



FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ DERGİSİ

Journal of Natural and Applied Sciences

nisan



Cilt: 25 Sayı: 01 Volume: 25 Issue: 01 e-ISSN: 1308 6529

2021
ISPARTA



SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi

Cilt 25, Sayı 1, Yıl 2021

SÜLEYMAN DEMİREL UNIVERSITY Journal of Natural and Applied Sciences

Volume 25, Issue 1, Year 2021

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

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

DERGİ HAKKINDA

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

ABOUT THE JOURNAL

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



SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ DERGİSİ

İMTİYAZ SAHİBİ

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

BAŞ EDİTÖR

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

EDİTÖRLER

Zehra ÜSTÜN, Dr. Öğr. Üyesi
Süleyman Demirel Üniversitesi
Hasan KÖSEOĞLU, Doç. Dr.
Süleyman Demirel Üniversitesi
(Enstitü Müdür Yardımcısı)
Banu ESENCAN TÜRKASLAN, Dr.
Öğr. Üyesi
Süleyman Demirel Üniversitesi
(Enstitü Müdür Yardımcısı)
Yasemin COŞKUN, Doç. Dr.
Süleyman Demirel Üniversitesi

Cengiz GAZELOĞLU, Dr. Öğr. Üyesi
Süleyman Demirel Üniversitesi
Ekinhan ERİŞKİN, Dr. Öğr. Üyesi
Süleyman Demirel Üniversitesi
Faruk Süleyman BERBER,
Öğr. Gör. Dr.
Süleyman Demirel Üniversitesi
Hakan OĞUZ, Prof. Dr.
Kahramanmaraş Sütçü İmam
Üniversitesi

Oğuz YAYLA, Doç. Dr.
Hacettepe Üniversitesi
Rağbet Ezgi DURAN, Doç. Dr.
Süleyman Demirel Üniversitesi
Sedat AKLEYLEK, Doç. Dr.
Ondokuz Mayıs Üniversitesi
Tunhan DEMİRCİ, Dr. Öğr. Üyesi
Süleyman Demirel Üniversitesi
Yalçın ERZURUMLU, Dr. Öğr. Üyesi
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.
Serpil PEHLİVAN, Prof. Dr.
Süleyman Demirel Üniversitesi
Şeref SAĞIROĞLU, Prof. Dr.
Gazi Üniversitesi
Tolga TAŞDİZEN, Doç. Dr.
Utah Üniversitesi
Urfat NURİYEV, Prof. Dr.
Ege Üniversitesi

TEKNİK EDİTÖRLER

Niyazi Erdem DELİKANLI,
Arş. Gör. Dr.
Bartın Üniversitesi
Sercan ÖNDER, Arş. Gör.
Isparta Uygulamalı Bilimler Üniv.

Yaşar Kemal ERDOĞAN
Arş. Gör.
Isparta Uygulamalı Bilimler Üniv.

BÜRO İŞLERİ

Uğur KARATEPE, Memur
Süleyman Demirel Üniversitesi

KAPAK TASARIM

Mehmet ÖZKARTAL, Doç. Dr.
Süleyman Demirel Üniversitesi

Mehmet Nuri KIVRAK

PRIVILIGE OWNER

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

EDITOR IN CHIEF

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

EDITORS

Zehra ÜSTÜN, Asst. Prof. Dr.
Süleyman Demirel University
Hasan KÖSEOĞLU, 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)
Yasemin COŞKUN, Assoc.Prof.Dr.
Süleyman Demirel University

Cengiz GAZELOĞLU, Asst. Prof. Dr.
Süleyman Demirel University
Ekinhan ERİŞKİN, Asst. Prof. Dr.
Süleyman Demirel University
Faruk Süleyman BERBER,
Teach.Asst.Dr.
Süleyman Demirel University
Hakan OĞUZ, Prof.Dr.
Kahramanmaraş Sütçü İmam
University

Oğuz YAYLA, Assoc. Prof. Dr
Hacettepe University
Rağbet Ezgi DURAN, Assoc.Prof.Dr.
Süleyman Demirel University
Sedat AKLEYLEK,Assoc. Prof. Dr
Ondokuz Mayıs University
Tunhan DEMİRCİ, Asst. Prof. Dr
Süleyman Demirel University
Yalçın ERZURUMLU, Asst. Prof. 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
Osman ÇETİNKAYA, Prof. Dr.
Isparta University of Applied Sciences

Serdar CARUS, Prof. Dr.
Isparta University of Applied
Sciences
Serpil PEHLİVAN, Prof. Dr.
Süleyman Demirel University
Şeref SAĞIROĞLU, Prof. Dr.
Gazi University
Tolga TAŞDİZEN, Assoc. Prof. Dr.
University of Utah
Urfat NURİYEV, Prof. Dr.
Ege University

TECHNICAL EDITORS

Niyazi Erdem DELİKANLI,
Res. Asst. Dr. Bartın University
Sercan ÖNDER, Res. Asst.
Isparta University of Applied Sciences

Yaşar Kemal ERDOĞAN, Res. Asst.
Isparta University of Applied Sciences

OFFICE WORK

Uğur KARATEPE, Staff
Süleyman Demirel University

COVER DESIGN

Mehmet ÖZKARTAL, Assoc. Prof. Dr. **Mehmet Nuri KIVRAK**
Süleyman Demirel University

Bankacılık Sektöründe Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi ve Bulanık TOPSIS Yöntemleri ile Finansal Performans Değerlendirmesi.....	1-15
<i>Financial Performance Evaluation by Fuzzy Analytic Hierarchy Process and Fuzzy TOPSIS In Banking Sector</i> Bahadır GÜLSÜN, Kevser Neslihan ERDOĞMUŞ	
Web Uygulama Sızma Testlerinde Kapsam Genişletme İşlemi İçin Metodoloji Geliştirilmesi ve Uygulanması.....	16-27
<i>Development and Implementation Methodology for Extending Scope in Web Application Penetration Testing</i> Mehmet Ali YALÇINKAYA, Ecir Uğur KÜÇÜKSİLLE	
Tekstil Endüstrisinde Karbon Ayak İzinin Belirlenmesi	28-35
<i>Determination of Carbon Footprint in Textile Industry</i> Sezen COŞKUN, Necdet Ayberk DOĞAN	
Alçı Sıkılama Yöntemi için Arazide Uygulama Kolaylığının Araştırılması	36-43
<i>Investigation of Ease of The Application In Situ for Plaster Stemming Method</i> Halim CEVİZCİ, Harun SÜRÜCÜOĞLU	
İnşaat Asansörleri İstikamet Makaralarında Kullanılan Farklı Çelik Malzemelerin Aşınmalarının İncelenmesi	44-48
<i>Investigation of The Wear of Different Steel Materials Used on the Direction Rollers of Construction Hoists</i> Ünal KILINÇ, Şevki Yılmaz GÜVEN	
Parameter Estimation for Uniform-Geometric Distribution Based on Censored Sample.....	49-53
<i>Düzensiz Geometrik Dağılımının Sansürlü Örneklem Durumunda Parametre Tahmini</i> Mehtap Koca YILMAZ, Yunus AKDOĞAN, Kadir KARAKAYA	
Kamu Yapılarının Hurda Karşılığı Yıkımı ve Kamu Gelirlerine Katkısı	54-63
<i>Public Demolition Works for Scrap and Contribution to Public Revenues</i> Burak ÖZ, Murat ANBARCI	
Molecular Dynamics and MM-PBSA Studies for Deciphering Molecular Interactions of Valproic Acid with CYP2C9 Mutants F114L and I207T.....	64-73
<i>Valproik Asit ile CYP2C9 Mutantları F114L ve I207T Moleküler Etkileşimlerinin Çözümlemesi için Moleküler Dinamik ve MM-PBSA Çalışmaları</i> Ahmet Can TİMUÇİN	
Evrişimli Sinir Ağları ile Mantar Görüntülerinden Mantar Türlerinin Transfer Öğrenme Yöntemiyle Tanımlanması.....	74-88
<i>Identifying Species of Mushrooms Through Mushrooms Images by Convolutional Neural Networks with Transfer Learning Method</i> Bahadır ELMAS	
Grup Karşılaştırmalarında Alternatif Bir Yaklaşım Olarak ANOM Testi.....	89-98
<i>ANOM Test as an Alternative Approach to Group Comparisons</i> Turgut ÖZALTINDIŞ, Ali Mertcan KÖSE, Elif Özge ÖZDAMAR	
Tokat-Turhal Karayolunun Güvenlik Teftişinin iRAP Yöntemiyle Yapılması	99-111
<i>Use of iRAP Method in Road Safety Inspection: Tokat-Turhal Highway Example</i> Ferit YAKAR	
Makine Öğrenmesi Teknikleriyle Diyabet Hastalığının Sınıflandırılması.....	112-120
<i>Classification of Diabetes Mellitus with Machine Learning Techniques</i> Bilge ÖZLÜER BAŞER, Metin YANGIN, E. Selin SARIDAŞ	
Radical Scavenging Activity of Some <i>Lathyrus</i> Taxa Distributed in Burdur-Isparta Regio	121-126
<i>Burdur-Isparta Yöresinde Yayılış Gösteren Bazı Lathyrus Taksonlarının Radikal Süpürücü Aktivitesi</i> Esra EYİİŞ, Asuman KARADENİZ PEKGÖZ	
Güçlü Direkt Radikal Tümlenmiş Modüllerin İki Yeni Genelleştirmesi	127-133
<i>Two New Generalizations of Strongly Direct Radical Supplemented Modules</i> Esra ÖZTÜRK SÖZEN	
Forced Degradation Studies to Assess the Stability of a Janus Kinase Inhibitor Using RPLC Method	134-141
<i>Janus Kinase İnhibitörünün Stabilitelerini Değerlendirmeye Yönelik RPLC Metodu Kullanılarak Yapılan Zorunlu Bozunma Çalışmaları</i> Hulya YILMAZ	

Conformable Diferensiyel Denklemlerin Genelleştirilmiş Kudryashov Yöntemiyle Tam Çözümleri 142-148
Exact Solutions of Conformable Differential Equations Using Generalized Kudryashov Method
Arzu AKBULUT, Melike KAPLAN

Bankacılık Sektöründe Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi ve Bulanık TOPSIS Yöntemleri ile Finansal Performans Değerlendirmesi

Bahadır GÜLSÜN^{*1}, Kevser Neslihan ERDOĞMUŞ²

^{1,2} Yıldız Teknik Üniversitesi, Makine Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 34349, İstanbul, Türkiye

(Alınış / Received: 30.10.2019, Kabul / Accepted: 30.10.2020, Online Yayınlanma / Published Online: 15.04.2021)

Anahtar Kelimeler

Banka finansal performans değerlendirilmesi,
Bulanık AHP,
Bulanık TOPSIS,
Performans değerlendirme

Özet: Ülke ekonomisi üzerinde önemli etkiye sahip olan bankacılık sektöründe artan riskler, belirsizlikler ve rekabetler sebebi ile bankaların performans değerlendirme çalışmaları gün geçtikçe daha çok önem kazanmaktadır. Bu çalışmada bankaların finansal performanslarını etkileyen kriterler ele alınarak kriter açıklamalarına detaylı bir şekilde yer verilmiştir. İlgili kriterler bazında, 2013-2018 yılları için Türkiye Bankalar Birliği'nden alınan raporlara göre aktif büyüklük sıralamasında ilk sekiz bankanın Bulanık AHP ve Bulanık TOPSIS yöntemleri kullanılarak finansal performans değerlendirilmesi yapılmaktadır. Bu çalışma kapsamında bir çalışma grubu oluşturulmuş olup, ilgili çalışma grubu tarafından finansal performansı etkileyen kriterler ve bu kriterleri etkileyen alt kriterler birbirleri ile karşılaştırılarak analiz edilmiş ve kriter önem dereceleri Bulanık AHP yöntemi ile belirlenmiştir. Kriterlerin önem derecelerinin belirlenmesi sonrası belirli kriterler için ilgili çalışma grubuna anket çalışması uygulanmış ve anket sonuçları Bulanık TOPSIS ve Bulanık AHP yöntemleri değerlendirilerek banka performanslarının karşılaştırılması yapılmıştır.

Financial Performance Evaluation by Fuzzy Analytic Hierarchy Process and Fuzzy TOPSIS In Banking Sector

Keywords

Bank financial performance evaluation,
Fuzzy AHP,
Fuzzy TOPSIS,
Performance evaluation

Due to the increased risks, uncertainties and competition in the banking sector, which has a significant impact on the country's economy, the performance evaluation studies of banks has become increasingly important day by day. In this study, the criteria which is affecting on financial performance of the banks are discussed and the criteria explanations are given in detail. On the basis of relevant criteria, according to the report which is taken from "The Banks Association of Turkey" for 2013-2018, the financial performance of the first eight banks which are ranked in accordance with size of assets, evaluated using Fuzzy AHP and Fuzzy TOPSIS. Within the scope of this study, a study group was established and the criteria affecting financial performance and the sub-criteria affecting these criteria were analyzed and compared with each other and the criteria importance ratios were determined by the Fuzzy AHP method. After determining the importance ratings of the criteria, the questionnaire was conducted to the relevant study group for specific criteria and the banks' performances were compared by evaluating the survey results with the Fuzzy TOPSIS and Fuzzy AHP methods.

1. Giriş

Literatürde bankaların performansının değerlendirilmesinde çeşitli yöntemlerin kullanıldığı görülmektedir. Bu yöntemler arasında Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP – Analytic Hierarchy Process), Oran Analizi, Çok Kriterli Optimizasyon ve Uzlaşık Çözüm (VIKOR – Vise Kriterijumska Optimizacija I

Kompromisno Resenje), İdeal Çözme Dayalı Sıralama Tekniği (TOPSIS – Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution), Gri İlişki Analizi (GİA - Grey Incidence Analysis), Veri Zarflama Analizi (VZA) gibi yöntemlerin yanında AHP ile PROMETHEE (Preference Ranking Organisation Method for Enrichment Evaluations – Zenginleştirme Değerlendirmeleri için Tercih Sıralama Organizasyon

*İlgili yazar: bahadir@yildiz.edu.tr

Yöntemi), Bulanık AHP ile TOPSIS, Bulanık AHP ile VIKOR, Bulanık AHP ile SAW (Simple Additive Weighting – Basit Toplamlı Ağırlıklandırma) ve Bulanık AHP ile Bulanık Moora gibi yöntemlerin bir arada kullanıldığı çalışmalar bulunmaktadır.

Denizhan vd. [1] 2017 yılındaki çalışmalarında, yeşil tedarikçi seçimi ile klasik tedarikçi seçimi arasındaki farklılıklar ortaya konmaya çalışılmıştır. Yeşil tedarikçi seçim kriterleri belirlendikten sonra yeşil tedarikçi seçimi için AHP ve Bulanık AHP yöntemlerini kullanmıştır. Sonrasında ise klasik tedarikçi seçim kriterleri ile de seçim yapılmış olup çalışmanın sonunda yeşil kriterlerle yapılan tedarikçi seçimi ile klasik kriterler ile yapılan seçim sonuçları karşılaştırılmıştır.

Yacan [2] 2016 yılında yapmış olduğu çalışmada, eğitim kalitesinin belirlenmesinde Bulanık AHP ve Bulanık TOPSIS yöntemlerinden faydalanmıştır. Bu çalışmada belirli üniversiteler ele alınmış ve bu üniversitelerde eğitim kalitesini karşılaştırabilmek için öncelikle eğitim kalitesini etkilediği düşünülen kriterler Bulanık AHP yöntemi ile karşılaştırılmış ve kriterler ağırlıklandırılmıştır. Bulanık TOPSIS yöntemi ile de üniversiteler arasından seçim yapılmış ve eğitim kalitesine göre üniversiteler sıralandırılmıştır.

Sağır ve Doğanalp [3] 2016 yılında yaptıkları çalışmalarında, Türkiye için enerji kaynaklarının karşılaştırılmasını ve seçimini Bulanık TOPSIS yöntemi ile yapmayı amaçlamıştır. Bu çalışmada yenilenebilir enerji, fosil enerji ve nükleer enerji olmak üzere üç çeşit enerji kaynağı değerlendirilmiştir. Enerji konusunda uzman kişiler karar verici grubunu oluşturmuş olup, on iki kriter üzerinden değerlendirme yapılmıştır. Bulanık TOPSIS ile yapılan çalışma sonucunda on iki kriter bazında değerlendirilerek, yenilenebilir enerji, fosil enerji ve nükleer enerjiden oluşan üç alternatif arasında sıralama yapılmıştır.

Çalışkan ve Eren [4] 2016 yılında yapmış oldukları çalışma ile bankaların performans değerlendirmesini çok kriterli karar verme yöntemleri ile değerlendirmiştir. Çalışmasında finansal rasyolar kullanarak AHP ve PROMETHEE yöntemleri ile bankaların performans analizi üzerine çalışma yapmıştır.

Şişman ve Doğan [5] 2016 yılındaki çalışmalarında, Borsa İstanbul'da hisse senetleri işlem gören on mevduat bankasının finansal performanslarını Bulanık AHP ve Bulanık MOORA yöntemleri ile ele almıştır. Bulanık AHP ile kriterler arasında ikili karşılaştırma yapılarak kriter ağırlıkları belirlenmiş sonrasında Bulanık MOORA yaklaşımı ile bankaların performans sıralaması ve değerlendirmesi yapılmıştır. Mandic vd. [6] 2014 yılındaki çalışmalarında, Sırbistan bankalarının finansal

performanslarını Bulanık AHP ve TOPSIS yöntemlerini kullanarak değerlendirmiştir. Bu çalışmada Sırbistan'da yer alan 35 banka ele alınmış olup, performansını etkilediği düşünülen kriterler Bulanık AHP ile sıralanmış olup performans sıralaması için TOPSIS yöntemi uygulanmıştır.

Doğan [7] 2013 yılında yapmış olduğu çalışmada, Chang tarafından 2006 yılında yapılan çalışmaya benzer olarak İMKB'de işlem görmüş on adet bankanın performans değerlendirmesini Gri İlişki Analizi yöntemini kullanarak incelemiştir.

Bu çalışma ile ele alınan bankaların performans değerlendirme sonuçları ile hangi bankaların en yüksek performansa sahip olduğu, hangilerinin performanslarını arttırmaya yönelik çalışma yapması gerektiği ve yapılacak performans artırımı çalışmalarında öncelikli olarak hangi kriterler üzerine ağırlık verilmesi gerektiği konusunda yol göstermektedir. Ayrıca yatırımcılar için yatırım yapılacak bankanın belirlenmesi konusunda fayda sağlamaktadır.

2. Materyal ve Metot

Çok kriterli karar verme (ÇKKV) içerisinde birden çok disiplini barındırmaktadır. Bu disiplinler arasında yönetim, matematik, ekonomi ve sosyal bilimler gibi disiplinler yer almaktadır. Çok kriterli karar verme bu disiplinler aracılığı ile karar problemlerinin birden fazla boyutla değerlendirilebilmesini ve karar alınabilmesini sağlamaktadır. ÇKKV, yöneylem araştırmasının bir dalı olup son yıllarda hızla gelişerek diğer yöneylem araştırması dalları arasında en hızlı gelişen dalı olmayı başarmıştır.

ÇKKV sürecinde değerlendirilen tüm problemlerde bir veya birden fazla karar verici bulunur ve birden fazla kriter yer alır. Gerçek hayatta bir karar verme sırasında karar vermemizi etkileyen yüzlerce kriter olabilmektedir. ÇKKV sırasında karar vericiler kararlarını ya da seçimlerini etkileyecek en önemli kriterleri ele almaktadır.

2.1. Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP)

Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) yöntemi 1970'li yıllarda Thomas L. Saaty tarafından geliştirilmiş olan bir yöntemdir. AHP yöntemi karmaşık yapılı olan çok kriterli karar verme problemlerinin çözümü için kullanılabilir. Bu teknikte karar verici kişiler tarafından problemde yer alan karar kriterlerinin önem dereceleri belirlenir. Karar verici kişiler kriterleri ve bu kriterlere bağlı alt kriterlerin önem derecelerini belirlerken Saaty'nin 1-9 ölçeği olarak isimlendirilen ölçek değerlerini kullanmaktadır. 1-9 ölçeği kullanılarak kriterlerin ikili karşılaştırmaları yapılır ve tüm kriterler değerlendirilerek karar alternatiflerine ait öncelik sıraları belirlenir [8].

Çok kriterli karar verme teknikleri arasında AHP'nin diğer tekniklerle karşılaştırıldığında kullanımının kolay olması ve objektif yargılar ile subjektif yargıları da içeren karmaşık yapılu karar problemlerinde uygulanabilir olması sebebi ile diğer tekniklere göre daha fazla tercih edilebilmektedir.

AHP yönteminde karar problemine ait hiyerarşik yapı oluşturulurken her bir seviyedeki kriterlerin öncelik değerlerinin hesaplanabilmesi gerekmektedir. Kriterlerin öncelik değerlerinin hesaplanabilmesi için aynı seviyede yer alan elemanların ikili olarak karşılaştırılması gerekmektedir. AHP tekniğinin problem çözümlerinde uygulama adımları aşağıdaki gibi verilebilmektedir [9].

- Probleminin tanımlanması ve amacının belirlenmesi,
- Amacı gerçekleştirmek için ele alınması gereken karar kriterlerinin belirlenmesi ve listelenmesi,
- Karar alternatiflerinin belirlenmesi,
- Karar probleminde hiyerarşik yapının belirlenmesi,
- Hiyerarşik yapının her seviyesi için aynı seviyede bulunan kriterlerin ikili olarak karşılaştırılmasının yapılması ve öz değer, özvektörlerden yararlanarak kriterlerin önem derecelerinin belirlenmesi,
- Kriterlere göre alternatiflerin ikili karşılaştırılması ve öncelik değerlerinin hesaplanması,
- Uyum oranının hesaplanması,
- Göreceli öncelik değerlerine göre alternatiflerin sıralanmasının yapılması ve en yüksek öncelik değerine sahip olan alternatif seçiminin yapılması,
- Son adım olarak duyarlılık analizinin yapılmasıdır.

2.2. Bulanık AHP Yöntemi

Günlük hayatta birçok kez çeşitli belirsizlikler ile ya da kararsız kalınan durumlar ile karşılaşılır. Karar vericiler için nitel değerlerin yanında duygu ve düşünceler de verilecek karar üzerinde etkili olmaktadır. Bu gibi durumlarda ortaya belirsizlik durumları çıkmaktadır. Zadeh (1975)'in belirttiği gibi; günlük hayatımızda kesin değerlerden daha çok insan düşünce sistemini daha gerçekçi olarak yansıtabilen dilsel değişkenler ve dilsel terimler kullanılır. Bu nedenle insan düşünce sistemini tanımlayabilmek için kelimeler ve dilsel ifadelerden faydalanılmaktadır [10]. Çok kriterli karar verme tekniklerinden biri olan AHP yaklaşımında seçim yapılırken ya da karar verilirken bu gibi belirsizlik durumları ele alınmamaktadır. Birçok literatür araştırmasında da bu durumun AHP'nin önde gelen dezavantajlarından biri olduğu görülmektedir.

AHP yönteminde bulunan belirsizliği ortadan kaldırılması için Bulanık AHP yöntemi geliştirilmiştir.

Bulanık AHP yöntemi yapısında kesin değerler yerine belirli aralıklardaki değerler ile karar vermeye olanak sağlamaktadır. Bulanık AHP yöntemi bu yönü ile yöneticiler açısından da oldukça etkili bir yöntemdir [11].

2.2.1. Genişletilmiş Analiz Yöntemi

Bulanık AHP metotlarından biri olan Genişletilmiş Analiz Yönteminde de klasik AHP yöntemlerinde yapıldığı gibi kriterler birbirleri ile karşılaştırılır. Ancak Bulanık AHP'de yapılan karşılaştırmalarda üçgenel bulanık sayılar kullanılmaktadır.

Genişletilmiş Analiz Yönteminde ikili karşılaştırmalar yapılmaktadır. Bu karşılaştırmalarda kullanılan önem dereceleri ve sözel karşılıkları Tablo 1. de verilmiştir.

Tablo 1. Önem dereceleri ve sözel karşılıkları [12].

Üçgenel Bulanık Sayılar	Sözel Karşılıkları
(1, 1, 1)	Aynı
(2/3, 1, 3/2)	Denk Önem
(3/2, 2, 5/2)	Önemli
(5/2, 3, 7/2)	Çok Önemli
(7/2, 4, 9/2)	Kesin Önemli

Genişletilmiş Analiz Yönteminde üçgenel bulanık sayıların kullanımı ile kesin bir değer ile karar verilmesi yerine bulanık sayılar ile aslında belirli bir aralık değeri kullanılarak karar vermedeki belirsizliğin en iyi şekilde çözüme yansıtılması sağlanır.

Chang'ın yöntemine göre, öncelikle ölçütler ve hedefler belirlenir. Hedefler arasından seçim yapılacakları, ölçütler ise bu hedefleri değerlendirirken dikkate alınacak kriterleri ifade etmektedir. Ölçütler ele alınarak hedeflerin her biri için mertebeye analizi belirlenir. Böylece ölçüt sayısı kadar (m tane) mertebeye analiz değeri ortaya çıkar. Mertebeye analiz değerleri aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$M_{gi}^1, M_{gi}^2, \dots, M_{gi}^m \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

Üçgenel bulanık sayılar ise aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$M_{gi}^j (j = 1, 2, \dots, n) \quad (2)$$

Genişletilmiş Analiz Yönteminin uygulama adımlarından ilk adım olarak öncelikle her bir nesne için i . nesnenin bulanık büyüklük değeri aşağıda verilen eşitlikteki gibi hesaplanmaktadır. S_i değeri i . amacın sentez değerini ifade etmektedir.

$$S_i = \sum_{j=1}^m M_{gi}^j * [\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{jgi}]^{-1} \quad (3)$$

S_i değeri hesaplaması sırasında kullanılan M_{gi} değeri, her bir amaca yönelik genişletilmiş değeri ifade etmektedir. (3) eşitliğinde yer alan $\sum_{j=1}^m M_{gi}^j$ ifadesi (4) eşitliğindeki gibi hesaplanmaktadır. Bu hesaplama için 1'den m değerine kadar olan genişletilmiş analiz değeri bulanık toplama işlemiyle toplanır ve bu işlem sonrasında bir matris elde edilir.

$$\sum_{j=1}^m M_{gi}^j = (\sum_{j=1}^m l_j \sum_{j=1}^m m_j \sum_{j=1}^m u_j) \quad (4)$$

(3) eşitliğinde yer alan $[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}]^{-1}$ ifadesi ise (5) eşitliğindeki gibi hesaplanmaktadır. (5) eşitliğinde yer alan $\sum_{i=1}^n u_i$ ifadesi tüm matrisin en geniş olası değerlerinin toplamını, $\sum_{i=1}^n m_i$ ifadesi ise tüm matrisin en olası değerlerinin toplamını ve $\sum_{i=1}^n l_i$ ifadesi ise tüm matrisin en az olası değerlerinin toplamını ifade etmektedir.

$$[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j]^{-1} = [\frac{1}{\sum_{i=1}^n u_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n m_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n l_i}] \quad (5)$$

Genişletilmiş Analiz Yönteminin ikinci adımı olarak; ilk adımda elde edilmiş olan sentez değerlerinin karşılaştırılması ve sonrasında kriterlere ait ağırlık değerlerinin elde edilmesi esasına dayanır. İkinci adım olarak bu karşılaştırmanın nasıl yapılması gerektiğine yer verilecektir. Karşılaştırılan kriterler M_2 ve M_1 olmak üzere eşitlik (6)'in olabilirlik derecesi aşağıdaki gibi tanımlanabilir.

$$M_2 = (l_2, m_2, u_2) \geq M_1 = (l_1, m_1, u_1) \quad (6)$$

$V(M_2 \geq M_1)$ ifadesi M_2 'nin M_1 'den büyük olma olabilirliğini göstermektedir. Bu eşitlikte aşağıdaki denklemlerde detaylı verildiği gibi M_2 'nin orta değeri olan m_2 değerinin, M_1 'in orta değeri olan m_1 ' den büyük olma olabilirliği 1 değerini almaktadır. $V(M_2 \geq M_1)$ değeri hesaplanırken $V(M_2 \geq M_1)$ değerini de göz önünde bulundurmak gerekmektedir. M_2 ve M_1 , $M_2 = (l_2, m_2, u_2) \geq M_1 = (l_1, m_1, u_1)$ olmak üzere;

$$V(M_2 \geq M_1) = \sup_{y \geq x} [(\mu_{M_1}(x), \mu_{M_2}(y))] \quad (7)$$

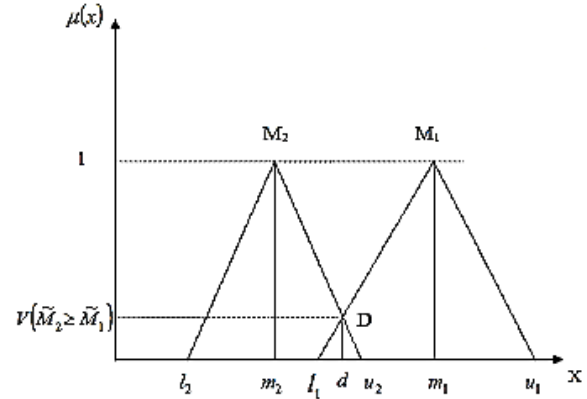
$$V(M_2 \geq M_1) = hgt(M_1 \cap M_2) = \mu_{M_2}(d) \quad (8)$$

$$V(M_2 \geq M_1) = \begin{cases} 1 & m_2 \geq m_1 \\ 0 & l_1 \geq u_2 \\ \frac{l_1 - u_2}{(m_2 - u_2) - (m_1 - l_1)} & \text{diğer} \end{cases} \quad (9)$$

(8) ifadesinde geçen (d) μ_{M_1} ve μ_{M_2} değerleri aralığındaki en büyük kesişim noktası olan "D noktasının" ordinat değerini ifade etmektedir [13]. M_1 ve M_2 noktalarının kesişimi Şekil 1. de gösterilmektedir.

Genişletilmiş Analiz Yönteminin üçüncü adımı olarak; M konveks bir bulanık sayı olmak üzere, M sayısının k konveks bulanık sayıdan M_i $i = (1, 2, \dots, k)$ daha

büyük olması için olabilirlik derecesi (9) eşitliğindeki gibi ifade edilebilmektedir [14].



Şekil 1. M_1 ve M_2 noktalarının kesişimi [14].

$$V(M \geq M_1, M_2, \dots, M_k) = V[(M \geq M_1) \text{ ve } (M \geq M_2) \text{ ve } \dots \text{ ve } (M \geq M_k)] = \min V_i (M \geq M_i), i = (1, 2, \dots, k) \quad (10)$$

$k = 1, 2, \dots, n$ için k^1 i olmak üzere ağırlık vektörü (11) eşitliğindeki gibi verilebilmektedir.

$$W^1 = (d^1(A_1), d^1(A_2), \dots, d^1(A_n))T \quad (11)$$

A_i , n elementli olmak üzere (12) eşitliğindeki gibi ifade edilebilmektedir.

$$A_i = (i = 1, 2, \dots, n) \quad (12)$$

Genişletilmiş Analiz Yönteminin dördüncü adımı olarak; W Ağırlık vektörü bulunduğundan sonra bu değeri normalize etmek için normalizasyon işlemi yapılır. (13) eşitliği sonucunda artık bulunan ağırlık vektörü bulanık olmayan bir sayıdır.

$$W = (d(A_1), d(A_2), \dots, d(A_n))T \quad (13)$$

AHP yönteminden farklı olarak Bulanık AHP yönteminde tutarlılık değerinin yapılan literatür araştırmalarında yapılmadığı görülmüştür. Bunun sebebi ise Bulanık AHP de kriter ağırlıkları sıfır çıkabilmesidir. Tutarlılık değeri hesaplanırken ikili karşılaştırma matrisi ile ağırlık vektörü ile çarpılması gerekmektedir. Sonrasında ise ağırlık vektörünün her bir elemanına bölünmesi ile işleme devam edilir. Ağırlık vektörünün elemanlarından herhangi biri ya da daha fazlası sıfır olabilir. Bu gibi durumda sayıların sıfıra bölünmesi söz konusu olması sebebi ile matematikte tanımsızlık olarak ifade edilen durum ile karşılaşılabilir [15].

2.3. TOPSIS Yöntemi

TOPSIS yöntemi çok kriterli karar verme tekniklerinden biri olarak kullanılmaktadır. TOPSIS,

1981 yılında Hwang ve Yoon tarafından geliştirilmiştir [16].

TOPSIS yöntemi diğer karar verme tekniklerine göre kompleks algoritmalar ya da karmaşık matematiksel modeller içermemesinden dolayı oldukça kolay bir karar verme tekniğidir. TOPSIS yöntemi uygulanırken ele alınan alternatiflerin ideal çözüme yakın olması istenir. Bunun yanında ideal olmayan çözüme ise uzak olması istenen durumdur. TOPSIS yöntemi ile alternatifler arasından ideal çözüme yakın olan ve negatif ideal çözüme ise en uzak olan seçilmeye çalışılır.

TOPSIS yöntemi uygulanırken öncelikle karar matrisi oluşturulur. Daha sonra elde edilen bu karar matrisi normalize edilir. Normalize edilen matris ağırlıklandırılır ve ideal çözüme en yakın ve en uzak olan mesafeler hesaplanır. Son aşama olarak da alternatifler için elde edilen göreceli puanlar hesaplanır ve elde edilen puanlara göre alternatifler sıralanır [17].

TOPSIS yönteminin ilk adımında karar matrisi oluşturularak alternatifler ve kriterler belirlenir. Karar matrisi $a \times b$ boyutlu bir matris olacaktır.

İkinci adım olarak; matriste yer alan kriterlere ait puanların kareleri toplanır ve bu toplamın karekökü alınır. İlgili eşitlik (14)'teki gibi ifade edilebilmektedir. Böylelikle matris normalize edilmiş olur.

$$n_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m a_{ij}^2}} \quad (i = 1, \dots, m \text{ ve } j = 1, \dots, p) \quad (14)$$

Üçüncü adım olarak; ikinci adımda normalize edilmiş olan matris elemanları her bir kriter için verilmiş olan önem derecesine göre karar vericinin görüşleri doğrultusunda ağırlıklandırılır. Ağırlıklandırma işleminde tüm kriter ağırlıklarının toplamının 1'e eşit olmasına dikkat edilmesi gerekmektedir. İkinci adımda elde edilen n_{ij} değerleri, bu adımda W_i olarak ifade edilen ağırlıklar ile çarpılır. Bunun sonucunda ağırlıklandırılmış ve normalize edilmiş matris elde edilir.

Yöntemin dördüncü adımında ideal ve negatif ideal çözüm değerlerinin elde edilmesidir. Bu aşamada matriste yer alan değerlerden her bir kolonda için en büyük ve en küçük değerler bulunur. Eğer problemdeki amaç maksimizasyon ise bu durumda her kolondaki en büyük değerler alınır ve maksimum ideal çözüm değeri bulunmuş olur. Her bir kolon için en küçük değerler alınarak da negatif ideal çözüm değerleri alınmış olur. Eğer bir minimizasyon problemi ele alıyor ise bu durumda yapılacak işlem tam tersi olur.

Her bir sütundaki maksimum değerler eşitlik (15)'teki gibi ifade edilmektedir.

$$A^* = \{V_1^*, V_2^*, \dots, V_N^*\} \quad (15)$$

Her bir sütundaki minimum değerler eşitlik (16)'daki gibi ifade edilmektedir.

$$A^- = \{V_1^-, V_2^-, \dots, V_N^-\} \quad (16)$$

Yöntemin beşinci aşamasında ise ideal olan ve de ideal olmayan noktalara olan uzaklık değerleri hesaplanmaktadır. (17) eşitliğindeki bu hesaplama için öklidyen uzaklıklar kullanılır.

$$d_{ij} = \sqrt{\sum_{k=1}^p (x_{ik} - x_{jk})^2} \quad (17)$$

x_{ik} , i. gözlemin k. Değişken değerini ifade etmek olup, x_{jk} , j. gözlemin k. değişken değerini ifade etmektedir. p değeri ise değişken sayısını göstermektedir.

(17) eşitliğini genelleştirecek olursak ideal ve negatif ideal uzaklık hesaplamaları için (18) ve (19) eşitlikleri verilebilmektedir. İdeal uzaklık değeri (18) eşitliğindeki gibi ifade edilebilmektedir.

$$S_i^* = \sqrt{\sum_{j=1}^n (V_{ij} - V_j^*)^2} \quad (18)$$

Negatif uzaklık değeri ise (19) eşitliğindeki gibi ifade edilebilmektedir.

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (V_{ij} - V_j^-)^2} \quad (19)$$

Problem çözümünde bulunacak S_i^* ve S_i^- sayısı karar noktası sayısına eşit olacaktır.

Son aşama olan altıncı aşamada ise ideal çözüme göreceli yakınlığın hesaplanmasıdır. İdeal çözüme yakınlık için ideal ve ideal olmayan noktalara olan uzaklıklar kullanılır. Formülasyonlarda C_i^* değeri ideal çözüme olan yakınlığı ifade etmektedir. C_i^* ifadesi (20) eşitliğindeki gibi hesaplanabilmektedir.

$$C_i^* = \frac{S_i^-}{S_i^- + S_i^*} \quad (20)$$

2.3.1. Bulanık TOPSIS Yöntemi

İnsan yargılarının belirsiz olması ve kesin değerler ile ifade edilememesi doğru modellemelerin ve doğru seçimlerin yapılabilmesini engellemektedir. Bu sebeple TOPSIS yöntemi ile bulanık mantık yaklaşımları bir araya getirilerek Bulanık TOPSIS yöntemi ortaya çıkarılmıştır. Bulanık TOPSIS yöntemi

ile problemlere daha gerçekçi bir çözüm sunabilmek adına sayısal değerler yerine sözel ifadeler kullanılarak insan yargılarının da daha doğru bir şekilde modele yansıtılabilmesi sağlanmıştır. Bulanık TOPSIS yönteminde düşük, çok düşük, yüksek gibi sözel ifadeler ile problemde yer alan karar kriterlerinin ve ağırlıklarının değerlendirilmesi yapılır.

Bulanık TOPSIS yönteminde öncelikle arasından seçim yapılacak alternatiflerin, bu alternatiflerin değerlendirileceği karar kriterlerinin ve de seçimi yapacak olan karar vericilerin belirlenmesi gerekir. Seçim yapacak olan karar verici grup alternatifleri ve karar kriterlerini değerlendirir.

Bulanık TOPSIS yöntemi ile özellikle sözel belirsizliklerin olduğu, karar vericilerin kararlarının birbirinden farklılık ya da değişkenlik göstermesi gibi durumlarda kullanılması ile grup kararının daha doğru bir şekilde verilmesine olanak sağlar. Karar vericilerin alternatifleri değerlendirmek için kullandıkları karar kriterlerinin farklı ağırlıklara sahip olması Bulanık TOPSIS yönteminin esaslarından [18].

Bulanık TOPSIS yönteminde alternatiflerin değerlendirilmesi ve de kriterlerin ağırlıklandırılması sırasında faydalanan dilsel ifadelerin üçgensel bulanık sayı karşılıkları Tablo 2. ve Tablo 3. de verilmektedir.

Tablo 2. Karar kriterleri sözel ifadeler ve üçgensel bulanık sayı karşılıkları [19].

Sözel İfadeler	Bulanık Sayı Karşılıkları
Çok İyi (Çİ)	(9;10;10)
İyi (İ)	(7;9;10)
Orta İyi (Öİ)	(5;7;9)
Orta (O)	(3;5;7)
Orta Kötü (OK)	(1;3;5)
Kötü (K)	(0;1;3)
Çok Kötü (ÇK)	(0;0;1)

Tablo 3. Alternatiflerin için sözel ifadeler ve üçgensel bulanık sayı karşılıkları [19].

Sözel İfadeler	Bulanık Sayı Karşılıkları
Çok Yüksek (ÇY)	(0,9;1;1)
Yüksek (Y)	(0,7;0,9;1)
Orta Yüksek (OY)	(0,5;0,7;0,9)
Orta (O)	(0,3;0,5;0,7)
Orta Düşük (OD)	(0,1;0,3;0,5)
Düşük (D)	(0;0,1;0,3)
Çok Düşük (ÇD)	(0;0;0,1)

Chen tarafından 2000 yılında geliştirilen Bulanık TOPSIS yöntemine (Tepe noktası yaklaşımı) ait uygulama adımları aşağıda verilmektedir [20]. İlk adım olarak m tane alternatif, n tane seçim kriterine

karşılık değerlendirilmesi yapılır. Alternatifler ve seçim kriterleri (21) ve (22) eşitliklerindeki gibi ifade edilebilmektedir.

$$A_i = (1,2,3, \dots, m) \quad (21)$$

$$C_j = (1,2,3, \dots) \quad (22)$$

Karar vericiler tarafından kullanılan dilsel değişkenler aracılığı ile ağırlık vektörü ve karar matrisi oluşturulur. Ağırlık vektörü eşitlik (23)'teki gibi ifade edilebilmektedir.

$$W = (w_1, w_2, \dots, w_n) \quad (23)$$

Karar matrisi ise (24) ve (25) eşitliğindeki gibi ifade edilebilmektedir.

$$X = \begin{cases} x_{ij}, i = 1, 2, \dots, m; \\ j = 1, 2, \dots, n \end{cases} \quad (24)$$

$$X = \begin{matrix} & C_1 & C_2 & \dots & C_n \\ A_1 & x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ A_i & x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ A_n & x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{matrix} \quad (25)$$

W ağırlık vektörü, seçim kriterlerinin göreceli önemini eşitlik (26)'da ifade edilmektedir.

$$C_j = (1,2,3, \dots) \quad (26)$$

(23) eşitliği, karar matrisi seçim kriteri olan C_j bakımından A_i alternatifinin fayda derecesinin göstermektedir. Verilen ağırlık vektörü ve karar matrisi aracılığı ile problemin hedeflenen sonucuna paralel olarak tüm alternatiflerin sıralaması elde edilmiş olur.

Modelde yer alan kriterler için her bir kriterle bağlı alt kriterleri bakımından ağırlıkları hesaplanır. Kriterlerin değerlendirilmesi sırasında üçgensel sayıların kullanılması sebebi ile hesaplanan ağırlıklarda üçgensel sayı olarak ortaya çıkmaktadır.

Her bir kriterin alternatiflere göre değerlendirilmesi sonucu karar matrisi ortaya çıkarılmaktadır. Karar matrisinde her bir kriter tüm alternatifler için değerlendirilmesi sırasında kriterle bağlı alt kriterler açısından değerlendirilir.

Yöntemin ikinci adımı olarak; kriterlerin alternatiflere göre değerlendirilmesi sonucunda toplam ağırlıklar bulunur ve bulunan bu ağırlıklar [0,1] aralığına indirgenmesi için normalizasyon işlemi yapılmaktadır. Normalize edilmiş bir karar matrisi (27) eşitliğindeki gibi ifade edilebilir. Normalizasyon işlemleri sırasında değerlendirilen kriterler fayda ve maliyet kriterleri olarak ikiye ayrılabilir. Değerlendirilen kriterin gelir ya da fayda kriteri olduğuna ya da tam tersi gider ya da zarar

kriteri olmasına göre aşağıdaki işlemler yapılmaktadır. r_{ij} değerleri hesaplanırken B fayda kriterini, C ise maliyet kriterini göstermektedir. r_{ij} değerleri fayda kriteri olarak eşitlik (28)'deki gibi hesaplanırken, zarar kriteri olarak ise (29) eşitliğindeki gibi hesaplanmaktadır. Normalizasyon işlemi yapılırken karar kriterinin fayda kriteri olması durumunda matristeki her sütundaki elemanların üçüncü bileşenine bakılır. Üçüncü bileşeni bazında en büyük olan değere bölünmesi ile normalizasyon işlemi yapılmış olur. Karar kriterinin maliyet kriteri olması durumunda ise her sütunda yer alan elemanların ilk bileşeni dikkate alınır. u_j^+ değeri (30) eşitliğindeki gibi ifade edilebilmektedir. u_j^- değeri ise eşitlik (31)'de ifade edilmiştir.

$$R = \begin{matrix} & C_1 & C_j & \dots & C_n \\ A_1 & r_{11} & r_{1j} & \dots & r_{1n} \\ A_i & r_{21} & r_{ij} & \dots & r_{in} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ A_m & r_{m1} & r_{mj} & \dots & r_{mn} \end{matrix} \quad (27)$$

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{u_j^+} = \left(\frac{l_{xij}}{u_j^+}; \frac{m_{xij}}{u_j^+}; \frac{u_{xij}}{u_j^+} \right) j \in B \quad (28)$$

$$r_{ij} = \frac{l_j^-}{u_{ij}^+} = \left(\frac{l_j^-}{u_{ij}^+}; \frac{l_j^-}{u_{ij}^+}; \frac{l_j^-}{u_{ij}^+} \right) j \in C \quad (29)$$

$$u_j^+ = \max(u_{i,j}) \forall i = 1,2, \dots, m \in B \quad (30)$$

$$u_j^- = \min(l_{i,j}) \forall i = 1,2, \dots, m \in C \quad (31)$$

Yöntemin üçüncü adımda ağırlıklı normalizasyon değerleri elde edilir. İkinci adımda normalize edilmiş karar matrisi oluşturulduktan sonra her bir karar kriterinin birbirinden farklı önem derecesine sahip olabileceği dikkate alınarak, normalizasyon sonucu ortaya çıkan değerler ile kriter ağırlıkları çarpılır ve böylece ağırlıklandırılmış normalize karar matrisi (32) eşitliğindeki gibi elde edilir. V_{ij} ve $\forall i$ değerlerine ilişkin ifadeler eşitlik (32) ve (33)'de verilmiştir.

$$V = \begin{matrix} & C_1 & C_j & \dots & C_n \\ A_1 & v_{11} & v_{1j} & \dots & v_{1n} \\ A_i & v_{21} & v_{ij} & \dots & v_{in} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ A_m & v_{m1} & v_{mj} & \dots & v_{mn} \end{matrix} \quad (32)$$

$$V_{i,j} = r_{i,j} \otimes w_j \quad (33)$$

$$\forall i = 1,2, \dots, m; ve \forall j = 1,2, \dots, n; \quad (34)$$

Dördüncü adımda ise her bir alternatif için pozitif ve negatif ideal çözüm değerleri bulunur. Bu değerlerden A^+ eşitlik (35)'te pozitif ideal çözümü, A^- ise eşitlik (36)'da negatif ideal çözümü

belirtmektedir. Bu ifadelerle ait hesaplamalar aşağıdaki gibi verilmektedir.

$$A^+ = (V_1^+, V_j^+, \dots, V_n^+) ve V_j^+ = \begin{cases} (1,1,1) & j \in B \\ (0,0,0) & j \in C \end{cases} \quad (35)$$

$$A^- = (V_1^-, V_j^-, \dots, V_n^-) ve V_j^- = \begin{cases} (0,0,0) & j \in B \\ (1,1,1) & j \in C \end{cases} \quad (36)$$

Beşinci adımda ise her bir kriterin pozitif ve negatif ideal çözüme uzaklık mesafeleri hesaplanmaktadır. Bulanık pozitif ideal çözüme olan uzaklık d_{i+} ve bulanık negatif ideal çözüme olan uzaklık d_{i-} olmak üzere aşağıdaki gibi gösterilmektedir. Mesafelerin hesaplanması sonucu artık bulanık olmayan gerçek sayılar elde edilmiş olur [5].

$$d_{i+} = \sum_{j=1}^n d(v_{ij}; v_j^+) = \sum_{j=1}^n \sqrt{\frac{1}{3} * [(l_{i,j} - j_j^+)^2 + (m_{i,j} - m_j^+)^2 + (u_{i,j} - u_j^+)^2]} \quad (37)$$

$$d_{i-} = \sum_{j=1}^n d(v_{ij}; v_j^-) = \sum_{j=1}^n \sqrt{\frac{1}{3} * [(l_{i,j} - j_j^-)^2 + (m_{i,j} - m_j^-)^2 + (u_{i,j} - u_j^-)^2]}$$

Altıncı adımda ise C_i yakınlık indeksini ifade etmek üzere, her bir kriter için yakınlık indeksi hesaplanır. Alternatiflerin sıralamasının elde edilebilmesi için beşinci adımda hesaplanan pozitif ve negatif ideal çözüme olan uzaklıklar kullanılarak C_i yakınlık indeksleri bulunur. Her bir alternatifin yakınlık indeksi $i = (1,2, \dots, m)$ ve $C_i \in [0,1]$ olmak üzere (38) eşitliğindeki gibi hesaplanır.

$$C_i = \frac{d_{i-}}{d_{i+} + d_{i-}} \quad (38)$$

C_i yakınlık indeksi 1'e yaklaştıkça ilgili alternatif için pozitif ideal çözüme yaklaştığını ve negatif ideal çözümden ise uzaklaştığını göstermektedir. Buradan yola çıkılarak yakınlık indeks değerine göre alternatiflerin öncelik sıralaması yapılabilir. Yakınlık indeksi 1'e ne kadar yakınsa o alternatifin seçilme şansına o kadar artmaktadır.

