sürekli güçlendirme, tedarikçi kalite yönetimi, süreç yaklaşımı) örgütsel performansı olumlu ve önemli ölçüde etkilediğini göstermiştir. Ayrıca toplam kalite yönetimi uygulamalarının altı ana unsurundan, müşteri odaklılık, üst yönetim bağlılığı, sürekli iyileştirme, çalışanın yetkilendirilmesi ve tedarikçi kalite yönetiminin örgütsel performans üzerinde olumlu bir etkiye sahip olduğunu, süreç yaklaşımının ise önemli bir etkisinin olmadığını belirtmiştir [5]. Syduzzaman vd. (2016)'nin 50 tekstil ve konfeksiyon firması üzerinde gerçekleştirdiği anketler ile toplam kalite yönetimine sahip olan ve olmayan fabrikalar arasında önemli farklar olduğu vurgulanmıştır. Bu nedenle özellikle emek yoğun bir yapıya sahip olan konfeksiyon firmalarının toplam kalite yönetim sistemini benimsemeleri gerektiği vurgulanmıştır [6].

Bununla birlikte ölçü ve simetri problemi daha teknik durumlar nedeniyle de ortaya çıkabilmektedir. Bununla ilgili birçok araştırmacının dikiş karakterizasyonu, dikiş kalitesi, ürün kalitesi gibi konularda çalışmalar yaptığı, bu konuların hem işlevsel hem de estetik açıdan incelendiği görülmüştür. Rajesh ve Narayana (2021), iplik, masura, dikiş atlaması, dikiş patlaması gibi dikişlerin ve dikiş parametrelerinin gerçek zamanlı olarak izlenmesine yardımcı olacak ve gerektiğinde düzeltici önlemleri almasını sağlayacak IoT (Internet of Things-Nesnelerin İnterneti) sistemi geliştirmeyi amaçlamışlardır [7]. Buradan da yola çıkılarak, dikiş parametreleri kadar, dikilecek parçanın şekli ve operatörün etkenliğinin de izlenmesi gerektiği düşünülmektedir. Bu durum da gerçekleştirilen bu çalışmanın önemini vurgulamaktadır. Malek vd. (2018), 18 farklı denim kumaşının dikiş verimliliğini, kaymasını ve büzülmesini ölçerek dikiş kalitesini tahmin etmek için bir regresyon modeli geliştirmiştir [8]. Datta vd. (2017), keten dokuma gömlek üretiminde, dikiş yoğunluğunun ve dikiş ipliği yoğunluğunun dikiş verimliliği üzerindeki etkisini incelemiştir. Çalışma sonucunda dikiş yoğunluğu ve dikiş ipliği numarasının dikim kalitesini etkilediği tespit edilmiştir [9]. Nassif (2013), pamuklu dokuma kumaşlarda iğne numarası, dikiş yoğunluğu, dikiş ipliği gerginliği ve dikiş yönünün dikiş çekme mukavemeti, dikiş uzaması ve dikiş verimliliği üzerindeki etkisini araştırmıştır. Dikiş makinesi parametrelerinin dikiş kalitesi üzerinde belirli bir etkiye sahip olduğu sonucu elde edilmiştir [10]. Buradan yola çıkılarak sayısız faktöre bağlı kalite parametresinin kontrol altında tutulabilmesi için, üretim ile eş zamanlı şekilde uygulanacak bir kalite kontrol sistemine ihtiyacın olduğu sonucuna varılmıştır. Literatür taramalarında, dikilmekte olan ürünlerin dikim işlemi sırasında ölçü ve simetriklik kontrolünün yapıldığı, bu kontrole ait verilerin kablosuz bir şekilde kayıt edildiği ve böylece bu verileri analiz etme imkanı sağlayan bir sisteme rastlanmamıştır.

Simetri ve ölçü problemleri birden fazla nedenden kaynaklanabilmektedir. Bu nedenle de bu problemlere ait risklerin bulunduğu ortamda problemlerin daha oluşmadan ortadan kaldırılmasına yönelik iyileştirme ve geliştirmeler yapılmalıdır.

Toplam kalite kontrol kavramı, hataların ayıklanması yerine hataya neden olan faktörlerin belirlenmesini, hataların tekrarlanmasını önlemeye yönelik sistemlerin geliştirilmesini, ana noktaların kontrolünü, genelmeden kaçınarak, tüm verilerin sağlıklı, rakamsal ve görsel olarak ifade edilmesini, uygulamaların mutlaka yerinde izlenmesini kapsamaktadır [11].

Çalışma kapsamında, numune üretimi için geliştirilmesi planlanan ölçü ve simetri hatalarının olduğu anda tespit edilmesini sağlayan sistem ile hatalar anında tespit edilerek önlenmesi sağlanmıştır. Bu doğrultuda numune departmanında basic t-shirt, polo t-shirt ve sweatshirt üretim süreçleri izlenmiş ve ölçü ve simetri hatalarının frekansları, çalışma kapsamında geliştirilen sistem öncesi ve sonrası olacak şekilde kayıt edilerek değerlendirilmiştir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Materyal

Çalışmanın materyalini örme giyim ihracatı üzerine faaliyet gösteren bir hazır giyim firmasının numune departmanı oluşturmaktadır. İlgili departman 15 gün çalışma kapsamında geliştirilen yöntemin uygulanmasından önce ve 15 gün ise uygulanmasından sonra takip edilmiştir. Departmanda bu süre zarfında ağırlıklı olarak basic t-shirt, polo t-shirt ve sweatshirt ürünleri üretilmiştir. İncelenen ürünlerin kumaş veya model özelliklerine değil sadece ölçüleri değerlendirilmiştir. Bu doğrultuda uygulama öncesinde toplamda 392, uygulama sonrasında ise toplamda 360 adet ürün incelenmiş ve ürünler üzerinde ölçü ve simetri kontrolleri gerçekleştirilmiştir.

2.2. Metot

Çalışmada kullanılan yöntem çalışma ekibi tarafından geliştirilmiştir. Bu kapsamda simetri ve ölçü kontrolü yapılabilmesi amacıyla bu kontrole uygun ölçü tabloları hazırlanmıştır. Çalışmada ele alınan 3 tip ürün (basic t-shirt, polo t-shirt, sweatshirt) için hazırlanan simetri kontrolü ölçüm noktaları aşağıdaki gibidir (Tablo 2).

Tablo 2. Simetri kontrolü ölçüm noktaları

| BASIC T-SHIRT | POLO T-SHIRT | SWEATSHIRT (HOODY) |
|------------------------------|------------------------------|---|
| Sağ Omuz | Sağ Omuz | Sağ Omuz |
| Sol Omuz | Sol Omuz | Sol Omuz |
| Sağ Omuzdan Boy | Sağ Omuzdan Boy | Sağ Omuzdan Boy |
| Sol Omuzdan Boy | Sol Omuzdan Boy | Sol Omuzdan Boy |
| Ön Ortadan Sağ Göğüs | Ön Ortadan Sağ Göğüs | Ön Ortadan Sağ Göğüs |
| Ön Ortadan Sol Göğüs | Ön Ortadan Sol Göğüs | Ön Ortadan Sol Göğüs |
| Ön Ortadan Sağ Etek Ucu | Ön Ortadan Sağ Etek Ucu | Ön Ortadan Sağ Etek Ucu |
| Ön Ortadan Sol Etek Ucu | Ön Ortadan Sol Etek Ucu | Ön Ortadan Sol Etek Ucu |
| Sağ Kol Boyu (Omuzdan) | Sağ Kol Boyu (Omuzdan) | Sağ Kol Boyu (Omuzdan) |
| Sol Kol Boyu (Omuzdan) | Sol Kol Boyu (Omuzdan) | Sol Kol Boyu (Omuzdan) |
| Sağ Kol Pazu | Sağ Kol Pazu | Sağ Kol Ribana |
| Sol Kol Pazu | Sol Kol Pazu | Sol Kol Ribana |
| Sağ Kol Ağzı | Sağ Kol Ağzı | Ön Ortadan Sağ Kapüşon Eni |
| Sol Kol Ağzı | Sol Kol Ağzı | Ön Ortadan Sol Kapüşon Eni |
| Ön Ortadan Sağ Yaka Açıklığı | Ön Ortadan Sağ Yaka Açıklığı | Ön Ortadan Sağ Kanguru Cebi Genişliği |
| Ön Ortadan Sol Yaka Açıklığı | Ön Ortadan Sol Yaka Açıklığı | Ön Ortadan Sol Kanguru Cebi Genişliği |
| | Ön Ortadan Sağ Pat Genişliği | Ön Ortadan Sağ Kanguru Cep Ağzı Genişliği |
| | Ön Ortadan Sağ Pat Genişliği | Ön Ortadan Sol Kanguru Cep Ağzı Genişliği |
| | Sağ Yaka Ucu Genişliği | |
| | Sol Yaka Ucu Genişliği | |

Yöntem dahilinde numune departmanında dikim işlemini gerçekleştiren operatörlerin, dikim işleminden hemen sonra ölçü kontrolü yapması sağlanmıştır. Ancak ölçü kontrollerinde zaman ve performans kaybı yaratacak geleneksel mezuralar yerine, bu işlemi daha da hızlandıracak kablosuz veri aktarım (bluetooth bağlantı) özellikli elektronik mezuralar (Şekil 2) kullanılmıştır. Planlanan çalışmada, numune biriminde bir ürünün üretilmesi sırasında gerçekleştirilen ölçü takibi ve kontrol işlemi sayesinde, ölçülerin talep edilen değerlerden sapmaların önüne geçilmiş ve yine anında müdahale ile sorun büyümeden çözülebilmektedir.

**Şekil 2.** Dijital kablosuz aktarım özellikli mezura

Üretilen ürünlerin belirli ölçü kriterlerini karşılama durumları ve simetrik özellikleri mezuralar sayesinde çalışma kapsamında hazırlanan yeni ölçü tablolarına anında aktarılmakta ve aynı zamanda geliştirilen algoritmalar ile tespit edilen ölçüler müşteri talebi ile karşılaştırmalı bir şekilde değerlendirilerek yorumlanabilmektedir.

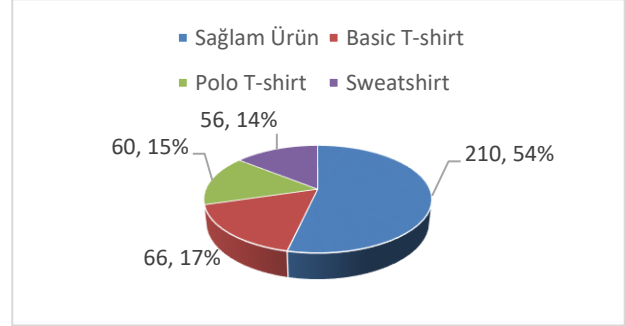
3. Bulgular

Numune üretim departmanında geliştirilen yöntemin uygulamaya konmasından önce 15 gün boyunca

üretilen 142 adet basic t-shirt, 130 adet polo t-shirt ve 120 adet sweatshirt simetri ve ölçü kontrolü bakımından analiz edilmiştir. Gerçekleştirilen bu kontroller sonucunda 392 adet ürünün;

- 210 adeti sağlam ürün,

- 182 adeti ise ölçü ve simetri hatasının bulunduğu ürün olarak tespit edilmiştir. Hataların ürün bazında dağılımı Şekil 3'te gösterilmiştir.

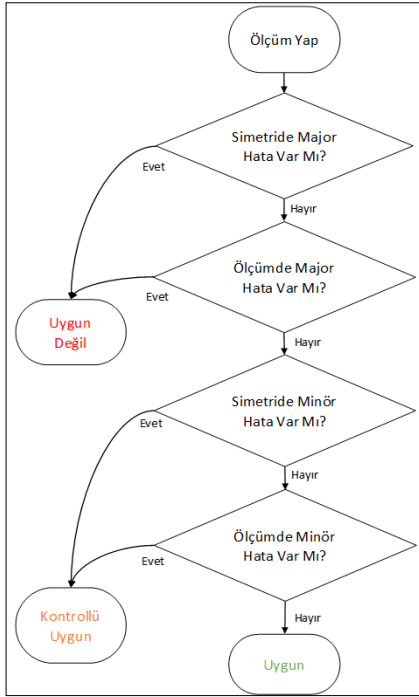
**Şekil 3.** Hataların dağılımı

Müşteri ölçü toleranslarına uymayan, simetrik açıdan da estetik olarak sorunlu ürünlere örnek görseller aşağıda gösterilmiştir (Şekil 4).

**Şekil 4.** Örnek görseller

Araştırmanın yapıldığı firmanın numune departmanından elde edilen veriler, numune üretiminde anında ölçü kontrolü yapılmamasından kaynaklanan ölçü ve simetri problemlerinin var olduğunu göstermektedir. Bu ölçü hatalarının ve simetri problemlerinin ortadan kaldırılması amacıyla çalışma kapsamında hazırlanan ve Tablo 2'de verilen ölçüm noktaları dikkate alınarak, Şekil 2'de belirtilen kablosuz veri aktarım özelliğine sahip mezuralar ve

şağıdaki algoritma (Şekil 5) kullanılarak yeni bir ölçüm tekniği oluşturulmuştur.

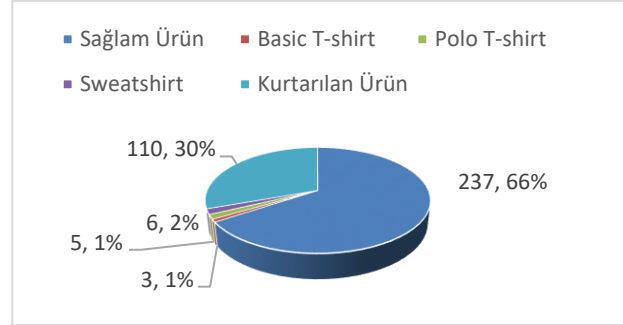


Şekil 5. Yeni ölçüm sistemi algoritması

Yeni ölçüm sisteminin kayıt edildiği tablolardan örnek olarak basic t-shirt için olanı aşağıda gösterilmektedir (EK-1: Ölçüm sistemi tablosu). Bu tabloların çalışma prensibi şu şekildedir; Öncelikle “minor ve major hata” tanımlamaları yapılmaktadır. Gerçekleştirilen incelemelerde, talep edilen ölçüden 0-5 mm kadar sapmalar tolerans dahilinde olarak tanımlanmıştır. 5 mm - 10 mm arasındaki sapmalar “minor hata” olarak, 10mm’de daha fazla miktarlardaki sapmalar ise “major hata” olarak tanımlanmıştır. Sistem sayesinde hem talep edilen ölçü hem de simetri kontrolleri yapılabilmektedir. Örneğin “omuz” ölçüsü dikkate alındığında, talep edilen ölçü 200 mm (C)’dir. Sağ ve sol omuz ölçülerine bakıldığında, sol omuz (B) ölçüsünde sapma yok iken, sağ (A) omuz ölçüsü 209 mm (D) olarak ölçülmüştür. Bu doğrultuda sağ omuz (A) ile sol omuz (B) arasındaki 9 mm’lik fark simetri farkı (E) olarak hesaplanmıştır. Bu değer simetri durumu (F) olarak, değer 5 mm - 10 mm arasında olması nedeniyle “minor hata” olarak kayıt edilmiştir. Ölçüm farkı (G) kısmında da talep edilen ölçüden sapma miktarları kontrol edilmekte ve benzer şekilde farkın 9mm olması sayesinde ölçüm durumları (H), sağ omuz için “minor hata” olarak, sol omuz için de “uygun” olarak tanımlanmıştır. Genel ölçüm durumunda da (I) Şekil 5’te belirtilen algoritmadan yola çıkılarak omuz ölçüsünün “kontrollü uygun” tanımlaması yapılmıştır.

Dikim operatörleri tarafından her dikim işleminden hemen sonra gerçekleştirilen ölçümler, bu tablolara uzaktan otomatik olarak işlenmekte ve sistem sayesinde anında değerlendirme ve önlem alma imkânı oluşmaktadır.

Geliştirilen yöntemin uygulamaya konmasından sonra 15 gün boyunca gerçekleştirilen incelemelerde 130 adet basic t-shirt, 130 adet polo t-shirt ve 100 adet sweatshirt analiz edilmiştir. Bu analizler sonucunda toplamda 360 adet üründen 237 tanesi hatasız bir şekilde numune departmanından sürece dahil edilmek üzere çıkarılmıştır. Geriye kalan ürünlerden 110 tanesi ise, geliştirilen sistem sayesinde tespit edilen hatalara anında müdahale edilerek kurtarılmış ve departmandan çıkarılabilmektedir. Kurtarılamayan 13 tane üründe ise ölçülere uymadığı için sökme işlemi gerekmiş ancak sonrasında tekrar istenen ölçü elde edilememiştir. Dağılım Şekil 6’da gösterilmiştir.

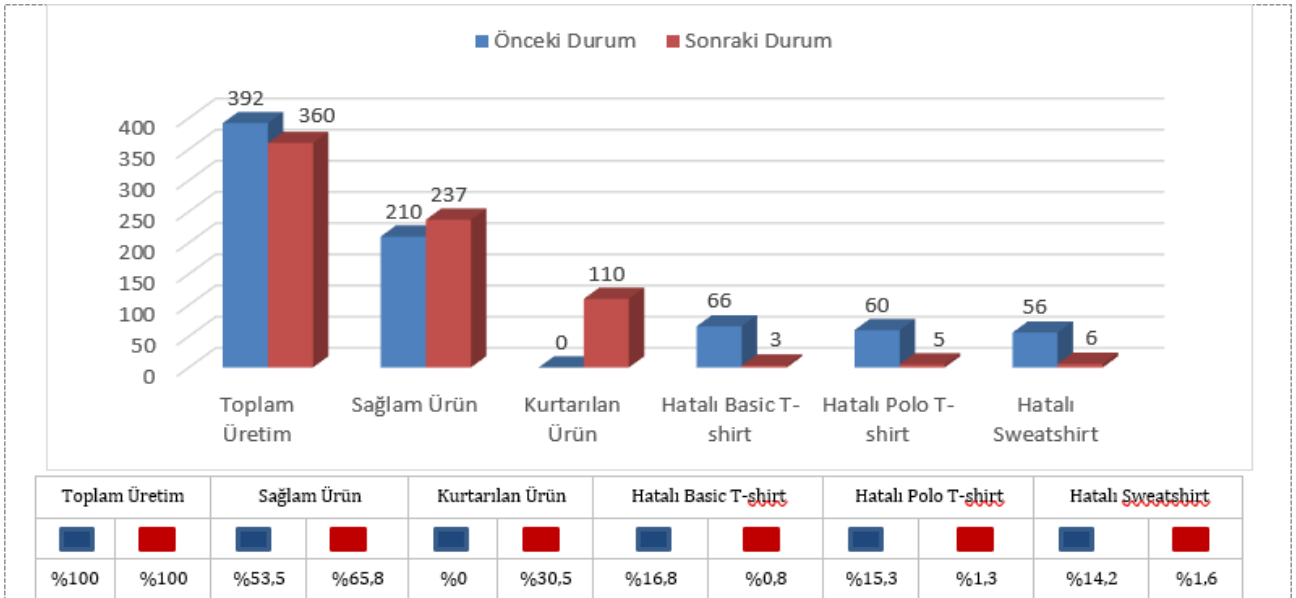


Şekil 6. Hataların dağılımı

4. Tartışma ve Sonuç

Sürekli değişen pazar şartlarında işletmelerin faaliyetlerini rakiplerine nazaran artırarak devam ettirmesi için, öncelikle kendi iç dinamiklerini mümkün derecede kayıpları ortadan kaldıracak şekilde iyileştirmeli ve geliştirmelidir.

Çalışma kapsamında ürünler üzerinde ele alınan simetri ve ölçü hataları tek tek incelenmiştir. İki probleme de yönelik üretim aşamalarının tümü izlenmiş ve her aşamada tespit edilen düzensiz durumlar kayıt edilmiştir. Sorunların, ürünün tüm dikim operasyonlarının tamamlanmasından sonra, son işlem olan kalite kontrol işlemlerinde tespit edilmesi o noktaya gelinene kadar gerçekleştirilen tüm işlemlerin boş yere yapıldığı göstermektedir. Aynı zamanda süreç boyunca kullanılan operatörlerin, enerjinin, hammaddelerin de tüm süreç baştan sona tekrar edilmek zorunda olduğu için boş yere kullanıldığını göstermektedir. Ayrıca hataların düzeltilmesi için yapılan, dikilmiş parçaları birbirinden ayırma (sökme işlemi) işlemi nedeniyle, parçaların hasar görmesi de çok mümkündür. Bu durum sürdürülebilirlik felsefesi kapsamına da aykırıdır. Geliştirilen ölçüm sistemi ile oluşabilecek ölçü ve simetri farklılıkları anında tespit edilebilmiş bu sayede de anında müdahale ile sorun büyümeden ortadan kaldırılabilmiştir. Geliştirilen sistemin kullanılmaya başlanmasından önceki ve sonraki durumlarına ait veriler aşağıda gösterilmiştir (Şekil 7).



Şekil 7. Önceki ve sonraki durum karşılaştırma grafiği gerekli durumlarda tek sütun olarak eklenecek tablo formatı

Gerçekleştirilen takip ve analizler sonucunda, numune departmanının önceki durumunda toplamda 392 adet ürün incelenmiştir. Bu ürünlerden 210 (%53,5) tanesi sağlam olarak ayrılırken, geriye kalan 66 (%16,8) tanesi hatalı basic t-shirt ürünlerini, 60 (%15,3) tanesi hatalı polo t-shirt ürünlerini, 56 (%14,2) tanesi de sweatshirt ürünlerinden oluşmaktadır. Ayrıca hatalı ürünlerden hiç biri dikim işlemi sırasında tespit edilememiş, numune üretim sürecinin son basamağı olan kalite-kontrol işlemi sırasında tespit edilebilmiştir. Çalışma kapsamında geliştirilen sistemin numune departmanında uygulamaya konması ile departman tekrar incelemeye alınmıştır. Bu doğrultuda toplamda 360 adet ürün incelenmiştir. Bu ürünlerden 237 (%65,8) tanesi sağlam ürün olarak ayrılırken, geriye kalan ürünlerden dikim işlemi sırasında hatası tespit edilerek kurtarılan ürün sayısı ise 110 (%30,5)'dur. Kurtarılmaya çalışılırken fazla kesme, hatalı sökme gibi işlemler nedeniyle sahip olması gereken ölçü ve simetri formuna geri döndürülemeyen ürün ise basic t-shirt için 3 (%0,8) adet, polo t-shirt için 5 (%1,3) adet ve sweatshirt için 6 (%1,6) adettir. İnceleme süreci sonunda ürün grubu bazında hatalı olarak ayrılan ürünlerin yüzdelerindeki değişim Şekil 6'da gösterildiği şekildedir.

Bu uygulamaya yönelik olarak gerçekleştirilen çalışmada, numune üretiminde karşılaşılan ölçü ve simetri problemlerini ortadan kaldırmaya yönelik yeni bir sistem geliştirilmiştir. Bu doğrultuda çalışmada geliştirilen bu yöntem, her konfeksiyon işletmesine uyarlanarak, firmalardaki simetri ve ölçü problemlerinin önüne geçilmesine yardımcı olacaktır. Bu sayede, makine, malzeme ve işgücünün boş yere sarf edilmesinin önüne geçilmiş olacaktır. Bu durumda,

- İşgücü bakımından; dikim yapan operatörler dikimden hemen sonra geliştirilen sistem ile ölçü kontrolü işlemini gerçekleştireceği için dikim sonunda farklı bir kontrol çalışanı tarafından bu

kontrol işleminin yapılmasına gerek kalmayacaktır. Bu sayede ilgili çalışan farklı işlerde değerlendirilebilir.

- Malzeme bakımından; ölçü hataları ilgili dikim işleminin yapıldığı sırada tespit edileceği için hatanın var olduğu operasyondan sonra sökme ve tekrar dikerek düzeltme ihtiyacı bulunmaktadır. Tüm dikim işleminden sonra sökme ve tekrar dikme işlemi yeni malzemelerin tekrar kesilmesi ve dikilmesini gerektirebilmektedir. Geliştirilen sistem sayesinde malzeme tasarrufu imkanı oluşmaktadır.
- Makine bakımından; malzemede olduğu gibi tekrar kesme ve hatanın tespit edilmesinden sonraki dikim işlemlerinin tekrarlanması engellenmiş olacaktır. Bu sayede makine kullanımından da tasarruf edilebilecektir.

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] Ayandele, I. ve Akpan, A. 2015. The practice, challenges and benefits of total quality management (tqm) in manufacturing firms in nigeria, International Journal of Economic and Business Management, 3(5), 62-74.
- [2] Huq, Z. ve Stolen, J. 1998. Total quality management contracts in manufacturing and service industries, International Journal of Quality and Reliability Management, 15(2), 138-161.

- [3] Bolatan, G.I.S. ve Akgul, A.K. 2019. Stratejik planlama ve toplam kalite yönetimi arasındaki ilişkinin analizi, Çağ Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 16 (2), 1-19.
- [4] Erdil, A. 2020. An overview of total quality management approach: an evaluation for ABC company in textile industry. PressAcademia Procedia (PAP), 11, 57-61.
- [5] Mengistie, H.S. 2019. The effect of total quality management practice on organizational performance - the case of Bahir Dar Textile sc. ICTACT Journal On Management Studies, 5(3), 1060-1067.
- [6] Syduzzaman, Md., Biswas, A.S. ve Yeasmin, D. 2016. Developing a framework for implementing total quality management in the apparel industry: case study on a bangladeshi apparel manufacturing factory, International Journal of Textile Science, 5(5): 87-95. doi: 10.5923/j.textile.20160505.01.
- [7] Rajesh, M. ve Narayana, S.B. 2021. Application of iiot system in the sewing section of a garment industry, 2021 International Conference on Disruptive Technologies for Multi-Disciplinary Research and Applications (CENTCON-2021), 19-21 Nov. 2021, 244-246.
- [8] Malek, S., Khedher, F., Jaouachi, B., ve Cheikrouhou, M. 2018. Determination of a sewing quality index of denim fabrics. The Journal of the Textile Institute, 109(7), 920-932.
- [9] Datta, M., Nath, D., Javed, A., ve Hossain, N. 2017. Seam efficiency of woven linen shirting fabric: process parameter optimisation. Research Journal of Textile and Apparel, 21(4), 293-306.
- [10] Abou Nassif, N. A. 2013. Investigation of the effects of sewing machine parameters on the seam quality. Life Science Journal, 10(2), 1427-1435.
- [11] Türedi S. 2012. İç kontrol sistemi ve toplam kalite yönetimi ilişkisi, Uluslararası Alanya İşletme Fakültesi Dergisi, 4(1), 27-37.

EKLER

Ek-A: Ölçüm sistemi tablosu

| | |
|------------------------|----|
| Minor Hata Sınırı (mm) | 5 |
| Major Hata Sınırı (mm) | 10 |

| | C | D | E | F | G | H | I |
|------------------------------|-----------------|------------|--------------------|----------------|------------------|--------------|--------------------|
| BASIC T-SHIRT | Hedef Ölçü (mm) | Ölçüm (mm) | Simetri Farkı (mm) | Simetri Durumu | Ölçüm Farkı (mm) | Ölçüm Durumu | Genel Ölçüm Durumu |
| Sağ Omuz - A | 200 | 209 | 9 | Minor Hata | 9 | Minor Hata | Kontrollü Uygun |
| Sol Omuz - B | 200 | 200 | | | 0 | Uygun | |
| Sağ Omuzdan Boy | 720 | 729 | 11 | Major Hata | 9 | Minor Hata | Uygun Değil |
| Sol Omuzdan Boy | 720 | 718 | | | -2 | Uygun | |
| Ön Ortadan Sağ Göğüs | 490 | 490 | 1 | Uygun | 0 | Uygun | Uygun |
| Ön Ortadan Sol Göğüs | 490 | 489 | | | -1 | Uygun | |
| Ön Ortadan Sağ Etek Ucu | 465 | 463 | -2 | Uygun | -2 | Uygun | Uygun |
| Ön Ortadan Sol Etek Ucu | 465 | 465 | | | 0 | Uygun | |
| Sağ Kol Boyu (Omuzdan) | 640 | 646 | 0 | Uygun | 6 | Minor Hata | Kontrollü Uygun |
| Sol Kol Boyu (Omuzdan) | 640 | 646 | | | 6 | Minor Hata | |
| Sağ Kol Pazu | 320 | 320 | 0 | Uygun | 0 | Uygun | Uygun |
| Sol Kol Pazu | 320 | 320 | | | 0 | Uygun | |
| Sağ Kol Ağzı | 200 | 211 | 6 | Minor Hata | 11 | Major Hata | Uygun Değil |
| Sol Kol Ağzı | 200 | 205 | | | 5 | Uygun | |
| Ön Ortadan Sağ Yaka Açıklığı | 170 | 168 | -1 | Uygun | -2 | Uygun | Uygun |
| Ön Ortadan Sol Yaka Açıklığı | 170 | 169 | | | -1 | Uygun | |

A new alien generic and a species records for the flora of Türkiye: *Soleirolia soleirolii* (Requien) Dandy (Urticaceae)

Barış BANİ*¹, Hasan YAŞAYACAK²

¹Kastamonu University, Faculty of Arts and Science, Department of Biology, 37100, Kastamonu, Türkiye
²Küre Mountains National Park Directorate, 74100, Bartın, Türkiye

(Alınış / Received: 12.04.2023, Kabul / Accepted: 13.10.2023, Online Yayınlanma / Published Online: 25.12.2023)

Keywords

Alien flora,
Blacksea region,
New record,
Soleirolia soleirolii.

Abstract: The aim of this study is to reveal the presence of *Soleirolia soleirolii*, evaluated as an alien species for the flora of Türkiye, and to document its first record in Bartın province. Furthermore, *Soleirolia* is proved as a new genus record for the country, which has significant implications for the region's biodiversity. The detailed morphological descriptions, identification keys, distribution map, and photos are provided for this species, which will be beneficial for future research in this area. The findings contribute to a better understanding of the distribution and morphology of this species and emphasize the need for further research on the biodiversity of this region.

Türkiye Florası için yeni bir yabancı cins ve tür kaydı: *Soleirolia soleirolii* (Requien) Dandy (Urticaceae)

Anahtar Kelimeler

Karadeniz bölgesi,
Soleirolia soleirolii,
Yeni kayıt,
Yabancı flora.

Öz: Bu çalışmanın amacı, Urticaceae familyasından bir tür olan *Soleirolia soleirolii*'nin Türkiye'de yayılış gösterdiğini ortaya koymaktır. Türkiye Florası için yabancı bir tür olarak değerlendirilen *S. soleirolii* ilk kez Batı Karadeniz bölgesinde yürüttüğümüz floristik arazi araştırmaları sırasında, Bartın ilinden toplanmıştır. Ayrıca, *Soleirolia*'nın Türkiye için cins (genus) düzeyinde yeni bir kayıt olduğu da belirlenmiştir. Ek olarak, sonradan yapılacak araştırmalar için faydalı olacağı düşünülen, türe ait detaylı morfolojik betim, tanı anahtarı, dağılım haritası ve yayılış gösterdiği alanlardan çekilmiş fotoğraflar verilmiştir. Ortaya konan sonuçlar ile *S. soleirolii* adlı türün, dünyadaki dağılımı ve morfolojisinin daha iyi bilinmesine katkı sağlanmış olacaktır. Elde edilen bulgular bölgenin biyolojik çeşitliliği üzerine daha fazla araştırmaya ihtiyaç olduğunu vurgular niteliktedir.

1. Introduction

The dispersion of invasive alien species is often facilitated by anthropogenic activities such as the growing human population and expanding globalization [1]. These species possess a high capability of adaptation to different types of soil and climate [2, 3]. However, their adaptation to new environments can cause economic and public health issues as well as significant ecological problems [4], including population declines in many native species [2, 3]. Although the number of native species affected by invasive alien species is uncertain, there is evidence of a clear relationship [2, 3]. Invasive alien species is the second most frequent threat corresponding to species extinction events over the past 500 years [5].

Türkiye is considered as one of the countries that may face negative impacts from invasive alien

species. According to Uludağ et al. (2017), the total number of alien plant species in Türkiye has reached 340 [6]. In recent years, 14 additional alien species have been recorded in the country, as reported by various studies [6-21].

During the ongoing floristic studies, an interesting plant specimen was collected from Bartın province in West Blacksea region of Türkiye. It was identified as *Soleirolia soleirolii* (Requien) Dandy which has not been recorded from Türkiye so far. According to the related literature, the species in question may become invasive [22-24].

The first specimens of *S. soleirolii* (Urticaceae) were collected by Joseph Francois Soleirol, a captain of military engineers who travelled extensively throughout Corsica and created a large number of herbarium vouchers from the island [25]. He

*Corresponding author: barisbani@yahoo.com

discovered this plant in Cervione, and it was also found to grow in Cap Corse [25]. Requien (1825) initially described these specimens as *Helxine soleirolii* [25]. Later, Dandy (1965) transferred the species to the genus *Soleirolia* which was previously established by Gaudichaud in 1830 as *S. soleirolii* [26]. *S. soleirolii* is native to the Balearic Islands, Mallorca, Corsica, Italy, and Sardinia, but it has been introduced and naturalized in many parts of Europe [24].

This study presents significant findings on the occurrence of *S. soleirolii* in Türkiye. Along with this important discovery, the study offers detailed information such as a morphological description, an identification key, and distribution map. Additionally, photographs taken from the species' distribution area are included, allowing for a better understanding of its characteristics. The presented results provide valuable insights into the biodiversity of the area, emphasizing the need for further research on this species and its impact on the local ecosystem.

2. Materials and Methods

To identify the plant samples, relevant literature from neighbouring areas (such as the Flora of Turkey, Flora Europaea, and Flora of the USSR) was consulted, along with online floristic studies (including the Flora of North America and Flora of China) [27-29]. The authors and plant names were verified using the International Plant Name Index (IPNI) (<http://www.ipni.org/>). Morphological description of the species presented in the "Results" section were provided by Ball (1964), Dalby (1968) [26, 27]. Collection details of the voucher deposited in Prof. Dr. Tuna Ekim Herbarium (GAZI) at the Gazi University, Faculty of Science are presented below.

Soleirolia soleirolii

Bartın: Damp places near shady walls in the city, 25 m, 02.06.2022, H. Yaşayacak, B.Bani (8183).

3. Results

Below is a key to Turkish genera in the family Urticaceae, including the newly recorded genus *Soleirolia*.

1. Leaves opposite, stipulate, dentate, with stinging hairs
..... *Urtica*
1. Leaves alternate, exstipulate, entire, without stinging hairs

2. Stem spreading or decumbent, not rooting at nodes; most of the laves 1 cm or more, distinctly petiolate, flowers clustered

..... *Parietaria*

2. Stem creeping, rooting at nodes; leaves not exceeding 6 mm, subsessile, flowers solitary

..... *Soleirolia*

Genus *Soleirolia* Gaudich. Voy. Uranie, Bot. 504 (1830).

Perennial herb. Leaves alternate, entire; stipules 0. Flowers unisexual, green, solitary, axillary, surrounded by an involucre of 1 bract and 2 bracteoles. Perianth 4-lobbed. Flowers enclosed in perianth and involucre.

***Soleirolia soleirolii* (Req.) Dandy**, Feddes Repert. 70 (1-3): 4 (1965). (Figure 1).

Basionym: *Helxine soleirolii* Req. Ann. Sci. Nat. (Paris) 5: 384 (1825).

Synonyms

≡ *Parietaria soleirolii* (Req.) Spreng., Syst. Veg., 4(2.): 318 (1827).

≡ *Soleirolia repens* (Req.) Kuntze, Revis. Gen. Pl. 2: 633 (1891)

≡ *Soleirolia corsica* Gaudich., Voy. Uranie 504 (1830), nom. illeg.

Description

A slender creeping herb forming dense ever-green mats, sparsely to densely pubescent with falcate and straight hairs. Stems 5-20 cm, rooting freely at nodes. Leaves 2-6 x 2-4 mm, 3-veined; suborbicular, subsessile, base prominently oblique. Flowers unisexual; the lower female and the upper male. Female flowers enclosed in the connate involucre; perianth tubular, narrowly and shortly 4-lobbed. Male flowers with a 4-lobbed perianth. Achenes hard, light brown, shiny, symmetric, 0.8-0.9 × 0.6mm.

Flowering: 5-10.

Distribution: Native in Baleares, Mallorca, Corse, Italy and Sardegna (Figure 2) [24-30].

Naturalized in Europe: Azores, Great Britain, Canary Islands, France (Channel Is.), Netherlands, Spain, Portugal, Madeira. Denmark with Bornholm (Casual alien), Belgium and Ireland (status unknown), Türkiye (naturalized). Africa: Algeria (probably in Tunisia). North America: California, Mexico. Australia: wetter places in southern and north-western parts and also Tasmania (Figure 2) [24-30].



Figure 1. *Soleirolia soleirolii*. A and C: general view. B: male and female flowers.

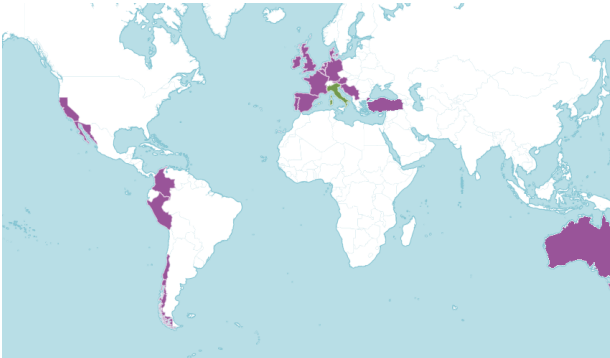


Figure 2. Distribution map of *Soleirolia soleirolii* in the world. (Natural distribution in green. Introduced or naturalized distribution in purple). Modified from POWO (2023) [30].

4. Discussion and Conclusion

Family Urticaceae in Türkiye was formerly represented by genera *Urtica* and *Parietaria* [28, 29]. *Soleirolia* has been added herein as the third one. The genus is close to *Parietaria*, but differs from it mainly in having rooting stems (at nodes), smaller leaves (not exceeding 6 mm,) and solitary flowers [28]. The genus is represented only one species namely *S. soleirolii* which is native to Balears, Mallorca, Corse, Italy, Sardegna, however it introduced and naturalized in many part of Europe [24, 27]. Additional records from various part of the world have been reported so far [31-33]. It, for instance, introduced to California and Mexico (Baja California) [31]. Recently *S. soleirolii* was recorded from Edough peninsula in Algeria and probably found in Tunisia [32]. This species is also becoming widely naturalised in the wetter parts of southern Australia (i.e. in some parts of eastern New South Wales, in the coastal

districts of southern Victoria, in Tasmania, in south-eastern South Australia, and in the coastal districts of south-western and northern Western Australia [33]. While Yılmaz et al (2018) previously reported the cultivation of this plant at Aşyan Cemetery in Istanbul [34], this study revealed the first discovery of naturalized alien populations of *S. soleirolii*. The species was found to be prevalent in damp areas near shady walls in the city center of Bartın. It was observed that the most abundant species growing in the same habitat were *Stellaria media* (L.) Vill., *Cardamine hirsuta* L., and *Asplenium adiantum-nigrum* L. These findings shed light on the plant's adaptability to new environments, indicating the potential for further spread of the species beyond its native range. The coexistence of other plant species in the same habitat also highlights the importance of studying the interactions and ecological relationships between species in these ecosystems.

Uludağ et al. (2017) reported that the alien flora of Türkiye includes 340 taxa, but the number of invasive species found in the country is continuously increasing, as shown in Appendix A. In fact, 14 additional alien taxa have been recorded in the last five years alone (Appendix A), bringing the total number of invasive plants in Türkiye to 355, including the new species recorded in this study. The presence of invasive alien species can have significant negative impacts on the native flora and fauna, including reduced biodiversity and ecosystem services. Therefore, it is important to monitor and control the spread of invasive species in Türkiye to protect the local environment and maintain a healthy ecosystem.

Acknowledgement

The authors wish to express their sincere gratitude to the staff members of the Ministry of Agriculture and Forestry of the Republic of Turkey, 10th Regional Directorate, for their invaluable assistance during the field studies.

Declaration of Ethical Code

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

References

- [1] Di Castri, F. 1989. History of biological invasions with special emphasis on the Old World. Biological invasions: a global perspective, pp. 1-30).
- [2] Cushman, J. H., Meentemeyer, R.K. 2008. Multi-scale patterns of human activity and the incidence of an exotic forest pathogen. *Journal of Ecology*, 96, 766-776. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2745.2008.01376.x>.
- [3] Simberloff, D., Martin, J. L., Genovesi, P., Maris, V., Wardle, D. A., Aronson, J., Courchamp, F., Galil, B., García-Berthou, B., Pascal, M., Pyšek, P., Sousa, R., Tabacchi, E., Vilà, M. 2013. Impacts of biological invasions: what's what and the way forward. *Trends in ecology & evolution*, 28, 58-66.
- [4] Andersen, M. C., Adams, H., Hope, B., Powell, M. 2004. Risk assessment for invasive species. *Risk Analysis: An International Journal*, 24, 787-793.
- [5] Bellard, C., Cassey, P., Blackburn, T.M. 2016. Alien species as a driver of recent extinctions. *Biology Letters*, 2. doi: <https://doi.org/10.1098/rsbl.2015.0623>.
- [6] Uludağ, A., Aksoy, N., Yazlık, A., Arslan, Z.F., Yazmış, E., Uremis, I., Cossu, T.A., Groom, Q., Pergl, J., Pyšek, P., Brundu, G. 2017. Alien flora of Turkey: checklist, taxonomic composition and ecological attributes. *NeoBiota*, 35, 61-85.
- [7] Dönmez, A.A. & Uğurlu, Z. 2014. *Iris foetidissima* (Iridaceae): discovering the species in Turkey on the basis of a native population. *Phytologia Balcanica*, 20, 175-178.
- [8] Sevgi, E., Hançer, Ç.K., Yılmaz, H., Akkaya, M. 2017. A new alien species record for the flora of Turkey: *Proboscidea louisianica* (Miller) Thell. *Eurasian Journal of Forest Science*, 5, 19-25.
- [9] Terzioğlu, S., Coşkunçelebi, K. 2017. *Rhus chinensis* var. *chinensis* (Anacardiaceae): a new alien record for the flora of Turkey. *Phytologia Balcanica*, 23, 167-170.
- [10] Tunçkol B., Aksoy, N., Yaşayacak, H. 2017. A new record for alien flora of Turkey: *Symphotrichum pilosum* (Willd.) G.L. Nesom var. *pilosum*. *Modern Phytomorphology*, 11, 105-109.
- [11] Yıldırım, N., Terzioğlu, S., Turna, İ. 2018. *Cyclopermum leptophyllum* (Apiaceae): a new alien record for the flora of Turkey. *Phytologia Balcanica*, 24, 205-207.
- [12] Yıldırım, Ş. 2018. A new alien species, *Cardiospermum halicacabum* L. (Sapindaceae) from Turkey. *Ot Sistematik Botanik Dergisi*, 25: 71-78.
- [13] Sezer, A., Kolören, O. 2019. Doğu Karadeniz Bölgesi kivi bahçelerindeki yabancı ot türleri, rastlama sıklıkları ve genel kaplama alanlarının belirlenmesi. *Akademik Ziraat Dergisi*, 8, 227-236.
- [14] Yıldırım, H., Özdöl, T., Yaşayacak, H. 2019a. An alien species of *Bidens* (Asteraceae): *Bidens pilosa* L., new to the Turkish flora. *Acta Biologica Turcica*, 32, 61-64.
- [15] Yıldırım, H., Özdöl, T., Yaşayacak, H. 2019b. Türkiye için yeni bir istilacı tür kaydı: *Malvastrum coromandelianum* (L.) Gracke (Ebegümeçigiller/Malvaceae Juss.). *Bağbahçe Bilim Dergisi*, 6, 40-44.
- [16] Terzioğlu, S. 2020. *Arrhenatherum elatius* subsp. *bulbosum* (Poaceae): A new alien record for the flora of Turkey. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi*, 23, 924-927.
- [17] Yazlık, A. 2021. *Impatiens balfourii* (Balsaminaceae): First recording from the Western Black Sea Region of Turkey. *Turkish Journal of Weed Science*, 24, 13-18.
- [18] Yılmaz, H. 2021. *Gamochoeta coarctata*: A new alien species for Turkey. *Turkish Journal of Biodiversity*, 4, 77-81.
- [19] Terzioğlu, S., Coşkunçelebi, K. 2022. Contribution to the Alien Flora of Turkey: *Impatiens glandulifera* Royle (Balsaminaceae). *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi*, 25, 78-82.
- [20] Tunçkol, B. 2022. *Verbena brasiliensis* Vell.: a new record of an invasive alien species in the flora of Turkey. *BioInvasions Records*, 11, 57-61. <https://doi.org/10.3391/bir.2022.11.1.06>
- [21] Tunçkol, B., Yaşayacak, H., Majure L.C. 2022. *Opuntia macrorhiza* Engelm.: a new record of an invasive alien species in the flora of Turkey. *BioInvasions Records*, 11, 245-350.
- [22] Michalkova, D. 2004. The problem: North American Native Plants that Invade Slovakia and Central Europe. *The Native Plant Society of Northeastern Ohio*, 22, 5.

- [23] Kozak, O.M. & Didukh Y.P. 2013. A comparative assessment of econiches of invasive species and apophytes distributed in the Latoritsa River basin (Transcarpathian Region). *Ukrainian Botanical Journal*, 70, 145–151.
- [24] Uotila, P. 2011. Urticaceae. In *Euro+Med Plantbase - the information resource for Euro-Mediterranean plant diversity*.
- [25] Requien, P.M. 1825. Observations sur quelques plantes rares ou nouvelles de la Flore Française. *Annales des sciences naturelles*, 5, 385.
- [26] Dandy, J.E. 1965. Urticaceae. pp. 4-6. Heywood, V.H., ed. 1965. *Flora Europaea, Notulae Systematicae ad Floram Europaeam spectantes. Feddes Repertorium*, 70.
- [27] Ball, P.W. 1964. Genus *Soleirolia* Gaudich. pp. 69. Tutin, T.G., Heywood, V.H., Burges, N.A., Moore, D.M., Valentine, D.H., Walters, S.M., Webb, D.A., eds 1964. *Flora Europaea Lycopodiaceae to Platanaceae*, vol 1. Cambridge University Press.
- [28] Townsend, C.C. 1982. Urticaceae. Davis, P.H., ed. 1982. *Flora of Turkey and The East Aegean Islands vol. 2*. Edinburgh: Edinburgh University Press.
- [29] Güner, A., Aslan, S., Ekim, T., Vural, M., Babaç, M.T. 2012. *Türkiye Bitkileri Listesi Damarlı Bitkiler*. İstanbul: Nezahat Gökyiğit Botanik Bahçesi Botanik Bahçesi ve Flora Araştırmaları Derneği Yayını, Flora Dizisi 1.
- [30] POWO 2023. *Plants of the World Online*. Facilitated by the Royal Botanic Gardens, Kew. Published on the Internet. <http://www.plantsoftheworldonline.org/> [Date Accessed: 25 January 2023].
- [31] Robbins, W.W. 1940. Alien plants growing without cultivation in California. *Univ. University of California Agricultural Experiment Station. Bulletin*. Berkeley, 637, 35.
- [32] Hamel, T., Boulemtafes, A. 2017. Floristic diversity of the Cap de Garde (North-East Algeria). *International Journal of Biosciences*, 10(6), 131-149.
- [33] Messina, A., Kodela, P.G. 2023. *Soleirolia soleirolii*. Kodela, P.G., ed., *Flora of Australia*. Australian Biological Resources Study, Department of Climate Change, the Environment and Water: Canberra. <https://profiles.ala.org.au/opus/foa/profile/Soleirolia%20soleirolii> [Date Accessed: 25 January 2023].
- [34] Yılmaz, H., Kuşak, B., Akkemik, Ü. 2018. The role of Aşyan Cemetery (İstanbul) as a green urban space from an ecological perspective and its importance in urban plant diversity. *Urban Forestry & Urban Greening*, 33, 92-98. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2017.10.011>.

Appendices

Appendix A. Recently recorded alien plant taxa for the Turkish Flora after Uludağ et al. (2017)

| Family | Name of the taxa | Distribution in Türkiye | Origin | Reference |
|---------------|--|----------------------------------|----------------------------------|-----------|
| Anacardiaceae | <i>Rhus chinensis</i> Mill. var. <i>chinensis</i> | Eastern Black Sea (Artvin, Rize) | N. Pakistan, China, to Japan | [9] |
| Apiaceae | <i>Cyclospermum leptophyllum</i> (Pers.) Sprague ex Britton & P.Wilson | Eastern Black Sea (Trabzon) | Mexico to S. Tropical America | [11] |
| Asteraceae | <i>Bidens pilosa</i> L. | East Medit. (Osmaniye) | Tropical & Subtropical America | [14] |
| Asteraceae | <i>Gamochoeta coarctata</i> (Willd.) Kerguelen | Marmara (İstanbul) | South America | [18] |
| Asteraceae | <i>Symphyotrichum pilosum</i> (Willd.) G.L. Nesom var. <i>pilosum</i> | Western Black Sea (Zonguldak) | E. Canada to N. Central & E. USA | [10] |
| Balsaminaceae | <i>Impatiens balfourii</i> Hook. f. | Western Black Sea (Düzce) | N. Pakistan to W. Himalaya | [17] |

| Family | Name of the taxa | Distribution in Türkiye | Origin | Reference |
|---------------|---|--------------------------------------|--|-----------|
| Balsaminaceae | <i>Impatiens glandulifera</i> Royle | Eastern Black Sea (Giresun) | NE. Pakistan to Nepal | [19] |
| Cactaceae | <i>Opuntia macrorhiza</i> Engelm. | Western Black Sea (Kastamonu, Sinop) | Central & S. USA to N. Mexico | [21] |
| Iridaceae | <i>Iris foetidissima</i> L. | Western Black Sea (Sinop) | Azores, W. Europe to W. & Central Medit. | [7] |
| Malvaceae | <i>Malvastrum coromandelianum</i> (L.) Gracke | East Medit. (Osmaniye) | Central & S. America | [15] |
| Martyniaceae | <i>Proboscidea louisianica</i> (Mill.) Thell. | Northwest Aegean (Çanakkale) | South America and Mexico | [8] |
| Poaceae | <i>Arrhenatherum elatius</i> (L.) P.Beauv. ex J.Presl & C.Presl subsp. <i>bulbosum</i> (Willd.) Schübl. & G.Martens | Eastern Black Sea (Rize) | SW Europe | [16] |
| Sapindaceae | <i>Cardiospermum halicacabum</i> L. | Aegean (Aydın) | Tropics and subtropics | [12] |
| Verbenaceae | <i>Verbena brasiliensis</i> Vel. | Wester Black Sea (Bartın) | South America | [20] |

Hidroelektrik Santrallerin Kabulüne Etki Eden Faktörlerin Araştırılması: Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Erciş Meslek Yüksekokulu Öğrencileri Örnekleme

Onur ÖZDEMİR¹, Özer ÖZAYDIN², Veysel YILMAZ³

¹Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Erciş Meslek Yüksekokulu, Bankacılık ve Sigortacılık Bölümü, 65080, Van, Türkiye
^{2,3}Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Fakültesi, İstatistik Bölümü, 26040, Eskişehir, Türkiye

(Alınış / Received: 24.04.2023, Kabul / Accepted: 26.07.2023, Online Yayınlanma / Published Online: 25.12.2023)

Anahtar Kelimeler

Hidroelektrik santraller,
Algılanan risk,
Algılanan yarar,
Santrallerin kabulü,
İstatistik

Öz: Bu çalışmada, hidroelektrik santrallerin kabulüne etki eden faktörler bir yapısal model ile incelenmiştir. Modelde algılanan risk, algılanan yarar, algılanan güven ve kabul niyeti içsel değişken olarak ele alınırken, hidroelektrik santrallere ilişkin bilgi puanı dışsal değişken olarak değerlendirilmiştir. Araştırma modeli, öğrencilerin hidroelektrik santralleri hakkında bilgilerinin, santrallere yönelik risk, yarar ve güven algılarını doğrudan etkileyeceği, bu değişkenlerin de hidroelektrik santrallerin kabulüne etkileri olabileceği değerlendirilerek kurgulanmıştır. Ayrıca kişilerin çevresel duyarlılık düzeylerinin, risk → kabul, güven → kabul ve yarar → kabul ilişkilerinde düzenleyici bir rol oynayıp oynamadığı da araştırılmıştır. Analiz sonuçlarına göre hidroelektrik santrallere ilişkin bilgi puanı ile risk algısı arasında pozitif, bilgi puanı ile güven ve yarar algısı arasında negatif bir yönde ilişki olduğu belirlenmiştir. Toplam bilgi puanındaki bir puanlık artış; risk algısında 0.347 puanlık bir artışa, güven ve yarar algılarında ise sırasıyla 0.106 ve 0.087 puanlık azalışa neden olacağı tespit edilmiştir. Sonuç olarak algılanan güvenin hidroelektrik santrallerin kabulünü etkileyen en önemli faktör olduğu ortaya çıkmıştır.

Investigation of Factors Affecting the Acceptance of Hydroelectric Power Plants: Van Yüzüncü Yıl University Ercis Vocational School Students Sample

Keywords

Hydroelectric power plants,
Perceived risk,
Perceived benefit,
Acceptance of power plants,
Statistics

Abstract: In this study, the factors affecting the acceptance of hydroelectric power plants are examined with a structural model. In the model, perceived risk, perceived benefit, perceived trust and acceptance intention were considered as internal variables, while the knowledge score regarding hydroelectric power plants was evaluated as an external variable. The research model was designed by considering that students' knowledge of hydroelectric power plants will directly affect their perceptions of risk, benefit and trust towards power plants, and that these variables may have an impact on the acceptance of hydroelectric power plants. In addition, it was also investigated whether environmental sensitivity levels of individuals play a mediator role in risk → acceptance, trust → acceptance and benefit → acceptance relations. According to the results of the analysis, it was determined that there was a positive relationship between the knowledge score and risk perception regarding hydroelectric power plants, and a negative relationship between the knowledge score and the perception of trust and benefit. One point increase in total knowledge score; It has been determined that it will cause an increase of 0.347 points in risk perception and a decrease of 0.116 and 0.087 points in trust and benefit perceptions, respectively. As a result, it has been revealed that perceived trust is the most important factor affecting the acceptance of hydroelectric power plants.

1. Giriş

Dünyada enerji kaynaklarına olan gereksinim her geçen gün artarak devam etmektedir. Teknolojik ilerlemeler, hızla gelişen sanayi ve dünya nüfusundaki büyüme enerjiye olan talebi hızla artırmaktadır. Enerji üretebilmek ve elde edilen enerjiyi doğru şekilde pazarlayabilmek günümüzde ülkeler için oldukça önemli bir gelişmişlik göstergesidir. Günümüzde kullanılan enerjinin çoğu birincil enerji kaynaklarından karşılanmaktadır. Birincil enerji, herhangi bir enerji dönüşümünden geçmemiş enerji olarak tanımlanabilir [1]. Petrol, kömür ve doğalgaz bu enerji türündeki en önemli kaynaklardır. Bu kaynak rezervlerinin sınırlı olması ve enerji ihtiyacının sürekli artmasından dolayı birincil enerji kullanımı giderek azalmakta, yenilenebilir enerji kaynaklarına talep ise giderek artmaktadır. Yenilenebilir enerji, doğal kaynaklardan elde edilebilen, kullanılmasına rağmen azalmayan ve tükenmeyen enerji olarak tanımlanabilir [1]. Yenilenebilir enerji kaynakları arasında hidroelektrik enerji önemli bir paya sahiptir. Ülke genelinde 2020 itibarıyla 653 adet HES bulunmaktadır. Her sene iklim şartlarından dolayı hidroelektrik enerji üretim miktarı değişmektedir. [2]

Hidroelektrik santraller suyun gücünü kullanarak elde ettiği enerjiyi elektrik enerjisine dönüştüren yapılardır. Bu santraller enerji üretimine katkı sağlamasına rağmen birçok çevresel sorunu da beraberinde getirmektedir. Hidroelektrik santrallerin en iyi bilinen çevresel etkileri arasında, bölge halkının fiziki yaşam alanı değişiklikleri, doğa ve yaşam yerlerinin zarar görmesi, deniz ekosisteminin bozulması, erozyon ve sel oluşumu vb. gösterilebilir. [3] Bu olumsuz etkilerden dolayı hidroelektrik santrallerin inşa edileceği bölgelerde yaşayan insanlar tedirgin olmakta ve santrallerin inşasına pek olumlu bakmamaktadırlar [4].