2.4. Uygulama

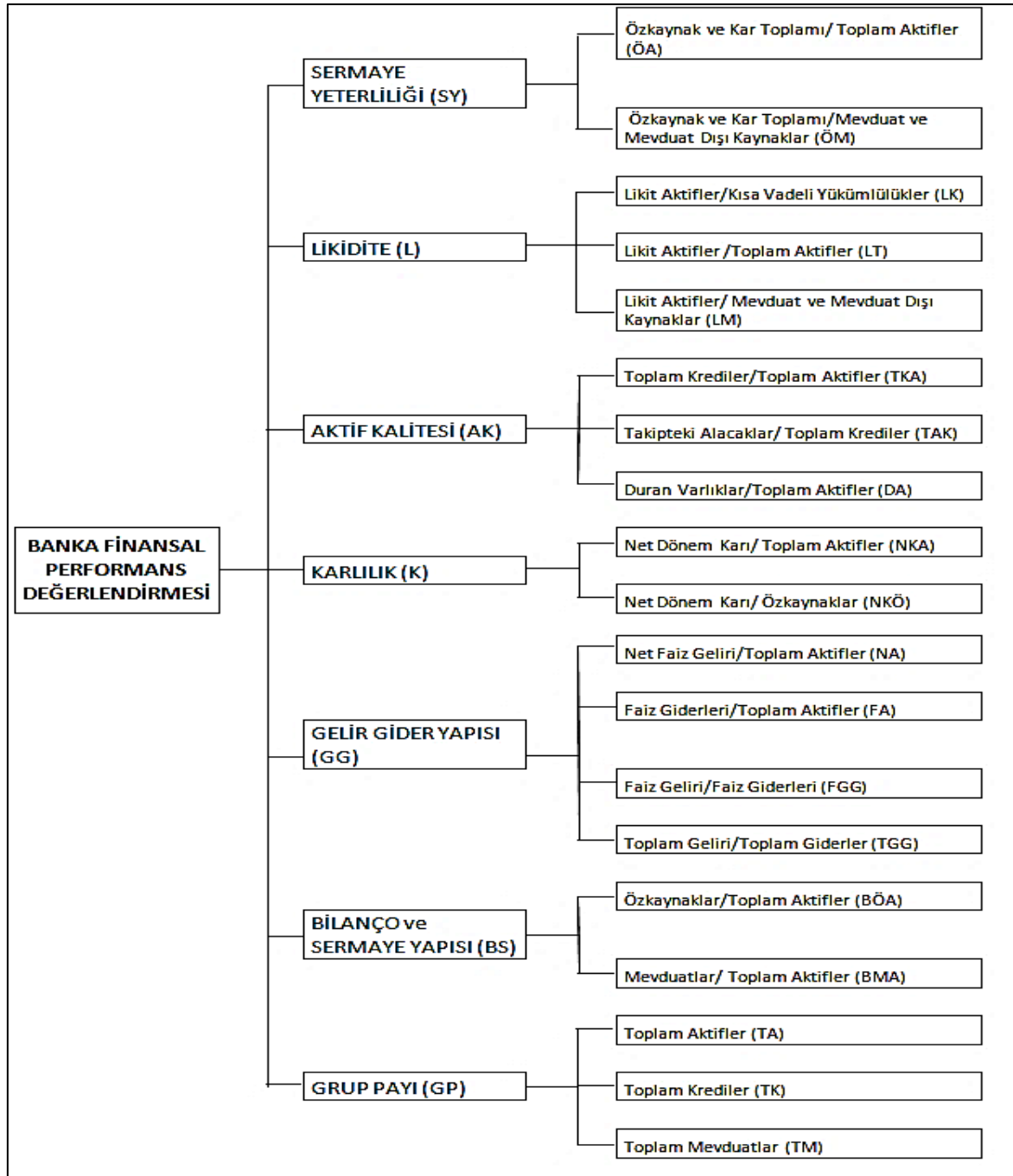
Bu bölümde günümüzde gün geçtikçe daha da önem kazanan performans değerlendirmesinin banka sektöründeki bir uygulanmasını ele alınmaktadır. Çalışmada 2013-2018 yılları için Türkiye Bankalar Birliği'nden alınan raporlara göre aktif büyüklük sıralamasında ilk 8 bankanın Bulanık AHP ve Bulanık TOPSIS yöntemleri kullanılarak finansal performans değerlendirmesi yapılmaktadır. Çalışmanın ilk adımı olarak Bulanık AHP yöntemi ile bankaların finansal

performanslarının değerlendirilmesinde etkili olan kriterlerin ağırlıkları hesaplanacaktır. İkinci olarak ise elde edilen bu ağırlıklar aracılığı ile öncelikle Bulanık TOPSIS yöntemiyle bankaların finansal performans değerlendirilmesi yapılacak olup ardından banka finansal performans değerlendirmesi, farklı bir yöntem olarak Bulanık AHP yöntemi ile de değerlendirilecektir. Şirketlerin finansal performanslarını belirlemek, ayrıca bu performans ve finansal oranlarla hisse senetlerinin borsa getirileri arasındaki ilişkiyi ölçen bir çalışma mevcuttur [21]. Ancak banka performans değerlendirilmesi üzerinde hisse senedi getirisi arasında herhangi bir ilişki olmaması sebebi ile bu çalışma kapsamında bu kriter ele alınmamıştır [22,23].

2.4.1. Bulanık AHP ile Kriterlerin Ağırlıklarının Hesaplanması

Çalışma kapsamında 3 farklı bankada çalışmakta olan ve daha önce farklı bankalarda görev yapmış olan 3 kişilik bir çalışma grubu oluşturulmuştur.

Banka performans değerlendirmelerinde ele alınacak ana ve alt kriterler belirlenirken hem literatür çalışmaları hem de bu çalışma kapsamında oluşturulan çalışma grubunda yer alan uzman kişilerin görüşleri dikkate alınmıştır. Çalışmada banka performans değerlendirmesine ilişkin ele alınan kriterlerin hiyerarşik yapısı Şekil 2.'de verilmektedir.



Şekil 2. Kriterlerin hiyerarşik yapısı

Tablo 4. Sermaye yeterliliği alt kriterlerinin karşılaştırma matrisi

Sermaye Yeterliliği (SY)	Özkaynak ve Kar Toplamı / Toplam Aktifler (ÖA)	Özkaynak ve Kar Toplamı / Mevduat ve Mevduat Dışı Kaynaklar (ÖM)
Özkaynak ve Kar Toplamı / Toplam Aktifler (ÖA)	(1,1,1)	(3/2,2,5/2)
Özkaynak ve Kar Toplamı / Mevduat ve Mevduat Dışı Kaynaklar (ÖM)	(2/5,1/2,2/3)	(1,1,1)

Banka performans değerlendirmesine ilişkin ilgili ana kriter ve alt kriterlerin değerlendirilmesi için ilgili çalışma grubuna anket uygulanmış olup her bir kullanıcıdan bu kriterleri ikili olarak birbirleriyle karşılaştırılması istenmiştir. Yapılan literatür araştırmalarında kriterlerin ikili karşılaştırılmaları sırasında sayıların eşleniklerinin kullanılması sebebi ile Genişletilmiş Analiz Yönteminde aritmetik ortalamanın yeterli olmadığı konusunda görüşlerin olduğu görülmektedir bu sebeple anketlerde verilen cevapların birleştirilmesi için geometrik ortalama yöntemi kullanılmaktadır.

Çalışma kapsamında oluşturulan çalışma grubu üyeleri tarafından yapılan değerlendirmelerin geometrik ortalamaları sonucu oluşan ana kriterlerin karşılaştırılmasının yapıldığı matris ve alt kriterlerin karşılaştırıldığı matris örneklerine “Genişletilmiş Analiz Yönteminin Uygulanması” kısmında yer verilmektedir.

2.4.1.1. Genişletilmiş Analiz Yönteminin Uygulanması

Ana ve bu ana kriterlere bağlı alt kriterlerin ikili karşılaştırması yapılmasından sonra genişletilmiş analiz yöntemi ile kriterlerin ağırlıkları hesaplanmaktadır. Bu noktada ağırlıkların hesaplanmasındaki amaç alt kriterler için alt kriterlerin bağlı oldukları ana kriter üzerindeki etki derecesini belirleyebilmektir. Buna göre hangi alt kriter en fazla öneme sahip ve bağlı olduğu ana kriteri hangi oranda etkilediğini bulabilmektedir. Aynı mantıkla ana kriterler için yapılan karşılaştırmalarda da alternatiflerin seçiminde hangi ana kriterin etkisinin daha fazla olduğunu, her bir ana kriterin alternatiflerin seçiminde hangi oranda etkili olduğunu belirleyebilmektedir.

Genişletilmiş Analiz Yöntemi uygulama adımlarında fazla sayıda hesaplama basamağı olması sebebi ile MS Excel formüllerinden yararlanılarak ilgili hesaplamalar yapılmıştır.

Alt kriter karşılaştırmalarına örnek olarak sermaye yeterliliği alt kriteri için Sermaye Yeterliliği (SY), Özkaynak ve Kar Toplamı / Toplam Aktifler (ÖA), Özkaynak ve Kar Toplamı / Mevduat ve Mevduat Dışı Kaynaklar (ÖM) olmak üzere hesaplamalar Tablo 4. de görüldüğü gibidir.

İlgili hesaplamalar sonucunda Tablo 5’te ağırlık değerleri bulunmaktadır.

Tablo 5. Sermaye yeterliliği ana kriterine ait alt kriterin ağırlıkları

Özkaynak ve Kar Toplamı / Toplam Aktifler (ÖA)	Özkaynak ve Kar Toplamı / Mevduat ve Mevduat Dışı Kaynaklar (ÖM)
1	0

Tablo 6. Ana ve alt kriter ağırlıkları

Ana Kriterler	Ağırlık	Alt Kriterler	Ağırlık
Sermaye Yeterliliği	0,19	Özkaynak ve Kar Toplamı / Toplam Aktifler	0,19
		Özkaynak ve Kar Toplamı / Mevduat ve Mevduat Dışı Kaynaklar	0
		Likit Aktifler / Kısa Vadeli Yükümlülükler	0
Likidite	0,21	Likit Aktifler / Toplam Aktifler	0,2016
		Likit Aktifler / Mevduat ve Mevduat Dışı Kaynaklar	0,00798
		Toplam Krediler / Toplam Aktifler	0,01
Aktif Kalitesi	0,02	Takipteki Alacaklar / Toplam Krediler	0
		Duran Varlıklar / Toplam Aktifler	0,01
		Net Dönem Karı / Toplam Aktifler	0
Karlılık	0,19	Net Dönem Karı / Toplam Aktifler	0,19
		Net Faiz Geliri / Toplam Aktifler	0
		Faiz Giderleri / Toplam Aktifler	0
Gelir Gider Yapısı	0,27	Faiz Geliri / Faiz Giderleri	0,0675
		Toplam Geliri / Toplam Giderler	0,2025
		Özkaynaklar / Toplam Aktifler	0,09
Bilanço ve Sermaye Yapısı	0,09	Mevduatlar / Toplam Aktifler	0

“Sermaye Yeterliliği” ana kriterine bağlı alt kriter ağırlıklarını yorumlanacak olunursa “Özkaynak ve Kar Toplamı / Toplam Aktifler (ÖA)” alt kriterinin “Sermaye Yeterliliği” ana kriteri üzerinde önemli bir etkisi olduğu görülebilmektedir. Bunun yanında

“Özkaynak ve Kar Toplamı / Mevduat ve Mevduat Dışı Kaynaklar (ÖM)” alt kriteri ise sıfır değerini almıştır. Diğer tüm alt kriterlere ait ikili karşılaştırma matrisleri de benzer şekilde hesaplanmaktadır.

İlgili ana kriterlere bağlı tüm alt kriterlerin ikili karşılaştırmaları sonrası ana kriterler de birbirleri ile karşılaştırılır. Ana kriterlerin ikili karşılaştırması sonrası elde edilen değerler Tablo 6’da verilmiştir.

Sermaye Yeterliliği (SY), Özkaynak ve Kar Toplamı / Toplam Aktifler (ÖA), Özkaynak ve Kar Toplamı / Mevduat ve Mevduat Dışı Kaynaklar (ÖM), Likidite ana kriteri (L) ve Likit Aktifler / Kısa Vadeli Yükümlülükler (LK), Likit Aktifler / Toplam Aktifler (LT), Likit Aktifler / Mevduat ve Mevduat Dışı Kaynaklar (LM), Aktif Kalitesi ana kriteri (AK) ve Toplam Krediler / Toplam Aktifler (TKA), Takipteki Alacaklar / Toplam Krediler (TAK), Duran Varlıklar / Toplam Aktifler (DA), Karlılık ana kriteri (K), Net Dönem Karı / Toplam Aktifler (NKA), Net Dönem Karı / Özkaynaklar (NKÖ), Gelir Gider Yapısı (GG), Net Faiz Geliri /Toplam Aktifler (NA), Faiz Giderleri / Toplam Aktifler (FA), Faiz Geliri / Faiz Giderleri (FGG), Toplam Geliri / Toplam Giderler (TGG), Bilanço ve Sermaye Yapısı ana kriteri (BS) ve Özkaynaklar / Toplam Aktifler (ÖA), Mevduatlar / Toplam Aktifler (BMA), Grup Payı ana kriteri (GP) ve Toplam Aktifler (TA), Toplam Krediler (TK), Toplam Mevduatlar (TM) olarak ifade edilecektir. Tüm ikili matris karşılaştırmaları sonrası ana kriter ağırlıkları ve bu ana kriterlere bağlı alt kriter ağırlıkları Tablo 6. da verilmektedir.

2.5. Bulanık TOPSIS ile Banka Performans Değerlendirmesi

İlgili çalışma grubu tarafından Bulanık AHP ile ana ve alt kriterlerin ağırlıklandırılması yapıldıktan sonra Bulanık TOPSIS yöntemi ile ele alınan sekiz banka için finansal performans değerlendirme yapılacaktır. Bankaların finansal performans değerlendirme için ilgili çalışma grubuna ikinci bir anket uygulanmış olup bu anket aracılığı ile çalışma grubu üyelerinin bankalar hakkındaki görüşleri toplanmıştır. Bu aşamada 7 adet ana kriterlere bağlı toplamda 19 adet alt kriterin bulunması ve ele alınacak 8 banka için çalışma grubu üyelerinin alt kriterler bazında çok detaylı bir değerlendirme yapmakta zorlanmaları sebebi ile yapılacak değerlendirmelerin verimli olmayacağı düşünülmüş olup, çalışma kapsamında ana kriterler temel alınarak çalışma grubu üyelerinden ana kriterlere göre değerlendirme yapılmıştır.

Banka performans değerlendirme yapılacak 8 bankanın ve performans karşılaştırması yapılırken ele alınacak ana kriterler ve problemin hiyerarşik yapısı Şekil 3’de verilmektedir.

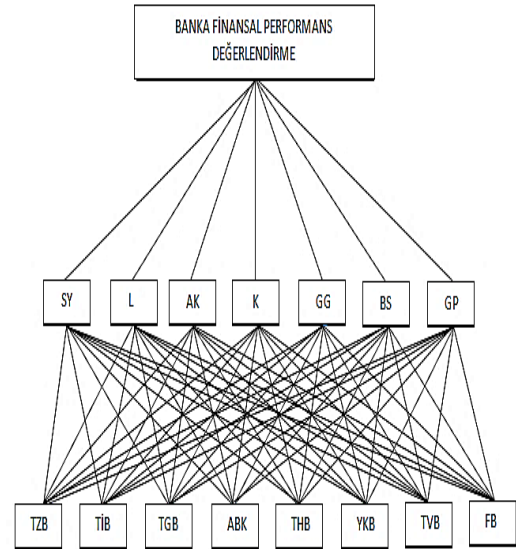
Çalışmada 2013 - 2018 yılları için Türkiye Bankalar Birliği’nden alınan raporlara göre aktif büyüklük

sıralamasında ilk 8 bankanın performans değerlendirilmesi ele alınacaktır. Ele alınan bankalar 5 yıl boyunca ilk 8 banka arasında kalmayı başarmış bankalardır. Bu bankalar aşağıdaki gibidir:

Türkiye Cumhuriyeti Ziraat Bankası (TZB)

- Türkiye İş Bankası A.Ş. (TİB)
- Türkiye Garanti Bankası A.Ş. (TGB)
- Akbank T.A.Ş. (ABK)
- Türkiye Halk Bankası A.Ş. (THB)
- Yapı ve Kredi Bankası A.Ş. (YKB)
- Türkiye Vakıflar Bankası T.A.O. (TVB)
- Finans Bank A.Ş. (FB)

Şekil 3’de ilk seviyede “Banka Finansal Performans Değerlendirme” başlığı altında problemin amacı, ikinci seviyede değerlendirmede kullanılacak kriterler ve son eviyede ise genel hiyerarşi tanımlarında “alternatifler” olarak söz edilen ve bizim problemimizde ise performans değerlendirme yapılacak bankalar yer almaktadır.



Şekil 3. Banka performans değerlendirme hiyerarşik yapısı

İlgili çalışma grubundaki kullanıcı değerlendirmelerini birleştirebilmek için yapılan değerlendirmelerin aritmetik ortalaması alınarak ilenmiştir. Uygulanan anketlerdeki değerlerin aritmetik ortalamaları ile bulanık karar matrisi elde edilmiş olup, elde edilen üçgensel bulanık sayı değerleri Tablo 7’de verilmektedir. Bulanık karar matris tablosuna normalizasyon işlemi uygulanarak Tablo 8 elde edilir.

Hesaplamanın üçüncü adımı, önceki bölümde Bulanık AHP ile hesaplanmış olan ana kriterlerin ağırlıkları kullanılarak hesaplamanın ikinci adımında belirlenmiş olan normalize karar matrisinin, ağırlıklandırılmış bulanık normalize karar matrisine dönüştürülmesidir. Bunu sağlayabilmek için normalize edilmiş karar matrisinde yer alan değerler, ilgili kriterin ağırlığı ile çarpılır. Böylece Tablo 9 da görülen ağırlıklandırılmış bulanık normalize karar matrisi elde edilmiş olur.

Tablo 7. Bulanık karar matrisi

	SY	L	AK	K	GG	BS	GP
TİB	(7,67;9,33;10)	(5,67;7,67;9,33)	(6,33;8,33;9,67)	(7;9;10)	(4,33;6,33;8,33)	(5;7;8,67)	(4,33;6,33;8,33)
TGB	(6,33;8;9,33)	(7;8,67;9,67)	(7;8,67;9,67)	(5,67;7,67;9,33)	(5;7;8,67)	(4,33;6,33;8)	(5;6,67;8)
FB	(3;5;7)	(5,7,9)	(3,67;5,67;7,33)	(2,33;4,33;6,33)	(4,33;6,33;8,33)	(5,67;7,67;9)	(3;5;7)
TZB	(6,33;8,33;9,67)	(9,10;10)	(6,33;8,33;9,67)	(7;9;10)	(4,33;6,33;8,33)	(5,67;7,67;9,33)	(7;8,67;9,67)
TVB	(3,67;5,67;7,67)	(4,33;6,33;8,33)	(3,67;5,67;7,67)	(3,67;5,67;7,67)	(4,33;6,33;8)	(3,67;5,67;7,67)	(5;6,67;8)
YKB	(3,67;5,67;7,33)	(6,33;8,33;9,67)	(3;5;7)	(5,67;7,67;9,33)	(2,67;4,33;6,33)	(4,33;6,33;8)	(6,33;8,33;9,67)
THB	(3;5;7)	(4,33;6,33;8)	(4,33;6,33;8)	(3,67;5,67;7,67)	(5;7;9)	(4,33;6,33;8,33)	(3,67;5,67;7,67)
ABK	(4,33;6,33;8,33)	(3,33;5;6,67)	(2,33;4,33;6,33)	(5;7;8,67)	(5;7;8,33)	(3;5;7)	(3,67;5,67;7,67)

Tablo 8. Normalize edilmiş karar matrisi

	SY	L	AK	K	GG	BS	GP
TİB	(0,767;0,933;1,000)	(0,567;0,767;0,933)	(0,655;0,861;1,000)	(0,700;0,900;1,000)	(0,481;0,704;0,926)	(0,536;0,750;0,929)	(0,448;0,655;0,862)
TGB	(0,633;0,800;0,933)	(0,700;0,867;0,967)	(0,724;0,897;1,000)	(0,567;0,767;0,933)	(0,556;0,778;0,963)	(0,464;0,679;0,957)	(0,517;0,689;0,927)
FB	(0,300;0,500;0,700)	(0,500;0,700;0,900)	(0,380;0,586;0,758)	(0,233;0,433;0,633)	(0,481;0,704;0,926)	(0,607;0,822;0,965)	(0,310;0,517;0,724)
TZB	(0,633;0,833;0,967)	(0,900;1,000;1,000)	(0,655;0,861;1,000)	(0,700;0,900;1,000)	(0,481;0,704;0,926)	(0,607;0,822;1,000)	(0,724;0,896;1,000)
TVB	(0,367;0,567;0,767)	(0,433;0,633;0,833)	(0,380;0,586;0,793)	(0,367;0,567;0,767)	(0,481;0,704;0,889)	(0,393;0,607;0,893)	(0,517;0,689;0,827)
YKB	(0,367;0,567;0,733)	(0,633;0,833;0,967)	(0,310;0,517;0,724)	(0,567;0,767;0,933)	(0,296;0,481;0,704)	(0,464;0,679;0,957)	(0,655;0,862;1,000)
THB	(0,300;0,500;0,700)	(0,433;0,633;0,833)	(0,448;0,655;0,827)	(0,367;0,567;0,767)	(0,556;0,778;1,000)	(0,464;0,678;0,933)	(0,379;0,586;0,933)
ABK	(0,433;0,633;0,833)	(0,333;0,500;0,667)	(0,241;0,448;0,655)	(0,500;0,700;0,867)	(0,556;0,778;0,926)	(0,322;0,536;0,750)	(0,379;0,586;0,933)

Tablo 9. Ağırlıklandırılmış bulanık normalize karar matrisi

	SY (0,19)	L (0,21)	AK (0,02)	K (0,19)	GG (0,27)	BS (0,09)	GP (0,03)
TİB	(0,1457;0,1773;0,1900)	(0,1191;0,1611;0,1959)	(0,0131;0,0172;0,0200)	(0,1330;0,1710;0,1900)	(0,1300;0,1900;0,2500)	(0,0482;0,0675;0,0836)	(0,0134;0,0196;0,0259)
TGB	(0,1203;0,1502;0,1773)	(0,1270;0,1821;0,2031)	(0,0145;0,0179;0,0200)	(0,1077;0,1457;0,1773)	(0,1500;0,2100;0,2600)	(0,0418;0,0611;0,0772)	(0,0155;0,0207;0,0248)
FB	(0,0570;0,0950;0,1330)	(0,1050;0,1470;0,1890)	(0,0076;0,0117;0,0152)	(0,0443;0,0823;0,1203)	(0,1300;0,1900;0,2500)	(0,0547;0,0740;0,0868)	(0,0093;0,0155;0,0217)
TZB	(0,1203;0,1583;0,1837)	(0,1890;0,2100;0,2100)	(0,0131;0,0172;0,0200)	(0,1330;0,1710;0,1900)	(0,1300;0,1900;0,2500)	(0,0547;0,0740;0,0900)	(0,0217;0,0269;0,0300)
TVB	(0,0697;0,1077;0,1457)	(0,0909;0,1329;0,1749)	(0,0076;0,0117;0,0159)	(0,0697;0,1077;0,1457)	(0,1300;0,1900;0,2400)	(0,0354;0,0547;0,0740)	(0,0155;0,0207;0,0248)
YKB	(0,0697;0,1077;0,1393)	(0,1329;0,1749;0,2031)	(0,0062;0,0103;0,0145)	(0,1077;0,1457;0,1773)	(0,0800;0,1300;0,1900)	(0,0418;0,0611;0,0772)	(0,0196;0,0259;0,0300)
THB	(0,300;0,500;0,700)	(0,433;0,633;0,833)	(0,448;0,655;0,827)	(0,367;0,567;0,767)	(0,556;0,778;1,000)	(0,464;0,678;0,933)	(0,379;0,586;0,933)
ABK	(0,433;0,633;0,833)	(0,333;0,500;0,667)	(0,241;0,448;0,655)	(0,500;0,700;0,867)	(0,556;0,778;0,926)	(0,322;0,536;0,750)	(0,379;0,586;0,933)

Tablo 10. Yakınlık indeksi değer sıralaması

Bankalar	Yakınlık İndeks Değerleri	Sıralama
Türkiye Cumhuriyeti Ziraat Bankası A.Ş. (TZB)	0,119726143	1
Türkiye İş Bankası A.Ş. (TİB)	0,114243684	2
Türkiye Garanti Bankası A.Ş. (TGB)	0,112383809	3
Yapı ve Kredi Bankası A.Ş. (YKB)	0,095031914	4
Türkiye Halk Bankası A.Ş. (THB)	0,09347523	5
Akbank T.A.Ş. (ABK)	0,093010427	6
Türkiye Vakıflar Bankası T.A.O. (TVB)	0,091575928	7
Finans Bank A.Ş. (FB)	0,090551721	8

Hesaplamanın dördüncü adımı olarak A^+ pozitif ideal çözüm ve A^- negatif ideal çözüm belirlenir. Hesaplamanın beşinci adımı olarak her bir kriterin pozitif ve negatif çözüme olan uzaklıkları (37) eşitliğindeki gibi hesaplanır. Pozitif ve negatif çözüme olan uzaklıklardan yararlanılarak elde edilen yakınlık

indeks değerleri aşağıdaki gibidir. Tablo 10. daki veriler değerlendirilecek olunursa en yüksek yakınlık indeksi değerine sahip olan Türkiye Cumhuriyeti Ziraat Bankası A.Ş. (TZB) diğer bankalara göre daha iyi bir performansa sahiptir.

Tablo 11. Sermaye yeterliliği kriteri için alternatiflerin karşılaştırılması

	TİB	TGB	FB	TZB	TVB	YKB	THB	ABK
TİB	(1;1;1)	(1,14;1,59;2,11)	(2,36;2,89;3,40)	(1,14;1,59;2,11)	(2,11;2,62;3,13)	(2,36;2,88;3,40)	(2,5;3;3,5)	(2,11;2,62;3,13)
TGB	(0,47;0,63;0,67)	(1;1;1)	(1,52;2;2,56)	(0,74;1;1,36)	(1,36;1,82;2,36)	(1,78;2,29;2,8)	(1,78;2,89;2,8)	(1,36;1,82;2,36)
FB	(0,29;0,35;0,42)	(0,39;0,5;0,66)	(1;1;1)	(0,33;0,4;0,5)	(0,56;0,8;1,14)	(0,78;1;1,28)	(0,74;1;1,36)	(0,87;1,26;1,78)
TZB	(0,47;0,63;0,87)	(0,74;1;1,36)	(1,99;2,52;3,04)	(1;1;1)	(1,78;2,29;2,8)	(1,36;1,82;2,36)	(2,11;2,62;3,13)	(1,5;2;2,5)
TVB	(0,32;0,38;0,47)	(0,42;0,55;0,74)	(0,87;1,26;1,78)	(0,36;0,47;0,56)	(1;1;1)	(0,69;0,87;1,14)	(0,87;1,26;1,78)	(0,56;0,79;1,14)
YKB	(0,54;0,35;0,42)	(0,36;0,44;0,56)	(0,78;1;1,28)	(0,42;0,55;0,97)	(0,87;1,14;1,52)	(1;1;1)	(0,87;1,14;1,52)	(0,74;1;1,36)
THB	(0,28;0,33;0,4)	(0,36;0,44;0,56)	(0,74;1;1,36)	(0,32;0,38;0,47)	(0,56;0,79;1,14)	(0,66;0,87;1,14)	(1;1;1)	(0,47;0,63;0,87)
ABK	(0,32;0,38;0,47)	(0,42;0,55;0,73)	(0,56;0,79;0,87)	(0,4;0,5;0,67)	(0,87;1,26;2,78)	(0,74;1;1,36)	(1,14;1,59;2,11)	(1;1;1)

2.6. Bulanık AHP ile Banka Performans Değerlendirmesi

Banka performans değerlendirme için ilgili çalışma grubu tarafından Bulanık AHP yöntemi ile kriter ağırlıkları daha önceki bölümlerde belirlenmişti. Kriter ağırlıklandırılmalarının ardından ilgili kriter ağırlıklandırmasından faydalanılarak Bulanık TOPSIS ile banka performans sıralaması yapılmıştı. Çalışmanın bu kısmında ise daha önce belirlenen kriter ağırlıkları kullanılarak banka performans sıralaması Bulanık AHP yöntemi ile de ele alınacaktır. Böylece sonuçların tutarlığı farklı iki yöntem aracılığı ile değerlendirilmiştir. Bulanık AHP yöntemi ile uygulama adımlarında fazla sayıda hesaplama basamağı olması sebebi ile MS Excel formüllerinden yararlanılarak ilgili hesaplamalar yapılmıştır.

Bulanık AHP ile banka performans değerlendirme için kullanıcılardan her bir alternatifin ilgili kriter bazında değerlendirilmesi istenmiştir. Bu amaçla yapılan anket sonuçları geometrik ortalama ile tek bir değere indirgenebilmesi sağlanmıştır. Çalışmada ele alınan ana kriterlerden "Sermaye Yeterliliği" kriteri için alternatiflerin karşılaştırılmasına ait yapılan değerlendirme sonuçları Tablo 11. de yer almaktadır. Tablo 11. de yer alan veriler kullanılarak her bir alternatif için sentez değerleri (3) ve (5) eşitlikleri ile hesaplanmaktadır. Elde edilen sentez değerleri her bir alternatif için karşılaştırılarak bulanık sentetik derece değerlerinin olabilirlik dereceleri Tablo 12. deki gibi elde edilmektedir.

Tablo 12. de her satırda yer alan değerlerin minimum olan değeri alınarak sermaye yeterliliği kriteri için alternatiflerin öncelik değerleri bulunmaktadır.

$$W' = (1; 0,59; 0; 0,67; 0; 0; 0; 0,06) \quad (39)$$

Öncelik değerlerinin elde edilmesi sonrası W' vektörü (39) eşitliğindeki gibi bulunmaktadır.

(40) eşitliğindeki sonuçlara göre sermaye yeterliliği kriteri altında en iyi performansa sahip ya da yatırımcılar için seçilebilecek en iyi alternatif "Türkiye İş Bankası (TİB)" iken bu alternatifi sırası ile "Türkiye Cumhuriyeti Ziraat Bankası A.Ş. (TZB)", "Türkiye Garanti Bankası A.Ş. (TGB)" ve "Akbank T.A.Ş. (ABK)" takip etmektedir. Diğer alternatifler ise sıfır değerini almıştır.

Tablo 12. Sermaye yeterliliği bulanık sentetik derece olabilirlik değerleri

	TİB	TGB	FB	TZB	TVB	YKB	THB	ABK
TİB	-	1	1	1	1	1	1	1
TGB	0,59	-	1	0,93	1	1	1	1
FB	0	0,21	-	0,17	0,89	0,88	1	0,88
TZB	0,67	1	1	-	1	1	1	1
TVB	0	0,33	1	0,25	-	1	1	1
YKB	0	0,33	1	0,23	1	-	1	1
THB	0	0,09	0,86	0	0,75	0,71	-	0,71
ABK	0,06	0,43	1	0,38	1	1	1	-

Normalizasyon işlemi sonrası elde edilen W vektörü (40) eşitliğindeki gibidir.

$$W = (0,43; 0,25; 0; 0,29; 0; 0; 0; 0,02) \quad (40)$$

Alternatiflerin, çalışmada ele alınan 7 ana kriter altında değerlendirilmesi ile elde edilen değerler daha önce elde edilen kriter ağırlıkları ile çarpılır. Kriter ağırlıkları ile çarpılması sonrası satır bazlı ağırlık değerleri toplanır ve ilgili alternatifte ait ağırlık değeri bulunmuş olur. Bulunan ağırlıklı değerler alternatiflerin üstünlük ağırlıklarını ifade etmektedir. Bu değerlere bakılarak alternatifler arasında öncelik sıralaması yapılabilmektedir. İlgili alternatiflerin her bir kriterdeki öncelik değerleri, kriterlerin ağırlık değerleri ve bunların bir sonucu olarak alternatiflerin üstünlük ağırlıkları önem ağırlık matrisi altında Tablo 13. de yer verilmiştir.

Tablo 13. Önem ağırlık matrisi

	Sermaye Yeterliliği	Likidite	Aktif Kalitesi	Karlılık	Gelir Gider	Bilanço	Grup Payı	Alternatiflerin
Kriter Ağırlıkları	0,19	0,21	0,02	0,19	0,27	0,09	0,03	Üstünlük Ağırlıkları
TİB	0,43	0,04	0,21	0,2	0,25	0,25	0,17	0,2325
TGB	0,25	0,21	0,16	0,15	0,02	0,2	0,11	0,1533
FB	0	0	0	0	0	0,1	0,12	0,0162
TZB	0,29	0,57	0,26	0,22	0,72	0,31	0,23	0,4579
TVB	0	0	0,051	0,038	0	0,06	0,05	0,0166
YKB	0	0,17	0,16	0,16	0	0,19	0,14	0,0948
THB	0	0	0,14	0,135	0	0,17	0,12	0,0509
ABK	0,02	0	0,01	0,077	0	0,05	0,052	0,0262

Tablo 13. de görüldüğü üzere alternatiflerin üstünlük ağırlıkları bulunmaktadır. Üstünlük ağırlıkları sıralanması ile alternatifler arasındaki sıralama elde edilmiş olunur. Tablo 14. de alternatiflerin sıralaması verilmektedir.

Tablo 14. Alternatiflerin sıralanması

Alternatiflerin Üstünlük Ağırlıkları	Banka Adı
0,4579	Türkiye Cumhuriyeti Ziraat Bankası A.Ş. (TZB)
0,2325	Türkiye İş Bankası A.Ş. (TİB)
0,1533	Türkiye Garanti Bankası A.Ş. (TGB)
0,0948	Yapı ve Kredi Bankası A.Ş. (YKB)
0,0509	Türkiye Halk Bankası A.Ş. (THB)
0,0262	Akbank T.A.Ş. (ABK)
0,0166	Türkiye Vakıflar Bankası T.A.O. (TVB)
0,0162	Finans Bank A.Ş. (FB)

3. Bulgular

Çalışmada Bulanık AHP ile banka performansı üzerinde etkili olan kriterler ağırlıklandırılarak yapılmıştır. Bu amaçla öncelikle Bulanık AHP yöntemi kullanılarak bankaların finansal performansları üzerinde etkisi olduğu düşünülen 7 ana kriter ve bu ana kriterlere bağlı toplamda 19 adet alt kriter ele alınmıştır. Bulanık TOPSIS ve Bulanık AHP olmak üzere iki farklı yöntem ile bankaların performans sıralaması alt kriterlere ait yorum yapmanın zor olması ve karar vericiler tarafından doğru değerlendirilmenin yapılamayacağı düşünülmesi sebebiyle çalışmada ana kriterler ele alınarak ilerlenmiştir. Karar vericilerin görüşleri doğrultusunda yapılan değerlendirmeler Bulanık AHP ile değerlendirilmiş olup finansal performans üzerinde en büyük etkiye sahip kriterin gelir gider yapısı kriteri olduğu görülmektedir. Bu sonuca bakılarak bankaların gelir gider oranı yüksek olan bir bankanın finansal performansının yüksek olabileceği yorumu yapılabilmektedir. Bunun yanında bankaların gelir gider yapısında yaşanabilecek bir dalgalanmanın bankanın performansını büyük ölçüde etkileyebileceği yorumu da yapılabilmektedir. Gelir gider yapısı kriterini sırası ile likidite ve aynı ağırlığa sahip olan sermaye yapısı ve karlılık oranının takip

ettiği görülmektedir. Yapılan değerlendirmeler sonucu en düşük ağırlığa sahip olması sebebi ile grup payı kriterinin bankaların finansal performansı üzerinde en az etkiye sahip olan kriter olduğu yorumu yapılabilmektedir.

Elde edilen sonuçlara göre performansını arttırmaya yönelik çalışma yapan bir bankanın öncelikli olarak gelir gider yapısında iyileşme sağlamaya çalışması bankanın, kısa zamanda performans iyileşme adımlarında daha büyük bir sıçrama elde etmesini sağlayabileceği yorumları da yapılabilmektedir. Çalışmada aynı zamanda ana kriterlere bağlı olan alt kriterlerin de finansal performans üzerindeki etki dereceleri ya da başka bir ifade ile önem ağırlıklarına da yer verilmiştir. Alt kriterler arasında finansal performans üzerinde en fazla etkisi olan kriterin "Toplam Geliri/Toplam Giderler" alt kriteri olduğu söylenebilmektedir.

Yapılan kriter ağırlıklandırması sonrası 2013-2018 yılları arasında aktif büyüklük sıralamasında ilk sekiz banka arasında kalmayı başarmış olan bankaların performans değerlendirilmesi Bulanık TOPSIS yöntemi ve Bulanık AHP yöntemleri ile ele alınmıştır. Böylece her iki yöntem ile sonuçlar değerlendirilmiş olup sonuçların birbiri ile paralel olduğu görülmüştür. İlgili finansal oranlar dikkate alınarak çalışma grubundaki kişilerin değerlendirmeleri doğrultusunda performans değerlendirmesinde ilk sırada "Türkiye Cumhuriyeti Ziraat Bankası A.Ş. (TZB)" yer alarak son sırada ise "Finans Bank A.Ş. (FB)" yer almıştır. Böylece Bulanık TOPSIS ve Bulanık AHP yöntemleri ile çalışma grubunda yer alan değerlendiricilerin görüşleri ve yorumları doğrultusunda ilgili oranların banka finansal performansı üzerindeki etkisi ve bu sonuçlara göre bankaların performans sıralaması yapılmıştır.

4. Tartışma ve Sonuç

Çalışmada elde edilen sonuçların, bankaların performans sıralamasına katkısının yanında bankalara yatırım yapacak kişilere, banka seçimi yapabilmesi konusunda da fayda sağlamaktadır. Çalışma değerlendirildiğinde çalışma grubunda yer alan karar verici kişilerin öznel yargılarının ve de

değerlendirilen finansal oranların öncelikli tercihlerinin performans sıralamasını değiştirebileceği yorumu da yapılabilmektedir. Bulanık AHP yöntemi ile alternatiflerin karşılaştırılması sırasında ele alınan kritere göre bankaların öncelik sıralamasının değiştiği görülmektedir. Ele alınan bir kritere göre tercih edilebilirliği ya da performansı yüksek olan bir alternatifin başka bir kritere göre tercih edilebilirliğinin düştüğü gözlemlenmektedir. Bu çalışma, içerisinde bulundurduğu yöntemler, yaklaşımlar ve bakış açıları ile diğer sektörlerde de yapılabilecek performans değerlendirme çalışmaları için yol göstermektedir. Bu çalışmada finansal oranlara yer verilerek finansal performans değerlendirilmesi üzerine çalışılmış ve bu açıdan literatüre katkısı bulunmaktadır ve konusu itibari ile de literatürde benzerine rastlanılamamıştır. Müşteri memnuniyetinin hemen hemen her sektörde en önemli kriter olma yolunda ilerlemesi sebebi ile gelecek çalışmalarda müşteri memnuniyeti de bir kriter olarak alınarak performans değerlendirmesi üzerine çalışmalar yapılabilir. Ayrıca müşteri memnuniyeti kriterinin yanında banka performansını etkileyen diğer finansal olmayan kriterlerde eklenerek Bulanık AHP ve Bulanık TOPSIS yöntemleri ya da farklı yöntemler uygulanarak banka performans değerlendirme üzerine çalışmalar yapılabilir. Bunun yanında banka performans değerlendirmesi için farklı değişkenler ele alınarak değişkenler arasındaki ilişkiler üzerine de farklı çalışmalar yapılabilir.

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] Denizhan, B., Yalçın A., Berber, Ş. 2017. Analitik Hiyerarşi Proses ve Bulanık Analitik Hiyerarşi Proses Yöntemleri Kullanılarak Yeşil Tedarikçi Seçimi Uygulaması. Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi, 6(1), 63-68.
- [2] Yacan, İ. 2016. Eğitim Kalitesinin Belirlenmesinde Etkili Olan Faktörlerin Bulanık AHP ve Bulanık TOPSIS Yöntemi ile Değerlendirilmesi. Pamukkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Denizli, 90s.
- [3] Sağır, H., Doğanalp, B. 2016. Bulanık Çok Kriterli Karar Verme Perspektifinden Türkiye İçin Enerji Kaynakları Değerlendirmesi. Kastamonu Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 11(1), 243-254.

- [4] Çalışkan, E., Eren, T. 2016. Bankaların Performanslarının Çok Kriterli Karar Verme Yöntemiyle Değerlendirilmesi. Ordu Üniversitesi Bilgi Teknolojileri Dergisi, 6(2), 85-107.
- [5] Doğan, M., Şişman, B. 2016. Türk Bankalarının Finansal Performanslarının Bulanık AHP ve Bulanık MOORA Yöntemleri ile Değerlendirilmesi. Yönetim ve Ekonomi Dergisi, 23(2), 353-371.
- [6] Mandic, K., Delibasic, B., Knezevic S., Benkovic S. 2014. Analysis of the Financial Parameters of Serbian Banks Through the Application of the Fuzzy AHP and TOPSIS Methods. Economic Modelling, 43, 30-37.
- [7] Doğan, M. 2015. Comparison of Financial Performance of Participation Banks in Turkey. Journal of Economics, Finance and Accounting, 2(4), 1-4.
- [8] Anderson, D.R., Sweeney, D.J., Williams, T.A., Camm, J.D., Cochran, J.J., Fry, M.J., Ohlmann, J.W. 2013. Quantitative Methods for Business, 13. Baskı, Cengage Learning, USA, 909s.
- [9] Timor, M. 2011. Analitik Hiyerarşi Prosesi, 1. Baskı, Türkmen Kitabevi, İstanbul, 304s.
- [10] Çetişli, B. 2006. Öznitelik Seçiminde Dilsel Kuvvetli Sınır Bulanık Sınıflayıcı Kullanımı. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 19(2), 109-129.
- [11] Vatansever, K., Uluköy, M. 2013. Kurumsal Kaynak Planlaması Sistemlerinin Bulanık AHP ve Bulanık MOORA Yöntemleriyle Seçimi: Üretim Sektöründe Bir Uygulama. Celal Bayar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 11(2), 274-293.
- [12] Erdem, M. 2012. Türkiye'de Kombine Taşımacılık İçin Liman Yerinin Bulanık AHP İle Seçimi. İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 111s, İstanbul.
- [13] Chang, D.Y. 1996. Applications of The Extent Analysis Method on Fuzzy AHP. European Journal of Operational Research, 95(3), 649-655.
- [14] Çiçekli, U.G., Karaçizmeli, A. 2013. Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci ile Başarılı Öğrenci Seçimi. Ege Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Örneği. Ege Stratejik Araştırmalar Dergisi, 4(1), 71-94.
- [15] Göksu, A., Güngör, İ. 2008. Bulanık Analitik Hiyerarşik Proses ve Üniversite Tercih Sıralamasında Uygulanması. Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 13(3), 1-26.
- [16] Hwang, C.L., Yoon, K. 1981. Multiple Attribute Decision Making: Methods and Application, Springer, New York, 225s.

- [17] Demireli, E. 2010. TOPSIS Çok Kriterli Karar Verme Sistemi: Türkiye'deki Kamu Bankaları Üzerine Bir Uygulama. Girişimcilik ve Kalkınma Dergisi, 5(1), 85-107.
- [18] Ünal, Y. 2011. Bulanık Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ve Bir Takım Oyunu İçin Oyuncu Seçimi Uygulaması. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 155s, Konya.
- [19] Özçakar, N., Demir, H.H. 2011. Bulanık TOPSIS Yöntemi ile Tedarikçi Seçimi. İstanbul Üniversitesi İşletme İktisadi Enstitüsü Dergisi, 22(69), 28-33.
- [20] Ayvalı, N. 2015. Banka Başarısızlıklarında Aktif Kalitesinin Değerlendirilmesi. T.C. Marmara Üniversitesi Bankacılık ve Sigortacılık Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 184s.
- [21] Ozen, E., Yeşildağ E. 2015. TOPSIS Performans Değerleme Ölçüsü ve Finansal Oranlar ile Hisse Senedi Getiri İlişkisi. Journal of Economics, 2(4), 482-500.
- [22] Ünal, S., Yüksel R. 2017. Finansal Performans ve Hisse Senedi Getirisi İlişkisi: Bist Sürdürülebilirlik Endeksindeki Bankalar Üzerine Bir İnceleme. Uluslararası Yönetim İktisat ve İşletme Dergisi, ICMEB17 Özel Sayısı, 264-270.
- [23] Sakarya, Ş., Aytakin, S.2013. İMKB'de İşlem Gören Mevduat Bankalarının Performansları ile Hisse Senedi Getirileri Arasındaki İlişkinin Ölçülmesi: PROMETHEE Çok Kriterli Karar Verme Yöntemiyle Bir Uygulama. Uluslararası Alanya İşletme Fakültesi Dergisi, 5(2), 99-109.