Santrallerin kabulüne yönelik literatürde birçok çalışma bulunmaktadır. Jang ve Park (2020), Güney Kore'de yaşayan insanların nükleer santrallerin kurulmasına ilişkin tutumlarını incelemişlerdir. Araştırmada algılanan maliyetler, sistem güvenilirliği, farkındalık ve çevre bilgisi olmak üzere dört faktörün halkın nükleer santralleri kabul niyetini etkileyen fayda, risk ve kamu tutumları üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Araştırma bulgularında algılanan faydanın halkın nükleer santralleri kabullenmede kilit rol oynadığı belirlenmiştir. Ayrıca çevresel bilginin ve algılanan maliyetlerin, algılanan riskler üzerinde dikkate değer bir etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir[5]. Bronfman vd. (2012), enerji üretim kaynaklarının toplum tarafından kabul edilebilirliğini bir model ile incelemişlerdir. Model ile bir enerji kaynağının toplum tarafından kabul edilmesi, algılanan risk, fayda ve kurumlara duyulan güven ile doğrudan ilişki olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca algılanan faydanın, kabul niyeti üzerinde en büyük

toplam etkiye sahip olduğunu ve bu nedenle enerji üretim kaynaklarının sosyal kabul edilebilirliğinde çok önemli bir faktör olduğunu tespit etmişlerdir[6].

Xiao vd. (2017), güven algısının nükleer enerji santrallerinin kabulünü nasıl etkilediği üzerine bir araştırma yapmışlardır. Çin'in Haiyan ilçesinde 491 kişiyle gerçekleştirilen araştırmada güven algısı iyi niyet güveni ve yeterlilik güveni olmak üzere iki alt boyutta incelenmiştir. Araştırma bulguları; iyi niyet güveninin risk algısını azaltarak nükleer enerji santrallerinin kabulünü artırdığı, yeterlilik güveninin ise fayda algısını artırarak santrallerin kabulünü artırdığını ortaya çıkarmıştır [7]. Alzahrani vd. (2023), Suudi Arabistan'da yaşayan insanların nükleer enerjiye yönelik tutumlarını bir yapısal eşitlik modellemesi ile incelemişlerdir. Çalışmada nükleer bilgi, yönetmeliklere güven, sosyal etki, algılanan risk ve algılanan fayda gibi faktörlerin nükleer santrallerin kabulünü nasıl etkilediği araştırılmıştır. Araştırma bulgularında, algılanan faydaların etkisinin, algılanan risklerden daha önemli olduğu görülmüştür. Ayrıca nükleer santrallerin kurulacağı bölgenin de santralleri kabul etmede önemli bir rol oynadığı belirlenmiştir [8]. Wang vd. (2020), çevresel endişe, yer bağlılığı, algılanan fayda ve algılanan risk faktörlerinin nükleer santrallerin yeniden inşasının yerel kabul üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Çalışmada algılanan fayda, algılanan genel fayda ve algılanan yerel fayda olmak üzere iki alt boyutta değerlendirilmiştir. Araştırma bulguları yeniden inşa kabulünün; algılanan genel ve yerel faydadan olumlu etkilendiği, algılanan riskten ise olumsuz yönde etkilendiğini ortaya koymuştur (9).

Zhu vd. (2020), Çin'deki nükleer santrallerin kamu tarafından kabulü üzerine bir çalışma yapmışlardır. Çalışmada nükleer enerji bilgisi, nükleer kaza bilgisi, risk-fayda algısı, sosyal medya kullanım sıklığı ve sosyal medya bilgi güveni gibi öncül değişkenler ele alınmıştır. Araştırma bulgularında, sosyal medya kullanım sıklığı ve sosyal medya bilgilerine güvenin bireylerin nükleer enerji ve nükleer kazalar hakkındaki bilgilerini artırdığı ve risk-fayda algısına yol açtığı belirlenmiştir. Ayrıca fayda algısının nükleer enerji santrallerinin kabulünü artırdığını tespit etmişlerdir [10]. Mayeda ve Boyd (2020), halkın, hidroelektrik santral projelerine ilişkin tutumunu etkileyen faktörler üzerine sistematik alan taraması yapmışlardır. Araştırma sonucunda ilk sırada çevresel ve ekolojik etkilerin bulunduğu, daha sonra hidroelektrik santral projeleriyle ilgili sosyo-ekonomik etkilerin geldiği ve son olarak halkın görüşlerinin alınması, konunun halk ile istişare edilmesi faktörlerinin geldiği belirlenmiştir [4].

Liu vd. (2017), modern kömür yakıtlı elektrik santrali projelerinde kamu desteğini etkileyen faktörleri belirlemek için bir araştırma yapmışlardır. Araştırma modelinde yer duygusu, algılanan güven ve çevresel duyarlılık bağımsız değişken, algılanan fayda ve

maliyet aracı değişken, kamu desteği ise bağımlı değişken olarak ele alınmıştır. Araştırma bulgularında; yer duygusunun fayda algısı yoluyla kamu desteği üzerinde hafif bir dolaylı etkisinin olduğunu, güvenin ise kamu desteği üzerinde doğrudan bir etkisinin olduğunu ortaya koymuştur. Ayrıca çevresel tutumun, fayda algısı ve maliyet algısı aracılığıyla kamu desteği üzerinde dolaylı etkisinin olduğunu tespit etmişlerdir [11]. Mah vd. (2014), risk algısı, güven algısı ve halkın katılımı faktörlerini ele alarak kamuoyunun nükleer enerjiye ilişkin tutumlarını incelemişlerdir. Hong Kong'da 509 bireyle yapılan araştırma, güvenin nükleer seçimler bağlamında risk algısından daha etkili olduğunu belirtmektedir. Ayrıca güven ve halk katılımının etkinliğine ilişkin algıların, risk ve nükleer muhalefet algılarını açıklayan faktörler olduğu belirlenmiştir [12].

Tanaka (2004), nükleer tesislerin konumlandırılmasında halkın kabulünü belirleyen faktörleri incelemiştir. Çalışma Japonya'da yaşayan ve rastgele seçilen 1000 yetişkin katılımcı ile gerçekleştirilmiştir. Araştırma bulguları, algılanan risk ve algılanan faydanın nükleer tesislerin kurulumunda kabulü etkileyen çok önemli faktörler olduğunu ortaya koymuştur. Ayrıca algılanan riskin nükleer santralin kabulünde algılanan faydadan daha etkin bir rol oynadığını tespit etmiştir[13]. Yıldız ve Arı (2019), nükleer enerjinin kabulünü etkileyen faktörler ile üniversite öğrencilerinin enerjiye olan duyarlılıkları arasındaki nedensellik ilişkisini bir YEM modeli ile incelemişlerdir. Araştırma 521 üniversite öğrencisiyle yapılmıştır. Çalışmada öğrencilere algılanan yarar, algılanan risk, algılanan güven ve kabul ile ilgili sorular sorulmuştur. Araştırma bulguları, risk algısının nükleer enerji santrallerinin kabulü üzerinde olumsuz bir etkisinin olduğunu göstermiştir. Ayrıca modeldeki diğer gizli değişkenlerin etkileri de istatistiksel olarak anlamlı ve pozitif bulunmuştur (14). Kimura ve Suzuki (2003), nükleer enerji projelerinin kabulüne ilişkin halkın tutumunu etkileyen faktörleri belirlemeye çalışmışlardır. Araştırma bulguları, algılanan güven, algılanan risk, algılanan fayda ve nükleer enerji üretim üstünlüğünün santralleri kabul niyetine önemli etkisi olduğunu ortaya koymuştur (15).

Ayrıntılı olarak taranan literatürde; birçok araştırmacının nükleer enerji santral projelerinin sosyal kabulü üzerine çalışma yaptığı görülmektedir. Ancak hidroelektrik santrallerin sosyal kabulü üzerine yeterince çalışmaya rastlanılmamıştır. Ayrıca santrallere yönelik halkın bilgisini ölçen bir değişkene rastlanmamıştır. Bu çalışmada hidroelektrik santrallerin kabulüne etki eden faktörler bir yapısal eşitlik modellemesi ile araştırılmıştır. Çalışmada risk algısı, yarar algısı, güven ve kabul niyeti arasındaki ilişki literatüre dayandırılarak oluşturulmuş, hidroelektrik santrallere ilişkin halkın bilgisini ölçen, bilgi puanı

dışsal değişken olarak araştırmacılar tarafından modele dâhil edilmiştir. Ayrıca çevresel duyarlılığın; risk algısı, güven algısı ve yarar algısı faktörlerinin kabul üzerinde düzenleyici bir etkisinin olup-olmadığı da araştırılmıştır.

2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada hidroelektrik santrallerin kabulüne etki eden faktörler bir yapısal model ile incelenmiştir. Önerilen modelde risk algısı, güven algısı, yarar algısı ve kabul niyeti içsel değişken olarak ele alınırken hidroelektrik santrallere ilişkin bilgi puanı dışsal değişken olarak değerlendirilmiştir. Ayrıca oluşturulan modele çevresel duyarlılık faktörü eklenerek çevresel duyarlılığın; risk algısı, güven algısı ve yarar algısı üzerinde kabul niyetini etkileyen bir düzenleyicilik durumunun olup-olmadığı araştırılmıştır. Araştırma modelinin uyumu ve hipotezlerin testi KEK-YEM ile yapılmıştır.

2.1. Kısmi en küçük kareler yapısal eşitlik modellemesi

İlk olarak Wold [16,17,18] tarafından geliştirilen bu yöntem, içsel yapıların açıklanan varyansını maksimize eden yinelemeli yaklaşıma dayalı bir yapısal eşitlik modellemesi tekniğidir [19]. Kısmi en küçük kareler yöntemi diğer çok değişkenli istatistiksel tekniklerle karşılaştırıldığında yumuşak bir modelleme tekniği olarak görülmektedir [19,20]. Bir başka ifade ile çok değişkenli istatistiksel yöntemlerin gerekli olan varsayımlarını karşılamamanın güç olduğu durumlarda kısmi en küçük kareler yönteminin esneklik durumundan yararlanılarak daha kolay bir şekilde model kurulabilir. [21]. Ayrıca bu yöntem (KEK-YEM), küçük hacimli örneklerde de oldukça başarılı sonuçlar vermektedir. Çalışmada önerilen araştırma modelinin uyumu ve hipotezlerin testi bu yöntem kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

2.2. Araştırma modeli ve hipotezlerin tasarımı

Araştırma modelinde yer alan güven algısı, risk algısı, yarar algısı ve kabul niyeti arasındaki ilişki literatüre dayandırılarak oluşturulmuştur[11,22,23,24]. Türkçe literatür incelendiğinde hidroelektrik santrallere ilişkin halkın bilgisini ölçen bir değişkene rastlanılmamıştır. Bilgi puanı dışsal değişken olarak modele araştırmacılar tarafından dâhil edilmiştir. Araştırma modeli, kişilerin hidroelektrik santralleri hakkında bilgilerinin; santrallere yönelik risk, yarar ve güven algılarını doğrudan etkileyeceği, bu değişkenlerin de hidroelektrik santrallerin kabulüne etkileri olabileceği değerlendirilerek kurgulanmıştır. Ayrıca kişilerin çevresel duyarlılık düzeylerinin, risk → kabul, güven → kabul ve yarar → kabul ilişkilerinde düzenleyici bir rol oynayıp oynamadığı da araştırılmıştır. Araştırmada bilgi puanı-güven algısı, bilgi puanı-risk algısı ve bilgi puanı yarar algısı

arasındaki ilişkiler aşağıda verilen hipotezler ile incelenmiştir.

H₁: Hidroelektrik santrallere ilişkin bilgi ile hidroelektrik santrallere yönelik güven algısı arasında negatif yönlü bir ilişki vardır.

H₂: Hidroelektrik santrallere ilişkin bilgi ile hidroelektrik santrallere yönelik risk algısı arasında pozitif yönlü bir ilişki vardır.

H₃: Hidroelektrik santrallere ilişkin bilgi ile hidroelektrik santrallere yönelik yarar algısı arasında negatif yönlü bir ilişki vardır.

Sosyolojik açıdan kamu güveni, insanlar ve sistemler tarafından oluşturulan ve uzun bir zaman içinde gelişen güvenirliliğin değerlendirilmesidir [11]. Kurumlara ve işletmelere duyulan güven, enerji projelerine yönelik kabul niyetini etkileyen önemli bir faktördür [13,25]. Hidroelektrik santral projelerinin çevreye verebileceği potansiyel zararlardan dolayı güven algısı kamu desteğini etkileyen önemli bir faktördür. Bu durumun tespiti için aşağıda verilen hipotez kurulmuştur.

H₄: Santrallere yönelik algılanan güven arttıkça santrallere ilişkin kabul artar.

Risk ve yarar algısı, insanların yeni bir teknolojiyi kabul etmelerinde önemli rol oynayan iki temel faktördür[26,27,28,13]. Risk algısı, insanların yeni veya henüz keşfedilmemiş teknolojileri kabul etmesi olarak tanımlanabilir [24]. Yarar algısı ise bireylerin hassasiyet gösterdiği konularda eyleme geçmeleri durumunda oluşacak olumlu sonuçlardır[29]. Çeşitli araştırmalar yarar algısının bir tehlikenin kabulü için risk algısından daha önemli olduğunu göstermiştir [26,27,28]. Ayrıca literatürdeki birçok çalışma yarar algısı ile risk algısının negatif korelasyona sahip olduğunu göstermiştir[30,31,32]. Hidroelektrik santrallerin çevreye ve canlılara verdiği zarar potansiyel bir risk olarak değerlendirilebilir. Diğer taraftan bu santrallerin enerji üretimine olan katkısı, yerleşim yerlerinin suyunun karşılanması, sel ve erozyonların önlenmesi gibi durumlarda yarar olarak düşünülebilir. Bütün bu durumlardan dolayı halk tarafından hidroelektrik santrallerin kurulmasına ilişkin farklı fikir ve görüşler ortaya çıkmaktadır. Tüm bu bilgiler dikkate alınarak aşağıda verilen hipotezler oluşturulmuştur.

H₅: Santrallere yönelik algılanan risk arttıkça güven azalır.

H₆: Santrallere yönelik algılanan risk arttıkça santrallere ilişkin kabul azalır.

H₇: Santrallere yönelik algılanan yarar arttıkça güven artar.

H₈: Santrallere yönelik algılanan yarar arttıkça santrallere ilişkin kabul artar.

H₉: Santrallere yönelik algılanan yarar arttıkça risk azalır.

Çevresel duyarlılık, insanların yaşadıkları çevreye daha az olumsuz etkisi olan teknolojileri kullanma eğilimi olarak ifade edilmektedir [33,34,35]. Çevresel duyarlılığı yüksek olan insanlar, karar vermeden önce enerji projelerinin çevresel risk ve çevresel fayda etkilerini göz önünde bulundurur ve çevre dostu olduğu kabul edilen teknolojileri destekleme eğiliminde bulunurlar [36,37].Hidroelektrik santraller enerji üretimine katkı sağlamasına rağmen birçok çevresel etkiyi de beraberinde getirmektedir. Ekosistemin bozulması, fiziksel yaşam alanı değişiklikleri, deniz canlılarının yok olması, sulak alanların azalması başlıca etkiler olarak sayılabilir. Bu etkiler sebebiyle o bölgelerde yaşayan insanlar tarafından hidroelektrik santrallere ilişkin projelerin desteklenmesinde bazı endişe ve kaygılar oluşmaktadır. Araştırma kapsamında bu durum daha iyi tespiti için aşağıda verilen hipotezler tasarlanmıştır.

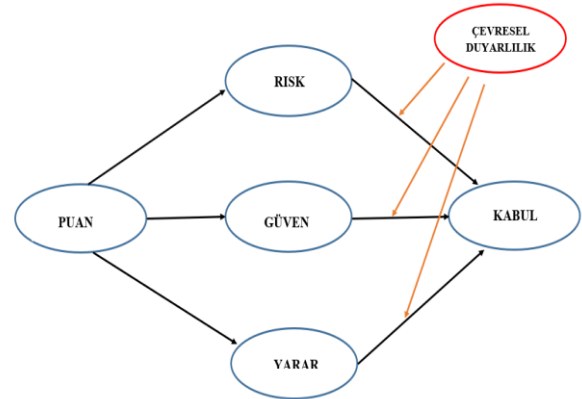
H₁₀: Çevresel duyarlılık arttıkça santrallere yönelik kabul azalır.

H₁₁: Çevresel duyarlılık arttıkça santrallere yönelik algılanan risk artar.

H₁₂: Santrallere yönelik algılanan güven ve kabul arasındaki ilişkide çevresel duyarlılığın düzenleyici rolü vardır.

H₁₃: Santrallere yönelik algılanan risk ve kabul arasındaki ilişkide çevresel duyarlılığın düzenleyici rolü vardır.

H₁₄: Santrallere yönelik algılanan yarar ve kabul arasındaki ilişkide çevresel duyarlılığın düzenleyici rolü vardır.



Şekil 1. Hidroelektrik santrallerin kabulüne ilişkin araştırma modeli

2.3. Veri toplama aracı ve örneklem

Çalışmada kullanılan anketin risk, yarar, güven ve kabul arasındaki ilişkiye ait soruları literatürden faydalanılarak tasarlanmıştır. [11,22,23,24]. Hidroelektrik santrallere ilişkin bilgi puanı soruları ve çevresel duyarlılığa ilişkin sorular ise araştırmacılar tarafından ankete ilave edilmiştir. Anketin ilk bölümünde öğrencilerin demografik

özelliklerine yönelik sorular yer alırken ikinci bölümünde hidroelektrik santrallere ilişkin bilgi puanını ölçmeye yarayan sorular bulunmaktadır. Son bölümde ise hidroelektrik santrallere yönelik çeşitli tutum ifadeleri ölçen 5'li Likert tipi sorular bulunmaktadır. Çalışma kapsamındaki veriler, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Erciş MYO'nda eğitim gören 750 öğrenci arasından gönüllü olan 313 öğrenciye yüz-yüze anket uygulanarak elde edilmiştir. Anket, 2022-2023 Eğitim-Öğretim Yılı Güz Döneminde öğrencilere uygulanmıştır. Anketin katılımcılara uygulanabilmesi için Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Yayın Etik Kurulu Başkanlığının 2022/10-01 kararı ile etik kurul izni alınmıştır.

3. Bulgular

Bu bölümde katılımcılara ait tanımlayıcı istatistikler ile çalışma kapsamında toplanan verilerin analizine ilişkin bilgiler yer almaktadır.

3.1. Tanımlayıcı istatistikler

Araştırma örneklemini oluşturan 313 katılımcının demografik özelliklerine ilişkin özet bilgiler (cinsiyet, yaş ve sağlık durumu) Tablo-1'de verilmiştir.

Tablo 1. Katılımcıların demografik özellikleri

| Değişken | Gruplar | Frekans | Yüzde |
|---------------|------------|---------|-------|
| Cinsiyet | Kadın | 168 | 53.7 |
| | Erkek | 145 | 46.3 |
| Yaş | 18-25 | 272 | 86.9 |
| | 26-33 | 23 | 7.3 |
| | 34-41 | 10 | 3.2 |
| | 42-49 | 5 | 1.6 |
| | 50-57 | 2 | 0.6 |
| | 58 ve üstü | 1 | 0.3 |
| Sağlık Sorunu | Var | 17 | 5.4 |
| | Yok | 296 | 94.6 |

Tablo 1'e göre örneklemin 168'ini kadınlar oluştururken, 145'ini erkekler oluşturmaktadır. Katılımcıların 272'si 18-25 yaş aralığında, 23'ü 26-33 yaş aralığında, 10'u 34-41 yaş aralığında, 5'i 42-49 yaş aralığında, 2'si 50-57 yaş aralığında ve 1'i 58 ve üzeri yaştadır. Ankette bulunan "Herhangi bir kronik sağlık sorunuz var mı?" sorusuna katılımcıların 17'si kronik sağlık sorunu var cevabını verirken, 296'sı herhangi bir kronik sağlık sorunu yok cevabını vermiştir.

Araştırmada kullanılan veri derleme aracının ikinci bölümü ile katılımcıların hidroelektrik santrallere ilişkin bilgi düzeyleri ölçülmüş ve sonuçlar Tablo 2'de verilmiştir. Çalışmada bilgi puanı doğru yüzdesi 54.3 olarak hesaplanmıştır.

Tablo 2. Katılımcıların hidroelektrik santrallere ilişkin bilgi puanları

| Hidroelektrik santrallere yönelik bilgi soruları | Doğru | Yanlış | Bilgi Yok |
|---|------------|------------|-----------|
| 5. Hidroelektrik santraller suyun gücünü kullanarak elde ettiği enerjiyi elektrik enerjisine dönüştüren yapılardır. | 2 (%86.9) | -1 (%1.3) | 0 (%11.8) |
| 6. Hidroelektrik santraller çevredeki su kaynaklarına zarar verebilir. | 2 (%33.2) | -1 (%36.4) | 0 (%30.4) |
| 7. Hidroelektrik santral projeleri ilerleyen yıllarda su kaynaklarının azalmasına sebep olabilir. | 2 (%39.6) | -1 (%28.8) | 0 (%31.6) |
| 8. Hidroelektrik santraller doğal çevre için herhangi bir risk oluşturmaz. | -1 (%26.8) | 2 (%49.2) | 0 (%24.0) |
| 9. Hidroelektrik santraller sadece insanların sağlığı için tehdit oluşturabilir. | -1 (%14.1) | 2 (%60.0) | 0 (%25.9) |
| 10. Hidroelektrik santraller yüksek verimlilikle çalışır ve gerekli durumlarda tarım alanlarını sulamak için de kullanılabilir. | 2 (%66.4) | -1 (%10.0) | 0 (%23.6) |
| 11. Hidroelektrik santrallerin ekolojik denge üzerinde olumsuz etkisi yoktur. | -1 (%18.8) | 2 (%46.3) | 0 (%34.9) |

2, Doğru ifadeye doğru cevabını verenler ve yanlış ifadeye yanlış cevabını verenlerin aldığı puanı

-1, Doğru ifadeye yanlış cevabını veren ve yanlış ifadeye doğru cevabını verenlerin aldığı puanı

0, Doğru ifadeye bilgi yok cevabını veren ve yanlış ifadeye bilgi yok cevabının verenlerin aldığı puanı göstermektedir

3.2. Kısmi en küçük kareler yapısal eşitlik modeline ilişkin bulgular

Araştırma kapsamında toplanan verilerin analiz edilmesinde Smart PLS 3.0 paket programı kullanılmıştır. İlk olarak ölçüm modelinin geçerliliği ve uyumu daha sonra ise yapısal modelin uyumu değerlendirilmiştir. Son olarak çalışma kapsamında oluşturulan hipotezlerin sonuçları incelenmiştir.

3.2.1. Modelin geçerliliği

Yakınsaklık geçerliliğinin uyumu için genellikle 3 ölçütten faydalanılır. İlki, gizil değişkenlere ait gözlenen değişkenlerin standardize edilmiş faktör yüklerinin 0,50'den büyük ve anlamlı olmasıdır [38]. İkincisi, her bir yapı için Yapı Güvenirliği (Composite Reliability - CR) ve Cronbach Alfa (CA) değerlerinin 0,70'den büyük olmasıdır [39]. Son ölçüt ise her gizil değişkenin Ortalama Açıklanan

Varyans değerinin 0,50'den yüksek olmasıdır [38]. Çalışmaya ilişkin söz konusu değerler Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 3. Ölçüm modelinin yapı güvenilirliği ve geçerliliği

| Faktörler | CR | AVE |
|---------------------|-------|-------|
| Çevresel Duyarlılık | 0,805 | 0,557 |
| Güven | 0,766 | 0,525 |
| Kabul | 0,825 | 0,612 |
| Bilgi Puanı | 1,000 | 1,000 |
| Risk | 0,865 | 0,763 |
| Yarar | 0,842 | 0,727 |

Modelin yapı güvenilirliği (CR) değerlerine bakıldığında herbir faktörün 0,70'ten büyük olduğu ve ortalama açıklanan varyans değerlerinin de 0,50'den yüksek olduğu görülmektedir. Modelin ayırt edici geçerliliğinin (Discriminant Validity) tespitinde Fornell ve Larcker (1981) tarafından önerilen ölçüt ile Henseler vd (2015) tarafından önerilen HTMT ölçütü kullanılmıştır [38,40]. Fornell ve Larcker (1981) ölçütüne göre, araştırmada bulunan herbir yapının AVE değerlerinin karekökü, çalışmada bulunan yapılar arasındaki korelasyonlardan yüksek olmalıdır. Söz konusu kritere ilişkin sonuçlar Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. Ayırt edici geçerlilik (Fornell-Larcker kriteri)

| | Ç.D. | Güven | Kabul | B. P. | Risk | Yarar |
|-------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Ç.D. | 0,676 | | | | | |
| Güven | -0,132 | 0,725 | | | | |
| Kabul | -0,181 | 0,515 | 0,782 | | | |
| B.P. | 0,226 | -0,164 | -0,215 | 1,000 | | |
| Risk | 0,297 | -0,214 | -0,354 | 0,416 | 0,873 | |
| Yarar | -0,009 | 0,294 | 0,433 | -0,106 | -0,224 | 0,852 |
| AVE | 0,557 | 0,525 | 0,612 | 1,000 | 0,763 | 0,727 |

Henseler vd. (2015) tarafından önerilen HTMT kriteri, modelde bulunan bütün değişkenlere ait ifadelerin korelasyon değerlerinin ortalamasının, aynı değişkene ait ifadelerin korelasyonlarının geometrik ortalamalara oranlarını ifade

etmektedir. Yazarlar HTMT değerinin; teorik olarak birbirine yakın kavramlarda 0,90'nın, uzak kavramlarda ise 0,85'in altında olması gerektiğini belirtmişlerdir[40]. Söz konusu kritere ilişkin bulgular Tablo 5'te verilmiştir.

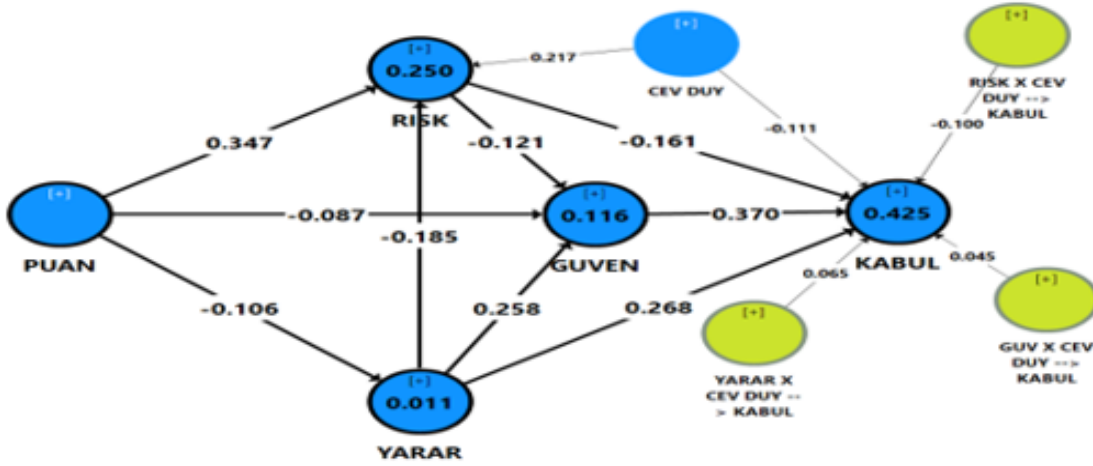
Tablo 5. Ayırt edici geçerlilik (HTMT kriteri)

| | Ç.D. | Güven | Kabul | B. P. | Risk | Yarar |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Ç.D. | | | | | | |
| Güven | 0,208 | | | | | |
| Kabul | 0,286 | 0,793 | | | | |
| B.P. | 0,244 | 0,186 | 0,257 | | | |
| Risk | 0,379 | 0,294 | 0,504 | 0,494 | | |
| Yarar | 0,090 | 0,455 | 0,659 | 0,136 | 0,332 | |

Tablo 4 ve Tablo 5 incelendiğinde Fornell-Larcker ve HTMT ölçütlerine göre modelin ayırt edici geçerliliğinin sağlandığı söylenebilir.

3.2.2. Yapısal modelin değerlendirilmesi

Araştırma kapsamında tasarlanan hipotezleri test etmek amacıyla oluşturulan yapısal eşitlik modellemesi Şekil-2'de verilmiştir.



Şekil 2. Modelin ayrıntılı PLS-SEM diyagramı

Yapısal modelin test edilmesinde KEK-YEM kullanılmıştır. Veriler SmartPLS 3 istatistik paket programı kullanılarak analiz edilmiştir. Analiz sonuçlarına göre hidroelektrik santrallere ilişkin bilgi puanı ile risk algısı arasında pozitif, bilgi puanı ile güven ve yarar algısı arasında negatif bir yönde ilişki olduğu görülmüştür. Yani toplam bilgi puanındaki bir puanlık artış; risk algısında 0.347 puanlık bir artışa, güven ve yarar algılarında ise sırasıyla 0.116 ve 0.011 puanlık azalışa neden olacağı tespit edilmiştir.

Hidroelektrik santrallere ilişkin risk algısı ile güven ve kabul arasında negatif yönde anlamlı bir ilişki olduğu belirlenmiştir. Risk algısındaki bir puanlık artış; güven algısında 0.121 puanlık azalmaya, kabul düzeyinde ise 0.161 puanlık bir azalmaya neden olmaktadır. Ayrıca santrallere yönelik algılanan risk ile kabul arasındaki ilişkiyi çevresel duyarlılık faktörü negatif arttırıcı yönde bir düzenleyicilik etkisine sahiptir. Şekil-2 incelenmeye devam edildiğinde güven algısı ile santralleri kabul düzeyi arasında pozitif yönde anlamlı bir ilişki olduğu görülmektedir. Güven düzeyindeki bir puanlık artışın kabulde 0.370 puanlık bir artışa neden olabileceği tespit edilmiştir. Algılanan yarar ile algılanan güven ve kabul niyeti arasında pozitif yönde anlamlı bir ilişki olduğu belirlenmiştir. Yarar algısındaki bir puanlık artışın; güven algısında 0.258 puanlık bir artışa, kabul düzeyi üzerinde ise 0.268 puanlık bir artışa neden olacağı anlaşılmaktadır.

Son olarak çevresel duyarlılık faktörü ele alındığında, çevresel duyarlılık ile hidroelektrik santralleri kabul düzeyi arasında negatif yönde istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki tespit edilmiştir. Çevresel duyarlılıktaki bir puanlık artışın santrallerin kabul düzeyinde 0.111 puanlık bir azalmaya neden olacağı belirlenmiştir. Ayrıca çevresel duyarlılık ile risk algısı arasında pozitif yönde anlamlı bir ilişki olduğu görülmektedir. Çevresel duyarlılıktaki bir puanlık artış risk algısında 0.217 puanlık bir artışa neden olmaktadır. Araştırma kapsamında oluşturulan

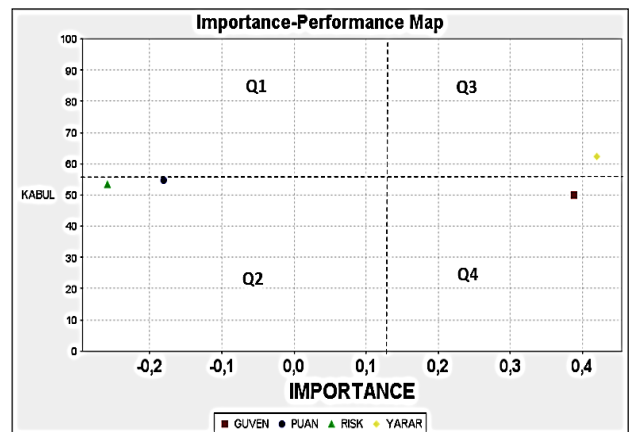
hipotezlerin sonuçlarına ilişkin ayrıntılı bilgi Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 6. Parametre tahminleri ve hipotez testi sonuçları

| Hipotez | İlişki kts. | P-değeri | Karar |
|---------------|-------------|------------|---------------|
| H1: BP→G | -0,087 | 0,055* | Desteklendi |
| H2: BP→R | 0,347 | 0,001*** | Desteklendi |
| H3: BP→Y | -0,106 | 0,022** | Desteklendi |
| H4: G→K | 0,370 | 0,001*** | Desteklendi |
| H5: R→G | -0,121 | 0,029** | Desteklendi |
| H6: R→K | -0,161 | 0,001*** | Desteklendi |
| H7: Y→G | 0,258 | 0,001*** | Desteklendi |
| H8: Y→K | 0,268 | 0,001*** | Desteklendi |
| H9: Y→R | -0,185 | 0,001*** | Desteklendi |
| H10: ÇD→K | -0,111 | 0,023** | Desteklendi |
| H11: ÇD→R | 0,217 | 0,001*** | Desteklendi |
| H12: G x ÇD→K | 0,045 | 0,197 (AD) | Desteklenmedi |
| H13: R x ÇD→K | -0,100 | 0,030** | Desteklendi |
| H14: Y x ÇD→K | 0,065 | 0,116 (AD) | Desteklenmedi |

Anlam düzeyleri * p < 0,10; ** p < 0,05; *** p < 0,01; AD: Anlamlı Değil

Tablo 6 incelendiğinde H₁₂ ve H₁₄ hipotezleri hariç diğer bütün hipotezlerin desteklendiği görülmektedir. Ayrıca modelde kullanılan değişkenler için önem performans haritası oluşturulmuş ve sonuçlar daha ayrıntılı olarak değerlendirilmiştir.



Şekil 3. Önem-Performans haritası

Önem (importance) ortalaması %57,6 ve performans (kabul) ortalaması 0,129 olarak hesaplanmıştır. Şekil-2'deki kesik çizgiler bu ortalamalar dikkate alınarak çizilmiştir. 4 farklı bölüme ayrılan haritada Q1: Önem düzeyi düşük ve performansı yüksek olan bölge, Q2: Önem düzeyi düşük ve performansı düşük olan bölge, Q3: Önem düzeyi yüksek ve performansı yüksek olan bölge, Q4:Önem düzeyi yüksek ve performansı düşük bölgeyi göstermektedir. Öncelikle ele alınması gereken bölge Q4'tür. Bu bölgede "Güven" faktörü yer almaktadır. Öğrencilerin vermiş olduğu cevaplardan hidroelektrik santrallerin güven düzeyini çok önemsedikleri ancak güvenin performansının düşük olduğu sonucuna ulaşılmaktadır. Bu sonuçtan hareketle öğrencilerin hidroelektrik santrallerin inşası, uygun yeri ve işletilmesi konularında duydukları güven algısı artıkça santralleri kabul düzeylerinin artacağı söylenebilir.

4. Tartışma ve Sonuç

Enerji, yaşamın vazgeçilmez bir parçasıdır. Kaliteli bir yaşam sürmek ve ekonomik büyüme için bütün ülkeler enerjiye ihtiyaç duymaktadır. Ülkeler enerji seçimlerini yaparken toplumu ve çevreyi düşünerek hareket etmelidir. Birincil enerji kaynaklarının azalması yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ihtiyacı giderek artırmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları arasında hidroelektrik enerji oldukça önemli bir yere sahiptir. Bu enerjinin elde edilebilmesi için bölgeye hidroelektrik santrallerin kurulması gerekmektedir. Hidroelektrik santraller enerji üretimine katkı sağlasa da birçok çevresel sorunu da beraberinde getirmektedir. Bu durum hidroelektrik santrallerin kurulacağı bölgelerde yaşayan insanlar tarafından pek olumlu karşılanmamaktadır. Bu çalışmada hidroelektrik santrallerin kabulüne etki eden faktörler bir yapısal model ile incelenmiştir. Modelde algılanan risk, algılanan yarar, algılanan güven ve kabul niyeti içsel değişken olarak ele alınırken, hidroelektrik santrallere ilişkin bilgi puanı dışsal değişken olarak değerlendirilmiştir. Ayrıca çevresel duyarlılığın; algılanan risk, algılanan yarar ve algılanan güven ile santralleri kabul niyeti arasında bir düzenleyicilik etkisinin olup-olmadığı araştırılmıştır.

Literatürdeki birçok çalışmada enerji kaynağının toplum tarafından kabul edilmesinin; algılanan risk, algılanan fayda ve kurumlara duyulan güven ile doğrudan ilişkili olduğu sonucuna varılmıştır. Bronfman vd. (2012), hidroelektrik enerji kaynağının toplum tarafından kabul edilebilirliğinin; algılanan risk, algılanan fayda ve kurumlara duyulan güven ile doğrudan ilişkili olduğunu tespit etmişlerdir. Ayrıca algılanan faydanın, kabul niyeti üzerinde en büyük etkiye sahip olduğunu belirlemiştir. (G→K: 0.31, Y→K: 0.71, R→K: -0.52, p < 0.001). Tanaka (2004), algılanan risk ve algılanan faydanın, nükleer tesislerin inşasında kabulü etkileyen çok önemli faktörler olduğunu tespit etmiştir(R→K: 0.31, Y→K: 0.36, p <

0.001). Alzahrani vd. (2023), algılanan risk ve algılanan faydanın nükleer santrallerin kabulü üzerinde etkin bir rol oynadığını göstermişlerdir. (R→K: 0.114, Y→K: 0.714, p < 0.05). Ayrıca nükleer enerji santralleri hakkında bilgi sahibi olmanın risk ve fayda üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu belirlemiştir (B→R: 0.097, B→F: 0.156, p < 0.05).

Bu çalışmada da literatürdeki çalışmalara paralel olarak, algılanan yarar ve algılanan güven ile hidroelektrik santralleri kabul niyeti arasında istatistiksel olarak anlamlı ve pozitif (Y→K: 0.268, p < 0.01; G→K: 0.370, p < 0.01) bir ilişki bulunmuş, algılanan risk ile kabul niyeti arasında ise anlamlı ve negatif (R→K: -0.161; p < 0.01) bir ilişki bulunmuştur. Yani üniversite öğrencilerinin hidroelektrik santrallerden algıladığı yarar düzeylerinin artması ve kamu kurumları ile enerji şirketlerine duyulan güven seviyesinin yükselmesi hidroelektrik santrallerinin kabul niyetini arttıracaktır. Ancak risk algısının artması kabul niyetini azaltmaktadır. Literatürdeki çalışmalardan farklı olarak bu çalışmada algılanan güven faktörünün, algılanan risk ve algılanan yarardan daha önemli olduğu belirlenmiştir (G→K: 0.370, p < 0.01).

Çalışmanın özgün değerini araştırma modeline dâhil edilen hidroelektrik santrallere yönelik bilgi puanı oluşturmaktadır. Toplam bilgi puanı ile algılanan risk arasında anlamlı ve pozitif bir ilişki (BP→R: 0.347, p < 0.01) bulunmuş ve H₂ hipotezi kabul edilmiştir. Bu sonuç üniversite öğrencilerinin hidroelektrik santrallere yönelik bilgileri artıkça risk algılarının da artacağı anlamına gelmektedir. Yani öğrenciler hidroelektrik santraller hakkında bilgi sahibi oldukça, bu santrallerin doğaya ve çevreye verdiği zararları fark etmeleri de o kadar artacaktır.

Bilgi puanı ile algılanan güven arasında anlamlı ve negatif yönlü bir ilişki (BP→G: -0.087, p < 0.10) bulunmuş ve H₁ hipotezi desteklenmiştir. Üniversite öğrencilerinin hidroelektrik santrallere ilişkin bilgileri artıkça "Hidroelektrik santrallerin kuruluşu ve işletmesindeki görevli kişilerin, santrallerin çevreye vereceği zararı en aza indirdiğine inanıyorum", "Kamu makamları, hidroelektrik santrallerin kurulacağı bölgedeki sakinlerin çevresel kaygılarını dinler ve bunlara duyarlıdır" , "Kamu makamları çevre kirliliği ile ilgili konularda kamu yararına hareket eder" düşüncelerini ifade eden güven algıları azalacaktır.

Bilgi puanı ile algılanan yarar arasında anlamlı ve negatif yönlü bir ilişki (BP→Y: -0,106, p < 0.05) bulunmuş ve H₃ hipotezi desteklenmiştir. Bunun anlamı üniversite öğrencilerinin santrallere ilişkin bilgileri artıkça "Hidroelektrik santrallerin kurulması enerji açısından dış ülkelere bağımlılığımızı azaltabilir", "Hidroelektrik santraller sulama imkânları sayesinde tarımsal üretime katkı sağlar", "Hidroelektrik santraller bölgedeki su

ihtiyacını karşılar”, “Hidroelektrik santrallerin kurulması bölgedeki iş imkânlarını arttırır”, “Hidroelektrik santraller kurulduğu bölgeye ucuz enerji sağlar” yönündeki düşünceleri azalacaktır.

Çalışmada çevresel duyarlılık ile hidroelektrik santralleri kabul niyeti arasında negatif yönlü, çevresel duyarlılık ile risk algısı arasında ise pozitif yönlü ve istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki ($\chi^2 \rightarrow K$: -0.111, $p < 0.05$; $\chi^2 \rightarrow R$: 0.217, $p < 0.01$) bulunmuş ve ilgili hipotezler desteklenmiştir. Üniversite öğrencilerinin çevresel duyarlılığı arttıkça hidroelektrik santralleri kabul düzeyleri azalacaktır. Ayrıca öğrencilerin çevresel duyarlılığı arttıkça risk algıları da artacaktır.

Araştırma bulguları dikkate alındığında; hidroelektrik santrallerin inşası sürecinde bölge sakinlerinin yaşam alanlarına, ekolojik dengeye, deniz canlılarına, tarihi ve kültürel varlıklara zarar verilmeden gerekli önlemlerin alınması, bölgede yaşayan halkın sosyal kabulünü arttıracaktır. Ayrıca ilgili kurum ve kuruluşların santrallerin yapımı aşamasında bölgede yaşayan insanları doğru bir şekilde bilgilendirmesi güven algısını artıracak ve bu durum dolaylı olarak santrallerin kabulünü de arttıracaktır.

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.

Çalışmada kullanılan anketin katılımcılara uygulanabilmesi için; Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Yayın Etik Kurulu Başkanlığının 2022/10-01 kararı ile etik kurul izni alınmıştır.

Kaynakça

- [1] Erdem, K.O.Ç., Kadir, K. 2015. Enerji Kaynakları-Yenilenebilir Enerji Durumu. Mühendis ve Makine, 56(668), 36-47.
- [2] <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-hidrolik> (Erişim Tarihi: 03.04.2023)
- [3] Üçüncü, O., Demirel, Ö. 2020. HES projelerinin olumsuz çevresel etkileri üzerinde alınacak önlemler ve koruma eylemleri; Kılıçlı regülatörü ve HES projesi örneği. Türkiye Peyzaj Araştırmaları Dergisi, 3(1), 31-39.
- [4] Mayeda, A. M., Boyd, A. D. 2020. Factors influencing public perceptions of hydropower projects: A systematic literature review. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 121, 109713.

- [5] Jang, Y., Park, E. 2020. Social acceptance of nuclear power plants in Korea: The role of public perceptions following the Fukushima accident. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 128, 109894.
- [6] Bronfman, N.C., Jimenez, R.B., Arevalo, P.C., Cifuentes, L.A. 2012. Understanding social acceptance of electricity generation sources. Energy policy, 46, 246-252.
- [7] Xiao, O., Liu, H., Feldman, M.W. 2017. How does trust affect acceptance of a nuclear power plant (NPP): A survey among people living with Qinshan NPP in China. PloS One, 12(11), e0187941.
- [8] Alzahrani, S.M., Alwafi, A.M., Alshehri, S.M. 2023. A framework of examining the factors affecting public acceptance of nuclear power plant: Case study in Saudi Arabia. Nuclear Engineering and Technology. 55(3), 908-918.
- [9] Wang, Y., Gu, J., Wu, J. 2020. Explaining local residents acceptance of rebuilding nuclear power plants: The roles of perceived general benefit and perceived local benefit. Energy Policy, 140, 111410.
- [10] Zhu, W., Lu, S., Huang, Z., Zeng, J., Wei, J. 2020. Study on public acceptance of nuclear power plants: Evidence from China. Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal, 26(4), 873-889.
- [11] Liu, F., Lyu, T., Pan, L., Wang, F. 2017. Influencing factors of public support for modern coal-fired power plant projects: An empirical study from China. Energy Policy, 105, 398-406.
- [12] Mah, D.N.Y., Hills, P., Tao, J. 2014. Risk perceptions, trust and public engagement in nuclear decision-making in Hong Kong. Energy Policy. 73, 368-390.
- [13] Tanaka, Y. 2004. Major psychological factors determining public acceptance of the siting of the nuclear facilities. Journal of Applied Social Psychology. 34(6), 1147-1165.
- [14] Yıldız, A., Arı, E. 2019. An Investigation on The Social Acceptance of Nuclear Energy: A Case Study on University Students. İzmir Journal of Economics. 34(2), 191-211.
- [15] Kimura, H., Suzuki, A. 2003. Exploring research of factors affecting public acceptance of nuclear Energy. Result of a survey at Sugunami ward, Tokyo. Nippon Genshiryoku Gakkai Wabun Ronbunshi, 2(1), 68-75.
- [16] Wold, H. 1974. Causal flows with latent variables: partings of the ways in the light of NIPALS modelling. European economic review, 5(1), 67-86.

- [17] Wold, H. 1980. Model construction and evaluation when theoretical knowledge is scarce: Theory and application of partial least squares. In *Evaluation of econometric models*, Academic Press. 47-74.
- [18] Wold, H. (1982). "Soft modelling: the basic design and some extensions", in Joreskog, K.G. and Wold, H. (Eds), *Systems Under Indirect Observations: Part II*, North-Holland, Amsterdam. 36-37
- [19] Fornell, C., Bookstein, F.L. 1982. Two structural equation models: LISREL and PLS applied to consumer exit-voice theory. *Journal of Marketing research*, 19(4), 440-452.
- [20] Schneeweiss, H. 1991. Models with latent variables: LISREL versus PLS. *Statistica Neerlandica*, 45(2), 145-157.
- [21] Vinzi, V.E., Trinchera, L., Amato, S. 2010. PLS path modelling: from foundations to recent developments and open issues for model assesment and improvement. *Handbook of partial least squares; Concepts, methods and applications*, 47-82.
- [22] Wang, Y., Li, J. 2016. A causal model explaining Chinese university students' acceptance of nuclear power. *Progress in Nuclear Energy*, 88, 165-174.
- [23] Lopez-Navarro, M.A., Llorens-Monzonis, J., Tortosa-Edo, V. 2013. The effect of Social trust on citizens' health risk perception in the context of a petrochemical industrial complex. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 10(1), 399-416.
- [24] Visschers, V.H., Keller, C., Siegrist, M. 2011. Climate change benefits and Energy supply benefits as determinants of acceptance of nuclear power stations: Investigating an explanatory model. *Energy policy*. 39(6), 3621-3629.
- [25] Bronfman, N.C., Vazquez, E.L., Dorantes, G. 2009. An empiricial study for the direct and indirect links between trust in regulatory institutions and acceptability of hazards. *Safety Science*. 47(5), 686-692.
- [26] Siegrist, M. 1999. A causal model explaining the perception and acceptance of gene technology. *Journal of Applied Social Psychology*, 29, 2093-2106.
- [27] Siegrist, M. 2000. The influence of trust and perceptions of risks and benefits on the acceptance of gene technology. *Risk Analysis*, 20, 195-203.
- [28] Siegrist, M., Cousin, M.E., Kastenholz, H., Wiek, A. 2007. Public acceptance of nanotechnology foods and food packagin: the influence of effect and trust. *Appetite*, 49, 459-466.
- [29] Champion, V.L., Skinner, C.S. 2008. The health belief model. *Health behavior and health education: theory, research and practice*, (4), 189-193.
- [30] Finucane, M.L., Alhakami, A., Slovic, P., Johnson, S.M. 2000. The affect heuristic in judgments of risks and benefits. *Journal of Behavioral Decision Making*, 13, 1-17.
- [31] Frewer, L.J., Howard, C., Shepherd, R. 1998. Understanding public attitudes to technology. *Journal of Risk Research*, 1, 221-235.
- [32] Wallquist, L., Visschers, V.H.M., Siegrist, M. 2010. Impact of knowledge and misconceptions on benefit and risk perception of CSS. *Environmental Science & Technology*, 44, 6557-6562.
- [33] Hammami, S.M., Triki, A. 2016. Identifying the determinants of community acceptance of renewable energy technologies: The case study of a wind Energy Project from Tunisia. *Renewable and Sustainable Reviews*, 54, 151-160.
- [34] Ricci, M., Bellaby, P., Flynn, R. 2008. What do we know about public perceptions and acceptance of hydrogen? A critical Review and new case study evidence. *International Journal of Hydrogen Energy*, 33(21), 5868-5880.
- [35] Tarigan, A.K., Bayer, S.B., Langhelle, O., Thesen, G. 2012. Estimating determinants of public acceptance of hydrogen vehicles and refuelling stations in greater Stavanger. *International Journal of Hydrogen Energy*, 37(7), 6063-6073.
- [36] Rijnsoever, F.J., Farla, J.C. 2014. Identifying and explaining public preferences for the attributes of energy technologies. *Renewable and Sustainable Energy reviews*, 31, 71-82.
- [37] Sherry-Brennan, F., Devine-Wright, H., Devine-Wright, P. 2010. Public understanding of hydrogen energy: a theoretical approach. *Energy Policy*, 38(10), 5311-5319.
- [38] Fornell, C., Larcker, D.F. 1981. Evaluating structural equation models with unobservable variables and measurement error. *Journal of Marketing Research*, 18(1), 39-50.
- [39] Hair, J.F., Tatham, R.L., Anderson, R.E., Black, W. 1998. *Multivariate data analysis with readings, and 5th Edn.* Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.
- [40] Henseler, J., Ringle, C.M., Sarstedt, M. 2015. A new criterion for assessing discriminant validity in varience-based structural equation modelling. *Journal of the Academy of Marketing Science*, 43, 115-135.

An Investigation On the Use Of Geopolymer As An Alternative Adhesive For Aluminum Panels

Cengiz BAGCI^{*1}, Kardelen GUMUSLUOGLU¹, Semih KARAHAN¹

¹ Hitit University, Faculty of Engineering, Department of Metallurgical and Materials Engineering, Hitit University, 19030, Corum, Turkey

(Alınış / Received: 15.05.2023, Kabul / Accepted: 10.11.2023, Online Yayınlanma / Published Online: 25.12.2023)

Keywords

Geopolymer,
Adhesive,
Aluminum panels

Abstract: One of the improving application areas of geopolymers is their using as an alternative assembly of different materials. This study presents the results of an experimental study on making aluminum panels by using geopolymer as an alternative adhesive to replace typical organic polymers. We prepared a metakaolin-based geopolymer having a composition of $\text{Na}_2\text{O}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 4\text{SiO}_2\cdot 11\text{H}_2\text{O}$. Aluminum alloys (Al 3003), 7 and 15 mm in high and (Al 5005) were used as core and plate materials of the panels, respectively and their surface was cleaned for adhesion bonding according to ASTM D 2651-01. Shear test samples were cut and then geopolymer resin was applied to the cleaned surface of aluminum core and plate by hand. Following hydrothermal sealing, the samples were then cured at 50 °C in an open-air furnace for 36 h under clamp fixed. Aluminum-geopolymer interface and geopolymer bond were examined by SEM-EDS in terms of chemical composition. Ambient temperature mechanical test results revealed that the aluminum-geopolymer bonds have mean shear strength of (1.406 ± 1.01 MPa) and (0.133 ± 0.07 MPa) for 7 and 15 mm samples, respectively.

Geopolimerin Alüminyum Panellere Alternatif Yapıştırıcı Olarak Kullanımı Üzerine Bir Araştırma

Anahtar Kelimeler

Jeopolimer,
Yapıştırıcı,
Alüminyum paneller

Öz: Jeopolimerlerin gelişen uygulama alanlarından biri de farklı malzemelerin birleştirilmesinde alternatif olarak kullanılmasıdır. Bu çalışma, tipik organik polimerlerin yerini alacak alternatif bir yapıştırıcı olarak jeopolimer kullanarak alüminyum paneller yapmaya yönelik deneysel bir çalışmanın sonuçlarını sunmaktadır. $\text{Na}_2\text{O}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 4\text{SiO}_2\cdot 11\text{H}_2\text{O}$ bileşimine sahip metakaolin bazlı bir jeopolimer hazırladık. Panellerin çekirdek ve plaka malzemesi olarak sırasıyla 7 ve 15 mm yüksekliğinde alüminyum alaşımları (Al 3003), (Al 5005) kullanılmış ve yüzeyleri ASTM D 2651-01'e göre yapışma için temizlenmiştir. Kayma testi numuneleri kesilmiş ve daha sonra alüminyum çekirdeğin ve levhanın temizlenmiş yüzeyine elle jeopolimer reçine uygulanmıştır. Hidrotermal sızdırmazlığın ardından, numuneler daha sonra 50 °C'de bir açık hava fırınında 36 saat süreyle kelepçe altında kürlendi. Alüminyum-geopolimer arayüzü ve jeopolimer bağı SEM-EDS ile kimyasal bileşim açısından incelenmiştir. Oda sıcaklığındaki mekanik test sonuçları, alüminyum-jeopolimer bağlantılarının 7 ve 15 mm'lik numuneler için sırasıyla (1.406 ± 1.01 MPa) ve (0.133 ± 0.07 MPa) ortalama kayma direncine sahip olduğunu ortaya koydu.

1. Introduction

Geopolymers (GPs) are a class of inorganic polymeric, new ceramic-like X-ray amorphous materials composed of cross-linked alumina (AlO_4^-) and silica

(SiO_4) tetrahedra to form polysialates, with a charge balancing cation (Na^+ , K^+ , Cs^+ , etc.). The term geopolymer, also known as an alkali-activated aluminosilicate, was coined by Joseph Davidovits in the 1970s [1]. Their processing includes dissolution

*Corresponding author: cengizbagci@gmail.com

and polycondensation of any natural or industrial silicoaluminate sources in the presence of caustic alkali solutions, and subsequently a network form at room temperature. Along with these, geopolymers have been investigated for years as an alternative binder to cement, especially due to their less carbon footprint production and thus contributions to the circular economy [2]. By controlling the initial composition, a wide variety of properties and characteristics can be gained for GPs and they find a lot of applications area such as refractory applications, as precursors to high technology ceramics [3-5], coating and adhesive [6, 7]. In particular ceramic-like characteristics, including high-temperature resistance, make geopolymers interesting for fire resistant coating applications [8, 9]. Even if the adhesion strength is low, they were first used as coating material in aircraft cabin where even a few minutes are crucial, following it has been reported that they can be a promising coating material on metal [10-12] or concrete [13] for similar aim such as automobiles, naval structures and builds [14,15]. These studies have encouraged the use of geopolymers for bonding different materials such as metal or polymer. Bell et al. [16] reported < 1 MPa shear strength in steel in their study of joining special steel and aluminum alloys, alumina and borosilicate glasses with geopolymer. Considering that the bonding material and its surface preparation, including alkali choice as well, affects the bond properties, this study is quite limited and further studies would be made by applying GPs to joints of different metal alloys in different alkaline conditions [17].