Web Uygulama Sızma Testlerinde Kapsam Genişletme İşlemi İçin Metodoloji Geliştirilmesi ve Uygulanması

Mehmet Ali YALÇINKAYA*¹, Ecir Uğur KÜÇÜKSİLLE²

¹Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, 40100, Kırşehir, Türkiye

²Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, 32260, Isparta, Türkiye

(Alınış / Received: 19.12.2019, Kabul / Accepted: 08.10.2020, Online Yayınlanma / Published Online: 15.04.2021)

Anahtar Kelimeler

Web uygulama güvenliği,
Sızma testleri,
Siber güvenlik,
Bilgi güvenliği

Özet: Günümüzde, farklı alanlarda hizmet veren tüm kurum ve kuruluşlar, hizmet verdikleri kitlelere daha hızlı ulaşabilmek ve daha etkili hizmet verebilmek adına web uygulamalarını etkin bir şekilde kullanmaktadır. Web uygulamalarının yaygın olarak kullanılması, bu uygulamalara yönelik saldırıların sayısında ve çeşidinde ciddi oranda artışa neden olmuştur. Gerçekleştirilen saldırılar sonrasında oluşan zararın ciddi boyutlara ulaşması nedeniyle, kurum ve kuruluşlar web uygulamalarını belirli periyotlarla sızma testlerine tabi tutmaktadırlar. Sızma testlerinde uzmanlar, web uygulamaları üzerinde çeşitli zafiyetlerin varlığını kontrol etmektedirler. Web uygulamaları üzerinde gerçekleştirilen sızma testlerinde uzmanlara çoğunlukla tek bir URL adresi verilmekte, bu URL adresinden yola çıkarak testlerini gerçekleştirilmesi istenmektedir. Bu çalışmada; kullanıcı tercihlerine göre, farklı kaynaklar ve yöntemler kullanarak, test esnasında taranacak URL adreslerinin listesini oluşturan bir kapsam belirleme aracı geliştirilmiştir. Geliştirilen araç, web uygulama sızma testlerinde aktif olarak test kapsamı belirlemede kullanılan 6 farklı araç ile karşılaştırılmış, Httrack aracı ile birlikte en fazla sayıda URL adresini topladığı görülmüştür. Bunun yanında, sunduğu farklı modlarda kapsam tarama modülleri sayesinde, literatürde kullanılan zafiyet tarayıcıların birçoğundan daha modüler ve kapsamlı tarama imkânı sunmaktadır.

Development and Implementation Methodology for Extending Scope in Web Application Penetration Testing

Keywords

Web application security,
Penetration tests,
Cyber security,
Information security

Abstract: Nowadays, all institutions and organizations serving in different fields use web applications effectively in order to reach the masses for serving faster and providing more effective services. The widespread use of web applications has led to a significant increase in the number and type of attacks on these applications. Due to the serious damage caused by the attacks, institutions and organizations subject their web applications to penetration tests periodically. In penetration tests, experts check the presence of various vulnerabilities on web applications. In penetration tests performed on web applications, experts are often given a single URL address and are asked to perform their tests based on this URL. In this study; A scoping tool has been developed that creates a list of URL addresses to be scanned during testing, using different sources and methods, according to user preferences. The developed tool was compared with 6 different tools used to determine the scope of the test actively in web application infiltration tests and it was seen that it collected the maximum number of URL addresses together with the Httrack tool. The developed tool presents a more modular and comprehensive scan facility than many of the vulnerability scanners used in the literature thanks to the scope scanning modules in different modes.

1. Giriş

İnternetin ortaya çıkışından beri eposta, bankacılık, alışveriş gibi kullanıcılar tarafından yoğunlukla tercih

edilen ve kullanımı giderek artan web uygulamaları, saldırganların hedefi olmuştur [1]. Günümüzde internet kullanımının ve internet erişimine sahip cihazların oldukça yaygınlaşması, günlük işlerin

*İlgili yazar: mehmetyalcinkaya@ahievran.edu.tr

birçoğunun web uygulamaları üzerinden gerçekleştirilebilmesi, bu uygulamaları insan hayatının en önemli bileşenlerinden biri haline getirmiştir. Ayrıca günümüzde çeşitli alanlardaki kurum ve kuruluşlar için web uygulamaları, herkes tarafından kolaylıkla görüntülenebilen bir vitrin haline gelmiştir. Bunun yanında ülkemiz de dahil olmak üzere, birçok devlet, tüm vatandaşlık hizmetlerini web uygulamaları üzerinden gerçekleştirilebilir hale gelmiştir. Web uygulamalarının bu seviyede kullanıcı sayısına ulaşılması ve çok önemli veriler üzerinde işlem yapması, söz konusu uygulamaları siber saldırganların hedefi haline getirmiştir [2].

Web uygulamaları üzerinde yer alan zafiyetlere yönelik saldırıların artmasıyla, web uygulama sızma testlerine olan ihtiyaç da aynı oranda artmıştır. Web uygulamaları üzerinde gerçekleştirilen sızma testleri; gerçek bir siber saldırı öncesinde, mevcut tüm güvenlik açıklarının tespit edilerek kapatılması için gerçekleştirilmektedir[3]. Bir web uygulaması üzerinde sızma testi gerçekleştirileceği zaman, gerçekleştirilecek en önemli işlemlerden biri sızma testinin kapsamının belirlenmesidir [4]. Gerçekleştirilecek testlerde, kullanıcı isteğine göre sadece bir domain, bir domaine ait alt domain adresleri ya da web uygulaması üzerinde ziyaret edilebilir tüm URL adreslerinin test edilmesi istenebilmektedir. Bu nedenle kullanıcı isteğine göre testin yapılacağı kapsamın tam ve eksiksiz olarak belirlenmesi ve kapsam dahilindeki URL adreslerinin toplanması büyük önem taşımaktadır[2].

Günümüzde web uygulamaları üzerinde gerçekleştirilen testler iki yönetime ayrılmaktadır. İlk yöntemde gerçekleştirilecek tüm testler, herhangi bir araç kullanılmadan manuel olarak gerçekleştirilmektedir. Bu yöntemin dezavantajları; testlerin uzun zaman alması, taranması gereken bazı adreslerin gözden kaçması, testi yapan uzmanın olası düşük bilgi ve tecrübe seviyesinden dolayı başarısız sonuçlar üretilmesidir. Bu dezavantajlar nedeni ile ikinci yöntem, yani; web uygulama sızma testlerinde dinamik analiz tabanlı otomatik zafiyet tarayıcıların kullanımı oldukça yaygınlaşmıştır [2]. Zafiyet tarayıcılar web uygulama sızma testlerinin otomatik olarak gerçekleştirilmesini sağlamaktadır. Otomatikleştirilmiş web uygulaması sızma testinin birçok faydası bulunmaktadır. Zafiyet tarayıcılar sızma testi için gereken zamanı, maliyeti ve kaynağı azaltmakla kalmaz, aynı zamanda test uzamının bilgisine olan ihtiyacı da azaltmaktadır [5].

Bir web uygulama zafiyet tarayıcısının en önemli bileşenlerinden biri ise, crawler olarak adlandırılan kapsam belirleme modülüdür [6]. İyi bir kapsam belirleme aracı, kullanıcılarına farklı seviyelerde tarama imkânı sunmalı, gerçekleştirdiği taramalarda da eksiksiz sonuçlar üretebilmelidir. Bir zafiyet tarayıcısının güvenlik açıklarını tespit etmedeki

yeteneği, doğrudan kapsam belirleme performansına bağlıdır. Test edilen web uygulamasındaki bir sayfa, form ya da girdi alanı tespit edilemez ise, test edilemez ve olası zafiyetler ortaya çıkarılamaz [7].

Bu çalışmada; bir doktora tezi [2] kapsamında geliştirilmiş, dinamik analiz ve yapay zekâ tabanlı web zafiyet tarayıcısı 'Sansar' 'ın kapsam belirleme modülü işlenmiş, literatürde yer alan diğer zafiyet tarayıcıların sahip olduğu modüller ve sadece bu amaca özel geliştirilmiş araçlar ile karşılaştırılmış, üstün yanları ifade edilmiştir.

Literatürde işlenen konu ile ilgili gerçekleştirilmiş çalışmalar incelendiğinde, mevcut kapsam belirleme modüllerinin incelenmesi ve performanslarının karşılaştırılması üzerine yoğunlaşıldığı görülmüştür. Mantra ve Alaydrus [8] gerçekleştirdikleri çalışmalarda Endonezya da yer alan üniversitelere ait web uygulamaları üzerinde sızma testi gerçekleştirmişler, test esnasında kapsam belirleme için sayfa kaynak kodu üzerindeki URL adreslerini toplayan bir araç kullanmışlardır. Esposito vd [9] çalışmalarında, kapsam belirleme modüllerinin zafiyet tarayıcıların performansını belirlemedeki etkisine değinmişlerdir. Gerçekleştirilen çalışmada kapsam belirleme işlemi için kullanılan ilk yöntem ziyaret edilen sayfanın HTML kodundan URL adreslerinin çıkarılmasıdır. Diğer yöntem ise test edilen web uygulamasının kaynak kodu içerisinde URL adreslerinin aranmasıdır. Akrouit vd. [10] çalışmalarında web uygulama sızma testi için bir yaklaşım sunmuşlardır. Söz konusu çalışmada kapsam belirleme işlemi; ziyaret edilen web sayfasının HTML kaynak kodları içerisinde URL adreslerinin tespit edilmesi ve bu işlemin her sayfa için tekrar edilmesi ile gerçekleştirilmiştir. Hillary [11] çalışmasında SQL enjeksiyonu zafiyetinin tespiti için bir tarayıcı geliştirmiştir. Söz konusu çalışmada kapsam belirleme işlemi test edilen URL adresinin parçalanması ve varsa alt domain adreslerinin kontrol edilmesi ile gerçekleştirilmiştir. Mukhopadhyay vd. [12] Nessus ve Metasploit Framework araçlarını kullanarak bir sızma testi metodolojisi geliştirmişlerdir. Söz konusu çalışmada kapsam belirleme işlemi için Wapiti zafiyet tarayıcısının kapsam belirleme modülü de kullanılmıştır. Dessiatnikoff vd. [13] web uygulamaları üzerindeki SQL enjeksiyonu zafiyetinin tespiti için kendi kapsam belirleme modülüne sahip bir zafiyet tarayıcı geliştirmişlerdir. Idrissi vd. [6] çalışmalarında 11 farklı web uygulama zafiyet tarayıcısının zafiyet tespiti performansını karşılaştırmışlardır. Yazarlar ilgili çalışmalarında kapsam belirleme modülünün zafiyet tarayıcı performansına doğrudan etkide bulunduğu değinmişlerdir. Munoz ve Villalba [14], web uygulama zafiyet tarayıcıları ile ilgili gerçekleştirilmiş çeşitli çalışmaları incelemiş ve bazı önerilerde bulunmuşlardır. Çalışmada incelenen zafiyet tarayıcıların kapsam belirleme modülleri, sayfadan

link toplayan, kullanıcı hareketlerini izleyerek daha sonra uygulayan, girdi alanlarına yazılacak değerleri daha önceden talep eden şekilde gruplandırılmıştır.

Literatürde web uygulamalarında kapsam genişletme amacı ile yaygın olarak kullanılan çeşitli araçlar da bulunmaktadır. Bunlardan ilki Rapid7 firması tarafından geliştirilen Metasploit Framework' tür [15]. Söz konusu araç kapsam belirleme amacı ile geliştirilmiş 'msfcrawler' isminde bir modüle sahiptir. Kapsam genişletme işlemlerinde kullanılan bir diğer araç HTTrack'tir. Söz konusu araç, URL adresi toplamak için, web uygulaması içerisinde yer alan HTML sayfaları, resimler ve diğer tüm dosyaları yerel dizine indirerek kopyalamaktadır [16]. Web uygulama sızma testlerinde kapsam genişletme işlemlerinde kullanılan bir diğer yaygın araç BlackWidow' dur [17]. Python tabanlı araç, hedef web sitesine ait alt domain, eposta adresleri ve telefon numaraları gibi bilgileri toplamak için kullanılmaktadır. Bunun yanında web uygulama sızma testlerinde yaygın olarak kullanılmakta olan Skipfish [18], Wapiti [19] ve WASCAN [20] araçları da kendi bünyelerinde kapsam genişletme modülleri barındırmaktadırlar.

Literatürde kapsam belirleme amacı ile geliştirilen araçlar; klasik yöntem olan, başlangıç URL adresinin kaynak kodlarından elde edilen diğer URL adreslerini ziyaret etme, ziyaret edilen her bir adresin kaynak kodlarında yeni adresler arama yöntemini kullanılmaktadır. Nispeten daha gelişmiş olan Wapiti gibi zafiyet tarayıcılar ise ziyaret edilen sayfa üzerindeki formları da doldurarak bir sonraki aşamaya geçmeye çalışmaktadırlar. Bu çalışmada sunulan yöntem ve geliştirilen araç, kullanıcılara 3 farklı türde kapsam belirleme imkanı sağlamaktadır. Kullanıcılar tercihlerine göre sadece alt domain adresi belirleme, kaba kuvvet yöntemi ile gizli URL adreslerini tespit etme, sayfa kaynak kodları ve formlar üzerinden web uygulamasını indeksleme işlemlerini gerçekleştirebilmektedir. 3 metodun aynı anda kullanılmasına imkan veren araç sayesinde, literatüre sızma testlerinin kapsam belirleme adımında kullanılacak yeni bir metodoloji kazandırılmıştır.

Bu çalışmanın ikinci bölümünde, çalışmanın temel motivasyonunu oluşturan Web Uygulama Sızma Testleri konusuna değinilmiş, 3. Bölümde web uygulama zafiyet tarayıcılar incelenmiştir. 4. bölümde, geliştirilen kapsam belirleme aracı yapısal olarak işlenmiş, sahip olduğu fonksiyonlar ve kaynak kodlarına yer verilmiştir. Çalışmanın 5. Bölümünde geliştirilen araç kullanılarak gerçekleştirilen kapsam belirleme işlemleri örneklenmiş ve literatürdeki diğer araçlar ile karşılaştırması yapılmıştır. Çalışma, gerçekleştirilen işlemlerin ve elde edilen sonuçların yorumlanması ile tamamlanmıştır.

2. Web Uygulama Sızma Testleri

Sızma testleri; alanında tecrübeli siber güvenlik uzmanları tarafından, kötü niyetli siber saldırganların hedef aldıkları sistemlere verebileceği muhtemel zararları önceden tespit etmek, raporlamak ve gerekli önlemleri almak amacı ile gerçekleştirilen siber saldırılardır [21]. Sızma testlerinde amaç; test edilen sistemler üzerindeki tüm güvenlik zafiyetlerini tespit ederek, ileride gerçekleşmesi muhtemel gerçek bir saldırı öncesinde aksiyon almak ve söz konusu zafiyetleri kapatmaktır [22].

Web uygulamaları; kurumsal kimliğin en önemli göstergelerinden biridir. Bu nedenle; kurumsal bilgi güvenliğini sağlamak amacıyla gerçekleştirilecek sızma testlerinde, test edilmesi gereken ilk kısım; kurum web uygulamasıdır. Web uygulamaları üzerinde gerçekleştirilen sızma testleri; test kapsamına ve test öncesinde uzmana sağlanan bilgilere bağlı olarak üçe ayrılmaktadır. Bunlar; Siyah kutu sızma testleri, beyaz kutu sızma testleri ve gri kutu sızma testleridir [23].

Web uygulamalarına yönelik gerçekleştirilen siyah kutu sızma testlerinde, test uzmanına başlangıç verisi olarak sadece bir URL adresi verilmekte, söz konusu adresten yola çıkarak test işlemlerini gerçekleştirmesi istenmektedir. Siyah kutu test türünde test uzmanı yapacağı ilk işlem, kendisine verilen URL adresinden yola çıkarak, anlaşma kapsamında yer alan ve test edilmesi gereken tüm URL adreslerini toplamak, daha sonra test adımlarını gerçekleştirmektedir. Siyah kutu sızma testlerinde web uygulamaları, yayın esnasında iken dinamik olarak test edilmektedir. Siyah kutu sızma testlerine örnek olarak; sdu.edu.tr adresi ve alt domain adreslerinin test edilmesi istendiği varsayılın. Bu durumda güvenlik uzmanının kendisine sağlanan tek veriden yola çıkarak tüm alt domain adreslerini bulması gerekmektedir. Test uzmanı alt domain adreslerinin tamamını tespit ettikten sonra zafiyetlere yönelik saldırı denemelerini gerçekleştirecektir.

Web uygulamaları üzerinde gerçekleştirilen beyaz kutu sızma testlerinde ise; kurum tarafından test uzmanına, test edilecek web uygulaması kaynak kodu ile beraber verilmektedir. Bu sayede test uzmanı kaynak kodlar üzerinde yapacağı statik analiz işlemleri ile zafiyete neden olan mantıksal hataları tespit edebilmektedir.

Web uygulama sızma testi türlerinden sonuncusu; gri kutu sızma testleridir. Gri kutu sızma testlerinde; gerçekleştirilecek test senaryoları web uygulamasının iç yapısı baz alınarak belirlendikten sonra, dinamik analiz yöntemi ile gerçekleştirilmektedir. Bu sayede web uygulaması dinamik olarak çalışma anında test edilmesinin yanı

sıra, statik analiz yöntemi sayesinde sahip olduğu iç yapısı da sınanmış olmaktadır [24].

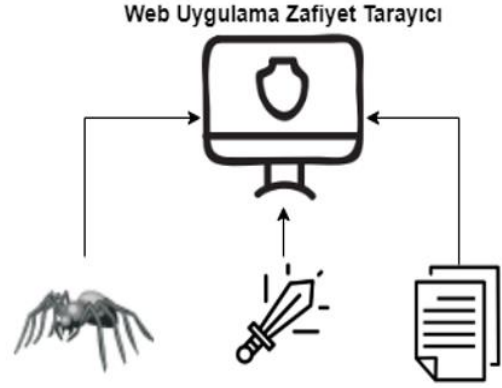
Sızma testi türleri incelendiğinde; özellikle siyah kutu sızma testlerinde, kapsam belirleme amacı ile kullanılacak araçlar büyük önem arz etmektedir. Çünkü söz konusu araçlar sayesinde güvenlik uzmanları bir URL adresinden yola çıkarak tüm web sayfasını gezebilmekte, test edilmesi gereken tüm girdi alanlarını belirleyebilmektedirler. Test kapsamının eksik belirlenmesi demek; test edilmesi gereken URL adresi ve girdi alanlarının pas geçilmesi anlamına gelmektedir. Böyle bir durumda, eğer test edilmeyen URL adreslerinde ve girdi alanlarında bir zafiyet varsa, gerçekleştirilen web uygulama sızma testinin hiçbir anlamı kalmayacaktır. Bu durum tam kapsamlı kurumsal bilgi güvenliğini sağlamanın önünde büyük bir engel teşkil etmektedir. Söz konusu olumsuz durumlar ile karşılaşmamak için, kullanılan kapsam belirleme aracı farklı yöntem ve kaynaklar kullanarak bir web uygulamasını tamamen gezebilmeli, uygulama üzerinde yer alan tüm adreslere erişebilmelidir.

3. Web Uygulama Zafiyet Tarayıcılar

Günümüzde web uygulamalarında güvenliği sağlamanın önemine önceki başlıklarda detaylı olarak değinilmiştir. Web uygulama güvenliği kavramının bu denli önem kazanması; web uygulamaları üzerinde dinamik analiz metodu ile sızma testlerini gerçekleştirecek uzmanlara olan ihtiyacı da arttırmıştır. Güvenlik uzmanları, test edilecek web adreslerinin belirlendikten sonra, ilgili sayfalara saldırılar gerçekleştirerek, web uygulaması üzerindeki güvenlik açıklarını tespit etmektedirler. Fakat büyük ölçekli bir kuruma ait bir web uygulamasının birçok alt domain ve URL adreslerine sahip olduğu, söz konusu web sayfaları içerisinde değişken miktarda kullanıcı girdi alanı bulunduğu bir gerçektir. Bu durum göz önüne alındığında, manuel olarak yürütülen test işleminin çok fazla zaman alacağı, istenilen süre içerisinde tamamlanamayacağı bir gerçektir. Ayrıca manuel olarak gerçekleştirilen testlerde; bazı form ve inputların gözden kaçması, bu nedenle testlerinin unutulması, test edilecek zafiyet listesinin kısa olması gibi dezavantajlar ortaya çıkmaktadır. Bu gibi nedenlerden dolayı, dinamik analiz tabanlı web uygulama zafiyet tarayıcılar, web uygulamalarında yer alan güvenlik açıklarını tespit etmek için popüler bir seçim haline gelmiştir [25].

Web uygulama zafiyet tarayıcıları, parametre olarak aldıkları URL adresi üzerinde, çeşitli zafiyetler için geliştirilmiş test metodlarını kullanarak güvenlik testleri gerçekleştirmektedir. Güvenli uzmanları tarafından manuel olarak testleri hızlı bir şekilde ve otomatik olarak gerçekleştirilen bu tarayıcılar, test sonrasında tespit ettiği zafiyetleri de kullanıcılarına raporlamaktadırlar. Sahip oldukları kullanım kolaylığı sayesinde, web sızma testinde uzman

olmayan kişiler dahi, web sayfalarını söz konusu araçlar ile tarayabilmekte, elde ettiği raporlara göre gerekli önlemleri alabilmektedirler. Web uygulama zafiyet tarayıcıları temel olarak, kapsam belirleme modülü, saldırı (test) modülü ve raporlama modülü olmak üzere 3 ana modülden oluşmaktadır [26]. Şekil 1’ de standart bir web uygulama zafiyet tarayıcı ve sahip olduğu modüller gösterilmektedir.



Kapsam Modülü Saldırı Modülü Raporlama Modülü
Şekil 1. Web uygulama zafiyet tarayıcı modülleri

Web uygulama zafiyet tarayıcılarının sahip olduğu modüllerden ilki olan kapsam belirleme modülü; daha önceki başlıklarda da bahsedildiği üzere, çeşitli kaynak ve yöntemler kullanarak web uygulamasını gezmektedir. Söz konusu modül, gezmiş olduğu her bir URL adresini kaydederek, test edilecek adreslerin listesini oluşturmaktadırlar. Tam kapsamlı bir kapsam belirleme modülü ilk olarak ziyaret ettiği web sayfasının kaynak kodlarını içerisinde farklı HTML taglarına atanmış URL adreslerini toplamalıdır. Söz konusu URL adresleri web uygulamalarında sayfa yönlendirmesi amacıyla paylaşılan linklerdir. Her bir sayfadan toplanan adreslerin daha sonra tek tek ziyaret edilmesi ile web uygulaması büyük ölçüde indekslenecektir. Bu yöntem, mevcut birçok kapsam belirleme aracının web uygulamalarını gezmede kullandığı klasik bir yöntemdir. Söz konusu yöntem web uygulaması içinde gezilmesine olanak sağlasa dahi bir web uygulamasının tam kapsamlı haritasının çıkarılması ve tüm URL adreslerinin elde edilmesi için yeterli değildir. Kullanıcıdan alınan girdilere göre sayfa yönlendirmesi yapan dinamik web uygulamalarının tam kapsamlı gezilebilmesi için, ziyaret edilen web sayfası üzerindeki girdi alanlarının da araç tarafından doldurularak gönderilmesi gerekmektedir. Bu sayede sayfa içerisinde link verilmemiş, sadece doldurulan form aracılığı ile erişilebilen URL adreslerine de ulaşılabilecektir.

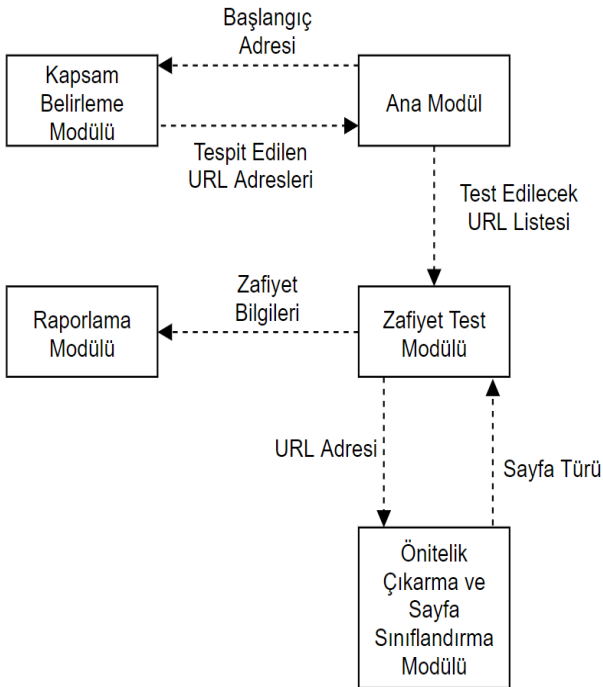
Web uygulama zafiyet tarayıcılarının sahip olduğu diğer modüller ise; saldırı ve raporlama modülleridir. Saldırı modülü, isminden de anlaşılacağı üzere, crawler modülü tarafından kendisine gönderilen URL listesindeki adresler üzerinde zafiyet testleri gerçekleştirmektedir. İlgili modül, listede yer alan her bir URL adresine, GET ve POST metodları üzerinden

çeşitli zafiyetleri tetikleyecek zararlı payloadlar göndermektedir. Saldırı modülü tarafından tespit edilen zafiyetlerin kullanıcıya bildirilmesi için geliştirilen modül ise raporlama modülüdür. Aracın geliştirilmesine bağlı olarak, tespit edilen zafiyetler, zafiyetlere neden olan payloadlar, zafiyetin kapatılması için gerekli öneriler kullanıcıya çeşitli dosya formatlarında bildirilmektedir.

Bir web zafiyet tarayıcının sahip olduğu modüller incelendiğinde kapsam belirleme modülünün tam kapsamlı çalışması ve doğru sonuçlar üretmesi, gerçekleştirilecek testin güvenilirliği açısından büyük önem taşımaktadır. Çünkü ziyaret edilmemiş bir adreste ya da tespit edilemeyen bir sayfada yer alan bir zafiyet, web uygulamasının saldırganlar tarafından istismar edilmesine neden olacaktır.

4. Web Zafiyet Tarayıcısı- Kapsam Belirleme Modülünün Geliştirilmesi

Bu çalışmada; Sansar isimli, dinamik analiz ve yapay zeka tabanlı bir zafiyet tarayıcının kapsam belirleme modülü işlenmektedir. Söz konusu zafiyet tarayıcının sahip olduğu modüller ve işleyişi Şekil 2' de gösterilmektedir.



Şekil 2. Sansar web uygulama zafiyet tarayıcı modülleri

```

parser = argparse.ArgumentParser()
parser.add_argument('-u', '--url', dest='url', required=True, action='store', help="T
parser.add_argument('-sd', '--subdomain', dest='subdomain', required=False, action='st
parser.add_argument('-c', '--crawl', dest='crawl', required=False, action='store_true'
parser.add_argument('-m', '--method', dest='method', required=False, action='store', he
parser.add_argument('-a', '--attack', dest='attack', required=False, action='store_tru
parser.add_argument('--threading', dest='threading', required=False, action='store_tru
parser.add_argument('-fs', '--fullscan', dest='fullscan', required=False, action='stor
parser.add_argument('--username', dest='username', required=False, action='store',help
parser.add_argument('--password', dest='password', required=False, action='store',help
parser.add_argument('--exception', dest='exception', required=False, action='store',he
parser.add_argument('-b', '--brute', dest='attack', required=False, action='store_true
  
```

Şekil 3. Web zafiyet tarayıcı kullanım argümanları

Geliştirilen web uygulama zafiyet tarayıcı; komut ekranı üzerinden çalışmaktadır. Web uygulama zafiyet tarayıcıya birçok farklı modül ve özelliğin eklenmiş olması, beraberinde farklı amaç ve modlarda çalışma imkânı da sunmaktadır. Şekil 3' de, geliştirilen web uygulama zafiyet tarayıcı içerisinde tanımlanmış argüman listesi gösterilmektedir.

Bu makale çalışması kapsamında işlenen crawler modülü, Şekil 3' de gösterilen argümanlardan -u, -sd, -b, -c, -fs, --username ve --password argümanlarını kullanmaktadır

Şekil 3' de gösterilen argümanlar incelendiğinde, -u ya da -url argümanı ile kapsam belirleme işleminin başlanacağı URL adresi girilmektedir. -c ya da -crawl argümanı, kullanıcı tarafından girilen URL adresinden yola çıkarak tüm sitenin indekslenmesi (crawl edilmesi) için kullanılmaktadır. -sd ya da -subdomain argümanı, verilen URL adresine ait alt domain adreslerinin arama motorları üzerinden toplanması için kullanılmaktadır. -b ya da -brute argümanı, kullanıcı tarafından verilen web uygulaması içerisinde adreslenmemiş, gizli web sayfalarının kaba kuvvet (brute force) tekniği aracılığı ile toplanması için kullanılmaktadır. -username ve -password argümanları ise kullanıcı girişi gereken web uygulamalarının taranması esnasında, başarılı kullanıcı girişi yaparak, login arkasında kalan sayfaların da gezilebilmesi için kullanılmaktadır. -fs ya da -fullscan argümanı ise -c, -sd, -b argümanlarının aynı anda kullanıldığı durumlar için tanımlanmıştır. Geliştirilen uygulama -fs argümanı ile çalıştırıldığında, ilk olarak başlangıç URL adresinden yola çıkarak subdomain adreslerini bulacak, daha sonra kaba kuvvet yöntemi ile gizlenen URL varsa tespit edecek, sonra olarak örümcek modülü ile eldeki URL adreslerini kullanarak tüm web uygulamasını gezecektir. Geliştirilen araç, web uygulama sızma testi kapsamının belirlenmesinde bu üç tekniğin aynı anda kullanıldığı ilk çalışma özelliği taşımaktadır. Şekil 3' de gösterilen argümanlardan -exception argümanı ise zafiyet taraması esnasında, kapsam dışında tutulmak istenen URL adreslerini belirtmek için kullanılmaktadır.

Geliştirilen aracın kullanımının daha iyi anlaşılabilmesi için, <http://teztest.com> adresinden yola çıkarak gerçekleştirilebilecek farklı türde kapsam belirleme örnekleri aşağıda verilmiştir.

- python sansar.py -u http:// teztest.com -c
- python sansar.py -u http:// teztest.com -sd -b
- python sansar.py -u http:// teztest.com -c -username mali -password 123456

Yukarıdaki örnekler incelendiğinde ilk örnekte web zafiyet tarayıcıya -u argümanı ile verilen URL adresinden yola çıkarak tüm siteyi sayfa kaynağından elde ettiği URL adreslerini ve sayfalarda bulunan form girdi alanlarını kullanarak dolaşması söylenmiştir. İkinci kullanım örneğinde, yine aynı URL adresinden yola çıkarak öncelikle alt domain adreslerini belirlemesi, daha sonra da belirlenen adresler üzerinde gizlenmiş URL tespiti için kaba kuvvet saldırısı yapılması söylenmiştir. Üçüncü kullanım örneğinde ise, ikinci kullanım örneğine ek olarak ziyaret ettiği sayfalarda karşılaştığı girdi alanlarına kendisine verilen kullanıcı adı ve parola bilgilerini girmesi söylenmiştir. Böylelikle geliştirilen araç sayfaları dolaşırken bir login sayfası ile karşılaştığında, söz konusu kullanıcı adı ve parola bilgilerini kullanarak oturum açabilecek, kullanıcı giriş sayfası arkasında yer alan gizli sayfaları gezebilecektir.

Geliştirilen web uygulama zafiyet tarayıcı- kapsam belirleme aracının sahip olduğu alt modüller; alt domain bulma modülü, kaba kuvvet modülü ve örümcek modülüdür.

4.1. Alt Domain Bulma Modülü

Günümüzde web uygulamaları üzerinde gerçekleştirilen sızma testlerinde sadece ana domain ve alt domain adreslerinin test edilmesi yaygın bir örnektir. Web uygulamalarının sadece önemli sayfalarının test edilmesi taraftarı olan kullanıcılar, alt domain adreslerinin test kapsamına alınmasını istemektedir. Günümüzde güvenlik uzmanları tarafından alt domain bulma işleminde izlenen çeşitli yöntemler ve kullanılan çeşitli araçlar bulunmaktadır.

Güvenlik uzmanları tarafından alt domain adreslerinin tespit edilmesinde kullanılan en yaygın yöntem arama motorlarıdır. Google, Baidu, Yahoo, Ask, Bing gibi arama motorları, daha spesifik arama operatörlerini desteklemektedirler. Google için bu operatörlere Google Dorks adı verilmiştir [27]. Bir alan adı için tanımlanmış tüm alt domain adresleri bulmak amacıyla gerçekleştirilecek Google aramasında "site" operatörü kullanılmalıdır.

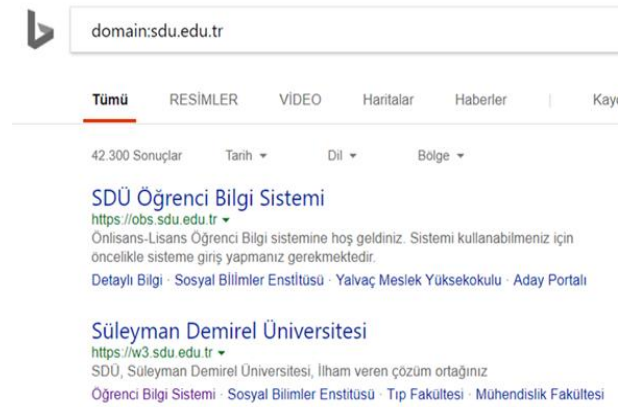
Örnek olarak sdu.edu.tr uzantılı alt domain adreslerinin listelenmesi için gerçekleştirilen Google araması Şekil 4' de şekilde gösterilmektedir.

Bing arama motoru da gelişmiş çeşitli arama operatörlerini desteklemektedir. Geliştirilen kapsam belirleme aracında, bir domain adresine ait alt

domainlerin elde edilebilmesi için Bing arama motorunun "domain" operatörü kullanılmıştır. Bing arama motoru içerisinde "domain:sdu.edu.tr" şeklinde arama yapıldığında sdu.edu.tr alt domain adreslerini listelediği görülmüştür. Gerçekleştirilen arama işlemine ait ekran görüntüsü aşağıdaki şekil 5' de gösterilmiştir.



Şekil 4. Google üzerinden site operatörü ile alt domain bulma işlemi



Şekil 5. Bing üzerinden domain operatörü ile alt domain bulma işlemi

Bing üzerinden alt domain bulma işleminde, geliştirilen araç tarafından ziyaret edilecek URL adresi dinamik olarak oluşturulmakta ve sürekli olarak değiştirilmektedir.

- https://www.bing.com/search?q=domain%3Asdu.edu.tr&first=10

Yukarıdaki URL adresi incelendiğinde search?q=domain%3A ifadesinden sonra alt domain adresleri aranacak domain adresi yer almaktadır. &first= ifadesinden sonra ise arama sonunda dönen yanıt sayfasında, hangi kayıtların gösterileceği bilgisi yer almaktadır. Geliştirilen alt domain bulma modülü, ilgili URL kalıbı içerisine taranacak domain adresini ekleyerek istek yollamakta, isteğe karşılık dönen yanıt içerisinde alt domain adreslerini toplamakta, daha sonra kayıtlar 10' ar tane listelenecek şekilde, yeni kayıt bulunamaya kadar güncellenmektedir. Geliştirilen alt domain bulma modülünün çalışma altyapısı Tablo 1' de gösterilmektedir.

Tablo 1. Alt domain bulma modülü çalışma adımları

No	Alt Domain Toplama İşlemi Adımları
1	Alt domainleri toplanacak domain adının alınması
2	Domain adının Bing arama string kalıbı içerisine yerleştirilmesi
3	Oluşturulan dinamik URL adresine istek yapılması ve dönen sayfa kaynağının alınması
4	Sayfa kaynağı içerisindeki alt domain adreslerinin Pyton BeautifulSoup kütüphanesi yardımı ile ayıklanarak kaydedilmesi
5	Oluşturulan dinamik URL adresinin sonraki 10 kaydı gösterecek şekilde güncellenmesi ve tekrar istek atılması
6	İstek atılan yeni URL adresinden dönen sayfa kaynağının alınması ve 4. Adımın tekrar edilmesi
7	5 adımın gösterilecek kaynak kalmayana kadar tekrar edilmesi

Geliştirilen modül kullanılarak gerçekleştirilen tarama ile alt domain adreslerinin elde edilmesinden sonra söz konusu adresler, geliştirilen modelin bulunduğu klasör içerisinde oluşturulmuş olan subDomain_Listesi.txt dosyasına kaydedilmektedir. Şekil 6' da geliştirilmiş olan aracın çalıştırılması ve sdu.edu.tr domainine ait alt domainlerin elde edilmesi işlemi gösterilmektedir.

```

http://www.bing.com/search?q=domain%3asdu.edu.tr&first=1
https://obs.sdu.edu.tr
https://w3.sdu.edu.tr
http://sosyalbilimler.sdu.edu.tr
https://ebys.sdu.edu.tr
http://hastane.sdu.edu.tr
http://fenbilimleri.sdu.edu.tr
http://sgdb.sdu.edu.tr
http://oidb.sdu.edu.tr
https://zigana.sdu.edu.tr
https://bapbs.sdu.edu.tr

http://www.bing.com/search?q=domain%3asdu.edu.tr&first=12
http://yapiisleri.sdu.edu.tr
http://ilahiyat.sdu.edu.tr
https://yosbasvuru.sdu.edu.tr
http://tbmyo.sdu.edu.tr
http://yalvacmyo.sdu.edu.tr

```

Şekil 6. Geliştirilmiş alt domain bulma modülünün çalıştırılması

4.2. Kaba Kuvvet (Brute Force) Modülü

Günümüzde web uygulama geliştiriciler, ziyaretçiler tarafından görülmesini istemedikleri admin paneli ya da robots.txt dosya sayfası gibi sayfalara güvenlik kaygısı ile site içerisinde link vermemektedirler. Uygulama geliştiriciler tarafından gizlenen bu sayfalar saldırganlar için büyük önem ifade etmektedir. Çünkü gizlenmiş admin paneline yapılacak izinsiz bir giriş, tüm site yönetiminin siber saldırganların eline geçmesi anlamına gelmektedir. Oluşabilecek zararın boyutları düşünüldüğünde, söz konusu gizli sayfaların tespit edilebilirliğinin ve güvenliğinin test edilmesi büyük önem taşımaktadır.

Gerçekleştirilen çalışma kapsamında geliştirilen kapsam belirleme modülü içerisine, web uygulamasında link verilmemiş gizli sayfaları brute force tekniği ile tespit eden bir modül eklenmiştir. Geliştirilen modül içerisinde yer alan, brute force tekniğinde kaynak olarak kullanılan kelime listesine (wordlist) ait ekran görüntüsü Şekil 7' de gösterilmektedir.



```

bruteForceCrawler.py x commons.txt x
22 Admin
23 Administration
24 crm
25 CVS
26 CYBERDOCS
27 CYBERDOCS25
28 CYBERDOCS31
29 INSTALL_admin
30 Log
31 Logs
32 Pages
33 Servlet
34 Servlets
35 SiteServer
36 Sources
37 Statistics
38 Stats
39 W3SVC
40 W3SVC1
41 W3SVC2
42 W3SVC3
43 WEB-INF
44 _admin
45 _pages
46 a
47 aa
48 aaa
49 abc
50 about
51 academic
52 access
53 accessgranted
54 account
55 accounting
56 action
57 actions
58 active

```

Şekil 7. Kaba kuvvet yöntemi ile gizli URL adreslerinin tespit edilmesinde kullanılan kelime listesi

Geliştirilen modülde kaba kuvvet yöntemi ile test edilecek domain ve alt domain adreslerinin sonuna /SANSAR ifadesi eklenmektedir. Daha sonra Şekil 7' de gösterilmekte olan liste içerisinde yer alan uzantılar, SANSAR terimi ile yer değiştirmektedir. Örneğin test edilen alt domain adresi; tezttest.com/SANSAR ise ve listede test edilecek sıradaki kelime 'admin' ise test edilecek URL adresi; tezttest.com/admin olmaktadır. Şekil 8' de söz konusu işlemin gerçekleştirildiği sınıfa ait kurucu metod gösterilmektedir.

```

class bruteForceModule(Thread):
    def __init__(self, word, url):
        Thread.__init__(self)
        try:
            self.word = word.split("\n")[0]
            self.urly = url.replace('SANSAR', self.word)
            self.url = self.urly
        except Exception as e:
            print(e)

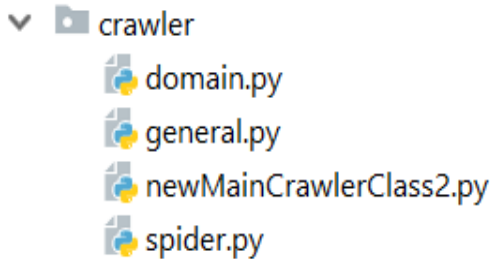
```

Şekil 8. bruteForceModule sınıfı kurucu metodu

Kaba kuvvet yöntemi ile test edilecek URL kalıplarının oluşturulmasından sonra, söz konusu kalıpların geçerli birer adres olup olmadığı test edilmektedir. Bu işlem için Python requests kütüphanesi kullanılmıştır. Gerçekleştirilen işlemde oluşturulan URL kalıplarına GET metodu kullanılarak bağlantı isteğinde bulunulmuştur. Daha sonra, gerçekleştirilen bağlantı isteğinin durum kodu (status code) kontrol edilmiştir. Ziyaret edilen URL adreslerinin geçerli olması durumunda, 200 durum kodu elde edilmelidir. Böylelikle hangi URL adresinin geçerli olup hangisinin geçerli olmadığı tespit edilmektedir.

4.3. Örümcek (Crawler) Modülü

Bir web uygulamasına yönelik olarak sızma testi gerçekleştirileceği zaman ana domain ve alt domainlerin listesi kimi durumlarda test uzmanı için yeterli olmamaktadır. Ana domain ve alt domainler içerisinde bulunmayan bir zafiyet, söz konusu domainler içerisinde yer alan alt URL adreslerinde görülebilmektedir. Kapsam belirleme aracı içerisine eklenen örümcek modülü; kendisine parametre olarak gönderilen URL adresinden başlayarak tüm web sayfasını baştan aşağıya gezmekte, gezdiği URL adreslerini kaydetmektedir. Böylelikle test edilecek web uygulamasının tüm haritası elde edilmektedir. Şekil 9' da crawler modülüne ait sınıflar gösterilmektedir.



Şekil 9. Örümcek modülü sınıfları

Örümcek modülü içerisinde yer alan temel sınıf, newMainCrawlerClass.py sınıfıdır. Bu sınıf; diğer sınıfların çağırılması, toplanan URL adreslerinin text dosyasına kaydedilmesi işlemleri için kullanılmaktadır. Şekil 10' da söz konusu sınıfa ait kurucu metod gösterilmektedir.

```

def __init__(self, url, username, password, contentOfLoginPage, session, exception):
    self.isFinished=False
    self.PROJECT_NAME = 'scanReport'
    self.HOME PAGE = url
    self.DOMAIN_NAME = get_domain_name(url)
    self.QUEUE_FILE = self.PROJECT_NAME + '/kuyruk.txt'
    self.CRAWLED_FILE = self.PROJECT_NAME + '/bulunan_linkler.txt'
    self.queue = Queue()
    self.general_headers = {'User-Agent': 'Mozilla/5.0 (Windows; U; Windows N;
        'Accept-Language': 'en-US;',
        'Accept-Encoding': 'gzip, deflate',
        'Accept': 'text/html,application/xhtml+xml,application/xml;',
        'Connection': 'close'}
    # self.loginUrl = "http://testphp.vulnweb.com/login.php"
    self.session = session
    self.listOfLines=set()
    self.username=username
    self.password=password
    self.finalListOfURLs=set()
    self.contentOfLoginPage= contentOfLoginPage
    self.exception=exception

```

Şekil 10. Örümcek modülü ana sınıfı kurucu metodu

Web uygulamasının crawler modülü tarafından nasıl gezildiğine değinmeden önce parametre olarak aldığı oturum (session) nesnesine değinmek gerekmektedir. Bu çalışma kapsamında geliştirilen web uygulama zafiyet tarayıcı, web sayfalarını gezerken ve kaydedilmiş URL adresleri üzerinde zafiyet testi yaparken aynı oturum nesnesini kullanmaktadır. Bunun sebebi, web uygulaması üzerinde söz konusu oturum nesnesi ile bir kez oturum açıldığında, gerçekleştirilecek tüm bağlantıları o oturum üzerinden gerçekleştirmektir.

Günümüzde kullanılan web uygulama tarayıcılar kullanıcı girişi gereken ve giriş sonrası görüntülenebilecek sayfaların gezilmesi ve test edilmesi için kullanıcılardan ilk olarak bir cookie bilgisi istemektedir. Kendilerine verilen cookie ile oturum elde eden araçlar, kapsam belirleme ve test işlemlerini bu oturum üzerinden gerçekleştirmektedir. Fakat bu yöntemin çeşitli dezavantajları bulunmaktadır. Kullanıcılar bir web sayfası üzerinde zafiyet testi yapabilmesi için ilk olarak o sayfayı kendi tarayıcılarından açmalı, kullanıcı girişi yapmalı ve elde ettikleri cookie değerini bir şekilde alarak programa vermelidir. Bu süreç hem uzun hem de acemi kullanıcılar için zor ve hata yapmaya çok müsaittir.

Bu çalışma kapsamında geliştirilen kapsam belirleme aracına, kullanıcı girişinin gerektiği web uygulamalarını test ederken geçerli bir kullanıcı adı ve parola vermek yeterlidir. Geliştirilen araç web uygulamasını gezme esnasında kullanıcı girişi formu ile karşılaştığında, kendisine parametre olarak gönderilen kullanıcı adı ve parola bilgilerini forma girerek başarılı bir şekilde giriş yapmaktadır. Karşılaşılan login sayfası üzerinde kullanıcı girişinin yapılması işleminde Python bünyesindeki Selenium kütüphanesi kullanılmaktadır. Gerçekleştirilen tüm bağlantı işlemleri aynı oturum nesnesi üzerinden gerçekleştirildiği için, bir kez giriş yapıldıktan sonra aynı oturum ile tüm sayfalar başarılı bir şekilde ziyaret edilebilmektedir.

Geliştirilen crawler modülünün bir diğer avantajı, daha önce de bahsedildiği üzere, sayfa üzerinde karşılaştığı formları varsayılan değerler ile doldurmasıdır. Örneğin bir web sayfasında arama formunun tespit edildiği düşünülün. Sayfa üzerindeki linkleri toplayan fakat formlar üzerinde bir işlem yapmayan bir araç bu formu dikkate almadan işlemine devam edecektir. Fakat bu çalışma kapsamında geliştirilmiş kapsam belirleme aracı söz konusu form ile karşılaştığında, arama inputu içerisine bir değer girmekte ve formu submit etmekte yani göndermektedir. Söz konusu işleme ait adımlar sırası ile şu şekilde gerçekleşecektir; ziyaret edilen web sayfasına ait kaynak kodları elde edildikten sonra, kaynak kodlar içerisindeki <form tagları elde edilmektedir. Form taglarının elde edilmesinden sonra ilk olarak forma ait 'action' değeri bir değişkene atılmaktadır. Bu sayede POST isteği gönderilecek URL adresi elde edilmektedir. Daha sonra form içerisinde yer alan '<input' tagları elde edilmektedir. Böylelikle form bünyesinde yer alan inputlara ait 'name', 'type' gibi değerler kullanılabilir. Form içerisindeki inputlar tespit edildikten sonra, her bir inputa türüne göre tanımlanmış varsayılan değerler atanmaktadır. Söz konusu işlemi gerçekleştiren metoda 'FormScraper' ismi verilmiştir. FormScraper metodu tüm bu işlemlerden sonra crawler modülüne ziyaret etmesi için bir POST nesnesi döndürmektedir. Şekil 11' de formlar içerisinde tespit edilen inputlara, türlerine göre atanacak varsayılan değerler gösterilmektedir.

```
defaults = {
  "checkbox": "default",
  "color": "ffffff",
  "date": "2019-02-02",
  "datetime": "2019-03-19T19:03:34.32",
  "datetime-local": "2019-03-19T19:03",
  "email": "sansar%40mailinator.com",
  "mail": "sansar%40mailinator.com",
  "file": ["pix.gif", "GIF89a", "image/gif"],
  "hidden": "default",
  "month": "2019-03",
  "number": "1337",
  "password": "parolametni",
  "radio": "beton",
  "range": "37",
  "search": "aramametni",
  "submit": "submit",
  "tel": "0555555555",
  "text": "textmetni",
  "time": "19:03",
  "url": "https://akademik.ahievran.edu.tr/sit",
  "week": "2019-W03"
}
```

Şekil 11. Formlar içerisinde tespit edilen inputlara atanacak varsayılan değerler

Formscraper metodu tarafından geriye döndürülen POST kalıbı kullanılarak, mevcut session nesnesi aracılığı ile istek gönderilmektedir. Şekil 12' de geliştirilen formscraper aracının kullanımı sonrası üretilen POST metodları gösterilmektedir.

Şekil 12' de gösterilmekte olan web sayfası incelendiğinde; sayfa içerisinde arama işlemi için oluşturulmuş bir formun yer aldığı görülmektedir. FormScraper metoduna söz konusu URL adresi parametre olarak verildiğinde, çıktı olarak bir POST kalıbı döndürmüştür. Döndürülen POST kalıbı incelendiğinde, form içerisinde yer alan inputlara ait isimler ve inputların türlerine göre atanan varsayılan değerler görülmektedir.



Şekil 12. FormScraper metodu tarafından POST isteklerinin üretilmesi

Geliştirilen kapsam genişletme aracı içerisindeki oturma yönetimi ve otomatik form doldurma özelliklerine değindikten sonra bir web uygulamasının baştan aşağı nasıl gezildiğine değinmek gerekmektedir. Kapsam genişletme aracı içerisindeki ana sınıf, kendisine gönderilen URL, kullanıcı adı, parola gibi bilgileri, gezme modülü içerisindeki bir diğer sınıf olan spider.py sınıfına göndermektedir.

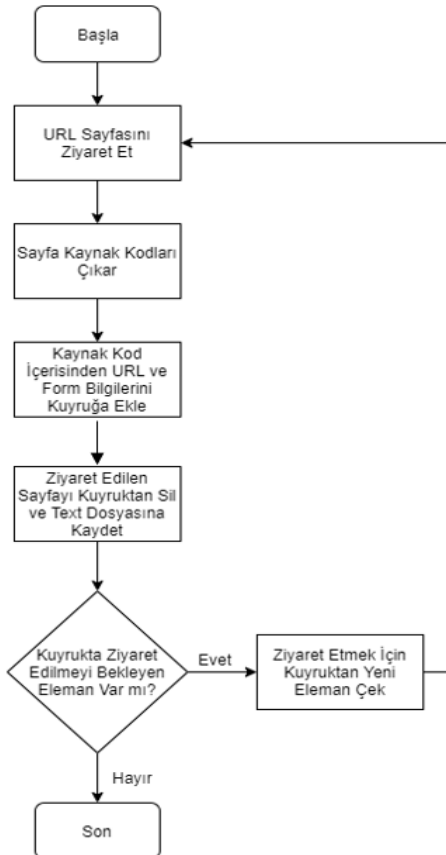
Spider.py sınıfı ilk olarak kendisine gönderilen başlangıç sayfasına bağlanmaktadır. Başlangıç sayfasına gerçekleştirilen bağlantı sonrası gerçekleştirilen ilk işlem, sayfa kaynağını almaktır. Ziyaret edilen sayfaya ait kaynak kodları bir BeautifulSoup nesnesine dönüştürülerek, içerisinde yer alan URL adreslerinin ve form bilgilerinin kazanmasını sağlayan "extractURLsFromSoup" isimli bir metoda gönderilmektedir.

extractURLsFromSoup methodu ilk olarak, kendisine gönderilen sayfa kaynağı içerisinde yer alan URL adreslerini toplamaktadır. Bu işlemde, sayfa kaynağında yer alan "script", "iframe", "a", "frame", "iframe", "button" ve "meta" HTML tagları çıkartılmaktadır. Bu adımdan sonra söz konusu taglar içerisinde yer alan; "src", "href", "action", "http-equiv" alanlarına atanan URL adresleri toplanmaktadır. Toplanan URL adresleri, gezilen sayfa domainine ait olup olmadığı kontrol edildikten sonra ziyaret edilecek URL adresleri listesine eklenmektedir. Bu işlemler sonrasında bir web

sayfası içerisinde verilmiş tüm URL adresleri başarı ile toplanmaktadır.

extractURLsFromSoup tarafından gerçekleştirilen ikinci işlem ise sayfa kaynağını daha önce bahsedilen FormScraper methoduna yollamaktır. FormScraper metodu tarafından, kaynak kodları içerisinde formlar çıkartılıp varsayılan değerler ile doldurulacak ve geriye POST istek kalıpları olarak döndürülecektir. Sayfa kaynağından kazdığı URL adreslerine, FormScraper metodundan gönderilen POST istek kalıplarını da ekleyen extractURLsFromSoup metodu, elindeki ziyaret edilecekler listesini geriye döndürmektedir.

Spider.py sınıfı, bünyesindeki extractURLsFromSoup metodundan geriye döndürülen, ziyaret edilecek URL ve istek atılacak POST kalıpları listesini kuyruğa eklendikten sonra, bu verilerin elde edildiği URL adresini bir text dosyasına kaydetmektedir. Bu sayede ziyaret edilip kaynak kodu parçalanmış bir adresin tekrar ziyaret edilmesi engellenmektedir. Bu işlemden sonra Spider.py sınıfı elindeki kuyruktan bir elemanı çekerek, aynı ziyaret et- kaynak kodu parçala- URL ve POST kalıbı çıkar işlemlerini tekrar etmektedir. Bu işlem döngüsü kuyruğa ziyaret edilecek eleman kalmayana kadar devam etmektedir. Böylelikle bir web uygulaması içerisindeki tüm sayfalar tek tek ziyaret edilecektir. Şekil 13' de bu başlık altında işlenen örümcek modülünün çalışması özetlenmiştir.



Şekil 13. Örümcek modülü çalışma diagramı

5. Bulgular

Bu çalışma kapsamında web uygulama zafiyet tarayıcı- kapsam genişletme modülü geliştirilmiştir. Geliştirilen modül, web güvenliği alanında yaygın olarak kullanılan zafiyet tarayıcıların kapsam genişletme modülleri ve özellikle web uygulamalarındaki URL adreslerinin çıkarılması için geliştirilmiş crawler araçlar ile karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırma işlemlerinde kullanılan ilk araç; Metasploit içerisinde yer alan 'msfcrawler' modülü kullanılmıştır. Gerçekleştirilen karşılaştırma işleminde, web uygulama sızma testlerinde yaygın olarak kullanılan, açık kaynak kodlu zafiyet tarayıcılardan WASCAN, Wapiti ve Skipfish kullanılmıştır. Bunun yanında web uygulama sızma testlerinde kapsam belirleme amacıyla yaygın olarak kullanılmakta olan Htrack ve BlackWidow araçları da karşılaştırma işlemine dahil edilmiştir. Gerçekleştirilen işlemde her bir araca 'http://testphp.vulnweb.com' adresi parametre olarak verilmiş ve söz konusu adresten yola çıkarak tüm URL adreslerinin bulunması istenmiştir. Tablo 2' de yapılan test işleminde kullanılan araçlar ve tespit ettikleri URL adres sayıları gösterilmektedir. Gerçekleştirilen tarama işlemleri sonrasında, bu çalışmada geliştirilen web uygulama zafiyet tarayıcı- kapsam belirleme modülü, Htrack aracı ile aynı sayıda ve en çok URL adresini tespit etmeyi başarmıştır. Tablo 2' de gösterilmekte olan veriler incelendiğinde geliştirilen kapsam belirleme modülünün, günümüzde web uygulama sızma testlerinde yaygın olarak kullanılan, açık kaynak kodlu WASCAN, Wapiti ve Skipfish test araçlarının kapsam belirleme modüllerinden daha fazla URL adresi topladığı tespit edilmiştir.

Tablo 2. Sayfa dolaşma için kullanılan araçlar ve tespit edilen URL address sayıları

Kullanılan Araç	URL Adres Sayısı
Sansar ve Htrack	75
Metasploit (msfcrawler)	66
Wapiti	57
Skipfish	50
BlackWidow	40
Wascan	12

Şekil 14' de geliştirilen kapsam belirleme modülünün 'http://testphp.vulnweb.com' adresi üzerinde yaptığı URL toplama işlemine ait ekran görüntüsü gösterilmektedir.

6. Tartışma ve Sonuç

Web uygulamalarını, gerçek bir siber saldırı öncesinde tam olarak güvenli hale getirmek için kullanılan en yaygın yöntem sızma testleridir. Dinamik analiz tabanlı web uygulama zafiyet tarayıcılar, web uygulama sızma testlerini hızlı ve güvenilir gerçekleştirdikleri için sıklıkla tercih edilmektedirler. Web uygulama zafiyet tarayıcılar

```
C:\Users\deskop\PycharmProjects\sansarvulnerabilityscanner>python sansar.py -u http://testphp.vulnweb.com -c --username
test --password test

SANSAR - Web Application Vulnerability Scanner
Mehmet Ali YALÇINKAYA

Crawling: http://testphp.vulnweb.com
[-]Pages Waiting To Be Visited In The Queue:: 1
[+]Total Pages Visited: 0

[-]Pages Waiting To Be Visited In The Queue:: 14
[+]Total Pages Visited: 2

[-]Pages Waiting To Be Visited In The Queue:: 14
[+]Total Pages Visited: 3

[-]Pages Waiting To Be Visited In The Queue:: 1
[+]Total Pages Visited: 74

Website crawling process is finished. The crawled URL addresses were saved in the file.
```

Şekil 14. 'http://testphp.vulnweb.com' adresi üzerinde gerçekleştirilen kapsam belirleme işlemi

temel olarak kapsam belirleme, saldırı ve raporlama modülleri olmak üzere 3 kısımdan oluşmaktadır. Kapsam belirleme modülü, taranacak URL adresleri ve formların belirlenmesinde kullanılmaktadır. Bir web uygulamasının tam olarak sızma testine tabi tutulabilmesi için, sahip olduğu tüm sayfalar eksiksiz belirlenerek, saldırı modülüne verilmelidir. Bu çalışmada web uygulamaları içerisinde yer alan sayfaları belirlemede 3 farklı yöntem kullanan bir kapsam genişletme aracı geliştirilmiştir. Geliştirilen araç, arama motorları, kaba kuvvet yöntemi ve crawler aracını kullanarak web uygulaması içerisinde yer alan URL adreslerini belirlemektedir. Önerilen metodoloji ve geliştirilen araç, literatürde 3 farklı yöntemin ilgili problem üzerinde kullanıldığı ilk çalışma olma özelliği taşımaktadır. Yapılan test işlemlerinde, geliştirilen araç, literatürde kapsam belirleme amacı ile kullanılan 5 farklı araç ile karşılaştırılmış ve en fazla URL adresi tespit etmeyi başaran araç olmuştur. Bu çalışmada geliştirilen kapsam genişletme modülü, web uygulama sızma testlerinde aktif olarak kullanılmaya hazır durumdadır.

Kaynakça

- [1] Andreu A. 2006, Professional Pen Testing For Web Applications. John Wiley and Sons, 9-10.
- [2] Yalçınkaya, M. A. 2020. Yapay Zeka ve Dinamik Analiz Tabanlı Web Uygulama Zafiyet Tarayıcısı. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 196s, Isparta.
- [3] Vieira, T., Serrão, C. 2016. Web security in the finance sector. 11th International Conference for Internet Technology and Secured Transactions (ICITST), 5-7 December, Barcelona, Spain.
- [4] Akrou, R., Alata, E., Kaaniche, M., Nicomette, V. 2014. An automated black box approach for web vulnerability identification and attack scenario generation. Journal of the Brazilian Computer Society, 20(1), 4.
- [5] Seng, L. K., Ithnin, N., Said, S. Z. M. 2018. The approaches to quantify web application security scanners quality: a review. International Journal of Advanced Computer Research, 8(38), 285-312.
- [6] Idrissi, S. E., Berbiche, N., Guerouate, F., Shibi, M. 2017. Performance evaluation of web application security scanners for prevention and protection against vulnerabilities. International Journal of Applied Engineering Research, 12(21), 11068-11076.
- [7] Esposito, D., Rennhard, M., Ruf, L., Wagner, A. 2018. Exploiting the potential of web application vulnerability scanning. The Thirteenth International Conference on Internet Monitoring and Protection, 22-26 July, Barcelona, Spain.
- [8] Mantra, I. G. N., Alaydrus, M., Misni, H. M. 2016. The web security and vulnerability analysis model on Indonesia Higher Education institution. International Conference on Informatics and Computing, 28- 30 October, Mataram, Indonesia.
- [9] Esposito, D., Rennhard, M., Ruf, L., Wagner, A. 2018. Exploiting the potential of web application vulnerability scanning. International Conference on Internet Monitoring and Protection, 22-26 July, Barcelona, Spain.
- [10] Akrou, R., Alata, E., Kaaniche, M., Nicomette, V. 2014. An automated black box approach for web

- vulnerability identification and attack scenario generation. Journal of the Brazilian Computer Society, 20(1), 4.
- [11] Mutai, H. 2019. Hybrid Multi-Agents System Vulnerability Scanner For Detecting SQL Injection Attacks In Web Applications. PhD Thesis. University of Nairobi, 73p, Nairobi.
- [12] Mukhopadhyay, I., Goswami, S., Mandal, E. 2014. Web penetration testing using nessus and metasploit tool. IOSR Journal of Computer Engineering, 16(3), 126-129.
- [13] Dessiatnikoff, A., Akrouf, R., Alata, E., Kaâniche, M., Nicomette, V. 2011. A clustering approach for web vulnerabilities detection. Pacific Rim International Symposium on Dependable Computing, 12-14 December, California, USA.
- [14] Munoz, F. R., Villalba, L. G. 2013. Methods to Test Web Applications Scanners. Conference on Information Technology. 11- 14 November, Islamabad, Pakistan.
- [15] Rapid7, 2019. Metasploit Framework. <https://www.metasploit.com/> (Erişim Tarihi: 11.11.2019).
- [16] Roche, X. 2012. Httrack Website Copier. <https://www.httrack.com/> (Erişim Tarihi: 10.11.2019)
- [17] XeroSecurity, 2018. Black Widow. <https://github.com/1N3/BlackWidow> (Erişim Tarihi: 12.11.2019)
- [18] Zalewski, M., Heinen, N., Roschke, S. 2011. Skipfish-Web Application Security Scanner. <https://code.google.com/archive/p/skipfish/> (Erişim Tarihi: 13.11.2019)
- [19] Surribas, N. 2006. Wapiti Web-Application Vulnerability Scanner. <http://wapiti.sourceforge.net/> (Erişim Tarihi: 13.11.2019)
- [20] Wascan, 2018. Web Application Vulnerability Scanner. <https://github.com/m4ll0k/WAScan> (Erişim Tarihi: 13.11.2019)
- [21] Burlu, K. 2010. Bilişimin Karanlık Yüzü, Nirvana Yayınları, 479s, Ankara.
- [22] Yalçınkaya, M. A. 2015. Gelişmiş Hedef Odaklı Siber Saldırıları, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 186s, Isparta.
- [23] Jimenez, R. E. L. 2016. Pentesting on Web Applications using Ethical Hacking. IEEE 36th Central American and Panama Convention, 9-11 November, San Jose, Costa Rica.
- [24] Sarıman G. 2015. Yazılım Güvenliği Test Ve Değerlendirme Aracı Geliştirilmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 141s, Isparta
- [25] Doupé, A., Cavedon, L., Kruegel, C., Vigna, G. 2012. Enemy Of The State: A State-Aware Black-Box Web Vulnerability Scanner. 21st USENIX Security Symposium, 8-10 August, Bellevue, USA.
- [26] Doupé, A., Cova, M., Vigna, G. 2010. Why Johnny Can't Pentest: An Analysis Of Black-Box Web Vulnerability Scanners. International Conference on Detection of Intrusions and Malware, and Vulnerability Assessment. Berlin, Germany.
- [27] Hudak, P. 2017. The Art of Subdomain Enumeration. <https://blog.sweepatic.com/art-of-subdomain-enumeration/> (Erişim Tarihi: 20.10.2019)

Tekstil Endüstrisinde Karbon Ayak İzinin Belirlenmesi

Sezen COŞKUN¹, Necdet Ayberk DOĞAN²

¹Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Eğirdir Meslek Yüksekokulu, 32500, Isparta, Türkiye

²Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 32260, Isparta, Türkiye

(Alınış / Received: 04.01.2020, Kabul / Accepted: 14.02.2021, Online Yayınlanma / Published Online: 15.04.2021)

Anahtar Kelimeler

Karbon ayak izi,
Tekstil,
Karbondioksit eşdeğeri

Özet: Bu çalışmada, bir tekstil fabrikasının konfeksiyon, kumaş boyama, baskı ve iplik boyama bölümlerinde 2018 yılı için yıllık üretim faaliyetleri sonucu meydana gelen karbon ayak izi miktarları değerlendirilmiştir. Fabrikada üretim yapılan bölümler arasında karbon ayak izi miktarları karşılaştırıldığında, konfeksiyon bölümü 24,39 kg-CO₂e/kg-ürün ile en yüksek değere sahiptir. Konfeksiyon bölümünü takiben kumaş boyama, baskı ve iplik boyama için karbon ayak izi miktarları sırasıyla, 21,57 kg-CO₂e/kg-ürün, 20,32 kg-CO₂e/kg-ürün ve 19,28 kg-CO₂e/kg-ürün olarak tespit edilmiştir. Proseslerde karbon ayak izi oluşumunun başlıca sebepleri doğalgaz, kömür ve motorin kullanımınıdır. Doğalgaz, kömür ve motorin kaynaklı toplam karbon ayak izi oranı iplik boyama bölümünde %92 iken, baskı, kumaş boyama ve konfeksiyon bölümleri için bu oranlar sırasıyla %84, %82 ve %73 olarak belirlenmiştir. Karbon ayak izinin azaltılması amacıyla ilk yapılması gereken üretimde fosil yakıtların kullanımından vazgeçmek veya kullanımını azaltmak olmalıdır. Karbon ayak izinin azaltılmasında modern ekipman teknolojisinin tercih edilmesi, enerji tasarrufu, giyim süresi dolan kumaşların tekrar hammadde olarak kullanımı, makinelerin düzenli olarak bakımlarının yapılması, sıcak su tanklarının yalıtımlı hale getirilmesi ve enerji tasarruflu aydınlatma elemanlarının kullanımı büyük oranda katkı sağlayabilir. Karbon ayak izinin azaltılması hem ekonomik kazancın artırılması hem de iklim değişikliğinin azaltılabilmesi için büyük önem taşımaktadır.

Determination of Carbon Footprint in Textile Industry

Keywords

Carbon footprint,
Textile,
Carbondioxide equivalent

Abstract: In this study, the carbon footprint amounts from annual production activities for 2018 in the apparel, fabric dyeing, printing and yarn dyeing departments of a textile factory were evaluated. When inter-departmental carbon footprints are compared, the apparel department has the highest value with 24.39 kg-CO₂e/kg-product. Following the apparel department, carbon footprint amounts for fabric dyeing, printing and yarn dyeing departments were calculated as 21.57 kg-CO₂e/kg-product, 20.32 kg-CO₂e/kg-product and 19.28 kg-CO₂e/kg-product respectively. Natural gas, coal and diesel sources used in the processes have been identified as the cause of carbon footprint to a great extent. While 92% of the total carbon footprint in the yarn dyeing department originated from natural gas, coal and diesel, these ratios were 84%, 82% and 73% for printing, fabric dyeing and apparel departments respectively. The first step to reduce the carbon footprint is to abandon or reduce the use of fossil fuels in production. The use of modern equipment technology, energy saving, re-use of garments as raw materials, regular maintenance of machines, insulating hot water tanks and the use of energy-saving lighting elements can greatly contribute to the reduction of carbon emissions. Reducing the carbon footprint is of great importance for both increasing economic gain and reducing the speed of climate change.

1. Giriş

Son yıllarda insan kaynaklı emisyonların neden olduğu karbondioksit (CO₂) konsantrasyonlarındaki artış küresel ısınma ve iklim değişikliğinin baş

sorumlusu olarak kabul edilmektedir. Bu nedenle, atmosferdeki sera gazı birikiminin iklim değişikliğine etkileri ve dünya üzerindeki yıkıcı sonuçları ile ilgili çalışmalar her geçen gün artmaktadır. CO₂ konsantrasyonunun atmosferde 2 katına ulaşmasının

+2,5 °C küresel ısınma oluşturabileceği ve bu durumun 2100 yılına kadar sürmesi halinde deniz seviyesini ortalama 70 cm yükseltebileceği en dikkat çekici bilimsel çalışma sonuçları arasındadır [1, 2]. Gerekliliğin alınmasına yönelik 4 Kasım 2016 tarihli Paris Anlaşması ve 2005 yılında yürürlüğe giren Kyoto Protokolü, özellikle CO₂ başta olmak üzere sera etkisine neden olan gazların azaltılmasını amaçlamaktadır [3, 4].

Tekstil sektörü, başta hazır giyim olmak üzere ev tekstili, dekorasyon, ambalaj ve otomotiv gibi birçok sektöre hammadde sağlaması nedeniyle dünya çapında hala lokomotif sektörler arasındadır [5]. 2030 yılına kadar küresel giyim tüketiminin %63 artacağı tahmin edilmekte, bu da 500 milyar yeni t-shirt'e denk bir rakam olarak hesaplanmaktadır [6].

Sürdürülebilir tekstil üretiminin günümüze kadar küresel ısınmaya etkisi çok fazla öne çıkmış olmasa da, sektörün kapsam ve tedarik zincirinin geniş olması nedeniyle, üretim nedeniyle atmosferik kirleticilerin çıktısı da yüksektir. Örneğin, bir kumaş çevreyi kirletmiyor gibi görünmese de, üretim işlemlerinin çoğu sera gazı emisyonuyla (CO₂ ve metan (CH₄) gazları vb.) sonuçlanmakta [5, 7], olumsuz çevresel etkiler tekstil endüstrisinde sürdürülebilirlik sorununu da beraberinde getirmektedir. Bu emisyonların miktarlarında, gelişmekte olan ülkelerde %70 oranında artış tespit edilmiştir [5, 8, 9]. İster büyük ister küçük olsun, tüm tesisler atmosferi bir dereceye kadar kirletmeye katkıda bulunmakta [10], kaba bir tahminle, toplam karbondioksitin her 19,8 tonundan bir tonu tekstil endüstrilerinden kaynaklanmaktadır [7, 11]. Tekstil üretiminden kaynaklanan mevcut sera gazı emisyonları hâlihazırda yıllık 1,2 milyar ton olup, bu miktarın bazı sanayileşmiş ülkelerin toplam üretiminden daha fazla olduğu belirtilmektedir [6]. Alınabilecek en acil önlem ise, her işletmenin kendi içerisindeki karbon salınım kaynaklarını tespit edip, ne oranda azaltılabileceği ile ilgili çalışmalar yapmasıdır.

İnsan faaliyetleri sonucu sera etkisine neden olabilecek karbon salınımının tespitinde en güncel yöntem "karbon ayak izi" (CF) hesabıdır. CF hesabı hammadde üretimi, ürün üretimi, ürün kullanımı ve ürünün atık haline gelmesi sonucu açığa çıkan sera gazı salınımlarını içermektedir [12]. Bununla birlikte bireylerin, toplumların, devletlerin, şirketlerin ve endüstriyel sektörlerin faaliyetlerinden kaynaklanmaktadır [13]. Bu faaliyetler nedeniyle sera etkisine neden olan CO₂, CH₄, azot oksitler (N₂O), hidroflorokarbonlar (HFC'lar), perflorokarbonlar (PFC'lar) ve kükürthekezaförür (SF₆) gibi gazlar oluşmaktadır. Sera gazlarının küresel ısınma potansiyellerinin belirlenebilmesi için her bir gazın etkisi CO₂ gazı cinsinden ifade edilmiş ve bu ifade "Karbondioksit Eşdeğeri" (CO₂e) olarak isimlendirilmiştir. Sonuç olarak, CF; üretim aşamaları

sonucu birim ürün başına açığa çıkan eşdeğer CO₂ miktarı olarak tanımlanmaktadır [12]. CO₂ gazının atmosferdeki etkisinin 1 birim olduğu kabul edilerek, her bir birim sera gazın 100 yıllık zaman diliminde atmosferde yaratabileceği etki de "küresel ısınma potansiyeli" olarak literatürde yerini almıştır [3]. CO₂, CF hesabında dikkate alınan en önemli gazdır ve küresel ısınma potansiyeli IPCC 5. Değerlendirme Raporuna göre 1 olarak belirtilmektedir [14].

CF'nin hesaplanmasında emisyon kaynakları, Kapsam 1, Kapsam 2 ve Kapsam 3 olmak üzere üç farklı kapsamda raporlanmaktadır. Sahip olunan veya kontrol edilebilen kimyasal üretimden kaynaklanan, fırınlardan ve kullanılan araçlardan kaynaklanan emisyonlar Kapsam 1 içerisinde yer almaktadır. Kullanılan elektriğin tesis içerisinde üretimi esnasında oluşan ve/veya satın alınan elektriğin kullanımı ile oluşan emisyonlar Kapsam 2 içerisinde, şirket tarafından sahip olunmayan veya kontrol edilemeyen kaynaklardan ortaya çıkan dolaylı emisyonlar ise Kapsam 3 içerisinde değerlendirilmektedir. CF hesaplaması için en yaygın uygulama ise belgelenmiş emisyon faktörlerinin (EF) kullanılarak yapılan hesaplamadır [3, 15-17].

Amerika [18, 19], İspanya [20], İran [21] ve Çin [22] gibi ülkelerde tekstil endüstrisinde gerçekleştirilen CF çalışmaları bulunmasına karşın, Türkiye'de yapılan çalışmalar oldukça sınırlıdır. Marmara Bölgesi'nde kumaş ve halı üretimi yapan bir tekstil firması için üretimden kaynaklanan toplam karbon ayak izi 31,2 kg-CO₂e/kg-kumaş olarak hesaplanmıştır. Aynı tesiste hammadde üretiminin oluşturmuş olduğu CF değeri 21,4 kg-CO₂e/kg-kumaş iken, bu değeri yükselten faktörler sırasıyla kazan dairesi faaliyetleri, iklimlendirme faaliyetleri, ofis ve atıksu arıtma faaliyetleri olarak tespit edilmiştir [5]. Kirchain vd. [19] tarafından polyesterden yapılmış tişört için CF 7,1 kg-CO₂e/kg-tişört olarak hesaplanmıştır. Yan vd. [18] tarafından yapılan bir diğer çalışmada da saf yün ve yün-polyester karışımından üretilen kumaşların CF'i sırasıyla 14 kg-CO₂e/kg-kumaş ve 13,5 kg-CO₂e/kg-kumaş olarak tespit edilmiştir. Aynı çalışmada, iplik boyama işlemi de göz önüne alındığında bu değerlerin %70,8 oranında artacağı belirtilmiştir. Herva vd. [20], moda eğilimlerine bağlı olarak ceket üretimi yapan bir tekstil fabrikasında kullanılan malzemelerin değişmesi halinde CF miktarlarının yıllar içerisinde değişebileceği sonucuna varmışlardır. Yünlü ve pamuklu ürünlerinin kullanımının toplam CF'ni sırasıyla %58,78 ve %24,89 oranlarında arttırdığı tespit edilmiştir. Bunun yerine sentetik tekstil ürünlerin karbon ayak izine katkısının daha düşük olacağı belirtilmektedir [20]. Tekstil endüstrisinin yüksek enerji tüketiminden dolayı, ürünlerin yeniden kullanımını ve geri dönüşümü gibi alternatifler bilim dünyasında son yıllarda ilgi uyandırmıştır. Bununla birlikte geri dönüştürülmüş ürünlerin hammadde olarak kullanılmasıyla CF'de nasıl bir değişim olacağı

ile ilgili çalışmaların sonuçları önem taşımaktadır. Bu konuda farklı iki çalışmayı [23, 24] referans alan McDougall vd. [25], kullanılmamış yünden üretilen bir dokuma ürününün geri dönüştürülmüş yünden imal edilenlere oranla iki kat fazla CF yaratacağı sonucuna varmıştır. Bu nedenle işletmelerin alabileceği öncelikli önlemler, mevcut üretim prosesinde CO₂, CH₄ vb. gazların açığa çıkmasına neden olan yakıtların kullanımını azaltmaları ve yenilenebilir enerji kaynaklarından daha fazla yararlanmaya çalışmaları olmalıdır.

Türkiye'nin Kyoto Protokolü'nü imzalayan ülkeler arasında yer alması nedeniyle, üretim tesislerinin CF miktarlarının hesaplaması önümüzdeki süreçte kaçınılmaz olacaktır. Yapılan araştırma ile ülkemizde kısıtlı akademik karbon ayak izi araştırmalarına bir örnek oluşturmak amaçlanmıştır. Bu kapsamda bir tekstil fabrikasının kumaş boyama, iplik boyama, baskı ve konfeksiyon bölümlerinin karbon ayak izi miktarları değerlendirilmiştir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Tekstil firması tesis verileri

Çalışma için Marmara Bölgesi'nde yer alan bir tekstil fabrikası seçilmiştir. Tesis, 315 kişi ile faaliyet gösteren, üretim kapasitesi 3.344 t/yıl ile ülkemiz sınırları içerisinde hazır giyim ürünleri üreten orta büyüklükte bir tesis olarak kabul edilebilir. Hesaplamalarda kullanılan tüm veriler 2018 yılına aittir. Yıllık üretimin %80,74'ini boyahane bölümü oluşturmaktadır. Boyahane bölümünde hazır olarak alınan kumaşların boyama, yıkama ve daha sonra apre işlemleri gerçekleştirilmektedir. Baskı bölümünde boyanmış veya düz renk kumaş hazırlandıktan sonra baskıya alınmaktadır. Baskı bölümü işletmede yıllık üretimin %8,82'ünü oluşturmaktadır. Konfeksiyon bölümü, hazırlanmış boyalı veya baskılı kumaşların müşterinin istediği modele göre kesilmesi ve dikilmesi işlemlerini içermektedir. İşletmede yıllık üretimin %5,56'si konfeksiyon bölümünde gerçekleşmektedir. İşletmenin diğer faaliyet alanı iplik boyama yıllık üretimin %4,87'ünü oluşturmaktadır. Tesis bünyesinde bulunan her bir bölüm için hem müşteri isteği ile münferit üretimler hem de sıralı şekilde ilerleyen proses mevcuttur. Ayrıca firma bünyesindeki konfeksiyon ve baskı faaliyetleri, boyahane kapasitesini karşılayamadığı için holding

bünyesinde diğer şubelerdeki tesislerde üretime devam edilmektedir. Bu nedenle her birimin üretim miktarları değişiklik göstermektedir ve karbon ayak izi miktarları ayrı ayrı hesaplanmıştır. Tekstil firmasına ait ayrıntılı tesis verileri Tablo 1'de verilmiştir.

Üretimden kaynaklanan CF hesabında Tablo1'de yer alan üretim yüzdeleri dikkate alınarak hesaplamalar yapılmıştır. Tesisin yılda ortalama 300 gün çalıştığı dikkate alınmıştır. Tablo 1'de yer alan verilerde araçlar bir yılda aldıkları yol ile temsil edilmiştir. Tüm araçların dizel olduğu kabul edilmiştir. Atık kamyonu yılda 92000 km/yıl, servis aracı 244000 km/yıl yol kaydetmektedir. Tesiste kazan dairesi, jeneratör ve tesis içerisinde yüklemeler esnasında kullanılan iş makinasının çalışmasında tüketilen bir yıllık motorin tüketimi ise 12000 t/yıl olarak tespit edilmiştir. Her üretim bölümü için fabrikanın yıllık üretim yüzdeleri dikkate alınarak yıllık motorin ve atık kamyonu tüketimleri 4 bölüm arasında dağıtılmıştır. Servis araçları yılın tamamında her birimde çalışan personeli düzenli vardiya aralıklarında fabrikaya taşımaktadır. Bu nedenle servis araçlarının toplam aldığı yol tüm bölümler için eşit olarak dağıtılmıştır. Tesiste doğalgaz, hem elektrik üretimi hem de proseslerin ısı gereksinimleri için kullanılmaktadır. Fakat doğalgaz ile yapılan elektrik üretimi fabrikanın ihtiyacını karşılamamaktadır. Bu sebeple karbon ayak izi hesabında hem kullanılan doğalgaz hem de doğalgaz harici tüketilen elektrik enerjisi hesaplamada ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Kömür ise, proseslerde gerekli buhar üretimi için kullanılmaktadır. Ham maddenin tesise girişinden nihai ürün oluşumuna kadar geçen süreç içerisinde işletmede meydana gelebilecek enerji kayıpları hesaplamalarda dikkate alınmamıştır.

2.2. Karbon ayak izi hesaplama metodu

Çalışmada karbon ayak izi hesaplamaları Hükümetler Arası İklim Değişikliği Paneli [8] Kılavuzunda belirtilen "Tier-1 Metodu" formülü kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Denklem 1'de gösterilen hesaplama yöntemi "Entegre Kirlilik Önleme ve Kontrol Yaklaşımı" kapsamında kirleticilerin CO₂e cinsinden miktarını, diğer bir ifadeyle "Karbon Aya İzi" değerini hesaplamada kullanılmaktadır.

$$CF = AD * EF \quad (1)$$

Tablo 1. Tekstil firmasına ait tesis verileri

Faaliyet Adı	Birim	Kumaş Boyama	İplik Boyama	Baskı	Konfeksiyon
Üretim	t/yıl	2700	163	295	186
Üretim yüzdeleri	%	80,74	4,87	8,82	5,56
Elektrik tüketimi	kWh/yıl	4750000	260000	230000	290000
Doğalgaz tüketimi	m ³ /yıl	1100000	66000	12000	77000
Kömür tüketimi	t/yıl	6600	397	720	461
Motorin	t/yıl	9688,8	584,4	1058,4	667,2
Servis aracı-dizel	km/yıl	61000	61000	61000	61000
Atık kamyonu-dizel	km/yıl	74280,80	4480,40	8114,40	5115,20

Bu denklemde CF (karbon ayak izi); elektrik tüketimi, ısınma, ulaşım vb. nedeniyle tesisten atmosfere yayılan emisyonların CO₂e' i cinsinden karbon ayak izini, AD (faaliyet verisi); bir proseste üretilen veya tüketilen yakıt vb. maddelere ilişkin veriyi, EF (emisyon faktörü); bir kirleticinin hacim, kütle, zaman vb. birim değeri için ortalama emisyon miktarını temsil etmektedir [4, 8].

Birim ürün başına karbon ayak izinin hesaplanabilmesi için üretim verisi rakamları her bir bölümün üretim kapasitelerine bölünerek formüde faaliyet verisi değeri olarak kullanılmıştır. Faaliyet verileri 1 kg ürün başına hesaplanmıştır. Karbon ayak izi hesabı için coğrafi olarak en ilgili ve güncel emisyon faktörleri (kg-CO₂e olarak) kullanılmıştır. Emisyon faktörleri "İngiltere Çalışma, Enerji ve Endüstriyel Strateji Bakanlığı'ndan temin edilmiştir [26] (Tablo 2). Elektrik tüketimi emisyon faktörü için Dulkadiroğlu [27] çalışmasından alınmıştır.

Tablo 2. Emisyon faktörleri [22]

Faaliyet	Birim	EF
Kumaş Boyama	kg-CO ₂ e/kg	2,69
İplik Boyama	kg-CO ₂ e/kg	0,30
Baskı	kg-CO ₂ e/kg	2,69
Konfeksiyon	kg-CO ₂ e/kg	5,34
Elektrik tüketimi	kg-CO ₂ e/kWh	0,60
Doğalgaz tüketimi	kg-CO ₂ e/m ³	2,09
Kömür	kg-CO ₂ e/kg	2,24
Motorin	kg-CO ₂ e/kg	3,19
Servis aracı-dizel	kg-CO ₂ e/km	0,67
Atık kamyonu-dizel	kg-CO ₂ e/km	1,08

3. Bulgular

Yıllık üretimin %80,74'lük kısmını kumaş boyama bölümü oluşturmaktadır. Burada tesise hazır olarak gelen kumaşların boyama, yıkama ve daha sonra apre işlemleri gerçekleştirilmektedir. Kullanılan boya ve

enerji tüketimi bu bölümde karbon ayak izinin ana sebeplerini oluşturmaktadır. Özellikle boyama işlemi sonrası bozulan ürünlerin tekrar boyanması, aynı ürün için kullanılan boya ve enerji tüketimini birim ürün başına daha da artırmaktadır. Baskı bölümünde boyanmış veya düz renk kumaş hazırlandıktan sonra baskıya alınmaktadır. Baskı bölümünde de kullanılan kimyasallar ve boyar maddeler karbon ayak izine en çok yol açan etmenlerdir.

Karbon ayak izi için hesaplanan faaliyet verileri Tablo 3' de verilmiştir. IPCC'nin Tier-1 metoduna göre ürün başına her bir üretim bölümünde karbon ayak izi miktarları hesaplanmış ve Tablo 4 içeriğinde verilmiştir.

Kaynaklarına göre ürün başına karbon ayak izi değerleri karşılaştırıldığında en fazla karbon ayak izine fabrikada kullanılan kömür ve motorinin neden olduğu tespit edilmiştir. Motorin kaynaklı karbon ayak izi miktarları her bir bölüm için birbirine yakın değerlerde ve ortalama 11,44 kg-CO₂e/kg-ürün hesaplanmıştır (Tablo 4). Fabrikanın kaynaklara göre yıllık karbon ayak izinin yüzde dağılımı Şekil 1-4'de gösterilmiştir. Tekstil işletmesinin karbon ayak izi miktarlarının kaynaklarına göre yüzde değerleri incelendiğinde de her bir bölümde yaklaşık %46,9 ile %59,3 oranlarında motorin kaynaklı karbon ayak izi olduğu görülmektedir (Şekil1-4). Kömür kaynaklı karbon ayak izi miktarları kumaş boyama, iplik boyama, baskı ve konfeksiyon bölümleri için 5,46 ve 5,55 kg-CO₂e/kg-ürün aralığında değişmektedir (Tablo 4). Bu da her bölüm için toplam karbon ayak izinin yaklaşık %22,8 ile %28,3'ünü oluşturmaktadır (Şekil 1-4).

Üretim proseslerinden kaynaklanan karbon ayak izinin yüzde dağılımı ise bölümler arasında konfeksiyon; %21,9 (Şekil 4), baskı; %13,2 (Şekil 3),

Tablo 3. Faaliyet verileri (AD değerleri) (kg ürün başına)

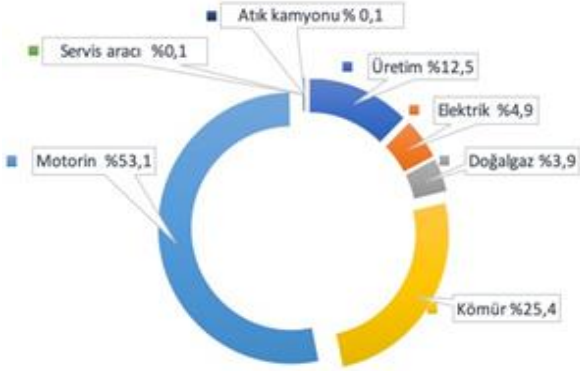
Faaliyet Verileri	Kumaş Boyama	İplik Boyama	Baskı	Konfeksiyon
Üretim	1	1	1	1
Elektrik tüketimi	1,759	1,595	0,779	1,559
Doğalgaz tüketimi	0,407	0,405	0,041	0,414
Kömür tüketimi	2,444	2,436	2,441	2,478
Motorin	3,588	3,585	3,588	3,587
Servis aracı	0,023	0,374	0,207	0,328
Atık kamyonu	0,028	0,027	0,028	0,028

Tablo 4. Tekstil fabrikası farklı bölümlerinin ürün başına karbon ayak izi değerleri

Faaliyet	Kumaş Boyama kg-CO ₂ e/kg-ürün	İplik Boyama kg-CO ₂ e/kg-ürün	Baskı kg-CO ₂ e/kg-ürün	Konfeksiyon kg-CO ₂ e/kg-ürün
Üretim	2,69	0,30	2,69	5,34
Elektrik tüketimi	1,06	0,96	0,47	0,94
Doğalgaz tüketimi	0,85	0,85	0,09	0,87
Kömür	5,48	5,46	5,47	5,55
Motorin	11,45	11,44	11,45	11,44
Servis aracı-dizel	0,02	0,25	0,14	0,22
Atık kamyonu-dizel	0,03	0,03	0,03	0,03
Toplam	21,57	19,28	20,32	24,39

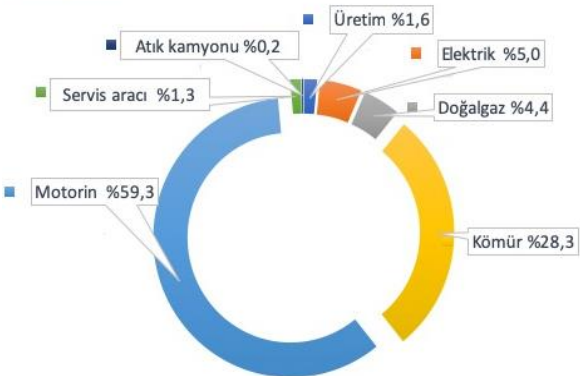
kumaş boyama; %12,5 (Şekil 1) ve iplik boyama; %1,6 (Şekil 2) olarak sıralanmaktadır. Diğer kaynaklar açığa çıkan karbon ayak izleri ise kömür, motorin ve üretime göre daha düşük değerlere sahiptir. Toplam karbon ayak izi değerleri karşılaştırıldığında, 24,39 kg-CO₂e/kg-ürün yıl olarak konfeksiyon bölümü fabrikada en yüksek karbon ayak izi değerine sahiptir. Konfeksiyon bölümünü takiben kumaş boyama, baskı ve iplik boyama bölümleri CF miktarları sırasıyla 21,57 kg-CO₂e/kg-ürün, 20,32 kg-CO₂e/kg-ürün ve 19,28 kg-CO₂e/kg-ürün olarak hesaplanmıştır (Tablo 4).

Kumaş Boyama



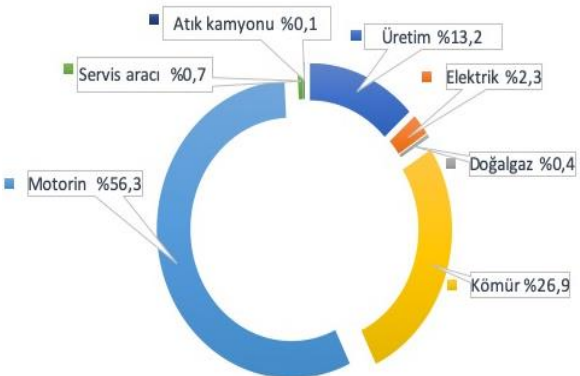
Şekil 1. Kumaş boyama işleminde kaynaklara göre karbon ayak izinin yüzde dağılımı

İplik Boyama



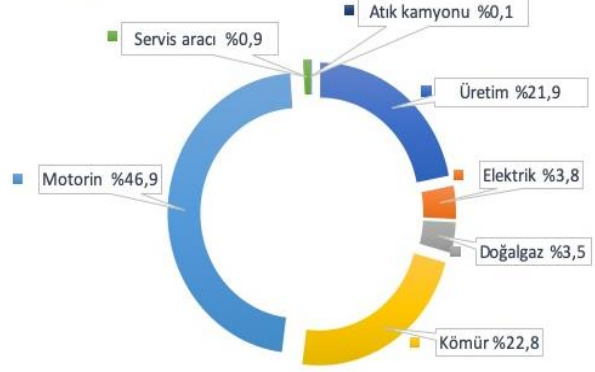
Şekil 2. İplik boyama işleminde kaynaklara göre karbon ayak izinin yüzde dağılımı

Baskı



Şekil 3. Baskı işleminde kaynaklara göre karbon ayak izinin yüzde dağılımı

Konfeksiyon



Şekil 4. Konfeksiyon bölümü kaynaklara göre karbon ayak izinin yüzde dağılımı

Sera gazı hesaplama ve raporlamada tanımlanmış üç kapsam mevcuttur. "Kapsam 1" direkt emisyonlar olarak adlandırılmakta; sahip olunan veya kontrol edilen proses ekipmanlarında kimyasal üretimden kaynaklanan ve yanma sonucu oluşan emisyonları kapsamaktadır. "Kapsam 2" enerji dolaylı emisyonlar olarak adlandırılmakta; satın alınan ve kullanılan elektriğin üretiminden ortaya çıkmaktadır. "Kapsam 3" ise diğer kaynaklı emisyonlar olarak adlandırılmakta; tesis tarafından sahip olunmayan veya kontrol edilemeyen kaynaklardan ortaya çıkan emisyonlar olarak kabul edilmektedir. Kapsamlarına göre direkt emisyonlar, enerji dolaylı emisyonlar ve diğer kaynaklı emisyonlara ait karbon ayak izi yüzde olarak her bölüm için hesaplanmış ve Şekil 5-8'de gösterilmiştir.