Panel structures are a method for consolidating light metal alloys such as aluminum and have begun to appeal to a wide range of uses. In applications (space shuttles, aircraft, boats, and construction industry) that required maximum rigidity and strength with minimum weight, the sandwich panels are the most promising materials [18-20]. They are application areas that require high mechanical strength in which the energy resulting from impact is absorbed. A core is placed between the plates to obtain additional lightweight structures. Polymer-bismaleimide and epoxy are used as adhesive for bonding between the plate and the core [21-23]. However, these adhesives have low operating temperatures; bismaleimide 260 °C, epoxy 180 °C, vinyl phenolic 130 °C, and their densities are 1.75g/cm³, 1.47g/cm³, 1.28 g/cm³, respectively. GPs itself are inorganic polymers and of relatively lower density (1.4 g/cm³) and in particular much higher fire resistance even around 1200 °C than the other organic polymers [24, 25]

This study aims to investigate the use of GPs as an alternative adhesive to the above organic polymers for the preparation of aluminum panels. In addition, the application of geopolymers, which can be produced from a waste aluminosilicate source at room

temperature, in an alternative field would also contribute to a sustainable approach [26]. Hot pressing, vacuum bag and suitable mold methods are utilized to make aluminum panels [27]. Hot pressing is the heating of pre-impregnated resin plates and joining them with adhesive. Vacuum bag production is the assembly of complex-shaped parts, usually heated in the oven, by applying negative pressure. Production in a suitable mold is the joining of heated equipment by curing in an oven under mechanical pressure, with the possibility of temperature and pressure control. As indicated above organics require a high-temperature process sometimes multi-step, GPs, however, need only be cured once at relatively low temperatures (50 °C) to complete their curing process [16]. As for mechanical characterization, shear tests are of critical importance in determining the adequate mechanical strength of joints using cemented or geopolymer adhesive [28, 29]. Room temperature shear strength and the microstructure of plate-core interfaces were made to characterize the GP-bonded aluminum panels.

2. Material and Method

Aluminum alloys (Al 3003), 7 and 15 mm in high and (Al 5005) were used as core and plate materials of composite panels, respectively. Sulfuric acid (Sigma-Aldrich) and sodium dichromate (Sigma-Aldrich) were used in the surface cleaning solution of these alloys. Metakaolin (Al₂O₃•2SiO₂) obtained by 6 h calcination of kaolin from Eti Maden, Turkey, at 900 °C and fumed silica, with an average particle size of 0.007 μm (Sigma-Aldrich) and NaOH pellets (Sigma-Aldrich) was used for geopolymer binder preparation.

The shear test specimens were cut from the aluminum sheet and the cell in the size of 80x50x15 mm and 80x50x7 mm and their surface was cleaned for adhesion bonding according to ASTM D 2651-01 [30]. The cleaning protocol for aluminum surfaces is shown in Table 1. Sulfuric Acid-Sodium Dichromate solution was applied to the surfaces in the following order. Aluminum surfaces were washed with acetone to remove oil and grease residues from the surface. The cleaned surface plates were immersed in the Sulfuric Acid-Sodium Dichromate solution given in Table 1 at 66-71°C for 12-15 minutes. Then, immersion was carried out for 1-2 minutes at 40 °C in tap water and 30 minutes in pure water at 60 °C. While preparing the solution, the components were first poured with 60 % of one liter of water and mixed, and then the remaining water was added.

Table 1. The cleaning protocol for aluminum surfaces

| Constituents | Amounts in 1 liter water (g) |
|-------------------|------------------------------|
| Sulfuric Acid | 287.9-310 |
| Sodium Dichromate | 28-67.3 |
| Aluminum Alloy | 1.5 |

As for geopolymer binder preparation, a sodium silicate solution (water glass) with a composition of $(\text{NaOH} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 11\text{H}_2\text{O})$ was first made by dissolving the required amount of NaOH pellets and then fumed silica in deionized water. The solution was magnetically stirred overnight to ensure that the silicon had completely dissolved. Following metakaolin was mechanically mixed with the sodium silicate solution to obtain the resulting geopolymer binder with a composition of $(\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot 11\text{H}_2\text{O})$. Subsequently, the homogenous geopolymer slurry was applied to the prepared aluminum surface by hand and cured at 50 °C in an open-air oven for 36 h under clamp-fixed and sealing conditions.

Surfaces of starting aluminum were examined with an optical microscope (Nikon ECLIPSE LV150N) and the interface properties of assembled panels were characterized by a scanning electron microscope (SEM) equipped with energy dispersive spectroscopy (EDS) analysis (Quanta, 450). The shear strength of the samples was made by Shimadzu mechanical testing machine using a 100 kN load cell at 0.5 mm/min. Five specimens were tested for each average value and their results were given with standard deviation calculations.

3. Results

The surface treatment and preparation methods required for adhesive bonds depend on the specific nature of each material. The preparation of the aluminum plate surfaces used in this study is a crucial factor affecting the bonding capability of the panels as well. Sulfuric acid-sodium dichromate solution was chosen as an effective, controllable and safe method for surface preparation of the aluminum alloys. In Figure 1, optical images of the aluminum plate before and after surface preparation are given. Unlike starting surface in Figure 1a, Figure 1b clearly shows a cleaned surface that was free of layers without oxide, paint, chemical residues, oil, etc., which will affect the full contact between the adhesive and the surfaces. If these layers, called "Weak Boundary Layers", are not cleaned sufficiently, a homogeneous bonding will not occur. The method is based on the dissolution of the initial oxide layers on the surface and the formation of a new thin oxide layer as a result of etching with the prepared solution. This new layer is thin, reticulated, porous and has ridges, which is sufficient to provide mechanical interlocking between the adhesive and the oxide surface [31, 32].

Figure 2 shows the SEM images of the polished surface and XRD spectra of the adhesive collected from the joint after 36 hours of drying at 50 °C. A homogeneous geopolymerization was observed in the microstructure in general from the SEM images of the adhesive in Figure 2a. However, the drying cracked nature of geopolymers originated from the dehydration,

carbonaceous compounds formed because of the reaction of carbon dioxide in the atmosphere with free Na on the surface of the adhesive and some agglomerated regions came from unreacted solid aluminosilicates (metakaolin) [33, 34]. These are inevitable and there is no method developed so far to overcome these issues [35].

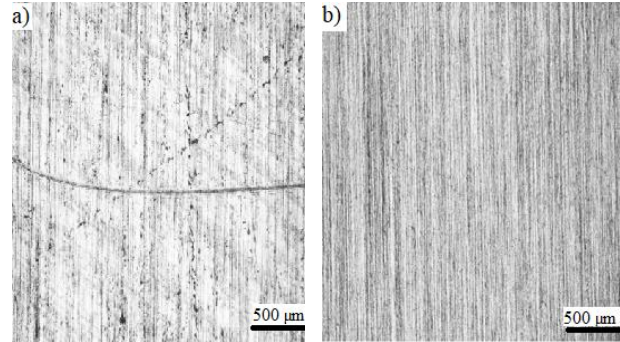


Figure 1. Optical micrographs of aluminum panels; a) starting and b) cleaned surfaces.

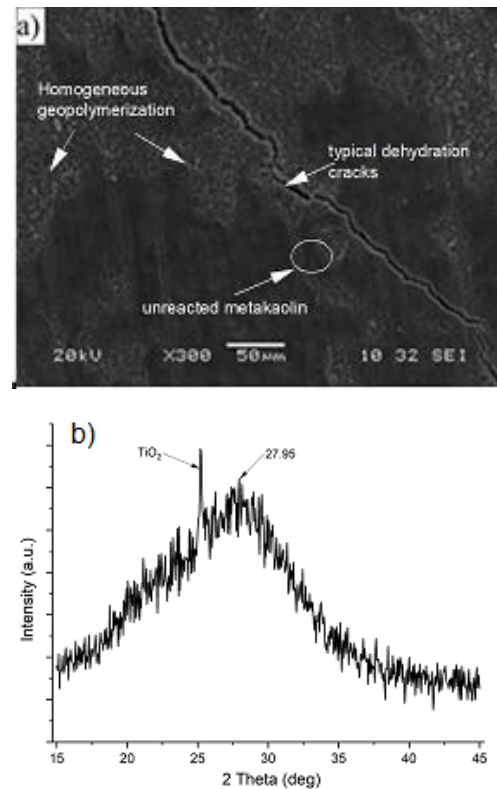


Figure 2. a) SEM image of the polished surface and b) XRD spectra of the adhesive collected from the joint after 36 hours of drying at 50 °C.

This broad 2θ peak around 28° in Figure 2b indicates that the desired geopolymerization has occurred in the adhesive with typical TiO_2 traces on the broad hump [3]. Related to a little amount of metakaolin, which has a peak 2θ peak around 22° seen on the SEM micrograph, no peak detected belongs to metakaolin on XRD. A simplified methodology for the geopolymerization is the dissolution of metakaolin, and this causes to alumina and silicate types to

emerge, poly-condensation and precipitation to form an inorganic, polymeric network [36].

The SEM micrographs of the assembled aluminum panel are shown in Figure 3. It is hard to clearly distinguish the aluminum-geopolymer interface since they have very close atomic number contrasts. But it is well known that geopolymer itself includes a porous structure ranging from micro to nano size [37].

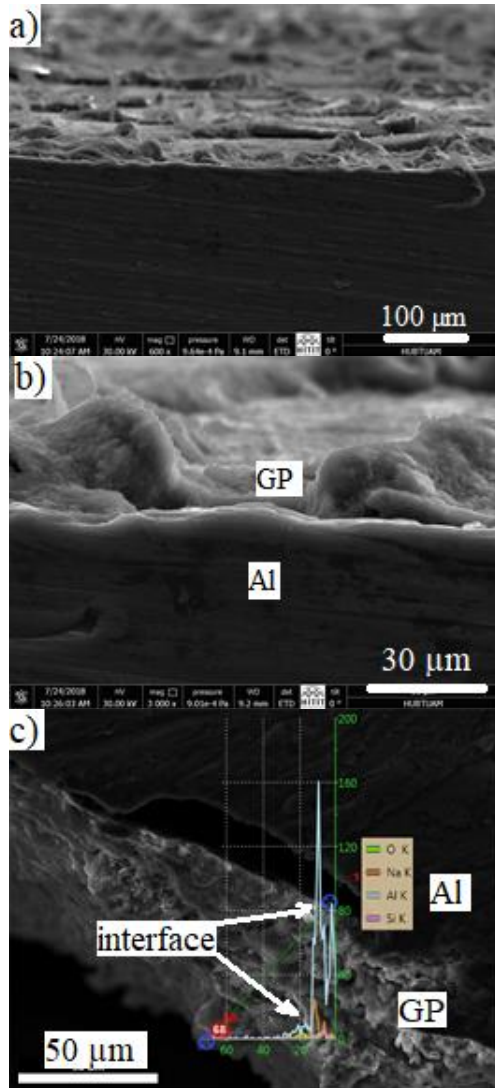


Figure 3. SEM micrographs of the aluminum panel assembled with geopolymer; a) general b) high magnification and c) aluminum-geopolymer interface through line scan.

And also with the help of the general image in Figure 3a geopolymer side and aluminum side were labeled on high magnification image in Figure 3b. Subsequently a line scan EDS analysis was made from the Al side to the GP side to catch the interface chemistry exactly and shown in Figure 3c. The aluminum side was stressed with high-intensity Al peak and the weak Na, Al, Si, O peaks ascribed to the geopolymer side. Following the intense peak of aluminum, diffusion of Si and O peaks, mainly Na, which is the geopolymer component, is observed in a line of 10 microns from approximately 10th microns

to 20th microns. Even in this limited distance, it means that diffusion takes place between the aluminum and the geopolymer and the interface is formed. This situation can be explained that the geopolymer thinks that the Al is part of the recipe and may incorporate it to form a geopolymer, leaving porosity at the interface.

Figure 4 shows photographs of shear strength measurements during and after the test. To make more accurate measurements, a more axial pulling force is applied to the bond with the silicon block placed on the plates in Figure 4a. After the shear test, the panel material components have undergone different types of deformations during the test period. In particular, the high distortions that occur in the direction of shear in the core aluminum (Al 3003) material can be taken as evidence of the presence of adhesion at the interface in Figure 4b. Geopolymer was well adhesive on the plate surface and the core material has a smaller surface area than the cover material, but this has contributed to its adhesion by being embedded in the geopolymer paste.

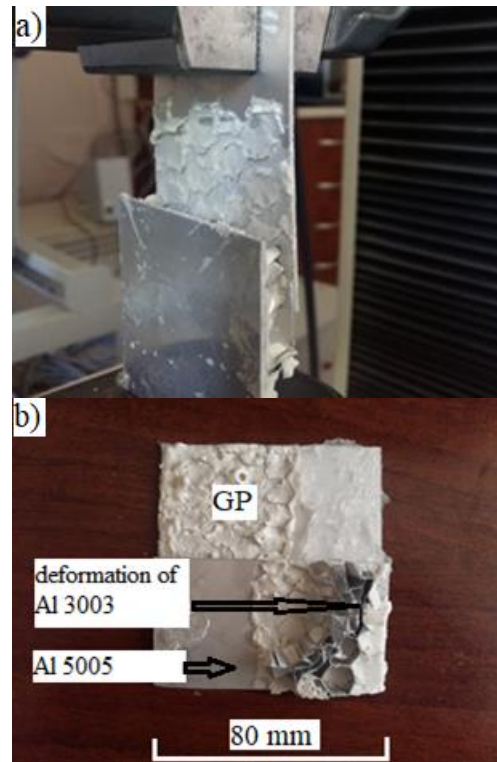


Figure 4. Photographs of shear strength measurement; a) during the test, b) deformation on the core aluminum after the test.

Ambient temperature mechanical test results revealed that the aluminum-geopolymer bond has mean shear strength of $(1.406 \pm 1.01 \text{ MPa})$ and $(0.133 \pm 0.07 \text{ MPa})$ for 7 and 15 mm samples, respectively. In a study on bonding 6061-T6 Al with geopolymer, the shear strength of the joint was reported as $< 1 \text{ MPa}$ [16]. In another study, the shear stresses of the joints obtained by adhering the geopolymers prepared by using different activators from different aluminosilicate sources to the concrete substrate were investigated

and the shear strength was measured approximately starting from 2 MPa, depending on the starting precursors [38]. Consistent with comments done on the interface images in Figure 3, when the geopolymer slurry was applied to the treated aluminum surface, a remarkable reaction took place and a highly porous interface occurred because aluminum is one of the constituents of geopolymer. Although an interface is formed between the aluminum-geopolymer in a short time with a rapid reaction, the mechanical properties are limited due to the porous nature of the interface formed. Nevertheless, the results of the shear test are comparable to previous studies.

4. Discussion and Conclusion

Geopolymers having a composition of $\text{Na}_2\text{O}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 4\text{SiO}_2\cdot 11\text{H}_2\text{O}$ were applied between aluminum alloys (Al 3003) and (Al 5005) to make composite panels. Their surfaces were successfully cleaned for sufficient adhesion bonding according to related standards. SEM-EDS results showed that an interface had occurred about 10 μm in length. Ambient temperature mechanical test results revealed that the aluminum-geopolymer bond had mean shear strength of $(1.406\pm 1.01\text{ MPa})$ and $(0.133\pm 0.07\text{ MPa})$ for 7 and 15 mm samples, respectively. Although comparable results have been obtained with previous studies, geopolymer coating can be suggested to apply on aluminum, especially in terms of fire, where mechanical strength is of secondary importance.

Acknowledgment

This study was carried out of the Department of Metallurgical and Materials Engineering, Hitit University.

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] Davidovits, J. 1991. Geopolymers-Inorganic Polymeric New Materials. Journal of Thermal Analysis and calorimetry, 37, 1633-1656.
- [2] Davidovits, J. 1994. Global Warming Impact on the Cement and Aggregates Industries. World Resource Review, 6(2), 263-278.
- [3] Bagci, C., Kutyla, G. P., Kriven, W. M. 2014. In Situ Carbothermal Reduction/Nitridation of Geopolymer Composites Containing Carbon Nanoparticles. Ceramic Engineering and Science Proceedings, 38(10), 15-28.
- [4] Bagci, C., Kutyla, G. P., Seymour, K. C., Kriven, W. M. 2016. Synthesis and Characterization of Silicon Carbide Powders Converted from Metakaolin-Based Geopolymers. Journal of the American Ceramic Society, 99(7), 2521-2530.
- [5] Bagci, C., Yang, Q., Kriven, W. M. 2019. Formation of $\alpha/\beta\text{-Si}_3\text{N}_4$ Nanoparticles by Carbothermal Reduction and Nitridation of Geopolymers. Journal of the American Ceramic Society, 102, 6542-6551.
- [6] Altidis, J. D., Barros, S. R., Souza, J. D. R. B., Torres, S. M., Lima, S. J. G. 2012. Adhesion Tests in Quasicrystal Powders Reinforced Geopolymer Composites. Materials Science From, 727-728, 186-189.
- [7] Latella, B. A., Perera, D. S., Escott, T. R., Cassidy D. J. 2006. Adhesion of Glass to Steel Using a Geopolymer. Journal of Materials Science, 41, 1261-1264.
- [8] Temuujin, J., Minjigma, A., Rickard, W., Lee, M., Williams, I., Riessen, A. 2009. Preparation of Metakaolin Based Geopolymer Coatings on Metal Substrates as Thermal Barriers. Applied Clay Science, 46, 265-270.
- [9] Glad, B. E., Han, C., and Kriven, W. M. 2012. Polymer Adhesion to Geopolymer via Silane Coupling Agent Additives. Journal of the American Ceramic Society, 95(12), 3758-3762.
- [10] Yong, S. L., Feng, D. W., Lukey, G. C., van Deventer J. S. J. 2007. Chemical Characterization of the Steel-Geopolymeric Gel Interface. Colloids and Surfaces A Physicochemical and Engineering Aspects, 302, 411-423.
- [11] Mao, Y., Biasetto, L., Colombo, P. 2020. Metakaolin-Based Geopolymer Coatings on Metals by Airbrush Spray Deposition. Journal of Coatings Technology and Research, 17(4), 991-1002.
- [12] Gupta, R., Bhardwaj, P., Mishra, D., Sanghi, S. K., and Amritphale, S. S. 2021. Novel Non-Hydroxyl Synthesis and Fabrication of Advanced Hybrid Inorganic-organic Geopolymeric Coating Material for Corrosion Protection. International Journal of Adhesion and Adhesives, 110, 102951.
- [13] Krivenko, P. V., Guzii, S. G., Bodnarova, L., Valek, J., Hela, R., and Zach, J. 2016. Effect of Thickness of the Intumescent Alkali Aluminosilicate Coating on Temperature Distribution in Reinforced

- Concrete. *Journal of Building Engineering*, 8, 14-19.
- [14] Tian, Q., Wang, S., Sui, Y. and Lv, Z. 2021. Alkali-Activated Materials as Coatings Deposited on Various Substrates: A review. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 110, 102934.
- [15] Shahedan, N. F., Abdullah, M. M. A. B., Hussin, K., Sandu, I., Ghazali, C. M. R., Binhussain, M., and Sandu, Z. Y. A. V. 2014. Characterization and Design of Alkali Activated Binder for Coating Application. *Technology*, 5(3), 258-262.
- [16] Bell, J., Gordon, M., Kriven, W. M. 2005. Use of Geopolymeric Cements As a Refractory Adhesive for Metal and Ceramic Joints. *Ceramic Engineering and Science Proceedings*, 26 407-413.
- [17] Kriven, W. M. and Bell, J. L. 2014. Effect of Alkali Choice on Geopolymer Properties. In *Proceedings of the 28th International Conference on Advanced Ceramics and Composites*, 25, 99-104.
- [18] Movahedi, N., Linul, E. 2017. Quasi-Static Compressive Behavior of The Ex-Situ Aluminum-Alloy Foam-Filled Tubes under Elevated Temperature Conditions. *Materials Letters*, 206, 182-184.
- [19] Hangai, Y., Saito, K., Utsunomiya, T., Kuwazuru, O., Yoshikawa, N. 2014. Fabrication and Compression Properties of Functionally Graded Foam with Uniform Pore Structures Consisting of Dissimilar A1050 and A6061 Aluminum Alloys. *Materials Science and Engineering A*, 613, 163-170.
- [20] Yan, L. L., Han, B., Yu, B., Chen, C. Q., Zhang, Q. C., T. J. Lu. 2014. Three-Point Bending of Sandwich Beams with Aluminum Foam-Filled Corrugated Cores. *Materials and Design*, 60, 510-519.
- [21] Wang, D., Zhao, L., Yang, H., Li, H., Xiao, W., Liu, C. and Qu, C. 2022. High Temperature and Toughened Bismaleimide Structural Film Adhesive for High Performance CFRP Bonding over 300 °C. *Polymer Degradation and Stability*, 204, 110125.
- [22] Mohammed, S. M. K., Mhamdia, R., Albedah, A., Bouiadjra, B. A. B., Bouiadjra, B. B. and Benyahia, F. 2021. Fatigue Crack Growth in Aluminum Panels Repaired with Different Shapes of Single-Sided Composite Patches. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 105, 102781.
- [23] Younesi-Kordkheili, H. and Pizzi, A. 2019. Some of Physical and Mechanical Properties of Particleboard Panels Bonded with Phenol-lignin-Glyoxal Resin. *The Journal of Adhesion*, 96(16), 1385-1395.
- [24] Davidovits, J. G. 2008. "Geopolymer." *Chemistry and Applications*. Institute Geopolymere, Saint-Quentin, France.
- [25] Çomak, B. 2018. Engineering Characteristics of Geopolymer Mortars Manufactured with Ground Granulated Blast Furnace Slag. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 22(2), 470-476.
- [26] Karahancer, S., Eriskin, E., Capalı, B., Saltan, M., and Terzi, S. 2016. Investigation of Using Waste Welded Tuff Material as Mineral Filler in Asphalt Concrete. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 20(3), 399-404.
- [27] Xia, C., Yu, J., Shi, S. Q., Qiu, Y., Cai, L., Wu, H. F., Ren, H., Nie, X. and Zhang, H. 2017. Natural Fiber and Aluminum Sheet Hybrid Composites for High Electromagnetic Interference Shielding Performance. *Composites Part B: Engineering*, 114, 121-127.
- [28] Kömürlü, E., Cihangir, F., Turan, A., Kesimal, A., and Erçıkıdı, B. 2017. An Experimental Study on Shear Strength of Cemented Paste Backfill Materials. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 22(1), 45-52.
- [29] Liu, J., Su, X., and Yan, F. 2022. Experimental Investigation on the Effect of Geopolymer Adhesive on the Bond Behavior Between CFRP and Concretes. *Polymer Composites*, 43(5), 3259-3275.
- [30] ASTM D 2651-01, Standard Guide for Preparation of Metal Surface for Adhesive Bonding, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2018, www.astm.org.
- [31] Loctite Corporation. 1998. *Loctite Worldwide Design Handbook Second Edition*, on CD.
- [32] Pocius, A. V.; Dillard D. A. 2002. *Adhesion Science and Engineering II: Surfaces Chemistry and Applications*, Elsevier, New York.
- [33] Reed M., Lokuge, W., Karunasena, W. 2014. Fibre-Reinforced Geopolymer Concrete with Ambient Curing for In Situ Applications. *Journal of Materials Science*, 49, 4297-4304.
- [34] Kani, E. N., Allahverdi, A., Provis, J. L. 2012. Efflorescence Control in Geopolymer Binders Based on Natural Pozzolan. *Cement Concrete and Composites*, 34(1), 25-33.

- [35] Duxson, P., Provis, J. L. Lukey, G. C. Mallicoat, S. W., Kriven, W. M, van Deventer, J. S. J. 2005. Understanding the Relationship Between Geopolymer Composition, Microstructure and Mechanical Properties. *Colloid Surface A – Physicochemical and Engineering Aspects* 269 (1-3), 47-58.
- [36] Bagci, C., Kutyla, G. P. and Kriven, W. M. 2017. Fully Reacted High Strength Geopolymer Made With Diatomite As A Fumed Silica Alternative. *Ceramics International*, 43(17), 14784-14790.
- [37] Kriven, W. M. 2010. Inorganic Polysialates or “Geopolymers”. *American Ceramic Society Bulletin*, 89(4), 31-34.
- [38] Phoo-ngernkham, T., Maegawa, A., Mishima, N., Hatanaka, S. and Chindaprasirt, P. 2015. Effects of Sodium Hydroxide and Sodium Silicate Solutions on Compressive And Shear Bond Strengths of FA-GBFS Geopolymer. *Construction and Building Materials*, 91, 1-8.

Self-Driving and Merging Droplets on Wettability Gradient Surfaces: A Lattice Boltzmann Study

Mehmet Alptuğ BOYLU¹, Umut CEYHAN^{*2}

¹ Graduate School of Natural and Applied Sciences, İzmir Kâtip Çelebi University, 35620, İzmir, Türkiye

² Department of Mechanical Engineering, İzmir Kâtip Çelebi University, 35620, İzmir, Türkiye

(Alınış / Received: 29.05.2023, Kabul / Accepted: 14.09.2023, Online Yayınlanma / Published Online: 25.12.2023)

Keywords

Interfacial flow,
Contact line,
Wettability gradient,
Lattice Boltzmann method

Abstract: Self-transport and control of droplets play an essential role in the development of microfluidic devices, self-cleaning, water harvesting, and heat transfer enhancement. Droplet manipulation without an external force can be accomplished if a wetting gradient is structured on surfaces. The contact angle hysteresis generates a driving force toward the more wetting side. If this force is balanced by the viscous stresses near moving contact lines, droplets on such surfaces may attain constant translational speed determined by this balance. The D2Q9 lattice Boltzmann method is employed for the simulation of the self-driven droplets on wettability gradient surfaces. By varying the surface energy and fluid viscosities, the behavior of single droplets on surfaces, their merging mechanism, and equilibrium shapes and motions within confined channels are studied systematically. If the droplet moves in a more viscous fluid, the droplet's speed dependence on the wetting gradient is observed to weaken. For large aspect ratio channel flows, it is shown that two-dimensional prediction of the interface motion approaches the three-dimensional D3Q19 model computations.

İslanabilirlik Gradyan Yüzeylerinde Kendi Kendini Yürüten ve Birleştiren Damlacıklar: Bir Lattice Boltzmann Çalışması

Anahtar Kelimeler

Arayüzey akışı,
Temas hattı,
İslanabilirlik gradyanı,
Lattice Boltzmann metodu

Öz: Damlacıkların kendi kendine taşınması ve kontrolü, mikroakışkan cihazların geliştirilmesinde, kendi kendini temizlemede, su toplamada ve ısı transferini geliştirmede önemli bir rol oynar. Yüzeylerde bir ıslatma gradyanı yapılandırılmışsa, harici bir kuvvet olmadan damlacık manipülasyonu elde edilebilir. Temas açısı histerezisi, daha çok ıslanan tarafa doğru bir itici güç oluşturur. Bu kuvvet, hareketli temas hatlarının yakınındaki viskoz gerilimlerle dengelenirse, bu tür yüzeyler üzerindeki damlacıklar, bu denge tarafından belirlenen sabit öteleme hızına ulaşabilir. Bu çalışmada D2Q9 lattice Boltzmann yöntemi, ıslanabilirlik gradyan yüzeylerinde kendiliğinden hareket eden damlacıkların simülasyonu için kullanılmıştır. Yüzey enerjisi ve akışkan viskoziteleri değiştirilerek, tek damlacıkların yüzeyler üzerindeki davranışı, bunların birleştirme mekanizması ve sınırlandırılmış kanallar içindeki denge şekilleri ve hareketleri sistematik olarak incelenmiştir. Damlacık daha viskoz bir akışkan içinde hareket ederse, damlacık hızının ıslanma gradyanına bağlılığının zayıfladığı gözlemlenmiştir. Büyük görünüm oranlı kanal akışları için, arayüz hareketinin iki boyutlu tahmininin üç boyutlu D3Q19 modeli hesaplamalarına yaklaştığı gösterilmiştir.

1. Introduction

Self-transport and manipulation of droplets are essential for many applications like microfluidic devices [1] and lab-on-a-chip systems [2], biomedical

applications [3], heat transfer enhancement [4], self-cleaning [5], to name a few [6]. For example, in heat transfer on surfaces, manipulation of droplets by wetting gradients is promising to increase the efficiency of heat transfer. The occurrence of

* Corresponding author: umut.ceyhan@ikcu.edu.tr

condensation either as film-wise condensation or drop-wise condensation affects the mechanism of heat transfer. Because the continuous film creates a resistance for heat transfer, dropwise condensation is more effective. But in high rates of temperature differences, it cannot be possible to observe dropwise condensation [4,7].

The manipulation of the interfaces, however, is possible by playing with the wettability of the surfaces. This change in the surface wetting may provide self-propulsion (passive control) which is a preferred mechanism since it does not require external forcing (active control). The idea of changing the wettability of surfaces can be utilized to vary the droplet speed [8], the orientation by combining it with a liquid infusion or lubricant impregnation [9,10], the size [11], to control water droplet motion by varying the wall energy [12] or topography [13], etc.

When a liquid droplet is placed on a surface that is atomically smooth and chemically homogeneous, the contact angle between the liquid-vapor interface and the surface is unique. The existence of imperfections due to surface roughness and/or energy distribution, however, alters this uniqueness. The droplet may attain an equilibrium shape, pin (depin) to (from) structures, and move due to hysteresis [14]. For example, if the surface is more wetting (more prone to spreading out) at one end than at the other, the droplet tries to move towards the more wetting end. This happens because the liquid spreads more and makes a larger contact area with the solid substrate at the more wetting end, which can cause the droplet to be pulled towards that direction due to capillary forces [15,16]. In other words, the droplet moves from the low-surface energy side towards the high-surface energy side because the liquid particles are attracted more onto the high-surface energy substrates (more wetting) than the low-surface energy substrates (less wetting). The motion is also possible if a wedge like wettability patterning exist on the surfaces [17,18].

A gradient on the surface wettability generates a driving force. It is known that self-transport is faster for low-surface tension fluids like ethanol compared to water as it is more wetting [19,20] on a fixed substrate. But without altering the surface tension of the droplet, its shape or motion can be controlled by varying the surface energy of the surfaces [21]. Geometric gradients like the self-motion of droplets on conical surfaces are also possible (see, e.g., Ding et al. 2023 [22]). Assisted by both surface gradients and wetting gradients, a droplet may further be accelerated. Recently, Raj et al. 2023 [23] utilize wetting gradient for controlled water collection, Xie et al. 2023 [24] discuss switchable wettability patterns for the spontaneous and controlled motion of droplets and subaqueous bubbles, and Sung et al. 2023 [25] fabricate 3D printed wetting gradient surfaces to minimize splashing of water droplets.

The lattice Boltzmann method is one of the numerical methods to be able to integrate the governing equations controlling the motion of two-phase systems. In this paper, the lattice Boltzmann method is used for simulating the model problems because of the method's mobility for wetting problems. This mesoscopic numerical method is capable of solving a wide range of problems from simple fluids to complex chemical reactions and has lower computing cost due to its step-by-step solution (i.e., no requirement of matrix inversion), compared to traditional methods such as Finite Volume Method, Finite Element Method, Boundary Element Method, etc.

The purpose of this study is to consider only the gradient in the surface energy for droplet manipulation by using the Lattice Boltzmann Method and to propose how to use wetting gradients to manipulate such interfaces either as single or multiple droplets. The following is believed to be novelty of this study: (i) the mechanisms of self-motion for droplets on surfaces and confined between two surfaces are explained, (ii) the droplet can be moved to or merged at a desired location, (iii) the effect of the viscosity ratio on the motion for both single and merging droplets is also discussed, (iv) the plane model which is considered in this study can be used as a guide for three-dimensional interfaces, especially for confined droplets within large aspect ratio channels.

In the following sections, first the numerical method is introduced and various problems are analyzed for validation purposes. Then, the mechanisms of self-driven single or multiple droplets on and within chemically structured surfaces are discussed.

2. Material and Method

2.1. Numerical Method

Lattice Boltzmann method is a mesoscopic numerical integration method for fluid dynamics which comes from the discretization of the Boltzmann equation. It defines the behavior of a gas or liquid at this level by expressing the evolution of particle distribution functions on a lattice grid. These distribution functions describe the chances that particles travelling at particular velocity will be present at each lattice location. The method controls the temporal evolution of these distribution functions as a result of particle advection and collisions. The D2Q9 model is a specific lattice Boltzmann method that uses a two-dimensional lattice with nine discrete velocity vectors, and it provides a wide range of fluid flow simulations.

D2Q9 model is capable of capturing the thermodynamic variations, such as temperature and pressure, by introducing a free energy functional into the Boltzmann equation. This functional represents the total energy of the system, including both kinetic

and potential energy, and can be used to compute quantities such as the equation of state, heat capacity, and surface tension along the drop interface γ_{LV} [26].

To implement the free energy in the D2Q9 model, firstly, distribution functions are defined, which describe the probability of finding a particle with a particular velocity at a given point in space and time. These distribution functions are then evolved using the Boltzmann equation, which takes into account the collision of particles and their interactions with the surrounding fluid.

Binary fluid is modeled by a Landau free energy functional. The free energy density, ϕ , is introduced into the Boltzmann equation by adding a term that represents the change in free energy due to the collision of particles. The bulk free energy density $\phi(\phi)$ as function of fluid density ρ , order parameter (phase) ϕ , is given as [27]

$$\phi(\phi) = \frac{c^2}{3}\rho\ln\rho + a\left(-\frac{1}{2}\phi^2 + \frac{1}{4}\phi^4\right). \quad (1)$$

In equation (1), c is the lattice velocity parameter defined as $c = \frac{\Delta x}{\Delta t}$, a is constant affecting the surface tension and interface width. Equation (1) enables binary phase separation as $\phi = \pm 1$. The governing equations modeling the motion of fluid particles as continuity and Navier-Stokes are recovered with LBM by using Chapman-Enskog expansion [28]. In the continuum regime, the continuity (equation (2)) and linear momentum balances (equation (3)), in index notation, are

$$\partial_t \rho + \partial_k (\rho v_k) = 0, \quad (2)$$

$$\partial_t (\rho v_j) + \partial_k (\rho v_k v_j) = -\partial_k P_{kj} + \partial_k [\eta (\partial_j v_k + \partial_k v_j)] + \rho F_j, \quad (3)$$

where ρ is the fluid density, v is the fluid velocity, η is the dynamic viscosity of fluid, P_{kj} is the pressure tensor and F_j is the body force. In equations (2) and (3), j is free while the k is dummy indices, respectively. For two-dimensional problems $j, k=1,2$ and for three-dimensional problems $j, k=1,2,3$. In modeling two-phase flows (binary systems), two distribution functions are utilized as $f_i(\mathbf{r}, t)$ and $g_i(\mathbf{r}, t)$. Distribution function f recovers the physical properties and g recovers order parameters. Because of the D2Q9 model that is used, there exist nine directions with subscript i defining the directions varying from 1 to 9. The directions are given as [26]

$$\mathbf{e} = [0,0; 1,0; -1,0; 0,1; 0,-1; 1,1; -1,-1; -1,1; 1,-1]. \quad (4a)$$

For the three-dimensional models, however, D3Q19 model is used with nineteen directions which in its vector form is defined as [29]

$$\mathbf{e} = [0,0,0; 1,0,0; -1,0,0; 0,1,0; 0,-1,0; 0,0,1; 0,0,-1; 1,1,0; -1,1,0; 1,-1,0; -1,-1,0; 0,1,1; 0,-1,1; 0,1,-1; 0,-1,-1; 1,0,1; -1,0,1; 1,0,-1; -1,0,-1]. \quad (4b)$$

In this case, the subscript i for the distribution functions varies from 1 to 19. The vectors in equations (4a) and (4b) are the lattice velocity vectors for $c=1$.

Physical parameters can be found by using distribution functions as in equation (5) below.

$$\rho = \sum_i f_i, \phi = \sum_i g_i, \rho v = \sum_i f_i e_i \quad (5)$$

The distribution functions are evolved in time by collision and streaming steps. In equations (6) and (7), collision and streaming steps are shown in one equation.

$$f_i(\mathbf{r} + e_i \Delta t, t + \Delta t) = f_i(\mathbf{r}, t) - \mathbf{M}^{-1}[\mathbf{S}(\mathbf{M}[f_i - f_i^{eq}])] \quad (6)$$

$$g(\mathbf{r} + e_i \Delta t, t + \Delta t) = g_i(\mathbf{r}, t) - \frac{1}{\tau_\phi} [g_i - g_i^{eq}] \quad (7)$$

where τ_ϕ is relaxation parameter. Multiple-Relaxation Time (MRT) operator is used for the collision equation in (6) where the collision term $[f_i - f_i^{eq}]$ is multiplied with $\mathbf{M}^{-1}\mathbf{S}\mathbf{M}$. It gives more accurate results due to having more than two parameters as free and tunable parameters and possible choice for the matrices \mathbf{M} and \mathbf{S} , distribution functions f_i^{eq} and g_i^{eq} and details of the LBM implementation can be found in the study of Pooley et al. [30] and of Boylu [31].

To satisfy the no-slip boundary conditions on the walls, the mid-way bounce back technique is utilized and wetting boundary condition is provided by setting the wall normal gradient of the order parameter ϕ [26].

2.2. Validation

The problems that are interested in this study are affected greatly by the contact line dynamics. The contact angle between the liquid-vapor interface and the surface determines the statics and dynamics of the problem. To this end, the solver is validated for both static and dynamic problems.

The problem setup is shown in Figure 1. For single droplets, the bottom surface interacts with the droplet on which the surface energy is varied. The top surface is away from the droplet. For the confinement effect, the top surface touches the droplet interface. The left and right ends of the domain are treated as periodic. The number of lattices in both directions varies for different problems. The green color represents the droplet as fluid 1 and the blue color represents the

outside fluid as fluid 2. The number of lattices in x and y directions vary for different problems.

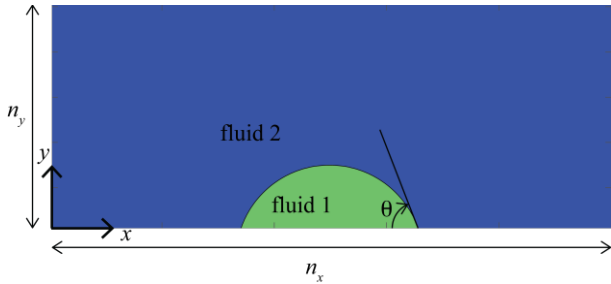


Figure 1. Problem domain, n_x and n_y are the number of lattices used along x and y directions, the contact angle θ may be unique or different at both contact lines

For droplets on surfaces with uniform surface energy, the computed angles and Laplace pressures are measured at the equilibrium state for several wettabilities. By setting the normal gradient of the phase field (order parameter) at the surface, it is possible to define the equilibrium contact angles. If there is deformation, the dynamic angles are determined as part of the solution which deviate from the equilibrium angle. The measured contact angles and shape of the droplets are shown in Figure 2.

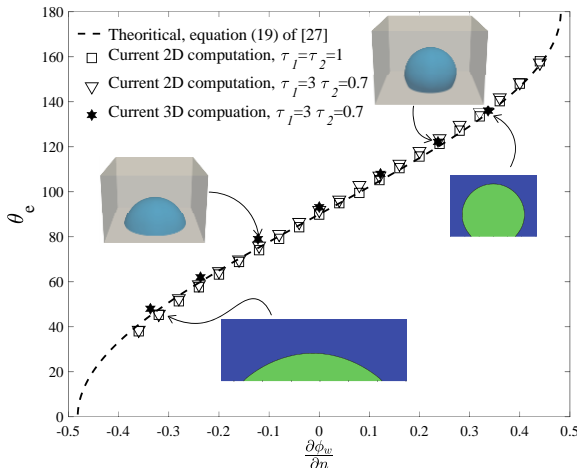


Figure 2. The variation of measured contact angles with respect to normal gradient of ϕ at the wall. The dashed line is theoretical relation [27], squares are for $\tau_1 = \tau_2 = 1$, lower triangles are for $\tau_1 = 3, \tau_2 = 0.7$. The insets show representative equilibrium profiles for partial wetting cases

The pressure difference across the interface at equilibrium is also measured and validated: Balancing forces normal to an interfacial element, the pressure difference in an out of a droplet is balanced by the resultant force per unit area due to uniform surface tension γ between droplet and exterior fluid. This uniform surface tension force in the normal direction is determined by $\gamma \nabla \cdot \mathbf{n}$ with \mathbf{n} being unit normal from droplet to outside fluid. The divergence of the unit normal for a spherical droplet of radius r is $2/r$. This shows that the pressure difference across such interface scales as $p_d - p_o \sim \gamma/r$ where p_d is the pressure inside the droplet, p_o is the outside pressure. The slope determines the surface tension.

Two different tau parameter pairs are used to validate different viscosity ratio fluids that is studied later. While τ_1 determines the kinematic viscosity of fluid 1, τ_2 determines the kinematic viscosity of fluid 2. The viscosity ratio, λ , is defined as the ratio of kinematic viscosity of fluid 1 to fluid 2. The use of MRT technique provides better predictions when the viscosity ratio of the two phases is different than unity. The theoretically computed relation between the wall-normal gradient of ϕ and the wetting angle agrees with the numerically computed angles. The dynamic motion of interfaces within capillary channels is also compared [30]. The details about contact angle tuning and dynamic validations can be found in Boylu [31].

3. Results

3.1. Motion of droplets on wettability gradient surfaces

Small droplets for which the gravitational forces are negligible are considered and, in this section, their motion driven by surface energy gradients is studied. To be able to explain the source of this driving mechanism, first, the equilibrium contact angles of droplets on surfaces which do not provide motion are defined. The simplest of such cases is substrates with uniform surface energy around the contact line in equilibrium. This does not require the surface energy to be uniform everywhere if there is pinning at a physical roughness. For clean surfaces, the contact angle is defined by the Young value. The contact angles at the left and right of the center of mass of a droplet are defined as

$$\cos(\theta_e^l) = \frac{\gamma_{SV}^l - \gamma_{SL}^l}{\gamma}, \quad \cos(\theta_e^r) = \frac{\gamma_{SV}^r - \gamma_{SL}^r}{\gamma}, \quad (8)$$

where γ_{SV} is the surface tension at the solid-vapor interface and γ_{SL} is the surface tension at the solid-liquid interface.

The results presented are all in lattice units in this and following subsections. The domain length is set to $n_x = 500$ and height to $n_y = 50$. The motion is initialized by placing the droplet of radius 30 lattice units at $x = 50$ as a semi-circle by using a linear wettability gradient reducing from θ_e^{left} to θ_e^{right} . When the surface energy of the surface at which the droplet contacts is non-uniform, the contact angles at the two triple junctions are different. If there were any equilibrium state, the angles would be equilibrium angles that can be called as θ_e^l and θ_e^r (as defined in equation (8)). The wetting gradient and inequality of the contact angles initiate the motion of the droplet. Due to hysteresis, it is known that the dynamic angle would be less than the equilibrium angle if the contact line recedes; it would be more if the contact line advances. For a negative wetting gradient surface, the left contact line tries to attain a larger contact angle

compared to the right contact line. When the left contact line recedes, because the contact angle is smaller than the equilibrium angle, the following inequality holds:

$$\gamma_{SV}^l - \gamma_{SL}^l > \gamma \cos(\theta_e^l). \quad (9)$$

When the right contact line advances, on the other hand, as the advancing contact angle is greater than the equilibrium one there, the corresponding inequality becomes

$$\gamma_{SV}^r - \gamma_{SL}^r > \gamma \cos(\theta_e^r). \quad (10)$$

Summation of the surface tension forces at the two contact lines, then, requires

$$\gamma_{SV}^r - \gamma_{SL}^r - (\gamma_{SV}^l - \gamma_{SL}^l) > \gamma [\cos(\theta_e^r) - \cos(\theta_e^l)] > 0 \quad (11)$$

for $\theta_e^{left} > \theta_e^{right}$, as is the case for negative wetting gradient surface. This generates a net force in positive x -direction which moves the droplet toward the right. One could also design a surface with a positive wetting gradient and this would drive the motion toward the left. In other words, the difference in the contact angles results in a Laplace pressure gradient along the interface, this pressure difference drives the motion.

It is also possible to obtain a scaling law for the droplet speed. When the droplet reaches a terminal speed, ϑ_d , the driving force due to wetting gradient and the viscous forces computed at the base of the droplet are in balance. The spreading coefficient S is defined as

$$S = \gamma_{SV} - \gamma_{SL} - \gamma. \quad (12)$$

When $S < 0$, the fluid termed as partial wetting and equation (12) can also be defined in terms of the Young value as

$$S = \gamma(\cos \theta_e - 1). \quad (13)$$

For slender droplets, the speed of the droplet on small wetting gradients, with the use of (13), scales as

$$\vartheta_d \sim \frac{h_c}{\eta} \frac{dS}{dx} = \frac{h_c \gamma}{\eta} \frac{d \cos \theta_e}{dx} \approx \frac{h_c \gamma}{\eta} \theta_e \frac{d\theta_e}{dx} \quad (14)$$

where h_c is the height and η is the dynamic viscosity of the droplet, respectively. The driving force explained above is balanced by the viscous stress mostly near the moving contact lines. In the small slope regime, the viscous stress can be computed with lubrication theory with no-shear stress condition at the droplet interface and this balance determines the moving speed [32]. For a droplet moving with constant speed ϑ_d , it scales linearly with $\frac{d\theta_e}{dx}$ for fixed h_0 corresponding to the equilibrium angle $\theta_e(x_c)$ measured at x_c (middle of droplet).

In Figure 3, the droplet speed variation with wetting gradient is shown (measured in degrees per unit lattice length) for different wettability gradients obtained by varying the wetting angle at the left of the domain (θ_e^{left}), as $150^\circ, 135^\circ, 120^\circ, 90^\circ, 60^\circ$, and keeping the one at the right of the domain (θ_e^{right}) fixed at 30° . The viscosity ratio used for validation shown in Figure 2 obtained by setting $\tau_1 = 3, \tau_2 = 0.7$. This sets λ approximately to 12.4. In Figure 3, we set $\tau_1 = 3$, and vary τ_2 to see the viscosity ratio effect.

The droplet moves with a constant speed and it varies linearly with the wetting gradient for $\lambda = 10$ and for the wetting angles studied: $30^\circ \leq \theta_e \leq 150^\circ$. It should be noted that the equilibrium angle approaches 30° toward the end of the domain for all the cases and the theoretical prediction is valid for small angles and large viscosity ratios.

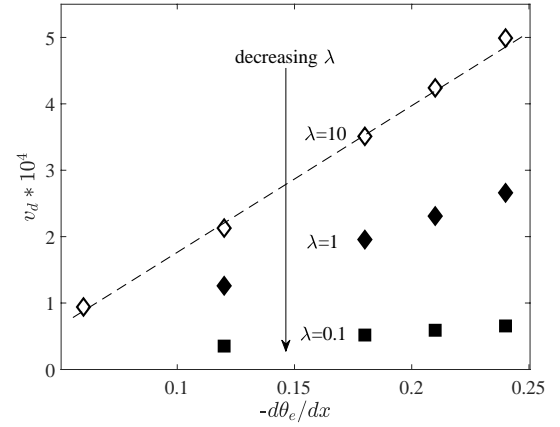


Figure 3. Variation of droplet speed as a function of wetting gradient. Hollow diamonds ($\lambda=10$) are the terminal speeds for various wetting gradients, dashed line is shown to emphasize the linearity; filled diamonds ($\lambda=1$) and filled squares ($\lambda=0.1$) shows the effect of the viscosity ratio

One would expect, however, the droplet to slow down if the viscosity of the outside fluid is increased. To show this effect, more cases with viscosity ratios of $\lambda=0.1, 1$ are studied. This variation is shown on the same plot with filled diamonds and filled squares with a clear observation of the slowing down of the droplet if it moves in a more viscous fluid. Furthermore, as λ decreases, the dependence of the droplet speed on the wetting gradient weakens.

3.2 Merging of droplets

Motivated by the simple idea of the previous subsection, it is possible to move droplets toward each other and merge. A proposition is made here as a possible use in self-cleaning, water harvesting or heat transfer enhancement applications. For example, one could merge small droplets which are able to resist gravity on car shields or windows, merge by the wetting gradient. This would increase the effective bond number (ratio of gravitational forces to surface tension forces) [33] of the merged droplet and for

sufficiently large volumes, it would move downwards with the aid of gravity. In another example, the merged droplets could be transported directionally depending on the gradients of the wetting patterns on the substrate. It is also shown that for the merging, the size of the droplet can be different. To this end, two droplets on the substrate are placed as shown in Figure 4. The gradients are set to be symmetric with respect to $x = x_0$ (mid of the domain) with a gradient of $2(\theta_e^{left} - \theta_e^{right})/n_x$. The number of lattices in x and y directions, n_x and n_y , are set to 250 and 100, respectively, with droplet radii of 30 in lattice units. The history of droplet motion is shown in panels (a) to (d) of Figure 4 for equal size droplets. In panels (e) to (h) of the same figure, the merging of different size droplets is shown. As can be seen from the velocity vectors (only the asymmetric case is shown as it is more intriguing), the outside fluid is squeezed by the motion of the two droplets and leaves the gap at an oblique path due to asymmetry. After the merge, the free surface attains its equilibrium shape; again, at a later time shown in panel (i), the deformation of the interface toward a circular arc is observed; the velocity is maximum at the location where the interface is away from the equilibrium.

To check the influence of the viscosity ratio, λ is varied from 0.83/0.067 to 0.1 and 1. It is observed that the droplets slow down due to the increased shear stress on the interface. The droplets move in a more viscous fluid, but eventually, they merge and attain the same equilibrium shape.

The change in the gradient of the wetting would change the speed and the time for the coalescence, as shown in the previous section; however, it would not affect the idea of merging droplets at a desired location to increase the effective bond number.

This proposition of such wetting gradients used in the merging of droplets drives further motivation to stop the motion of a droplet at a desired location. It is, finally, postulated that the self-motion of a droplet stops at x_0 , with the aid of symmetrically structured gradient walls with respect to the stopping location, x_0 . For motion from left to right, while the upstream wetting gradient is $d\theta_e/dx$ from $x=0$ to x_0 , it should be $-d\theta_e/dx$ downstream.

3.3. Confinement effect

When the droplet considered here is confined from the top with a wall as well as the bottom, it wets both surfaces. For uniform surface energy surfaces, the droplets attain an equilibrium shape which can be called as a fluid column. Because the contact angles of the interfaces are the same at all triple junctions, the shape of the interface becomes a circular arc meeting the walls at the wetting angle. The shape of any contact angle is determined by the geometry. Because the curvature of radius of the interfaces are the same, the

pressure jumps across the interfaces are the same and there is no pressure difference to drive the droplet in the confinement. However, generating a wettability gradient surface can trigger the motion.

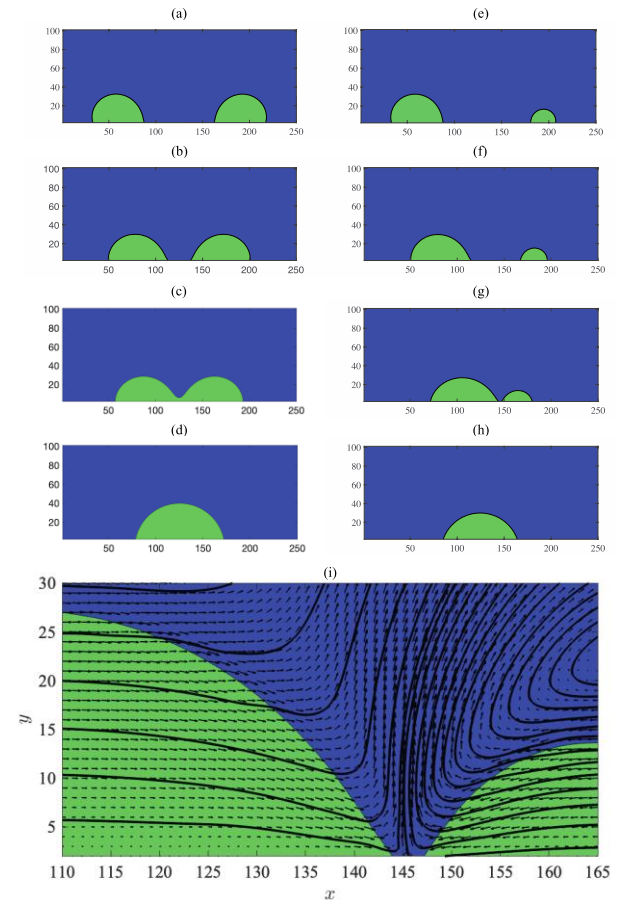


Figure 4. The evolution of the merging droplets on wettability gradient surface, (a)-(d) equal size droplets: $t=5000, 15000, 20000, 50000$; (e-h) different size droplets: $t=5000, 15000, 30000, 50000$; (i) velocity vectors before the different size droplets merge corresponding to (g)

To show this, first equilibrium shapes of columns for several surface energies are given and it is shown that the motion is possible if the surfaces are designed with a surface energy gradient. The same effect is also possible for a wedge shape confinement, but this is a geometric modification for the motion as seen in the self-motion of droplets on conical surfaces and inside wedges (like the self-movement of droplets on cactus spines or liquid columns inside the duck weak).

In Figure 5, the two equilibrium shapes obtained for $\theta_e = 30^\circ$ and $\theta_e = 120^\circ$ are presented in panels (a) and (b), wetting and non-wetting columns, respectively. Because the surface energies are uniform along the walls; the fluid column cannot move without an external force. The wetting gradient is obtained by setting $d\theta_e/dx$ to $(\theta_e^{left} - \theta_e^{right})/n_x$ with $\theta_e^{left} = 120^\circ$, $\theta_e^{right} = 30^\circ$ and $n_x = 250$. This gradient is double the one shown in Figure 3 for 120° - 30° case. As the viscosity ratio and surface tension between liquid and outside fluid are the same, one would then expect

the speed of the column to be twice of the droplet without confinement. The existence of two liquid-solid interfaces doubles the driving force due to hysteresis; however, the viscous losses double as well. Henceforth, the same argument used in section 3.1 applies. But this time, the pressure difference is not along a single interface: the radius of curvature of the leading interface (though uniform along it) is different than the radius of curvature of the trailing interface (again uniform) which can be seen in panels (c)-(e) of Figure 5, this difference generates the Laplace pressure difference from trailing interface to leading interface and this drives the liquid column. The driving mechanisms of a single droplet moving on a wettability gradient and the one confined look similar but they are different in terms of Laplace pressure.

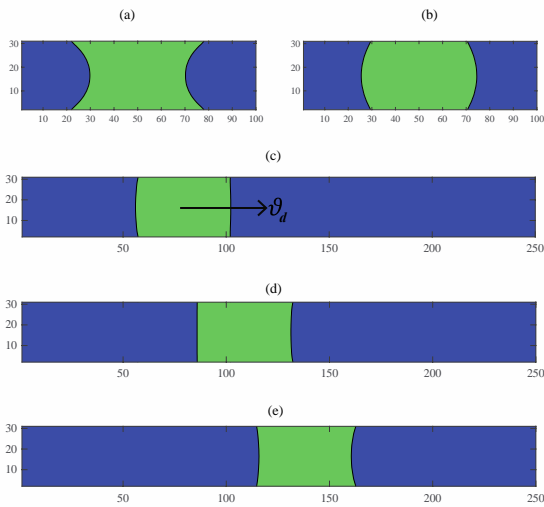


Figure 5. The interface profiles for a droplet confined between walls. (a) Equilibrium shape for $\theta_e = 30^\circ$, (b) Equilibrium shape for $\theta_e = 120^\circ$; the motion of liquid column with surface energy gradient (c) $t=50000$, (d) $t=100000$, (e) $t=150000$

3.4. Influence of channel aspect ratio on the motion of confined droplets

For the motion of interfaces in which there is not much deformation, two-dimensional models could be useful to predict such motions as the aspect ratio of the channel increases. By extending the MRT lattice-Boltzmann solver into three-dimensions with D3Q19 model, the comparison of the three-dimensional liquid columns is shown in Figure 6.