Kumaş Boyama

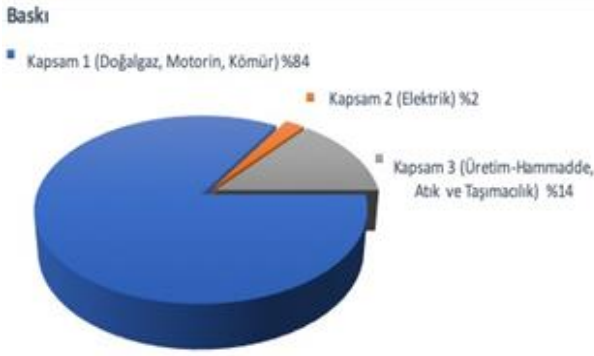


Şekil 5. Kumaş boyama işleminde kapsamlara göre karbon ayak izinin yüzde dağılımı

İplik Boyama



Şekil 6. İplik boyama işleminde kapsamlara göre karbon ayak izinin yüzde dağılımı



Şekil 7. Baskı işleminde kapsamlara göre karbon ayak izinin yüzde dağılımı



Şekil 8. Baskı işleminde kapsamlara göre karbon ayak izinin yüzde dağılımı

Her bölüm için Kapsam 1 kaynakları büyük oranda karbon ayak izinin sebebi olarak ortaya çıkmaktadır. Bu oranlar %92 ile en yüksek iplik boyama bölümünde tespit edilirken (Şekil 6), bunu takiben baskı bölümü için Kapsam 1 CF hesaplaması %84 (Şekil 7), kumaş boyama için %82 (Şekil 5) ve konfeksiyon için %73 (Şekil 8) olarak hesaplanmıştır. Kapsam 2 elektrik giderleri kaynaklı CF yüzdeleri ise her bir bölüm için %2 ile %5 arasında değişen değerlere sahiptirler. Kapsam 3'de yer alan üretim, hammadde, atık ve taşımacılık faaliyetleri nedeniyle de en yüksek CF değerlendirmesi %23 ile konfeksiyon bölümü için tespit edilmiştir (Şekil 8). Diğer bölümlerde ise Kapsam 3 CF yüzde dağılımı %14 ile baskı, %13 ile kumaş boyama ve %3 ile iplik boyama olarak sıralanmaktadır.

4. Tartışma ve Sonuç

Çalışma sonucunda elde edilen ürün başına CF miktarları konfeksiyon (24,39 kg-CO₂e/kg-ürün), kumaş boyama (21,57 kg-CO₂e/kg-ürün), baskı (20,32 kg-CO₂e/kg-ürün) ve iplik boyama (19,28 kg-CO₂e/kg-ürün) bölümleri olarak tespit edilmiştir. Son yıllarda karbon ayak izine yönelik birçok araştırma, farklı ülkelerde farklı ürün grupları için yapılmıştır. ABD'de polyesterden yapılmış bir tişört için karbon ayak izi değeri yaklaşık olarak 35 kg-CO₂e/kg-tişört [19], Çin'de saf yün ve yün-polyester karışımından üretilen kumaşların karbon ayak izleri sırasıyla 14 kg-CO₂e/kg-kumaş ve 13,5 kg-CO₂e/kg-kumaş [22]

tespit edilmiştir. Yan vd. [22]'nin elde ettiği bir diğer sonuç ise yün-polyester karışık kumaşlar için iplik boyama işleminin de göz önüne alınması halinde karbon ayak izi değerlerinde %70,8 oranında artış görüldüğü ve 23,1 kg-CO₂e/kg-kumaş karbon ayak izi miktarına ulaşıldığıdır. Türkiye'de yapılmış olan bir diğer çalışmada da bir tekstil firmasının karbon ayak izi hesaplanmış ve sonuç 31,2 kg-CO₂e/kg-kumaş olarak tespit edilmiştir [5].

Çalışma sonucunda elde edilen bulgular literatür değerleriyle benzerlik göstermek birlikte, her işletmenin proses farklılıkları nedeniyle karbon ayak izi miktarları işletmeye özel rakamlar olarak ortaya çıkmaktadır. Keskin vd. [5] tekstil işletmesi için yaptıkları çalışma sonucunda; karbon ve enerji ayak izinde baskın olan katkıların buhar kazanları, iklimlendirme sistemleri ve bitiş işlemleri olduğunu, diğer önemli bileşenlerin ofis vb. noktalardaki enerji kullanımlarından kaynaklandığını belirtmişlerdir. Bu tespitleri destekler nitelikte, çalışmaya konu olan tesisin CF miktarlarının büyük yüzdesini Kapsam 1 kaynaklarının (doğalgaz, motorin, kömür) kullanımı olduğu tespit edilmiştir. Bu oranlar tesisin farklı bölümleri (kumaş boyama, iplik boyama, baskı, konfeksiyon) için %73-92 aralığında değişmektedir. Bu kaynaklar tesiste kazan dairesi, jeneratör, iş makinası yakıtı, buhar ve elektrik üretimi amacıyla kullanılmaktadır. Enerji tasarrufu için öncelikle dikkat edilmesi gereken iki faktör, literatür çalışmalarında da belirtilmiş [28] olan, tekstil sektöründe modern ekipman teknolojisinin tercih edilmesi ve proses optimizasyonun sağlanması olmalıdır. Gelişen teknoloji ile pamuğun düşük sıcaklıklarda ağartılmasını sağlayan katalizörlerin proseste kullanımı, üretimde yeni gelişmelere örnek teşkil etmektedir. Bu katalizörler, ağartma işlemi için gerekli yüksek sıcaklığı düşürerek (yaklaşık 110°C'den 25°C'ye), üretimde süre ve enerji tasarrufu sağlamaktadır. Sonuç olarak, CO₂ emisyonunun azaltılmasında başarılı sonuçlar elde edilmiştir [6].

Üretim giderlerinin ve dolayısıyla karbon ayak izi miktarlarının azaltılması amacıyla ürünlerin yeniden kullanımı ve geri dönüşümü gibi alternatifler de bilim dünyasında son yıllarda çözüm yolları olarak görülmektedir. Kullanılmamış yünden üretilen bir dokuma ürününün, geri dönüştürülmüş yünden imal edilenlere oranla iki kat fazla karbon ayak izi yaratacağını ortaya koyan çalışmalar da mevcuttur [25]. Geri dönüşüm ve yeniden kullanım süreci; (1) üretimden artan malzemelerin geri dönüşümü, (2) kullanım ömrünü tamamlamış tekstil ürünlerinin atılması yerine, tüketici tarafından farklı amaçlar için yeniden kullanımının özendirilmesi, (3) üretim kaynaklı proses atıklarının geri dönüşümü sıralamasıyla planlandığında, tekstil sektöründe karbon ayak izini azaltmak kaçınılmaz olacaktır [29].

Çalışmanın sonucu olarak, karbon ayak izinin azaltılması amacıyla, üretimde fosil yakıtlardan enerji

elde etmek yerine yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı tercih edilebilir. Bununla birlikte, giyim süresi dolan kumaşların tekrar hammadde olarak kullanımı, renkli ve baskılı kumaşlar yerine tek renk ve baskısız giyimin özendirilmesi, işletmede kullanılan makinelerin düzenli bakımlarının yapılması, sıcak su tanklarının yalıtımlı hale getirilmesi ve enerji tasarruflu aydınlatma elemanlarının kullanımı karbon ayak izinin azalmasına katkı sağlayacaktır. Sıfır atık yönetiminin önem kazandığı son yıllarda, tekstil sektöründe de “sıfır karbon ayak izi” hedeflenerek üretimde sürdürülebilirlik sağlanabilir. Ekonomik kazanç artırılırken, iklim değişikliğinin bir nebze azaltılabilmesi gelecek nesiller için en büyük sorumluluğumuz olmalıdır

Teşekkür

Çalışmaya katkıları için Dr. Öğr. Üyesi Cihan ÖZGÜR’e 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] Aksay, C. S., Ketenoglu, O., Kurt, L. 2005. Küresel Isınma ve İklim Değişikliği. Selçuk Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fen Dergisi, 25, 29-41.
- [2] Öztürk, K. 2002. Küresel İklim Değişikliği ve Türkiye’ye Olası Etkileri. Gazi Üniversitesi Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi, 22(1), 47-65.
- [3] Gunathilaka, L. F. D. Z., Gunawardana K. D. 2015. Carbon Footprint Calculation from Cradle to Grave: A Case Study of Rubber Manufacturing Process in Sri Lanka. International Journal of Business and Social Science, 6(10), 82-94.
- [4] Mutlu, V., Özgür, C., Bekaroğlu, Ş. Ş. K. 2018. Kauçuk Endüstrisinde Karbon Ayak izinin Belirlenmesi. Bilge International Journal of science and Technology Research, 2(2), 139-146.
- [5] Keskin, S. S., Erdil, M., Sennaroğlu, B. 2017. Bir Tekstil Fabrikasının Kumaş Üretiminde Enerji ve Karbon Ayak İzlerinin Belirlenmesi. VII. Ulusal Hava Kirliliği ve Kontrolü Sempozyumu, 1-3 Kasım, Antalya, 95-105.
- [6] Remington, C. 2020. Reducing the carbon footprint in textile manufacturing. Ecotextile News. <https://www.ecotextile.com/sponsored-content/reducing-the-carbon-footprint-in-textile-manufacturing.html> (Erişim Tarihi: 24.01.2020).

- [7] Akhtar, S., Baig, S. F., Saif, S., Mahmood, A., Ahmad, S. R. 2017. Five Year Carbon Footprint of a Textile Industry: A Podium to incorporate Sustainability. Nature Environment and Pollution Technology. 16(1), 125-132.
- [8] IPCC, 2006. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. General Guidance and Reporting. <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol1.html> (Erişim Tarihi: 28.12.2019).
- [9] Greenpeace, 1998. Guide to the Kyoto Protocol. <https://www.readkong.com/page/greenpeace-international-1179766> (Erişim Tarihi: 25.12.2019).
- [10] Parry, M. L. Canziani, O. F. Palutikof, J. P. Van der Linden, C. E. 2007. Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 976.
- [11] USEPA, 2006. U.S. Environmental Protection Agency, “Global Mitigation of Non CO₂ Greenhouse Gases” <http://www.epa.gov/nonco2/econ-inv/international.html> (Erişim: 6.12.2019).
- [12] Patel, J. 2006. Green sky thinking. Environment Business, 122, 32.
- [13] Galli, A., Wiedmann, T., Ercin, E., Knoblauch, D., Ewing, B., Giljum, S. 2012. Integrating Ecological Carbon and Water Footprint into a “Footprint Family” of Indicators: Definition and Role in Tracking Human Pressure on the Planet. Ecological Indicators, 16, 100-112.
- [14] IPCC, 2013. Anthropogenic and Natural Radiative Forcing. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WG1AR5_Chapter08_FINAL.pdf (Erişim Tarihi: 15.12.2019).
- [15] Matthews, H. S., Hendrickson, C. T., Weber, C. L. 2008. The Importance of Carbon Footprint Estimation Boundaries. Environmental Science Technology, 42, 5839-5842.
- [16] Ercin, E., Hoekstra, A. Y. 2012. Carbon and Water Footprints Concepts. Methodologies and Policy Responses. United Nations World Water Assessment Programme. United Nations Educational Scientific and Cultural Organization, Paris, France, 26s.
- [17] Inakollu, S., Morin, R., Keefe, R. 2017. Carbon Footprint Estimation in Fiber Optics Industry: A Case Study of OFS Fitel, LLC. Sustainability, 9(5), 865-881.
- [18] McCurry, J. 2009. Environment to Impact on Demand. International Dyer, 194(2), 9.

- [19] Kirchain, R., Olivetti, E., Miller, T. R., Greene, S. 2015. Sustainable Apparel Materials. <http://globalcompostproject.org/wp-content/uploads/2015/10/SustainableApparelMaterials.pdf> (Erişim Tarihi: 29.12.2019).
- [20] Herva, M., Franco, A., Ferreiro, S., A'lvarez, A., Roca, E. 2011. An approach for the Application of the Ecological Footprint as Environmental Indicator in the Textile Sector. *Journal of Hazardous Materials*, 156(1-3), 478-487.
- [21] Hasanbeigi, A., Hasanabadi, A., Abdorrazaghi, M. 2012. Comparison Analysis of Energy Intensity for Five Major Sub-sectors of The Textile Industry in Iran. *Journal of Cleaner Production*, 23, 186-194.
- [22] Yan, Y., Wang, C., Ding, D., Zhang, Y., Wu, G., Wang, L., Liue, X., Due, C., Zhang, Y., Zhao, C. 2016. Industrial Carbon Footprint of Several Typical Chinese Textile Fabrics. *Acta Ecologica Sinica*, 36(3), 119-125.
- [23] Lowe, J. 1981. Energy Usage and Potential Savings in the Woollen Industry. Wool Industry Research Association, Wira House, West Park Ring Road, Leeds.
- [24] Ogilvie, S. M. 1992. A Review of the Environmental Impact of Recycling. Report. LR 911 (MR) Warren Spring Laboratories, Stevenage, UK.
- [25] McDougall, F., White, P., Franke, M., Hindle, P. 2001. Integrated Solid Waste Management: a Life Cycle Inventory. 2nd Edition. Blackwell Science Ltd. USA, 532s.
- [26] DBEIS, 2017. Greenhouse gas reporting: conversion factors. Department for Business, Energy & Industrial Strategy, Condensed set (for most users), <https://www.gov.uk/government/publications/greenhouse-gas-reporting-conversion-factors-2017> (Erişim Tarihi: 15.11.2019).
- [27] Dulkadiroğlu, H. 2018. Türkiye'de Elektrik Üretiminin Sera Gazı Emisyonları Açısından İncelenmesi. *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 7(1), 67-74.
- [28] Dhayaneswaran, Y., Ashokkumar, L. 2013. A Study on Energy Conservation in Textile Industry. *Journal of The Institution of Engineers (India) Series B*, 94(1), 53-60.
- [29] Muthu, S.S., Li, Y., Hu, J.Y., Ze, L., 2012. Carbon Footprint Reduction in the Textile Process Chain: Recycling of Textile Materials. *Fibers and Polymers*, 13(8), 1065-1070.

Alçı Sıkılama Yöntemi için Arazide Uygulama Kolaylığının Araştırılması

Halim CEVİZCİ¹, Harun SÜRÜCÜOĞLU²

¹Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, 32100, Isparta, Türkiye

²Defne OSGB, Karaman Mh. Fatih Cd. No:148, Denizli, Türkiye

(Alınış / Received: 13.01.2020, Kabul / Accepted: 18.01.2021, Online Yayınlanma / Published Online: 15.04.2021)

Anahtar Kelimeler

Alçı sıkılama,
Sıkılama,
Uygulama kolaylığı,
Fragmentasyon,
Wipfrag,
Maliyet

Özet: Ciddî oranda kârlılığı ispatlanmış olan, ancak arazide uygulama zorluğu nedeniyle yaygınlaşmayan alçı sıkılama yönteminin basit makine veya ekipmanlarla uygulama kolaylığı araştırılmıştır. Ülkemizde ve dünyada patlatma ekonomisi ve iş hacmi ciddi seviyelerdedir. Bu yüzden, daha verimli bir patlatma büyük kârlar sağlar. Alçı sıkılamanın kireçtaşı ocaklarında yaklaşık delme – patlatma maliyetlerinde %30 kâr sağladığı tespit edilmiştir. Bu yüzden uygulanması çok ciddi kar sağlayacaktır. Alçı sıkılama uygulamasının kolaylaştırılmasını sağlamak amacıyla, değişik ekipmanlarla uygulama gerçekleştirilmiştir. Alçı sıkılama, taş tozu sıkılmaya göre daha zor olsa da sağladığı kâr, uygulama zorluluğundan kat kat fazladır. Basit makine veya ekipmanlarla alçı sıkılama yöntemi fazla zorlanmadan gerçekleştirilebilmiştir. Böylece, düşük maliyetle, büyük kârlar sağlanabilecektir.

Investigation of Ease of The Application In Situ for Plaster Stemming Method

Keywords

Plaster stemming,
Stemming,
Ease of application,
Fragmentation,
Wipfrag,
Cost

Abstract: In this study, the ease of application of plaster stemming method, which has proven to be very profitable but not widespread due to the difficulty of application in-situ, was investigated. This is possible using simple machines or equipments. Both in our country and globally, blasting economy and business volume are at huge levels. Therefore, better blasting provides in greater profits. Plaster stemming method reduces approximately 30 % drilling – blasting cost at limestone quarries. Therefore, performing of it provides significant profitability. In order to facilitate the application of plaster stemming, tests were made with different equipments. In spite of plaster stemming application more difficult than drill cuttings stemming, it can provides big profits. With simple machines or equipment, the plaster stemming method could be performed without a lot of difficulty. Thus, with a lower cost, large profits can be obtained.

1. Giriş

Patlatma hem ülkemiz hem dünya için milyar dolar seviyelerinde iş hacmi olan önemli bir sektördür. Yapılacak verimli patlatma ile büyük kârlar elde edilebilir. Bu bağlamda, patlatmanın daha başarılı gerçekleştirilmesi çok önemlidir. Patlatmaya ait parametrelerle ilgili (özgül şarj, dilim kalınlığı, delikler arası mesafe, delik boyu, delik çapı vb.) çok değerli bilimsel çalışmalar yapılmasına rağmen, sıkılama konusunda, yeterli gelişme sağlanamamıştır. Bu anlamda alçı sıkılama umut veren bir yöntemdir. Snelling [1], iyi sıkılamanın %40 civarında verimlilik sağlayabileceğini belirtmektedir.

Sıkılama, patlatma deliğinin serbest yüzeye sınır olan kısmının patlayıcı olmayan bir madde ile tıkanarak,

patlayıcıdan elde edilen enerjinin, tıkama başarısına bağlı olarak, daha yüksek verimlilik oranıyla, kayacın kırılmasına yönlendirilmesi işlemidir [2]. İyi sıkılamanın en önemli faydası kayacın daha iyi kırılmasıdır. Ancak iyi sıkılama, aynı zamanda daha iyi öteleme de sağlar. Bu da yükleme ve taşıma için avantaj sağlar.

Sıkılama malzemesi olarak delme makinesi pasası (taş tozu) veya kum-çakıl yaygın olarak kullanılmaktadır [3]. Taş tozu sıkılamanın tercih edilmesinin nedeni malzemenin, deliğin başında hazır olması, temini kolay ve herhangi bir masraf olmadan kullanılabilmesidir [4]. Bu yöntemde, patlatmadan elde edilen enerji, yüksek bir kayıp oranıyla atmosfere kaçarak kaybolmaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. Taş tozu sıkılamada sıkılama malzemesinin fıskırması [5].

Alçı sıkılama, delme patlatma maliyetlerinde %20- 30 kar sağlayabilmektedir [6]. Hem de daha iyi parçalanma sağlamıştır. Ne var ki, yeni bir uygulama için, teknik ve bilimsel verilerin yanında, firma sahibi ve uygulayıcılar için uygulamanın iyi bilinmesi, ergonomi ve psikolojik faktörler de önemlidir [7].

Alçı sıkılması deyiminden; su içine katılan alçının koyu ayran kıvamında hazırlanması ile elde edilen bulamacın, deliklere doldurularak, sertleşmesi yoluyla yapılan sıkılama ifade edilmektedir [8].

Sıkılamanın alçı ile yapılmasının kârlılığı çok sayıda bilimsel çalışmada, açıkça ortaya konmuştur. Ancak alçının elle hazırlanması ve birçok deliğe ayrı ayrı dökülmesi çok vakit alacağından bu sürecin bir makine yardımıyla gerçekleştirilmesi amaçlanmaktadır. Makine ile yapılan alçı sıkılama sayesinde zaman ve zahmet azalacaktır. Bu gelişmelerin zamanla adım adım ilerlemesi beklenmektedir.

2. Materyal ve Metot

Çalışmalar, halen faaliyette bulunan bir kireçtaşı ocağında gerçekleştirilmiştir [9]. Alçı ve taş tozu sıkılmalı atımda temel patlatma parametreleri Tablo 1'de belirtilmiştir.

Çalışmada, arazi uygulamaları için önceki çalışmalardaki en büyük sorunlardan biri, alçı su karıştırılması idi. Bu amaçla, araç aküsünden enerji alarak 220 V olarak çıkış sağlayan bir inverter ve şarjlı matkaplar kullanılmıştır.

2.1. Dinar Ocağı Uygulamaları

Daha önce patlatma yapılan kademelerde hafriyat çalışmaları devam etmekte olup, patlatma yapılacak

olan bölge en üst kademeyi teşkil etmektedir. Dolayısı ile de bâkir arazi şartlarında patlatma gerçekleştirilmiştir. Önceden alınmış dilimler ile düzgün serbest ayna yüzeyine doğru atım gerçekleştirildi. Ancak, hem alçı hem taş tozu sıkılmalı atımda, yataya yakın bir bakir arazi yüzeyinde delikler delinmiş ve patlatma gerçekleştirilmiştir.

Patlatma bölgesine taşınması kolay olsun diye basit alçı sıkılama makinesi, Şekil 2'deki gibi tekerlekli tasarlanmış ve ilk defa Dinar kireçtaşı ocağında kullanılmıştır. İki adet alçı torbası ve 42 litre su, 89 mm çapında ve toplam sıkılama boyu 1,5 metre olan 6 adet deliğe şarj edilmiştir. Karıştırma haznesi altında kalan ve bir aracın aküsünden inverter atacılığıyla elektrik alan bir küçük elektrik motoru karıştırmayı başarı ile gerçekleştirmiştir.

Makinenin alt kısmında bulunan çıkış borusu ile karışım deliklere şarj edilmek istenmiştir. Gravite yeterli gücü sağlayamadığından, son birkaç delik şarj edilememiştir. Bu yüzden kalan malzeme karıştırma haznesinden mekanik olarak elle boşaltılmıştır. Dolayısı ile boru içindeki ve makine dibindeki küçük bir miktar karışım işlem bitimine yakın zamanda tamamen donmuştur. Bu çalışmadan, şarjın gravite ile mümkün olmadığı anlaşılmıştır. Karıştırma kovası ile bu sorun aşmaya çalışılmıştır. Patlatma sonrasında ise Wipfrag Yazılımı ile yığınların parça boyut dağılımı karşılaştırılmıştır.



Şekil 2. Basit alçı sıkılama makinesi

Tablo 1. Temel patlatma parametreleri

Atım	Delik boyu (m)	Delik çapı (mm)	Sık. (m)	Anfo tüket. ((kg/de)	Dilim kalınl. (m)	Delikler arası mes.(m)	Özgül şarj (kg/m ³)	Spesif. delme (m/m ³)
Dinar taş tozu sık.	16	89	3	65	3	3	0,48	0,119
Dinar alçı sıkılama	16	89	1,5	72,5	3,45	3,45	0,41	0,090

Bunun yanında, Bozanönü kireçtaşı ocağında, ucuna karıştırma çırpanı takılı şarjlı matkap ile bu sefer alttan değil de üstten müdahale edilerek karıştırılan solüsyon, aynı şekilde alttan boru ile değil de üstten devirme yöntemiyle deliklere şarj edilmiştir (Şekil 3). Böylece alçının donma süresine kadar tüm işlemlerin gerçekleştirilmesi hedeflenmiştir. Bahçeköy olivin ocağında ise; 2 adet üstü açık ve silindirik metal düzener, dökme aparatı bulunan kovalar kullanılmıştır (Şekil 4 ve Şekil 5).



Şekil 3. Bozanönü kireçtaşı ocağı alçı sıkılama uygulaması



Şekil 4. Birinci tip kova ile delik başında alçı ve su karışımının hazırlanması ve deliğe şarjı

Taşıma kolaylığı açısından iki tarafta kulpu bulunan daha küçük kapasiteli kova kullanılmıştır. Böylece daha başarılı bir şekilde alçı sıkılama uygulanabilmektedir. Alçı çuvaları alt kısımlarından bir miktar yırtıldıktan sonra yavaş yavaş suyun içine karıştırılmıştır. Senkronize olarak da şarjlı çırpanlar

yardımı ile karıştırılarak solüsyon hazırlanmıştır. Söz konusu karışım hemen deliklerin başında hazırlanmış olup, hazırlanan solüsyon, derhal deliklere bir huni yardımıyla dökülmüştür. Sonrasında ise sıkılama makinesi ve ekipmanlar bölgeden uzaklaştırılmıştır. Bu süre, alçının kuruması için yeterli zaman sağlamaktadır.

Daha iyi mekanik özellik taşıyan bir alçı tıkaçı oluşturmak için; üzerinde yaklaşık 30 kg yazan alçı çuvaları tartılmalıdır. Örneğin 30,7 kg'lık çuval için 21 litre değil 21,5 litre su kullanılmalıdır (10 kg alçıya 7 litre su oranına göre).



Şekil 5. Bahçeköy'de kullanılan ikinci tip kova

3. Bulgular

Basit alçı sıkılama makinesi ile ilk çalışmada, karıştırma başarıyla gerçekleştirilmiş ne var ki, deliğe şarj başarılı olmamıştır. Bu yüzden alternatif karıştırma ve şarj yöntemleri araştırılmıştır.

Çalışmalar boyunca, daha önce karşılaşılan [5] alçı ve yan kayacın birlikte kopması olayı ile karşılaşmıştır (Şekil 6). Bu, ideal sıkılama anlamına gelmektedir.



Şekil 6. Atım sonrası olivin kayacı ile birlikte hareket eden alçı - yan kayaç kütlesi

Alçı sıkılmalı atımlar % 15 civarı fazla dilim kalınlığı ve deliklerarası mesafe uygulanmıştır. Böylece alçı sıkılama birim delikten daha fazla ürün alınmıştır (yaklaşık % 30 daha fazla). Aslında alçı sıkılama yönteminin temel avantajı da budur. Yani, aynı delikle, daha fazla ürün (bu çalışmada %15 dilim kalınlığı ve deliklerarası mesafe artışı ile yaklaşık %30 fazla patlatılmış kayaç) almaktır. Sıkılama

boyunun düşmesi ile 1,5 m fazladan yapılan Anfo şarjı delik başına 7,5 kg'lık fazla şarj demektir. Bu fazlalık, yaklaşık %5 delme- patlatma maliyetine karşı gelmektedir.

Dinar kireçtaşı ocağına ait maliyet analizi Tablo 2'de verilmiştir. Maliyet konusunda, ideal olan, her iki sıkılama yönteminde 55'er delik patlatılarak karşılaştırmaktır. Ne var ki, alçı sıkılamayı 55 deliğe uygulamak zordur. Bu yüzden alçı sıkılamalı atımda 6 delik patlatılmıştır. Bu yüzden 55 deliğe uyarlanmış bir maliyet hesaplanmıştır (örneğin ateşleyici elektrikli kapsül maliyeti 55 deliğin 6 deliğe oranıyla verilmiştir). Bir başka deyişle, 55 deliklik bir alçı sıkılma yapılsaydı, birim ürün için Tablo 2'de belirtilen maliyet oluşacaktı.

Tablo 2. Dinar kireçtaşı ocağına ait maliyet analizi

Malzemeler	Maliyet (TL)	
	Taş Tozu (55 delik)	Alçı (6 delik)
Anfo	16463,65 (65x55x4,61)	2003,27 (72,5x6x4,61)
Nonel (Yüzey + delik içi)	2505,11 (45,55x55)	273,29 (45,55x6)
Adi kapsül	12,17	1,33
Dinamit	415,02 (7,55x55)	45,28 (7,55x6)
Akaryakıt Maliyeti	3669,38	400,3
Delici Makine Kirası	11000	1200
Alçı, su ve işçilik	-	100
Zil Teli	157,79	17,21
Ruhsat Takip Masrafları	180,33	19,67
Hizmet Bedeli	90,16	9,84
Ulaşım Giderleri	901,64	98,36
Bit Ucu	2714,93	296,17
Arıza Giderleri	180,33	19,67
Patlayıcı Nakliye Giderleri	180,33	19,67
Delici Rock nakliye Giderleri	450,82	49,18
Toplam Maliyet	38921,66	4553,24
	m³	
Atım Kütlelerinin Yerinde Hacmi	7425 (15x3x3x55)	1071 (15x3,45x3,45x6)
	TL/m³	
Birim Maliyet	5,24	4,25

Dinar kireçtaşı ocağında yapılan, sırasıyla alçı sıkılamalı ve taş tozu sıkılamalı atımlara ait gürültü ve titreşim ölçümü değerleri Ek A ve Ek B'de verilmiştir. Alçı sıkılamalı atımda her delik ayrı gecikme ile patlatılırken, taş tozu sıkılamada 1,2 veya 3 delik birim zamanda patlatılmıştır. Buna rağmen titreşim değerleri yakın seviyededir. Titreşim kaydı her iki atıma eşit olan bir noktadan ölçülmüştür.

Bilindiği üzere, alçı sıkılamada, sıkılama boyu küçülmüş ve patlayıcı şarj boyu dolayısıyla da miktarı artmıştır. Bu, birim zamanda patlayan patlayıcı miktarının artışı anlamına gelir. Önceki çalışmalarda

[3,6,10,11], artan patlayıcı ve oluşan titreşim bağıntısı;

$$SD = D/W^{(1/2)} \quad (1)$$

Formülüne [12] göre; fazla patlayıcının neden olması beklenen titreşim artışından kat kat fazla titreşim artışı ölçülmüştür. Bu da, alçı sıkılamasının daha iyi enerji kullandığını gösterir.

Atımların parça boyut analizi Wipfrag yazılımı ile yapılmıştır (Şekil 7 ve 8). Dinar atımları kümülatif elek üstü oranları Tablo 3'de verilmiştir. Bu tablodan, alçı sıkılamasının daha iyi parçalanma sağladığı görülmektedir. Örneğin 215 mm boyut için kümülatif elek üstü %47'den %70'e çıkmıştır. D₅₀ boyutu taş tozu sıkılama yönteminde 426 mm alçı sıkılama yönteminde ise da 206 mm'dir.



Şekil 7. Dinar ocağı taş tozu sıkılamalı atımın Wipfrag ile parça boyut analizi



Şekil 8. Dinar ocağı alçı sıkılamalı atımın Wipfrag ile parça boyut analizi

Tablo 3. Dinar atımları kümülatif elek üstü oranları

Tane Boyutu (mm)	Taş tozu sıkılamalı(%)	Alçı Sıkılamalı(%)
1000	14,4	0
681	34,5	0
464	47	6,8
316	58,8	21,3
215	70,2	47,4
147	81,6	67,8
100	90,6	80,1
68,1	96,2	88,1
46,4	98,6	93,2
31,6	99,5	96,9
21,5	99,8	98,8
14,7	99,9	99,5
10	99,9	99,8
6,81	100	99,9

Bu çalışmanın temel amacı yeni bir sıkılama yönteminin arazide uygulama zorluğunun aşılması olup, alçı sıkılama yönteminin kârlılığı çok sayıda çalışmada [3,5,6] net bir şekilde ortaya konmuştur. Benzer şekilde, birim zamandaki patlatılan patlayıcıya göre artan titreşim vb. ölçüm ve hesaplamalar açıkça ortaya konulmuştur [3,6,10,11].

4. Tartışma ve Sonuç

Alçı sıkılamanın patlatma randımanını yüksek seviyelerde arttırdığı önceki çalışmalardan da bilinmektedir. Çok sayıda çalışmada [3,4,5,6,10,13] alçı sıkılama ile başarılı sonuçlar alınmıştır. Ayrıca, numerik simülasyon ile de bu sonuç teyit edilmiştir [14].

Bu çalışmada ise alçı sıkılamanın makineyle yapılması ile uygulamadaki dezavantaj olan zaman ve zahmet sorunu için fayda sağlanmıştır. Sıkılamanın alçıyla yapılması sıkılama boyunu azalttığından patlayıcı şarjı bir miktar artmıştır. Böylece, delik başına Anfo miktarı artarken, patternin değişmesiyle birim kayaca düşen Anfo miktarı azalmış ve buna bağlı olarak patlatma başarısı da artmıştır. Ayrıca alçının kurumasıyla beraber yan kayaca kaynayan alçı Şekil 6'daki gibi kayaç ile birlikte hareket etmiştir. Bu da ideal sıkılama anlamına gelir. Tüm bu işlemlerde, bir takım basit ekipmanlarla daha hızlı, başarılı ve kolay bir şekilde alçı sıkılamanın uygulanabileceği anlaşılmıştır.

Bunların yanında taş tozu sıkılamanın yapıldığı patlatmalar ile karşılaştırmalar yapılmıştır. Buna göre alçı sıkılama ile daha iyi parçalanma daha ucuza mâl edilmiştir.

Özgül şarj ve spesifik delme oranı alçı sıkılama atım için, taş tozu sıkılama patlatmaya göre düşüş göstermiştir. Özgül şarj $0,48 \text{ kg/m}^3$ ' den $0,41 \text{ kg/m}^3$ 'e, spesifik delme de $0,119 \text{ m/m}^3$ ' dan $0,090 \text{ m/m}^3$ 'e düşmüştür.

Fakat alçı sıkılama işlemi kârlı ve başarılı olmasına rağmen kullanımının yaygınlaşmaması yöntemin tanıtılması ve benimsenmesi ile ilgili olduğu düşünülmektedir. Teknik ve ekonomik olarak açıkça kârlılığı bilinse de yeni bir yöntem için ergonomi, psikolojik ve sosyal etkiler de önemlidir [7].

Cazibeyle (yer çekimi) şarjın mümkün olmayacağı ve başka bir yolla şarj zorunluluğu arazi çalışmalarından anlaşılmıştır. Uygun kova ve huni yardımıyla bu sorun aşılabilmektedir.

Gelecek çalışmalarda daha profesyonel makinelerle alçının karıştırılarak deliğe şarj edilmesinin, yöntemin yaygınlaşmasına katkı sağlayacağı değerlendirilmektedir.

Teşekkür

Yazarlar, bu çalışmayı FYL-2018-5860 no'lu proje ile destekleyen SDÜ-BAP Koordinasyon Birimine ve yapıcı eleştirileri ile makalenin düzenlenmesine ve geliştirilmesine katkı sağlayan hakemlere teşekkür eder.

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] Snelling W, Hall C. 1912. The Effects of Stemming on the Efficiency of Explosives. USBM-TP, 17, 1-20.
- [2] Cevizci, H. 2010. Açık Ocak Patlatmalarında Sıkılama Parametresinin Patlatma Verimliliğine Etkisi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 98s, Isparta.
- [3] Cevizci, H. 2012. A Newly Developed Plaster Stemming Method for Blasting. The J. Of the South African Institute of Mining And Metallurgy, December, 1071-1078.
- [4] Cevizci, H. Özkahraman, H.T. 2012. The effect of blast hole stemming length to rockpile fragmentation at limestone quarries. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 53, 32-35.
- [5] Cevizci, H. 2013. A New Stemming Application for Blasting: A Case Study, Rem: Rew. Esc. Minas, Dec., 513-519.
- [6] Cevizci, H. 2014. Fragmentation, Cost and Environmental Effects of Plaster Stemming Method for Blasting at a Blast Quarry, Archives of Mining Science, 59(3), 837-848.
- [7] Rehman, A.U., Emad, M.Z., Khan, M.U. 2020. Role of Ergonomics in the Selection of Stemming Plugs for Surface Mining Operations, Archives of Mining Science, 65(1), 59-70.
- [8] Cevizci, H., Sakçalı, A., Akçakoca, H. 2013 Alçı Sıkılama Yöntemi ve Çevresel Etkileri. VII. Delme - Patlatma Sempozyumu, 7-8 Kasım, Eskişehir, 191-198.
- [9] Sürücüoğlu, H. 2019. Alçı Sıkılama Yöntemi için Arazide Uygulama Kolaylığının Araştırılması. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 75s, Isparta.

- [10] Cevizci, H. 2017. The Effect of Plaster Stemming for Large Hole Diameter Stripping Blasting: A Case Study. Proceedings of 25th International Mining Congress and Exhibition of Turkey, Chamber of Mining Engineers of Turkey, 11-14 April, Antalya, 333-339.
- [11] Cevizci, H. 2015. The environmental and ecological effects of plaster stemming method for blasting: A case study. *Ekoloji*, 24(95), 17-22.
- [12] Devine J., Beck R., Meyer A, Duvall W. 1966. Effect of charge weight on vibration levels from quarry blasting. USBM, Washington, 42s.
- [13] Pina, M. S. 2017. Análise da Eficiência do Desmonte de Explosivos com uso de Tampão não Convencional Rígido de Gesso, Universidade Federal de Pernambuco, Dissertações de Mestrado, Engenharia Mineral123p, Pernambuco, Recife, Brasil.
- [14] Cevizci, H. 2019 Comparison of the Efficiency of Plaster Stemming and Drill Cuttings Stemming by Numerical Simulation. *The Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy*, May, 160-165.

Ekler

Ek A. Dinar ocağı alçı sıklamalı atımın titreşim ve hava şoku verileri



Event Report

Date/Time Long at 12:47:29 October 9, 2018
 Trigger Source Geo: 0.510 mm/s, Mic: 19.1 pa.(L)
 Range Geo: 254 mm/s
 Record Time 3.875 sec (Auto=3Sec) at 4096 sps
 Job Number: 1

Serial Number BE14042 V 8.12-1.0 Minimate Blaster
 Battery Level 6.7 Volts
 Unit Calibration July 15, 2008 by Instantel Inc.
 File Name P042HMHQ.750

Notes

Location:

Client:

User Name:

General:

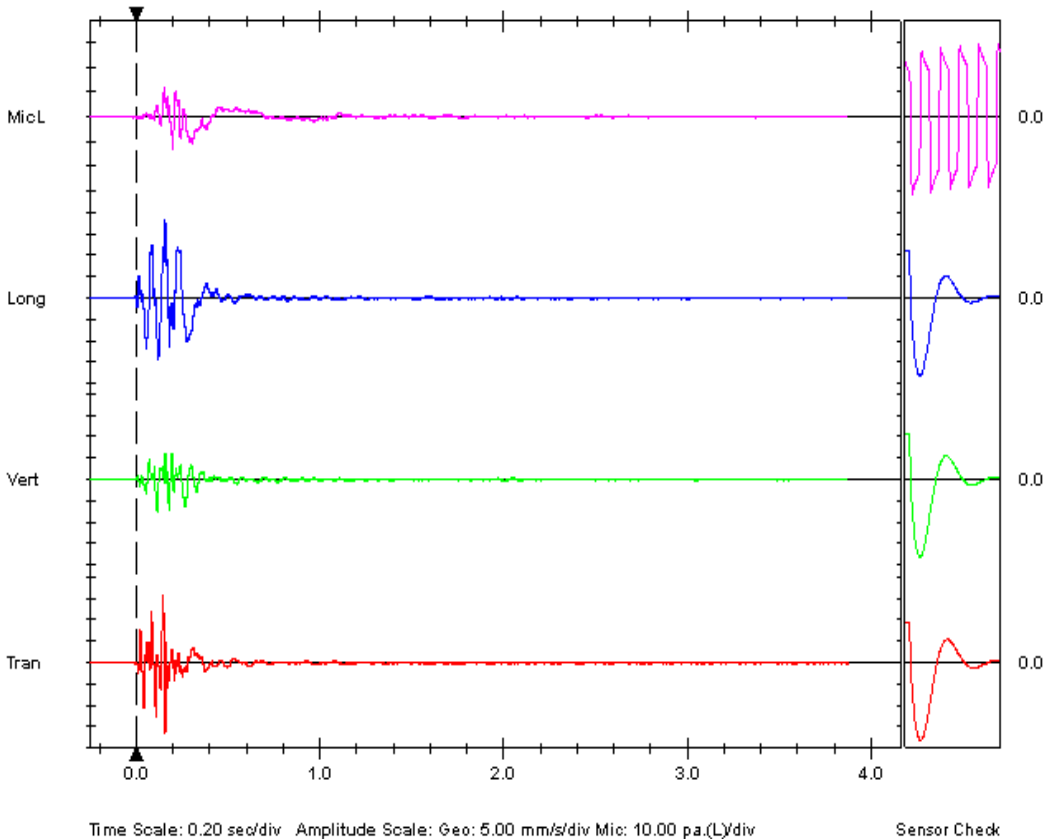
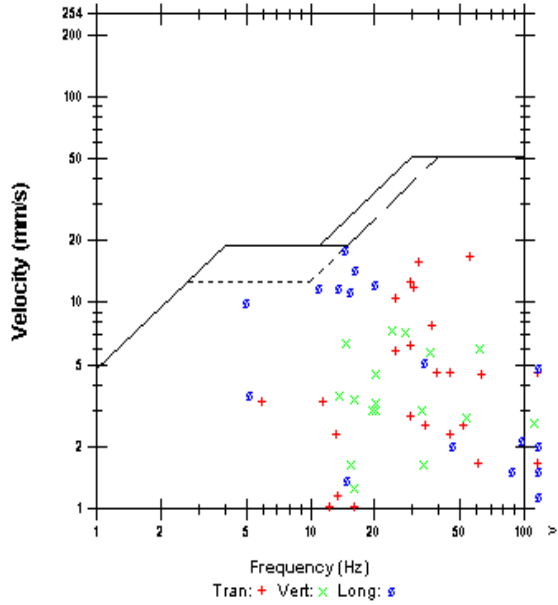
Extended Notes

Microphone Linear Weighting
 PSPL 13.0 pa.(L) at 0.199 sec
 ZC Freq 23.3 Hz
 Channel Test Passed (Freq = 20.5 Hz Amp = 540 mv)

	Tran	Vert	Long	
PPV	16.6	7.49	18.2	mm/s
ZC Freq	57	24.1	14.7	Hz
Time (Rel. to Trig)	0.158	0.115	0.157	sec
Peak Acceleration	0.689	0.265	0.689	g
Peak Displacement	0.0732	0.0677	0.248	mm
Sensor Check	Passed	Passed	Passed	
Frequency	7.3	7.6	7.6	Hz
Overswing Ratio	3.6	3.5	3.7	

Peak Vector Sum 24.0 mm/s at 0.158 sec

USBM R18507 And OSMRE



Time Scale: 0.20 sec/div Amplitude Scale: Geo: 5.00 mm/s/div Mic: 10.00 pa.(L)/div

Sensor Check

Ek B. Dinar ocağı taş tozu sıklamalı atımın titreşim ve hava şoku verileri



Event Report

Date/Time Long at 12:45:34 October 9, 2018
 Trigger Source Geo: 0.510 mm/s, Mic: 19.1 pa.(L)
 Range Geo: 254 mm/s
 Record Time 4.375 sec (Auto=3Sec) at 4096 sps
 Job Number: 1

Serial Number BE14042 V 8.12:1.0 Minimate Blaster
 Battery Level 6.8 Volts
 Unit Calibration July 15, 2008 by InstanTEL Inc.
 File Name P042HMHQ.3Y0

Notes

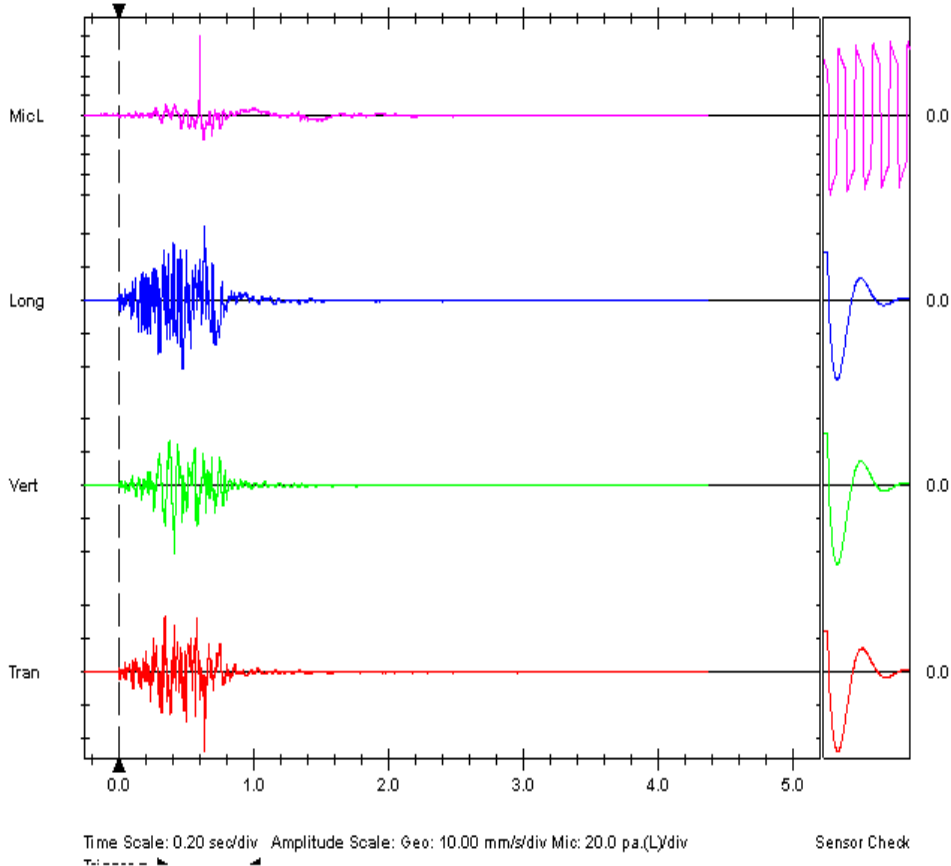
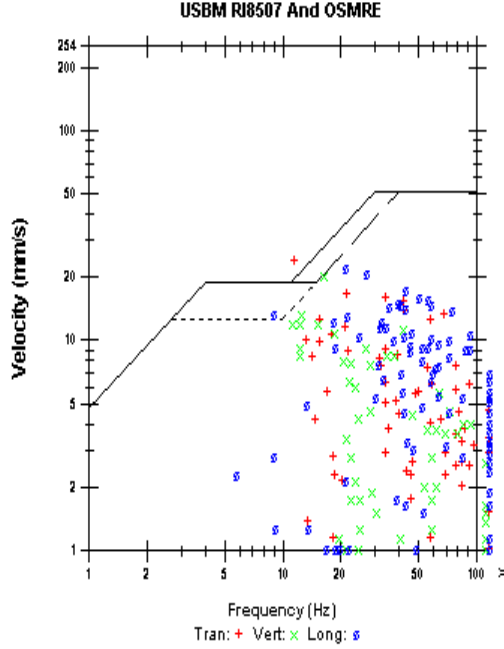
Location:
 Client:
 User Name:
 General:

Extended Notes

Microphone Linear Weighting
 PSPL 80.3 pa.(L) at 0.604 sec
 ZC Freq 23.0 Hz
 Channel Test Passed (Freq = 20.5 Hz Amp = 508 mv)

	Tran	Vert	Long	
PPV	24.0	20.4	22.1	mm/s
ZC Freq	11.6	16.4	21.3	Hz
Time (Rel. to Trig)	0.640	0.416	0.641	sec
Peak Acceleration	0.848	0.477	0.795	g
Peak Displacement	0.157	0.155	0.248	mm
Sensor Check	Passed	Passed	Passed	
Frequency	7.3	7.7	7.6	Hz
Overswing Ratio	3.6	3.5	3.8	

Peak Vector Sum 32.1 mm/s at 0.640 sec



İnşaat Asansörleri İstikamet Makaralarında Kullanılan Farklı Çelik Malzemelerin Aşınmalarının İncelenmesi

Ünal KILINÇ¹, Şevki Yılmaz GÜVEN²

^{1,2}Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 32040, Isparta, Türkiye

(Alınış / Received: 20.01.2020, Kabul / Accepted: 06.01.2021, Online Yayınlanma / Published Online: 15.04.2021)

Anahtar Kelimeler

Aşınma,
Yorulma aşınması,
Makara,
İnşaat asansörü

Özet: Bu çalışmada, inşaat yük asansörlerinin istikamet makaralarında farklı çelik malzemelerin kullanılmasının, makara üzerinde oluşan aşınma miktarına etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır. Çalışmada, inşaat yük asansörlerinin istikamet makaralarında kullanılacak en uygun malzemeyi seçmek hedeflenmiştir. İstikamet makaraları, SAE (AISI) 4140, SAE (AISI) 8620 ve SAE (AISI) 1040 çeliklerinden imal edilerek yağsız kuru sürtünme şartlarında aşınmaya maruz bırakılmıştır. İmal edilen istikamet makaraları farklı noktasal temas sayılarında test edilmiştir. Aşınan yüzeyler ve aşınma partikülleri fiziksel olarak incelenmiştir ve aşınma mekanizması tespit edilmiştir. Bir hassas terazi yardımıyla aşınmadan kaynaklanan ağırlık kaybı ölçülmüştür. Ölçülen ağırlık miktarları, çelikler arasında karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak, inşaat yük asansörlerinde kullanılan istikamet makaralarında aşınma mekanizması, yorulma aşınması olarak saptanmıştır. Sertlik değerlerinin yakın olmasına rağmen, aşınma miktarları farklı bulunmuştur.