The wetting gradient is set defining $\theta_e^{left} = 120^\circ$, $\theta_e^{right} = 30^\circ$. The aspect ratio is the ratio of the width of the channel (in z -direction) to the height of the channel (in y -direction). To reduce the computational cost, channel length and height are set to $n_x = 150$ and $n_y = 10$, respectively. The width of the channel in the third direction is varied by setting $n_z = 5, 10, 25, 45, 75$. As n_z increases, the aspect ratio increases. The movement of fluid at the central plane approaches the two-dimensional model as the aspect ratio increases.

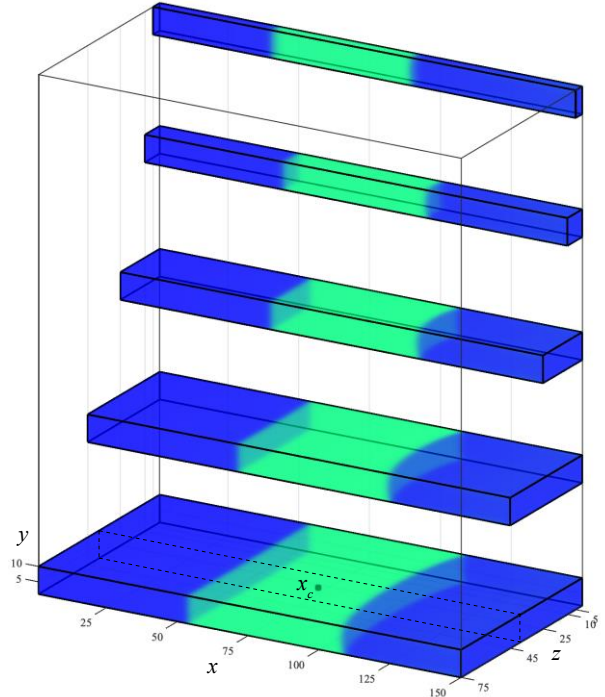


Figure 6. Change of confined droplet profile with aspect ratio at $t=50000$; from top to bottom $n_z=5, 10, 25, 45, 75$. The dashed lines show the central plane with central location x_c

In Figure 7, the time variation of the central locations, x_c (shown in Fig. 6), of the droplet for various aspect ratio channels are shown. For narrow channels (small aspect ratio), the interface motion is much slower than the one predicted with the two-dimensional model; the effects of side walls on the central plane are obvious. The two-dimensional model gives closer predictions compared with the three-dimensional predictions at the central plane (shown in Fig. 7 for $n_z=75$) as the aspect ratio gets larger. This suggests that when the channel aspect ratio is large, the central plane model (two-dimensional) for problems with small deformation could provide useful results with reduced computational cost.

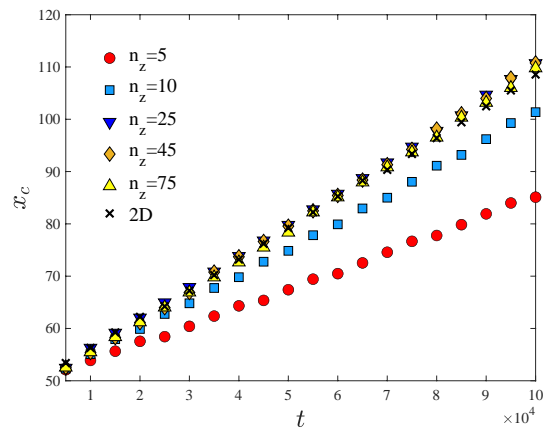


Figure 7. Time variation of x_c for different aspect ratio channels and comparison with two-dimensional prediction

4. Discussion and Conclusion

By modeling the motion of two-phase flows with the MRT binary lattice Boltzmann method, the motion of self-driven droplets with the aid of surface energy gradient is studied. This type of motion is important both in nature and in microfluidic flow manipulation. It is shown how the gradient of such surfaces affects the deformation of the droplets by studying three main problems:

- (i) self-motion of single droplets on surfaces
- (ii) merging of droplets of the same and different size droplets
- (iii) self-driven motion of droplets within confinements

For the three main problems, the MRT lattice-Boltzmann method is found to be useful in modeling the motion of such interfaces over wettability gradient surfaces. With the analyses for these three main problems, it is concluded that the motion of droplets can directionally be controlled by only varying the wettability of the surfaces. The viscosity ratio between the droplet and surrounding medium changes the time scale at which desired motion is completed. By working with different-sized droplets, motivated by the observation of different-sized droplet accumulation on window panes, car glass shields, and surfaces of photo-voltaic panels on rainy days, it is shown that the droplets can be merged at a desired location and gravity may assist in further motion. While it is impossible to provide self-movement of droplets confined within a parallel walled channel without a gradient in the confinement geometry, it is shown that the wetting gradient achieves this movement without altering the confinement geometry. Although the driving mechanisms of a single droplet moving on a wettability gradient and the one confined look similar, they are different in terms of Laplace pressure; the former is due to the pressure variation along the droplet interface, the latter is due to the pressure difference at the two interfaces.

It should finally be noted that the problems analyzed in this study are limited to two-dimensional models (cylindrical droplets). For the confined droplet model, the plane models can be useful for the control of interfaces within large aspect ratio microchannels as shown in the comparison made with the three-dimensional simulation. The results of this study are believed to be the first steps toward understanding such motions and to motivate further studies in three-dimension.

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] Wu, L., Guo, Z., Liu, W. 2022. Surface behaviors of droplet manipulation in microfluidics devices, *Advances in Colloid and Interface Science*, vol. 308(102770).
- [2] Gosh, A., Ganguly, R., Schutzius, T. M., Megaridis, C. M. 2014. Wettability patterning for high-rate, pumpless fluid transport on open, non-planar microfluidic platforms, *Lab. Chip*, 14, 1538-1550.
- [3] Oliveira, N. M., Vilabril, S., Oliveira, M. B., Reis, R. L., Mano, J. F. 2018. Recent advances on open fluidic systems for biomedical applications: A review, *Mater. Sci. Eng. C. Mater. Biol. Appl.*, 97, 851-863.
- [4] Singh, M., Kondaraju, S., Bahga, S. S. 2018. Mathematical Model for Dropwise Condensation on a Surface with Wettability Gradient, *Journal of Heat Transfer*, 140(071502).
- [5] Hassan, G., Yilbas, B.S., Al-Sharafi, A., Al-Qahtani, H. 2019. Self-cleaning of a hydrophobic surface by a rolling water droplet, *Sci. Rep.*, 9(5744).
- [6] Tenjimbayashi, M., K. Manabe, K. 2022. A review on control of droplet motion based on wettability modulation: principles, design strategies, recent progress, and applications, *Science and Technology of Advanced Materials*, 23(1), 473-497.
- [7] Shen, C., Liu, L., Wu, S., Yao, F., Zhang, C. 2020. Lattice Boltzmann simulation of droplet condensation on a surface with wettability gradient, *Journal of Mechanical Engineering Science*, vol. 234(7),1403-1413.
- [8] Daniel, S., Chaudhury, M. K., Chen, J. C. 2001. Fast Drop Movements Resulting from the Phase Change on a Gradient Surface, *Science*, 291, 633-636.
- [9] Mistura, G., Pierno, M. 2017. Drop mobility on chemically heterogeneous and lubricant-impregnated surfaces, *Adv. in Phys.: X*, 2, 591-60.
- [10] Sadullah, M. S., Kusumaatmaja, H., Launay, G., Parle, J., Ledesma-Aguilar, R., Gizaw, Y., McHale, G., Wells, G. G. 2020. Bidirectional motion of droplets on gradient liquid infused surfaces, *Comm. Phys.*, 3(166).
- [11] Chen, L., Gao, M., Liang, J., Wang, D., Hao, L., Zhang, L. 2022. Lattice Boltzmann simulation of wetting gradient accelerating droplets merging and shedding on a circumferential surface, *Eng. App. of Comp. Fluid Mech.*, 16.

- [12] Qu, J., Yang, X., Wang, Z. 2020. Numerical simulations on the self-motion of droplets in hydrophobic microchannels driven by wettability gradient surfaces, *Int. Comm. in Heat and Mass Trans.*, 119(104961).
- [13] Li, C., Dai, H., Gao, C., Wang, T., Dong, Z., Jiang, L. 2019. Bioinspired inner microstructured tube controlled capillary rise, *PNAS*, vol. 116(26), 12704-12709.
- [14] Moumen, N., Subramanian, R. S., McLaughlin, J. B. 2006. Experiments on the Motion of Drops on a Horizontal Solid Surface Due to a Wettability Gradient, *Langmuir*, 22(6), 2682-2690.
- [15] Raphael, E. 1988. Spreading of droplets on a patchy surface, *C. R. Acad. Sci. Paris*, 306, 751-754.
- [16] Xu, X., Qian, T. 2012. Droplet motion in one-component fluids on solid substrates with wettability gradients, *Phys. Rev. E*, 85(051601).
- [17] Thomas, T. M., Chowdhury, I. U., Dhivyaraja, K., P. Mahapatra, S., Pattamatta, A., Tiwari, M. K. 2021. Droplet Dynamics on a Wettability Patterned Surface during Spray Impact, *Processes*, 9(555).
- [18] Wang, X., Xu, B., Chen, Z. 2020. Numerical simulation of droplet dynamics on chemically heterogeneous surfaces by lattice Boltzmann method, *Int. Jour. of Num. Meth. for Heat & Fluid Flow*, 30(2), 607-624.
- [19] Chowdhury, I. U., Mahapatra, P. S., Sen, A. K. 2019. Self-driven droplet transport: Effect of wettability gradient and confinement, *Physics of Fluids*, 31(042111).
- [20] Chowdhury, I. U., Mahapatra, P. S., Sen, A. K. 2020. Shape evolution of drops on surfaces of different wettability gradients, *Chemical Engineering Science*, 229(116136).
- [21] Gulfam, R., Chen, Y. 2022. Recent Growth of Wettability Gradient Surfaces: A Review, *A Review Research*, 2022(9873075).
- [22] Ding, Y., Yin, L., Dang, C., Liu, X., Xu, J. 2023. Self-climbing of a low surface tension droplet on a vertical conical surface, *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 658(130670).
- [23] Raj, S. S., Mathew, R. M., Davis, D., Varanakkottu, S. N., Srinivasan, A., & Vinod, T. P. 2023. Facile fabrication of stable wettability gradients on elastomeric surfaces for applications in water collection and controlled cell adhesion. *Soft Matter*, 19(29), 5560-5574.
- [24] Xie, D., Sun, Y., Wu, Y., Wang, K., Wang, G., Zang, F., & Ding, G. 2023. Engineered Switchable-Wettability Surfaces for Multi-Path Directional Transportation of Droplets and Subaqueous Bubbles. *Advanced Materials*, 35(9), 2208645.
- [25] Sung, J., Lee, H. M., Yoon, G. H., Bae, S., & So, H. 2023. One-step fabrication of superhydrophobic surfaces with wettability gradient using three-dimensional printing. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology*, 10(1), 85-96.
- [26] Pooley, C. M., Kusumaatmaja, H., Yeomans, J. M. 2008. Contact line dynamics in binary lattice Boltzmann simulations, *Phys. Rev. E*, 78(056709).
- [27] Briant A. J., Yeomans J. M. 2004. Lattice boltzmann simulations of contact line motion. ii. binary fluids, *Physical Review E*, 69(031603).
- [28] Frisch, U., d'Humières, D., Hasslacher, B., Lallemand, P., Pomeau, Y. and Rivet, J.P. 1987. Lattice gas hydrodynamics in two and three dimensions, *Complex Systems*, 1 (649-707).
- [29] Pooley, C.M., Furtado, K. 2008. Eliminating spurious velocities in the free-energy lattice Boltzmann method, *Physical Review E*, 77(046702).
- [30] Pooley, C. M., Kusumaatmaja, H., Yeomans, J. M. 2009. Modelling capillary filling dynamics using lattice Boltzmann simulations, *Eur. Phys. J. Special Topics*, 171, 63-71.
- [31] Boylu, M. A. 2023. Controlling the Motion of Capillary Driven Interfaces in Channels with Chemical Heterogeneity. İzmir Katip Çelebi University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Master's Thesis, 68 pg., İzmir.
- [32] Broachard, F. 1989. Motions of Droplets on Solid Surfaces Induced by Chemical or Thermal Gradients, *Langmuir*, 5, 432-438.
- [33] Ceyhan, U., Tiktaş, A., Özdoğan, M. 2020. Pinning and depinning of Wenzel-state droplets around inclined steps, *Colloid and Interface Science Communications*, 35(100238)

Appendices

Appendix A. Nomenclature

Greek letters:

| | |
|-----------|---------------------------|
| γ | surface tension |
| η | dynamic viscosity |
| ϕ | order parameter |
| λ | kinematic viscosity ratio |
| ρ | fluid density |
| φ | bulk free energy density |
| τ | relaxation parameter |
| θ | contact angle |

Roman letters:

| | |
|-----|--------------------------------------|
| a | constant coefficient in Landau model |
| c | lattice velocity parameter |
| e | lattice direction |
| f | distribution function f |

| | | | |
|--------------|---------------------------|---------------|-----------------------------------|
| F | external body force | Subscripts: | |
| g | distribution function g | d | droplet |
| h | height | SV | solid-vapor |
| M | transformation matrix | SL | solid-liquid |
| n | number of lattices | c | center |
| p | pressure | e | equilibrium |
| P | pressure tensor | o | outside |
| r | radius of curvature | x | x-direction |
| \mathbf{r} | lattice position | y | y-direction |
| S | spreading parameter | Superscripts: | |
| \mathbf{S} | collision matrix | l | left contact line |
| t | time | r | right contact line |
| x | x-direction | $left$ | left of the computational domain |
| y | y-direction | $right$ | right of the computational domain |

A Renewable Energy Application to the Electrochemical Reactor in the Treatment of Metal Cutting Wastewater: Double Criteria Optimization of Process

Murat SOLAK¹, Tuğba ARSLAN², Ahmet AKBURAK³

¹Düzce University, Faculty of Engineering, Department of Environmental Engineering, 81620, Düzce, Türkiye

²Marmara Concrete Factory, Unit of Environmental Protection, 81952, Düzce, Türkiye

³Süleyman Demirel University, Grad. School of Natural and Applied Sci., Dept. Env. Eng. 32200, Isparta, Türkiye

(Alınış / Received: 01.06.2023, Kabul / Accepted: 21.08.2023, Online Yayınlanma / Published Online: 25.12.2023)

Keywords

Electrocoagulation,
Metal cutting wastewater,
Photovoltaic Solar Panel
Al electrode,
Box-Behnken Design,
Renewable energy

Abstract: Electrochemical wastewater treatment methods are effectively used for all type of wastewaters and pollutants. One of the huge negative impact of these processes is the energy consumption of the process. Therefore, the goal of the study is to develop a minimal energy user Electrocoagulation (EC) option with an integration of a direct photovoltaic solar panel as a subsection of electrochemical processes for the degradation of low COD (Chemical Oxygen Demand) from metal cutting wastewater. To optimize the operating parameters of the EC process such as pH, current density (C.D.) and electrolysis time (E.T.) Box-Behnken Design by RSM was used with a double criterial optimization option. COD removal and energy consumption were evaluated as responses of the model and they were well-fitted with the quadratic model. Also, it was determined that all parameters are effective on EC process. Optimum conditions were found at a pH of 7.48, a C.D. of 30 A/m², an E.T. of 65 min, an energy consumption of 3.9 kWh/m³ and a desirability of 0.954. At the optimum conditions, the energy consumption of the EC process was fulfilled from solar panel in a ratio of 71% and 1495% in overcast and sunny weather, respectively. Especially, the energy obtained by the solar panel in the sunny weather produces much more than the energy required of the process.

Metal Kesme Atıksularının Arıtılmasında Elektrokimyasal Reaktöre Yenilenebilir Enerji Uygulaması: Prosesin Çift Kriterli Optimizasyonu

Anahtar Kelimeler

Elektrokoagülasyon,
Metal kesme atıksuları,
Fotovoltaik Güneş Paneli,
Al elektrot,
Box-Behnken Tasarımı,
Yenilenebilir Enerji

Öz: Elektrokimyasal atıksu arıtma yöntemleri her türlü atıksu ve kirletici için etkin bir şekilde kullanılmaktadır. Bu proseslerin en büyük olumsuz etkilerinden biri prosesin enerji tüketimidir. Bu nedenle, çalışmanın amacı, metal kesme atıksuyundan KOİ'nin ayrıştırılması için elektrokimyasal proseslerin bir alt bölümü olarak doğrudan fotovoltaik güneş paneli entegrasyonu ile minimum enerji kullanan bir Elektrokoagülasyon (EK) seçeneği geliştirmek olarak belirlenmiştir. EC prosesinin pH, akım yoğunluğu (A.Y.) ve elektroliz süresi (E.S.) gibi işletme parametrelerini optimize etmek için çift kriterli optimizasyon seçeneği ile RSM ile Box-Behnken Tasarımı kullanılmıştır. KOİ giderimi ve enerji tüketimi modelin yanıtları olarak değerlendirilmiş ve kuadratik model ile iyi uyum göstermişlerdir. Ayrıca, tüm parametrelerin EC prosesi üzerinde etkili olduğu belirlenmiştir. Optimum koşullar pH 7,48, A.Y. 30 A/m², E.S. 65 dakika, enerji tüketimi 3,9 kWh/m³ ve arzu edilebilirlik 0,954 olarak bulunmuştur. Optimum koşullarda, EK sürecinin enerji tüketimi kapalı ve güneşli havalarda sırasıyla %71 ve %1495 oranında güneş panelinden karşılanmıştır. Özellikle güneşli havada güneş panelinden elde edilen enerji, proses için gerekli olan enerjiden çok daha fazlasını üretmektedir.

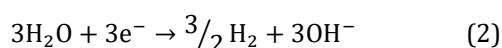
1. Introduction

Metal processing is one of the high waters consumed and produced high volume of wastewater. During metal processing, the water used to cool the metal materials. This procedure is the source of the wastewater. Such wastewater contains pollutants such as heavy metals, oil-grease, COD and color. Conventional wastewater treatment techniques as coagulation-flocculation, adsorption, sedimentation has some advantages as minimal cost, easy operation while there are some disadvantages as high sludge volume, transportation, usage and storage of chemicals. Today, new techniques are being developed to eliminate these disadvantages of existing techniques. There are different electrochemical processes such as electrocoagulation, electrooxidation, electroflotation, electrofenton, electrodialysis [1] and hybrid of these processes [2] that can be preferred depending on the type and character of wastewater. Because of the versatility, environmental compatibility [3], ease of operation, eco-friendly, low footprint, no chemical additions, decreased amount of sludge [4] and simultaneous multi-pollutant removal property usage of EC process has been increased in recent. The procedure of EC technique may occur as two steps: dissolving of the metal electrode to its ions and merging of the hydroxyl ions generated at the cathode with metal ions [1]. Aluminum (Al), ferric (Fe) and magnesium (Mg) electrodes are used as a sacrificial electrode in EC process [5,6]. However, Al and Fe electrodes can typically be preferred due to the efficient compression of the electrical double layer caused by the greater charge valency of Al and Fe ions in comparison to copper, zinc, and magnesium. In addition to that, Al electrode can prefer to Fe electrode. Due to Al electrode's excellent strength to weight ratio, corrosion-resistance, and high electrical conductivity [4], the discharge water is not colored like it is with Fe electrode [7]. Because of these reasons Al electrode was used in the study. During electrolysis using Al electrode anodic and cathodic reactions occur as Eq.1-3 [4].

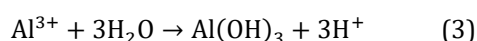
Aluminum dissolution in anode electrode:



Water electrolysis at the cathode:



In the solution:



To optimize the operating parameters of the EC process some modeling programs as Box-Behnken, Central Composite, Taguchi can be used. These programs have some advantages as minimum experiment number, reliable results and multiple scenarios [8,9]. In the literature it was determined that the using of RSM was effective to explain the operating parameters of EC process [4]. Optimization of different treatment techniques for different wastewater types with Box-Behnken design has been studied by various researchers [10,11,12].

Metal cutting wastewaters can be treated as methods as coagulation, flocculation, electrocoagulation, electrooxidation [13,14,15]. The reuse of wastewater in production processes after treatment is possible with advanced treatment techniques as electrochemical methods i.e. EC. Although there are many articles on EC in the literature, studies on the usage of solar panel with EC process is limited. But in recent, it is shown that some researchers investigate the integration of solar panel on EC [3,16,17]. One of the most significant obstacles in the use of this approach [17] is energy consumption, particularly for lengthy treatment durations. In order to minimize the energy consumption of electrochemical processes, it is necessary to effectively determine the optimum values of parameters such as electrolysis time, current density, support electrolyte solution and integrate solar panels to provide electrical energy externally. These panels can be integrated into electrochemical systems in two ways: firstly, the energy from the sun is fed directly into the reactor, and secondly, the energy from the sun is stored in batteries and fed into the system when needed. This work hypothesized that the direct photovoltaic solar panel integration to the electrochemical process could be utilized to reduce energy consumption [18].

The study's main goal is to investigate the efficacy of the EC procedure for low COD removal from metal processing wastewaters, to optimize the energy consumption of the processes using an experimental design methodology and to establish whether the photovoltaic solar panel can fulfill the energy needs of the EC process during treatment.

2. Material and Method

2.1. Experiments and materials

In the study, the wastewater was collected from a metal cutting industry in Düzce / Türkiye. Wastewater was stored in refrigerator and was allowed to stand until it reached room temperature before using it in the experiments. Raw wastewater characterization was determined as a pH of 7.68, a conductivity of 570 ± 10 mS/cm, a SS of 122 ± 5 mg/L, a soluble COD of 71 ± 2 mg/L, a color of RES (m^{-1}) (436 nm) 11.8, (525 nm) 8.6, (620 nm) 6.7.

In experimental studies COD parameter was selected to determine the effectiveness of the EC process. Electrochemical reactor was performed in a batch mode (Figure 1a). Current and voltage was controlled by using DC Power Supply (0-30V, 0-3A- GPS-3303-Multi Output). The mixing process was carried out with the IKA RCT basic mixer. The reactor was designed with a plexiglass material and a volume of 500 mL. Four Al electrodes with a dimension of 35cm*70cm*2mm, an inter-electrode distance of 1 cm

and a parallel electrode connection system was used during electrolysis. In each experiment, all the electrodes are washed and cleaned with HCl solution after electrolysis. A photovoltaic solar panel with a dimension of 1650*992*40 mm was used. The photovoltaic solar panel is integrated to the EC reactor without batteries, inverter/converter or any energy storage equipment. Solar module type of the panel was SPE250, and the input voltage value was 38.00V (Figure 1b).



a)



b)

Figure 1. EC reactor a) only process b) solar panel integrated process

2.2. Mathematical modeling

Box Behnken Design (BBD) was used to examine the effect of pH, C.D. and E.T. parameters on COD removal from metal processing industry by EC model reactor. Based on a three-level Box-Behnken factorial design, this experimental design had 17 runs. For the statistical analysis, the Design Expert trial version was employed. It is seen in the Eq. 4 that COD removal and energy consumption responses are described with Y, while model coefficients are $\beta_0\beta_i (i = 1,2,3), \beta_{ij}(i = 1,2,3; j = 1,2,3)$, the coded independent variables are X_i and X_j and the error is ϵ .

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i X_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} X_i^2 + \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^k \beta_{ij} X_i X_j + \epsilon \tag{4}$$

The key variables influencing the COD removal efficiency (R.E.) and energy consumption of the EC process were pH (X_1), current density (X_2), and electrolysis time (X_3). The process variables and levels are shown in Table 1.

Table 1. Process variables and levels for EC Process

| Coded Variables (X_i) | Factors | Unit | Levels | | |
|---------------------------|---------|------------------|----------|------------|-----------|
| | | | Low (-1) | Center (0) | High (+1) |
| (X_1) | pH | - | 5 | 7 | 9 |
| (X_2) | C.D. | A/m ² | 30 | 45 | 60 |
| (X_3) | E.T. | min. | 10 | 25 | 50 |

C.D. Current Density, E.T. Electrolysis Time

2.3. Chemical Analysis

The parameters were analyzed using Standard Methods (SM) [19]. The inlet/outlet COD concentration of the EC process was evaluated using a UV-VIS spectrophotometer (WTW 6100) and the SM of 5220 D. The gravimetric technique of SM 2540-D was used to determine SS concentration levels. The pH was evaluated using a pH meter (Hanna) and the conductivity was measured by using a conductivity meter (Hach 7100e) (SM 2510-B).

3. Results

3.1 Optimization and authentication of process parameters and responses

To determine the quantitative data which shows the relationship between the input and output factors a mathematical model was developed by RSM. Three factors with three levels of the BBD were employed to optimize the effect of process variables on responses

such as COD removal and energy consumption. The total number of experiments for a 3-factor design at the design center was 17, with three repeats to evaluate the pure error. According to the statistical data, the quadratic model produced with RSM may explain the COD R.E. and process energy consumption responses.

Both the suitability and significance of the model must be evaluated in optimization studies using ANOVA. [20]. In present study, statistical analysis parameters which shows the adequacy of the model, R², adjusted R² were checked (Table 2). For COD removal and energy consumption response R² values were 0.89 and 0.99 while Adj R² were 0.75 and 0.97, respectively.

The quadratic model had a high signal, which is thought to explain the operating parameters of the EC process for COD removal and energy consumption responses. The F-value of the model was 2.08 and 4.92 for COD removal and energy consumption, respectively, with a very low probability value (<0.0001). This shows that the model is essential. The

model's "lack fit p-value" for COD removal and energy consumption was 0.25 and 0.08, respectively, implying that there was no major error in the data. Adequacy of precision (A.P.) measures the signal to noise ratio which has to be greater than 4. In the study, the A.P. of COD removal and energy consumption responses was determined to be as 9.92 and 27.25, respectively. Additionally, A.P. was greater than 4 in all responses. To determine the fitting quality of the model at each point in the design, the PRESS value is used. PRESS was obtained as 3327 and 113, respectively. With the decrease of "p> F", the importance of the parameter used in the model increases. In the obtained model, effective parameters were evaluated according to p<0.05 values. A "Prob > F" less than 0.05 shows that the model terms are significant. X₁, X₂, X₃, X₃² are significant model terms for COD removal, while X₁, X₂, X₃, X₂X₃ are significant model terms for energy consumption. The importance of the main parameters on the COD R.E. response was: pH > E.T > C.D., but in the energy consumption response, they were C.D.=E.T> pH.

Table 2. ANOVA and Statistical Parameters of the EC Process

| Source | COD Rem. (%) | | Energy Cons. (kWh/m ³) | | R ² | COD Rem. (%) | Energy Cons. (kWh/m ³) |
|-----------------------------------|--------------|---------|------------------------------------|----------|----------------|------------------------------|------------------------------------|
| | F Value | P Value | F Value | P Value | | | |
| Model | 6.42 | 0.0114 | 51.87 | < 0.0001 | | | |
| X₁-pH | 14.93 | 0.0062 | 8.47 | 0.0226 | | | |
| X₂-C.D. | 6.02 | 0.0438 | 171.87 | < 0.0001 | | 0.8920 | 0.9852 |
| X₃-E.T. | 14.53 | 0.0066 | 235.41 | < 0.0001 | | Adj R ² 0.7530 | 0.9662 |
| X₁X₂ | 0.55 | 0.4843 | 0.032 | 0.8629 | | Pred. R ² -0.1202 | 0.8091 |
| X₁X₃ | 1.07 | 0.3356 | 4.05 | 0.0842 | | Adeq. Prec. 9.917 | 27.247 |
| X₂X₃ | 1.23 | 0.3046 | 37.94 | 0.0005 | | Std. Dev. 6.77 | 1.12 |
| X₁² | 3.12 | 0.1209 | 6.00 | 0.0442 | | Mean 49.82 | 9.28 |
| X₂² | 1.80 | 0.2218 | 0.74 | 0.4181 | | C.V. % 13.59 | 12.02 |
| X₃² | 14.52 | 0.0066 | 2.77 | 0.1399 | | PRESS 3327.63 | 112.69 |
| Lack of Fit | 2.08 | 0.2450 | 4.92 | 0.0790 | | Equation Type Quadratic | Quadratic |

Table 3 shows the predicted and actual values for the COD R.E. and energy consumption responses.

As per the results, COD R.E. was varied from 11% to 65%, whereas energy consumption was in the range of 1.65-26.5 kWh/m³.

Table 3. Experimental results and prediction of the model

| | X ₁ | X ₂ | X ₃ | COD Rem. (%) | | Energy Cons. (kWh/m ³) | |
|-----------|----------------|----------------|----------------|--------------|-----------|------------------------------------|-----------|
| | | | | Actual | Predicted | Actual | Predicted |
| 1 | 9 | 30 | 30 | 61 | 67 | 4.76 | 4.48 |
| 2 | 5 | 30 | 30 | 56 | 54 | 3 | 2 |
| 3 | 5 | 45 | 50 | 38 | 41 | 11.71 | 12.62 |
| 4 | 5 | 45 | 10 | 11 | 16 | 2.93 | 2.76 |
| 5 | 9 | 45 | 10 | 45 | 41 | 3.72 | 2.8 |
| 6 | 7 | 30 | 10 | 52 | 48 | 1.65 | 2.84 |
| 7 | 7 | 45 | 30 | 52 | 56 | 8.31 | 9.26 |
| 8 | 7 | 60 | 10 | 28 | 29 | 6.43 | 6.31 |
| 9 | 7 | 30 | 50 | 61 | 60 | 7.97 | 8.08 |
| 10 | 7 | 45 | 30 | 52 | 56 | 8.79 | 9.26 |
| 11 | 7 | 45 | 30 | 54 | 56 | 9.9 | 9.26 |
| 12 | 5 | 60 | 30 | 44 | 38 | 12.24 | 12.52 |
| 13 | 7 | 60 | 50 | 52 | 55 | 26.5 | 25.31 |
| 14 | 7 | 45 | 30 | 59 | 56 | 9.6 | 9.26 |
| 15 | 9 | 60 | 30 | 59 | 55 | 13.6 | 14.62 |
| 16 | 7 | 45 | 30 | 65 | 61 | 9.72 | 9.26 |
| 17 | 9 | 45 | 50 | 58 | 53 | 16.99 | 17.16 |

The coded equations of the COD removal and energy consumption response for EC process are given in Eq. 5. and Eq. 6, respectively. The coded equation can be applied to predict the amount of response for the level of each variable. In this equation, Y_1 represents the predicted COD R.E. in EC ($0 < Y_1 \leq 100\%$), X_1 , X_2 , and X_3 presents the pH ($5 \leq X_1 \leq 9$), current density ($30 \text{ A/m}^2 \leq X_2 \leq 60 \text{ A/m}^2$), and electrolysis time (10 min. $\leq X_3 \leq 50$ min.), respectively.

The sign of the coefficients in the equations indicates how the parameters affect the main output. It is seen in the Eq. 5 that pH and C.D. was positively affected the COD R.E., while electrolysis was negatively. In other words, increasing the pH and C.D. raises the COD R.E., whereas increasing the E.T. decreases it.

$$\text{COD rem. (EC)} - Y_1 = 56.4 + 9.25 \times A - 5.88 \times B + 9.13 \times C + 2.5 \times AB - 3.5 \times AC + 3.75 \times BC - 5.83A^2 + 4.43 \times B^2 - 12.58 \times C^2 \quad (5)$$

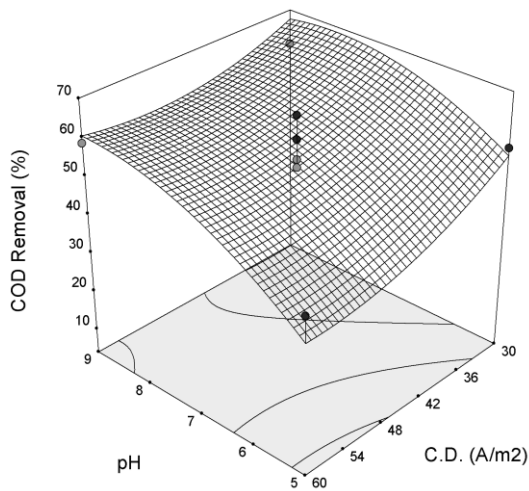
The quadratic model was used to predict the energy consumption response values. Eq. 6 depicts the response equations for energy consumption. Here, Y_2 is the predicted energy consumption of EC process. It is seen from the Eq. 6 that all the coefficient of the parameters has positive sign that energy consumption varies directly proportional to pH, C.D. and E.T. The increase in these factors raises the COD R.E.

$$\text{E. C. } \left(\frac{\text{kWh}}{\text{m}^3}\right) - \text{EC} - Y_3 = 9.26 + 1.15 \times A + 5.17 \times B + 6.06 \times C - 0.1 \times AB + 1.12 \times AC + 3.44 \times BC - 1.33 \times A^2 + 0.47 \times B^2 + 0.91 \times C^2 \quad (6)$$

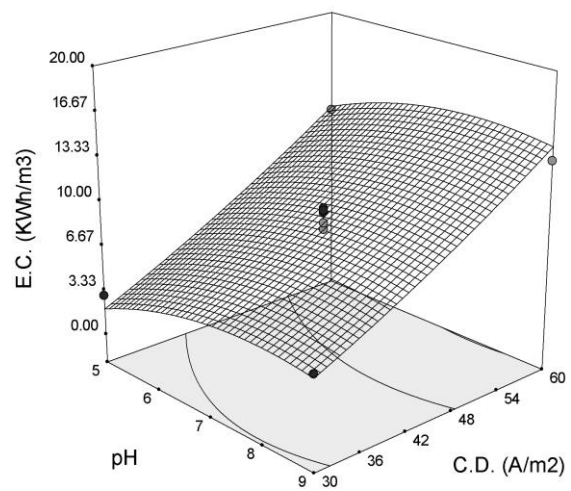
3.1. Evaluation of Interactive Effects of the Processes

Figure 2 (a) indicates that the influence of pH/CD on the EC process. According to Figure 2 (a), when the E.T. is constant (30 min.), the COD R.E. increases when the pH rises from 5 to 9. The increase in the C.D. increased the COD R.E. This can be due to the addition of excess chemical to the wastewater. During the electrolysis, pH presents a higher increase in the R.E. of COD was determined than C.D. At a low pH media when Al anode dissolved, Al^{3+} and $\text{Al}(\text{OH})_2$ occurs, while at a high pH media, $\text{Al}(\text{OH})_3$ occurs [21]. In high pH values OH ion accumulates in the solution that COD removal increases [10].

The interactive effect of pH/C.D. on energy consumption of the EC process is given in Figure 2 (b). When the E.T. is constant (30 min.), the energy consumption (3.33-16.7 kWh/m³) of the EC process increased with the increase of C.D. from 30 to 60 A/m², while the pH did not affect the COD removal.



(a) COD removal (E.T. 30 min.)

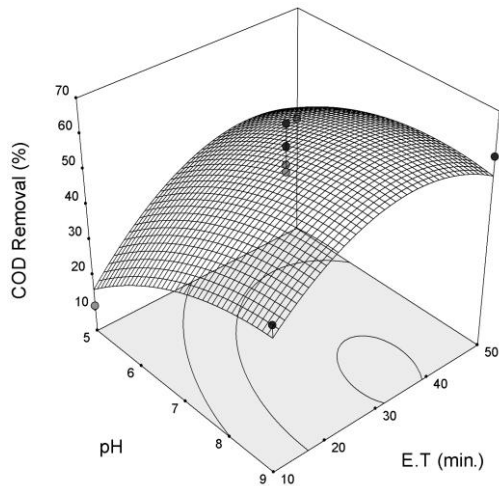


(b) Energy consumption (E.T. 30 min.)

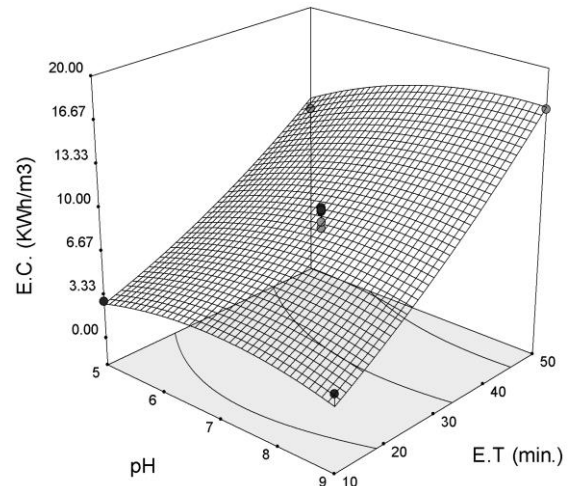
Figure 2. Effect of pH/C.D.

Effect of pH/E.T. on EC process is seen in Figure 3 (a). When the C.D. is constant (45 A/m²), the COD R.E. increases with the increase of the pH 5 to 9. The increase in the E.T. decreased the COD R.E. This can be due to the secondary reactions which occur at the high C.D. and lead to colloid charge reversal thus results re-dispersion of the colloids [22,23].

The effect of pH/E.T. on COD removal is given in Figure 3 (b). When the C.D. is constant (45 A/m²), the COD R.E. of the EO process increased with the increase of E.T., while the pH did not affect the COD removal. EC process is more effective at higher pH values while it is at lower pH values in EC process.



(a) COD removal (C.D. 45 A/m²)



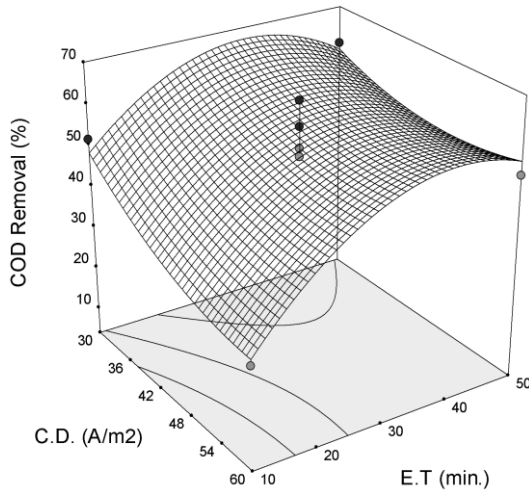
(b) Energy consumption (C.D. 45 A/m²)

Figure 3. Effect of pH/E.T.

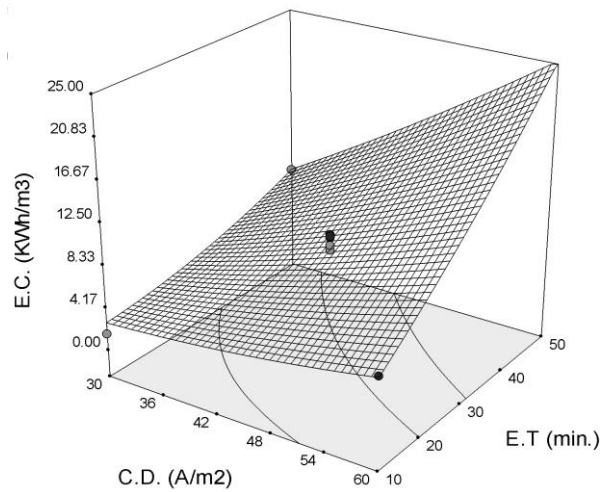
3D counter plots of C.D./E.T. for EO process is shown in Figure 4 (a). According to Figure 4 (a), when the pH is constant (pH 7), the COD R.E. increases with the increase of the E.T. 10 to 50 min. The efficacy of the EC process is due to the metal ion concentration occurred during electrolysis. With the increase of E.T. increases the metal ion concentration and hydroxide flocs. Therefore, pollutant removal efficiency increases [23]. The increase in the C.D. decreased the COD R.E. This can be explained as the excess of the applied C.D. causes the secondary reactions by the formation of colloidal charge reversal, shorten the electrode life

and thus decreases the pollutant R.E. of the EC process [4].

The interactive effect of C.D./E.T. COD removal is given in Figure 4 (b). When the pH is constant (pH 7), the energy consumption of the EC process increased with the increase of C.D. and E.T. During the electrolysis, E.T. presents a higher increase in the energy consumption was determined than C.D.



(a) COD removal (pH 7)



(b) Energy consumption (pH 7)

Figure 4. Effect of C.D./E.T.

The actual values obtained from the experiment were compatible with the expected values of the model response for the EC process, as shown in Figure 5 a-b.

impact on the resulting quadratic model. Thus, it is clearly seen that all the parameters are effective on COD removal and energy consumption of EC process as evaluated in the ANOVA analysis section.

Main effects of X₁ (A), X₂ (B), and X₃ (C) parameters for EC are given in Figure 6 a-b. As seen in Figure 6 a-b, the primary impacts of X₁, X₂, and X₃ have a significant

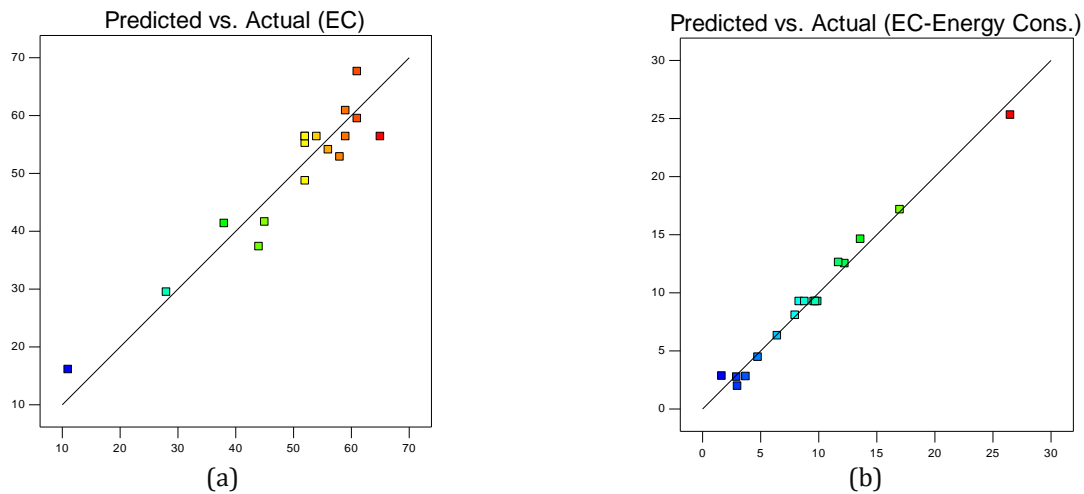


Figure 5. Regression graphs of the actual and predicted values describing COD R.E. and energy consumption

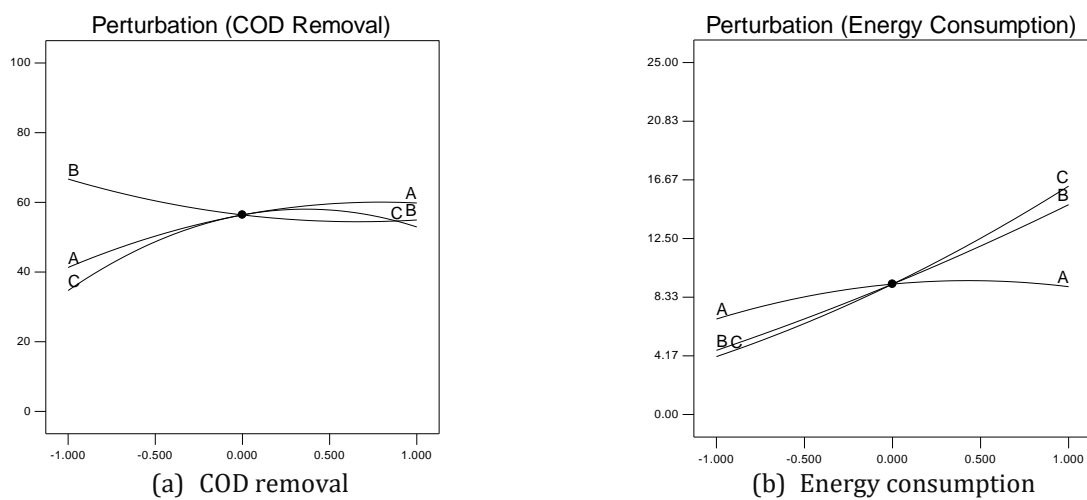


Figure 6. Perturbation of COD removal and Energy consumption

3.2. Optimization of process

Comparison of present study results with literature is given in Table 4. The optimization study was evaluated in three scenarios 1. the development of results that maximize COD R.E., 2. the development of optimum conditions that maximize COD R.E. and minimize energy consumption, 3. the development of optimum conditions that maximize COD R.E. and maximize energy consumption.

In first scenario, the optimum conditions for EC process were determined to be an initial pH of 7.48, a C.D. of 33 A/m², a reaction time of 33 min in which COD removal of 66% with an energy consumption of 6.45 kWh/m³ was achieved.

In second scenario, the optimum conditions for EC process were determined to be an initial pH of 7.48, a C.D. of 30 A/m², a reaction time of 23 min in which COD removal of 65% with an energy consumption of 3.9 kWh/m³ and with a desirability of 0.954 was achieved.

In third scenario, the optimum conditions for EC process were determined to be an initial pH of 8.48, a C.D. of 60 A/m², a reaction time of 50 min in which COD removal of 58% with an energy consumption of 26.18 kWh/m³ and with a desirability of 0.929 was achieved.

It is mentioned that neutral and higher pH values are effective in Al electrode connected EC process in the literature [24]. In the bulk solution, two removal mechanism realize as precipitation process at pH<4 and adsorption process at higher pH values [24]. In the study, it is thought that adsorption mechanism was occurred, because the optimal pH was varied from 7.91 to 8.48.

Table 4. Comparison of present study results with literature

| Type of Wastewater | Electrode Type Anode/Cathode | pH | C.D. | E.T. | COD rem. (%) | Energy Cons. | Ref. |
|------------------------------------|------------------------------|----------|-----------------------------|-----------|--------------|---|---------------|
| Metal cutting wastewater | Al/Al | 7.91 | 33 A/m ² | 33.5 min. | 66 | 6.43 kWh/m ³ | Present Study |
| | | 7.48 | 30 A/m ² | 23 min. | 65 | 3.9 kWh/m ³ | |
| | | 8.48 | 60 A/m ² | 50 min. | 58 | 26.18 kWh/m ³ | |
| Textile wastewater | Al/Al | 7.6 | 11.55 20 mA/cm ² | 10 min. | 79.7 | - | [23] |
| Ayurveda pharmaceutical wastewater | Al/SS | 6.0 | 99.89 A/m ² | 120 min. | 58.35 | 27.13 kWh/kg COD | [25] |
| Machinery industry wastewater | Al/Al | - | 20 mA/cm ² | 30 min. | 68 | 0.88 kWh/kg-COD | [26] |
| Paint industry washing wastewater | Al/Fe | 6.6-7.15 | 14.2 mA/cm ² | 32 min. | 68 | 16.53 kWh/m ³ | [27] |
| Biodigester effluent | Al/Al | 8.0 | 135 30 A/m ² | 93.4 min. | 85.1 | - | [28] |
| Metal cutting wastewater | Al/Al | 5.0 | 60 A/m ² | 25 min. | 93 | - | [29] |
| Distillery wastewater treatment | Al/Fe | 7.0 | 24.9 mA/cm ² | 60 min. | > 80 | 15 kWh/m ³ (solar driven EC) | [30] |

3.3. Effect of solar panel integration on energy consumption

In the study, energy consumption of EC process was varied from 3.9 to 26.8 kWh/m³ for different scenarios. Energy consumption of EC process which connected with Al electrode was determined as 16.53 kWh/m³ [27]. The scenarios, the optimization results, contour plots and energy fulfillment ratio of EC process by solar panel are given in Table 5.

The EC process's operating costs are mostly comprised of the cost of energy usage [24]. Therefore, minimization of energy consumption of the EC process is significant for applicability. One of the theories which decrease the energy consumption of electrochemical process is solar panel integration. Also, a solar panel was integrated to the EC process in the study. In the measurements made in overcast air, the voltage/current obtained from the solar panel was 4.95 V/0.272 A, and the energy obtained was 1.33 Wh. In case the weather is completely sunny and the sun comes at the desired angle, 34.62 V energy input value is determined from the solar panel. When current was applied to the electrodes, this value was determined as 4 V, 7 A from the multimeter. That is, it produces an energy of 28 Wh. When the energy consumed for wastewater treated per m³ volume is calculated, 2.77 kWh/m³ energy is obtained from solar panels when the weather is overcast, while 58.33 kWh/m³ energy is

obtained when the weather is sunny. According to the developed scenarios, 11% to 71% of the energy requirement for the EC process was fulfilled with the energy obtained by solar panels in overcast weather. In sunny weather, all the energy consumption of the process was fulfilled and more than consumption was obtained by solar energy. Generally, photovoltaic solar panel integrated EC is more suitable than DC power supplied EC process. The same results were determined by the researchers that compared to photovoltaic solar technology; conventional electric power consumption is higher. Thus, it may be said that traditional power sources needed longer time and a little bit greater voltage. While PV systems need lower voltage and shorter times to remove pollutants with the same effectiveness. Thus, makes the EC process cost-effective and destroys the limited usage of this process because of the energy consumption. However, the performance of a solar-powered system is affected by natural factors such as sun irradiation, temperature, and other meteorological circumstances [30]. Especially, industries in the coastal area will not be affected from these factors. Most EC systems are presently powered by conventional energy rather than solar energy [30]. Direct photovoltaic solar integrated EC systems will be an environmental-friendly/cost effective, thus, preferred technology to treat industrial wastewater in near future.

Table 5. The optimal conditions and effect of solar panel on EC process for the different scenarios

| Scenario | COD | Energy Consumption | pH | C.D. (A/m ²) | E.T. (min.) | COD rem. (%) | Energy Cons. (kWh/m ³) | Des. | E. S.P. O.W. (kWh/m ³) | F.P. (%) | E. S.P. S.W. (kWh/m ³) | F.P. (%) |
|--|---------|--------------------|------|--------------------------|-------------|--------------|------------------------------------|------|------------------------------------|----------|------------------------------------|----------|
| 1 | maximum | none | 7.91 | 33 | 33.5 | 66 | 6.43 | 1 | 2.77 | 43 | 58.33 | 900 |
| <p>Scenario 1 plots: Desirability (Prediction 1), COD Removal (%) (Prediction 66.0853), E.C. (KWh/m³) (Prediction 6.42941). X1: A: pH, X2: B: C.D. (A/m²)</p> | | | | | | | | | | | | |
| 2 | maximum | minimum | 7.48 | 30 | 23 | 65 | 3.9 | 0.95 | 2.77 | 71 | 58.33 | 1495 |
| <p>Scenario 2 plots: Desirability (Prediction 0.953556), COD Removal (%) (Prediction 65.0003), E.C. (KWh/m³) (Prediction 3.90466). X1: A: pH, X2: B: C.D. (A/m²)</p> | | | | | | | | | | | | |
| 3 | none | maximum | 8.48 | 60 | 50 | 58 | 26.18 | 0.93 | 2.77 | 11 | 58.33 | 222 |
| <p>Scenario 3 plots: Desirability (Prediction 0.987222), COD Removal (%) (Prediction 58.1622), E.C. (KWh/m³) (Prediction 26.1825). X1: A: pH, X2: B: C.D. (A/m²)</p> | | | | | | | | | | | | |

E.S.P. O.: Energy supply of solar panel Overcast, E.S.P. S.W.: Energy supply of solar panel Sunny weather F.P.: Fulfillment percentage, Des: Desirability

4. Discussion and Conclusion

In this study, an experimental design of BBD for the COD R.E. and energy consumption responses were developed. It was determined from the statistical analysis that COD R.E. and energy consumption responses were well fitted with the quadratic model. It is considered that the scenario with an energy consumption of 3.9 kWh/m³ and a COD R.E. of 65% is suitable for the EC process. In this case, the optimum pH for EC process was 7.48, C.D. was 30 A/m² and E.T. was 23 minutes. If the highest COD R.E. is desired, only the scenario that maximizes COD will be appropriate.

High SS concentration cause the scratching of the metal materials. Also, SS concentration of the metal cutting wastewater was determined as 0.5 mg/L after treatment in all scenarios. This means that the treated wastewater could be used in any other process in the production.

In all scenarios the energy consumption of the EC process was fulfilled from 11 to 71% in overcast and 222 to 1495 % in sunny weather from solar panel. Accordingly, it also shows that the energy to be obtained has a high potential to be stored by integrating with battery systems and converters. The incorporation of solar panels into the EC process can be viewed as a strategy that can remove energy costs and hence significantly lower the EC process's operational costs and it can be said that the energy obtained from direct photovoltaic solar panel is an effective alternative in comparison with the conventional energy.

Acknowledgement

This work was financed by the TÜBİTAK BİDEB with grant number of 1139B421902975. The authors thank to TÜBİTAK for its support.

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] Aljabeti, F. Y., Ahmed, S. A., Makki, H. F., Naje, A. S., Zwain, H. M., Salman, A. D., Juzsakova, T., Viktor, S., T. Van, B., Le, P. C., Duong La, D., Woong Chang, S., Um, M. J., Ngo, H. H., Nguyen, D. D. 2023. Recent advances and applicable flexibility potential of electrochemical processes for wastewater treatment Science of the Total Environment, 867, 161361.
- [2] Solak, M., 2019. Treatment of Denim Product Manufacturing Wastewater by Hybrid Electrocoagulation /Electrooxidation Processes, Süleyman Demirel University, Journal of Natural and Applied Sciences, 23, 3, pp. 780-786.
- [3] Nawarkar, C. J., Salkar, V. D., 2019. Solar powered Electrocoagulation system for municipal wastewater treatment, Fuel, 237, 222–226.
- [4] Das, P. P., Sharma, M., Purkait, M. K. 2022. Recent progress on electrocoagulation process for wastewater treatment: A review, Separation and Purification Technology, 292, 121058.
- [5] Gatsios, E., Hahladakis, J. N., Gidaracos, E. 2015. Optimization of electrocoagulation (EC) process for the purification of a real industrial wastewater from toxic metals, Journal of Environmental Management, 154, 117-127.
- [6] Oden M. K., Sarı Erkan H. 2018. Treatment of metal plating wastewater using iron electrode by electrocoagulation process: Optimization and process performance, Process Safety and Environmental Protection 119, 207–217.
- [7] Solak, M., Kılıç, M., Yazıcı, H., Baldan Pakdil, N. 2014. Economical Analysis of the Treatment of Marble Processing Wastewaters by Electrocoagulation and Chemical Coagulation Processes, Faculty of Engineering Engineering Sciences Journal, 16, 2, 13-26.
- [8] Wu, J., Zhang, H., Oturan, N., Wang, Y., Chen, L., Oturan, M. A. 2012. Application of response surface methodology to the removal of the antibiotic tetracycline by electrochemical process using carbon-felt cathode and DSA (Ti/RuO₂-IrO₂) anode. Chemosphere, 87, 6, 614-620.
- [9] Ghjair, A. Y., Abbar, A. H. 2023. Applications of advanced oxidation processes (Electro-Fenton and sono-electro-Fenton) for COD removal from hospital wastewater: Optimization using response surface methodology. Process Safety and Environmental Protection, 169, 481-492.
- [10] Tak, B., Tak, B., Kim, Y., Park, Y., Yoon, Y., Min., G. 2015. Optimization of color and COD removal from livestock wastewater by electrocoagulation process: Application of Box-Behnken design (BBD). J. Industrial and Engineering Chemistry, 28, 307-315.
- [11] Garg, K. K., Prasad, B. 2016. Development of Box Behnken design for treatment of terephthalic acid wastewater by electrocoagulation process: Optimization of process and analysis of sludge, Journal of Environmental Chemical Engineering, 4, 1, 178-190.
- [12] Solak, M. 2019. Optimization of the Electrocoagulation Process in the treatment of Chemical Spraying Wastewater: Box-Behnken

- Design, *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 7, 1367-1377.
- [13] Elnenay, A. M. H. Nassef, E., Malasha, G. F., Magid, M. H. A. 2007. Treatment of drilling fluids wastewater by electrocoagulation, *Egyptian Journal of Petroleum*, 26, 203–208.
- [14] Demirbas, E., Kobya M. 2017. Operating cost and treatment of metalworking fluidwastewater by chemical coagulation and electrocoagulation processes, *Process Safety and Environmental Protection*, 105, 79–90.
- [15] Zini, L. P., Longhi, M., Jonko, E., Giovanela, M. 2020. Treatment of automotive industry wastewater by electrocoagulation using commercial aluminum electrodes, *Process Safety and Environmental Protection* 142, 272–284.
- [16] García-Orozco, V. M. Linares-Hernandez, I., Natividad, R., Balderas-Hernandez, P., Alanis-Ramírez, C., Barrera-Díaz, C. E., Roa-Morales, G. 2022. Solar-photovoltaic electrocoagulation of wastewater from a chocolate manufacturing industry: Anodic material effect (aluminium, copper and zinc) and life cycle assessment, *Journal of Environmental Chemical Engineering* 10, 107969.
- [17] Mohamad, Z., Razak, A. A., Krishnan, S., Singh, L., Zularisam, A. W., Nasrullah, M., 2022. Treatment of palm oil mill effluent using electrocoagulation powered by direct photovoltaic solar system *Chemical Engineering Research and Design* 177, 578–582
- [18] Solak, M. 2023. Cost-Effective Processes for Denim Production Wastewater: Dual Criterial Optimization of Techno-Economical Parameters by RSM and Minimization of Energy Consumption of Photo Assisted Fenton Processes via Direct Photovoltaic Solar Panel Integration, *Processes*, 11, 7 1903.
- [19] American Public Health Association (APHA), 2005. *Standard Methods for the Examination of Waste and Wastewater* (19th ed.), Washington.
- [20] Nasrullah, M., Ansar, S., Krishnan S., Singh, L., Peera, S. G., Zularisam, A. W. 2022. Electrocoagulation treatment of raw palm oil mill effluent: Optimization process using high current application, *Chemosphere* 299, 134387.
- [21] Mollah, M.Y.A., Schennach, R., Parga, J.R., Cocke D.L., 2001. Electrocoagulation (EC) Science and Applications. *Journal of Hazardous Materials*, 84, 29-41.
- [22] Lu, J., Zhang, P., Li, J. 2021. Electrocoagulation technology for water purification: an update review on reactor design and some newly concerned pollutants removal, *J. Environ. Manag.* 296 (2021), 113259.
- [23] Anuf, A. R., Ramaraj, K., Sivasankarapillai, V. S., Dhanusuraman, R., Maran, J. P., Rajeshkumar, G., Rahdare, A., Díez-Pascual, A M., 2022. Optimization of electrocoagulation process for treatment of rice mill effluent using response surface methodology, *Journal of Water Process Engineering*, 49, 103074.
- [24] Merzouk, B., Madani, K., Sekki, A. 2010. Using electrocoagulation – electroflotation technology to treat synthetic solution and textile wastewater, two case studies, *DES* 250, 573–577.
- [25] Singh, S., Singh, S., Lo, S. L., & Kumar, N. (2016). Electrochemical treatment of Ayurveda pharmaceuticals wastewater: optimization and characterization of sludge residue. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 67, 385-396.
- [26] Pantorlawn, W., Khanitchaidech W., Threrujirapapong T., Channei, D., Nakaruk, A. 2018. Electrocoagulation for spent coolant from machinery industry, *J Water Reuse, Desalination*, 8, 497–506.
- [27] Rajaniemi, K., Rauliob, M., Tuomikoskia, S., Lassia U. 2019. Comparison of batch and novel continuous electrocoagulation processes in the treatment of paint industry wash water, *Desalination and Water Treatment*, 170, 394–404.
- [28] Dubey, S., Joshi, A., Parmar, N., Amitesh, C. R., Prajapati, A K. 2023. Process optimization of electrocoagulation reactor for treatment of distillery effluent using aluminium electrode: Response surface methodology approach, *Chemical Data Collections* 45, 101023.
- [29] Kobya, M., Çiftçi, C., Bayramoğlu, M., Sensoy, M. T. 2008. Study on the treatment of waste metal cutting fluids using electrocoagulation, *Sep. Purif. Technol.*, 60 285–291.
- [30] Karmankar, S. B., Sharma, A., Ahirwar R. C., Mehra, S., Pal, D., Prajapati A. K. 2023. Cost cutting approach of distillery effluent treatment using solar photovoltaic cell driven electrocoagulation: Comparison with conventional electrocoagulation, *Journal of Water Process Engineering*, 54, 103982.

Farklı Karbon Dolgular İçeren Kitosan Filmlerin Elektrik ve Optik Özelliklerinin İncelenmesi

Ömer Bahadır MERGEN*¹ 

¹Dokuz Eylül Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, Tıbbi Görüntüleme Teknikleri Programı,
35330, İzmir, Türkiye

(Alınış / Received: 08.06.2023, Kabul / Accepted: 25.09.2023, Online Yayınlanma / Published Online: 25.12.2023)

Anahtar Kelimeler

Kitosan biyo-kompozit film,
Tauc yöntemi,
ASF yöntemi,
Urbach enerjisi,
Kırılma indisi,
Optik iletkenlik

Öz: Bu çalışmada Kitosan (CS) matris içerisine grafen oksit (GO), gözenekli karbon (CM), grafen nanoplatelet (GNP) ve çok duvarlı karbon nanotüp (MWCNT) gibi karbon dolgular (KD'lar) eklenerek elde edilen ince filmlerin elektrik ve optik özelliklerindeki değişimler incelenmiştir. Filmleri hazırlamak için çözelti karıştırma, ultrasonik karıştırma ve döndürerek kaplama teknikleri kullanılmıştır. CS/KD ince filmlerin elektrik ve optik özelliklerinde önemli ölçüde iyileşmeler sağlandığı görülmüştür. Ayrıca bu KD'lar arasında bir kıyaslama yapılmış ve fiziksel özellikleri arttırmada MWCNT'ün diğer KD'lara göre daha etkili olduğu gözlemlenmiştir. Elde edilen elektriksel ve optik sonuçlar, CS/KD biyo-kompozitlerin sürdürülebilir ve geçici optoelektronik, foton enerjisi uygulamaları, biyotıp ve biyosensör uygulamalarında kullanılabileceğini göstermektedir.

Investigation of Electrical and Optical Properties of Chitosan Films Containing Different Carbon Fillers

Keywords

Chitosan bio-composite film,
Tauc method,
ASF method,
Urbach energy,
Refractive index,
Optical conductivity

Abstract: In this study, the changes in the electrical and optical properties of thin films obtained by adding carbon fillers (CFs) such as graphene oxide (GO), carbon mesoporous (CM), graphene nanoplatelet (GNP) and multi-walled carbon nanotube (MWCNT) into the chitosan (CS) matrix were investigated. Solution mixing, ultrasonic mixing and spin coating techniques were used to prepare the films. Significant improvements were observed in the electrical and optical properties of CS/CF bio-composite thin films. In addition, a comparison was made between these CFs and it was observed that MWCNT was more effective than others in increasing physical properties. Obtained electrical and optical results show that CS/CF bio-composite films can be used in sustainable and temporary optoelectronics, photon energy applications, biomedicine and biosensor applications.

1. Giriş

Karbon bazlı polimer kompozitler esneklik, hafiflik, işleme kolaylığı ve kimyasal direnç gibi özellikleri nedeniyle endüstriyel ve akademik camianın ilgisini çekmektedir. Bu bağlamda elmas, grafit, fulleren, tek duvarlı karbon nanotüp (SWCNT), çok duvarlı karbon nanotüp (MWCNT), gözenekli karbon (CM), grafen oksit (GO), indirgenmiş grafen oksit (rGO), grafen nanoplatelet (GnP) gibi karbon dolgular (KD'lar) araştırmacılar tarafından yoğun ilgi görmektedir. KD maddelerinin, tipleri, şekilleri, boy/en oranı, içsel iletkenliği, polimer matris ile uyumu ve düzgün dağıtılması, polimer nanokompozitlerin nihai

özelliklerini belirleyen önemli faktörlerdir [1]. Bu KD'lar olağanüstü optik, elektrik, elektronik, mekanik ve termal özelliklere sahiptir. Bu KD'lar arasında MWCNT birçok grafen tabakasından oluşur ve özellikleri temel olarak çap, boyut ve morfolojilerine bağlıdır. Elektriksel iletkenliği 10^3 - 10^5 S/cm aralığındadır [1]. Buna ek olarak yüksek en-boy oranı ve düşük kütle yoğunluğuna sahiptir. GNP ideal grafene yapısal benzerliği, diğer grafen formlarından daha ucuz olması ve büyük ölçekte temin edilebilmesi nedeniyle ilgi çekmektedir [2, 3]. GnP'ler 3-10 grafen tabakasından oluşur ve bu sayı 10'dan daha yüksek ise grafit olarak tanımlanır [4]. GnP'nin elektriksel iletkenliği, grafen tabaka sayısı ile yakından ilgilidir ve

*İlgili yazar: bahadir.mergen@deu.edu.tr

tabaka sayısı arttıkça azalır. Kalınlığı 50 nm, 5 nm ve 3 nm olan GnP'ler sırasıyla 7×10^2 S/cm, 1×10^3 S/cm ve $1,5 \times 10^3$ S/cm iletkenliğe sahiptir [5]. Ek olarak, GnP'ler biyoyumludur ve bu nedenle, biyo-kompozitlerin büyük ölçekli üretimi için ideal nano dolgu malzemeleri olarak ön plana çıkmaktadır [3, 6]. CM düşük maliyet, yüksek özgül yüzey alanı, geniş gözenekli hacmi, mekanik ve elektriksel özellikleri ile ön plana çıkmaktadır [7]. GO karboksil, hidroksil ve epoksi gibi oksijen içeren fonksiyonel gruplar içermesi nedeniyle suda ve bazı organik çözücülerde kolayca dağılıbilir. Geniş yüzey alanı, hidrofilik yapısı, düşük maliyeti nedeniyle çözelti karıştırma yöntemiyle üretilecek biyo-kompozitlerin hazırlanmasında sıklıkla tercih edilir [8, 9].

Kitosan (CS) dünyada en çok bulunan biyo polimerlerden biridir. CS, karides, yengeç, kaplumbağa ve böcekler gibi canlı organizmalardan elde edilen kitinden üretilen hidrofilik, yarı kristalin, doğrusal bir polisakarittir [10]. ABD Gıda ve İlaç İdaresi (FDA) tarafından Genel Olarak Güvenli (GARS) gıda katkı maddesi olarak tanınmaktadır. Ek olarak biyo-uyumlu ve biyobozunur olan CS, toksik olmaması, iyonikliği, antibakteriyel özelliği ve kolay film oluşturma yeteneğiyle ilgi çekmektedir [10]. CS'nin eşsiz özellikleri ve avantajlarına rağmen zayıf mekanik özellikleri, düşük elektrik iletkenliği ve termal iletkenliği endüstriyel kullanım alanlarını sınırlar [11]. CS matrisine ikinci faz olarak çok düşük miktarlarda bile KD eklendiğinde perkolatif ağlar oluşur ve kompozitin fiziksel özellikleri önemli ölçüde artar. Bu biyo-kompozitler ihtiyaca bağlı olarak ince filmler, hidrojeller, arojeller, vb. şekilde üretilebilir [12].

Elektronik teknolojisinin hızla gelişmesi ve yenilenebilir kaynaklardan enerji dönüşümü ile geleneksel malzemelerden farklı olarak, optik ve elektriksel özellikleri ayarlanabilen polimer kompozitlere olan ilgi giderek artmaktadır. Spektrofotometrik yöntemler, polimerik malzemelerin optik özelliklerinin incelenmesinde en yaygın kullanılan yollardan biridir ve özellikle polimer kompozitlerin bant aralığı enerjisinin (E_g) UV-Vis soğurma/yansıma verilerinden belirlenmesi belki de

en basit yöntemdir. Polimerik malzemelerin E_g değerlerinin doğru olarak belirlenmesi, uygulama alanlarının belirlenmesi ve bu malzemelerin performanslarının tahmin edilmesi için hayati önem taşımaktadır.

Bu çalışma kapsamında çözelti karıştırma yöntemi ile farklı karbon dolgular içeren CS kompozitler hazırlandı. Film haline getirmek için döndürerek kaplama yöntemi kullanıldı. Elektriksel direnç ölçümleri iki nokta (prob) tekniği ile gerçekleştirildi. Filmlerin optik özellikleri UV-Vis soğurma/yansıma verileri kullanılarak incelendi. Sonuçlar SEM görüntüleri ile desteklendi. Bu çalışmanın amacı, GO, CM, GNP ve MWCNT gibi farklı karbon dolguların eklenmesiyle elde edilen filmlerin elektriksel ve optik özelliklerini incelemek ve bu karbon dolgular arasında bir kıyaslama yapmaktır.

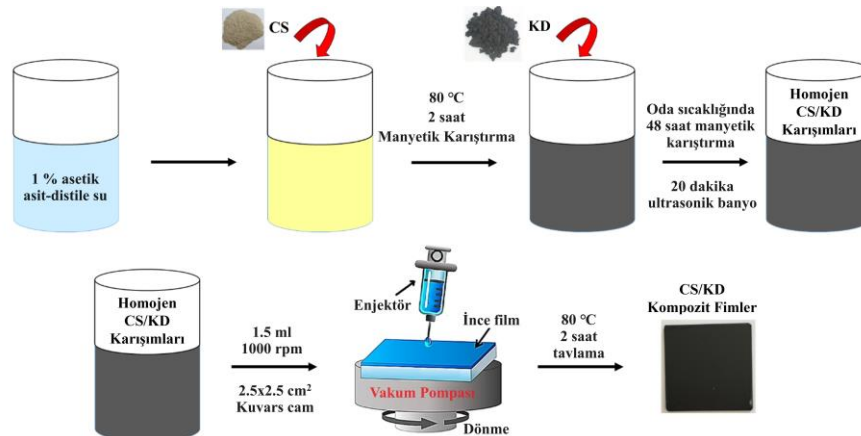
2. Materyal ve Metot

2.1. Malzemeler

Polymer matris CS (448869), karbon dolgular, GO (796034), CM (702102), GNP (806625) ve MWCNT (659258) Sigma-Aldrich firmasından temin edildi. Çözücü olarak %1 asetik asit ve distile su karışımı kullanıldı. Kaplanacak yüzey olarak UV ışığına şeffaf kuvars camlar kullanıldı.

2.2. CS/KD biyo-kompozit filmlerin hazırlanması

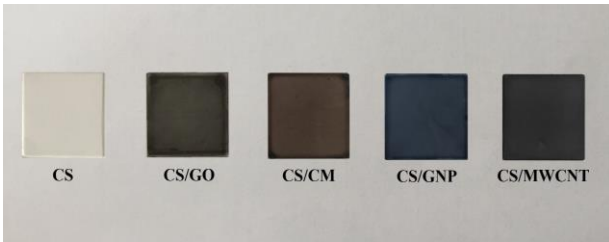
CS/KD filmleri üretmek için ilk olarak %1 asetik asit distile su karışımına 150 mg CS eklendi. CS'ı tamamen çözmek için manyetik karıştırıcıda 80°C 'de 2 saat karıştırıldı. Elde edilen CS çözeltilerine 50 mg KD (GO, CM, GNP, MWCNT) eklendi. Elde edilen karışımlar oda sıcaklığında 48 saat manyetik karıştırıcı ile karıştırıldı ve 20 dakika ultrasonik banyoda tutuldu. Böylece homojen CS/KD karışımları elde edildi. Bu karışımlardan 1.5 mL alınarak 60 sn'de, 1000 rpm'de 2.5×2.5 cm² kuvars camlar üzerine kaplandı. Son olarak filmler 80°C 'de kurutuldu (Şekil 1). Hazırlanan CS, CS/GO, CS/CM, CS/GNP ve CS/MWCNT filmlerin fotoğrafı Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 1. CS/KD biyo-kompozit filmlerin hazırlanışı

2.3. Karakterizasyon

CS ve CS/KD filmlerin elektriksel dirençleri laboratuvar sıcaklığı 24-26°C ve bağıl nem %55-60 aralığında tutularak alternatif polarite yöntemiyle ölçüldü. Ölçüm için ASTM D-257 standartına sahip Keithley Model 6517A elektrometre ve Keithley Model 8009 ölçüm hücresinin üç kat küçültülmüş versiyonu kullanıldı [13]. Her bir örnek 6 kez ölçüldü ve ortalama değerler kullanıldı. Filmlerin foton geçirgenliği Varian Cary 100 Bio UV-Visible spektrometre ile 190-600 nm aralığında ölçüldü. Film yüzeyi 6 farklı konumdan tarandı ve bu ölçümlerin ortalamaları kullanıldı. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) gözlemleri, alan emisyon taramalı elektron mikroskobu (Quanta FEG-250 SEM) kullanılarak gerçekleştirildi.

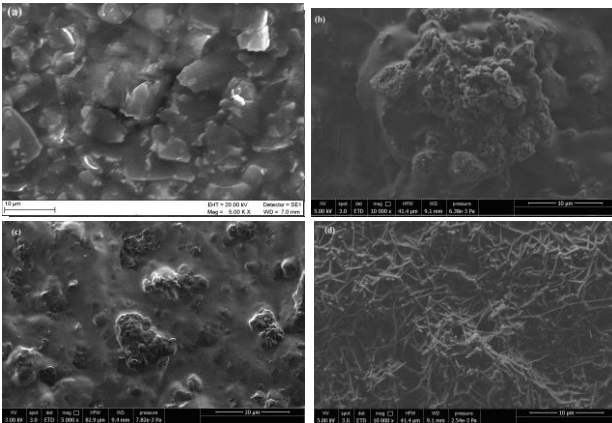


Şekil 2. Hazırlanan CS/KD biyo-kompozit filmlerin fotoğrafı

3. Bulgular

3.1. SEM analizi

Farklı büyütme altında alınmış filmlere ait SEM görüntüleri Şekil 3'te gösterilmektedir. Tüm kompozitlerde KD'ların CS içerisinde rastgele dağıldığı görülmektedir. Şekil 3(a)'da GO yapraklarının homojen dağıldığı görülmektedir. Şekil 3(b) ve (c)'de görüldüğü gibi CM ve GNP parçacıkları genelde küresel forma sahiptir. Şekil 3(d)'de ise MWCNT yığınları görülmektedir.



Şekil 3. (a) GO, (b) CM, (c) GNP, (d) MWCNT içeren biyo-kompozit filmlerin SEM görüntüleri

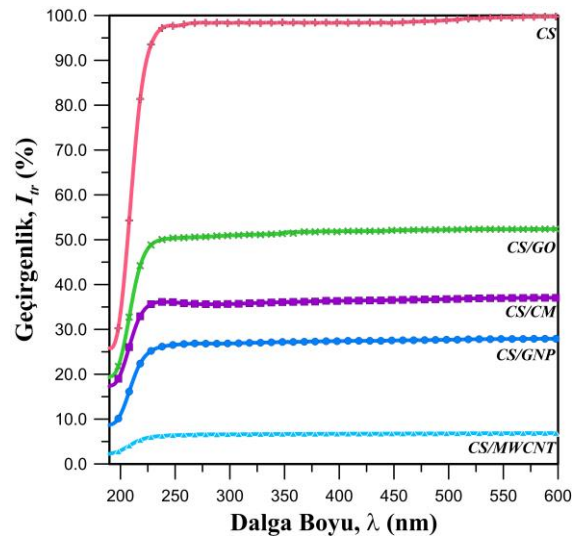
3.2. Elektriksel ölçüm sonuçları

CS ve CS/KD filmlere ait elektriksel ölçüm sonuçları Tablo 2'de verilmiştir. CS filmin elektriksel iletkenliği

1.6×10^{-7} S/m olarak ölçülmüştür. Yalıtkan CS matrisi içerisinde elektriksel iletkenlik, eklenen KD'lar sayesinde sağlanmaktadır. KD eklenerek elde edilen filmlerin elektriksel iletkenliklerinde belirgin bir artış olduğu görülmektedir. Bu artış KD'nun tipine, içsel iletkenliğine, en/boy oranına, dağılımına, yüzey işlevselliğine, yükleme miktarına ve hazırlama yöntemi gibi birçok faktöre bağlıdır [14]. MWCNT'nin elektriksel iletkenliği diğer KD'lara göre daha çok arttırdığı söylenebilir. CS filmlere göre, CS/GO filmlerin $\sim 10^3$ kat, CS/CM filmlerin $\sim 10^7$ kat, CS/GNP filmlerin $\sim 10^6$ kat ve CS/MWCNT filmlerin $\sim 10^9$ kat elektriksel iletkenlikleri artmıştır.

3.3. Optik ölçüm sonuçları

Elde edilen CS ve CS/KD filmlere ait geçirgenlik ölçümleri Şekil 4'te gösterilmiştir. Optik spektrumunda, UV aralığı genellikle, UV-A (315-400 nm), UV-B (280-315 nm), UV-C (200-280 nm) ve derin/vakum -UV (100-200 nm) alt bölgelerine ayrılır. Filmlere ait derin UV (190 nm) ve görünür bölge (450 nm) dalga boyu değerlerindeki ortalama geçirgenlik değerleri de Tablo 1'de verilmiştir. Tüm filmlerin geçirgenliği 600-250 nm dalga boyu aralığında neredeyse sabit iken, yaklaşık olarak 250 nm'den sonra azalmıştır. CS filmin görünür bölgede geçirgenliği %98 iken, CS/GO filmin ~ 52 , CS/CM filmin ~ 37 , CS/GNP filmin ~ 28 ve CS/MWNT filmin ~ 7 olduğu gözlenmiştir. Derin UV bölgesinde ise CS filmin geçirgenliği %26, CS/GO filmin ~ 19 , CS/CM filmin %17, CS/GNP filmin %9, CS/MWCNT filmin %2 olduğu gözlenmiştir.



Şekil 4. CS/KD biyo-kompozit filmlerin optik geçirgenlik ölçüm sonuçları

3.3.1. Soğurma (α) ve sönüm (k) katsayıları

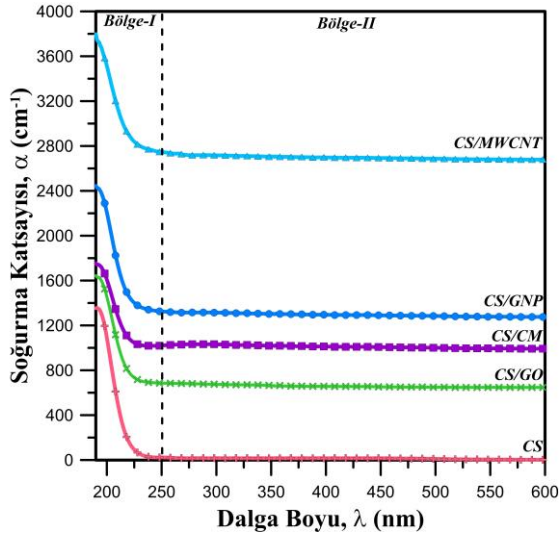
Soğurma katsayısı (α), malzemelerin optik özelliklerini belirleyen önemli parametrelerden biridir ve bir malzemenin belirli bir dalga boyundaki ışığı soğurma yeteneği olarak tanımlanır [15]. Soğurma katsayısının, soğurmaya bağlılığı aşağıdaki ifade ile verilir [11].

$$\alpha = \frac{(2.303)A}{d} \quad (1)$$

Burada A soğurma ve d örnek kalınlığıdır. CS/KD biyo-kompozitler için Denklem-1 kullanılarak elde edilen α değerlerinin dalga boyu ile değişimi Şekil 5'te verilmiştir. Biyo-kompozitlerin Bölge-I'de ($\lambda < 250$ nm) yüksek soğurma, Bölge-II'de ($\lambda > 250$ nm) düşük soğurma özelliklerine sahip olduğu görülmektedir. Dolayısıyla Bölge-I'deki fotonlar HOMO'daki (en yüksek işgal edilen moleküler orbital) elektronları, LUMO'ya (en düşük boş moleküler orbital) geçirmek için yeterli enerjiye sahipken, Bölge-II'deki fotonlar bunun için yeterli enerjiye sahip değildir. Sonuç olarak, KD'lar, Bölge-I'de biyo-kompozitlerin soğurma özelliklerini artırır.

Tablo 1. Hazırlanan örneklerin optik geçirgenliği

| Örnekler | Derin UV Bölgesi @190 nm | Görünür Bölge @450 nm |
|----------|-----------------------------|--------------------------|
| CS | %26 | %98 |
| CS/GO | %19 | %52 |
| CS/CM | %17 | %37 |
| CS/GNP | %9 | %28 |
| CS/MWCNT | %2 | %7 |



Şekil 5. CS/KD biyo-kompozit filmlerin soğurma katsayısının dalga boyu ile değişimi

Sönüm katsayısı (k), fotonik malzemeleri karakterize eden önemli bir parametredir ve optoelektronik uygulamalarda malzeme seçimi için gereklidir. Ek olarak k , bir ortam için saçılma ve soğurma yoluyla iletilen ışığın azalma oranının ölçüsüdür ve elektronik geçiş ihtimalini gösterir. k aşağıdaki ifade ile verilir [11].

$$k = \frac{\alpha\lambda}{4\pi} \quad (2)$$

CS/KD biyo-kompozitler için Denklem-2 kullanılarak hesaplanan k değerlerinin dalga boyu ile değişimi Şekil 6'da verilmiştir. Şekil 6'da, Şekil 5'te gösterildiği gibi iki farklı bölge gözlenmektedir. Şekil 6'da Bölge-

II'deki k değerleri azalan dalga boyu ile doğrusal olarak azalır ve ardından Bölge-I'de artar.

Hem α hem de k değerleri soğurma ile yakından ilgilidir ve soğurmanın artışıyla artar. MWCNT içeren biyo-kompozitin soğurma değerleri diğerlerine göre daha yüksek, dolayısıyla α ve k değerleri daha yüksektir. Sonuç olarak MWCNT içeren biyo-kompozitin enerji azaltma kabiliyetinin daha yüksek olduğu söylenebilir.

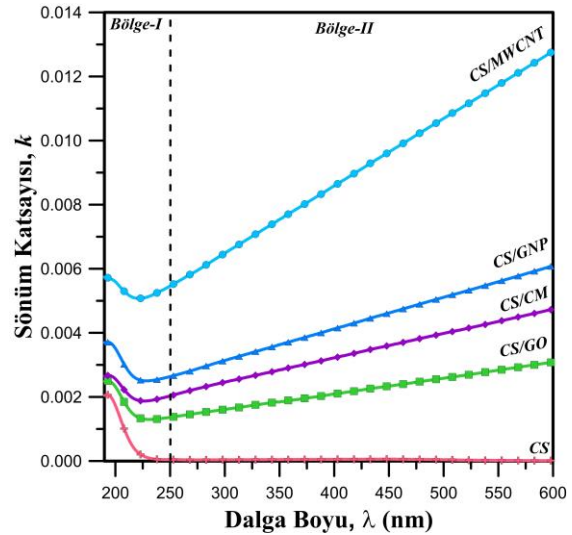
3.4. Optik bant aralığı enerjilerinin belirlenmesi

3.4.1. Tauc yöntemi

Yarı iletken malzemelerde, yüksek soğurma bölgesinde, soğurma katsayısı Tauc ilişkisi ile tanımlanmıştır ve gelen fotonun enerjisine aşağıdaki gibi bağlıdır [10].

$$\alpha h\nu = B(h\nu - E_g)^m \quad (3)$$

Burada α soğurma katsayısı, ($h\nu$) foton enerjisi, B sabit ve E_g değerlik ve iletim bandı arasındaki optik bant aralığı enerjisidir. m , elektron geçiş türünü veren parametredir. Denklem-3'te, $m=1/2$ doğrudan izinli ve $m=2$ dolaylı izinli geçişleri tanımlar. Şekil 7 ve Şekil 8, sırasıyla $m=1/2$ doğrudan izinli geçişleri ve $m=2$ dolaylı izinli geçişleri belirlemek için çizilen grafikleri göstermektedir. E_d ve E_i optik bant aralığı enerjileri, Şekil 7 ve Şekil 8'deki doğrusal çizgilerin ($h\nu$) eksenini kesme noktalarından hesaplandı. Elde edilen bant aralığı enerji değerleri Tablo 2'de verilmektedir.



Şekil 6. CS/KD biyo-kompozit filmlerin sönüm katsayısının dalga boyu ile değişimi

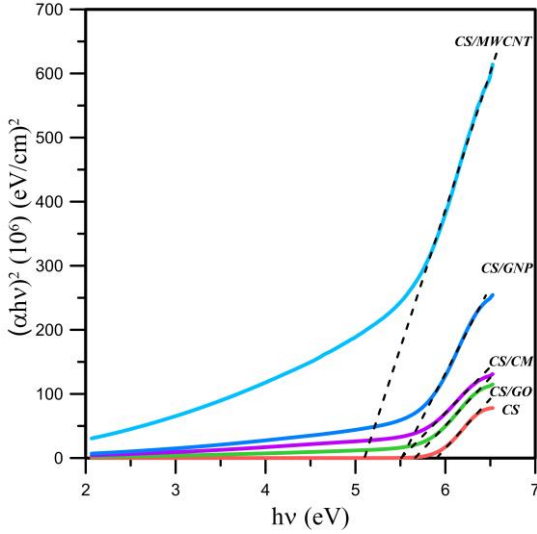
3.4.2. Soğurma spektrumunu fit etme (absorbance spectrum fitting, ASF) yöntemi

Tauc yönteminde, soğurma katsayısı belirlenirken film kalınlığına ihtiyaç duyulmaktadır. Film kalınlığına ihtiyaç duymadan doğrudan soğurma verilerini kullanan ASF yöntemi bu dezavantajı ortadan

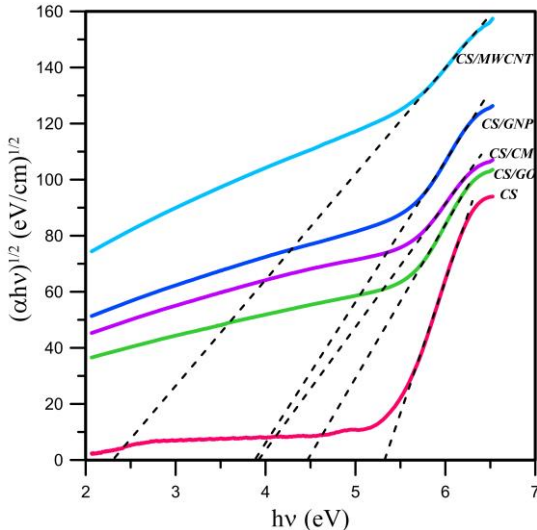
kaldırmak için geliştirilmiştir. ASF prosedürünü uygulayarak, Denklem 3 aşağıdaki gibi dönüştürülebilir [10]:

$$A(\lambda) = D_1 \lambda \left[\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda_g} \right]^m + D_2 \quad (4)$$

burada $A(\lambda)$, dalga boyu ile değişen soğurma değeri, λ_g , optik bant aralığı enerjisine karşılık gelen dalga boyu, D_1 ve D_2 sabitlerdir. λ_g değerleri, $(A\lambda^{-1})^{1/m'}$ 'e karşı λ^{-1} grafikleri çizerek Tauc yönteminde olduğu gibi elde edilir ve Denklem 5 aracılığıyla bant aralığı enerji değerini belirlemek için kullanılabilir.



Şekil 7. Direkt geçiş enerjilerini elde etmek için CS/KD biyo-kompozit filmlerin Tauc çizimleri

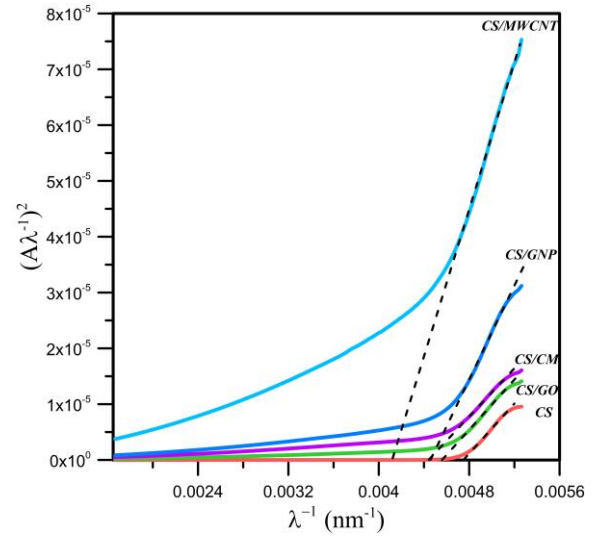


Şekil 8. İndirekt geçiş enerjilerini elde etmek için CS/KD biyo-kompozit filmlerin Tauc çizimleri

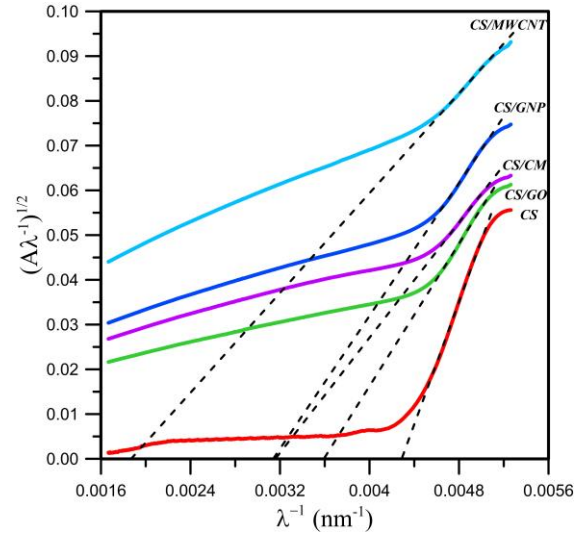
$$E_g = \frac{1239.83}{\lambda_g} \quad (5)$$

Doğrudan (E_d) ve dolaylı (E_i) izinli geçişler için, Şekil 9 ve Şekil 10'daki doğrusal çizgilerin λ^{-1} eksenindeki kesme noktasından λ_g değerleri belirlendi. Daha sonra

Denklem 5 kullanılarak hesaplanan bant aralığı enerji değerleri Tablo 2'de listelenmiştir.



Şekil 9. Direkt geçiş enerjilerini elde etmek için CS/KD biyo-kompozit filmlerin ASF çizimleri

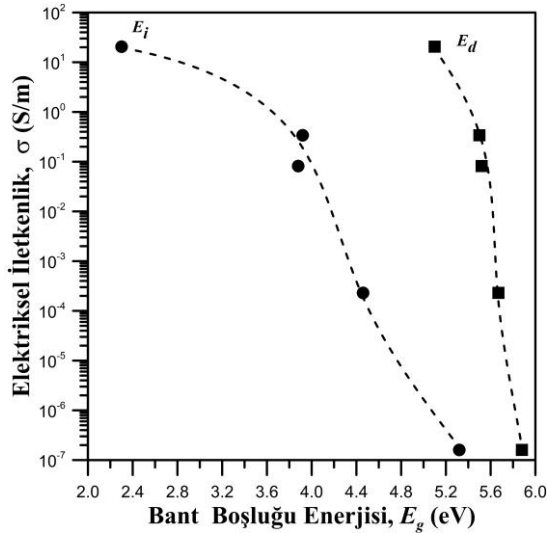


Şekil 10. İndirekt geçiş enerjilerini elde etmek için CS/KD biyo-kompozit filmlerin ASF çizimleri

Tablo 2'de görüldüğü gibi, Tauc ve ASF yöntemleriyle hesaplanan bant aralığı enerji değerleri hemen hemen aynıdır, bu da CS biyo-kompozitlerinde KD'ların homojenliğini ve iyi dağılımını yansıtır [15]. E_d ve E_i enerji değerlerinin CS matrisine eklenen KD'lar ile azaldığı görülmektedir. Bunun nedeni, yük transfer komplekslerinin oluşumu ve valans bandı ile iletim bandı arasında lokalize enerji durumlarının yaratılmasıdır [10]. Bu beklenen bir sonuçtur çünkü yalıtkan CS matrisine eklenen iletken katkı maddeleri biyo-kompozitlerin iletkenliğini artırır ve biyo-kompozitler yarı iletken/iletken duruma ulaşır. Bu sonuçlar Tauc ve ASF yöntemlerinin biyo-kompozitlerin bant aralığı enerjilerini hesaplamada birbiri ile uyumlu olduğunu göstermektedir.

CS/MWCNT Biyo-nanokompozitlerin optik bant aralığı üzerine yaptığımız çalışmamızda, hacimce % 4.87 MWCNT içeren kompozitlerin direkt bant aralığı değerinin 4.58 eV, indirekt bant aralığı değerinin 2.03 eV olduğunu belirlemiştik [16]. S.B. Aziz CS/CuO nanokompozitlerin optik özelliklerini inceledikleri çalışmasında CS'nin direkt bant aralığı değerini 5.24 eV olarak belirlemiş ve ağırlıkça % 12 CuO katkıyla 3.72 eV'a düştüğünü göstermiştir [17]. Başka bir çalışmada PVA/CS/Selenyum kompozit sistemi için direkt bant aralığı değerinin 5.81 eV'tan 3.68 eV'a, indirekt bant aralığı değerinin ise 4.97 eV'tan 3.68 eV'a düştüğü belirlenmiştir [18]. CS/KD biyo-kompozit filmler için belirlediğimiz optik bant aralığı değerleri literatürle uyumludur.

Şekil 11, biyo-kompozitlerin elektriksel iletkenliklerinin (σ), optik bant aralığı enerji değerlerindeki azalmaya paralel olarak arttığını göstermektedir. Elektriksel iletkenlik değerlerindeki değişim, optik bant aralığı enerjilerindeki azalmayı anlamlı kılmaktadır. İletkenlik için elde edilen maksimum 20.6 S/m değerine, $E_d=5.1$ eV ve $E_i=2.3$ eV değerleri karşı gelmektedir.



Şekil 11. CS/KD biyo-kompozit filmlerin elektriksel iletkenliklerinin, bant aralığı enerjine bağlı değişimi

3.5. Urbach enerjilerinin belirlenmesi

Polimer matrise dolgu maddeleri eklendiğinde, bantlar arası artan düzensizlik ve kusur seviyeleri, lokalize durumların genişliğinin artmasına neden olur. Urbach enerjisi (E_u), dolgu maddelerinin eklenmesinin neden olduğu optik bant aralığındaki lokalize kuyruk genişliği değişikliğini ifade eder. Birçok amorf ve kristal malzeme için, bantın kenarına yakın olan optik absorpsiyon katsayısı (α), foton enerjisine ($h\nu$) üstel bir bağımlılık gösterir ve Urbach tarafından aşağıda verilen ampirik ilişkiye uyar [16].

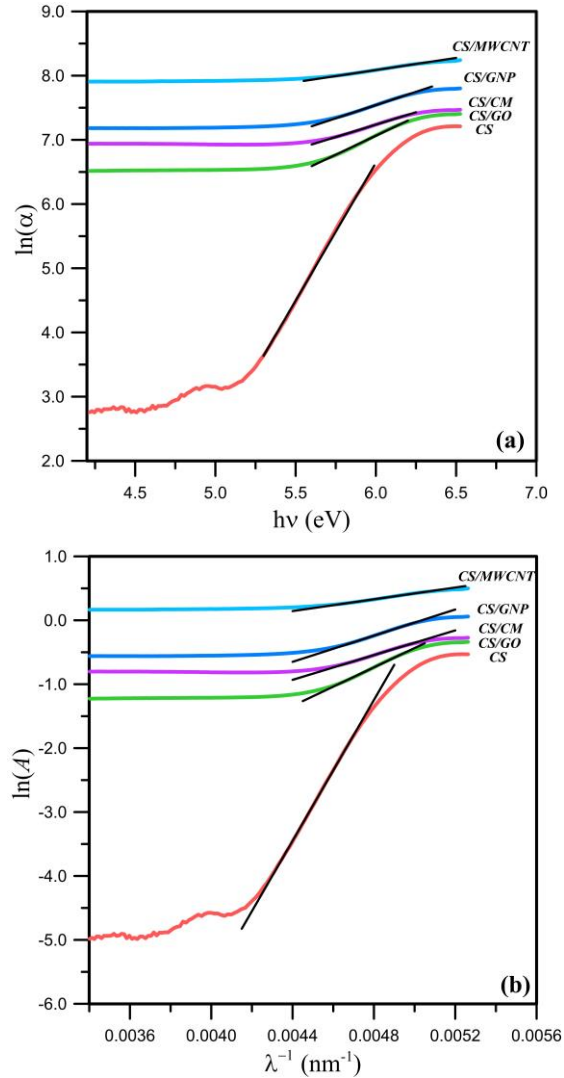
$$\alpha = \alpha_0 \exp\left(\frac{h\nu}{E_u}\right) \quad (6)$$

Burada α_0 bir üstel sabittir. E_u değerlerini belirlemek için Şekil 12a'daki $\ln\alpha - (h\nu)$ grafiğindeki teğetlerin ters eğimi kullanılır. CS/KD biyo-kompozitleri için bu şekilde elde edilen E_u değerleri Tablo 2'de verilmiştir.

Absorpsiyon katsayısı yerine, absorbans verileri kullanılarak Urbach enerjisi (E_u) belirlenebilir. ASF prosedüründe, Denklem 6 aşağıdaki şekilde yazılabilir [16]:

$$A(\lambda) = C \exp\left(\frac{hc}{E_u\lambda}\right) \quad (7)$$

burada C bir sabittir. Şekil 12b'de, E_u değerlerini belirlemek için, $\ln(A)$, (λ^{-1}) 'in bir fonksiyonu olarak çizilmiştir. E_u değerleri, Şekil 12b'deki teğetlerin eğimi ile $E_u=1239.83/\text{eğim}$ denklemi kullanılarak hesaplanmış ve Tablo 2'de verilmiştir.

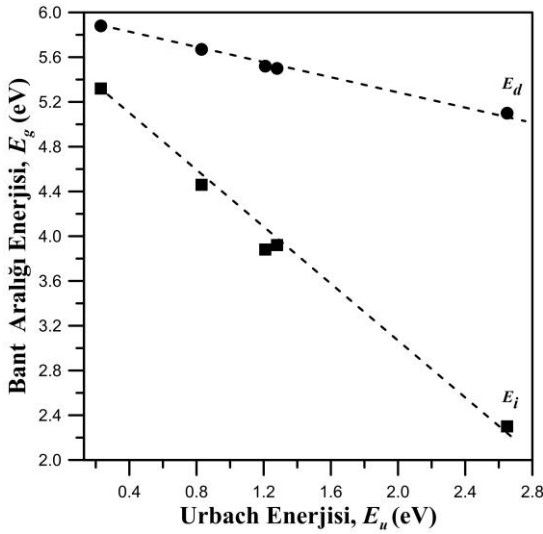


Şekil 12. Urbach enerjilerini elde etmek için CS/KD biyo-kompozit filmlerin (a) $\ln(\alpha) - hv$ (b) $\ln(A) - \lambda^{-1}$ çizimleri

Hem absorpsiyon hem de absorpsiyon katsayısı kullanılarak hesaplanan E_u değerlerinin tamamen aynı olduğu görülmüştür. E_u değerleri CS film için 0,23 eV olarak hesaplanmıştır. Tüm biyo-kompozitler içinde

en yüksek E_u değeri CS/MWCNT için (Tauc ve ASF prosedürü) 2.65 eV olarak hesaplanmıştır.

Şekil 13'te E_u değerlerinin E_g (E_d ve E_i) değerlerine bağlı değişimi verilmiştir. CS/KD biyo-kompozitlerin hem E_d hem de E_i değerlerinin artan E_u değerleri ile azaldığı görülür. Bu sonuç, KD'ların CS matrisine eklenmesinin, yapısal düzensizliği artırarak amorfliğin artmasına neden olduğunu göstermektedir [10]. Bu bozukluk, değerlik ve iletim bantları arasında lokalize durumların oluşumundan kaynaklanan alt-bant durumlarının varlığını doğrular [15, 16]. Bu sonuç bant aralığı değerlerindeki azalmayı anlamlı kılmaktadır. E_u değerleri arttıkça E_g değerlerinin düştüğü görülmektedir.



Şekil 13. CS/KD biyo-kompozit filmlerin bant aralığı enerjilerinin, Urbach enerjilerine bağlı değişimi

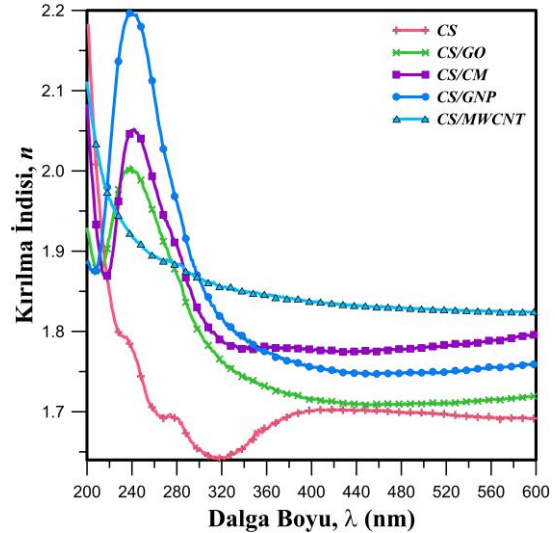
3.6. Kırılma indisi (n) değerlerinin belirlenmesi

Kırılma indisi (n), polimer kompozitlerin fotonik ve optoelektronik cihazlarda kullanıma uygunluğunu belirlemede çok önemli bir faktördür. Elektromanyetik dalganın dalga boyuna bağlı olan ve elektromanyetik dalganın boşluktaki hızının belirli bir malzemedeki hızına oranını ($n=c/v$) temsil eden değişken bir parametredir. Polimer kompozitlerin kırılma indisi, kompozitin bileşimi ve kalınlığı değiştirilerek ayarlanabilen ayarlanabilir bir parametredir [19, 20]. Polimer matrisine dolgu maddelerinin eklenmesi, birim hacim başına foton saçılma merkezlerinin sayısını artırır, bu da kompozit malzeme içinde hareket eden elektromanyetik dalgaların hızında bir azalma ile sonuçlanır. Sonuç olarak, nanokompozitin kırılma indisi, polimer kompozitteki dolgu maddesi ile artar. Kırılma indisinin dalga boyuna bağlılığı, aşağıdaki ifade belirlenebilir [15].

$$n = \frac{(1 + R)}{(1 - R)} + \sqrt{\frac{4R}{(1 - R)^2} - k^2} \quad (8)$$

Burada R , yansımaya ve k , sönüm katsayısıdır. Denklem 8 kullanılarak CS/KD biyo-kompozitler için dalga boyunun bir fonksiyonu olarak kırılma indisinin değişimi Şekil 14'te gösterilmiştir. Tüm biyo-kompozitler, 400 nm dalga boyunun üzerinde neredeyse doğrusal davranış sergilerken, 400 nm dalga boyunun altında artan foton enerjisi ile n hızla artar. Frekans arttıkça kırılma indisi değerindeki artış, malzemelerde bulunan elektron polarizasyonu ve yerel alanlarla ilgilidir [15].

CS/KD biyo-kompozitlerin $\lambda=440$ nm'deki kırılma indisi değerleri Tablo 2'de verilmiştir. Tablo 2 ve Şekil 14'te görüldüğü gibi, eklenen KD'lar ile n değerlerinin arttığı açıktır. Bunun nedeni, kompozitlere eklenen KD'ların foton-elektron etkileşimini artırması ve ışığın biyo-kompozit içinde daha fazla dolaşmasına izin vermesidir. Sonuç olarak CS film için 1.70 olan kırılma indisi değeri, MWCNT içeren biyo-kompozit için 1.83 değerine ulaşmaktadır.



Şekil 14. CS/KD biyo-kompozit filmlerin kırılma indisi değerlerinin dalga boyu ile değişimi

3.7. Optik iletkenlik (σ_{opt}) değerlerinin belirlenmesi

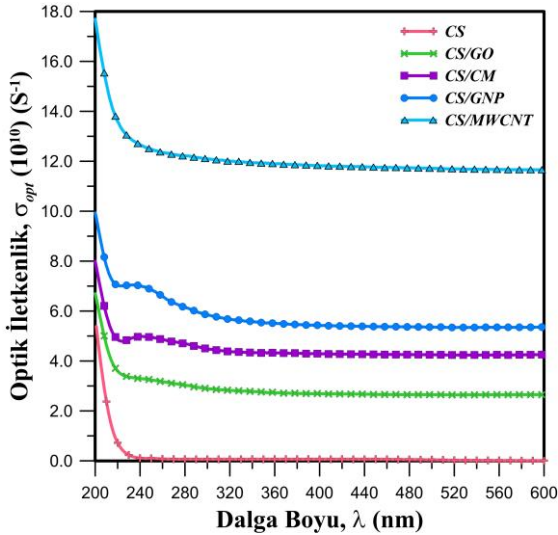
Bir yarı iletken malzeme, yeterli enerjiye sahip elektromanyetik radyasyonla etkileşime girdiğinde, elektronların valans bandından iletim bandına uyarılması sonucu elektriksel iletkenliği artar, bu foto iletkenlik olarak bilinir ve optik iletkenliğin (σ_{opt}) özel bir durumudur. [21]. Optik iletkenlik, malzemelerin elektronik halleri ve geçişleri hakkında bilgi veren önemli niceliklerden biridir [22]. Ek olarak, optik iletkenlik, malzemenin bir foton soğurması sırasında uyarılma nedeniyle yük taşıyıcıların difüzyonuna karşı malzemenin optik tepkisi olarak tanımlanabilir. Bir kompozit malzemenin optik iletkenliği (σ_{opt}), soğurma katsayısı (α) ve kırılma indisi (n) kullanılarak aşağıdaki denklem 9 ile hesaplanır.

Tablo 2. CS/KD biyo-kompozit filmler için elde edilen σ , n , E_u , E_g değerleri.

| Örnek | σ (S/m) | n (450 nm) | Tauc Yöntemi | | | ASF Yöntemi | | |
|----------|----------------------|-----------------|--------------|------------|------------|-------------|------------|------------|
| | | | E_d (eV) | E_i (eV) | E_u (eV) | E_d (eV) | E_i (eV) | E_u (eV) |
| CS | 1.6×10^{-7} | 1.70 | 5.88 | 5.32 | 0.23 | 5.88 | 5.32 | 0.23 |
| CS/GO | 2.3×10^{-4} | 1.71 | 5.67 | 4.46 | 0.83 | 5.67 | 4.45 | 0.83 |
| CS/CM | 3.4×10^{-1} | 1.77 | 5.50 | 3.92 | 1.28 | 5.50 | 3.91 | 1.28 |
| CS/GNP | 8.2×10^{-2} | 1.75 | 5.52 | 3.88 | 1.21 | 5.52 | 3.88 | 1.21 |
| CS/MWCNT | 20.6 | 1.83 | 5.10 | 2.30 | 2.65 | 5.10 | 2.30 | 2.65 |

$$\sigma_{opt} = \frac{\alpha nc}{4\pi} \quad (9)$$

Bu denklemde c , ışığın boşluktaki hızıdır. CS/KD biyo-kompozitler için 200–600 nm aralığında dalga boyunun bir fonksiyonu olarak optik iletkenliğin değişimi, Şekil 15’te gösterilmektedir. α , σ_{opt} ile doğru orantılıdır ve α ne kadar yüksekse, σ_{opt} değeri de o kadar yüksektir [23]. CS matrisine KD eklendikçe σ_{opt} değerlerinin arttığı açıktır. Bu artış, biyo-kompozitlerdeki yapısal düzensizlik arttığında salınan serbest yük taşıyıcıları ile ilgilidir [19].



Şekil 15. CS/KD biyo-kompozit filmlerin optik iletkenlik değerlerinin dalga boyu ile değişimi

4. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada, döndürerek kaplama tekniği ile dört farklı KD (GO, CM, GNP ve MWCNT) içeren CS/KD biyo-kompozit filmler hazırlanmıştır. CS/KD biyo-kompozit filmlerin elektriksel ve optik özellikleri yüzey özdirenci ve UV-Vis spektroskopisi yöntemleriyle incelenmiştir. CS/KD biyo-kompozitlerinin optik bant aralığı enerjileri Tauc ve ASF yöntemleri ile belirlendi. Ayrıca biyo-kompozitlerin soğurma katsayısı, sünüm katsayısı, kırılma indisi ve optik iletkenlikleri gibi optik parametreleri incelenmiştir. Bu çalışmanın sonuçları şu şekilde özetlenebilir:

- KD’ların CS matrisindeki düzdün dağılımı 3 boyutlu iletken ağların oluşmasına neden olarak nanokompozitlerin elektriksel iletkenliğini arttırdı. Elektriksel iletkenlik, CS için 1.6×10^{-7} S/m

değerinden, CS/MWCNT biyo-kompozit için 20.6 S/m değerine ulaşmıştır.

- Eklenen KD’lar biyo-kompozitlerin elektriksel iletkenliğini arttırırken, optik bant aralığı enerjisinin azalmasına neden olmuştur. Tauc ve ASF yöntemleri ile hesaplanan sonuçlar birbiri ile neredeyse aynıdır.
- Urbach enerji değerleri 0.23 eV’den 2.65 eV’ye artmıştır. Urbach enerji değerlerindeki artış, biyo-kompozitlerdeki serbest taşıyıcıların arttığını ve bantlar arası lokalize enerji durumlarının oluştuğunu, bunun sonucunda kompozitlerin optik bant aralığı enerji değerlerinin azaldığını kanıtlamıştır.
- KD katkısı sonucunda E_u değerlerindeki artış, biyo-kompozitlerin heterojenlik seviyesindeki artış olarak yorumlanmıştır. Biyo-kompozitlerdeki heterojenliğin artması, saçılma merkezlerinin sayısındaki, yani kompozit yapıdaki KD miktarındaki artıştan kaynaklanmaktadır. Bu durum, KD’ya bağlı olarak kırılma indisindeki artışla da desteklenmektedir.
- Biyo-kompozit filmlerin optik iletkenliği 10^{10} – 10^{11} S⁻¹ aralığında bulunmuştur. Kompozitlerde KD içeriğinin artmasıyla oluşan düzensizlik ve lokalize durumlar, tüm optik parametrelerde gözlenen değişimden sorumludur. Kompozitlerde Urbach enerjilerindeki artış, optik bant aralığı enerjilerindeki bu değişimi önemli kılmaktadır.
- Bu sonuçlar, CS/KD biyo-kompozitlerin, gıda paketlenme, biyotıp, biyosensör, UV koruma ve enerji dönüşümü uygulamaları birçok uygulama için optimize edilmiş özelliklerle büyük bir potansiyele sahip olduğunu göstermektedir.

Teşekkür

Bu çalışma Trakya Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri birimi (Proje No: TUBAP 2021/91) tarafından desteklenmiştir.