Investigation of The Wear of Different Steel Materials Used on the Direction Rollers of Construction Hoists

Keywords

Wear,
Pitting wear,
Roller,
Construction hoist

Abstract: In this research, it is aimed to investigate the effect of the use of different steel materials on the direction pulleys of construction hoists on the amount of wear on the pulley. In this study, it is aimed to select the most suitable material to be used in the direction pulleys of construction hoists. Direction rollers are manufactured from SAE (AISI) 4140, SAE (AISI) 8620 and SAE (AISI) 1040 steels and exposed to wear in dry oil-free friction conditions. The direction rollers manufactured have been tested at different point contact numbers. Abrasive surfaces and wear particles were physically examined and the wear mechanism was determined. Weight loss due to wear was measured with the aid of a precision scale. The measured weights are compared between steels. As a result, the wear mechanism in the direction rollers used in construction hoists has been determined as fatigue wear. Although the hardness values are close, the wearing amounts were found different.

1. Giriş

İnşaat asansörleri istikamet makaraları, inşaat asansörlerinin önemli parçalarından birisidir. Asansörün istenilen yönde raydan ayrılmadan ilerlemesi ve üzerindeki personeli ve yükü güvenli bir şekilde taşıyabilmesi için istikamet makaralarının performansı önemli bir kriterdir.

İnşaat sektörü ülkenin önde gelen sektörlerinden birisidir. Her sektörde olduğu gibi bu sektörde de güvenlik ve hız çok önemli bir faktördür. İnşaat çalışmalarının güvenli ve hızlı bir şekilde

ilerleyebilmesi için birçok makineye ihtiyaç vardır. Bu makinelerden biri de inşaat yük asansörleridir. Personellerin güvenli bir şekilde seyredebilmesinde ve inşaat için kullanılan malzemelerin hızlı ve güvenli bir şekilde taşınabilmesinde bu tür asansörlerin kullanılması kaçınılmazdır.

Günümüzde yük asansörleri sadece inşaat sektöründe kullanılmakla kalmayıp termik santrallerin bacalarında, fabrikalarda, köprü ayakları ve depo gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Giderek kullanımı artan bu asansörlerin deformasyona maruz kalan ekipmanlarının başında istikamet makaraları

gelmektedir. Üretici firmaların makara malzeme seçiminde yanlış karar vermesi, makaraların periyodik muayeneden önce deformasyona uğramasına sebep olmaktadır. Bu durum da periyodik muayene maliyetlerinin artması ve daha önemlisi makara deformasyonlarına bağlı olarak asansör kazalarına neden olmaktadır. Asansör kazalarında maliyetler olarak can kayıpları, işgücü kayıpları, tedavi masrafları, ölüm ve iş kaybı tazminatları, yeniden servise alma maliyetleri ile sektöre oluşan güvensizlik ve psikolojik zararlar sayılabilir [1].

Bu çalışmanın amacı, inşaat yük asansörlerinin istikamet makaralarında farklı çelik malzemelerin kullanılmasının, makara üzerinde oluşturduğu aşınma miktarının incelenmesi ve en uygun makara malzemesinin saptanabilmesidir. Çalışmada, istikamet makarasının aşınma mekanizması tespit edilerek, farklı çeliklerin bu aşınma mekanizması altında ne kadar ağırlık kaybı yaşayacağını tespit etmek amaçlanmaktadır. Bu sayede inşaat yük asansörlerinde kullanılacak en uygun makara malzemesi saptanması amaçlanmıştır.

Aşınmanın tanımı, en genel haliyle mekanik veya kimyasal etkilerden dolayı malzeme üzerinden istenmeyen partikül kaybıdır. Bu genel tanımdan farklı olarak aşınmanın birçok farklı tanımı yapılmıştır [2].

Adhezif aşınma; Yüzeylerin birbiri ile teması sonucu adhezyon oluşur [3]. Buna mikro sürtünme kaynağı denir [4]. Hareketin devam etmesiyle mikro sürtünme kaynağı ile bağlanan parçaların bağlantı noktalarında kopmalar meydana gelir.

Abrasif aşınma; İki yüzey arasına dışarıdan çevresel etkilerle girmiş, eşit sertlikte ya da daha sert yabancı maddelerden kaynaklanan aşınma türüdür [2].

Yorulma ve tabakalı (delaminasyon) aşınma; Adhezif ve Abrasif aşınma mekanizmalarında sürekli bir temas söz konusudur. İki makine elemanının çevrimsel bir teması söz konusu olduğu durumlarda gerçekleşen aşınma türüne Yorulma Aşınması adı verilmektedir [3].

Yorulma aşınmasının bir şekli olan tabakalı (delaminasyon) aşınma, yüzey temas noktalarının birbirleri üzerinde sürekli hareketi sonrasında oluşan bir aşınma türüdür [3].

Korozif aşınma; Makine elemanlarının dış ortam ile "kimyasal ve elektrokimyasal" olarak etkileşimlerinden meydana gelen bir aşınma türüdür. [2]. Korozif aşınma kendi başına olabileceği gibi diğer aşınma mekanizmalarıyla birlikte de meydana gelebilir [5]. Ana tanım olarak, bu aşınma mekanizması aşınan malzeme ile aşındırıcı malzeme

(kimyasal madde, reaktif yağlayıcı ya da oksijen gibi) arasındaki bir kimyasal tepkimedir [6].

Erozyon aşınması; Erozyon aşınması, aşındırıcı partikülün, aşınan malzemelere sürekli olarak çarpmasıyla yüzeyden parça kopmasıdır. Aşındırıcı partikül, sıvı veya katı halde olabilir. Erozyon aşınması aşındırıcı partikülün ağırlığı, yüzeye çarpma derecesi, yüzeye çarpış hızı ve aşındırıcı partikül ve aşınan parçanın türüne göre farklılık gösterir [3].

2. Materyal ve Metot

Bu çalışma, inşaat yük asansörlerinin istikamet makaralarında farklı çelik malzemelerin kullanılmasının makara aşınmasına etkisinin incelenmesi amacı ile yapılmıştır.

Çalışmalarda SAE (AISI) 4140, SAE (AISI) 8620 ve SAE (AISI) 1040 kalitesinde 3 farklı çelik kullanılmıştır. Her çelik türünden 4'er adet olmak üzere toplamda 12 adet makara numuneleri hazırlanmıştır.

Tablo 1.'de numunelerin yapımında kullanılan çeliklerin kimyasal bileşimi, Tablo 2.'de numunenin yapımında kullanılan çeliklerin mekanik özellikleri verilmiştir.

Tablo 1. Çeliklerin Kimyasal Bileşimi (Ağırlıkça) [7, 8, 9].

ÇELİK	%C	%Si	%Mn	%Cr	%Mo	%Ni
SAE 4140	0,43	0,23	0,86	0,96	0,200	0,12
SAE 8620	0,23	0,31	0,85	0,55	0,22	0,53
SAE 1040	0,43	0,15	0,71	0,02	0,004	0,05

Tablo 2. Çeliklerin Mekanik Özellikleri [7, 8, 9].

ÇELİK	Sertlik (HB)	Akma Sınırı	Çekme Sınırı
SAE 4140	212	570-770 N/mm ²	850-1000 N/mm ²
SAE 8620	217	385 N/mm ²	530 N/mm ²
SAE 1040	220	361 N/mm ²	600 N/mm ²

2.1. Test numunelerinin hazırlanması

Deneyisel çalışmada test edilecek olan istikamet makaralarının numunelerinin hazırlanmasında kullanılan yöntem şu aşamalarda ilerlemiştir.

- Bilgisayar ortamında Solidworks 2018 programı kullanılarak istikamet makaralarının 3 boyutlu tasarımı yapılmıştır.
- Tasarıma uygun halde imal edilebilmesi için AYDINLAR MAKİNE METAL SAN. VE TİC. LTD. ŞTİ.' den SAE (AISI) 4140, SAE (AISI) 8620 ve SAE (AISI) 1040 kalitesinde 3 farklı çelik, Çapı 85 mm boyu 42 mm olarak temin edilmiştir.
- İstikamet makaraları Ankara Ostim'de bulunan FEN-İŞ MAKİNE İNŞAAT TURİZM MÜHENDİSLİK SAN. TİC. LTD. ŞTİ. firması bünyesindeki TOSS Sn 55 marka Torna Tezgahında makara formuna uygun elmas uç kullanılarak imal edilmiştir.

2.2. Test cihazının hazırlanması

İstikamet makaralarının deneyinin yapılacağı test düzeneği bilgisayar ortamında Solidworks 2018 programı kullanılarak 3 boyutlu olarak tasarlanmıştır. Test düzeneğinin boruları ve profilleri kesilmiştir. Önceden hazırlanan kaynak kalıpları yardımıyla, test düzeneği, tasarlanan ölçülerde puntalanmış ve kaynağı tamamlanmıştır. Kaynak işlemi biten test cihazı üzerine Max-Extra 250/500 kg marka-model, 1020 Watt, çıkış devri 35 d/dk motor ve bu motor üzerine 5 modül kremayer dişli ve 18 diş pinyon dişli yerleştirilmiş ve sistemin üretim süreci Şekil 1.'deki gibi tamamlanmıştır.



Şekil 1. Test Düzeneği

2.3. Yöntem

- Tasarımı yapıp imal edilen test düzeneği Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Laboratuvarına kurulmuştur.
- Bütün istikamet makaraların aşınma testleri aynı yüzey gerilmesi altında yapılmıştır. İstikamet makaralarının mast ile temas noktasındaki yüzey gerilme miktarı Solidworks 2018 programı yardımı ile sonlu elemanlar metodu kullanılarak tespit edilmiştir. Yüzey gerilme miktarı $5.081 \text{ E}+7 \text{ N/m}^2$ yani $50,81 \text{ N/mm}^2$ dir.
- Tüm makaralar numaralandırılmıştır. 1, 2, 3 ve 4 numaralı makaralar SAE (AISI) 4140, 5, 6, 7 ve 8 numaralı makaralar SAE (AISI) 1040 ve 9, 10, 11 ve 12 numaralı makaralar SAE (AISI) 8620 kalite çelikten yapılan istikamet makaralarıdır.

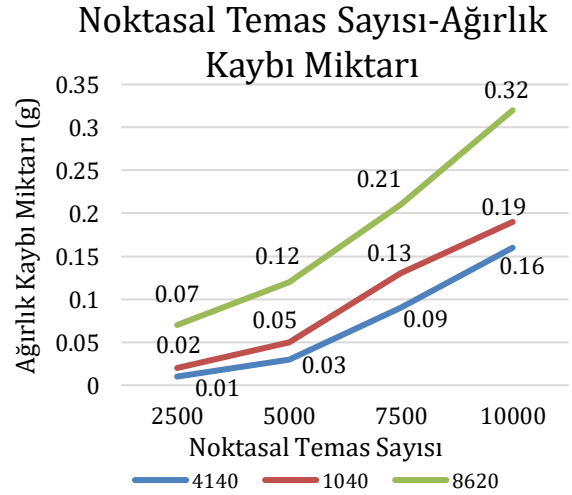
- Çalışmadan önce tüm makaraların ağırlıkları ölçülmüştür. 1, 5 ve 9 numaralı makaralar sisteme montajlanıp 2500 adet noktasal temas sayısında çalıştırılmıştır. Çalışmadan sonra makaralar titiz bir şekilde sökülülmüştür. Sökülen makaralar bir fırça yardımıyla metil alkol kullanılarak temizlenmiş, kuruması beklenmiş ve PRECISA LX3200C SCS marka hassas terazi ile ölçülmüştür.
- Bu işlem sırası 2 ,6 ve 10 numaralı istikamet makaraları için 5000 adet, 3, 7 ve 11 numaralı istikamet makaraları için 7500 adet ve 4, 8 ve 12 numaralı istikamet makaraları için 10000 adet noktasal temas sayısında yapılmıştır.

3. Bulgular

Deney numuneleri Süleyman Demirel Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümünde kurulan aşınma test cihazı ile deneylere tabi tutulmuştur. 3 farklı çelik, test cihazı üzerinde 2500, 5000, 7500 ve 10000 adet noktasal temas yapacak şekilde 50.81 N/mm^2 lik yüzey gerilmesi altında yağsız kuru sürtünme şartlarında aşınmaya maruz bırakılmıştır.

3 farklı çeliğin noktasal temas miktarlarına bağlı olarak, çeliklerde meydana gelen aşınma miktarlarının dağılımı Tablo 3.'de gösterilmiştir.

Tablo 3.'deki ağırlık kayıplarından hareketle çeliklerin noktasal temas miktarlarına bağlı olarak ağırlık kayıp miktarlarının değişim grafiği Şekil 2.'de verilmiştir.



Şekil 2. Çeliklerin ağırlık kaybı değişim grafiği

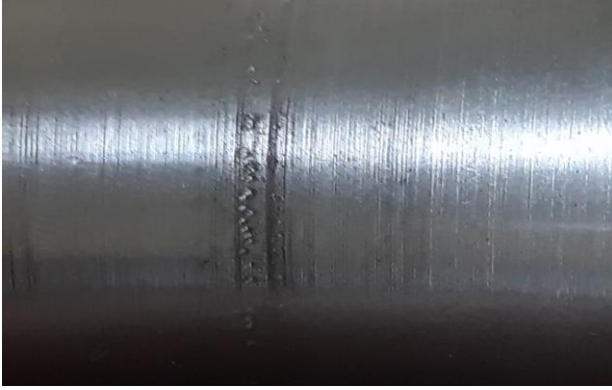
Tablo 3. Çeliklerin noktasal temas miktarlarına bağlı olarak ağırlık kayıpları

	2500 Noktasal Temas Ağırlık Kaybı Miktarı	5000 Noktasal Temas Ağırlık Kaybı Miktarı	7500 Noktasal Temas Ağırlık Kaybı Miktarı	10000 Noktasal Temas Ağırlık Kaybı Miktarı	Toplam Ağırlık Kaybı Miktarı
SAE (AISI) 4140	0,01	0,03	0,09	0,16	0,29
SAE (AISI) 8620	0,07	0,12	0,21	0,32	0,72
SAE (AISI) 1040	0,02	0,05	0,13	0,19	0,39

SAE (AISI) 4140, SAE (AISI) 1040 ve SAE (AISI) 8620 çeliklerinin 10000 noktasal temas sayısının ardından yüzeylerinde meydana gelen aşınmaların görünümleri sırasıyla Şekil 3., Şekil 4. ve Şekil 5.'de belirtilmiştir.



Şekil 3. SAE (AISI) 4140 çeliğinin 10000 noktasal temas sonucunda yüzey görünümü



Şekil 4. SAE (AISI) 1040 çeliğinin 10000 noktasal temas sonucunda yüzey görünümü



Şekil 5. SAE (AISI) 8620 çeliğinin 10000 noktasal temas sonucunda yüzey görünümü

4. Tartışma ve Sonuç

Çalışmasında, inşaat asansörleri istikamet makaraları imalatında farklı çelik malzemelerin kullanılmasının aşınma üzerine etkisi deneysel çalışma ile saptanmaya çalışılmıştır. SAE (AISI) 4140, SAE (AISI) 8620 ve SAE (AISI) 1040 çelikleri kullanılarak imal edilen 12 adet istikamet makarası test cihazında yağsız kuru sürtünme şartlarında aşınmaya maruz

birakılmıştır. Deneyde kullanılan istikamet makaralarının testleri 50,81 N/mm² yüzey gerilimi altında yapılmıştır. Bütün makaralar 2500, 5000, 7500 ve 10000 adet noktasal temasta çalıştırılmasından sonra, tartımdan önce yüzeydeki aşınma tozlarının olumsuz etkisine karşı metil alkol ile temizlenmiştir. Aşınma sonucu ortaya çıkan aşınma tozları fiziksel olarak, boyut ve şekil açısından incelenmiş olup, herhangi bir ölçüme gerek görülmemiştir. Hassas terazi yardımıyla tüm makaraların ağırlıkları 2500, 5000, 7500 ve 10000 adet noktasal temas sayısı için tartılmıştır ve aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

- Birbirleri ile sürekli temas halindeki yüzeylerde, yüzeyin hemen altında bir çatlak oluşması ve çatlakın yüzeye kadar ilerlemesi ile bir parçanın kopması söz konusudur. Bu kopma ile karakterize edilen aşınma türü, yorulma aşınması olarak ifade edilmektedir. [10, 5]. Çalışmada kullanılan istikamet makaralarında aşınma mekanizması yorulma aşınması olarak tespit edilmiştir. Tunna vd. (2007) demiryollarında yaptığı çalışmada tekerlek üzerinde yorulma aşınması meydana geldiğini bulmuşlardır.
- Yaptığımız çalışmada, aşınma partiküllerinin kontrolü ve aşınan yüzeylerin incelenmesi neticesinde, aşınma mekanizması olarak yorulma aşınmasının meydana geldiği tespit edilmiştir.
- SAE (AISI) 4140 çeliğinden imal edilen istikamet makaralarının 2500, 5000, 7500 ve 10000 noktasal temasından sonra meydana gelen aşınma ağırlık kaybı miktarı sırasıyla 0,01, 0,03, 0,09 ve 0,16 gr bulunmuştur.
- SAE (AISI) 8620 çeliğinden imal edilen istikamet makaralarının 2500, 5000, 7500 ve 10000 noktasal temasından sonra meydana gelen aşınma ağırlık kaybı miktarı sırasıyla 0,07, 0,12, 0,21 ve 0,32 gr bulunmuştur.
- SAE (AISI) 1040 çeliğinden imal edilen istikamet makaralarının 2500, 5000, 7500 ve 10000 noktasal temasından sonra meydana gelen aşınma miktarı sırasıyla 0,02, 0,05, 0,13 ve 0,19 gr bulunmuştur.
- Artan noktasal temas sayısı ile tüm istikamet makaralarındaki aşınma miktarlarında da artış görülmektedir.
- Sertlikleri birbirine çok yakın olmasına rağmen, bu sonuçlar göz önünde alındığında, aynı şartlar altında gerçekleştirilen deneylerde istikamet makaraları arasında aşınma ağırlık kaybı miktarı toplamı en fazla 0,72 gr ile SAE (AISI) 8620 çeliğinde görülmüştür. İkinci olarak 0,39 gr ile SAE (AISI) 1040 çeliği ve en az aşınma miktarı 0,29 gr ile SAE (AISI) 4140 çeliğinde tespit edilmiştir.

- Soydan vd. (2008) yapmış oldukları çalışmada, farklı çelikleri (SAE (AISI) 1050, SAE (AISI) 4140 ve SAE (AISI) 8620) aşınmaya maruz bırakmışlardır. Bunun sonucunda sertlikleri aynı olmasına rağmen çok farklı aşınma miktarları bulmuşlardır. Bu sonucu da malzemelerin kimyasal uyumsuzluğuna bağlamışlardır [11].

SAE (AISI) 4140 çeliğinde 10000 noktasal temas sayısındaki aşınma miktarı 0,16 gram bulunmuştur. SAE (AISI) 8620 çeliğinde ise 10000 noktasal temas sayısındaki aşınma miktarı 0,32 gram bulunmuştur. SAE (AISI) 8620 çeliğinin %Ni miktarı %0,53'dür. SAE (AISI) 4140 çeliğinde %Ni miktarı SAE (AISI) 8620 çeliğine göre düşük olup %0,12 dir. Bu durumda nikelin, tokluk üzerine etkisi pek fazla olmayıp, aşınma dayanımını etkilememiştir. SAE (AISI) 4140 çeliğinde karbon ve krom miktarları sırasıyla %0,43 ve %0,96 olup SAE (AISI) 8620 çeliğinden daha yüksektir. Karbon ve kromun fazla olmasının aşınma direncini olumlu yönde etkilediği görülmüştür.

Pahalı çelik kullanım yerine, aynı görevi yapacak daha ucuz çelik malzeme kullanılabilceğinin gösterilebileceği, tezin amaçları içerisinde yer almıştır. Deneylerde kullanılan çelik çeşitleri için fiyat araştırması yapılmış olup SAE (AISI) 4140 çeliği ile SAE (AISI) 1040 çeliğinin kilogram fiyatları 7-8 TL arasında, SAE (AISI) 8620 çeliğinin ise kilogram fiyatının 11 TL civarında olduğu görülmüştür.

Sonuç olarak, inşaat asansörleri istikamet makaralarında, bu 3 farklı çelik malzemeden en az aşınma miktarına sahip ve fiyat açısından uygun olan SAE (AISI) 4140 çeliğinin kullanılmasının uygun olduğu görülmüştür. Bu sonuçtan hareketle, inşaat yük asansörlerinde periyodik kontrollerden önce istikamet makaralarının aşınmasının önüne geçilebilecek ve olası iş kazalarının önlenmiş olacağı düşünülmektedir.

Teşekkür

2210-C 2018/2 Yurt İçi Öncelikli Alanlar Yüksek Lisans Burs Programı kapsamında burs vererek maddi destek sağlayan Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu'na (TÜBİTAK) teşekkür ederim.

Kaynakça

- [1] Ünal, M. Ö., Aykaç, B. 2010. Yapı İşlerinde Asansör Kazaları ve Güvenlik Önlemleri. International Journal of Engineering Research and Development, 2(2), 13-19.
- [2] Özmen, Y., Aksoy, T., Can, A. 1991. Aşınmaya Etki Eden Faktörler ve Aşınmanın Azaltılması İçin Alınabilecek Tedbirler. 4. Denizli Malzeme Sempozyumu, Denizli, 651-663.
- [3] Koraman, E. 2011. Al-Fe-V-Si Alaşımlarının Yüksek Sıcaklık Aşınma Özelliklerinin

İncelenmesi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 87 s, İstanbul.

- [4] Şahin, S. Yorulma ve Aşınma. <https://docplayer.biz.tr/12772304-Doc-dr-salim-sahin-yorulma-ve-asinma.html>. (Erişim Tarihi : 03.12.2019).
- [5] Varol, T., 2016. Aşınma Deneyi. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Laboratuvar Föyü. Trabzon.
- [6] Çöl, M. N. 2013. Si3N4 Ve CNT Nano Partiküllerin Yağ Katkısı Olarak AISI 4140 Çeliğinin Aşınma Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 104 s, Eskişehir.
- [7] Asil Çelik Sanayi ve Ticaret A.Ş., 2019. Kalite Belgesi/Quality certificate. Rapor no:103012, 1s.
- [8] Asil Çelik Sanayi ve Ticaret A.Ş., 2019. Kalite Belgesi/Quality certificate. Rapor no:103243, 1s.
- [9] Aydınlar Mak. Met. LTD. ŞTİ., 2016. Kalite Belgesi/Mill Test Certificate. Rapor no:83816 1s.
- [10] Tunna, J., Sinclair, J., & Perez, J. 2007. A Review of Wheel Wear and Rolling Contact Fatigue. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit, 221(2), 271-289.
- [11] Soydan, Y., Köksal, S., Demirer, A., & Çelik, V. 2008. Sliding Friction and Wear Behavior of Pack-Boronized AISI 1050, 4140, and 8620 Steels. Tribology Transactions, 51(1), 74-81.

Parameter Estimation for Uniform-Geometric Distribution Based on Censored Sample

Mehtap Koca YILMAZ¹, Yunus AKDOĞAN^{*1}, Kadir KARAKAYA¹

¹ Selcuk University, Science Faculty, Department of Statistics, 42100, Konya, Turkey

(Alınış/ Received: 06.03.2020, Kabul/ Accepted: 11.01.2021, Online Yayınlanma/ Published Online: 15.04.2021)

Keywords

Uniform-Geometric distribution,
Maximum likelihood,
Modified maximum likelihood,
Method of moments,
Method of proportions.

Abstract: Recently, many new discrete distributions have been obtained. The uniform-geometric distribution is a newly obtained discrete distribution. In literature, parameter estimation is rare in the case of censored samples for new discrete distributions. In this study, the parameter estimation based on type-I censored sampling for the unknown parameter of the uniform geometric distribution is obtained using the maximum likelihood, methods of proportions, methods of moments, and modified maximum likelihood estimation methods. The performance of estimation methods is compared using the Monte Carlo simulation via biases and mean squared errors. Finally, two real data applications are given.

Düzens Geometrik Dağılımının Sansürlü Örneklem Durumunda Parametre Tahmini

Anahtar Kelimeler

Düzens Geometrik dağılım,
En çok olabilirlik,
Modifiye edilmiş en çok
olabilirlik,
Momentler yöntemi,
Oranlar yöntemi.

Özet: Son zamanlarda birçok yeni kesikli dağılım elde edilmiştir. Düzens geometrik dağılım, yeni elde edilen kesikli bir dağılımdır. Yeni kesikli dağılımlar için sansürlü örneklem durumunda parametre tahmininin eksikliği oldukça fazladır. Bu çalışmada düzens geometrik dağılımın bilinmeyen parametresi için tip-I sağdan sansürlü örnekleme dayalı parametre tahmini elde edilmiştir. Parametre tahmini en çok olabilirlik yöntemi, oranlar yöntemi, momentler yöntemi ve modifiye edilmiş en çok olabilirlik yöntemleri kullanarak elde edilmiştir. Yöntemlerin parametre tahminindeki performanslarını kıyaslamak için parametre tahminlerinden elde edilen yan ve hata kareler ortalaması Monte Carlo simülasyonu ile elde edilmiştir. Son olarak çalışmada gerçek iki veri uygulaması verilmiştir.

1. Introduction

In life testing experiments, the failure-time distribution is used to describe mathematically, the life of a machine, or an electronic device. The exponential, gamma, Weibull, and lognormal distributions are well-known in failure analysis. These models have been proposed by [1, 2]. However, it is challenging and unfeasible to evaluate the life-time of a unit in continuous-time. In practice, one can find situations in which a device's lifecycle is discrete random variables such as the number of shots of the copier until the toner runs out, electrical shocks that cause an electronic device to malfunction, the number of revolutions of a machine gear until it breaks down.

In recent years, popular discrete distributions (such as geometric, negative binomial, etc.) have been worked to model lifetime data. Still, popular discrete distributions have limited practicality as models for reliability. Therefore, there is a need to obtain more sensible discrete lifetime distributions to comply with diverse types of lifetime data. So, many discrete

lifetime distributions have been obtained with the discretized of the known continuous distributions in recent studies.

These studies are given as follows, Nakagawa and Osaki (1975) studied discrete Weibull (DW) distribution [3]. Stein and Dattero (1984) discretized other types of Weibull (DW2) distribution [4]. Discrete normal (DN) and Rayleigh (DR) distributions are considered by Dilip Roy [5, 6]. Krishna and Pundir (2009) discretized Burr (DB) and Pareto (DP) distributions [7]. Another continuous distribution, the inverse Weibull distribution, is discretized by Jazi et al. [8] as discrete inverse Weibull (DIW) distribution.

In recent studies, new discrete distributions have been obtained by compounding two discrete distributions. These studies are given by Hu et al. [9] and Déniz [10]. Also, Akdoğan et al. [11] proposed uniform-Geometric (UG) distribution by using this methodology. Finally, using the same method, Binomial-Discrete Lindley (BDL) distribution is suggested by Kuş et. al. [12]. Additionally, these authors have tried to determine

* Corresponding author: yakdogan@selcuk.edu.tr

the distributional characteristics of discrete distributions in recent years. Although there are so many new discrete distributions, the parameter estimation in the case of censored sampling has not been studied except for the discrete Weibull distribution.

Type-I censored sample is widely used in real life and is widely used in reliability analysis [13]. Sometimes the experiment may be limited in terms of time and cost when a lifetime is discrete. For example, if a three-year warranty is required for the life of a part, the test may not continue after three years, which is known as type-I right censored data. Kulasekera [13] studied the parameter estimation in the case of a censored sample for DW distribution.

In this study, the UG distribution introduced by Akdoğan et al. [11] is given in Section 2. In Section 3, method of moments (MM), maximum likelihood (ML), method of Proportion (MP), and modified maximum likelihood (MML) estimates of UG distribution parameter under the type I censored sample are obtained. The performance of the estimators in Section 4, according to the bias and mean square errors (MSE) criteria, are examined. In Section 5, two numerical examples are given to show the applicability.

2. Uniform-Geometric Distribution

Akdoğan et al. [11] defined the probability mass function (pmf) and cumulative distribution function (cdf) of the UG distribution as

$$f(t) = p(1 - p)^{t-1} \text{LerchPhi}[(1 - p), 1, t], t = 1, 2, \dots \quad (1)$$

and

$$F(t) = 1 - p(1 - p)^t \left[\frac{1}{p} - t \text{LerchPhi}(1 - p, 1, t + 1) \right] \quad (2)$$

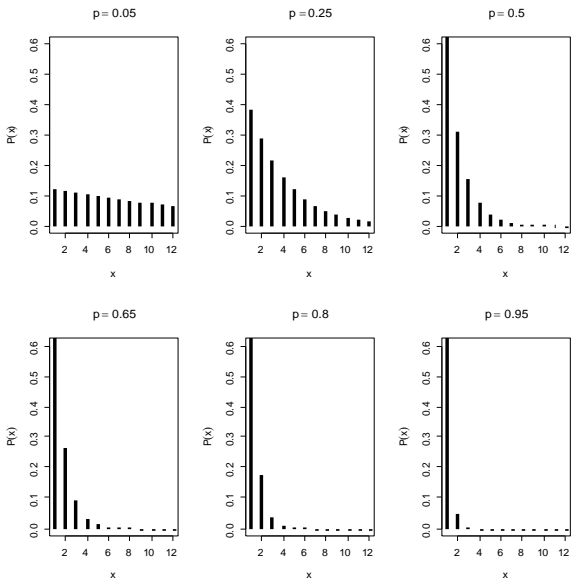


Figure 1. Plots for pmf of $UGD(p)$ distribution.

respectively, where $0 < p < 1$. It will be denoted as $UGD(p)$ and $\text{LerchPhi}(z, a, v)$ a Lerch zeta function is given by (see [14])

$$\text{LerchPhi}(z, a, v) = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{z^n}{(v + n)^a} \quad (3)$$

If T has the pmf given in Eq. (1), then it is denoted by $T \sim UGD(p)$. Figure 1, shows the graphs of the $UGD(p)$ for some different p .

3. Parameter Estimation Techniques

3.1. Maximum likelihood estimation

Let $T_1^0, T_2^0, \dots, T_n^0$ be i.i.d. observations from $UGD(p)$ and let each investigation be Type-I censored by K_1, K, K_n , respectively. So, we observe

$$T_i = \min(T_i^0, K_i), i = 1, 2, \dots, n \quad (4)$$

along with the indicator variables

$$\delta_i = \begin{cases} 1, & \text{if } T_i = T_i^0 \\ 0, & \text{o.w.} \end{cases} \quad (5)$$

Afterward, the log-likelihood function for $UGD(p)$ distribution based on the type-I censored sample is given by

$$\begin{aligned} \ell(p) &= \log \left\{ \prod_{i=1}^n f(t_i)^{\delta_i} (1 - F(t_i))^{1 - \delta_i} \right\} \\ &= \sum_{i=1}^n \delta_i \log(f(t_i)) + \sum_{i=1}^n (1 - \delta_i) \log(1 - F(t_i)) \\ &= \sum_{i=1}^n \delta_i \log(p(1 - p)^{t_i - 1} \varphi_i) \\ &\quad + \sum_{i=1}^n (1 - \delta_i) \log \left(p(1 - p)^{t_i} \vartheta_i \left[\frac{1}{p} - \vartheta_i \right] \right) \end{aligned} \quad (6)$$

The likelihood equation is given by

$$\frac{\partial \log(\ell(p))}{\partial p} = 0 \quad (7)$$

$$\begin{aligned} &\sum_{i=1}^n \delta_i \left[\frac{t_i(1 - p) + 2p - 1}{p(1 - p)} - \frac{1}{p(1 - p)\varphi_i} \right] \\ &\sum_{i=1}^n (1 - \delta_i) \left[\frac{p + p^2[t_i - 1 - (t_i + 1)\vartheta_i]}{p^3(1 - p) \left[\frac{1}{p} - \vartheta_i \right]} \right] \\ &+ \sum_{i=1}^n (1 - \delta_i) \left[\frac{t_i D(p)}{p} \right] = 0, \end{aligned} \quad (8)$$

where $\varphi_i = \text{LerchPhi}[(1 - p), 1, t_i]$ and $\vartheta_i = \text{LerchPhi}[(1 - p), 1, t_i]$. The solution of the likelihood equation Eq. (8) will provide the ML estimators of p . It will be denoted by \hat{p}_* . Iterative methods can be used for this purpose.

3.2. Method of proportions

The MP is proposed by Khan et al. [15] to estimate the parameters of DW distribution. Now we proposed the same method for $UGD(p)$ distribution. Let T_1, T_2, \dots, T_n be a random sample from $UGD(p)$ distribution and define indicator function,

$$v(T_i) = \begin{cases} 1, & T_i = 0 \\ 0, & T_i > 0 \end{cases} \quad (9)$$

then $Y = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n v(T_i)$ shows the proportion of 1's in the censored sample. The proportion Y is a consistent, unbiased estimator of the probability $f(1) = pLerchPhi[(1 - p), 1, 1]$. Therefore, an estimate p can be offered as

$$Y = p[LerchPhi(1 - p), 1, 1] = 0 \quad (10)$$

$$\frac{p \log(p)}{p - 1} - Y = 0 \quad (11)$$

the solution of Eq. (11) will provide the MP estimator of p . It will be denoted by \hat{p} .

3.3. Modified maximum likelihood estimation

Let T_1, T_2, \dots, T_n be a censored sample from $UGD(p)$ distribution and the log-likelihood function given by Eq. (6). The ML estimation of p is obtained by solving Eq. (8) for p . An iterative method to get the ML estimates. To avoid this duration, we used Kulasekera's [13] approximation in the following fashion. Assuming $K_i > 1, i = 1, 2, \dots, n$. Let $f(p) = LHS$ of Eq. (7). Then to achieve the ML estimator of p , the following equation should be solved:

$$f(p) = \frac{\partial \log(\ell(p))}{\partial p} = 0. \quad (12)$$

Eq. (12) can not be solved numerically. Now, instead of solving Eq. (12), one can solve the system

$$f(\hat{p}) + (p - \hat{p}) \left. \frac{\partial f}{\partial p} \right|_{p=\hat{p}} = 0 \quad (13)$$

where \hat{p} is the proportion estimate. The function f_1 all the partial derivative is evaluated at \hat{p} . This procedure gives an estimator, which is called MML estimator of p . It will be denoted by \hat{p} .

3.4. Methods of moments

To estimate the parameter of $UGD(p)$ distribution by this method, we need the first sample moments, which is given below:

$$p \sum_{x=1}^{\infty} t((1 - p)^{t-1}LerchPhi[(1 - p), 1, t]) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n T_i \quad (14)$$

ome numerical methods such as the Newton-Raphson method can be used to solve Eq. (14). The solution of Eq. (14) is the MM estimator \hat{p}_* of parameter p .

4. Simulation Study

In the simulation study, we have generated random samples and calculated the ML, MM, MML, and MP estimates of p and the performance of the estimators according to the bias and MSEs criteria are compared. In Tables 1-4, for different values of (n, p, K) , we calculated these criteria of parameter estimates over 5000 iterations. The MATLAB software is used in the simulation study.

Table 1. Biases and MSEs estimate for $p = 0.3$

n	K	MLE		MMLE	
		Bias	Mse	Bias	Mse
50	3	0.0675	0.0052	0.0811	0.0076
100	3	0.0669	0.0051	0.0808	0.0073
200	3	0.0273	0.0025	0.0174	0.0026
300	3	0.0228	0.0021	0.0031	0.0022
500	3	0.0112	0.0015	0.0013	0.0016
50	5	-0.0262	0.0035	-0.0285	0.0042
100	5	-0.0256	0.0021	-0.0284	0.0025
200	5	-0.0250	0.0014	-0.0282	0.0016
300	5	-0.0236	0.0012	-0.0281	0.0014
500	5	-0.0182	0.0010	-0.0251	0.0011
50	∞	0.0057	0.0024	0.0006	0.0025
100	∞	0.0030	0.0011	0.0005	0.0012
200	∞	0.0017	0.0006	0.0003	0.0006
300	∞	0.0012	0.0004	0.0003	0.0004
500	∞	0.0006	0.0002	0.0002	0.0002

Table 2. Biases and MSEs estimate for $p = 0.3$

n	K	MME		MPE	
		Bias	Mse	Bias	Mse
50	3	0.0052	0.0026	0.0041	0.0047
100	3	0.0010	0.0012	0.0011	0.0023
200	3	0.0006	0.0006	0.0008	0.0012
300	3	0.0005	0.0004	0.0005	0.0008
500	3	0.0004	0.0002	0.0004	0.0004
50	5	-0.0052	0.0026	0.0041	0.0047
100	5	-0.0015	0.0012	0.0011	0.0023
200	5	-0.0010	0.0006	0.0008	0.0012
300	5	-0.0006	0.0004	0.0005	0.0008
500	5	-0.0005	0.0002	0.0001	0.0005
50	∞	0.0035	0.0025	0.0025	0.0047
100	∞	0.0010	0.0012	0.0011	0.0023
200	∞	0.0007	0.0006	0.0008	0.0012
300	∞	0.0005	0.0004	0.0005	0.0008
500	∞	0.0004	0.0002	0.0001	0.0003

Table 3. Biases and MSEs estimate for $p = 0.8$

n	K	MLE		MMLE	
		Bias	Mse	Bias	Mse
50	3	0.0259	0.0106	0.0127	0.0049
100	3	0.0106	0.0030	0.0103	0.0026
200	3	0.0026	0.0012	0.0020	0.0012
300	3	0.0012	0.0009	0.0019	0.0009
500	3	0.0006	0.0005	0.0014	0.0005
50	5	0.0159	0.0080	0.0056	0.0060
100	5	0.0068	0.0025	0.0031	0.0025
200	5	0.0012	0.0012	0.0019	0.0012
300	5	0.0009	0.0008	0.0013	0.0008
500	5	0.0004	0.0005	0.0007	0.0005
50	∞	0.0094	0.0089	0.0085	0.0046
100	∞	0.0038	0.0024	0.0051	0.0024
200	∞	0.0016	0.0012	0.0023	0.0012
300	∞	0.0009	0.0008	0.0014	0.0008
500	∞	0.0003	0.0005	0.0005	0.0005

Table 4. Biases and MSEs estimate for $p = 0.8$

n	K	MME		MPE	
		Bias	Mse	Bias	Mse
50	3	0.0053	0.0047	0.0018	0.0055
100	3	0.0037	0.0024	0.0018	0.0028
200	3	0.0013	0.0012	0.0005	0.0014
300	3	0.0008	0.0008	0.0004	0.0009
500	3	0.0006	0.0005	0.0002	0.0006
50	5	0.0039	0.0048	0.0006	0.0056
100	5	0.0019	0.0024	0.0003	0.0029
200	5	0.0013	0.0012	0.0005	0.0014
300	5	0.0009	0.0008	0.0005	0.0009
500	5	0.0005	0.0005	0.0004	0.0006
50	∞	0.0067	0.0047	0.0033	0.0056
100	∞	0.0038	0.0024	0.0020	0.0028
200	∞	0.0016	0.0012	0.0009	0.0014
300	∞	0.0009	0.0008	0.0005	0.0010
500	∞	0.0003	0.0005	0.0001	0.0005

From Tables 1-4, one can see that all estimates are biased, but these estimates asymptotically unbiased. The MM and MP estimates are almost like in terms of MSE and both perform better than ML and MML estimates. Furthermore, when the sample size increases, the values of bias and MSE decreases.

5. Real Data Application

The first data set: This data set analyzed by [16]. The data has been integrated for 12 or more cycles, a total of 586 women. The first real data are given in Table 5.

Table 5. The fecundability data

Cycles	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11+
N	227	123	72	42	21	31	11	14	6	4	35

Table 6. Results of $UGD(p)$ for first real data

	Complete Data	$K = 3$	$K = 5$
ML	0.1889	0.1178	0.1485
MP	0.1883	0.1883	0.1883
MM	0.1784	0.1784	0.1784
MML	0.1889	0.1178	0.1485

The second data set: The second data set is given from Xie and Goh [17] and presents an industrial process. The data are:

1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 3 3 3 4 4 4 5 5 7
9 11 13 14 14 17 18 26 29.

Table 7. Results of $UGD(p)$ for second real data

	Complete Data	$K = 3$	$K = 5$
ML	0.0742	0.0469	0.0683
MP	0.0772	0.0772	0.0772
MM	0.0771	0.0771	0.0771
MML	0.0742	0.0476	0.0763

The ML, MP, MM, and MML estimates of p for the first and second real data are given in Tables 6 and 7. From these Tables, the ML, MP, MM, and MML estimators obtained almost the same for complete data. The MP and the MM estimates are almost identical in terms of estimates and both perform better than ML and MML estimates.

6. Conclusion

The censored sampling is very advantageous in terms of both cost and time. In this study, the ML, MM, MML and MP estimators of the $UGD(p)$ distribution are obtained in the case of a censoring sample. In the simulation and real data, it shows that in the case of a censoring sample and a complete sample, the results are close to each other. In the case of limited time and cost, the units have $UGD(p)$ distribution and can be used in the case of a censored sample, which is very advantageous for both time and cost.

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] Lawless, J. F. 1982. Statistical Models and Methods for Lifetime Data. John Wiley & Sons, New York, 580p.
[2] Sinha, S. K. 1986. Reliability and Life testing. Wiley Eastern Ltd, New Delhi, 252p.

- [3] Nakagawa, T., Osaki, S. 1975. This discrete Weibull distribution. *IEEE Transactions on Reliability*, 24, 300-301.
- [4] Stein, W. E., Dattero, R. 1984. A new discrete Weibull distribution. *IEEE Transactions on Reliability*, 33, 196-197.
- [5] Roy, D. 2003. The discrete normal distribution. *Communications in Statistics Theory and Methods*, 32, 1871-1883.
- [6] Roy, D. 2004. Discrete Rayleigh distribution. *IEEE Transactions on Reliability*, 53(2), 255-260.
- [7] Krishna, H., Pundir, P. S. 2009. Discrete Burr and discrete Pareto Distributions. *Statistical Methodology*, 6, 177-188.
- [8] Jazi, M. A, Lai, C. D., Alamatsaz, M.H. 2009. A discrete inverse Weibull distribution and estimation of its parameters. *Statistical Methodology*, 7, 121-132.
- [9] Hu, Y., Peng, X., Li, T., Guo, H. 2017. On the Poisson approximation to photon distribution for faint lasers. *Phys Lett A.*, 367, 173-176.
- [10] Déniz, E. G. 2007. A new discrete distribution: Properties and applications in medical care. *Journal Applied Statistics*, 40(12), 2760-2770.
- [11] Akdoğan, Y., Kuş, C., Asgharzadeh, A., Kinacı, I., Sharai, F. 2016. Uniform-geometric distribution. *Journal of Statistical Computation and Simulation*, 86(9), 1754-1770.
- [12] Kuş, C., Akdoğan, Y., Asgharzadeh, A., Kinacı, İ., and Karakaya, K. 2018. Binomial-discrete Lindley distribution. *Communications Faculty of Sciences University of Ankara Series A1 Mathematics and Statistics*, 68(1), 401-411.
- [13] Kulasekera, K. B. 1994. Approximate MLEs of the Parameters of a Discrete Weibull Distribution with Type I Censored Data. *Microelectron Reliability*, 34, 1185-1188.
- [14] Gradshteyn, I. S., Ryzhik, I. M. 2007. *Table of Integrals, Series, and Products*. 7th ed. San Diego, CA: Academic Press, 1171p.
- [15] Khan, M. S. A., Khalique, A., Abouammoh, A.M. 1989. On estimating parameters in a discrete Weibull distribution. *IEEE Transactions on Reliability*, 38, 348-350.
- [16] Weinberg, C. R., Gladen, B. C. 1986. The beta-geometric distribution applied to comparative fecundability studies. *Biometrics*, 42, 547-560.
- [17] Xie, M., Goh, T. N. 1993. Improvement detection by control charts for high yield processes. *Int J Qual Reliab Manag*, 10, 24-31.