Etik Beyanı

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

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

Kaynakça

- [1] Mergen, Ö.B., Arda, E., Evingür, G.A. 2020. Electrical, mechanical, and optical changes in MWCNT-doped PMMA composite films. *Journal of Composite Materials*, 54(18), 2449–2459.
- [2] Al-Saleh, M.H., Jawad, S.A. 2016. Graphene Nanoplatelet–Polystyrene Nanocomposite: Dielectric and Charge Storage Behaviors. *Journal of Electronic Materials*, 45(7), 3532-3539.
- [3] Kau, T., Thirugnanam, A., Pramanik, K. 2017. Effect of carboxylated graphene nanoplatelets on mechanical and in-vitro biological properties of polyvinyl alcohol nanocomposite scaffolds for bone tissue engineering. *Materials Today Communications*, 12, 34-42.
- [4] Hussin, N., Ibrahim, M.H., Ahmad, F., Yahaya, H., Harun, S. W. 2017. Graphene Nanoplatelets (GnP)-PVA Based Passive Saturable Absorber. *TELKOMNIKA*, 15(2), 814-819.
- [5] Marsden, A.J., Papageorgiou, D.G., Vallés, C., Liscio, A., Palermo, V., Bissett, M.A., Young, R.J., Kinloch, I.A. 2018. Electrical percolation in graphene-polymer composites. *2D Materials*. 5, 032003.
- [6] Wu, G., Huang, T., Huang, J. 2018. Ultrasonic-Assisted Synthesis and Enhancement of Chitosan/Graphene Nanosheet Composites. *Polymer Composites*. 39, 4217–4223.
- [7] Mergen, Ö.B., Arda, E., Evingür, G.A. 2020. Electrical, optical, and mechanical percolations of multi-walled carbon nanotube and carbon mesoporous-doped polystyrene composites. *Journal of Composite Materials*. 54(1), 31–44.
- [8] Saladino, M.L., Markowska, M., Carmone, C., Cancemi, P., Alduina, R., Presentato, A., Scaffaro, R., Biały, D., Hasiak, M., Hreniak, D., Wawrzynska, M. 2020. Graphene Oxide Carboxymethylcellulose Nanocomposite for Dressing Materials. *Materials*. 13, 1980.
- [9] Yadav, M., Rhee, K.Y., Jung, I.H., Park, S.J. 2013. Eco-friendly synthesis, characterization and properties of a sodium carboxymethyl cellulose/graphene oxide nanocomposite film. *Cellulose*. 20, 687–698.
- [10] Mergen, Ö.B. 2021. Effect of MWCNT addition on the optical band gap of PVA/CS transient biocomposites. *Journal of Composite Materials*. 55(29), 4347–4359.
- [11] Mergen, Ö.B. 2021. CS/PVA/PVP/GO Hibrit Kompozitlerin Hazırlanması ve Optik Bant Boşluğu Enerjilerinin Belirlenmesi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*. 21(011102), 46-55.
- [12] Huang, Y., Kormakov, S., He, X., Gao, X., Zheng, X., Liu, Y., Sun, J., Wu, D. 2019. Conductive Polymer Composites from Renewable Resources: An Overview of Preparation, Properties, and Applications. *Polymers*. 11, 187.
- [13] Kara, S., Arda, E., Dolaştır, F., Pekcan, Ö. 2010. Electrical and optical percolations of polystyrene latex–multiwalled carbon nanotube composites. *Journal of Colloid and Interface Science*. 344, 395–401.
- [14] Punetha, V.D., Rana, S., Yoo, H.J., Chaurasia, A., McLeskey Jr., J. T., Ramasamy, M. S., Sahoo, N. G., Cho, J. W. 2017. Functionalization of carbon nanomaterials for advanced polymernanocomposites: A comparison study between CNT and graphene. *Progress in Polymer Science*. 67, 1–47.
- [15] Mergen, Ö.B., Arda, E. 2023. Electrical, optical and dielectric properties of polyvinylpyrrolidone / graphene nanoplatelet nanocomposites. *Optical Materials*. 139, 113823.
- [16] Mergen, Ö.B., Arda, E. 2020. Determination of Optical Band Gap Energies of CS/MWCNT Bio-nanocomposites by Tauc and ASF Methods. *Synthetic Metals*. 269, 116539.
- [17] Aziz, S.B. 2017. Morphological and Optical Characteristics of Chitosan_(1-x):CuO_x (4 ≤ x ≤ 12) Based Polymer Nano-Composites: Optical Dielectric Loss as an Alternative Method for Tauc’s Model. *Nanomaterials*. 7, 444.
- [18] Menazea, A.A., Ismail, A.M., Awwad, N.S., Ibrahim, H.A. 2020. Physical characterization and antibacterial activity of PVA / Chitosan matrix doped by selenium nanoparticles prepared via one-pot laser ablation route. *Journal of Materials Research and Technology*. 9(5), 9598–9606.
- [19] Dhatarwal, P., Sengwa, R.J. 2021. Nanofiller controllable optical parameters and improved thermal properties of (PVP/PEO) / Al₂O₃ and (PVP/PEO) / SiO₂ nanocomposites *Optik* 233, 166594.
- [20] Ahmed, R. M. (2009). Optical study on poly (methyl methacrylate)/poly (vinyl acetate) blends. *International Journal of photoenergy*, 2009.
- [21] Veena, G., Lobo, B. 2019. Dispersive parameters of oxidized PVA-PVP blend films. *Turkish Journal of Physics*. 43, 337–354.
- [22] Farag, A.A. M., Yahia, I.S., Yakuphanoglu, F., Kandaz, M., Farooq, W. A. 2012. Optical properties and the dispersion parameters of new zinc Phthalocyanine benzofuran derivative prepared by non-vacuum spin coating technique. *Optics Communications*. 285, 3122–3127.
- [23] Soni, G., Jangir, R.K. 2021. Effect of temperature nano graphite doped

polymethylmethacrylate (PMMA) composite
flexible thin films prepared by solution casting:
Synthesis, optical and electrical properties. Optik.
226, 165915.

New Faunistic Data for Asilidae (Diptera) Fauna of Türkiye with Specimens Caught by Pitfall Traps

Ebru Ceren FİDAN^{*1}, Adem ASLAN², Davut Ümit ŞİRİN³, Hakan ÇALIŞKAN⁴

^{1,3,4}Eskişehir Osmangazi University, Faculty of Science, Department of Biology, 26480, Eskişehir, Türkiye
²Eskişehir Osmangazi University, Mahmudiye Horse Breeding Vocational School, 26800, Eskişehir, Türkiye

(Alınış / Received: 21.06.2023, Kabul / Accepted: 24.08.2023, Online Yayınlanma / Published Online: 25.12.2023)

Keywords

Epitriptus,
Dysmachus,
Erax,
Robberfly,
Pitfall trap.

Abstract: This paper presents three species of robber flies collected by the pitfall trap in 2012 from 5 different habitats in Turkmen mountains, which is not widely used in sampling for these insects but is used as a standard catch method in many different insect families. These species are *Epitriptus micans* (Meigen, 1820), *Dysmachus fuscipennis* (Meigen, 1820) and *Erax hayati* Tomasovic, 2002. *Epitriptus micans* is a new record for the fauna of Türkiye, and all of them were also first recorded in Türkmen Mountains. Additionally, *Erax hayati*, has been reported for the second time since its description from Türkiye, after its type locality, Malatya. The study was compared with other studies in which different capture methods were applied. Brief taxonomic remarks with figures and distributional data are given for each species.

Türkiye Asilidae (Diptera) Faunası İçin Çukur Tuzaklarla Yakalanan Örneklerle Yeni Faunistik Veriler

Anahtar Kelimeler

Epitriptus,
Dysmachus,
Erax,
Haydut sinek,
Çukur tuzak

Öz: Bu makalede, 2012 yılında Türkmen Dağları'nda 5 farklı habitattan, bu grubun örneklenmesinde yaygın olarak kullanılmayan fakat birçok farklı böcek familyasında yaygın yakalama metodu olarak kullanılan çukur tuzak ile yakalanan, 3 haydut sinek türü sunulmaktadır. Bu türler, *Epitriptus micans* (Meigen, 1820), *Dysmachus fuscipennis* (Meigen, 1820) ve *Erax hayati* Tomasovic, 2002 türleridir. *Epitriptus micans*, Türkiye faunası için yeni kayıttır. Ayrıca, türlerin hepsi Türkmen Dağı'nda ilk kez kaydedilmiştir. Ek olarak, tip lokalitesi Malatya'da bulunan *Erax hayati*, tanımlanmasından bu yana Türkiye'den ikinci kez rapor edilmiştir. Çalışmada uygulanan yöntem farklı yakalama yöntemlerinin uygulandığı diğer çalışmalarla karşılaştırılmıştır. Her türün fotoğrafları ve dağılım bilgileriyle birlikte kısa taksonomik açıklamalar verilmiştir.

1. Introduction

Robber flies (Asilidae) are predatory and well-flying dipterans that feed mainly on insects and other arthropods [1]. Approximately 7,500 described and validated species are known worldwide [2]. They are an essential group in ecosystems because of their ecological role as predators and contribute to maintaining balance in insect populations. Therefore, robber flies are generally considered good bioindicators for the conservation of ecosystems [3]. It is known that there are 241 species of these flies belonging to 63 genera in Türkiye [1]. However, considering its zoogeographic position and rich biodiversity potential, Anatolia is likely to host many more species of the family.

Exploring the richness of the world's biodiversity has long been a primary concern of biologists [4]. Insects constitute the most species-rich organism group in nature, especially with their diversity in terrestrial habitats, but anthropogenic habitat destruction and climate change threaten these organisms and other living things [5]. In order to protect biodiversity in the habitat and reduce losses, first of all, the current situation must be analyzed correctly. Sampling methods most suitable for the target organism are a prerequisite for revealing species richness. Entomologists use many sampling methods to study insects' ecology, diversity, and conservation. Commonly used methods for sampling flying insects are light, suction, pan, sticky, baited, interception, and Malaise traps [3].

*Corresponding author: ebruceren@ogu.edu.tr

The sampling method used for Asilidae in classical faunistic surveys is commonly sweeping vegetation and individual hunting [6]. However, different traps and even combined sampling methods are needed in studies such as species richness, conservation biology, or population dynamics of these insects because family members have many different habitat preferences and behavioral characteristics [3]. In recent years, some researchers have suggested alternative methods such as Malaise, pitfall, and pan traps as sampling methods in studies mainly focus on the bioecology of robber flies [2;7]. This study aims to report the robber fly specimens caught by pitfall traps for the first time from Anatolia. Asilidae specimens were found in pitfall traps for research on ground beetle diversity and seasonal activity (Coleoptera: Carabidae) in the Türkmen Mountains. Three robber fly species belonging to 3 genera were caught in the sampling studies carried out periodically in different habitats at different altitudes for about a year.

2. Materials and Methods

2.1. Study area

This study was carried out between May to November 2012 in the Türkmen Mountains, located within the Aegean and Central Anatolian Regions and the provincial borders of Kütahya and Eskişehir (Figure 1). According to the geographical coordinate system, Türkmen Mountains is located between 39°15'–39°39' northern latitudes and 30°06'–30°35' east longitudes. It is a mountain mass extending in the northwest-southeast direction, and the average altitude is about 700 to 1850 meters. The dominant vegetation elements of the mountains are *Pinus nigra* (black pine), *Pinus sylvestris* (yellow pine), *Quercus robur* (Oak), and *Fagus orientalis* (birch tree) [8;9].

Pitfall traps were set up in 5 different habitats selected at different altitudes on the mountain for sampling (Table 1).

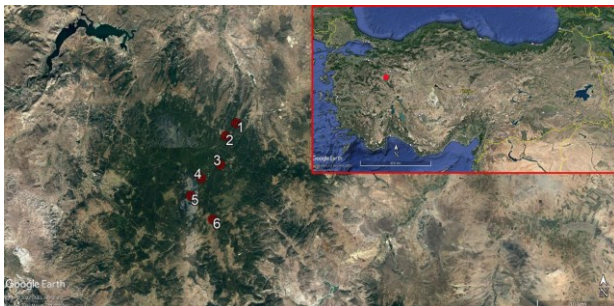


Figure 1. Map of the collecting sites in Türkmen Mountain (Numbers on the map refer to Table 1); The Red mark on the Türkiye map refers to the Türkmen Mountain.

Table 1. Altitudes, coordinates, and habitat features of the study sites.

| Study site | Altitudes (m) | Coordinates | | Habitat type |
|------------|---------------|-------------|-----------|-----------------------------|
| | | N | E | |
| 1 | 800 | 39°33'320 | 30°24'470 | Stream bed |
| 2 | 998 | 39°32'143 | 30°24'750 | Open pine forest |
| 3 | 1110 | 39°31'198 | 30°23'742 | Pine forest with shrubbery |
| 4 | 1405 | 39 29 307 | 30 21 141 | Beech forest with shrubbery |
| 5 | 1577 | 39°29'278 | 30°22'272 | Shrubbery |
| 6 | 1700 | 39°26'210 | 30°22'360 | Close pine forest |

2.2. Sampling and Identification

Five traps were set in each locality, spaced 20 meters apart, and placed in an envelope-like plan. Traps are plastic containers 12 cm in diameter and 11 cm in depth containing a mixture of vine-vinegar and salt as fixative (Figure 2). Traps were checked twice a month, and samples were collected. The collected samples were dried and pinned. All specimens are preserved in the Entomology Collection of Eskişehir Osmangazi University, Science Faculty, Eskişehir, Türkiye.

In the study, 20 (8 males and 12 females) individuals were examined according to the method by [10]. A stereomicroscope (Leica MZ 16) was used for examination, and Leica DFC 490 imaging system was used for imaging. Identification keys and descriptions prepared by [6], [11], [12], [13], [14] were used. The nomenclature follows that of [15].



Figure 2. General view of pitfall traps (photo by ECF).

3. Results

This study reports robber fly specimens caught by pitfall traps for the first time from Anatolia. Asilidae specimens were found in pitfall traps using for research focused on the diversity and seasonal activity of ground beetles (Coleoptera: Carabidae) in the Türkmen Mountains. Three robber fly species belonging to 3 genera were caught in the sampling studies carried out periodically in different habitats at different altitudes for about a year. It was determined that robber fly specimens caught in pitfall traps belonged to 3 different species: *Epitriptus micans* (Meigen, 1820) (8 females and three males), *Dysmachus fuscipennis* (Meigen, 1820) (1 female), and *Erax hayati* Tomasovic, 2002 (3 females and five males) brief taxonomic remarks of the species along with the material and distributional information provided below.

ASILINAE

Epitriptus Loew, 1849

Epitriptus micans (Meigen, 1820); **New Record** (Appendix A.)

Material examined: **Site 1.** 1 ♀, 800 m, 07.xi.2012; **Site 2.** 1 ♂, 998 m, 21.x.2012; **Site 3.** 2 ♀♀, 1110 m, 1 ♂, 1110 m, 15.v.2012; **Site 6:** 1 ♀, 1700 m, 01.viii.2012; 2 ♀♀, 1700 m, 30.viii.2012; 1 ♂, 1 ♀, 1700 m, 1 ♀, 1700 m, 17.ix.2012.

Distribution: Belgium, Czechia, Germany [14].

Distribution in Türkiye: New record.

Description

Body: Color is dark grayish brown, 12–18 mm in length.

Head: Facial gibbosity is wide, facial beard primarily black, with white hair on the underside. Postocular setae black, occipital setae white. The second segment on the antenna is half the size of the first segment; the third segment is flat and wide, and the stylus is long and thin.

Thorax: Tomentum grayish brown, all short and long setae are black on the scutum. There are thin and moderately short white and black hairs on the top of the scutellum with 3-4 marginal setae on the scutellum. Wings clear with light brown veins. Anterior side of femora black, with a small red spot before apex, Posterior side of front femur usually brownish red in apical half, middle and hind femora with a narrow posterodorsal brownish red stripe, tibiae brownish red with a black apex and black stripe on the interior side. Tarsomers brownish red and the apex of each tarsomer is black.

Abdomen: Tergites and sternites grayish brown, first tergite with black hairs and bristles along the posterior side, other tergites with weaker white bristles.

Dysmachus Loew, 1860

Dysmachus fuscipennis (Meigen, 1820)

(Appendix B)

Material examined: **Site 5.** 1 ♀, 1577 m, 19.vi.2012

Distribution: Albania, Azerbaijan, Bulgaria, Czechia, France, Germany, Greece, Italy, Hungary, Moldova, Kazakhstan, Poland, Romania, Russia, Switzerland, Transcaucasia, Türkiye, Ukraine, West Siberia, and former Yugoslavia [14].

Distribution in Türkiye: Bitlis, Bursa, Çanakkale, Diyarbakır, Kütahya, [16], Erzincan [17]; Bingöl, İcel, Kars, Sivas, Van, [18]; Bursa, Çanakkale, Eskişehir, [19; 20].

Description: Since there is no different taxonomic observation for this species, which is one of the most common robber fly species in the Palearctic Region and Anatolia, its known descriptive features are not given.

Erax Scopoli, 1763

Erax hayati Tomasovic, 2002 (Appendix C.)

Material examined: **Site 3.** 1 ♀, 1110 m, 4 ♂♂, 1110 m, 15.v.2012; **Site 6.** 1 ♂, 1700 m, 04.x.2012; **Site 4.** 2 ♀♀, 1405 m, 19.vi.2012.

Distribution: It is endemic to Türkiye [20].

Distribution in Türkiye: Çayköy (Pütürge, Malatya) [12].

Description

Body: Length 15 to 23 mm. Male coloration greyish (Appendix C.).

Head: Face tubercle large, covering most of face, with a distinct dorsal ledge. Beard dense, with very long, thin setae which are mainly white in the middle and black dorsally and laterally. First antennal segment longer than the second, with white and a few black hairs. Segment 3 very slender, longer than segments 1+2, tapering. Arista shorter than half of the third segment. Frons with black and a few white hairs. Ocellar tubercle low, with black hairs. Occipital setae long, thin, brownish-yellow. Palps long, slender with yellowish hairs. Setae black.

Thorax: Pronotum with hairs. Mesonotum with greyish tomentum and a narrow dark median stripe which is slightly narrower than the vertex and is divided by a pale narrow stripe. The dark stripe ends in the middle of the postscutum and there is also a wedge-shaped dark stripe before the scutellum. Lateral dark areas indistinct, divided by tomentum at the suture. Hairs long, black in the greater part. White, long hairs between the posterior dorsocentrals. Setae: 2 notopleural, 3-4 supraalar, 3 long and several shorter postalar, 10-12 dorsocentral to middle of prescutum, 2-5 scutellar. Pleurae with greyish-brown tomentum, with long black hairs dorsally, sparse white hairs ventrally. Scutellum with long white hairs. Wings: With dark spots at cross veins and forks. Microtrichia more or less distinct at the apex. Cell r5, broadly open. Halteres with yellowish stalk and dark head. Legs: Fore and mid-femora black ventrally and anteriorly, reddish-brown dorsally. Hind femora black, with a dorsoposterior

reddish-brown stripe. Fore femora with only long hairs ventrally, mid and hind femora with thin, black or white setae. Fore and mid-tibiae black anteriorly, reddish-brown posteriorly, hind tibiae black, reddish only dorsally at the base. Tarsi reddish-brown.

Abdomen: Greyish to mentum, tergites darker in the middle at certain angles of incidence of light, except at the posterior margin. Discal setae on tergites 1-7 yellowish or a few setae in the middle black. Some setae seen in lateral part of tergites. Hairs on tergites short, black in the middle, whitish laterally. Sternites with some yellowish setae near the posterior margin and with long, black and white hairs.

Male genitalia: Hypopygium black. Parts of the epandrium thin, with a narrower quarter, with a rounded tip and a dense group of short black spines within. Aedeagus with wide sheath. Dististylus slender, flat and curled, hypandrium deeply concave posteriorly.

4. Discussion and Conclusion

The results of the study provided new contributions to the information about the Turkish Asilidae Fauna. The presence of *Dysmachus fuscipennis*, which has a wide distribution both in the Palearctic region and in Türkiye, is not surprising in the Türkmen Mountains. *Epitriptus micans*, known in Central Europe, was recorded for the first time in Anatolia. The taxonomical features observed in both male and female material of it confirm with the description in Geller- Grimm, 2003 [14]. This record formed the west boundary of the distribution of the species in the Palearctic region and the number of Turkish robber fly species reached 242. *Erax hayati* was firstly described by Tomasovic, 2002 [12], from a single locality in Çayköy (Pütürge, Malatya) and is endemic to Anatolia [21]. So far it has not been reported from any other part of the country and is recorded from Anatolia for the second time in this study after 20 years. The identification of the species was confirmed by the author, Tomasovic, who described it.

There are many species in Asilidae that differ from each other in terms of their bioecological characteristics such as habitat preference, hunting behavior and flight activity [22]. Therefore, different researchers report that the performance of the sampling method to be preferred for these insects depends on the different characteristics and habitat preferences of the species [3;7;2].

McCravy, 2017 [3] states that as a result of long-term sampling in different habitats using the Malaise trap, it can be preferred as an effective sampling method for robber flies, but the trap performance may vary depending on the species and habitat type. Similarly, Dekoninck et al. 2018, [7] emphasized that the number and species of robber flies caught in the traps vary greatly in their periodic sampling using three

different trap techniques (yellow pan trap, white pan trap and pitfall trap).

In this study, Asilidae specimens that fell into the pitfall traps set for the ground beetles were evaluated. The most common species in the traps was *Epitriptus micans* and totally 11 individuals were caught in four different sites in May, August, September, October and November. Dekoninck et al. 2018, [7] stated that *Tolmerus atricapillus* was caught in pitfall traps, but more specimens were collected with yellow pan trap and white pan trap. Considering both our results and that of Dekoninck et al. 2018 [7], it may be thought that pitfall trap can be used in sampling for *Epitriptus* spp.

During the one-year sampling period in the study area, only one *Dysmachus fuscipennis* individual was caught in the pitfall traps. According to this result, we think that this individual may have been caught by chance or that the species may be not common in the region. So, whether the pitfall trap is an effective capture method for *D. fuscipennis* can only be revealed with further research. On the other hand, Dekoninck et al. 2018 [7], reported that *Dysmachus trigonus* was the most abundant species caught by pitfall trap. These two different results from two different species of the same genus suggest that species-specific behavioral differences may affect pitfall trap performance for Asilidae specimens.

The last species found in the traps was *Erax hayati*. There is no information in the literature regarding individuals of this genus were caught by pitfall traps. Therefore, the result is the first data that pitfall traps can be an alternative collecting method for *Erax* spp. We know that with the limited data gathered from a study essentially focusing on another insect group, it would not be sufficient to propose a suitable capture method for a large taxon such as Asilidae. However, since a significant number of individuals were caught in traps, as seen in *Epitriptus micans*, we think that the pitfall trap may be an alternative sampling method for robber flies together with the other methods. As highlighted by McCravy, 2017 [3] and Dekoninck et al. 2018 [7], more research is needed on the effectiveness of this economical and easy method for all family members.

Acknowledgement

We are thankful to Dr. Guy Tomasovic (retired from Liege University, Belgium) for his useful advice confirming to the species identifications. This work has been supported by Eskisehir Osmangazi University Scientific Research Projects Coordination Unit under grant number ESOGUBAP-201219A102.

Declaration of Ethical Code

In this study, we undertake that all the rules required to be followed within the scope of the "Higher

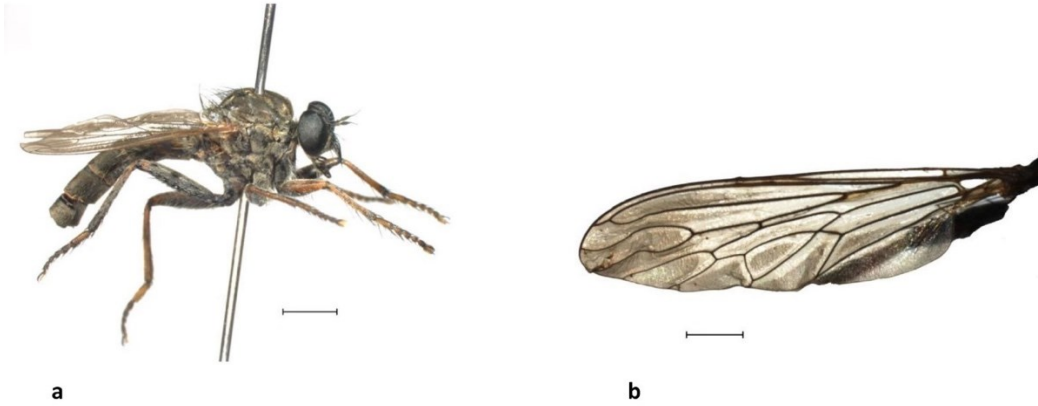
Education Institutions Scientific Research and Publication Ethics Directive" are complied with, and that none of the actions stated under the heading "Actions Against Scientific Research and Publication Ethics" are not carried out.

References

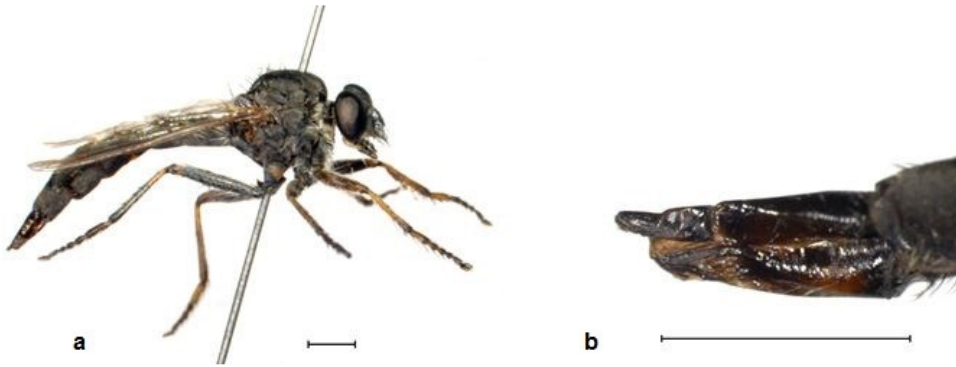
- [1] Çalışkan, H., Şirin, D.Ü., Aslan, A., Fidan, E.C., Şahin, Y. 2021. Five new records for Turkish robber flies (Diptera: Asilidae) fauna. Journal of the Entomological Research Society, 22(3), 239-254. <https://doi.org/10.51963/jers.v22i3.1836>
- [2] Bello-Morales, F.A., Sandoval-Ruiz, C.A., Estrada, A. 2020. Diversity of robber flies (Diptera: Asilidae) in a tropical deciduous forest of central Mexico. Acta Zoológica Mexicana, (nuevaserie) 36, 1-13. <https://doi.org/10.21829/azm.2020.3612281>
- [3] McCravy, K.W. 2017. An analysis of malaise-trap effectiveness in assessing Robber Fly (Diptera: Asilidae) species richness. Northeastern Naturalist, 24(1), 15-24. <https://doi.org/10.1656/045.024.0102>
- [4] Young, M. 2005. Insect in flight. In: Leather SR (ed.) Insect Sampling in Forest Ecosystems. Blackwell Publishing, Malden, 116-145. <https://doi.org/10.1002/9780470750513>
- [5] Gibb, T.J., Oseto, C. 2019. Insect collection and identification: techniques for the field and laboratory. 2nd ed. Academic Press: Elsevier Science Publishing Co. Inc., 354 p.
- [6] Lehr, P.A. 1988. Asilidae. In A. Soos, L. Papp (Eds.). Catalogue of palearctic Diptera. Elsevier Science Publishing Co. Inc. Amsterdam, 197-326pp.
- [7] Dekoninck, W., Tomasovic, G., Borgato, L., Van Kerckvoorde, M., Van, Nieuwenhuysse, L. 2018. Asilidae in restored heathland patches near Bruges: surprisingly species rich! (Diptera). Bulletin de la Société royalebelged'Entomologie/Bulletin van de Koninklijke Belgische Verenigingvoor Entomologie, 154, 193-199.
- [8] Güner, Ş.T., Özkan, K., Yücel, E. 2011. Sariçam ormanlarının verimliliği ile vejetasyon ve tür çeşitliliği arasındaki ilişkiler: Türkmen Dağı örneği. Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, 12, 1-6.
- [9] Fidan, E.C., Şirin, U. 2016. The changes related with altitudinal gradient and seasonal variation in the species composition of Carabidae (Coleoptera) in Türkmen Mountain (Eskişehir, Türkiye). Ekoloji, 25(98), 17-24.
- [10] Theodor, O. 1976. On the structure of the spermathecae and aedeagus in the Asilidae and their importance in the systematics of the family. Jerusalem, The Israel Academy of Sciences and Humanities, 175 pp.
- [11] Theodor, O. 1980. Insecta: Diptera: Asilidae. Fauna Palaestina. Jerusalem. The Israel Academy of Sciences and Humanities, 448 pp.
- [12] Tomasovic, G. 2002. Etude sur materiaux typiques du complexe genital male de spetsespece du genre *Erax* Scopoli, 1763 (Diptera: Asilidae) avec la description de trois especes nouvelles. Entomologie faunistique-Faunistic Entomology, 46, 27-37.
- [13] Astakhov, D.M. 2015. Predatory Robber Flies (Diptera, Asilidae) of the lower volga area. Trudy Russkogo Entomologicheskogo Obschestva, 86(1), 410.
- [14] Geller-Grimm, F. 2003. Identification key to the *Tolmerus* species, photographic atlas and identification key to the robber flies of Germany. Ampyx-Verlag, Halle (Saale), CD-ROM.
- [15] Geller-Grimm, F., Dikow, T., Lavinge, R. J. 2020. Asilidae database. Content, structure, Retrieved from <http://www.geller-grimm.de/asilidae.htm>
- [16] Giray, H. 1981. A preliminary list of the fauna of Turkish Asilidae (Diptera). Plant Protection Bulletin, 5(3), 171-183.
- [17] Hayat, R., Alaoğlu, Ö. 1996. Faunistic and systematics studies on the Asilidae (Diptera) species in Erzurum and neighbouring provinces III. Asilinae. Atatürk University Journal of Agriculture Faculty, 27(1), 121-138.
- [18] Bosak, J., Hradsky, M. 2001. Some remarks on the distribution of robberflies (Diptera: Asilidae) in Türkiye. Journal of Entomological Research Society, 3(3), 1-28.
- [19] Çalışkan, H. 2002. Investigations on the Asilidae (Diptera) fauna of Eskişehir province. Anadolu University Journal of Science and Tecnology, 3(2), 317-328.
- [20] Çalışkan, H., Şahin, Y. 2003. Some remarks on the distribution of Robber Flies (Diptera: Asilidae) in south Marmara Region. Anadolu University Journal of Science and Tecnology, 4(1), 39-46.
- [21] Hasbenli, A., Bayrakdar, F. Alpay, N. 2006. First record of *Erax nigrosetosus* Theodor, 1980 (Diptera: Asilidae) from Turkey. Acta Entomologica Slovenica, 14, 103-108.
- [22] Vieira, R., Camargo, A., Pollet, M. Dikow, T. 2019. Updated checklist of French Guianan Asilidae (Diptera) with a focus on the Mitaraka expedition, in Touroult J. (ed.), "Our Planet Reviewed" 2015 large-scale biotic survey in Mitaraka, French Guiana. Zoosystema, 41(23), 443-464. <https://doi.org/10.5252/zoosystema2019v41a23>

Appendices

Appendix A. Figures of *Epitriptus micans* (Meigen, 1820).



A.1. a) Male *Epitriptus micans* (Meigen, 1820) (Scale 2 mm), b) wing (Scale 1 mm).

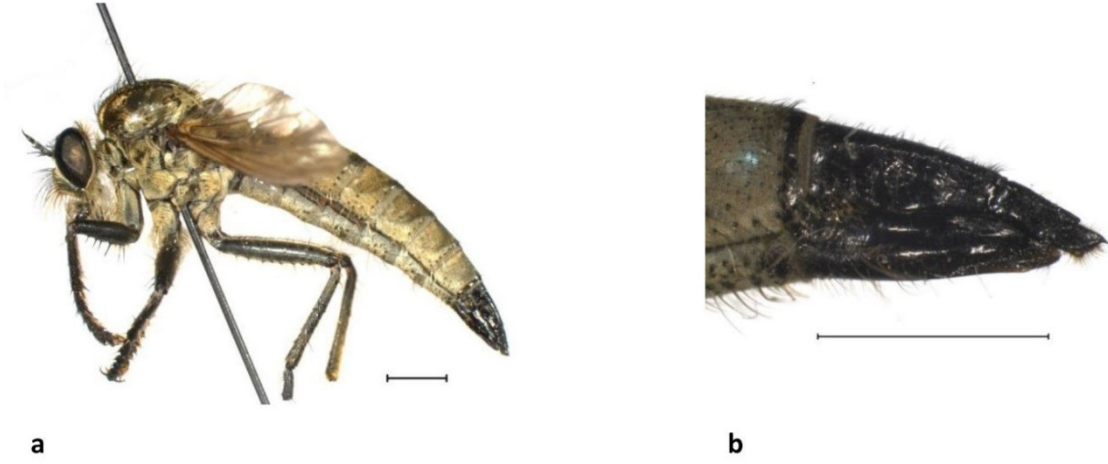


A.2. a) Female *Epitriptus micans* (Meigen, 1820), b) genitalia, general view. (Scale 2 mm).



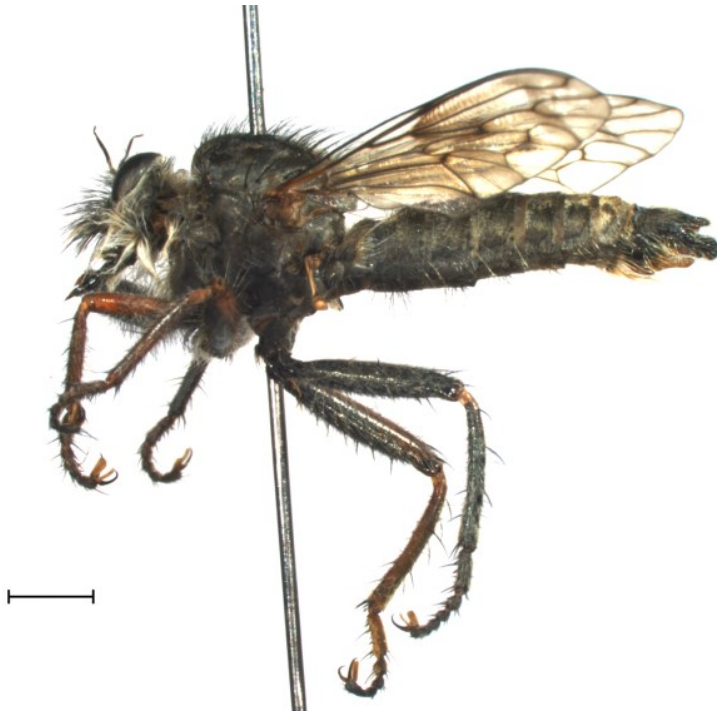
A.3. Male genitalia of *Epitriptus micans* (Meigen, 1820). a) gonocoxite and dististylus, b) dististylus, c) hypandrium, d) epandrium (lateral), e) epandrium (dorsal) (Scale 0,2 mm).

Appendix B. Figure of Female *Dysmachus fuscipennis* (Meigen, 1820).

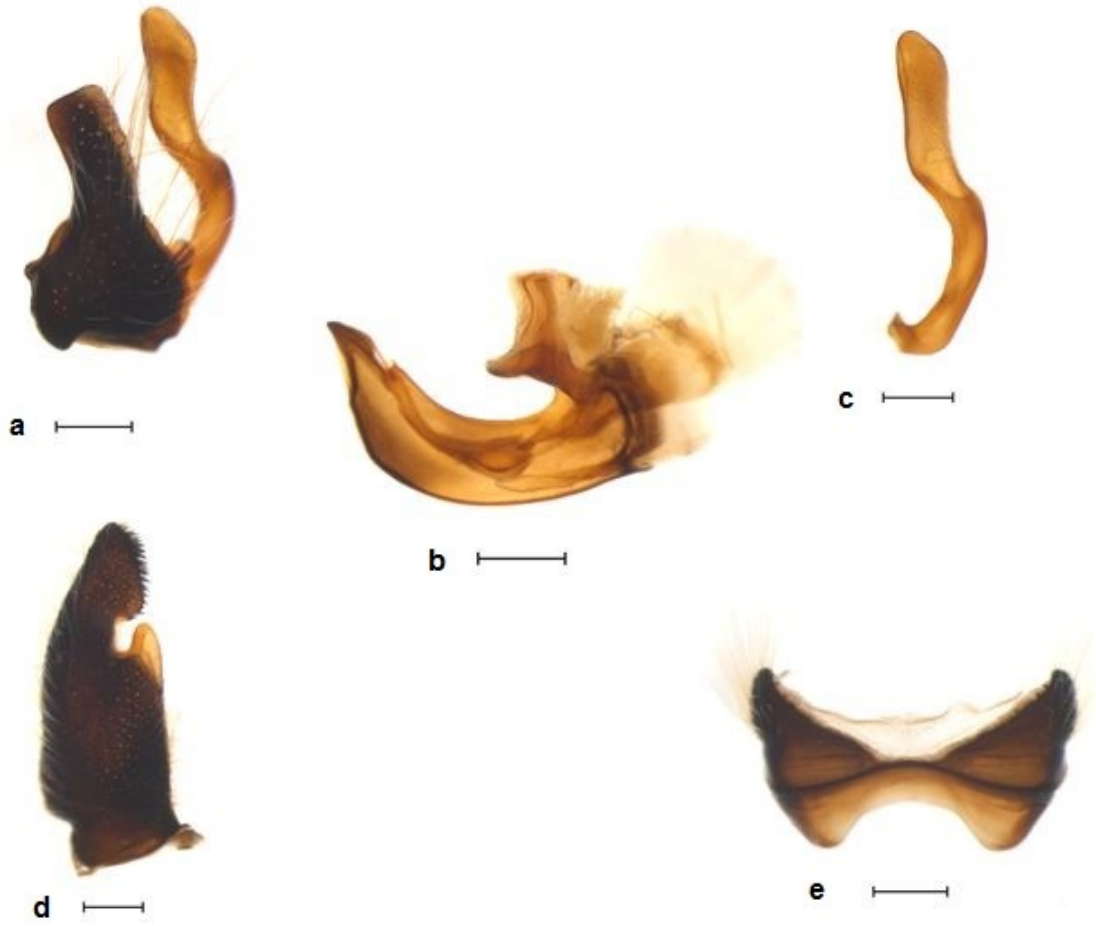


B.1. a) Female *Dysmachus fuscipennis* (Meigen, 1820), b) Female genitalia lateral (Scale 2 mm).

Appendix C. Figures of male *Erax hayati* Tomasovic, 2002.



C.1. Male *Erax hayati* Tomasovic, 2002 (Scale 2 mm).



C.2. Male genitalia of *Erax hayati* Tomasovic, 2002, a) gonocoxite and dististylus, b) aedeagus, c) dististylus, d) epandrium, e) hypandrium (Scale 0,4 mm).

Evaluation of the Effect of Plastic Bag Charging on Consumers' Behaviors by a Questionnaire on University Staff

Başak UÇMAN¹, Hüseyin YAZICI*²

¹Süleyman Demirel University, Faculty of Engineering, Department of Environmental Engineering, 32260, Isparta, Turkey

²Isparta University of Applied Sciences, Vocational School of Aksu Mehmet Süreyya Demiraslan, Department of Environmental Protection Technologies, 32510, Isparta, Turkey

(Alınış / Received: 21.09.2023, Kabul / Accepted: 31.10.2023, Online Yayınlanma / Published Online: 25.12.2023)

Keywords

Plastic bag,
Charging,
Consumer's behavior,
Questionnaire

Abstract: In this study, it was aimed to investigate the effect of plastic bag charging (PBC) practice, which was implemented in Turkey since the beginning of 2019, on consumers' behaviors and the factors affecting the consumers' behaviors on plastic bag (PB) consumption and their perceptions. For this purpose, a questionnaire with 363 participants was conducted for university staff including academics, administrative and support staff. The outputs were obtained by analyzing the participant-reported data through independent sample *T* test and one-way variance analysis (ANOVA) in the IBM SPSS Statistics 21.0 program. The findings revealed that the PBC caused statistically significant changes on consumers' behaviors with respect to the socio-demographic variables. Based on the overall findings obtained, it was found that the PBC practice contributes to the goals and targets in reducing the consumption of PBs at a certain level. In addition to that, it was concluded that various policies that might be an alternative or a support for the ongoing implementation should be taken under consideration by policymakers to achieve a truly sustainable success from the implementation.

Plastik Poşet Ücretlendirmesinin Tüketici Davranışları Üzerine Etkisinin Üniversite Personellerine Yönelik Anketle Değerlendirilmesi

Anahtar Kelimeler

Plastik poşet,
Ücretlendirme,
Tüketici davranışları,
Anket

Öz: Bu çalışmada, ülkemizde 2019 yılı başlangıcı itibariyle yürürlüğe giren plastik poşetlerin ücretlendirilmesi (PPÜ) uygulamasının tüketici davranışları üzerine etkisinin ve tüketicilerin plastik poşet tüketimine yönelik davranış ve algılarını etkileyen faktörlerin incelenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla akademik, idari ve işçi personellerden oluşan üniversite çalışanlarına yönelik 363 katılımcı ile bir anket çalışması gerçekleştirilmiştir. Çıktılar, katılımcı cevaplarından elde edilen verilere IBM SPSS Statistics 21.0 programında bağımsız örneklem *T* testi ve tek yönlü varyans analizi (ANOVA) uygulanarak elde edilmiştir. Elde edilen bulgular, PPÜ uygulamasının tüketici davranışları üzerine sosyo-demografik değişkenlere göre istatistiksel olarak anlamlı farklılıklara sebep olduğunu ortaya koymuştur. Elde edilen tüm bulgulara dayalı olarak PPÜ uygulamasının poşet tüketimini azaltmadaki amaç ve hedeflere belirli düzeyde katkı sağladığı tespit edilmiştir. Bununla birlikte uygulamanın gerçek anlamda sürdürülebilir şekilde başarıya ulaşabilmesi için mevcut uygulamaya alternatif veya destek olabilecek çeşitli uygulamaların da politika yapıcılar tarafından değerlendirmeye alınması gerektiği sonucu ortaya çıkmıştır.

1. Introduction

The concept of sustainability was first used in the 1987 Brundtland Report, Report of the World

Commission on Environment and Development: "Our Common Future" and was defined as "development that meets the needs of the present without compromising the ability of future generations to meet their own

*Corresponding author: huseyinyazici@isparta.edu.tr

needs". The concept of sustainability has become widespread worldwide after the publication of this report [1]. Within the perspective of marketing activities, the concept of sustainability emphasizes the regulation of production and marketing activities in a way that minimizes their negative effects on the environment. In recent years, consumers have become conscious individuals with a high level of awareness about environmental pollution, but individual efforts by consumers are not considered sufficient to reduce the negative effects on the environment [2].

The first example that many people think of regarding negative environmental impacts is the use of plastics [2]. In a survey conducted with 160 participants from Japan and 191 participants from Turkey, the effects of single-use disposable products were investigated in terms of sustainable consumptions and the behaviors and contradictions of consumers they experienced with these products and how they established a relationship with such products were examined [3]. According to the results of the study, it has been determined that the disposable products that are widely thought to cause ecological problems are food packaging, beverage packaging and plastic bags (PBs).

In the Procedures and Principles Regarding the Plastic Bags Charging published in January 2019 by the General Directorate of Environmental Management of the Turkish Ministry of Environment, Urbanization and Climate Change, PBs are defined as "*bags with or without handles made of plastic, supplied to consumers at the points of sale for the purpose of carrying goods or products*" [4]. PBs are generally divided into two types: (i) disposable and reusable PBs, depending on their usage purposes, and (ii) degradable and non-degradable PBs, according to their ecological properties [5]. Because PBs are cheap, lightweight and durable, they are among the most used products in our daily lives and produced in a number of hundreds of billions every year [6]. PBs, which are used by consumers to carry the products purchased and to protect the products from external factors, can cause irreversible environmental damages due to their worldwide consumption [2].

Although the use of PBs provides some convenience in our daily life, such as wrapping, packaging, and carrying of products, these bags pose several environmental risks because they are not biodegradable [7-9]. While the direct impacts of PB litter are the costs arising from the collection, removal and disposal of the litter or impairment of storm water systems, the indirect impacts are associated with aesthetics, tourism, and marine litter [6].

In some reports, it has been stated that banning the use of PBs was not effective in environmental protection works because the volume of PBs is not large. For example; in Japan, PBs constitute a small portion of 2% of the total amount of plastic wastes. At

this point, the main problem is seen as the problems occurring in the aquatic ecosystem. Scientists have found that some aquatic creatures such as sea turtles, manatees and whales consume PBs in the sea. For example; in 2018, 80 PBs were detected in the stomach of a male short-finned pilot whale found dead in Songkhla, Thailand. In March 2019, 40 kg of PBs were removed from the stomach of a young whale that washed up on the beach of Mindanao city, Philippines. In May 2020, a green sea turtle was rescued in Rayong, Thailand, after swallowing a 30 cm long PB [10].

Developing appropriate separate collection systems (e.g. large-volume containers with covers) to prevent the use of PBs as bin bags for their disposal is the decisive factor in reducing the placement of bin bags and PBs in sanitary landfills, thus avoiding their dispersion by wind and subsequent impacts on the environment [6]. Together with such solutions, various legislations have also implemented in many countries in order to reduce the global consumption of PBs, including the permanent ban on the use of PBs throughout the country, charging certain fees or taxes on PBs, or the implementation of partial fees and bans at the regional level [11]. To prevent unaesthetic issues and environmental pollution caused by plastic shopping bags and to reduce the number of PBs consumed in Turkey, a national charging practice for PBs has been implemented by the beginning of 2019. With the implementation, specifying that PBs will not be provided free of charge at the point of sale of goods or products after December 31, 2018, it has been targeted to reduce the consumption of PBs in Turkey, not to exceed 40 PBs per person annually by 31 December 2025.

Policies implemented by governments to reduce the consumption of PBs sometimes make it difficult for consumers to change their consumption behaviors. It is difficult for consumers, especially having low-income levels, to adapt to such practices, since the alternatives offered to consumers are not always suitable for them [2]. According to the report on what should be known about PBs published by the Rigid Plastic Packaging Manufacturers Association (SEPA, Turkey) [12], the pollution that occurs due to the products produced from plastic and thrown away to the sea or nature after they become a waste is a result of human behavior. In the report, it was stated that instead of showing plastics as the culprit of pollution, it would be a more accurate approach to take measures for the people who are actually responsible for the pollution. On the other hand, it has been reported that environmental awareness should be increased in order for individuals to take more responsibility, but the most important problem in this regard is the inability to create sufficient environmental awareness.

The study conducted by Dursun [13] aimed to determine consumers' reactions to the PBC practice

after its implementation in Turkey and to reveal the factors causing attitudinal resistance to the practice. The findings revealed that the expected benefit from the practice was not compatible with the idea that consumers would provide behavioral support for the practice, in other words, behavioral support was not provided by positive attitudes towards the practice. It has been stated that the main factors that reduce attitudinal support for the practice were the low level of knowledge of consumers, the low level of expectation for effectiveness of the practice and the high costs arising from the practice. As can be understood, consumer behavior has a decisive role in trying to reduce the consumption of PBs through charging, which has recently been implemented in Turkey, on the effectiveness of the practice.

In this study, the effect of PBC practice on consumers' behaviors and the factors affecting the consumers' behaviors on the consumption of PBs and their perceptions for the practice were examined. Various socio-demographic variables were investigated to determine whether the variables caused any statistically significant changes on (i) the consumption habits of the participants in shopping, (ii) the reuse of PBs, and behaviors of the participants for disposal of PBs, (iii) the use of PBs and alternative carrying bags, and attitudes of the participants towards them, and (iv) thoughts and perceptions of the participants on the PBC practice and problems and environmental pollution caused by PBs. For this purpose, a questionnaire with 363 participants was conducted for university staff, including academics, administrative and employees with different income levels and different educational backgrounds, and the participant-reported data obtained were evaluated using statistical analysis techniques.

2. Material and Method

2.1. The universe and limitations of the study

The universe of the study consists of academics, administrative and support personnel working in higher education institutions (universities) in Turkey. The reason why the universe of the study was chosen as university staff is that these people with different socio-demographic characteristics are organized together in a campus environment and these people can be easily reached in face-to-face surveys. The total population of the whole academics, administrative and support personnel working in all universities in Turkey has not been known clearly by the authors. Since applying a face-to-face questionnaire by reaching the entire universe of the study requires a great deal of time and effort, and the profile of the intended population was thought to be similar in many universities, the universe of the study was limited to the university staff of Süleyman Demirel University (Isparta, Turkey) in the central campuses. The total population of academics, administrative and

support personnel working at Süleyman Demirel University was informed to be 4569 people by the Directorate of Personnel Department. Therefore, the universe of the study consisted of 4569 people due to the mentioned limit.

The application area of the study was all academic and administrative units where academics, administrative and support personnel work at. Questionnaires were applied only to the participants in the units where a positive response was received for the applicability of the questionnaire, among all units for which permission to conduct the questionnaire was requested by official letter.

2.2. Sample size of the study

In determining the representativeness of the sample group to the universe of study, in other words, the sample size, the confidence interval was assumed to be 95%. Aksöz et al. [14] stated that the minimum sample size that would represent a universe of 5000 people at a 95% of confidence interval was 357 people. Accordingly, a sample group was created from a total of 363 university staff randomly selected from the universe to ensure a quantitative validity in terms of the number that would represent the universe of the study.

To determine how many of the 363 university staff should be consisted of academics, administrative and support personnel, the total sample size of each staff group was divided to the total size (4569 people) of the universe of the study. According to the information obtained from the University's Directorate of Personnel Department, a total of 1664 support personnel (36.4% of the universe), 1131 administrative personnel (24.7% of the universe) and 1774 academic staff (38.8% of the universe) has been working by year 2019. Accordingly, it was determined that a questionnaire should be conducted by randomly selecting 133 participants from support personnel, 90 participants from administrative and 140 participants from academic staff out of 363 people in the sample group.

2.3. Questionnaire design

The questionnaire was mainly designed to determine the effect of PBC practice on the consumers' behaviors according to the following hypotheses:

H₀: PBC caused no significant change according to socio-demographic variables on consumers' behaviors.

H₁: PBC caused a significant change according to socio-demographic variables on consumers' behaviors.

For the preparation of questions, a study carried out by Martinho et al. [6] was utilized (by obtaining permission from the responsible author of the article via e-mail), and questions were revised by taking the procedures and principles specified in the relevant

legislation in force regarding the PBC implementation in Turkey into account. Data collection was carried out on the university campus during face-to-face interviews with participants in November-December, approximately 10 months after the beginning of the PBC implementation entered into force in 2019.

The questionnaire basically consists of two sections (Appendix A). The first section consists of 7 questions (Q1-Q7) to determine the socio-demographic characteristics of the participants (gender, age, family size, occupation, income level, marital status, and educational background). The second section consists of 61 questions associated with the consumption and disposal behavior dimension of the questionnaire (37 questions) and the thought and perception dimension (24 questions). Since the five questions between Q8 and Q12 were not adapted to the 5-point Likert scale, they were not included in the statistical analyzes used to analyze the data obtained from the responses given to the other 56 questions (Q13-Q68) in the second section. For this reason, questions between Q8 and Q12 were also included in the first section. Questions related to the consumption and disposal behaviors dimension of the questionnaire (Q8-Q44) were prepared to request participants that indicate their consumption habits in shopping, their behavior concerning reuse and disposal of PBs, their behavior concerning use of PBs and alternative carrying bags and their attitudes towards them. Questions between Q45 and Q68 (24 questions) were prepared to determine the thoughts and perceptions of the participants about the problems caused by PBs, environmental pollution and PBC. Participants' responses for questions between Q13 and Q68 were measured with a 5-level Likert-type scale ranging from 1 (=totally disagree) to 5 (=totally agree).

2.4. Data analysis techniques

Questions related to the socio-demographic characteristics (Q1-Q7) and the first five questions (Q8-Q12) in the second section were tested with the frequency distribution method in order to determine the frequency values (% distribution). Differences between independent groups with two-samples (gender and marital status) were determined by running the independent sample *T* test for each question (Q13-Q68) with a confidence interval of 95%.

To determine whether there are any statistically significant differences between the means of three or more independent groups, one-way ANOVA test is used [15]. For this reason, in the current study, one-way ANOVA test was used to compare the means between the groups with three or more samples (age, education level, occupation, income level and family size). Initially, one-way ANOVA test was performed to determine whether there were any statistically significant differences for each question (Q13-Q68) in the second part of the questionnaire and whether their

variances were equal. For the questions in which a statistically significant difference was determined, Post-Hoc tests were run to determine which specific groups differed from each other. Equality or inequality of variances are taken into account on the basis of selecting the test(s) that may be suitable for statistical evaluation among various Post-Hoc tests. If the variances are equal, the tests to be selected are different; if they are not equal, the tests to be selected are different. In the selection of Post-Hoc tests, it is also taken into consideration whether the sample size for the tested expressions are equal or not [16]. In the current study, Gabriel Post-Hoc test was performed for the questions with equal variances, and Games-Howell test was performed for the questions with unequal variances by taking the data related to the equality of variances obtained from the ANOVA test and the sample sizes into account.

IBM SPSS Statistics 21.0 program was used for all statistical analyses.

3. Results

3.1. Results for the socio-demographic characteristics and consumption habits of respondents

The frequency distributions of the respondent-reported data for Q1-Q7 related to the socio-demographic variables were presented in Table 1. According to the data, 175 of 363 participants (48.2%) were women and 188 (51.8%) were men. Regarding age, 109 participants (30%) were 18-29, 136 (37.5%) were 30-39, 94 (25.9%) were 40-49, and 24 (6.6%) were 50-59. It is seen that most participants (67.5%) were under 40 years old and none of the participants was older than 60. While 150 participants (41.3%) had a postgraduate degree (PG), 138 (38%) had a college or undergraduate (CUG) degree, 49 (13.5%) had a high school degree (HS) and 23 (6.9%) had a primary school (PS) degree. Accordingly, it is understood that most participants (79.3%) had a graduate degree from university. While 133 participants (36.6%) were academic personnel, 130 (35.8%) were support personnel and 99 (27.3%) were administrative personnel. The family size of participants was mostly 4 people (31.1%), followed by 3 people (27.0%), 1 person (16.0%), 2 people (14.9%), 5 people (8.0%) and more than 5 people (2.8%). According to this result, it is understood that the family in which 57.9% of the participants live together had a member size of 1 to 3. While the average household income per month for 99 participants (27.3%) was between 5000 and 7500 TL, 86 participants (23.7%) had an income between 3000 and 5000 TL, 63 (17.4%) had an income between 2000 and 3000 TL, 52 (14.3%) had an income between 7500 and 10000 TL, 35 (9.6%) had an income >10000 TL and 28 (7.7%) had an income <2000 TL. Approximately half of the participants (48.8%) stated

that the monthly average household income was less than 5000 TL.

The results of the frequency distribution analysis for the first five questions (Q8-Q12) related to the consumption habits of participants were shown in Figure 1-5. According to the participants-reported data obtained for Q8, 41.9% of the participants spend 10-25% of the total monthly income on shopping, while 37.5% of the participants spend 25-50% of the total monthly income on shopping (Figure 1).

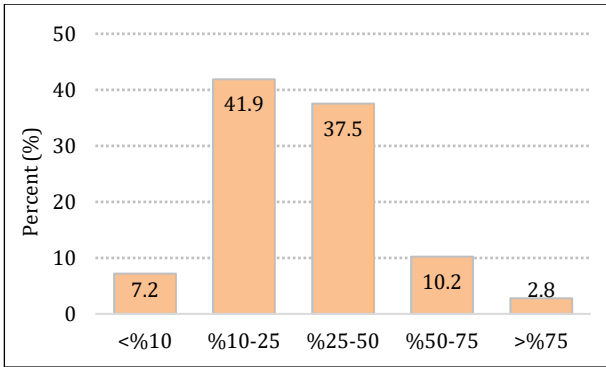


Figure 1. The percentage of household's total monthly income spent on shopping.