Kamu Yapılarının Hurda Karşılığı Yıkımı ve Kamu Gelirlerine Katkısı

Burak ÖZ¹ , Murat ANBARCI² 

¹ Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 67100, Zonguldak

² Sultanbeyli Belediye Başkanlığı, Abdurrahmangazi Mahallesi, Belediye Caddesi No: 4 Sultanbeyli, İstanbul

(Alınış / Received: 27.08.2020, Kabul / Accepted: 10.02.2021, Online Yayınlanma / Published Online: 15.04.2021)

Anahtar Kelimeler

İnşaat ve yıkıntı atıkları,
Geri dönüşüm,
İnşaat yönetimi,
Muhammen bedel,
Kamu yıkım işleri

Özet: Bu çalışmada, Avrupa Birliği Ülkelerinde ve Ülkemizdeki inşaat ve yıkıntı atıklarının tekrar kullanımı, geri dönüşümü ve yıkıntı malzemelerin geri kazanımıyla ilgili genel bilgiler verilmiş ve kamu binalarının hurda karşılığı yıktırılması süreci analiz edilerek buradan elde edilecek kamu gelirin artırılmasına yönelik çözüm önerilerinin sunulması amaçlanmıştır. Kamu idarelerinin 2016 ile 2020 yılları arasında yapmış oldukları tüm hurda karşılığı yıkım işleri incelenmiştir. İhaleye çıkılan iki yüz beş (205) iş için ilgili kamu idareleriyle temasa geçilerek yapmış oldukları işler ile ilgili sözleşme bedelleri ile bu işlerin muhammen bedel hesaplama yöntemine ilişkin bilgiler talep edilmiştir. Elli dokuz işle ilgili elde edilmiş verilerin değerlendirilmesi sonucunda muhammen bedelin hesaplanmasında farklı yöntemler kullanıldığı görülmüştür. Bunlar; metraj hesabı yapılmış ve kamu kurumlarının yayımladıkları birim fiyatlar kullanılmış, metraj hesabı yapılmış ve birim fiyatlar için piyasa araştırması yapılmış, sadece piyasa araştırması yapılmış veya ihaleye çıkacak idare kendi tecrübesine dayanarak tahminde bulunmuştur. İhalesi yapıp sözleşmeye bağlanan işlerde muhammen bedel ile sözleşme bedeli arasında ciddi dalgalanmalar olduğu ancak bu durumun muhammen bedel hesaplama yöntemiyle bir ilişkisinin olmadığı görülmüştür. Yaptığımız değerlendirmede, muhammen bedelin değerinden çok altında tahmin edilmesi ve ihalede yeterli rekabetin oluşmaması durumunda kamu gelirinde ciddi kayıplar meydana gelebileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Public Demolition Works for Scrap and Contribution to Public Revenues

Keywords

Construction and demolition
waste,
Recycling,
Construction management,
Estimated value,
Public demolition works

Abstract: General information about reuse, recycling and materials recovery of construction and demolition waste in European Union Countries and in Turkey has been given and it has been aimed to analyze the process of demolition of public buildings for scrap, and to propose solutions to increase public revenues. We have examined all demolition works for scrap contracted by public authorities and institutions between the years of 2016 and 2020. We have contacted the relevant public authorities and institutions that put out to tender for two hundred and five demolition works and requested information regarding the contract prices and the method of calculating the estimated value related to these works. As a result of evaluating the data obtained for fifty-nine demolition works, it has been observed that different methods are used in the calculation of the estimated prices. These are; the quantity calculation of demolition waste and the use of the unit prices published by the public authorities, the quantity calculation of demolition waste and the demolition experts' proposals for the unit prices, only the demolition experts' proposals for the works, or the relevant public authority's estimation based on its own experience. It has been observed that there is a serious fluctuation between the contract price and the estimated price in the contracted demolition works, however we have seen that there is no relation with the method of calculation of the estimated prices. In our evaluation, it was concluded that serious losses in public income may occur in case the estimated price is undervalued and if there is not enough competition in the tender.

1. Giriş

İnşaat işlerinde, doğal kaynakların, özellikle yenilenemeyen kaynakların kullanılması, her yıl milyonlarca ton inşaat ve yıkım atığına yol açmaktadır. Çoğu ülkede bu malzemeler için özel bir işleme planı bulunmadığından, yeniden kullanmak ve/veya geri dönüştürmek yerine atık depolama alanlarında depolanmaktadır [1].

2016 yılında, tüm ekonomik faaliyetler ve hane halkları tarafından AB'de üretilen toplam atık miktarı 2.538 milyon ton olup, bunların % 45,7'si atık sahasında depolanmış ve % 37,8'i ise geri dönüştürülmüştür. Toplam atığın yaklaşık % 36,4'ü (923 milyon ton) inşaat ve yıkıntı atıklarından kaynaklanmaktadır [2]. Yirmi sekiz Avrupa Birliği Ülkesinin 2016 yılı itibarıyla inşaat ve yıkıntı atıklarının ortalama %89'u geri kazanılmıştır [3]. Tablo 1'de bazı Avrupa Ülkelerinin inşaat ve yıkıntı atıkları geri kazanım oranları verilmekte olup Türkiye ile ilgili veri bulunmaması dikkat çekmektedir [4].

Ülkemizde ise inşaat ve yıkıntı atıkları miktarının yıllık 4-5 milyon ton olduğu tahmin edilmektedir [5]. Hafriyat, inşaat ve yıkıntı atıkları yönetimi ile oldukça sınırlı veri girişi yapılmıştır. 2014 yılında yaklaşık 100 milyon tonun üzerinde hafriyat toprağı, inşaat ve yıkıntı atığı geri kazanılmış ya da bertaraf edilmiştir. 2023 yılında ise yaklaşık 300 milyon ton hafriyat

toprağı ve inşaat ve yıkıntı atığının oluşması beklenmektedir [6]. Ortalama olarak her bir metreküp inşaat/yıkıntı atığından yaklaşık olarak 0,60 metreküp malzeme geri dönüştürülebilmektedir [7].

1.1. İnşaat ve Yıkıntı Atıklarının Kullanım Alanları ve Sınıflandırılması

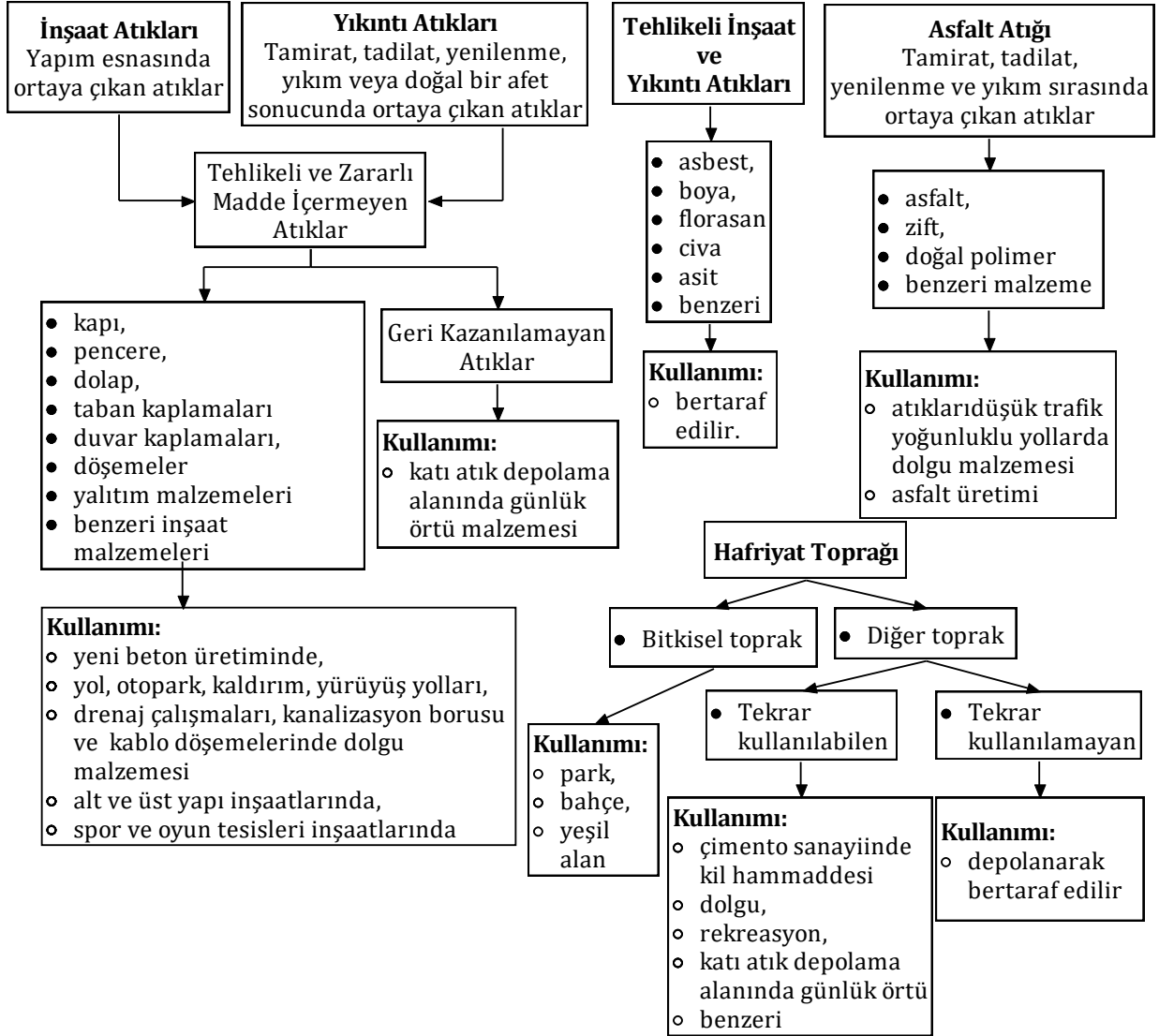
Konut, bina, köprü, yol ve benzeri alt ve üst yapıların yapımı esnasında ortaya çıkan atıklar inşaat atıklarını oluştururken bu yapıların tamirata, tadilatı, yenilenmesi, yıkılması sonucunda ortaya çıkan atıklar ise yıkıntı atıklarını oluşturmaktadır. Bu atıklardan bazıları içerisinde asfalt, zift, doğal polimer ve benzeri malzemeler bulunurken bazıları içerisinde ise asbest, boya, floresan ve benzeri zararlı ve tehlikeli maddeler bulunmaktadır. Bunlar, tehlikeli inşaat ve yıkıntı atıkları olarak sınıflandırılır [8].

Ülkemizde "Hafriyat Toprağı, İnşaat ve Yıkıntı Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği" 18.03.2004 tarih ve 25406 sayı ile yayımlanarak 2010 yılında yürürlüğe girmiştir. Bu yönetmelik inşaat ve yıkıntı atıklarının toplanması, geçici biriktirilmesi, taşınması, tekrar kullanılması, geri dönüşümü ve bertaraf edilmesiyle ilgili düzenlemeleri yapar [8]. Şekil 1'de bu yönetmelikten istifade edilerek hazırlanmış hafriyat toprağı, inşaat ve yıkıntı atıkları kullanım alanları gösterilmiştir.

Tablo 1. İnşaat ve yıkıntı atıklarının geri kazanım oranları

İnşaat ve yıkıntı atığının geri kazanım oranı (tekrar kullanım + geri dönüşüm + geri kazanım + geri dolgu) / inşaat ve yıkıntı atığı									
YIL	2010	2012	2014	2016	YIL	2010	2012	2014	2016
ÜLKE					ÜLKE				
EU (28 countries)	:	:	89	89	Avusturya	92	92	94	88
Belçika	17	18	32	95	Polonya	93	92	96	91
Bulgaristan	62	12	96	90	Portekiz	58	84	95	97
Çekya	91	91	90	92	Romanya	47	67	65	85
Danimarka	:	91	92	90	Slovenya	94	92	98	98
Almanya	95	94	:c	:c	Slovakya	:	:	54	54
Estonya	96	96	98	97	Finlandiya	5	12	83	87
İrlanda	97	100	100	96	İsveç	78	81	55	61
Yunanistan	0	0	0	88	Birleşik Krallık	96	96	96	96
İspanya	65	84	70	79	İzlanda	75	100	99	99
Fransa	66	66	71	71 ^e	Lihtenştayn	:	:	:	:
Hırvatistan	2	51	69	76	Norveç	44	75	77	71
İtalya	97	97	97	98	İsviçre	:	:	:	:
Kıbrıs	0	60	38	57	Karadağ	:	:	:	0
Letonya	:	:	92	98	Kuzey Makedonya	:	0	0	:
Litvanya	73	88	92	97	Arnavutluk	:	:	:	:
Lüksemburg	98	99	98	100	Sırbistan	:	:	:	80
Macaristan	61	75	86	99	Türkiye	:	:	:	:
Malta	16	100	100	100	Kosova	:	:	:	:
Hollanda	100	100	100	100					
:=mevcut değil c=gizli e=tahmini									

Bu oranların hesaplanmasında sadece tehlikeli madde içermeyen atıklar (beton, tuğla, alçı, yalıtım malzemeleri, karışık inşaat atıkları ve balast) göz önüne alınmıştır.



Şekil 1. Hafriyat toprağı, inşaat ve yıkıntı atıklarının kullanım alanları

Geri kazanılmış ürünler ilgili standartları sağlamak şartıyla öncelikle alt ve üst yapı inşaatları ile dolgu ve rekreasyon amaçlı kullanılmalıdır. Hafriyat toprağı uygun olması durumunda öncelikle çimento sanayiinde kil hammaddesi olarak kullanılmalıdır. Hafriyat sırasında nebati toprak ayrı olarak toplanmalı, kesinlikle döküm alanına gönderilmemeli, yeşil alanlar ve benzeri çalışmalarda kullanılmalıdır. Nebati toprak dışındaki kazı hafriyat toprağı ise dolgu veya katı atık döküm alanlarında örtü amacıyla kullanılabilir, tekrar kullanılması mümkün değilse bertaraf edilir. Asfalt atıkları asfalt üretim tesislerinde veya yollarda dolgu malzemesi olarak kullanılabilir. Geri kazanılamayan inşaat ve yıkıntı atıkları ise ayrıştırma yapıldıktan sonra katı atık döküm alanlarında örtü malzemesi olarak kullanılabilir [8].

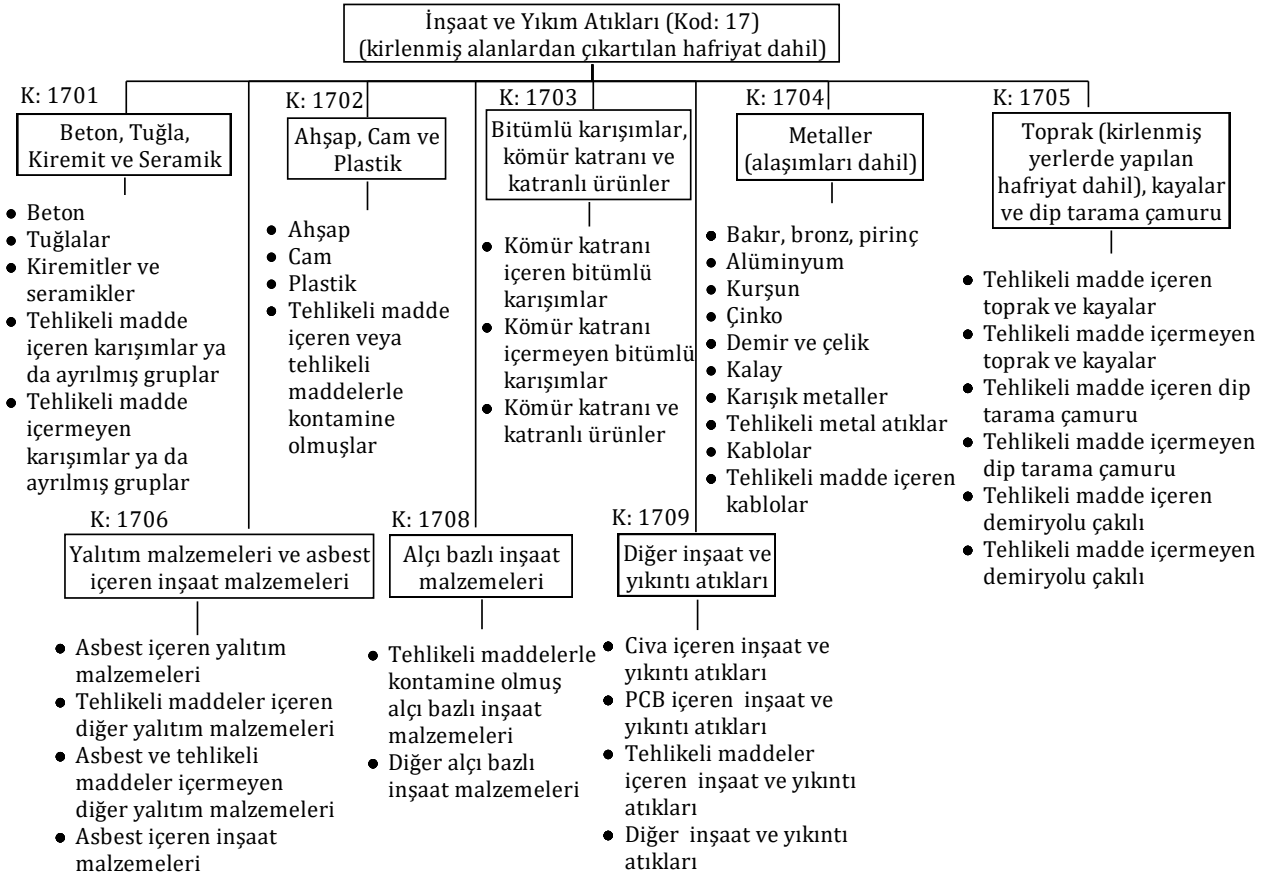
Atıkların sınıflandırılmasıyla ilgili olarak, Avrupa Atık Kataloğı ve Zararlı Atık Listesi 1 Ocak 2002 yılında yürürlüğe girmiş [9], ve Atık Sınıflandırma Rehberi 2

inci sürümü Aralık 2010 yılında yayımlanmıştır [10]. Ülkemizde de Atık Yönetimi Yönetmeliğı, Avrupa Birliğı mevzuatına uyum çerçevesinde Atık Sınıflandırma Rehberi esas alınarak hazırlanmış ve 2015 yılında yayımlanmıştır. İnşaat ve yıkıntı atıklarının sınıflandırılması ve kodları Şekil 2'de gösterilmiştir. Burada geçen Kod (K): 17, Atık Yönetimi Yönetmeliğı ekindeki Atık Kodu Belirleme Hiyerarşisi ve Atık Kodu Açıklamalarında geçen inşaat ve yıkıntı atıkları bölümünü göstermektedir. On yedi ile başlayan kodlar ise inşaat ve yıkıntı atık sınıflarını göstermektedir [11].

1.2. Geri Kazanım ve Bertaraf Sistemi

1999 yılında Avrupa Komisyonu için Symonds tarafından hazırlanan "Construction And Demolition Waste Management Practices, And Their Economic Impacts" isimli final raporunda, ilgili tarihte Avrupa Birliğine üye on beş ülkenin inşaat ve yıkıntı atıkları

ile ilgili veriler sunulmuştur. Bu veriler öncelikle yetersiz olduğu yerlerde ise uzman görüşü alınmıştır. resmi kaynaklardan temin edilmiş, resmi kaynakların



Şekil 2. İnşaat ve yıkıntı atıklarının sınıflandırılması

Tablo 2. Hafriyat toprağı, inşaat ve yıkıntı atıkları miktarları

Hafriyat toprağı, inşaat ve yıkıntı atıkları kullanım miktarları (milyon ton)									
Ülke	Beton, tuğla, kiremit, seramik vs. (inert)	Ahşap	Cam	Plastik	Metal	Yalıtım	Karışık	Hafriyat	Asfalt
Almanya	45						14	215	26
İngiltere				30				29,50	7,50
Fransa				23,60					
İtalya				20					
İspanya				12,8					
Hollanda	10,48	0,26		0,21	0,18		0,04	6,20	2,72
Belçika	6,41	0,11		0,01	0,01		0,21	27	0,91
Avusturya	3,6						1,1	20	1,70
Portekiz				3,20					
Danimarka	1,80	0,20	0,05	0,01	0,16	0,05	0,37	7,70	0,37
Yunanistan				1,80					
İsveç	1,12	0,39	0,01	0,00	0,15	0,02		1,50	2,70
Finlandiya	0,52	0,44	0,00	0,00	0,17	0,02	0,20	8	0,10
İrlanda	0,39	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	0,15	1,31	0,01
Lüksemburg				0,30					

Not: 1) 0,00 değerli hücreler 0,005'ten az olduğu anlamına gelmektedir.
2) Boş hücrelerin herhangi bir tahminin bulunmadığı anlamına gelmektedir.

Tablo 3. Hafriyat toprağı, inşaat ve yıkıntı atıklarının tekrar kullanım ve geri dönüşüm oranları

Tekrar kullanım ve geri dönüşüm oranları									
Ülke	Beton, tuğla, kiremit, seramik vs. (inert) (%)	Ahşap (%)	Cam (%)	Plastik (%)	Metal (%)	Yalıtım (%)	Karışık (%)	Hafriyat (%)	Asfalt (%)
Almanya	18						14		80
İngiltere				45				41	80
Fransa				15					
İtalya				9					
İspanya	75	3	0,5	1	2		13,5		5
Hollanda	94	60		17	100		0	40	100
Belçika	93,51	5		10	90		0		100
Avusturya	50						15		65
Portekiz									
Danimarka	98	60	55	20	98	70	0	22	100
Yunanistan									
İsveç	20	5	35	0	70	0		80	60
Finlandiya	80	9	30	10	81	55	0	95	100
İrlanda	5	0	0	0	0	0	1	50	0
Lüksemburg									

Not: 1) 0,00 değerli hücreler 0,005'ten küçük olduğu anlamına gelmektedir.
2) Boş hücrelerin herhangi bir tahminin bulunmadığı anlamına gelmektedir.

Hafriyat toprağı, inşaat ve yıkıntı atık miktarlarının atık sınıflarına göre (beton, tuğla, kiremit, seramik, ahşap, cam, plastik, metal, yalıtım, karışık, hafriyat ve asfalt) kullanım miktarlarının en detaylı şekilde belirtildiği veriler 1999 yılına ait olup 1990 ile 1998 yılları itibarıyla ülke bazlı olarak Tablo 2 ve Tablo 3'de sunulmuştur [14].

1.3. Türkiye'de İnşaat ve Yıkıntı Atıklarının Geri Kazanımı

Türkiye'de atıkların geri kazanım, bertaraf, ön işleme ve ara depolama hizmetleriyle ilgili işletmelerin faaliyetlerini sürdürebilmeleri için geçici faaliyet belgesi veya çevre izin belgesi veya çevre izin ve lisans belgelerine sahip olmaları gerekir. Bu belgeler, çevreye kirlenici etkisi yüksek düzeyde olan işletmeler için Çevre ve Şehircilik Bakanlığı; çevreye kirlenici etkisi olan işletmeler için ise Çevre ve Şehircilik İl Müdürlükleri tarafından verilmektedir. Geçici faaliyet belgesine sahip işletmeler 1 yıl içerisinde çevre izin veya çevre izin ve lisans belgesi almaları gerekir [12].

İnşaat ve yıkıntı atıklarının geri kazanımıyla ilgili olarak Türkiye'nin çeşitli illerinde faaliyet gösteren ve çevre izin ve lisans belgesine sahip 1523 işletme ve geçici faaliyet belgesine sahip 410 işletme bulunmaktadır. Bu işletmeler çeşitli inşaat ve yıkıntı atığını geri kazandırarak Türkiye ekonomisine katkıda bulunmaktadır [13]. Tablo 4'de, Türkiye'de çevre izin ve lisans belgesine sahip işletme sayısı ve yaptıkları faaliyetler gösterilmiştir. Buradaki bilgiler, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın İzin Lisans ve Geçici Faaliyet

Belgesi Alan İşletmeler sayfasından (<https://eizin.cevre.gov.tr/Rapor/BelgeArama.aspx>) ilgili atık kodları seçilerek temin edilmiştir. Toplam faaliyet sayısının (1749) işletme sayısından (1523) fazla çıkmasının sebebi, bir işletmenin birden fazla faaliyeti birlikte yürütmesidir. En fazla işletmenin sırasıyla İstanbul, İzmir, Ankara, Bursa, Kocaeli İllerinde olduğu (>100 işletme) ve Adıyaman, Ağrı, Artvin, Bitlis, Erzurum, Giresun, Gümüşhane, Hakkâri, Isparta, Kars, Malatya, Muş, Ordu, Siirt, Tunceli, Bayburt ve Ardahan İllerinde ise işletmenin bulunmadığı görülmüştür.

1.4. Seçici Yıkım ve Şantiyedeki İşlem Sırası

Genel olarak bir yıkım işinde yapılması gereken faaliyetler, ana yapının yıkılması, arazinin temizlenmesi ve atık malzemelerin bertaraf edilmesi şeklinde sıralanabilir. Bunların dışında opsiyonel ancak önemi çok büyük olan etken ise hangi malzemelerin tekrar kullanılacağı ve/veya hangilerinin geri dönüşüme gönderileceğinin kararıdır [14].

Yıkıntıdan çıkan malzemelerin sağlıklı bir şekilde geri kazanımını sağlayabilmek için öncelikle malzemelerin niteliklerine göre sökülmesi, yıkımın kontrollü yapılması, atıkların kaynağında ayrılması, tehlikeli atıklardan ayıklanması ve seçerek toplanmasıdır. Bunu, atıkların geçici olarak biriktirilmesi, taşınması, geri kazanılması, değerlendirilmesi ve bertaraf edilmesi izler [8].

Tablo 4. Geri kazanım çevre ve lisans belgesine sahip işletme sayısı ve faaliyet alanları

İnşaat ve Yıkım Atıkları Geri Kazanım Çevre İzin ve Lisans Belgesine Sahip İşletme Sayısı ve Faaliyet Alanları (Mayıs 2020 tarihi itibarıyla)																							
Şehir	F. Kodu									Top. F.	Top. İşl.	Şehir	F. Kodu									Top. F.	Top. İşl.
	1701	1702	1703	1704	1705	1706	1708	1709	1701				1702	1703	1704	1705	1706	1708	1709				
Adana		50	1	12	1	1		1	66	56	Kocaeli	2	63	4	56	5	4	2	5	141	111		
Adıyaman									0	0	Kütahya	1	6		2					9	8		
Afyon		1		1					2	2	Malatya									0	0		
Ağrı									0	0	Manisa	1	29	1	15	1	1	1	2	51	41		
Amasya		2		2					4	2	K.maraş		6		15					21	21		
Ankara		55	2	80	1	3		4	145	119	Mardin	1	5	1	1	1	1	1	1	12	5		
Antalya		35		6		1			42	40	Muğla		9		1					10	10		
Artvin									0	0	Muş									0	0		
Aydın		6							6	6	Nevşehir		4		4			2		10	7		
Balıkesir		7		6	1			1	15	13	Niğde		11		9					20	16		
Bilecik		3		6					9	9	Ordu									0	0		
Bingöl				1					1	1	Rize		1							1	1		
Bitlis									0	0	Sakarya		17	1	10	1				29	29		
Bolu		2	1	2	1	1			7	3	Samsun		14		8					22	21		
Burdur		1							1	1	Siirt									0	0		
Bursa	3	86	2	34	2	2	2	3	134	111	Sinop		2							2	2		
Çanakkale		1		1					2	2	Sivas		1							1	1		
Çankırı		2		1					3	3	Tekirdağ	2	36	2	22	2	2	2	2	70	55		
Çorum		3		6					9	9	Tokat		2							2	2		
Denizli		9		16					25	20	Trabzon		2		3					5	5		
Diyarbakır		4		1					5	6	Tunceli									0	0		
Edirne		3							3	3	Şanlıurfa		3							3	3		
Elazığ		1		1					2	2	Uşak		9		3					12	12		
Erzincan		1							1	1	Van		2							2	2		
Erzurum									0	0	Yozgat		3							3	3		
Eskişehir		11		10					21	18	Zonguldak		1		3					4	4		
Gaziantep		81		6					87	87	Aksaray	1	11		4					16	15		
Giresun									0	0	Bayburt									0	0		
Gümüşhane									0	0	Karaman		2							2	2		
Hakkâri									0	0	Kırıkkale	2	4	2	8	2	2	2	2	24	10		
Hatay	1	6	2	14	2	2	1	2	30	18	Batman		2		1	1	1		1	6	2		
Isparta									0	0	Şırnak		2							2	2		
Mersin	1	15	1	5	1	2	1	1	27	18	Bartın	1								1	1		
İstanbul	2	158	2	131	2	2	2	3	302	287	Ardahan									0	0		
İzmir	1	98	1	50	1	2	1	3	157	143	Iğdır		1							1	1		
Kars									0	0	Yalova		5							5	5		
Kastamonu		1							1	1	Karabük		2		4					6	6		
Kayseri		25		10					35	35	Kilis		1							1	1		
Kırklareli		1		4					5	4	Osmaniye		4		9					13	12		
Kırşehir				2					2	2	Düzce	1	12	1	5	1	1	1	1	23	16		
Konya		32		37		1			70	69	Genel Toplam	20	972	24	628	26	29	16	34	1749	1523		

1701: Beton, Tuğla, kiremit ve seramik; 1702: Ahşap, cam ve plastik; 1703: Metaller (alaşımaları dahil); 1704: Bitümlü karışımlar, kömür katranı ve katranlı ürünler; 1705: Toprak (kirlenmiş yerlerde yapılan hafriyat dahil), kayalar ve dip tarama çamuru; 1706: Yalıtım malzemeleri ve asbest içeren inşaat malzemeleri; 1708: Alçı bazlı inşaat malzemeleri; 1709: Diğer inşaat ve yıkıntı atıkları

1.5. Hurda Karşılığı Yıkım İşlerinde Kamu Mevzuatı

Yıkım kararı, yapının ekonomik ömrünü tamamlaması ve ihtiyacı karşılayamaması, riskli yapı olması, onarım/güçlendirme maliyetinin yıkıp yeniden yapma maliyetine oranla yüksek çıkması gibi sebeplerle alınabilir [15]. Yıkım kararının, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından riskli yapıların tespiti için yetki verdiği kurum ve kuruluşlar tarafından bina durum raporu ile yapı güvenliğinin belirlenmesine yönelik hazırlanacak rapora istinaden verilmesi uygun olacaktır. Kamu ihalelerinde hurda karşılığı

yıkım işleri kamuya gelir sağlamaya yönelik olduğu için 2886 sayılı Devlet İhale Kanununa göre ihaleye çıkmaktadır. Bu işler çoğunlukla Kanunun 35 inci maddesinin a bendi (kapalı teklif usulü) ve c bendi (açık teklif usulü) ile gerçekleştirilir [16].

Bu çalışmada, kamu binalarının hurda karşılığı yıktırılması süreci incelenerek, elde edilen veriler doğrultusunda kamu gelirlerini artırmaya yönelik çözüm önerilerinin sunulması amaçlanmıştır.

2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada kamu kurum ve kuruluşlarının 1 Ocak 2016 ile 1 Haziran 2020 yılları arasında yapmış oldukları tüm hurda karşılığı yıkım işleri incelenmiştir. Yıllar itibarıyla ihale sayıları ve muhammen bedeller www.ilan.gov.tr resmi ilan portalı adresinden alınarak tablo halinde sunulmuştur (Tablo 5). İki yüz beş (205) iş için ihaleye çıkan ilgili Kamu kurum ve kuruluşu ile temasa geçilerek yapmış oldukları işler ile ilgili sözleşme bedeli ve muhammen bedel hesaplama yöntemine ilişkin bilgiler talep edilmiştir. Veriye ulaşılan elli dokuz işle ilgili veriler üzerinden çalışma yürütülmüştür.

Tablo 5. 2016-2020 yılları arası hurda karşılığı yıkım işleri ihale sayısı ve toplam muhammen bedelleri

İhale Yılı	İhale Sayısı	Toplam Muhammen Bedel (TL)
2020 (01.06.2020 kadar)	36	0,00
2019	1	4.172,00
2018	3	242.000,00
2017	1	103.125,00
2016	0	0,00
TOPLAM	41	349.297,00

3. Bulgular ve Sonuçlar

Çalışma kapsamına alınan 205 adet hurda karşılığı yıkım işinden elli dokuz adedinin sözleşme bilgilerine ulaşılmıştır. Tablo 6' da işlerin yıllar itibarıyla muhammen bedel ile sözleşme bedeli arasındaki artış katsayısı ve muhammen bedel hesaplama yöntemi yer almaktadır. Tablo 7'de ise elli dokuz adet işin yıllar itibarıyla toplam muhammen bedelleri,

sözleşme bedelleri ve ortalama artış katsayısı görülmektedir.

Tablo 6'da muhammen bedelin hesaplanmasında dört farklı yöntemin izlendiği görülmektedir: 1) Metraj hesabı yapılmış ve kamu kurumlarının birim fiyatları kullanılmıştır. 2) Metraj hesabı yapılmış ve birim fiyatlar için piyasa araştırması yapılmıştır. 3) Metraj hesabı yapılmamış sadece işin uzmanı firmaların vermiş oldukları tekliflerin ortalaması alınmıştır. 4) Metraj hesabı yapılmamış, ihaleye çıkacak idare kendi tecrübesine dayanarak tahminde bulunmuştur.

Tablo 6, Şekil 3'de grafiksel olarak da gösterilmiştir. Grafikte yıkım işleri sayısı ile sözleşme bedeli/muhammen bedel oranı arasındaki ilişki gösterilmiş ve ciddi dalgalanmalar olduğu görülmüştür (Şekil 3). Muhammen bedel hesaplama yöntemine ile sözleşme bedeli arasında bir ilişki kurulamamıştır. Sözleşme bedeli ile muhammen bedel arasındaki artış oranının düşük olması ya muhammen bedelin değerinde tahmin edildiği ya da ihalede yeterli rekabetin oluşmadığı anlamına gelebilir. Eğer yeterli rekabet oluşmadıysa bu durum ilgili kamu kurumunun gelir kaybına uğramış olabileceğini düşündürmektedir. Muhammen bedel ile sözleşme bedeli arasındaki artış oranının yüksek olması muhammen bedelin değerinde tespit edilemediği ancak ihalede tam rekabetin ya da kısmi rekabetin olduğu anlamına gelebilir. Yaptığımız değerlendirmede, muhammen bedelin değerinden az tahmin edilmesi ve ihalede yeterli rekabetin oluşmaması durumunda kamu gelirinde ciddi kayıplar meydana gelebileceği sonucuna ulaşılmıştır. Ülkemizde bu alanda sınırlı sayıda araştırma bulunmaktadır. Çalışmamızın literatürdeki bu eksikliğin giderilmesine ve kamu kaynaklarının daha verimli kullanılmasına katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Çalışmamızdan elde ettiğimiz veriler doğrultusunda önerilerimiz şunlardır:

- Tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de artan nüfus ve şehirleşmeye paralel olarak artış gösteren katı atıkların yönetimi önemli bir konudur. Bu katı atıkların içerisinde yer alan inşaat yıkım atıklarının ekonomik değerinin tespit edilebilmesi, sağlıklı ve yönetilebilir bir geri dönüşüm sistemi kurulabilmesi için tekrar kullanılan, geri dönüştürülen, bertaraf edilen hafriyat toprağı, inşaat ve yıkıntı atıklarının miktarlarının hem merkezi hem de yerel yönetimlerin ortak bir veri tabanı kullanarak yasal bir yönetmelik ile de zorunlu hale getirilerek bir veri tabanında tutulması gerekmektedir.
- 4734 sayılı Kamu İhale Kanunu ile ihale edilen işlerde bulunan tebliğ ve yönetmeliklerde olduğu gibi 2886 sayılı Devlet İhale Kanunu için de tebliğ ve

yönetmelikler düzenlenerek bu kanun esaslarına göre ihale edilen hurda karşılığı yıkım işlerinde de saydamlığın ve kamuoyu denetiminin sağlanabilmesi için ihale tarihlerinin ilan edilmesi, şartnamelerin yayınlanması ve ihale sonuçları ile sözleşme bilgilerinin tıpkı 4734 Sayılı Kamu İhale Kanunu'nun kullanıldığı Elektronik Kamu Alımları Platformu (EKAP) benzeri bir veri tabanına kaydedilmesi faydalı olacaktır.

2886 sayılı Devlet İhale Kanunu kapsamında İhaleye çıkılacak hurda karşılığı yıkım işlerinin muhammen bedellerinin daha gerçekçi hesaplanabilmesi için ilave tebliğ ve yönetmelikler ile bir sınır çizilmesi önem arz edecektir.

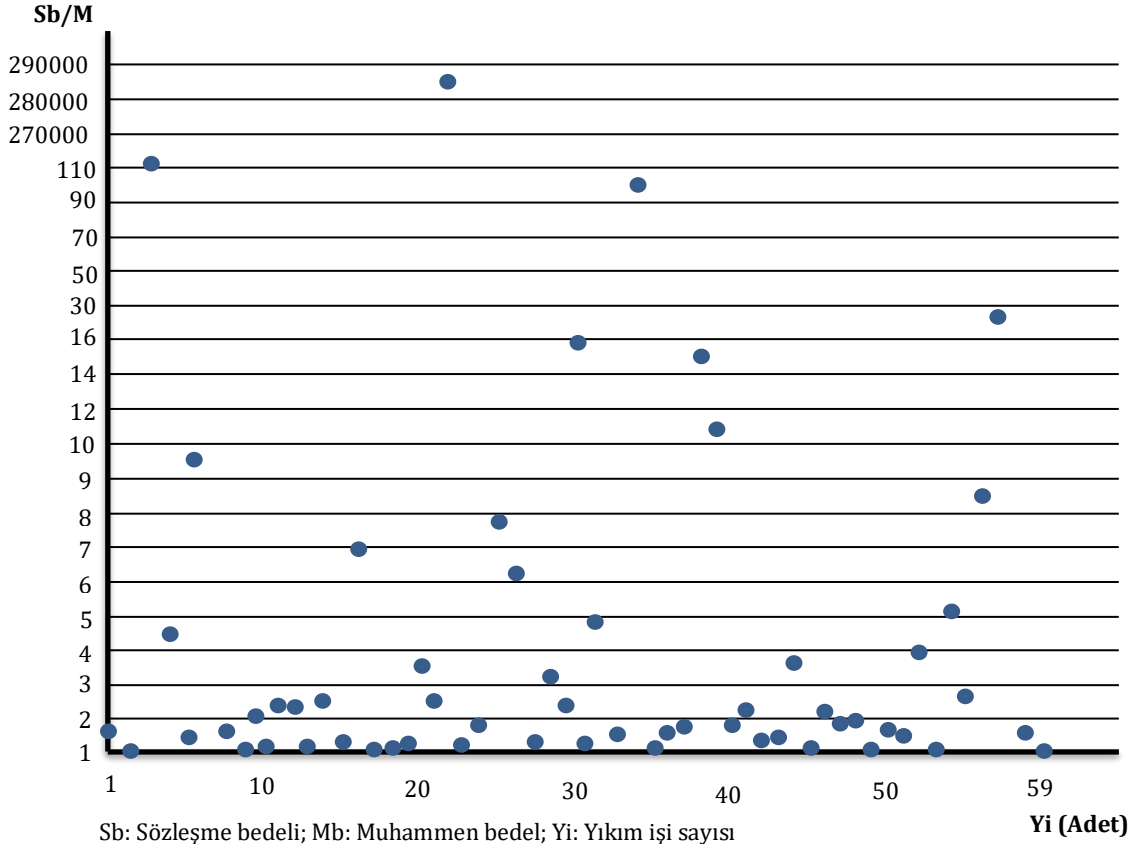
Tablo 6. Muhammen bedel ile sözleşme bedeli arasındaki ilişki

İlan Tarihi	*Sb/Mb (Artış Katsayısı)	Muhammen Bedel Hesaplama Yöntemi	İlan Tarihi	*Sb/Mb (Artış Katsayısı)	Muhammen Bedel Hesaplama Yöntemi
2020	1,69	Bilinmiyor	2018	1,23	Metraj hesabı + birim fiyat
2020	1,01	Metraj hesabı + birim fiyat	2018	4,86	Bilinmiyor.
2020	101,70	Metraj hesabı + piyasa araştırması	2018	1,52	Bilinmiyor.
2020	4,57	Piyasa araştırması	2018	104,17	Metraj hesabı + birim fiyat
2020	1,56	Piyasa araştırması	2018	1,13	Bilinmiyor.
2020	9,63	Metraj hesabı + birim fiyat	2018	1,51	Metraj hesabı + birim fiyat
2020	1,75	Metraj hesabı + birim fiyat	2018	1,63	Piyasa araştırması
2020	1,05	Bilinmiyor.	2018	14,81	Bilinmiyor.
2020	2,10	Bilinmiyor.	2018	10,88	Metraj hesabı + birim fiyat
2019	1,16	Metraj hesabı + birim fiyat	2018	1,85	Metraj hesabı + birim fiyat
2019	2,47	Bilinmiyor.	2018	2,17	Bilinmiyor.
2019	2,41	Metraj hesabı + birim fiyat	2018	1,32	Bilinmiyor.
2019	1,18	Bilinmiyor.	2018	1,44	Metraj hesabı + birim fiyat
2019	2,58	Metraj hesabı + birim fiyat	2018	3,86	Bilinmiyor.
2019	1,33	İdarenin tahmini	2018	1,15	Piyasa araştırması
2019	6,94	Bilinmiyor.	2018	2,29	Bilinmiyor.
2019	1,07	Bilinmiyor.	2018	1,84	Bilinmiyor.
2019	1,13	Bilinmiyor.	2017	1,93	Metraj hesabı + birim fiyat
2019	1,22	Bilinmiyor.	2017	1,15	Metraj hesabı + birim fiyat
2019	3,68	Metraj hesabı + birim fiyat	2017	1,72	Metraj hesabı + birim fiyat
2019	2,50	Piyasa araştırması	2017	1,47	Piyasa araştırması
2019	285.000,00	Piyasa araştırması	2017	3,97	Bilinmiyor.
2019	1,28	Metraj hesabı + birim fiyat	2017	1,11	Bilinmiyor.
2019	1,79	Metraj hesabı + birim fiyat	2017	5,22	Bilinmiyor.
2019	7,76	Piyasa araştırması	2017	2,60	Bilinmiyor.
2019	61,71	Metraj hesabı + birim fiyat	2017	8,49	Bilinmiyor.
2019	1,23	Bilinmiyor.	2016	26,58	Piyasa araştırması
2019	3,22	Bilinmiyor.	2016	1,50	Metraj hesabı + birim fiyat
2019	2,36	Bilinmiyor.	2016	1,01	Piyasa araştırması
2019	15,73	Piyasa araştırması			

*Sb: Sözleşme bedeli; Mb: Muhammen bedel

Tablo 7. İhale yılı itibarıyla toplam muhammen bedel ile toplam sözleşme bedelleri

İhale Yılı	İhale Sayısı	Toplam Muhammen Bedel (TL)	Toplam Sözleşme Bedeli (TL)	Artış Katsayısı
2020 (01.06.2020 kadar)	9	2.820.191,69	4.155.066,00	1,47
2019	21	3.345.779,51	7.729.207,00	2,31
2018	17	9.333.515,35	15.266.967,18	1,64
2017	9	1.534.695,52	3.796.553,00	2,47
2016	3	807.848,13	1.516.300,00	1,88
TOPLAM	59		ORTALAMA ARTIŞ KATSAYISI	1,95

Şekil 3. Muhammen bedel ile sözleşme bedeli arasındaki artış katsayısı

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] Silva R.V., Brito J. de ve Dhir R. K. 2014. Properties and Composition of Recycled Aggregates from Construction and Demolition Waste Suitable for Concrete Production. *Construction and Building Materials*, 201-217.
- [2] Eurostat, 2020. Waste Statistics, https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Waste_statistics#Total_waste_generation, ISSN 2443-8219 (Erişim Tarihi: 04.06.2020).
- [3] Eurastat, 2019. Record Recycling Rates and Use of Recycled Materials in the EU, Eurostat Your key to European statistics, <https://ec.europa.eu/eurostat/documents/2995521/9629294/8-04032019-BP-EN.pdf/295c2302-4ed1-45b9-af86-96d1bbb7acb1> (Erişim Tarihi:04.06.2020).
- [4] Eurastat, 2018. Recovery Rate of Construction and Demolition Waste, https://ec.europa.eu/eurostat/tgm/refreshTableAction.do?tab=table&plugin=1&pcode=cei_wm040&language=en (Erişim Tarihi:04.06.2020).
- [5] T.C. Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, Sanayi Genel Müdürlüğü, 2014. Ulusal Geri Dönüşüm Strateji Belgesi ve Eylem Belgesi (2014-2017), 113s, Ankara.
- [6] T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü, 2017. Ulusal Atık Yönetimi ve Eylem Planı (2016-2023), 140s, Ankara.
- [7] T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2019. Evsel Atıklar Proje Şube Müdürlüğü. İnşaat ve Yıkıntı Atıklarının Geri Kazanımı. Marmara Belediyeler Birliği. <http://marmara.gov.tr/UserFiles/Attachments/2019/12/20/5dd64249-8e85-4a09-89e4-c9ad866b3794.pdf>. (Erişim Tarihi:03.06.2020).
- [8] Resmi Gazete. Hafriyat Toprağı, 2004. İnşaat Ve Yıkıntı Atıklarının Kontrol Yönetmeliği 25406, 11s, Ankara.
- [9] Environmental Protection Agency, 2002. European Waste Catalogue and Hazardous Waste List. s.l., Ireland: Environmental Protection Agency, ISBN: 1-84095-083-8.

- [10] Commission of The European Communities, 2010. EUROSTAT Guidance on EWC-Stat Waste Categories.
- [11] Resmi Gazete. Atık Yönetimi Yönetmeliği, 2015. 29314, 208s, Ankara.
- [12] T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı. Çevresel İzin ve Lisans İstatistikleri Bülteni, 2019. Çevresel İzin ve Lisans İstatistikleri Haber Bülteni. https://webdosya.csb.gov.tr/db/ced/menu/izin-ve-lisans-haber-bulteni_2019_20200331015003.pdf. (Erişim Tarihi:19.06.2020).
- [13] Çevresel Etki Değerlendirmesi, İzin ve Denetim Genel Müdürlüğü, 2020. İzin ve Lisans İşlemleri, Çevresel İzin ve Lisans İstatistikleri, <https://ced.csb.gov.tr/izin-ve-lisans-islemleri-i-82206>. (Erişim Tarihi:19.06.2020).
- [14] Symonds Group Ltd. European Commission, 1999, Construction and Demolition Waste Management Practices, and Their Economic Impacts.
- [15] Aktaş Z.2015. Bina Yıkım Atıklarının Altyapı Projelerinde Değerlendirilmesi, Uzmanlık Tezi, İller Bankası Anonim Şirketi, Ankara.
- [16] Resmi Gazete, 1983. 2886 sayılı Devlet İhale Kanunu. 22 (18161), 573s, Ankara.