According to the data obtained for Q9, which was intended to determine the frequency of doing grocery shopping only, most participants (56.7%) responded that they do grocery shopping once per week (Figure 2).

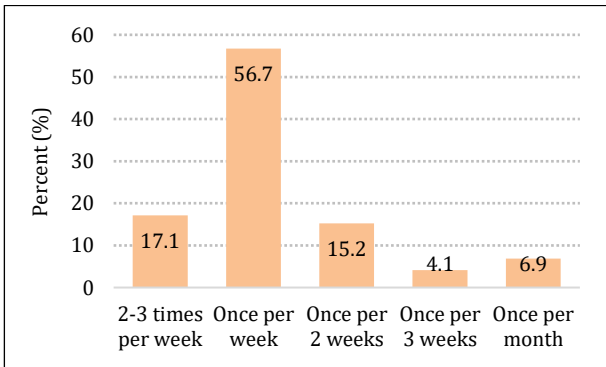


Figure 2. Frequency of doing grocery shopping only

According to the data for Q10 intended to determine the number of PBs used by participants in grocery shopping, only 10.2% of the participants stated that they do not use any PBs while more than half of the participants (53.2%) stated they use more than 4 PBs during a grocery shopping (Figure 3).

According to the data obtained for Q11, which was intended to determine the frequency of doing market shopping and other shopping, 39.9% of the participants responded that they shop 2-3 times per

week and 22.9% responded that they shop once per week. (Figure 4).

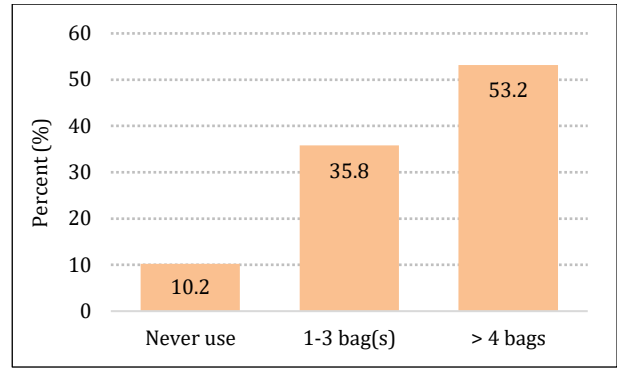


Figure 3. Number of plastic bags used for grocery shopping.

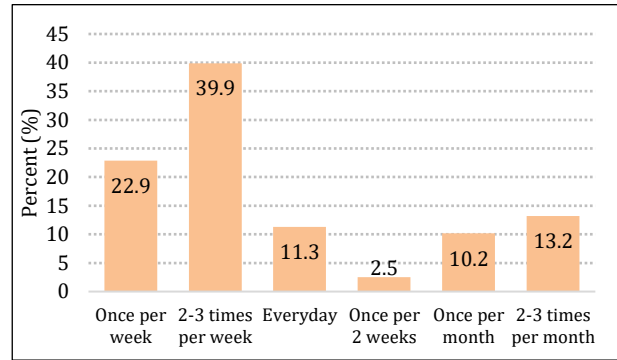


Figure 4. Frequency of doing market shopping or other shopping.

According to the data obtained for Q12, which was related to the number of PBs used by participants in market shopping and other shopping activities, only 23.4% of the participants responded that they never use PBs during a shopping activity (Figure 5).

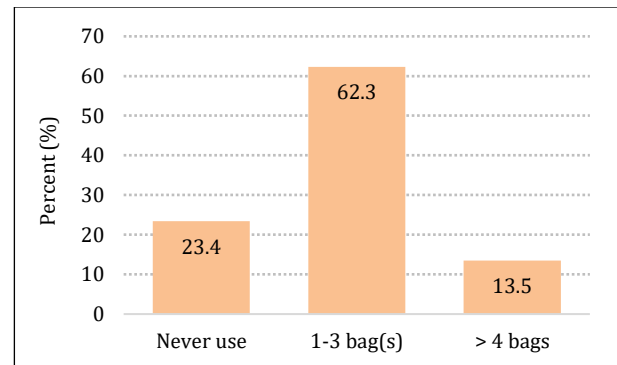


Figure 5. Number of plastic bags used for market shopping or other shopping.

From the overall results obtained for Q8-Q12, it was understood that most participants (more than half) have consumption habits such those only doing grocery shopping or market/other shopping at least once per week, while the rate of participants who do not consume any PBs was quite low.

Table 1. Results of frequency distribution test for the socio-demographic characteristics

| | Frequency (N) | Percent (%) | | Frequency (N) | Percent (%) |
|-------------------------------------|------------------|----------------|---|------------------|----------------|
| Gender (Q1) | | | Occupation (Q5)* | | |
| Female | 175 | 48.2 | Support personnel | 130 | 35.8 |
| Male | 188 | 51.8 | Administrative personnel | 98 | 27.0 |
| Age (Q2) | | | Academic personnel | 133 | 36.6 |
| 18-29 | 109 | 30.0 | Family size (Q6)* | | |
| 30-39 | 136 | 37.5 | 1 | 58 | 16.0 |
| 40-49 | 94 | 25.9 | 2 | 54 | 14.9 |
| 50-59 | 24 | 6.6 | 3 | 98 | 27.0 |
| Marital status (Q3) | | | 4 | 113 | 31.1 |
| Married | 206 | 56.7 | 5 | 29 | 8.0 |
| Single | 157 | 43.3 | >5 | 10 | 2.8 |
| Educational background (Q4)* | | | Average household income per month (TL) (Q7)** | | |
| Primary school graduate | 23 | 6.3 | <2000 | 28 | 7.7 |
| High school graduate | 49 | 13.5 | 2000-3000 | 63 | 17.4 |
| College/Undergraduate degree | 138 | 38.0 | 3000-5000 | 86 | 23.7 |
| Postgraduate degree | 150 | 41.3 | 5000-7500 | 99 | 27.3 |
| | | | 7500-10000 | 52 | 14.3 |
| | | | >10000 | 35 | 9.6 |

*: Contained missing values; **: Salaries valid for 2019 were taken into account.

3.2. Reliability analysis

Cronbach's alpha coefficient is frequently used to examine whether the expressions in Likert-type questionnaires have a homogeneous structure. A high Cronbach's alpha coefficient means that the expressions in the questionnaire consist of expressions that are consistent with each other and that measure the same feature. According to the Cronbach's alpha coefficient obtained from the analysis, the reliability of the whole questionnaire or its dimensions, if exist, is interpreted as follows [17]:

- Unreliable if $0 < R^2 < 0.40$
- $0.40 < R^2 < 0.60$, low reliability
- $0.60 < R^2 < 0.80$, highly reliable
- $0.80 < R^2 < 1.00$, highly reliable

For the current study, the results from reliability analysis for the consumption/disposal behavior dimension, the thought/perception dimension and the whole questionnaire were shown in Table 2. Accordingly, it was determined that the reliability was "highly reliable" for the consumption/disposal behavior dimension, the thought/perception dimension, and the whole questionnaire.

Table 2. Results of the reliability test for the whole questionnaire and its related dimensions

| | Number of questions | Cronbach's alpha coefficient |
|---|---------------------|------------------------------|
| Consumption/disposal behavior dimension (Q13-Q44) | 32 | 0.679 |
| Thought/perception dimension (Q45-Q68) | 24 | 0.752 |
| The whole questionnaire (Q13-Q68) | 56 | 0.801 |

3.3. Results of significance tests

3.3.1. Independent sample *T* tests

According to the responses given to the questions in the consumption/disposal behaviors and thought/perception dimensions of the questionnaire, the results of whether the PBC practice influenced consumers' behaviors differs in terms of gender and marital status were explained in this section.

Regarding gender, a significant difference ($P < 0.05$) was determined for questions 19, 23, 25, 26 and 27 in the consumption/disposal behavior dimension and for questions 50 and 62 in the thought/perception dimension (data not shown). Based on the results, it was understood that female participants have more positive attitudes than male participants for the consumption/disposal behaviors and thoughts/perceptions.

Regarding marital status, a significant difference ($P < 0.05$) was determined for questions 15, 19 and 21 in the consumption/disposal behavior dimension and for questions 54, 61 and 62 in the thought/perception dimension (data not shown). According to the results, it was understood that married participants have more positive attitudes than single participants for the consumption/disposal behaviors and thoughts/perceptions. As a result, it was found that the PBC caused a significant change in consumers' behaviors and thoughts/perceptions in terms of both gender and marital status variables.

3.3.2. One-way ANOVA tests

In this section, according to the participant-reported data for the questions in the consumption/disposal

behavior dimension (Q13-Q44) and thought/perception dimension (Q45-Q68) of the questionnaire, the results of whether the PBC practice influenced consumers' behaviors and thoughts/perceptions in terms of age, education level, occupation, income level and family size were explained in this section.

Test results related to the questions for which a significant difference ($P < 0.05$) was determined by one-way ANOVA test and Post-Hoc test results showing for which groups the difference occurred were presented for each of the independent variables examined (Appendix B). Results related to the questions for which no significant difference was determined by the ANOVA test was not presented in this study. Considering the obtained results, it was found that;

→ exhibiting a more positive attitude to the behaviors towards reducing PB consumption after the PBC practice and to the thoughts and perceptions towards the reasons for the implementation and benefits of the PBC practice increased with the increasing age of the participants.

→ the increasing education level of the participants made their attitudes more positive in terms of both the consumption/disposal behaviors dimension and thought/perception dimension.

→ occupation of the participants did not cause any significant difference in their consumption habits in terms of all the groups, but the participant group consisting of academic personnel showed more positive attitudes towards disposal habits and thought/perception dimensions than the other groups.

→ income level of the participants did not cause any significant difference in consumption habits in terms of for all the groups, but attitudes of the participants towards disposal habits and thought/perception dimensions become more positive as the income level increased.

→ family size was an influencing factor that caused significant differences for some questions in consumption/disposal habits and thought/perception dimensions, but this variable was a factor that did not allow any consistent evaluation in terms of evaluating the determined differences in relation to each other.

4. Discussion and Conclusion

In this section, only the results related to any given question, for which the significant differences were determined commonly for more than one variable (for example, both occupation and income level), were discussed in detail within the dimensions of the questionnaire.

4.1. Consumption/disposal behavior dimension

For the consumption/disposal behavior dimension, significant differences in terms of gender, marital status, age, educational status, occupation and income level variables were found to be common for questions 15, 19, 26, 28, 29, 30, 32, 33, 34, 35, 36 and 42 (Appendix B).

For Q15 "*We do shop even though we do not need to do.*", the significant differences obtained from the ANOVA test were determined in terms of age and marital status variables. According to the results of Post-Hoc test and the mean values obtained from the ANOVA test, it was found that the participants between ages 50-59 exhibit more negative attitude towards doing shopping even though they do not need to do, while the participants who are single exhibit more positive attitude to the same behavior. Assuming the participants between ages 50-59 are married individuals at the same time, it can be concluded that married consumers exhibit more negative attitude to do unnecessary shopping when compared to single participants. Yaraş et al. [18] mentioned two different consumer groups, described as "*utilitarians*" and "*hedonists*", in their study where they examined the clustering of consumers according to their attitudes and behaviors towards shopping malls. Accordingly, "*utilitarians*" were defined as a group that does not like shopping very much and does shopping only when there is a need to meet that need, while "*hedonists*" defined as a group find shopping is fun and think that shopping malls are places to have a good time rather than just a place to shop for their needs. According to the results, a significant difference was determined between the utilitarian group, most of whom were married, and the hedonists group, who were reported to be single, in terms of marital status. Results of the study conducted by Yaraş et al. [18], that were obtained according to the frequencies of marital status and age variables and the answers obtained from the statements asked to the participants about the reasons for visiting shopping malls, supported the findings obtained for Q15 in the current study.

Results of Post-Hoc test obtained for Q19 "*We usually carry the products we buy with reusable bags.*" revealed that women or married participants have more positive attitudes than the participants between ages 18-29. The same result was also reported by Şentürk [19]. The frequency distribution results for questions 18, 19, 20 and 21 intended to determine the type of carrier bag used to carry the products purchased from shopping showed that recyclable bags are preferred by the participants with a rate of 55.1%, while PBs, trolleys and string bags/paper bags are preferred with a rate of 45.7, 38.6 and 30.0%, respectively (data not shown). These results implied that consumers generally prefer reusable bags or PBs to carry the products they buy from shopping. This finding was also supported by Martinho et al. [6] found that the

most used carrier products in shopping after the PBC practice in Portugal was reusable bags as well as PBs. It was understood that after the PBC implementation in Turkey entered into force, reusable bags were preferred as well as PBs for the transportation of products purchased in shopping. This finding was further supported by Şentürk [19], reporting that approximately 75% of the participants responded that they increased the use of their own bags or bags in shopping after the PBC practice compared to their habits before the practice. In the current study, no significant difference was determined among the participants in preferring PBs as a carrier product in terms of any variable, while there were significant differences in preferring the other carrier products (reusable bags, string bag/paper bag and trolley) in terms of several variables. Regarding the preference of reusable bags, married or female participants showed more positive attitude than more young participants between ages 18-29. This result confirmed that married or female consumers are more conscious and positive for behaviors that can reduce the consumption of PBs.

For Q26 *"We prefer the carrier bags we bring from home because they are more useful/practical than the bags we buy."*, the significant differences obtained from the ANOVA test were determined in terms of educational level and marital status variables. According to the results of Post-Hoc test and the mean values obtained from the ANOVA test, it was found that exhibiting a more positive attitude to bringing a carrier product from home, due to its usefulness against the purchased one, increased with the increasing education level of the participants, and that female participants exhibit more positive attitude than male participants for the same behavior. Considering the frequency distribution results for questions 25, 26, 27 and 28, the reason for bringing a carrier product from home as an alternative to carrier products purchased for a fee was responded with a rate of 48.2, 57.2, 62.0 and 66.0%, respectively (data not shown). According to these results, it was concluded that participants prefer to bring their own carrier bags from home due to the charge for PBs as well as damages in the environment caused by PBs rather than the usefulness of PBs. This result revealed that education level of the participants as well as gender are the main variables that push the participants to exhibit more positive behavior in terms of the reasons for their preferences towards bringing their own carrier bags from home. Martinho et al. [6] stated that the main reasons of the consumers' preference for bringing their own carrier bags from home for shopping in Portugal were the fee for PBs and the increasing environmental concerns after the PBC implementation. The driving force for the latter reason was reported to be the increase in public awareness on the environmental problems related to PBs, which were provided to consumers through awareness campaigns along with the PBC practice.

These findings confirmed the results of the current study. As can be understood, the increasing environmental awareness on the harms of PBs results in the increase in the rate of preferring alternative carrier products, such as reusable bags that are not harmful to the environment, as well as PBs. In addition, according to the significant differences determined for Q28 in terms of the variables of age and education level, it was concluded that the increasing education level of the participants results in the increase in exhibiting more positive attitude towards not wanting to use too many bags increases (Appendix B). On the other hand, it was found that the participants older than 40 age have a more positive attitude for the same behavior than participants younger than 40 age. In the study carried out by Demirel [20], the attitudes and behaviors of the undergraduate students of Kafkas University towards the PBC practice were measured. It was reported that students' attitudes and behavioral support levels towards the practice were high and that their priorities for attitudinal and behavioral support originated from environmental awareness. Considering that more than half of the students participating in the research were in the third and fourth grade, these findings were associated with the contribution of the environmental education that the students received at the undergraduate level.

The results obtained for questions Q29, 30, 32, 34 and 36 intended to determine participants' disposal behavior for the PBs and how they utilize the PBs left over from shopping in subsequent shopping revealed that the participants having a PG degree exhibit more different attitudes as compared to the other participant groups having a CUG or HS degree. According to the result obtained for Q29, the highest mean value (4.311 ± 0.848 , Appendix B) was obtained for the participants having a PG degree as compared to other participant groups. This indicated that participants having a PG degree prefer to use the PBs they get from shopping as garbage bags rather than throwing them in the garbage bin or recycling bin or keeping them to use again in another shopping. Considering that 41.3% of the participants are PG graduated (Table 1), it can be thought that most of the participants who are academic personnel are also PG graduated. For this case, according to the difference test results obtained for Q29, it was seen that there was a consistency between the behavior of the participants who are academic personnel (134 people) and the behavior of the participants who are PG graduated (148 people). On the other hand, according to the result obtained for Q48, showing that the participant group with lower monthly income have no clear idea about paying a charge for the PBs obtained from the points of sale, it could be thought that they repeatedly use the PBs existing in their homes for different purposes by keeping the PBs as much as possible. It was seen that no significant difference was determined for Q29 in terms of the

average household income per month of all participant groups, but the mean values for each group increased with the increasing income level (Appendix B). According to this result, it could be concluded that the participant groups having higher average monthly income exhibit more positive attitude towards using the PBs they get from shopping by paying a charge as garbage bags when they get home. This result showed a consistency with the result implying that the participant groups, who are academic personnel or have a PG degree, prefer to use PBs obtained from shopping as garbage bags. In conclusion, the results obtained for questions between Q29 and Q36 showed that the participant group, most of whom are academic personnel who are also estimated to have a PG degree, exhibit an attitude towards generally using the PBs they get from shopping as garbage bags (Q29), and that the other participant groups (administrative personnel and support personnel) exhibit an attitude towards generally keeping the PBs for the next shopping (Q32) or using them to carry several goods/products other than carrying groceries (Q33) rather than using them as garbage bags, throwing them directly into the garbage bin (Q30) or throwing it into the recycling bin (Q31). Regarding the monthly income level, the participant group with a low-income level prefer to keep the PBs to use in future shopping (Q32) or to use them to carry other goods/products (Q33) and to use a PB repeatedly (Q35 and 36) as compared to other participant groups.

For Q42 *"We bought garbage bags roll during our shopping in the last six months."*, the significant differences obtained from the ANOVA test were determined in terms of occupation and marital status variables. According to the results of Post-Hoc test and the mean values obtained from the ANOVA test, it was found that female participants exhibit more positive attitude than male participants and the participant group who are administrative personnel exhibit more positive attitude than the participant group who are support personnel towards buying garbage bags roll during shopping in the last six months (Annex B). The frequency distribution results for Q42 showed that 47.0% of the participants responded *"totally disagree"* or *"disagree"* in terms of occupation variable and 46.7% of the participants responded *"agree"* or *"totally agree"* (data not shown). A similar distribution result was also obtained for Q43 *"We did not buy any garbage bags roll during our shopping in the last six months."*, for which no significant difference was determined in terms of any variables. Combining the distribution results obtained for Q42 and 43, it could be concluded that approximately half of the participants bought garbage bags roll during their shopping in the last six months, while the other rest of the participants did not buy any. These results implied that the participant group who responded that they did not buy any garbage bags roll during shopping in the last six months may be the participant group who are academic personnel or PG graduated, generally

preferring to use the PBs they get from shopping as garbage bags, whereas the participant group responded that they bought garbage bags roll during shopping in the last six months may be the participant group who are administrative and support personnel or have a low-level income.

According to the overall results, it could be concluded that the participants who are female, married, older, or with a higher education level are more conscious and positive in the behaviors towards reducing the consumption of PBs, while the younger or single participants are more positive in the behaviors that may cause the consumption of PBs to increase. Regarding gender and marital status variables, similar results were also obtained by Topal et al. [21]. Accordingly, the results of the mentioned study revealed that the variables of gender and marital status showed statistically significant differences compared to the mean values. It was reported that female participants exhibited more environmentalist attitudes and behaviors than male participants, had a higher level of awareness on the environmental issues and their intention towards not using the PBs paid a charge was more positive, and in terms of marital status, married participants had more positive behaviors and intentions towards not using PBs than singles. Yasa and Cop [22] found that frequency for bringing a reusable carrier bag for shopping by female participants and their behaviors towards reducing the use of PBs were higher than male participants. Şentürk [19] found that approximately 80% of the participants reduced the use of PBs after the PBC implementation in Turkey, the remaining 20% did not make any behavioral changes for this purpose, and 62% of this 20% consisted of male participants. The reasons given by male participants who did not make any behavioral changes to reduce PB consumption were that it was difficult to keep an alternative carrier bag or a used PB around them, their shopping was mostly unplanned, and they often forgot their own carrier bags at home.

The results obtained from the questions intended to determine the disposal methods of the PBs by the participants showed that the mostly preferred method was to use as garbage bags with a rate of 83.0%, while the other methods, such as using PBs to carry groceries or keeping them for the next shopping was preferred with a rate of 56.4 and 43.7%, respectively. These results indicated that all participants use the PBs obtained from shopping at least once for different purposes, thus generally contributing to reducing the consumption of the PBs, rather than disposing of them by throwing them directly into the garbage bins or recycling bins. The results determined for the behaviors towards the disposal of PBs showed that the participants who are academic personnel or have a higher education level or income level have an attitude towards generally using PBs as garbage bags instead of using them for the next shopping or keeping them to carry other products. In addition to that, the results

indicated that these groups are also the participant group who stated that they did not buy any garbage bags roll during their shopping in the last six months. On the other hand, the participants who are administrative and support personnel or have a lower income or education levels have an attitude towards repeatedly using PBs at least once by such a way keeping them for the next shopping or using them to carry groceries or other products, rather than throwing them directly into the garbage bins or recycling bins. It was estimated that these groups might be the group that stated that they bought garbage bags roll during their shopping in the last six months. Yasa and Cop [22] found that 96.5% of the participants reused the PBs and the most common way was to use them as garbage bags. Şentürk [19] reported that while the use of the PBs obtained from shopping as garbage bags was approximately 84% on average before the PBC implementation, it decreased to 70% after the implementation, and that the frequency of consumers purchasing garbage bags roll was 61% on average before the application, while it increased to 69% after the implementation. The fact that there was no decrease at the expected level after the PBC practice was attributed to the fact that the unit price of garbage bags roll was generally higher than the charge paid for PBs.

Considering the result that the participants generally prefer PBs or reusable bags to carry the products they bought from shopping, the situation regarding whether the PBs used in shopping were bought by paying a fee from the point of sale or whether they were brought from home was examined. According to the frequency distribution for the questions intended to determine the source of carrier bags used by the participants in shopping (Q22, 23 and 24) and the questions intended to determine whether the PBs left over from shopping were used in subsequent shopping (Q34, 35 and 36), it was determined that;

→ 41.1% of the participants responded "I agree" or "I strongly agree" to the question that all PBs used for shopping were brought from home,

→ 59.4% responded to the question regarding the buying of all the bags as "I disagree" or "I strongly disagree", and,

→ 51.0% responded "I agree" or "I strongly agree" to the question that some of them were brought from home and some were bought (data not shown).

These results revealed that approximately half of the participants bring all of the PBs they used for shopping from home, while approximately half of them buy all of them. It was understood that approximately half of the participants use the PBs left over from shopping at least once in the next shopping (Q35), while 55.2% of the participants responded that they never use the PBs left over from the shopping for the next shopping (Q34). Combining the results obtained for question Q19 and Q34, it was estimated that the source of

approximately half of the PBs used by participants for carrying products they bought from shopping is the PBs obtained from previous shopping. This result can further be supported by the result obtained for Q32, which revealed approximately half of the participants responded as keeping PBs to use in other shopping. On the other hand, the results regarding showing positive participation in bringing at least one carrier bag to all (Q40) and most (Q39) shopping done in the last six months (51.7% for both questions, data not shown) and not showing positive participation in forgetting to bring a carrier bag for all (Q37) and most (Q38) shopping done in the last six months also confirmed the result that revealed, the source of approximately half of the PBs used by participants for carrying products they bought from shopping is the PBs obtained from previous shopping. These results obtained for questions Q37-40 were in consistent with the result obtained in the study conducted by Yasa and Cop [22], reporting that more than half of the participants (54.1%) always bring their own carrier bags to carry the products in shopping.

4.2. Thought/perception dimension

For the thought/perception dimension, significant differences in terms of all variables were found to be common for questions Q45, 46, 47, 48, 49, 54, 56, 61, 62, 63 and 67 (Appendix B).

For Q45 "We think that plastic bags are a problem for environment and health.", the significant differences obtained from the ANOVA test were determined in terms of occupation and educational level variables. According to the mean values ($X=4,097\pm 1,1306$ for occupation and $X=4,098\pm 1,1263$ for educational level, data not shown), it was understood that participants agree with the idea that PBs are harmful to the environment and human health. This finding can be confirmed by the fact that all participants, regardless of the variables, responded Q45 as "agree" and "strongly agree" with a rate of 84.2% (data not shown). The differences determined for Q45 implied that regarding the educational level and occupation variables, the participant group who have a PG degree is more positive than the other groups and the participant group who are support personnel is more negative than the other groups in the opinion that PBs are harmful to the environment and human health. Considering the mean values of each group for these variables, it was seen that the mentioned opinion becomes more positive with the increasing educational level and among support, administrative and academic personnel according to the ascending order of the mean values. Similarly, Martinho et al. [6] found that 84.9% of the participants agreed that PBs are harmful to the environment and human health. In the study of Yasa and Cop [22], it was determined that 62.2% of the participants think that PBs cause environmental damage and associated this result with more than half of the participants having knowledge

about the harms of PBs. Depending on this result, a significant difference was determined between the use of PBs and the level of awareness about the environmental problems caused by PBs. It was also determined that 71.2% of participants, who responded that they could describe the damage caused by PBs to the environment, do not use any PB, and only 28.8% of those, who responded that they are aware of this damage but could not describe it, do not use PBs.

The abovementioned results determined for question Q45 were similarly determined for question Q46 "*We know that plastic bags have been charged a fee per plastic bag taken from the point of sale by the beginning of January 2019.*" Accordingly, for Q46, it was determined that the participant group according to their education level, who have a PG degree, have a more positive attitude compared to other groups, and the participant group according to their occupation, who are support personnel, have a more negative attitude than the other groups. Considering the mean values of each group for occupation and educational level variables, it was seen that the mentioned opinion becomes more positive with the increasing educational level, and among support, administrative and academic personnel according to the ascending order of the mean values. Regardless of the variables, the frequency distribution for Q45 was determined to be 87.3% for "*agree*" and "*strongly agree*" (data not shown).

According to the participant-responded data for Q47 "*We know that plastic bags have been charged a fee, but we do not have much information about the details of the implementation.*", it was determined that approximately half of the participants (41.8%, data not shown) do not have much information about the details of the implementation although they responded that they know PBs have been charged a fee. According to the mean values of each group for occupation, income level, and educational level variables, it was understood that more positive attitude is exhibited among academic, administrative and support personnel according to the ascending order of the mean values for the mentioned opinion, while attitudes become more negative with the increasing income and educational level. The same attitudinal trends were also valid for question Q48 "*We support the charging implementation for plastic bags.*". Accordingly, supporting the PBC implementation becomes more positive with the increasing educational and income level, and among support, administrative and academic personnel according to the ascending order of the mean values. Regardless of the variables, according to the frequency distribution of responses given for Q48, it was understood that 59.2% of the participants (data not shown) supported the PBC implementation by responding as "*agree*" and "*strongly agree*".

According to the results obtained for questions Q45, 46, 47 and 48, the fact that the participant group, who are academic personnel or have a PG degree, have more positive thoughts than the other groups indicated that the level of education is an important factor affecting the consumption of PBs. According to the significant differences determined for Q48 in terms of income level as well as the variables of education level and occupation, it could be concluded that participants' attitudes towards supporting the PBC implementation are shaped depending on their behavioral attitudes towards reducing the consumption of PBs. It was estimated that these attitudes are most likely based especially on the economic concerns arising from the charge paid for PBs as well as the awareness of the harms of PBs. This situation can be confirmed by the finding revealing that the attitude towards supporting the PBC practice becomes more positive with the increasing income level of the participants, and by the result for Q47 showing that the charging practice is not supported by 41.8% of the participants (data not shown).

For Q49 "*We think that the fee of 25 kurus per plastic bag is excessive.*", it was determined that, regardless of the variables, the participants responded as "*agree*" and "*strongly agree*" with a rate of 38.1% and "*disagree*" and "*strongly disagree*" with a rate of 47.2% (data not shown). A similar result was reported by Şahin [23], who found that 47.2% of the participants responded positively that the charge of 25 kurus is reasonable and should not be increased. According to the results of Post-Hoc test and the mean values obtained from the ANOVA test in terms of the variables of occupation, age and education level, it was determined that the participants between ages 18-29 exhibit more positive attitude to the mentioned thought, while the participants who are academic personnel or have a PG degree exhibit more negative attitude.

For Q54 "*To my opinion, our government put the plastic bag charging implementation into force to conserve natural resources.*", it was determined that 22.5% of the participants disagreed or strongly disagreed with this thought, while 57.8% agreed or strongly agreed (data not shown). Regarding age and marital status variables, for which a significant difference was determined, it was found that the participants between ages 18-29 exhibit more negative attitude to the mentioned thought than the other groups, while the participants who are married exhibit more positive attitude than the single participants. On the other hand, it was found that no significant difference was determined for the other relevant questions intended to determine participants' perceptions regarding the reason for charging of PBs (Q51, 52 and 53) in terms of any of the variables. Results of the frequency distribution for these questions showed that 39.7% of the participants responded positively (*agree/strongly agree*) that the PBC was implemented

by the government to collect more revenue, while 57.9 and 56.9% of the participants responded positively that the PBC was implemented by the government to motive reduce the consumption of PBs and increase the use of reusable and recyclable carrier bags.

For Q56 *"After the implementation was entered into force, our behaviors towards reducing plastic bags consumption changed."*, the significant differences obtained from the ANOVA test were determined in terms of occupation and educational level variables. According to the results of Post-Hoc test and the mean values obtained from the ANOVA test, it was found that attitudes to the mentioned thought become more positive with the increasing educational level, and among support, administrative and academic personnel according to the ascending order of the mean values. Results of the frequency distribution test showed that most of the participants (69.7%) responded that they think that their behavior towards reducing the consumption of PBs changed after the PBC practice. In addition to that, it was seen that 68.2% of the participants responded for Q57 that they will change their habits regarding the consumption of PBs and start reducing the consumption soon. However, these responses given for questions Q56 and 57 were found to be contradictory.

For Q61 *"We think that plastic bags are not provided with charge by all the markets."*, it was determined that 37.8% of the participants do not agree with this thought by responding "disagree" or "totally disagree" and 40.0% the participants do not agree with this thought by responding "agree" or "totally agree" (data not shown). According to the results of Post-Hoc test and the mean values obtained from the ANOVA test, it was understood that married participants or the participants, of whom the family size is two, exhibit more negative attitude to this thought than the other relevant groups.

For Q62 *"From now on, instead of buying plastic bags, we will bring our own bag for all shopping."*, the significant differences obtained from the ANOVA test were determined in terms of gender and marital status variables. According to the results of Post-Hoc test and the mean values obtained from the ANOVA test, it was found that married or female participants have more positive attitude to the mentioned thought than the other groups. Regardless of the variables, results of the frequency distribution test showed that most of the participants (63.7%) responded that "agree" or "totally agree" and only 15.5% of the responded that "disagree" or "totally disagree" (data not shown). These results implied that a small portion of the participants does not intend to bring alternative carrier bags to all of their future shopping. It was estimated that this result is probably due to the participants who responded "agree" or "strongly agree" with a rate of 24.6% for question Q37 *"We forgot to bring our own carrier bags from home for all*

our shopping over the last six months.", for which no significant difference was determined in terms of any variable.

For Q63 *"Regarding the plastic bag charging implementation, we think that is more beneficial (The ongoing implementation should be abolished, and the plastic bags should be charge-free as before)."*, results of the frequency distribution test revealed that 63.6% of the participants have positive thoughts on the mentioned question (data not shown). Among the groups, for which a significant difference was determined in terms of the variables of educational and income level and occupation, the participants who are academic personnel or have higher income level or a PG degree exhibit more negative attitude to the mentioned thought than the other relevant groups. A similar significant difference was also obtained for Q67 *"Regarding the plastic bag charging implementation, we think that is more beneficial (The implementation can be abolished and replaced with other implementations. For example; each household should be assigned a quota for charge-free plastic bag, then a fee per bag should be charged after the quota is reached)."* in terms of the variables of occupation and income level. Accordingly, it was seen that the participants having the highest monthly average income has a more negative attitude than the other groups, and the attitude becomes more negative among academic, administrative and support personnel according to the descending order of the mean values. The results obtained for Q63 and 67 in terms of the participants who are academic personnel can be further supported by the result obtained for Q59 *"We think that plastic bag charging is an effective and efficient practice in solving environmental problems."*, revealing that the participants who are academic personnel exhibit more positive attitude to the mentioned thought.

The overall results determined for questions Q45, 46, 47 and 48 revealed that the participants' behavior towards reducing the consumption of PBs are shaped according to the thoughts on the harms of PBs to the environment and human health and the economic concerns arising from balancing the financial burden of paying bag fees based on the income level. This finding can be supported by the frequency distribution results obtained for Q50, for which 55.0% of the participants think positively that the consumption of PBs is still high although they have been charged a fee. According to this, it could be concluded that some of the participants are trying to support the implementation by acting with environmental awareness since they think that the consumption of PBs is still high although the bags are provided for a fee, and some of the participants support the implementation regardless of environmental awareness by taking various measures to balance the financial burden of paying bag fees according to their income levels as well as considering that the

consumption of PBs is not excessive. Topal et al. [21] reported that the results of several studies [6, 9, 13, 24] indicated that the environmental awareness of the consumers about the possible harms of PBs to the environment facilitated the adoption of public measures related to the reduction of the consumption PBs and internalization of the related actions. Additionally, it was stated that consumers reduced the use of PBs up to a certain level due to the environmental concerns, but mostly due to the legal obligation, and they could not internalize this action sufficiently.

The results determined for the questions intended to determine the participants' perceptions in terms of the reasons for the PBC implementation revealed that the implementation created the expected perceptions for more than half of the participants. This result showed a consistency with the results of questions Q45, 46, 47 and 48. Moreover, the obtained results confirmed that the way in which the aims and objectives of the PBC implementation are perceived by the participants is an important factor in shaping the participants' behaviors that affect the efficiency expected from the implementation. Martinho et al. [6] reported that before the PBC implementation, 45.9% of participants responded that implementation motivated by the Portugal government to collect more revenue and 32.4% responded that the implementation motivated to reduce the consumption of PBs. After the PBC implementation, the percentage of respondents indicating the motive was to reduce the consumption of PBs decreased to 18.3%, and the percentage who considered the tax as just another revenue to the government increased to 60.6%. Based on this, it was stated that although most of the participants support the application, it is thought that the Portugal government implemented the PBC only as a financial support tool. It has been reported that the obtained results may have arisen due to the economic crisis that Portugal was experiencing in those years, and if it had been clearly stated to the consumers for what purpose the government would use the income obtained from the implementation, consumers' perceptions about the reasons of the implementation might have been different.

According to the results determined for questions intended to determine the participants' opinions about different implementation alternatives that can be put into effect in the future regarding the PBC (Q63, 64, 65, 66, 67 and 68), it was understood that more than half of the participants (63.6%) have no expectation such that the implementation should be completely abolished and the PBs should be charge-free as before. This result was also confirmed by the result obtained for Q59, for which 57.6% of the participants positively responded that the PBC is an effective and efficient implementation in solving environmental problems. It was determined that more than half of the participants (63.0%) do not agree with

an alternative implementation such that the implementation should be carried out by charging a fee higher than 25 kuruş per bag. On the other hand, approximately half of the participants (46.4%) have a positive thought, and some (32.5%) have a negative thought on the continuation of the 25 kuruş fee paid per bag in the ongoing practice. These results indicated that implementing a charge of 25 kuruş per bag to reduce the consumption of PBs is thought positively by the majority of participants. However, the result showing that 75.7% of the participants agree that it would be more beneficial to maintain the PBC implementation along with various encouraging promotions to reduce PB consumption revealed that alternative support policies are needed to encourage consumers to reduce the consumption of PBs, as well as trying to restrict the consumption by charging only. On the other hand, the results determined for question Q67 indicated that although a low rate of positive participation was shown by the participants, an alternative charging policy could be implemented by taking into account the consumer groups with low-income levels, instead of the current practice. Topal et al. [21] emphasized that in order for an environmental attitude of consumers towards shopping with eco-friendly carrier bags without using PBs to be sustainable and for such an attitude to become a social habit, the PBC implementation should be supported by pro-active practices other than financial measures that will increase consumers' environmental awareness.

4.3. Recommendations

According to the results of the study, awareness creation programs to ensure all PB consumers, especially single, male, and young individuals, become more positive in their behaviors towards reducing the consumption of PBs, which can be organized by policymakers, local governing bodies, environmental organizations, non-governmental organizations or consumption points, might be taken into consideration.

Based on all the findings, it can be concluded that the PBC practice contributes to a certain level to the goals and objectives of the implementation for reducing the PB consumption. Given the fact that 61.3% of the participants think that they are in the adaptation for the PBC practice and that 40% of the participants think that PBs are not provided for a charge by all the markets, it becomes clear that all relevant stakeholders (PB suppliers and consumers) need to support the practice more effectively and consciously for reducing the PB consumption. In order to achieve a truly sustainable success in accordance with the goals and objectives expected from the practice, policy makers can re-examine the challenges and disruptions encountered in the implementation and make arrangements. Furthermore, various practices that may be alternative to the current practice can also be

evaluated and put into action in order to meet consumers' expectations. On the other hand, more research studies are required to evaluate the situation from the side of PB suppliers.

Considering the reliability results of the questionnaire, it can be concluded that the study has aspects that are open to further improvements. On the other hand, it may be necessary to apply different data analysis techniques in order to evaluate the results and findings more comprehensively or differently. Due to the limitations of the study, it should be noted that the results obtained from the study and related findings are valid only for the area and universe where the study was conducted. In order to obtain results that represent the whole country, it is necessary to carry out similar studies in different study areas and on different universes.

Acknowledgement

The authors would like to express their gratitudes to Assoc. Prof. Dr. Hamza KANDEMİR from Isparta University of Applied Sciences for contributing to the statistical analysis of the questionnaire data. Administrative chiefs of the units of Süleyman Demirel University who were requested permissions for the applicability of the questionnaire and responded positively to the requests, staff members of Graduate School of Natural and Applied Sciences who contributed to the preparation of the official letters for the permission request, and participants of the questionnaire are thankfully acknowledged by the authors. This paper was produced from M.Sc. thesis entitled "Evaluation of the effect of plastic bag charging on the consumers' behavior by questionnaire method: The case of Isparta province", of which the data were collected in 2019 and prepared in 2020 by the author Başak Uçman.

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] United Nations, 1987. Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future. <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/5987our-common-future.pdf> (Date accessed: 13.06.2019).
- [2] Taşçioğlu, M., 2020. Tüketicilerin Plastik Market Poşetleriyle İlgili Algılarını Etkileyen Faktörlerin Senaryo Bazlı Deney Yöntemiyle İncelenmesi. *Yönetim ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi*, 18(1), 122-137.
- [3] Özer, D., 2017. An Inquiry on Sustainability and Consumption Through Single-Use Disposable Products. Middle East Technical University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Department of Industrial Design, Ph.D. Thesis, 284p, Ankara.
- [4] Turkish Ministry of Environment, Urbanization and Climate Change, 2019. Procedures and Principles Regarding the Plastic Bags Charging. <https://webdosya.csb.gov.tr/db/turkce/icerikler/plasposuekns20200102-20200102143540.pdf> (Date accessed: 05.01.2020)
- [5] Kılıçer, E., 2018. Plastik Poşet Vergisi ve Örnek Ülke Uygulamaları. *Vergi Sorunları Dergisi*, 357, 55-64.
- [6] Martinho, G., Balaia, N., Pires, A., 2017. The Portuguese Plastic Carrier Bag Tax: The Effects on Consumers' Behavior. *Waste Management*, 61, 3-12.
- [7] Jayaraman, K., Hasnah, H., Sung, G.B., Lin, S.K., 2011. Consumer Reflections on The Usage of Plastic Bags to Parcel Hot Edible Items: An Emprical Study in Malaysia. *Journal of Cleaner Production*, 19, 1527-1535.
- [8] Resetar-Deac, A.M., Deak, G.Y., Marinescu, P., Daescu, V., 2015. The Plastic Materials Impact of Environment and Health: Population Awareness in Romania. *Journal of Environmental Protection and Ecology*, 16(1), 183-193.
- [9] Gürbüz, H., Yılmaz, V., 2018. Üniversite Öğrencilerinin Naylon Poşet Kullanımına İlişkin Tutum ve Davranışlarının Yapısal Eşitlik Modellemesiyle Araştırılması. *Sosyoekonomi*, 26(38), 135-149.
- [10] URL-5, 2020. Marine Lives Matter. <https://theaseanpost.com/article/marine-lives-matter> (Date accessed: 27.08.2020)
- [11] Wikipedia, 2023. Plastic Bag Ban. https://en.wikipedia.org/wiki/Plastic_bag_ban#/media/File:Plastic_bag_legislation.svg (Date accessed: 16.08.2023)
- [12] URL-7, 2020. What Should be Known About Plastic Bags. <https://sepa.org.tr/wp-content/uploads/2020/02/poset.pdf> (Date accessed: 16.03.2020)
- [13] Dursun, İ., 2019. Türkiye'de Plastik Poşetlerin Ücretlendirilmesi Uygulamasına Yönelik Tüketici Tepkilerinin Belirlenmesi. *İşletme Araştırmaları Dergisi*, 11(1), 427-446.
- [14] Aksöz, E. O., Aydın, B., Yücel, E. 2021. Tourists Approaches to Eco-Friendly Hotels and

- Determination of Green Hotel Preferences: The Case of Eskişehir. *Turizam*, 25(2), 83-95.
- [15] URL-14, 2009. One-way ANOVA. <https://www.istatistik.gen.tr/?p=29E> (Date accessed: 12.04.2020)
- [16] URL-15, 2020. Correct Use of Post-Hoc Test. <http://istatistikturkiye.com/post-hoc-testlerinin-dogru-kullanimi/> (Date accessed: 16.07.2020)
- [17] Yıldız, D., Uzunsakal, E., 2018. Alan Araştırmalarında Güvenilirlik Testlerinin Karşılaştırılması ve Tarımsal Veriler Üzerine Bir Uygulama. *Uygulamalı Sosyal Bilimler Dergisi*, 2(1), 14-28.
- [18] Yaraş, E., Özbük, M.Y., Göncü, Z.Ü., 2016. Tüketicilerin Alışveriş Merkezlerine Yönelik Tutum ve Davranışlarına Göre Kümeleneşmesi. *International Review of Economics and Management*, 4(2), 16-32.
- [19] Şentürk, G., 2020. Plastik Poşet Ücretinin Tüketici Davranışlarına Etkisinin Davranışsal İktisat Bağlamında Değerlendirilmesi. Marmara University, Institute of Social Sciences, Department of Economics, M.Sc. Thesis. 135p, İstanbul.
- [20] Demirel, M., 2023. Plastik Poşetlerin Ücretlendirilmesi Uygulamasının Çevre Bilincine Olası Katkıları: Kafkas Üniversitesi Örneği. *Çankırı Karatekin Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, Cilt 13, Sayı 1, ss. 152-184.
- [21] Topal, M.H., Günay, H.F., Uğur, C.Y., Aydın, A., 2020. Sebepli Eylem Teorisi Bağlamında Ücretli Poşet Kullanım Niyeti Üzerinde Etkili Faktörlerin İncelenmesi. *Küresel İktisat ve İşletme Çalışmaları Dergisi*, 9(17), 86-107.
- [22] Yasa, Y.A., Cop, R., 2019. Yeşil Pazarlama Anlayışında Tüketicilerin Plastik Poşet Kullanımına Yönelik Bakış Açılıarı: Belçika Örneği. *Gazi İktisat ve İşletme Dergisi*, 5(1), 34-45.
- [23] Şahin, Ö., 2023. Türkiye'de Plastik Poşet Vergisi Uygulaması: Sorunlar ve Çözüm Önerileri. Zonguldak Bülent Ecevit University, Institute of Social Sciences, Department of Business, M.Sc. Thesis. 189p,
- [24] Dursun, İ., 2020. Plastik Poşetlerin Ücretlendirilmesi Uygulamasına Gösterilen Tutumsal ve Davranışsal Desteğin Açıklanmasına Yönelik Model Önerisi. *Ömer Halisdemir Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 13(1), 129-148.

Appendices

Appendix A. The questionnaire

SECTION 1: Please tick the box for your answer.

| | | | | | | |
|--|---|--|---|--|--|------------------------------|
| 1. Gender | Female <input type="checkbox"/> | Male <input type="checkbox"/> | | | | |
| 2. Age | 18-29 <input type="checkbox"/> | 30-39 <input type="checkbox"/> | 40-49 <input type="checkbox"/> | 50-59 <input type="checkbox"/> | > 60 <input type="checkbox"/> | |
| 3. Marital status | Married <input type="checkbox"/> | Single <input type="checkbox"/> | | | | |
| 4. Education level | I'm not graduated but literate College/Undergraduate degree <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> | Primary school graduated Postgraduate degree <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> | High school graduated <input type="checkbox"/> | |
| 5. Occupation | Support personnel <input type="checkbox"/> | Administrative personnel <input type="checkbox"/> | Academic personnel <input type="checkbox"/> | | | |
| 6. Family size | 1 <input type="checkbox"/> | 2 <input type="checkbox"/> | 3 <input type="checkbox"/> | 4 <input type="checkbox"/> | 5 <input type="checkbox"/> | > 5 <input type="checkbox"/> |
| 7. Average household income per month | < 2.000 TL <input type="checkbox"/> 5.000-7.500 TL <input type="checkbox"/> | 2.000-3.000 TL <input type="checkbox"/> 7.500-10.000 TL <input type="checkbox"/> | 3.000-5.000 TL <input type="checkbox"/> > 10.000 TL <input type="checkbox"/> | | | |
| 8. The percentage of your household's total monthly income spent on shopping (Market-grocery and other shopping) | > 10% <input type="checkbox"/> | 10-25% <input type="checkbox"/> | 25-50% <input type="checkbox"/> | 50-75% <input type="checkbox"/> | > 75% <input type="checkbox"/> | |
| 9. Frequency of doing grocery shopping only | 2-3 times per week <input type="checkbox"/> | Once per week <input type="checkbox"/> | Once per 2 weeks <input type="checkbox"/> | Once per 3 weeks <input type="checkbox"/> | Once per month <input type="checkbox"/> | |
| 10. Number of plastic bags used for grocery shopping | Never use plastic bags <input type="checkbox"/> | 1-3 bag(s) <input type="checkbox"/> | > 4 bags <input type="checkbox"/> | | | |
| 11. Frequency of doing market shopping or other shopping | Once per week <input type="checkbox"/> Once per 2 weeks <input type="checkbox"/> | 2-3 times per week <input type="checkbox"/> Once per month <input type="checkbox"/> | Everyday <input type="checkbox"/> 2-3 times per month <input type="checkbox"/> | | | |
| 12. Number of plastic bags used for market shopping or other shopping | Never use plastic bags <input type="checkbox"/> | 1-3 bag(s) <input type="checkbox"/> | > 4 bags <input type="checkbox"/> | | | |

Appendix A (Continue)

SECTION 2: Please answer the questions in this section on behalf of your family, taking into account all individuals currently living in your home. Please answer all questions completely.

| | Totally disagree | Disagree | No opinion | Agree | Totally agree |
|---|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| | (1) | (2) | (3) | (4) | (5) |
| 13. It is not necessary to do grocery or other shopping for our family. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 14. It is not necessary to do grocery shopping for our family. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 15. We do shop even though we do not need to do. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 16. Our income level affects our shopping expenses. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 17. Too many plastic bags enter our home after our shopping. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 18. We usually carry the products we buy with plastic bags. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 19. We usually carry the products we buy with reusable bags. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 20. We usually carry the products we buy with string bag/paper bag. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 21. We usually carry the products we buy with trolley. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 22. We usually bring all the carrier bags we use for shopping from home. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 23. We usually bring some of the carrier bags we use for shopping from home and buy some of them. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 24. We usually do purchase all the carrier bags we use for shopping. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 25. We prefer the carrier bags we bring from home in order to not pay the bag fee. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 26. We prefer the carrier bags we bring from home because they are more useful/practical than the bags we bought. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 27. We prefer the carrier bags we bring from home because they are less harmful to the environment. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

Appendix A (Continue)

| | Totally disagree | Disagree | No opinion | Agree | Totally agree |
|--|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| | (1) | (2) | (3) | (4) | (5) |
| 28. We prefer the carrier bags we bring from home because we do not want to use too many plastic bags. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 29. When we get home after shopping, we use plastic bags as garbage bags. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 30. When we get home from shopping, we throw plastic bags in the garbage bin. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 31. When we get home from shopping, we put plastic bags in the recycling bin. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 32. When we get home from shopping, we keep plastic bags to use again for shopping. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 33. When we get home from shopping, we keep plastic bags to carry other products. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 34. We do not use any plastic bag left over from shopping for the next shopping. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 35. We use a plastic bag left over from shopping at least once for the next shopping. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 36. We use a plastic bag left over from shopping more than four times for the next shopping. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 37. We forgot to bring our own bags from home for all our shopping over the last six months. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 38. We forgot to bring our own bags from home for most of our shopping over the last six months | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 39. We brought our own bags from home for most of our shopping over the last six months. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 40. We brought at least one bag from home for all our shopping over the last six months. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 41. To bring reusable carrier bags for shopping is difficult for us. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 42. We bought garbage bags roll during our shopping in the last six months. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 43. We did not buy any garbage bags roll during our shopping in the last six months. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

Appendix A (Continue)

| | Totally disagree | Disagree | No opinion | Agree | Totally agree |
|---|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| | (1) | (2) | (3) | (4) | (5) |
| 44. Before plastic bags were charged a fee, we would take more plastic bags than we need from the point of sale. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 45. We think that plastic bags are a problem for environment or health. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 46. We know that plastic bags have been charged a fee per plastic bag taken from the point of sale by the beginning of January 2019. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 47. We know that plastic bags have been charged a fee, but we do not have much information about the details of the implementation. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 48. We support the charging implementation for plastic bags. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 49. We think that the fee of 25 kuruş per plastic bag is excessive. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 50. Although plastic bags have been charged a fee, we think that consumption of plastic bags is still high in Turkey. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 51. To my opinion, our government put the plastic bag charging implementation into force to collect more revenue. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 52. To my opinion, our government put the plastic bag charging implementation into force due to the excessive consumption of plastic bags. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 53. To my opinion, our government put the plastic bag charging implementation into force to increase the use of reusable and recyclable carrier bags. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 54. To my opinion, our government put the plastic bag charging implementation into force to conserve natural resources. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 55. We are in the adaptation period for the plastic bag charging implementation. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 56. After the implementation entered into force, our behavior towards reducing plastic bags consumption changed. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 57. We will change our habits regarding plastic bag consumption and start reducing the consumption soon. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 58. We would support if the use of plastic bags were banned completely. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

Appendix A (Continue)

| | | Totally disagree | Disagree | No opinion | Agree | Totally agree |
|---|---|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| | | (1) | (2) | (3) | (4) | (5) |
| 59. We think that plastic bag charging is an effective and efficient practice in solving environmental problems. | | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 60. We think that plastic bags used to carry vegetables and fruits after grocery shopping must also be charged a fee. | | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 61. We think that plastic bags are not provided with charge by all the markets. | | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 62. From now on, instead of buying plastic bags, we will bring our own bag for all our shopping | | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Regarding the plastic bag charging implementation, we think that is more beneficial. | 63. The ongoing implementation should be abolished, and the plastic bags should be charge-free as before. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | 64. The fee should remain the same at 25 kurus per bag. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | 65. The implementation should be maintained with a higher fee per bag. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | 66. The use of plastic bags should be banned completely. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | 67. The implementation can be abolished and replaced with other implementations. For example; each household should be assigned a quota for charge-free plastic bag, then a fee per bag should be charged after the quota is reached. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 68. The fee should remain the same at 25 kurus per bag, but incentive promotions should be implemented to reduce plastic bag consumption. | | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

Appendix B. Results from one-way ANOVA and Post-Hoc tests

| Variable | Quest. No | Groups (G) | Freq. (N) | Mean (X) | Std. Dev. (SD) | *Sig ₁ | **Sig ₂ | Diff. Groups | Quest. No | Groups (G) | Freq. (N) | Mean (X) | Std. Dev. (SD) | *Sig ₁ | **Sig ₂ | Diff. Groups |
|-----------|-----------|------------|-----------|----------|----------------|-------------------|--------------------|-------------------------|-----------|------------|-----------|----------|----------------|-------------------|--------------------|----------------|
| Age | 15 | 18-29 | 109 | 2.413 | 1.2635 | 0.002 | 0.024 | G4-G1 G4-G2 G4-G3 | 49 | 18-29 | 109 | 3.147 | 1.3933 | 0.402 | 0.044 | G2-G1 |
| | | 30-39 | 136 | 2.390 | 1.2776 | | | | | 30-39 | 136 | 2.640 | 1.4487 | | | |
| | | 40-49 | 94 | 2.330 | 1.2477 | | | | | 40-49 | 94 | 3.000 | 1.4368 | | | |
| | | 50-59 | 24 | 1.583 | 0.7755 | | | | | 50-59 | 23 | 3.000 | 1.6514 | | | |
| | 19 | 18-29 | 108 | 2.991 | 1.1232 | 0.170 | 0.027 | G3-G1 | 51 | 18-29 | 108 | 3.250 | 1.2465 | 0.118 | 0.036 | G2-G1 |
| | | 30-39 | 131 | 3.382 | 1.2917 | | | | | 30-39 | 128 | 2.797 | 1.2696 | | | |
| | | 40-49 | 90 | 3.478 | 1.3259 | | | | | 40-49 | 81 | 3.198 | 1.3548 | | | |
| | | 50-59 | 23 | 3.435 | 1.1995 | | | | | 50-59 | 23 | 2.913 | 1.5642 | | | |
| | 28 | 18-29 | 108 | 3.250 | 1.2907 | 0.198 | 0.049 | G3-G2 | 54 | 18-29 | 107 | 3.168 | 1.2551 | 0.018 | 0.012 | G3-G1 |
| | | 30-39 | 131 | 3.191 | 1.2837 | | | | | 30-39 | 131 | 3.427 | 1.2218 | | | |
| | | 40-49 | 84 | 3.667 | 1.2451 | | | | | 40-49 | 85 | 3.741 | 1.0818 | | | |
| | | 50-59 | 24 | 3.375 | 1.2446 | | | | | 50-59 | 23 | 3.217 | 1.5062 | | | |
| | 40 | 18-29 | 108 | 2.898 | 1.2821 | 0.624 | 0.048 | G3-G1 | | | | | | | | |
| | | 30-39 | 132 | 3.197 | 1.3102 | | | | | | | | | | | |
| | | 40-49 | 84 | 3.393 | 1.2708 | | | | | | | | | | | |
| | | 50-59 | 24 | 2.958 | 1.1971 | | | | | | | | | | | |
| Education | 16 | PS | 22 | 3.591 | 1.4690 | 0.000 | 0.005 | G3-G5 | 30 | PS | 23 | 1.957 | 1.1862 | 0.310 | 0.013 | G4-G5 |
| | | HS | 48 | 3.438 | 1.4718 | | | | | HS | 46 | 2.043 | 1.1147 | | | |
| | | CUG | 138 | 3.964 | 1.1296 | | | | | CUG | 129 | 2.147 | 1.1257 | | | |
| | | PG | 150 | 4.060 | 0.9500 | | | | | PG | 138 | 1.725 | 0.9572 | | | |
| | 17 | PS | 22 | 2.273 | 1.2792 | 0.973 | 0.031 | G2-G4 | 32 | PS | 23 | 3.174 | 1.3702 | 0.898 | 0.009 | G4-G5 |
| | | HS | 49 | 2.531 | 1.1920 | | | | | HS | 47 | 3.149 | 1.3984 | | | |
| | | CUG | 137 | 2.964 | 1.2332 | | | | | CUG | 128 | 3.172 | 1.3108 | | | |
| | | PG | 147 | 2.755 | 1.2140 | | | | | PG | 140 | 2.657 | 1.3506 | | | |
| | 26 | PS | 22 | 2.318 | 1.4601 | 0.642 | 0.018 | G2-G3 G2-G5 | 34 | PS | 23 | 2.087 | 1.2400 | 0.010 | 0.004 | G5-G2 G5-G3 |
| | | HS | 47 | 3.362 | 1.2585 | | | | | HS | 48 | 2.250 | 1.3128 | | | |
| | | CUG | 128 | 2.984 | 1.3220 | | | | | CUG | 130 | 2.554 | 1.2884 | | | |
| | | PG | 140 | 3.129 | 1.3077 | | | | | PG | 140 | 2.943 | 1.4483 | | | |
| | 28 | PS | 23 | 2.739 | 1.4212 | 0.021 | 0.002 | G3-G5 | 35 | PS | 23 | 3.304 | 1.2590 | 0.176 | 0.021 | G4-G5 |
| | | HS | 47 | 2.872 | 1.3928 | | | | | HS | 46 | 2.783 | 1.3970 | | | |
| | | CUG | 131 | 3.466 | 1.2545 | | | | | CUG | 133 | 3.075 | 1.2286 | | | |
| | | PG | 143 | 3.476 | 1.1917 | | | | | PG | 145 | 2.669 | 1.2859 | | | |
| | 29 | PS | 22 | 3.591 | 1.3683 | 0.000 | 0.000 | G3-G5 | 36 | PS | 23 | 2.522 | 1.3774 | 0.000 | 0.002 | G4-G5 |
| | | HS | 48 | 3.563 | 1.4426 | | | | | HS | 47 | 2.340 | 1.2385 | | | |
| | | CUG | 137 | 4.036 | 0.9956 | | | | | CUG | 128 | 2.516 | 1.1771 | | | |
| | | PG | 148 | 4.311 | 0.8480 | | | | | PG | 140 | 2.000 | 1.0457 | | | |

(*: *p* value for the equality of variances test; **: *P* value for one-way ANOVA test; PS: Primary school; HS: High school; CUG: College/Undergraduate degree; PG: Postgraduate degree)

Appendix B (Continue)

| Variable | Quest. No | Groups (G) | Freq. (N) | Mean (X) | Std. Dev. (SD) | *Sig ₁ | **Sig ₂ | Diff. Groups | Quest. No | Groups (G) | Freq. (N) | Mean (X) | Std. Dev. (SD) | *Sig ₁ | **Sig ₂ | Diff. Groups |
|------------|-----------|------------|-----------|----------|----------------|-------------------|--------------------|----------------|-----------|------------|-----------|----------|----------------|-------------------|--------------------|----------------|
| Education | 45 | PS | 21 | 3.952 | 1.2440 | 0.030 | 0.001 | G5-G3 G5-G4 | 49 | PS | 23 | 3.043 | 1.6646 | 0.135 | 0.029 | G5-G3 G4-G5 |
| | | HS | 48 | 3.646 | 1.3446 | | | | | HS | 48 | 3.042 | 1.3362 | | | |
| | | CUG | 138 | 4.007 | 1.1106 | | | | | CUG | 138 | 3.130 | 1.4133 | | | |
| | | PG | 150 | 4.347 | 0.9898 | | | | | PG | 150 | 2.640 | 1.4576 | | | |
| | 46 | PS | 23 | 3.870 | 1.3247 | 0.050 | 0.000 | G5-G2 G5-G3 | 56 | PS | 23 | 3.130 | 1.6322 | 0.000 | 0.003 | G3-G5 |
| | | HS | 48 | 3.875 | 1.1416 | | | | | HS | 48 | 3.292 | 1.3202 | | | |
| | | CUG | 138 | 4.196 | 1.0797 | | | | | CUG | 136 | 3.647 | 1.0855 | | | |
| | | PG | 150 | 4.507 | 0.8172 | | | | | PG | 150 | 3.833 | 0.9153 | | | |
| | 47 | PS | 23 | 2.957 | 1.4295 | 0.219 | 0.000 | G5-G3 G5-G4 | 63 | PS | 23 | 2.348 | 1.4957 | 0.007 | 0.001 | G5-G3 G5-G4 |
| | | HS | 47 | 3.468 | 1.1951 | | | | | HS | 46 | 2.609 | 1.3901 | | | |
| | | CUG | 138 | 3.007 | 1.2815 | | | | | CUG | 133 | 2.556 | 1.4377 | | | |
| | | PG | 150 | 2.427 | 1.3074 | | | | | PG | 144 | 1.958 | 1.2453 | | | |
| | 48 | PS | 23 | 2.957 | 1.4917 | 0.566 | 0.003 | G5-G2 | | | | | | | | |
| | | HS | 47 | 3.043 | 1.3666 | | | | | | | | | | | |
| | | CUG | 138 | 3.384 | 1.3253 | | | | | | | | | | | |
| | | PG | 149 | 3.725 | 1.3041 | | | | | | | | | | | |
| Occupation | 14 | SP | 130 | 1.731 | 1.0696 | 0.000 | 0.002 | G1-G3 | 34 | SP | 125 | 2.280 | 1.2352 | 0.001 | 0.001 | G1-G3 |
| | | AdP | 97 | 1.464 | 0.7781 | | | | | AdP | 90 | 2.700 | 1.3529 | | | |
| | | AcP | 134 | 1.351 | 0.6856 | | | | | AcP | 128 | 2.930 | 1.4645 | | | |
| | 29 | SP | 128 | 3.711 | 1.2433 | 0.000 | 0.000 | G1-G2 G1-G3 | 35 | SP | 127 | 3.087 | 1.2911 | 0.388 | 0.003 | G3-G1 G3-G2 |
| | | AdP | 95 | 4.137 | 1.0580 | | | | | AdP | 91 | 3.033 | 1.2152 | | | |
| | | AcP | 134 | 4.313 | 0.8080 | | | | | AcP | 132 | 2.583 | 1.2843 | | | |
| | 30 | SP | 125 | 2.112 | 1.1515 | 0.059 | 0.001 | G3-G1 G3-G2 | 36 | SP | 126 | 2.643 | 1.2678 | 0.000 | 0.000 | G1-G2 G1-G3 |
| | | AdP | 89 | 2.101 | 1.1083 | | | | | AdP | 88 | 2.239 | 1.1037 | | | |
| | | AcP | 125 | 1.672 | 0.8960 | | | | | AcP | 127 | 1.961 | 1.0266 | | | |
| | 31 | SP | 125 | 2.400 | 1.2181 | 0.001 | 0.004 | G3-G1 G3-G2 | 41 | SP | 128 | 2.531 | 1.2794 | 0.382 | 0.049 | G2-G3 |
| | | AdP | 88 | 2.455 | 1.0711 | | | | | AdP | 97 | 2.825 | 1.2666 | | | |
| | | AcP | 125 | 2.008 | 0.9878 | | | | | AcP | 133 | 2.421 | 1.1948 | | | |
| | 32 | SP | 126 | 3.206 | 1.3465 | 0.849 | 0.000 | G3-G1 G3-G2 | 42 | SP | 128 | 2.641 | 1.3732 | 0.198 | 0.016 | G2-G1 |
| | | AdP | 87 | 3.138 | 1.2865 | | | | | AdP | 92 | 3.174 | 1.3876 | | | |
| | | AcP | 128 | 2.570 | 1.3439 | | | | | AcP | 131 | 3.000 | 1.4728 | | | |
| | 33 | SP | 126 | 3.365 | 1.2432 | 0.004 | 0.002 | G3-G1 G3-G2 | 45 | SP | 127 | 3.764 | 1.2438 | 0.017 | 0.000 | G1-G2 G1-G3 |
| | | AdP | 89 | 3.506 | 1.1294 | | | | | AdP | 98 | 4.153 | 1.1155 | | | |
| | | AcP | 127 | 2.945 | 1.3352 | | | | | AcP | 134 | 4.373 | 0.9393 | | | |

SP: Support personnel; AdP: Administrative personnel; AcP: Academic personnel

Appendix B (Continue)

| Variable | Quest. No | Groups (G) | Freq (N) | Mean (X) | Std. Dev. (SD) | *Sig ₁ | **Sig ₂ | Diff. Groups | Quest. No | Groups (G) | Freq (N) | Mean (X) | Std. Dev. (SD) | *Sig ₁ | **Sig ₂ | Diff. Groups |
|--------------|-----------|------------|----------|----------|----------------|-------------------|--------------------|-------------------------|-----------|------------|----------|----------|----------------|-------------------|--------------------|----------------|
| Occupation | 46 | SP | 129 | 3.938 | 1.1776 | 0.002 | 0.000 | G1-G2 G1-G3 | 56 | SP | 129 | 3.419 | 1.2481 | 0.000 | 0.011 | G1-G3 |
| | | AdP | 98 | 4.316 | 1.0898 | | | | | AdP | 96 | 3.698 | 1.1343 | | | |
| | | AcP | 134 | 4.530 | 0.7223 | | | | | AcP | 134 | 3.821 | 0.9082 | | | |
| | 47 | SP | 128 | 3.102 | 1.2788 | 0.443 | 0.002 | G1-G3 | 59 | SP | 128 | 3.156 | 1.3942 | 0.003 | 0.046 | G1-G3 |
| | | AdP | 98 | 2.847 | 1.3343 | | | | | AdP | 98 | 3.337 | 1.2348 | | | |
| | | AcP | 134 | 2.530 | 1.3472 | | | | | AcP | 134 | 3.545 | 1.1478 | | | |
| | 48 | SP | 128 | 3.180 | 1.3886 | 0.000 | 0.000 | G3-G1 G3-G2 | 63 | SP | 126 | 2.452 | 1.3776 | 0.000 | 0.005 | G3-G1 G3-G2 |
| | | AdP | 98 | 3.276 | 1.4343 | | | | | AdP | 92 | 2.543 | 1.5293 | | | |
| | | AcP | 133 | 3.835 | 1.1946 | | | | | AcP | 130 | 2.000 | 1.2575 | | | |
| | 49 | SP | 129 | 3.062 | 1.4348 | 0.950 | 0.002 | G3-G1 G3-G2 | 67 | SP | 126 | 3.000 | 1.3266 | 0.943 | 0.003 | G3-G1 G3-G2 |
| | | AdP | 98 | 3.173 | 1.4289 | | | | | AdP | 92 | 2.989 | 1.3051 | | | |
| | | AcP | 134 | 2.560 | 1.4328 | | | | | AcP | 130 | 2.500 | 1.3133 | | | |
| Income level | 32 | a | 28 | 3.179 | 1.2781 | 0.158 | 0.011 | G3-G5 | 48 | a | 26 | 3.231 | 1.5571 | 0.019 | 0.033 | G2-G6 |
| | | b | 61 | 2.934 | 1.4008 | | | | | b | 62 | 3.145 | 1.3410 | | | |
| | | c | 79 | 3.316 | 1.2356 | | | | | c | 86 | 3.279 | 1.4113 | | | |
| | | d | 92 | 2.913 | 1.3231 | | | | | d | 99 | 3.505 | 1.3430 | | | |
| | | e | 49 | 2.408 | 1.3373 | | | | | e | 52 | 3.731 | 1.2226 | | | |
| | | f | 32 | 2.813 | 1.5541 | | | | | f | 35 | 3.943 | 1.2353 | | | |
| | 33 | a | 28 | 3.214 | 1.1974 | 0.002 | 0.009 | G3-G4 G3-G5 | 63 | a | 27 | 2.259 | 1.3183 | 0.000 | 0.024 | G2-G6 |
| | | b | 62 | 3.306 | 1.3255 | | | | | b | 61 | 2.787 | 1.5823 | | | |
| | | c | 79 | 3.671 | 1.0708 | | | | | c | 82 | 2.427 | 1.4318 | | | |
| | | d | 93 | 3.108 | 1.2464 | | | | | d | 97 | 2.196 | 1.3435 | | | |
| | | e | 48 | 2.854 | 1.3525 | | | | | e | 49 | 2.082 | 1.2721 | | | |
| | | f | 32 | 3.094 | 1.3995 | | | | | f | 33 | 1.879 | 1.1112 | | | |
| | 36 | a | 28 | 2.429 | 1.1996 | 0.022 | 0.001 | G5-G2 G5-G3 G5-G4 | 67 | a | 27 | 2.963 | 1.4539 | 0.277 | 0.024 | G3-G6 |
| | | b | 61 | 2.721 | 1.3055 | | | | | b | 62 | 2.726 | 1.4162 | | | |
| | | c | 80 | 2.288 | 1.1160 | | | | | c | 82 | 3.195 | 1.2417 | | | |
| | | d | 92 | 2.293 | 1.1817 | | | | | d | 96 | 2.760 | 1.2876 | | | |
| | | e | 48 | 1.750 | 0.8873 | | | | | e | 49 | 2.571 | 1.3844 | | | |
| | | f | 32 | 2.094 | 1.1176 | | | | | f | 33 | 2.364 | 1.1677 | | | |
| | 47 | a | 27 | 3.111 | 1.4500 | 0.335 | 0.015 | G2-G6 | | | | | | | | |
| | | b | 63 | 3.159 | 1.2470 | | | | | | | | | | | |
| | | c | 86 | 2.895 | 1.3808 | | | | | | | | | | | |
| | | d | 98 | 2.694 | 1.2134 | | | | | | | | | | | |
| | | e | 52 | 2.808 | 1.3868 | | | | | | | | | | | |
| | | f | 35 | 2.200 | 1.3890 | | | | | | | | | | | |

SP: Support personnel; AdP: Administrative personnel; AcP: Academic personnel; a: <2.000 TL; b: 2.000-3.000 TL; c: 3.000-5.000 TL; d: 5.000-7.500 TL; e: 7.500-10.000 TL; f: >10.000 TL

Appendix B (Continue)

| Variable | Quest. No | Groups (G) | Freq (N) | Mean (X) | Std. Dev. (SD) | *Sig ₁ | **Sig ₂ | Diff. Groups | Quest. No | Groups (G) | Freq (N) | Mean (X) | Std. Dev. (SD) | *Sig ₁ | **Sig ₂ | Diff. Groups | |
|-------------|-----------|------------|----------|----------|----------------|-------------------|--------------------|----------------|----------------|------------|----------|----------|----------------|-------------------|--------------------|-------------------------|----------------|
| Family size | 20 | 1 | 54 | 2.278 | 1.2800 | 0.016 | 0.000 | G6-G1 | 58 | 1 | 57 | 3.474 | 1.3243 | 0.002 | 0.043 | G6-G3 G6-G4 G5-G4 | |
| | | 2 | 51 | 3.118 | 1.3364 | | | G6-G2 | | 2 | 54 | 3.444 | 1.2689 | | | | |
| | | 3 | 93 | 2.280 | 1.2885 | | | G6-G3 | | 3 | 98 | 3.306 | 1.2796 | | | | |
| | | 4 | 106 | 2.632 | 1.3616 | | | G6-G4 | | 4 | 113 | 3.204 | 1.2967 | | | | |
| | | 5 | 28 | 2.571 | 1.2301 | | | G6-G5 | | 5 | 29 | 3.931 | 0.9611 | | | | |
| | | >5 | 10 | 1.400 | 0.5164 | | | G2-G1 G2-G3 | | >5 | 9 | 4.111 | 0.6009 | | | | |
| | 43 | 43 | 1 | 57 | 3.211 | 1.5087 | 0.002 | 0.025 | G6-G3 G6-G4 | 60 | 1 | 57 | 3.088 | 1.4051 | 0.180 | 0.015 | G1-G4 G1-G2 |
| | | | 2 | 52 | 3.173 | 1.3823 | | | | | 2 | 54 | 2.574 | 1.2378 | | | |
| | | | 3 | 94 | 2.734 | 1.4003 | | | | | 3 | 98 | 2.551 | 1.2773 | | | |
| | | | 4 | 107 | 2.720 | 1.4327 | | | | | 4 | 113 | 2.381 | 1.2343 | | | |
| | | | 5 | 29 | 2.897 | 1.4229 | | | | | 5 | 29 | 2.759 | 1.2437 | | | |
| | | | >5 | 9 | 4.000 | 0.8660 | | | | | >5 | 9 | 2.000 | 1.0000 | | | |
| | 55 | 55 | 1 | 58 | 3.638 | 1.1802 | 0.522 | 0.004 | G3-G4 | 61 | 1 | 57 | 3.404 | 1.3210 | 0.147 | 0.041 | G1-G4 |
| | | | 2 | 54 | 3.093 | 1.1699 | | | | | 2 | 54 | 2.630 | 1.2929 | | | |
| | | | 3 | 98 | 3.643 | 1.1510 | | | | | 3 | 97 | 2.959 | 1.2576 | | | |
| | | | 4 | 113 | 3.115 | 1.2229 | | | | | 4 | 113 | 3.115 | 1.2730 | | | |
| | | | 5 | 29 | 3.586 | 1.1807 | | | | | 5 | 29 | 3.103 | 1.1131 | | | |
| | | | >5 | 9 | 3.667 | 1.3229 | | | | | >5 | 9 | 2.778 | 0.8333 | | | |
| | 57 | 57 | 1 | 58 | 3.724 | 1.0562 | 0.189 | 0.031 | G4-G5 | | 1 | 57 | 3.404 | 1.3210 | | | |
| | | | 2 | 54 | 3.611 | 1.1060 | | | | | 2 | 54 | 2.630 | 1.2929 | | | |
| | | | 3 | 98 | 3.633 | 1.0972 | | | | | 3 | 97 | 2.959 | 1.2576 | | | |
| 4 | | | 113 | 3.389 | 1.1215 | 4 | | | | | 113 | 3.115 | 1.2730 | | | | |
| 5 | | | 29 | 4.103 | 1.0122 | 5 | | | | | 29 | 3.103 | 1.1131 | | | | |
| >5 | | | 9 | 4.000 | 0.7071 | >5 | | | | | 9 | 2.778 | 0.8333 | | | | |

Jelatin ve Sodyum Aljinat Polimerleriyle Kenevir Yağının Mikroenkapsülasyonu ve Salınım Özelliklerinin İncelenmesi

Okan BAYRAM*¹, Fethiye GÖDE²

^{1,2} Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Kimya Bölümü, 32000, Isparta, Türkiye

(Alınış / Received: 20.12.2022, Kabul / Accepted: 14.11.2023, Online Yayınlanma / Published Online: 25.12.2023)

Anahtar Kelimeler

Kenevir yağı,
Enkapsülasyon,
Salınım,
Jelatin,
Sodyum Aljinat,
Deney Tasarımı.

Öz: Kenevir yağı dünyada farklı amaçlar için kullanılan bir yağdır. Farklı özelliklere sahip olan kenevir yağı bu çalışmada jelatin (JE) ve sodyum aljinat (ALJ) ile oluşturulan bir deney setinde kompleks koaservasyon yöntemiyle mikroenkapsüle edilmiştir. Karıştırma hızı, sıcaklık ve surfaktan derişimi giriş faktörleri olarak seçilmiş ve yüzde enkapsülasyon verimi (%EV) ile arasındaki ilişki incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar maksimize olarak optimize edilmiş ve hekzan ortamında salınım özellikleri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlarda model uyumsuzluğunun p değeri 0,060 bulunmuştur. $p > 0,050$ olduğu için oluşturulan model ile veri uyuşmaktadır. Maksimize olarak optimize edilen sonuçlar 1460,310 rpm karıştırma hızı, 56,897 °C sıcaklık ve %0,827 a/h surfaktan derişiminde verim değeri %63,491 hesaplanmış ve yapılan deneyde %62,780 olarak bulunmuştur. Elde edilen mikrokapsüller FT-IR, optik mikroskop ve SEM cihazları ile karakterize edilmiştir. Optik mikroskop görüntüleri incelendiğinde mikrokapsüllerin düzgün, yuvarlak şeklinde olduğunu belirlenmiştir.

Microencapsulation of Hemp Oil with Gelatin and Sodium Alginate Polymers and Investigation of Release Properties

Keywords

Hemp oil,
Encapsulation,
Release,
Gelatine,
Sodium Alginate,
Experimental Design.

Abstract: Hemp oil is an oil used for different purposes around the world. In this study, hemp oil with different properties was microencapsulated by complex coacervation method in an experiment set formed with gelatin (GE) and sodium alginate (ALG). Stirring speed, temperature and surfactant concentration were chosen as input factors and the relationship between percent encapsulation efficiency (EE%) was investigated. The obtained results were optimized to maximize and the release properties in hexane medium were investigated. In the results obtained, the p value of the lack-of-fit was found to be 0.060. Since $p > 0.050$, the data matches the model created. Maximize optimized results were calculated as 63.491% at 1460.310 rpm stirring speed, 56.897 °C temperature and 0.827% w/v surfactant concentration, and it was found to be 62.780% in the experiment. Obtained microcapsules were characterized by FT-IR, optical microscope and SEM devices. When the optical microscope images were examined, it was determined that the microcapsules were smooth and round in shape.

1. Giriş

Uçucu yağların enkapsülasyonu duysal özellikleri geliştirmek ve mikroorganizmalar tarafından bozulmayı önlemek gibi etkiler göstermektedir. Serbest yağların enkapsüle edilerek uçuculuğunun azaltılması termal kararlılığını arttırmaktadır. Enkapsülasyon işlemi uçucu yağların hidrofobik özelliği nedeniyle gıdalarda dağılıbilirlik özelliğini iyileştirmektedir [1]. Enkapsülasyon, belirli bir malzeme veya malzeme karışımını kaplama yöntemi olarak adlandırılır kapsüllenen madde çekirdek

kapsülün toplam ağırlığının %30 ile %99'unu oluşturur. Çekirdek madde, tek bir madde veya katı sıvı ve gaz olabilir [2]. Duvar malzemesi genellikle çözünmez çekirdek ile reaksiyon vermez. Mikrokapsülün görevi çekirdek maddeye oksijen, su, basınç gibi etkilerden bariyer özelliği göstererek korumaktır [3]. Enkapsülasyon işlemi sıvı maddeyi katı bir fazla dönüştürerek, stabiliteyi arttırmak ve kapsüllenmiş maddenin tadını kokusunu maskeleyerek uygulamayı kolaylaştırır. Bunun yanı sıra uçucu yağların enkapsülasyonu partikül çaplarını en aza indirerek antimikrobiyal etkilerinin

gelişmesini katkı sağlamaktadır [4]. Dünya çapında bilim insanları tüketicilerin sağlığını korumak için faydalı besin kaynakları olarak kullanabilecekleri gıdaları karakterize etmeyi amaçlamaktadır yani ürünlerin geliştirilebilmesi ve gıdalardaki biyo-erişilebilirliği kontrol etmek için geleneksel yöntemleri yeni teknolojiler ile birleştirmek istemişlerdir. Bu amaçla tarihte kullanılan ilk tekniklerden biri olan mikroenkapsülasyon tekniği özellikle ilaçların kontrollü salınımlarını sağlamak için 1954'lerde başarıyla kullanılmıştır [5-6]. Kenevir (*Cannabis sativa L.*) bitkisi, en eski evcil bitkilerden biridir. Kenevir yıllarca kâğıt, tekstil ve kordon üretmek için ekilmiştir. Bir besin kaynağı olarak kullanıldığında, kenevir tohumu soğuk presleme ile işlenir, sonuçta mükemmel nutrasötik özelliklere sahip olduğu iddia edilen yağ elde edilir [7]. Kenevir (*Cannabis sativa L.*) tohumu yağı, temel olarak, besin özellikleri nedeniyle sağlık için yararları önemli bir yağdır. Yağ asidi bileşimi yağ içeriği %25-35 arasında değişirken, bütün kenevir tohumu ek olarak yaklaşık %20-25 protein, %20-30 karbonhidrat ve %10-15 lif içerir [8]. Esansiyel amino ve yağ asitlerinin kaynağı olmasıyla kenevir tohumu yağı tam bir besin kaynağıdır. Ek olarak, bileşenlerin yağda farmakolojik aktivite sergiledikleri gösterilmiştir [8, 9]. Kenevir tohumu yağı, sırasıyla ana omega-6 ve omega-3 çoklu doymamış yağ asitleri (PUFA) olarak linoleik asit (LA) ve linolenik asit (LNA) içerir. Yanıt yüzeyi metodolojisi (YYM), kurulan prosesin optimize edilmesinde ve iyileştirilmesinde kullanılan bir grup istatistiksel ve matematiksel yöntemler bütünüdür. Bu yöntemle seçilen bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkenle arasındaki ilişki istatistiksel olarak açıklanabilmektedir [10]. Bu çalışmada kenevir yağı belirlenen deney şartlarında jelatin ve sodyum aljinat polimerleriyle mikroenkapsüle edilerek elde edilen sonuç optimize edilmiştir ve hekzan ortamındaki salınım özellikleri incelenmiştir.

2. Materyal ve Metot

2.1. FT-IR Analizi

Deneylerde kullanılan kenevir yağı, mikrokapsül duvarında kullanılan polimerler ve üretilen mikrokapsüllere FT-IR analizi yapılmıştır. FT-IR analizinde JASCO FT/IR-4700typeA model cihaz ve ATR PRO ONE aksesuarı ile kullanılmıştır. Cihaz, 4000-400 cm⁻¹ kızılötesi aralığındaki numuneleri analiz kullanılmıştır.

2.2. Optik Mikroskop ve SEM Analizi

Elde edilen mikrokapsüller boyut, şekil, renk gibi özellikleriyle değerlendirilmesi için Buco BM-2000 marka optik mikroskop ve QuantaTM 250 FEG marka SEM cihazıyla incelenmiştir [11, 12].

2.3. Kompleks Koaservasyon Metoduyla Deney Yapılışı

Kenevir yağının mikroenkapsülasyonunda kompleks koaservasyon yöntemi kullanılmıştır. Başlangıçta 4 g

kenevir yağı ve ilgili parametrelerdeki değerler deneysel süreçte kullanılmıştır. Kenevir yağı yerel bir satıcıdan tedarik edilmiştir. Karıştırma hızı tüm deneylerde ilk aşamada deney tasarımındaki parametrelerden 1000 rpm-1500 rpm, ikinci aşamada 400,00 rpm'dir. Sıcaklık (50,00 °C - 60,00 °C) deney setine göre ısıtıcı manyetik karıştırıcıda (Weightlab WNH550) her bir deney için ayarlanmıştır. JE-ALJ duvar materyali olarak kullanılan deneyler (%1,250 a/h) 4:1 oranında kullanılmıştır. İlk aşamada istenen sıcaklığa (50,00°C - 60,00°C) getirilen deney ortamında kenevir yağları hazırlanan jelatin çözeltisi ile 20 dakika süreyle karıştırılmıştır. Karışıma surfaktan madde olarak deney setlerinde belirlenen sodyum dodesil sülfat (SDS) 0,250 mL eklenerek 20 dakika daha karıştırılmıştır. Sodyum aljinat (%1,250 a/h) eklenerek karıştırılmaya 20 dakika daha devam edilmiştir. Daha sonra (%10,00 h/h) asetik asit çözeltisiyle karışımın pH değeri ayarlanmıştır ve 90 dakika daha 400 rpm'de karıştırılmıştır. Sürenin sonunda ısıtıcı kapatılarak 300 mL soğuk deiyonize su ve (%10,00 h/h) 2 mL glutaraldehit karışıma eklenmiştir. Sıcaklık düşmesi dijital termometre ve ısıtıcının probu ile kontrol edilmiştir. Bu aşamada 400 rpm'de karıştırılmaya devam edilmiştir. Toplam karışım süresi 4 saat 30 dakikaya tamamlanmıştır. Daha sonra elde edilen karışım bir gün bekletilerek yıkama, süzme, işlemleri yapılmıştır [11, 12].

2.4. Salınım Özellikleri İncelemesi

Jelatin ve sodyum aljinat ile mikroenkapsüle edilen kenevir yağının salınımı literatürdeki benzer çalışmalar yardımıyla oluşturulan metot ile ölçülmüştür. Öncelikle mikrokapsülün çekirdeği olan yağ, hekzan ile farklı derişimlerde karıştırılarak bir kalibrasyon seti hazırlanmıştır. Hekzan ortamına koyulan mikrokapsül numunelerinin farklı zamanlarda absorbans değerleri ölçülmüştür. Elde edilen değerler yardımı ile mikrokapsülün salınım grafiği çizilerek değerlendirilmiştir [13, 14].

2.5. Verim Hesabı

Enkapsülasyon verimi hesaplanırken literatürdeki benzer çalışmalar yardımıyla oluşturulan Denklem 1 kullanılmıştır [11, 12, 15-19].

$$\%EV = \frac{\text{Toplam Yağ Miktarı} - \text{Yüzey Yağı Miktarı}}{\text{Toplam Yağ Miktarı}} \times 100 \quad (1)$$

3. Bulgular

3.1. Deney Tasarımı Sonuçları

Jelatin ve sodyum aljinat duvar materyalinde kenevir yağı içeren mikrokapsüller için oluşturulan deney tasarımı ve elde edilen deneysel verim ve hesaplanan verim değerleri Tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1. Kenevir Yağı-JE/ALJ deney tasarımı sonuçları

| Karıştırma Hızı (rpm) | Sıcaklık (°C) | Surfaktan Derişimi (%a/h) | DeneySEL Verim (%EV) | Hesaplanan Verim (%EV) |
|-----------------------|---------------|---------------------------|----------------------|------------------------|
| 1000,000 | 50,000 | 0,300 | 45,380 | 43,297 |
| 1250,000 | 55,000 | 0,500 | 57,580 | 57,808 |
| 1250,000 | 55,000 | 0,500 | 57,420 | 57,808 |
| 1500,000 | 60,000 | 0,300 | 60,780 | 57,932 |
| 1500,000 | 50,000 | 0,700 | 63,850 | 59,112 |
| 1000,000 | 60,000 | 0,700 | 41,580 | 41,577 |
| 1250,000 | 55,000 | 0,500 | 57,850 | 57,808 |
| 1250,000 | 46,835 | 0,500 | 45,670 | 51,456 |
| 1250,000 | 55,000 | 0,500 | 56,250 | 57,808 |
| 1250,000 | 55,000 | 0,827 | 55,850 | 59,124 |
| 1658,250 | 55,000 | 0,500 | 47,580 | 55,038 |
| 1250,000 | 55,000 | 0,173 | 57,580 | 61,034 |
| 1250,000 | 63,165 | 0,500 | 53,250 | 54,199 |
| 841,750 | 55,000 | 0,500 | 27,540 | 26,910 |
| 1000,000 | 60,000 | 0,300 | 41,580 | 44,737 |
| 1000,000 | 50,000 | 0,700 | 36,580 | 37,857 |
| 1250,000 | 55,000 | 0,500 | 55,470 | 57,808 |
| 1500,000 | 60,000 | 0,700 | 60,520 | 61,032 |
| 1500,000 | 50,000 | 0,300 | 59,850 | 58,292 |
| 1250,000 | 55,000 | 0,500 | 58,750 | 57,808 |
| | | R ² | %94,560 | |
| | | Model | 0,060 | |
| | | Uyumsuzluğu | | |

Elde edilen sonuçlar üzerinden hesaplanan ANOVA sonuçları Tablo 2'de gösterilmiştir.

Tablo 2. Kenevir Yağı-JE/ALJ için ANOVA sonuçları

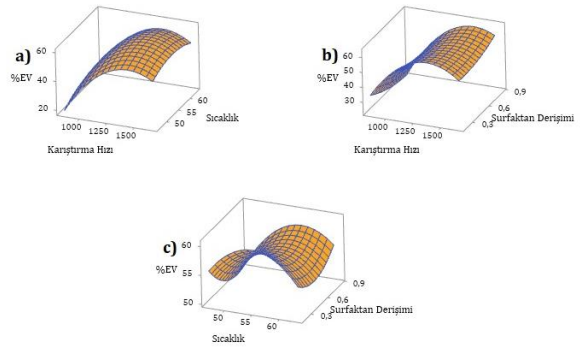
| Kaynak | sd | Adj SS | Adj MS | F-Değeri | P-Değeri |
|------------------------------------|----|----------|---------|----------|----------|
| Model | 11 | 1632,340 | 148,394 | 12,640 | 0,001 |
| Bloklar | 2 | 61,560 | 30,779 | 2,620 | 0,133 |
| Doğrusal | 3 | 965,030 | 321,676 | 27,400 | 0,000 |
| Karıştırma Hızı | 1 | 950,990 | 950,994 | 81,010 | 0,000 |
| Sıcaklık | 1 | 9,370 | 9,371 | 0,800 | 0,398 |
| Surfaktan Derişimi | 1 | 4,660 | 4,663 | 0,400 | 0,546 |
| Kare | 3 | 581,900 | 193,966 | 16,520 | 0,001 |
| Karıştırma Hızı*Karıştırma Hızı | 1 | 529,190 | 529,188 | 45,080 | 0,000 |
| Sıcaklık*Sıcaklık | 1 | 46,070 | 46,066 | 3,920 | 0,083 |
| Surfaktan | 1 | 9,610 | 9,608 | 0,820 | 0,392 |
| Derişimi*Surfaktan Derişimi | | | | | |
| 2-Yönlü Etkileşim | 3 | 23,850 | 7,951 | 0,680 | 0,590 |
| Karıştırma Hızı*Sıcaklık | 1 | 1,620 | 1,620 | 0,140 | 0,720 |
| Karıştırma Hızı*Surfaktan Derişimi | 1 | 19,660 | 19,656 | 1,670 | 0,232 |
| Sıcaklık*Surfaktan Derişimi | 1 | 2,58 | 2,576 | 0,22 | 0,652 |
| Hata | 8 | 93,92 | 11,740 | | |
| Uyum Eksikliği | 5 | 87,24 | 17,449 | 7,85 | 0,060 |
| Saf Hata | 3 | 6,67 | 2,224 | | |
| Toplam | 19 | 1726,26 | | | |

ANOVA sonuçları incelendiğinde ulaşılan model önemlidir ($p < 0,050$). Model ($p < 0,05$) doğrusallık göstermektedir. Karıştırma hızı ($p < 0,05$) doğrusallık göstermektedir ancak bunun yanında sıcaklık ve surfaktan derişimi doğrusallık göstermemektedir ($p > 0,050$). Modelde kare önemlidir ($p < 0,05$) ve Karıştırma Hızı*Karıştırma Hızı ($p < 0,05$) karesi önemli iken diğer karelerde bir önemlilik göstermemektedir. Modelde iki yönlü etkileşim ($p > 0,05$) önemsizdir. Uyum eksikliğinin p değeri 0,060 ($p > 0,05$) bulunmuştur. Uyum eksikliği değerinin $p > 0,050$ olması veriyle modelin uyduğunu göstermektedir. R² değeri %94,560 bulunmuştur. Analiz sonucu elde edilen ve

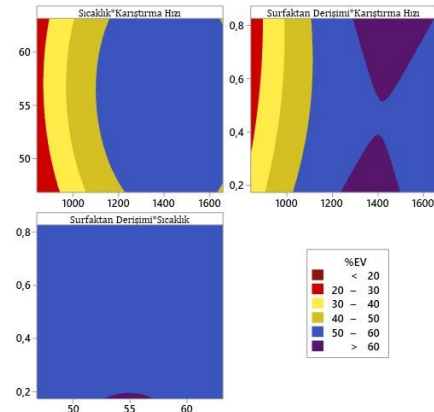
hesaplanan %EV'yi gösteren eşitlik Denklem 2'de verilmiştir.

$$\begin{aligned} \%EV = & -361,000 + 0,291 * \text{Karıştırma} \\ & \text{Hızı} + 8,55 * \text{Sıcaklık} - 94,700 * \text{Surfaktan Derişimi} - \\ & 0,000101 * \text{Karıştırma Hızı} * \text{Karıştırma Hızı} - \\ & 0,075 * \text{Sıcaklık} * \text{Sıcaklık} + 21,300 * \text{Surfaktan} \\ & \text{Derişimi} * \text{Surfaktan Derişimi} - \\ & 0,000360 * \text{Karıştırma} \\ & \text{Hızı} * \text{Sıcaklık} + 0,031 * \text{Karıştırma Hızı} * \text{Surfaktan} \\ & \text{Derişimi} + 0,570 * \text{Sıcaklık} * \text{Surfaktan Derişimi} \end{aligned} \quad (2)$$

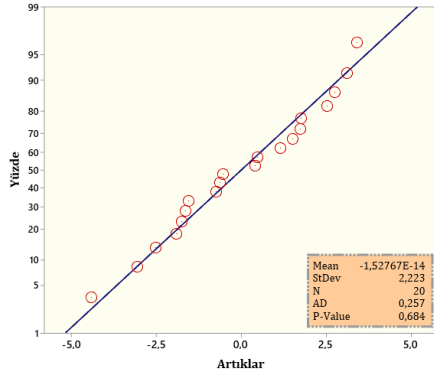
Seçilen üç parametrenin (çekirdek maddesi miktarı, surfaktan konsantrasyonu, karıştırma hızı) cevap yanıtı olan %EV ile ilişkisi 3B yüzey grafikleri aracılığıyla Şekil 1'de gösterilmiştir.

**Şekil 1.** Kenevir Yağı-JE/ALJ mikrokapsüllerinin %EV için sıcaklık, surfaktan derişimi, karıştırma hızı için 3B yüzey grafiği

Şekil 1a incelendiğinde karıştırma hızı ve sıcaklığın birlikte artmasıyla %EV değeri tepe noktasına ulaşmakta ve sonradan azalmaktadır. Şekil 1b incelendiğinde karıştırma hızı ve surfaktan derişiminin birlikte artmasıyla %EV değeri tepe noktasına ulaşmakta ve sonradan azalmaktadır. Şekil 1c incelendiğinde sıcaklık ve surfaktan derişiminin birlikte belirli bir noktaya kadar artmasıyla %EV değeri tepe noktasına ulaşmakta ve azalmaktadır. Şekil 1c'de dışbükey bir yapı gözlenmiştir. Kenevir yağının JE-ALJ polimerleri ile mikroenkapsülasyon işlemi için seçilen üç parametrenin (sıcaklık, surfaktan konsantrasyonu, karıştırma hızı) bir fonksiyonu olarak %EV ilişkisi Şekil 2'de kontur grafiklerinde gösterilmiştir.

**Şekil 2.** Kenevir Yağı-JE/ALJ için sıcaklık, karıştırma hızı, surfaktan derişimi kontur grafikleri

İstatistiksel analizden sonra artıkların dağılımı incelenmiş ve yapılan normallik testi grafiği Şekil 3'te gösterilmiştir.



Şekil 3. Kenevir Yağı-JE/ALJ mikrokapsülleri için artıkların dağılımı grafiği

Grafiğin analizinde artıkların standart sapması $0,000 \pm 2,223$ ($n=20$) bulunmuştur. Anderson-Darling normallik testine göre $p=0,684$ bulunmuştur. Artıklar normal dağılım göstermektedir.

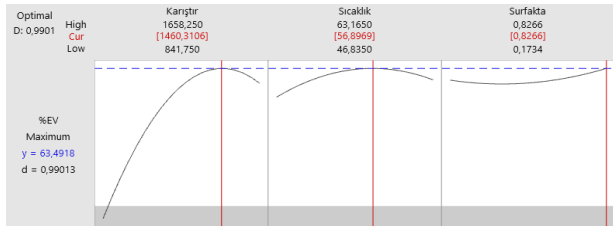
3.2. Kenevir Yağı - JE/ALJ deney tasarımı sonuçlarının maksimize optimizasyonu

Kenevir Yağı-JE/ALJ için maksimize olarak optimizasyonu sonucunda çoklu yanıt tahmini Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Kenevir Yağı-JE/ALJ için çoklu yanıt tahmini

| Değişken | | | | |
|-----------------------|---------------|---------------------------|------------------|-----------------|
| Karıştırma Hızı (rpm) | Sıcaklık (°C) | Sürfaktan Derişimi (%a/h) | | |
| 1460,310 | 56,897 | 0,827 | | |
| Cevap | Fit | SE Fit | 95% CI | 95% PI |
| %EV | 63,491 | 3,290 | (55,890; 71,090) | (52,530; 4,450) |

Maksimize olarak optimizasyon sonucunda elde edilen optimizasyon grafiği Şekil 4'te gösterilmiştir.



Şekil 4. Kenevir Yağı-JE/ALJ maksimize olarak optimizasyon grafiği

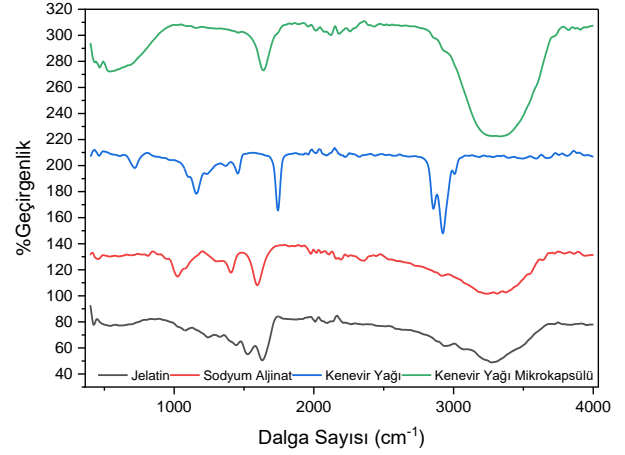
DeneySEL ve maksimize olarak optimize edilen parametrelerle üretilen kenevir yağı mikrokapsüllerinin teorik ve deneysel %EV sonuçları Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. Kenevir Yağı-JE/ALJ optimize edilmiş parametrelerin %EV sonucu

| Çekirdek-Duvar: | Kenevir Yağı-JE/ALJ |
|------------------------------|---------------------|
| Maksimize Edilen Teorik %EV: | %63,491 |
| Deneysel %EV: | %62,780 |

3.3. FT-IR Analizi Sonuçları

Kenevir Yağı-JE/ALJ FT-IR analizi sonuçları Şekil 5'te gösterilmiştir.

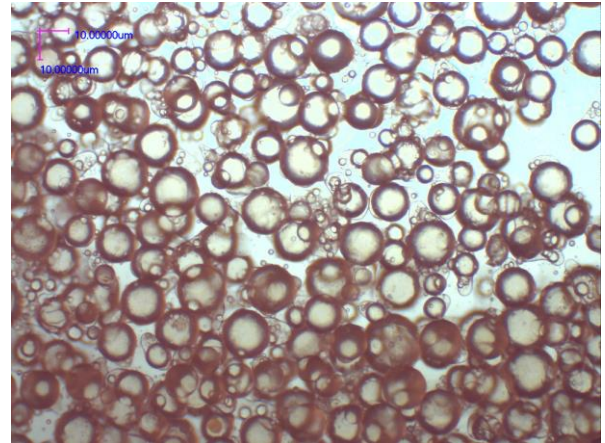


Şekil 5. Kenevir Yağı-JE/ALJ için FT-IR analizi sonuçları

Kenevir yağındaki 2940 cm^{-1} C-H alkan, 1740 cm^{-1} C=O ester, 1140 cm^{-1} C-O ester, 730 cm^{-1} C-H alken olduğu düşünülmektedir. $1747-1078 \text{ cm}^{-1}$ aralığındaki bant jelatine ait C-N gerilme piki olduğu düşünülmektedir. 3442 cm^{-1} jelatindeki N-H gerilmesi olduğu düşünülmektedir. 3442 cm^{-1} sodyum aljinat -OH bandı olduğu düşünülmektedir. 1232 cm^{-1} estere ait C-O bandı olduğu düşünülmektedir [20]. 1232 cm^{-1} estere ait C-O sodyum aljinat bandı olduğu düşünülmektedir. $1747-1078 \text{ cm}^{-1}$ aralığındaki bant jelatine ait olan C-N gerilme pikine ait olduğu düşünülmektedir. 2940 cm^{-1} C-H alkan, 1740 cm^{-1} C=O ester, 1140 cm^{-1} C-O ester, 730 cm^{-1} C-H Alken kenevir yağı gösterdiği düşünülmektedir.

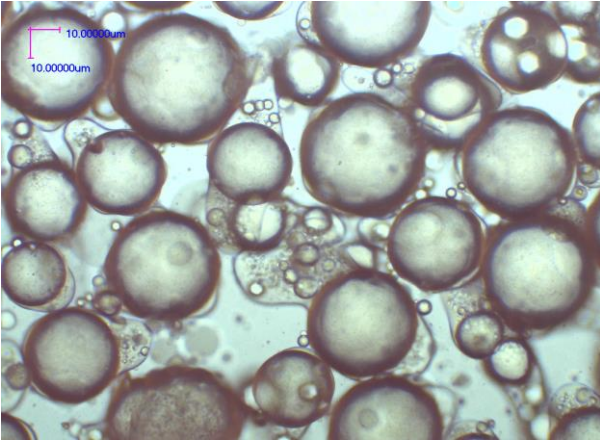
3.4. Optik Mikroskop Analizi

Kenevir Yağı-JE/ALJ optik mikroskop analizinden elde edilen görüntüler Şekil 6 ve Şekil 7'de gösterilmiştir.



Şekil 6. Kenevir Yağı-JE/ALJ Optik Mikroskop Görüntüsü

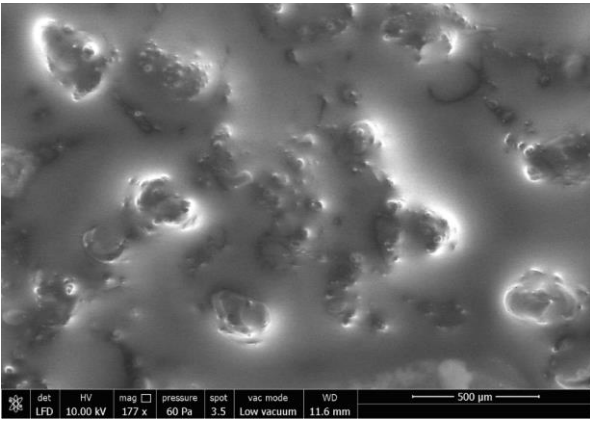
Şekil 6 ve Şekil 7 incelendiğinde mikrokapsüllerin düzgün, yuvarlak şeklinde olduğu gözlenmiştir.



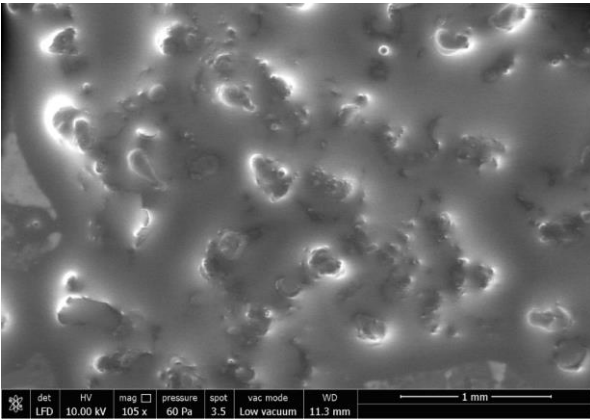
Şekil 7. Kenevir Yağı-JE/ALJ Optik Mikroskop Görüntüsü

3.5. SEM Analizi

Kenevir Yağı-JE/ALJ için SEM analizinden elde edilen görüntüler Şekil 8 ve Şekil 9'da gösterilmiştir.



Şekil 8. Kenevir Yağı-JE/ALJ SEM Görüntüsü

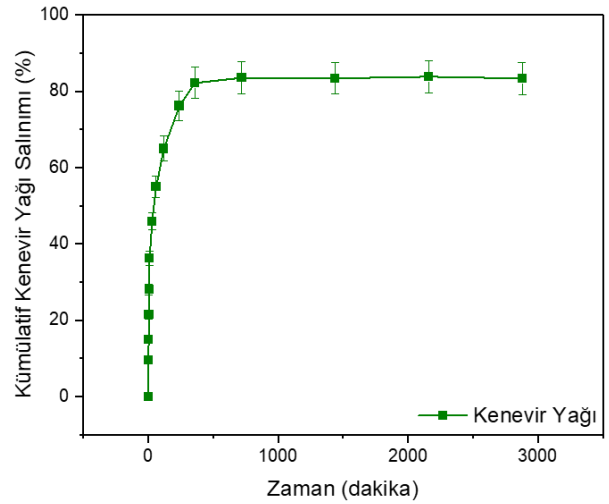


Şekil 9. Kenevir Yağı-JE/ALJ SEM Görüntüsü

Şekil 8 ve Şekil 9'da gösterilen görüntüler elde edilirken kullanılan vakum modundan dolayı mikroenkapsüllerin patlayarak dağıldığı gözlenmiştir.

3.6. Kenevir Yağı-JE/ALJ mikroenkapsüllerinin salınım özellikleri

Kenevir Yağı-JE/ALJ mikroenkapsüllerinin hekzan ortamında incelenen salınım özellikleri Şekil 10'da gösterilmiştir.



Şekil 10. Kenevir Yağı-JE/ALJ mikroenkapsülü için salınım grafiği

Kenevir Yağı-JE/ALJ mikroenkapsüllerinin hekzan ortamında 1. dakikada %9,515 olarak hesaplanan kümülatif salınım değeri, 30. dakikada %45,942 olarak, 60. dakikada %55,005 olarak, 360. dakikada %82,194 olarak ve 720. dakikada %83,406 olarak hesaplanmıştır.

4. Tartışma ve Sonuç

Kenevir yağı, dünyada farklı amaçlar için yaygın olarak kullanılan bir yağdır. Kenevir bitkisinin farklı amaçlar içinde dünyada ve ülkemizde kullanım alanları artmaktadır. Kâğıt, tekstil gibi ürünlerde bir alternatif ortaya koyabilmektedir. Bu çalışmada oluşturulan bir deney setinde kenevir yağı kompleks koaservasyon yöntemi ile mikroenkapsüle edilmiştir. Elde edilen ürünlerin verimi kimyasal olarak hesaplanmış ve cevap yanıtı olarak (%EV) deney tasarımına girilmiştir. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde model uyumsuzluğu değeri 0,060 bulunmuştur. p_{Model} Uyumsuzluğu > 0,050 olduğu için oluşturulan model ile veri uyumsuzdur. R^2 değeri %94,560 ($R^2 > %85,000$) bulunmuştur. Daha sonra maksimize olarak optimize edilen sonuçlar 1460,310 rpm karıştırma hızı, 56,897 °C sıcaklık ve %0,827 a/h surfaktan derişiminde verim değeri %63,491 hesaplanmış ve yapılan deneyde %62,780 olarak bulunmuştur. Elde edilen optik mikroskop görüntüleri mikroenkapsüllerin düzgün yuvarlak şeklinde olduğunu göstermiştir [12, 13]. Elde edilen FT-IR sonuçları da yapının başarılı şekilde oluşturulduğunu göstermektedir. Elde edilen bulgular kenevir yağının farklı faydaları için JE ve ALJ polimerleriyle kompleks koaservasyon yönteminde mikroenkapsüle edilebileceğini göstermektedir. Kenevir yağının farklı yöntem ve polimerler ile mikroenkapsülasyonu da literatüre katkı sağlayacaktır.

Teşekkür

Bu çalışma Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyonu Birimi (BAP)

tarafından FDK-2019-7334 proje koduyla finansal olarak desteklenmiştir.

Etik Beyanı

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

Kaynakça

- [1] Delshadi, R., Bahrami, A., Tafti, A. G., Barba, F. J., & Williams, L. L. (2020). Micro and nano-encapsulation of vegetable and essential oils to develop functional food products with improved nutritional profiles. *Trends in Food Science & Technology*, 104, 72-83.
- [2] Bakry, A. M., Abbas, S., Ali, B., Majeed, H., Abouelwafa, M. Y., Mousa, A., & Liang, L. (2016). Microencapsulation of oils: A comprehensive review of benefits, techniques, and applications. *Comprehensive reviews in food science and food safety*, 15(1), 143-182.
- [3] Arenas-Jal, M., Suñé-Negre, J. M., & García-Montoya, E. (2020). An overview of microencapsulation in the food industry: Opportunities, challenges, and innovations. *European Food Research and Technology*, 246(7), 1371-1382.
- [4] Napiórkowska, A., & Kurek, M. (2022). Coacervation as a Novel Method of Microencapsulation of Essential Oils—A Review. *Molecules*, 27(16), 5142.
- [5] Fávaro-Trindade, C. S., Pinho, S. C. D., & Rocha, G. A. (2008). Revisão: Microencapsulação de ingredientes alimentícios. *Brazilian Journal of Food Technology*, 11(2), 103-112.
- [6] Shishir, M. R. I., Xie, L., Sun, C., Zheng, X., & Chen, W. (2018). Advances in micro and nano-encapsulation of bioactive compounds using biopolymer and lipid-based transporters. *Trends in Food Science & Technology*, 78, 34-60.
- [7] Callaway, J. C. (2004). Hempseed as a nutritional resource: An overview. *Euphytica*, 140(1), 65-72.
- [8] Deferne, J. L., & Pate, D. W. (1996). International Hemp Association. *Journal of the International Hemp Association*, 3(1).
- [9] Erasmus, U. (1993). *Fats that heal, fats that kill: the complete guide to fats, oils, cholesterol, and human health*. Book Publishing Company.
- [10] Box, G. E., Draper, N. R. (1987). *Empirical model-building and response surfaces*. John Wiley & Sons.
- [11] Bayram, O., Köksal, E., & Göde, F. (2020). Yanıt Yüzey Metodolojisi Şartlarında Karabaş Otu Yağının Kompleks Koaservasyon Yöntemi İle Enkapsülasyonu. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 24(2), 508-515.
- [12] Moral, E., Bayram, O., Köksal, E., Danaş, F., & Göde, F. (2021). Kabak Çekirdeği Yağının Kompleks Koaservasyon Yöntemi ile Mikroenkapsülasyonu. *Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi*, 11(2), 91-97
- [13] Devi, N., Hazarika, D., Deka, C., & Kakati, D. K. (2012). Study of complex coacervation of gelatin A and sodium alginate for microencapsulation of olive oil. *Journal of Macromolecular Science, Part A*, 49(11), 936-945.
- [14] Sittipummongkol, K., Chuysinuan, P., Techasakul, S., Pisitsak, P., & Pechyen, C. (2019). Core shell microcapsules of neem seed oil extract containing azadirachtin and biodegradable polymers and their release characteristics. *Polymer Bulletin*, 76(8), 3803-3817.
- [15] Aziz, S., Gill, J., Dutilleul, P., Neufeld, R., Kermasha, S. (2014). Microencapsulation of krill oil using complex coacervation. *Journal of Microencapsulation*, 31(8), 774-784.
- [16] Kavousi, H. R., Fathi, M., Goli, S. A. (2017). Stability enhancement of fish oil by its encapsulation using a novel hydrogel of cress seed mucilage/chitosan. *International Journal of Food Properties*, 20(sup2), 1890-1900.
- [17] Hao, J., Wang, F., Wang, X., Zhang, D., Bi, Y., Gao, Y., Zhao, X., Zhang, Q. (2012). Development and optimization of baicalin-loaded solid lipid nanoparticles prepared by coacervation method using central composite design. *European Journal of Pharmaceutical Sciences*, 47(2), 497-505.
- [18] Ocak, B. (2012). Complex coacervation of collagen hydrolysate extracted from leather solid wastes and chitosan for controlled release of lavender oil. *Journal of Environmental Management*, 100, 22-28.
- [19] Sharifi, F., Hadizadeh, F., Sadeghi, F., Hamed Mosavian, M. T., Zarei, C. (2016). Process Optimization, Physical Properties, and Environmental Stability of an α -Tocopherol Nanocapsule Preparation Using Complex Coacervation Method and Full Factorial Design. *Chemical Engineering Communications*, 203(1), 64-74.
- [20] Okur, M., Aktı, F., & Çetintaş, A. (2018). Polianilin/Aljinat Kompozit Malzemesinin Asit Violet 90 Boyar Maddesinin Gideriminde Kullanılması: Kinetik Ve İzoterm Değerlendirmesi. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji*, 6.