Molecular Dynamics and MM-PBSA Studies for Deciphering Molecular Interactions of Valproic Acid with CYP2C9 Mutants F114L and I207T

Ahmet Can TİMÜÇİN*¹

¹Üsküdar University, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Department of Chemical Engineering, 34662, İstanbul, Turkey

(Alınış / Received: 30.09.2020, Kabul / Accepted: 25.01.2021, Online Yayınlanma / Published Online: 15.04.2021)

Keywords

CYP2C9,
MD simulations,
MM-PBSA,
Valproic acid

Abstract: Valproic Acid (VPA) is a widely used drug, particularly in neuropsychiatric disorders, while showing promise in other types of diseases such as cancer. VPA metabolism via cytochrome P450 (CYP) pathway is responsible from only ~10% of the total drug dose. However, due to high risk of severe adverse reactions in liver and pancreas, interaction of VPA with CYP2C9 remains to be delineated chiefly in CYP2C9 mutants. Hence, here we implemented a molecular dynamics study, followed by MM-PBSA (Molecular Mechanics Poisson-Boltzmann Surface Area) method based relative binding energy estimation to understand how F114L and I207T CYP2C9 mutants changed their binding mode towards VPA in comparison to wild type (WT) CYP2C9. Results indicated that while F114L and I207T mutants have showed significant decrease in total relative binding energy, compared with WT, there were a clear shift of occupied amino acids responsible for VPA interaction in mutants vs WT. Overall, here for the first time in literature, this novel shift of VPA interacting amino acids in F114L and I207T mutants were reported. Limitations and future perspective of the data were also discussed.

Valproik Asit ile CYP2C9 Mutantları F114L ve I207T Moleküler Etkileşimlerinin Çözümlemesi için Moleküler Dinamik ve MM-PBSA Çalışmaları

Anahtar Kelimeler

CYP2C9,
MD simülasyonları,
MM-PBSA,
Valproik asit

Özet: Valproik asit (VPA), özellikle nöropsikiyatrik bozukluklarda kullanılan bir ilaç olup, kanser gibi diğer tip hastalıklarda da umut vaat etmektedir. Sitokrom P450 (CYP) yolu tarafından gerçekleştirilen VPA metabolizması toplam ilaç dozunun sadece %10 kadarıdır. Ancak, karaciğer ve pankreasta şiddetli yan etki reaksiyonları gösterme riski yüksek olduğu için, VPA'nın CYP2C9 ile ve özellikle CYP2C9 mutantları ile nasıl etkileştiği açıklanmayı beklemektedir. Bu nedenle, biz burada moleküler dinamik çalışmaları ve devamında yapılan MM-PBSA (Moleküler Mekanik Poisson-Boltzmann Yüzey Alanı) metodu tabanlı bağıl bağlanma enerjisi tahmini ile CYP2C9 mutantları F114L ve I207T'nin VPA ile bağlanma modunun doğal fenotipli (WT) CYP2C9'a göre nasıl değiştiğini anlamayı amaçladık. Sonuçlar, F114L ve I207T mutantlarının toplam bağıl bağlanma enerjilerinin doğal fenotipe göre önemli miktarda düştüğünü göstermiş olup, ayrıca mutantların VPA etkileşimi için kullandıkları amino asitlerde de, doğal fenotipe göre net bir değişim olduğunu ortaya koymuştur. Tümde, literatürde bir ilk olarak, VPA ile etkileşen amino asitlerdeki bu özgün değişim raporlanmıştır. Verilerin kısıtlamaları ve gelecek perspektifi de ayrıca tartışılmıştır.

1. Introduction

VPA is a branched short chain fatty acid, mainly used for treating epilepsy, migraine and other psychiatric conditions [1, 2]. VPA as a molecule capable of inhibiting histone deacetylases, has also been under

investigation towards cancer, HIV and other neurodegeneration related disorders [2, 3]. When VPA is administered, ~90% of the total dose remains protein bound [2, 4]. Apart from glucuronidation and β oxidation based mitochondrial metabolism, CYP dependent oxidation holds ~10% of the overall VPA

metabolism [2, 5-7]. CYP2C9 and CYP2A6 were known to be the main metabolizers of VPA converting it to 4-ene VPA, 4-OH VPA and 5-OH VPA [2, 8-10]. While only ~10% of VPA metabolism was known to be accomplished by CYPs, VPA was also linked to critical adverse reactions in liver, pancreas and was reported to be teratogenic [1, 2]. Thus, understanding how different mutations alter enzymatic activity of CYPs remains as a question to be deciphered, which prompted this study.

CYPs are oxidase-dehydrogenase enzymes, containing a buried heme group complexed with a cysteine [11]. Among these, CYP2C9 was known to be responsible from metabolism %15 of the drugs that are destined to CYP based transformation [12, 13]. In a study that excluded individuals with poor CYP metabolism and analyzed only healthy individuals, CYP2C9 protein content and activity was shown to be prone to high variability, indicating further studies are necessary to understand how different CYP2C9 alleles behave towards different ligands [12, 14, 15]. Hence, here a computational approach was taken to delineate how F114L and I207T mutations alter VPA binding to CYP2C9 through comparing them to WT CYP2C9.

Current literature contains only one molecular dynamics study analyzing VPA and WT CYP2C9 in terms of binding energetics and average structure based amino acid contributions [11]. Here, with our study, for the first time in literature, F114L and I207T mutants were analyzed relative to WT CYP2C9 via molecular dynamics and MM-PBSA method to reveal binding energetics and binding energy based amino acid contributions to VPA binding. More specifically, WT CYP2C9, as well as its mutant structures were first subjected to molecular docking studies to dock VPA in active sites of the structures. These structures were then used for 50 ns long molecular dynamics studies, which was followed by MM-PBSA based prediction of relative binding energies between CYP2C9 and VPA. Estimation of relative binding energy was further used for detailed analyses of amino acid-wise contributions to VPA binding. Obtained data was also validated by distance analyses and change in the total number of hydrogen bonds between VPA and selected key residues of CYP2C9. Overall, a novel shift of occupied amino acids responsible for VPA binding to enzymatic active site of mutant CYP2C9s in comparison to WT CYP2C9 were revealed. Moreover, results were also discussed in terms of limitations and possible future studies.

2. Material and Method

2.1. Molecular docking

The crystal structure of CYP2C9 (PDB ID: 1R90) was used for molecular docking of VPA into CYP2C9 enzymatic pocket. Since this structure contained

flurbiprofen in its enzymatic active site, it was removed prior to docking. Heme was kept in the original coordinates found in the crystal structure. Missing residues were completed using Modeller [16]. F114L and I207 mutants of CYP2C9 were generated via mutator plugin 1.3 of visual molecular dynamics (VMD) software [17]. The active site was defined using residues F114 and I207. All the docking studies were implemented using Autodock Vina [18].

2.2. Molecular dynamics studies

Topology and parameters for VPA were retrieved using CGenFF software [19, 20]. At the first step, all the WT and mutant complexes, including heme and VPA, were solvated in water and neutralized with NaCl. Simulations were completed via NAMD software using CHARMM parameters [21-24]. Explicit treatment of water molecules was completed using TIP3P model [25]. In all simulations, NPT ensemble was used together with periodic boundary conditions. Coulomb interactions were computed using particle-mesh Ewald algorithm. 15 Å limit was used for computing non-bonded electrostatic and Van der Waals interactions. Pressure was kept at 1 atm via Nosé-Hoover Langevin method and temperature was kept at 310K using Langevin dynamics [26, 27]. Lengths of the hydrogen-containing bonds were constrained using SHAKE algorithm [28]. Coordinates were recorded each 25 ps. All systems were first energy minimized via conjugate gradient method in 20000 steps. Second, temperature of each system was raised from 20 K to 310 K in 5 ps. Following heating step, all systems were equilibrated in 10 ns without any restraints on any atoms. This was followed by production runs of total 50 ns. WT production simulations were repeated twice whereas mutants were produced in triplicates. Total production run of 400 ns was analyzed. All molecular dynamics simulations and calculations were completed using TUBITAK TRUBA infrastructure. After production runs, trajectories were analyzed by Visual Molecular Dynamics (VMD) [17]. RMSD (Root mean square displacement) of backbone atoms were used to assess convergence of conformational stabilities. RMSF (Root mean square fluctuations) analyses was used to evaluate flexibility of VPA atoms in different simulations. Distance analyses was conducted to analyze if VPA was held in close vicinity to some MM-PBSA selected CYP2C9 enzymatic active residues. Ligplot+ analyses were conducted to analyze hydrogen bonding and hydrophobic contacts at 50th ns of MD simulations [29]. Total hydrogen bonding was also assessed to follow any temporal changes were present in this type of bonding between WT and mutant CYP2C9 simulations.

2.3. Prediction of relative binding energy between CYP2C9 and VPA using MM-PBSA method

As previously performed between WT CYP2C9 and VPA, MM-PBSA method was used to estimate relative

binding energy between CYP2C9 and VPA both in WT and mutant structures [11]. Final 10 ns of the 50 ns production runs were utilized for prediction of relative binding energies. During MM-PBSA calculations, internal dielectric constant was set to $\epsilon=1$ and external dielectric constant was set to $\epsilon=80$. 25 snapshots extracted from final 10 ns of each trajectory were used for predictions. MM-PBSA.py of AmberTools was employed for estimation of relative binding energies and contribution of amino acid to the calculated binding energy [30].

2.4. Statistical analyses

Data were expressed as mean \pm SEM. Where appropriate, statistical significance was evaluated using student's t-test. Statistical significance was defined using p value < 0.05 .

3. Results

In order to delineate dynamically important amino acids involved in VPA binding to CYP2C9 active site, initial step of the study involved structure preparation of WT CYP2C9 and its selected mutants. Accordingly, at the first phase of this study, structure of human cytochrome P450 2C9 (CYP2C9) was retrieved from protein data bank [31, 32] (PDB ID: 1R90). This structure contained flurbiprofen in its active site as well as heme which were removed prior to introduction of mutations. After ligand and cofactor removal procedure, missing residues were added to the wild type protein chain. The completed wildtype structure of CYP2C9 (CYP2C9*1) was then subjected to amino acid replacements to generate F114L (Phe114Leu) and I207T (Ile207Tyr) (CYP2C9*48) mutants [33]. At this point, man-made synthetic F114L mutant [34] was generated since F114 was a well-established residue for ligand binding of VPA [11]. Moreover, I207T mutant was preferred due to its close position in the active site to the other ligand binding residues (Figure 1) and due to prior information on diminished activity of I207T mutant of CYP2C9 towards diclofenac [33]. The positions of the mutated residues together with other important amino acids were depicted in Figure 1.

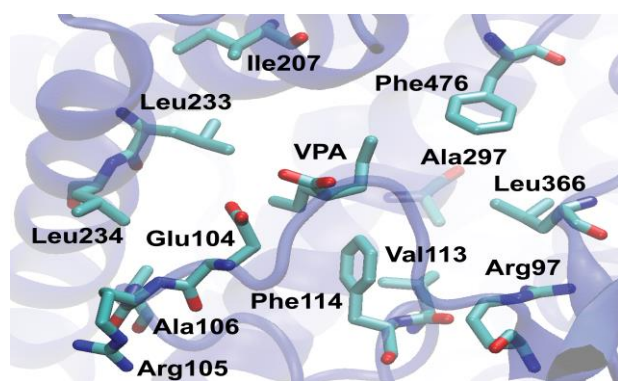


Figure 1. VPA shown in the active site of WT CYP2C9 together with key residues identified in this study (PDB ID: 1R90).

Next, WT, F114L and I207T CYP2C9 structures were subjected to small ligand docking procedure to dock VPA into enzymatic active site of these structures. The results of the docking procedure was presented in the Figure 1 for the WT structure. Moreover, heme was also replaced into its original coordinates found in the initially obtained crystal structure (PDB ID: 1R90), following VPA docking. After docking, all of the structures were used to implement production runs, composed of 50 ns MD simulations.

The first step taken in the analyses of 50 ns MD simulations was assessment of backbone RMSD based conformational stability (Figure 2A, 2B and 2C). These analyses yielded that all of the simulations returned less than 3 Å of RMSD fluctuations during the last 40 ns of the MD simulations (Figure 2A, 2B and 2C), which was a signature of conformational stability. This led us to use those stable frames of the simulations for more detailed analyses.

Following determination of conformational stability, last 10 ns of the stable final 40 ns of each MD simulations were used for estimation of relative binding energy between VPA vs. WT and mutant CYP2C9 structures. These predictions were the key step of this study since it allowed us to dissect the individual contributions of amino acid residues important for interactions in each case. Through comparing wild type and mutant amino acid contributions to the relative binding energy between VPA and CYP2C9 structures, molecular maps of perturbed inter-molecular interactions were aimed to be established. The first step in analyses of binding energies was the comparison of total interaction energy between WT and mutant complexes, which had returned statistically significant decreases upon both mutations, F114L and I207T (Figure 3A). When contributions of amino acids to the relative binding energy were analyzed between WT and mutant complexes, there was clear shift in both mutants in terms of utilization of amino acids. While WT structure was using the amino acids network composed of Glu104, Arg105 and Ala106 together with Leu233 and Leu234 for VPA interaction, F114 and I207T almost completely lost this network (Figure 3B). Instead, the mutant complexes shift to two new networks of which F114L used Arg97 and Val113, and I207T utilized Val113, Ala297, Leu266 and Phe476 for VPA interaction (Figure 3B). Moreover, individual contributions of heme and VPA have shown decreased level of contributions to the relative binding energy between mutant proteins and VPA, once again validating the shifted amino acid network, leading to diminished interaction level in mutants (Figure 3C). Altogether, these observations clearly indicated MM-PBSA based analysis of relative binding energy between enzyme and VPA together with analyses of residue wise contributions residue could be used as a predictor of diminished enzymatic activity of these mutants.

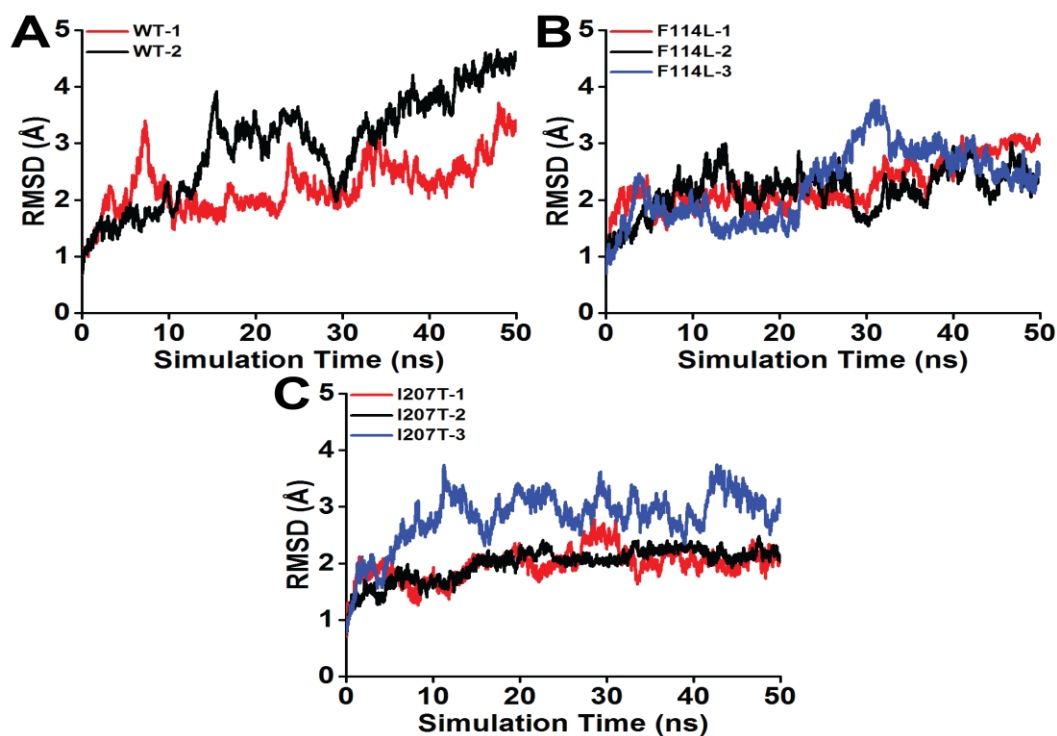


Figure 2. Backbone RMSD based conformational stability analyses of wildtype (WT) CYP2C9 (A) and its mutants F114L (B) and I207T (C) for 50 ns of MD simulations. All the systems analyzed contained VPA (Valproic acid) in their active sites together with heme cofactor. Results indicated that simulations have reached conformational stability after first 10 ns of MD simulations illustrated through less than ~ 3 Å of RMSD fluctuations. WT simulations were repeated in duplicates, whereas mutants were produced in triplicates

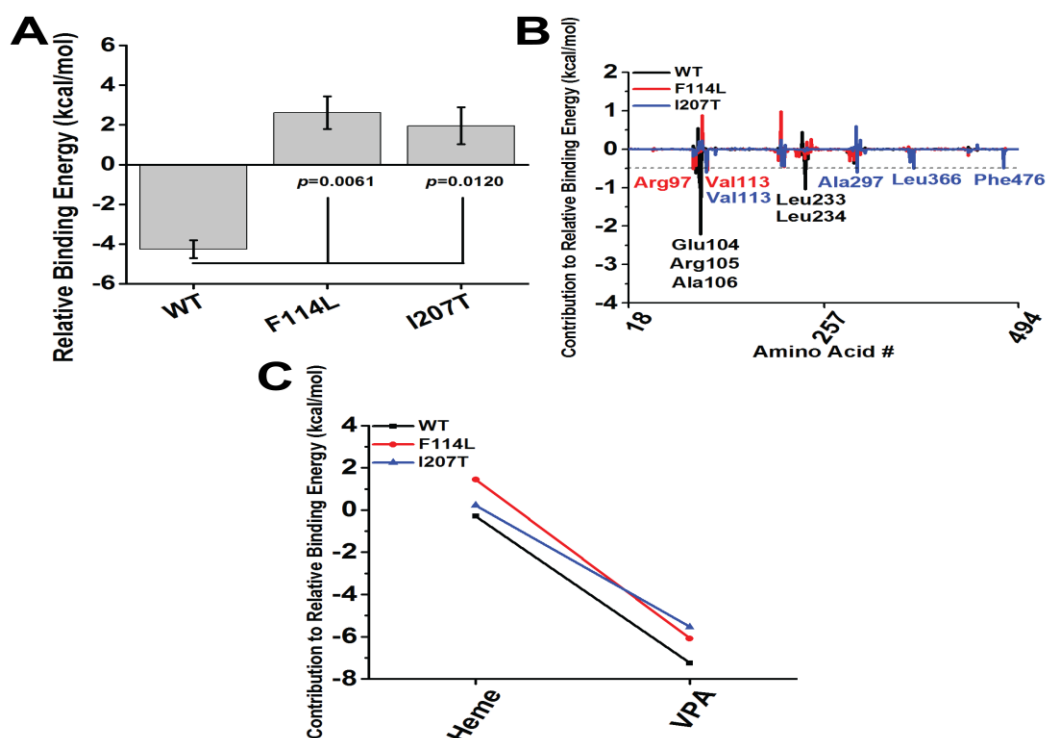


Figure 3. (A) VPA had shown significantly higher relative binding energy towards WT CYP2C9, compared with F114L and I207T mutants ($p < 0.05$). Components of these interaction energies were shown in Table 1. (B) Contributions of WT and mutant CYP2C9 amino acids to the relative binding energy towards VPA were presented. WT CYP2C9 has shown utilization of Glu104, Arg105 and Ala106 together with Leu233 and Leu234, during its interaction with VPA. On the other hand, F114L mutant of CYP2C9 lost all the WT interactions, but continued to interact with VPA via contribution of the two amino acids, Arg97 and Val113. Furthermore, I207T of CYP2C9, similar to F114L mutant, lost all the interactions shown in WT but gained another network of amino acids, Val113, Ala 297, Leu266 and Phe476 for interacting VPA. Dashed line represents threshold selected for choosing amino acid (< -0.5 kcal/mol) in (B). (C) The individual contributions of heme and VPA to the relative binding energy towards WT and CYP2C9 mutants were shown. Both of the heme and VPA had less contributions to the relative binding energy in mutants compared to the WT complex.

Following identification of amino acid wise contributions, total interaction energy between VPA vs WT and mutant CYP2C9 molecules were investigated in terms of their components. All the complexes had shown positive total solvation energies (ΔG (Solvation)) indicating they were not favorable (Table 1). However, total gas phase molecular mechanics energy (ΔG (Gas)) of WT-VPA complex compensated for the numerically positive solvation energy, leading to -4.3 kcal/mol of interaction energy (Table 1). Compensation of solvation energy via gas phase molecular mechanics energy were not found in neither of the mutants (Table 1). When the sum of total polar contributions (ΔE (EEL) + ΔE (EPB)) were analyzed for WT and mutant binding energies, all contributions remained numerically positive, indicating unfavorable polar contribution to relative binding energy in all complexes (+7.5 kcal/mol for WT, +8.5 kcal/mol for F114L, + 9.0 kcal/mol for I207T) (Table 1). On the other side, when total non-polar contributions (ΔE (VDWAALS) + ΔE (ENPOLAR) + ΔE (EDISPER)) were analyzed, WT-VPA complex had shown a clear ~2 fold increase compared to both mutants (-11.7 kcal/mol for WT, -5.9 kcal/mol for F114L, -6.9 kcal/mol for I207T) (Table 1). Overall, it was evident that non-polar interactions were the main contributor to the relative binding energy between VPA and WT CYP2C9 active site. However, loss of total non-polar contribution yielded numerically positive, thus unfavorable relative binding energies in the mutants.

In order to validate MM-PBSA based observations, next, distance analyses were implemented in between center of mass of selected key residues and center of mass of VPA (Figure 4A). It was evident that those key amino acid residues identified at the last 10 ns of MD simulation through MM-PBSA method, Arg105 and Leu234 of WT CYP2C9 remained almost 2 fold closer to VPA during last 40 ns of MD simulations, compared with mutants (Figure 4A). Hence, it was concluded that distance based observations for last 40 ns were confirmatory of MM-PBSA based estimation of relative binding energy, calculated for the last 10 ns. Furthermore, average RMSF based flexibility analyses of VPA molecules in

WT and mutant MD simulations yielded that VPA of the WT complex had slightly higher level of fluctuations, leading to a more flexible molecule compared with mutants (Figure 4B and 4C). This was an interesting observation, concluding that for a high affinity VPA binding, a certain level of flexibility of VPA might be a necessary event in VPA and WT CYP2C9 interactions.

At the next step, hydrogen bonding and hydrophobic contact analyses was conducted on the snapshots taken at 50th ns of MD simulations to validate the MM-PBSA based observation of occupied amino acids residues (Figure 5). LigPlot+ based screening of these interactions for the snapshots taken at 50th ns of MD simulations revealed that WT was using Ala103, His230, Leu233, Leu102, Phe114, Arg108, Glu104, Ala106, Arg105 and 5 water molecules to hold VPA (Figure 5A). Among these Arg105, Ala106 and a single water molecule was hydrogen bonded to VPA, whereas other molecules were all interacting through hydrophobic contacts (Figure 5A). Apart from Leu234 identified from MM-PBSA analyses (Figure 3B), Ligplot+ successfully validated MM-PBSA based predictions of amino acids contributing to the WT CYP2C9-VPA interaction. Albeit this validation, there were also other residues, not identified through MM-PBSA method that could be misrepresentative of the main contributors in WT CYP2C9-VPA interaction (Figure 5A). On the other hand, F114L has shown occupation of Asp293, Arg108, Val292 and 3 water molecules of which neither of them were identified though MM-PBSA analyses (Figure 5B). This indicated that without analyses of energetic contributions, Ligplot+ may return misleading information about interacting residues as in the case of F114L CYP2C9 and VPA. For I207T mutant, Asp293, Arg108, Val113, Ala297, Phe114, Phe100, Leu366, Gly296, Phe476, Leu208 and 2 water molecules were identified to be occupied at 50th ns (Figure 5C). All of the residues predicted through MM-PBSA for I207T were included in LigPlot+ analyses and all were using hydrophobic contacts (Figure 5C). However, there were additional residues that may bring ambiguous information on their potential contributions. Overall, while LigPlot+ analyses of interacting residues at 50th ns of MD

Table 1. Summary of MM-PBSA based estimation of relative binding energy between VPA and CYP2C9 structures

Component	WT (AVG)	WT (SEM)	F114 (AVG)	F114 (SEM)	I207T (AVG)	I207T (SEM)
ΔE (VDWAALS)	-21.7	0.5	-18.1	0.4	-18.3	1.6
ΔE (EEL)	-14.6	0.4	-10.9	4.4	-9.3	4.9
ΔE (EPB)	22.1	0.7	19.4	4.1	18.3	3.5
ΔE (ENPOLAR)	-18.9	0.4	-17.5	0.3	-17.1	0.6
ΔE (EDISPER)	28.9	0.1	29.7	1.2	28.5	0.7
ΔG (Gas)	-36.3	0.8	-29.0	4.5	-27.7	3.4
ΔG (Solvation)	32.1	0.4	31.6	5.0	29.6	3.4
ΔG (Interaction)	-4.3	0.5	2.6	0.8	2.0	0.9

ΔE (VDWAALS): Van der Waals molecular mechanics energy, ΔE (EEL): Electrostatic molecular mechanics energy, ΔE (EPB): Polar contribution to the solvation energy, ΔE (ENPOLAR): Nonpolar contribution of repulsive solute-solvent interactions to the solvation energy, ΔE (EDISPER): Nonpolar contribution of attractive solute-solvent interactions to the solvation energy, ΔG (Gas): Total gas phase molecular mechanics energy, ΔG (Solvation): Total solvation energy, ΔG (Interaction): Total relative binding energy, AVG: Average, SEM: Standard error of the mean

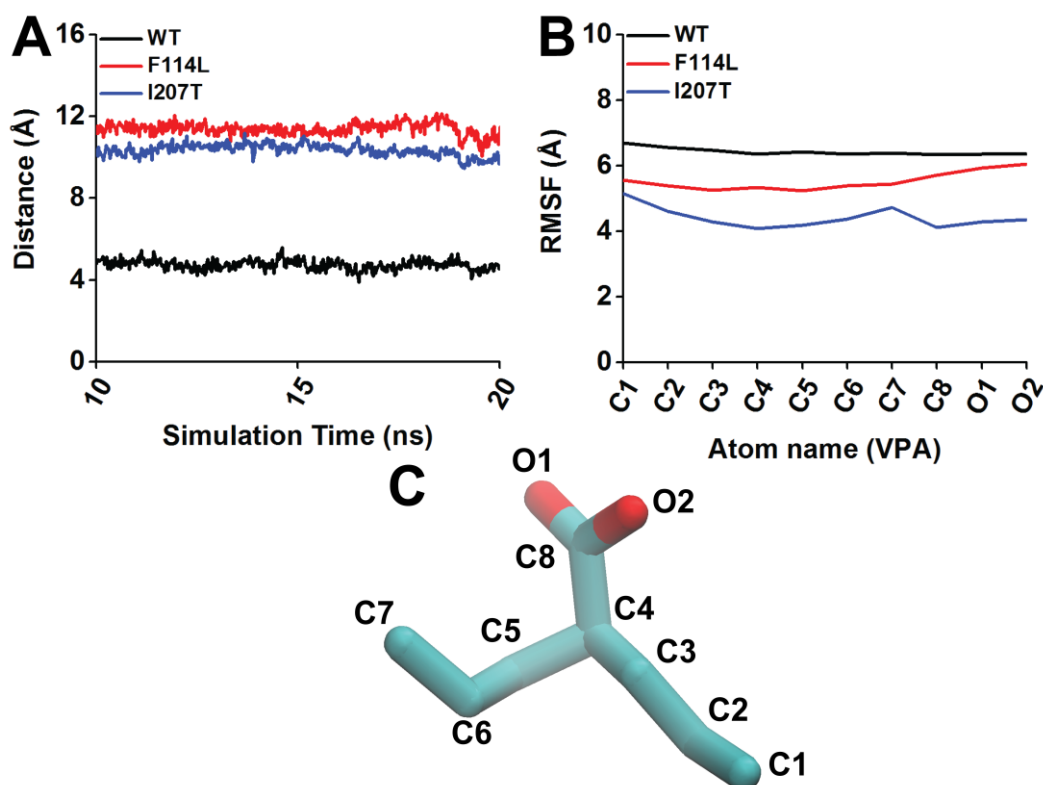


Figure 4. (A) Average distance between center of mass of Arg105 and Leu234 to the center of mass of VPA during last 40 ns of MD simulations were shown for WT and mutants. While WT complex maintained this distance around ~ 5 Å, mutant complexes remained almost 2 fold distant apart, validating the MM-PBSA observation obtained from last 10 ns of the simulations. (B) Average RMSF values, as an indicator of flexibility, were represented for VPA atoms in WT and mutant complexes for the last 40 ns of MD simulations. Interestingly, VPA had slightly higher RMSF values for each atom in WT compared with both of the mutants, demonstrating certain level of atomic fluctuations could be necessary to optimize VPA binding in higher affinity. (C) Atom naming used for VPA in (B).

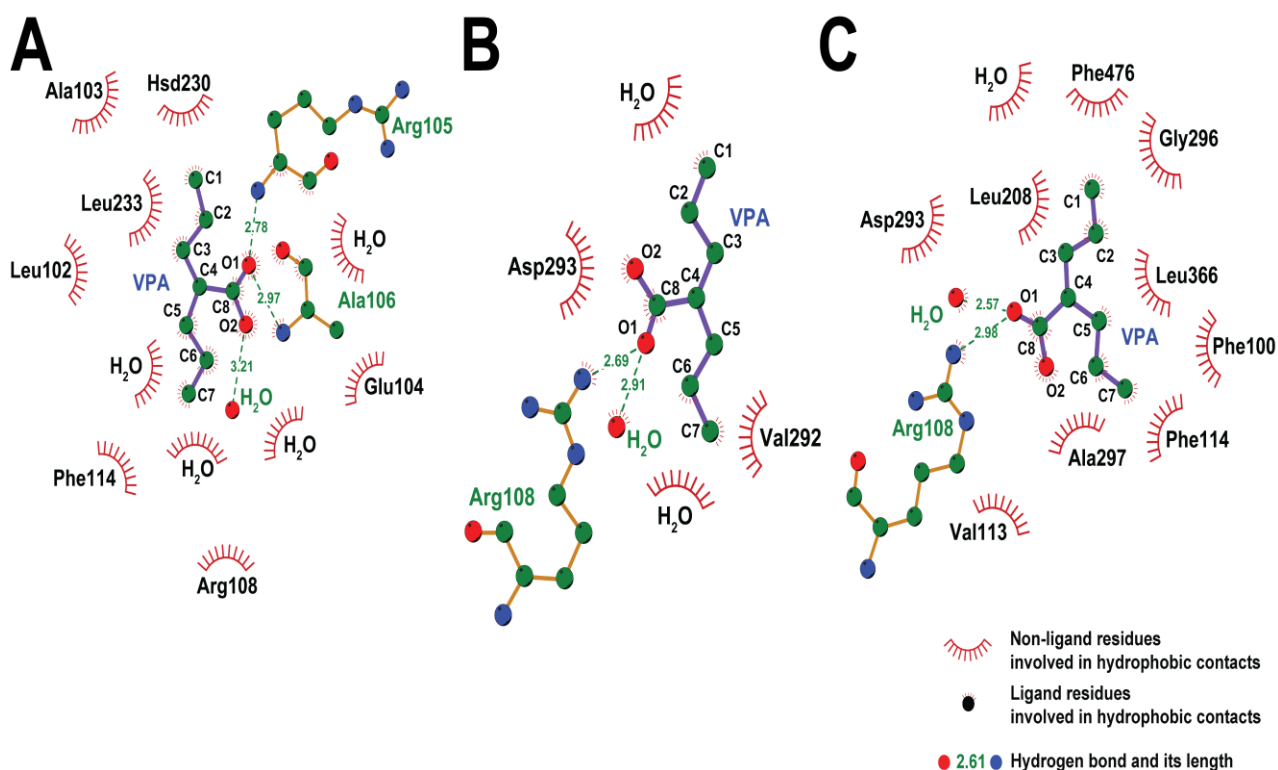


Figure 5. LigPlot+ based analyses of intermolecular interactions between WT CYP2C9 (A) and its mutants, F114L (B) and I207T (C) at the 50th ns of MD simulations. There was clear shift of occupied residues in mutants compared to WT.

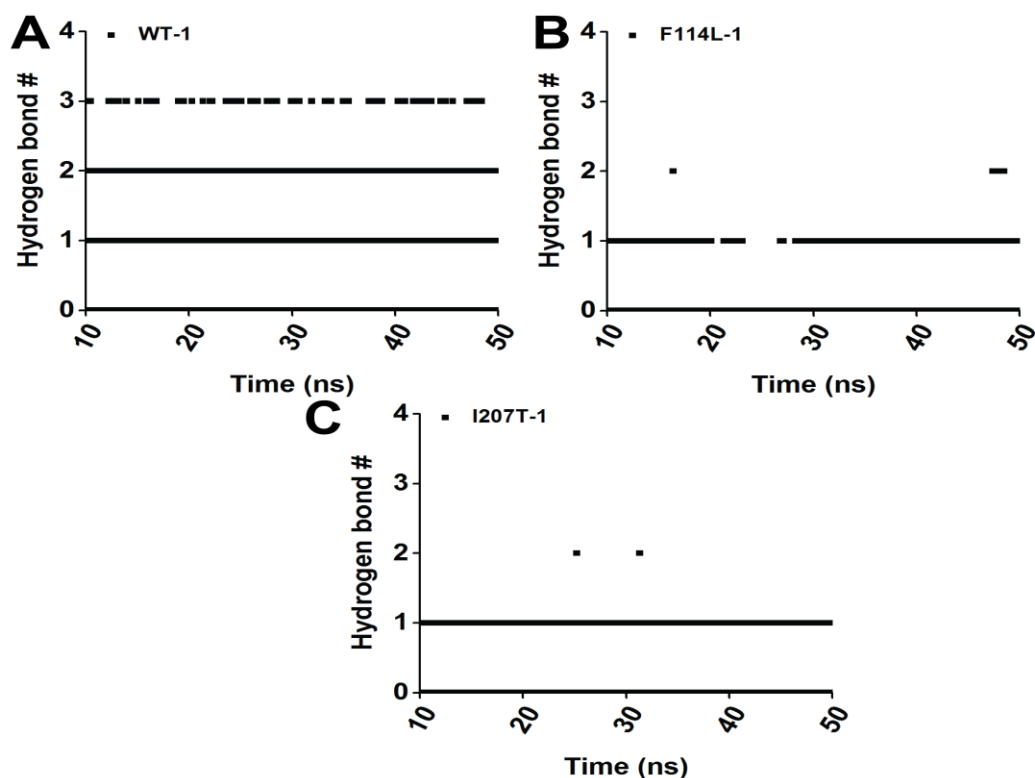


Figure 6. Number of hydrogen bonds between protein/heme and VPA during last 40 ns of MD simulations of WT (A) and its mutants, F114L (B) and I207T (C).

simulations validated the MM-PBSA residues for WT and I207T mutant, identification of additional residues was concluded to be unreliable. Hence, rather than implementing a LigPlot+ based static snapshot analyses, a more reliable temporal analyses of hydrogen bonding at the last 40 ns of all MD simulations were executed at the next step (Figure 6). At this point, both mutants seemed to lost most of the 2 and 3 hydrogen bond containing frames (Figure 6B and 6C) compared with WT (Figure 6A). These results on hydrogen bonding validated the overall ranking between WT and mutants in terms of MM-PBSA based prediction of relative binding energies.

4. Discussion and Conclusion

With this study, WT CYP2C9 and its mutants, F114L and I207T complexed with VPA were subjected to MD analyses and subsequent MM-PBSA based prediction of total relative binding energy and residue-wise amino acid contributions (Figure 2, 3 and Table 1). Based on these analyses, for the first time in literature, it was revealed that the mutations tested caused a significant decrease in relative binding energy compared to WT, through shifting occupied amino acid network involved in VPA binding. In addition, these observations were further supported by distance analyses (Figure 4A), RMSF based flexibility analyses (Figure 4B) LigPlot+ based interaction network analyses (Figure 5) and hydrogen bonding analyses (Figure 6). Overall, a clear shift of interaction network was documented for the first time in selected mutations through a computational approach.

One important limitation of this study was the exclusion of entropic contribution to the estimation of relative binding energy (Table 1). This approach was taken since a simple search in the literature returned many examples where entropy calculation were ignored or lacking due to misleading estimations [35-40]. Moreover, an entropy included MM-PBSA based prediction of the relative binding energy between WT CYP2C9 and VPA was found to be -5.05 kcal/mol of which is numerically very close to our entropy-less prediction, -4.3 ± 0.5 kcal/mol (1.2 kcal/mol of difference) (Figure 3A and Table 1). While all these previous data support that omitted entropy calculations would not alter ranking of relative binding energy estimation in our case, it would be intriguing to see the entropy included results for all of the complexes.

Relative binding energy based ranking of CYP2C9 and its mutants towards VPA could be also interpreted as ranking of dissociation constants. However, strength of VPA binding to the enzymatic active site of CYP2C9 may not necessarily translate into changes in overall enzymatic activity. Thus when approaching MM-PBSA data, this caveat should be taken into account. Moreover, only under rapid equilibrium assumption of Michaelis-Menten kinetics, which states that the rate of substrate binding is faster than product formation, the dissociation constant would be equal to K_m . However, this fact has been questioned in previous literature stating that most of the drug metabolizing cytochrome p450 enzymes do not follow Michaelis-Menten kinetics and are classified as atypical enzymes [41]. Thus, this bottleneck has to be

considered when using the results obtained in this study.

The literature contains a single study in which CYP2C9 and VPA were analyzed with molecular dynamics simulations, followed by MM-GBSA based binding energy analyses [11]. In this paper, authors have evaluated average conformations of 50 ns MD simulations to extract important amino acids that were holding VPA in the enzymatic active site. These were concluded to be F100, R108, V113, F114, L201, N204, I205, L208, V292, G296, A297, E301 and F476. Due to fact that our approach was reliant on MM-PBSA based contribution of VPA interacting residues, Glu104, Arg105 and Ala106, Leu233 and Leu234 were identified for the WT, Arg97 and Val113 for F114L mutant and Val113, Ala 297, Leu266 and Phe476 for I207T mutant (Figure 3B). Based on these results, it was concluded that average structure based approach towards identification of VPA interacting residues may cover all possibilities, even though those residues do not reflect actual contribution to binding energy. This kind of potential misidentification of residues contributing to VPA interactions were also observed in the case which we have analyzed 50th ns frames via LigPlot+ (Figure 5). In sum, we believe that it is a more rational practice to allocate MM-PBSA based amino acid wise contributions to binding energy for ranking importance of residues towards binding.

CYP2C9 has been proposed to obey two-site binding model to hold multiple substrates simultaneously in its active site [42]. Our docked model of VPA in the CYP2C9 enzymatic active site only included one molecule, which may not reflect actual binding events within the binding site (Figure 1). Although VPA was docked as a single molecule, RMSF analyses of this molecule during last 40 ns of the simulation yielded higher flexibility of WT compared to both mutants (Figure 4B). These RMSF results may be deduced to the fact that because WT CYP2C9 has two functional binding sites in its active site, single VPA in the active site may have higher freedom. On the other hand, mutations introduced may possibly alter the structure of the active site leading to a more rigid VPA molecules. Although this perspective requires more detailed analyses via longer MD simulations, future studies may be designed to test this hypothesis.

In conclusion, here WT CYP2C9 and its two mutants F114L and I207T were analyzed by MD simulations and MM-PBSA based binding energetics, all of which yielded novel changes on the interaction network of amino acids upon these mutations. Hence, for the first time in literature, the amino acid wise alterations on how WT CYP2C9 loses its interaction capacity towards VPA upon these two mutations were reported. Future studies with more extensive

characterization of binding energy will expand this knowledge further for CYP2C9 enzyme.

Acknowledgment

Molecular dynamics and MM-PBSA calculations described in this study were fully implemented at TUBITAK ULAKBIM, High Performance and Grid Computing Center (TRUBA resources).

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] Chateauvieux, S., Morceau, F., Dicato, M., Diederich, M. 2010. Molecular and therapeutic potential and toxicity of valproic acid. *Journal of Biomedicine and Biotechnology*, 2010, 1-18.
- [2] Ghodke-Puranik, Y., Thorn, C. F., Lamba, J. K., Leeder, J. S., Song, W., Birnbaum, A. K., Altman, R. B., Klein, T. E. 2013. Valproic acid pathway: pharmacokinetics and pharmacodynamics. *Pharmacogenetics and Genomics*, 23(4), 236-241.
- [3] Terbach, N., Williams, R. S. 2009. Structure-function studies for the panacea, valproic acid. *Biochemical Society Transactions*, 37(5), 1126-1132.
- [4] Leppik, I. E., Birnbaum, A. K. 2010. Epilepsy in the elderly. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1184, 208-224.
- [5] Tan, L., Yu, J. T., Sun, Y. P., Ou, J. R., Song, J. H., Yu, Y. 2010. The influence of cytochrome oxidase CYP2A6, CYP2B6, and CYP2C9 polymorphisms on the plasma concentrations of valproic acid in epileptic patients. *Clinical neurology and neurosurgery*, 112(4), 320-323.
- [6] Ito, M., Ikeda, Y., Arnez, J. G., Finocchiaro, G., Tanaka, K. 1990. The enzymatic basis for the metabolism and inhibitory effects of valproic acid: dehydrogenation of valproyl-CoA by 2-methyl-branched-chain acyl-CoA dehydrogenase. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-General Subjects*, 1034(2), 213-218.
- [7] Argikar, U. A., Remmel, R. P. 2009. Effect of aging on glucuronidation of valproic acid in human liver microsomes and the role of UDP-glucuronosyltransferase UGT1A4, UGT1A8, and UGT1A10. *Drug Metabolism and Disposition*, 37(1), 229-236.

- [8] Sadeque, A. J., Fisher, M. B., Korzekwa, K. R., Gonzalez, F. J., Rettie, A. E. 1997. Human CYP2C9 and CYP2A6 mediate formation of the hepatotoxin 4-ene-valproic acid. *Journal of Pharmacology and Experimental Therapeutics*, 283(2), 698-703.
- [9] Kiang, T. K., Ho, P. C., Anari, M. R., Tong, V., Abbott, F. S., Chang, T. K. 2006. Contribution of CYP2C9, CYP2A6, and CYP2B6 to valproic acid metabolism in hepatic microsomes from individuals with the CYP2C9*1/*1 genotype. *Toxicological Sciences*, 94(2), 261-271.
- [10] Ho, P. C., Abbott, F. S., Zanger, U. M., Chang, T. K. 2003. Influence of CYP2C9 genotypes on the formation of a hepatotoxic metabolite of valproic acid in human liver microsomes. *The Pharmacogenomics Journal*, 3(6), 335-342.
- [11] Bello, M., Mendieta-Wejebe, J. E., Correa-Basurto, J. 2014. Structural and energetic analysis to provide insight residues of CYP2C9, 2C11 and 2E1 involved in valproic acid dehydrogenation selectivity. *Biochemical pharmacology*, 90(2), 145-158.
- [12] Daly, A. K., Rettie, A. E., Fowler, D. M., Miners, J. O. 2017. Pharmacogenomics of CYP2C9: Functional and Clinical Considerations. *Journal of personalized medicine*, 8(1), 1-31.
- [13] Isvoran, A., Louet, M., Vlodoiu, D. L., Craciun, D., Lorient, M. A., Villoutreix, B. O., Miteva, M. A. 2017. Pharmacogenomics of the cytochrome P450 2C family: impacts of amino acid variations on drug metabolism. *Drug Discovery Today*, 22(2), 366-376.
- [14] Veronese, M. E., Miners, J. O., Rees, D. L., Birkett, D. J. 1993. Tolbutamide hydroxylation in humans: lack of bimodality in 106 healthy subjects. *Pharmacogenetics*, 3(2), 86-93.
- [15] Zhang, H. F., Wang, H. H., Gao, N., Wei, J. Y., Tian, X., Zhao, Y., Fang, Y., Zhou, J., Wen, Q., Gao, J., Zhang, Y. J., Qian, X. H., Qiao, H. L. 2016. Physiological Content and Intrinsic Activities of 10 Cytochrome P450 Isoforms in Human Normal Liver Microsomes. *Journal of Pharmacology and Experimental Therapeutics*, 358(1), 83-93.
- [16] Webb, B., Sali, A. 2016. Comparative Protein Structure Modeling Using MODELLER. *Current protocols in bioinformatics*, 15(1), 5-6.
- [17] Humphrey, W., Dalke, A., Schulten, K. 1996. VMD: visual molecular dynamics. *Journal of Molecular Graphics*, 14(1), 33-38.
- [18] Trott, O., Olson, A. J. 2010. AutoDock Vina: improving the speed and accuracy of docking with a new scoring function, efficient optimization, and multithreading. *Journal of Computational Chemistry*, 31(2), 455-461.
- [19] Vanommeslaeghe, K., MacKerell, A. D., Jr. 2012. Automation of the CHARMM General Force Field (CGenFF) I: bond perception and atom typing. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 52(12), 3144-3154.
- [20] Vanommeslaeghe, K., Raman, E. P., MacKerell, A. D., Jr. 2012. Automation of the CHARMM General Force Field (CGenFF) II: assignment of bonded parameters and partial atomic charges. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 52(12), 3155-3168.
- [21] Best, R. B., Zhu, X., Shim, J., Lopes, P. E., Mittal, J., Feig, M., Mackerell, A. D., Jr. 2012. Optimization of the additive CHARMM all-atom protein force field targeting improved sampling of the backbone phi, psi and side-chain chi(1) and chi(2) dihedral angles. *Journal of Chemical Theory and Computation*, 8(9), 3257-3273.
- [22] Huang, J., Rauscher, S., Nawrocki, G., Ran, T., Feig, M., de Groot, B. L., Grubmüller, H., MacKerell, A. D., Jr. 2017. CHARMM36m: an improved force field for folded and intrinsically disordered proteins. *Nature Methods*, 14(1), 71-73.
- [23] MacKerell, A. D., Bashford, D., Bellott, M., Dunbrack, R. L., Evanseck, J. D., Field, M. J., Fischer, S., Gao, J., Guo, H., Ha, S., Joseph-McCarthy, D., Kuchnir, L., Kuczera, K., Lau, F. T., Mattos, C., Michnick, S., Ngo, T., Nguyen, D. T., Prodhom, B., Reiher, W. E., Roux, B., Schlenkrich, M., Smith, J. C., Stote, R., Straub, J., Watanabe, M., Wiorkiewicz-Kuczera, J., Yin, D., Karplus, M. 1998. All-atom empirical potential for molecular modeling and dynamics studies of proteins. *The Journal of Physical Chemistry B*, 102(18), 3586-3616.
- [24] Mackerell, A. D., Jr., Feig, M., Brooks, C. L. 2004. Extending the treatment of backbone energetics in protein force fields: limitations of gas-phase quantum mechanics in reproducing protein conformational distributions in molecular dynamics simulations. *Journal of Computational Chemistry*, 25(11), 1400-1415.
- [25] Jorgensen, W. L., Madura, J. D. 1983. Quantum and statistical mechanical studies of liquids. 25. Solvation and conformation of methanol in water. *Journal of the American Chemical Society*, 105(6), 1407-1413.
- [26] Martyna, G. J., Hughes, A., Tuckerman, M. E. 1999. Molecular dynamics algorithms for path integrals at constant pressure. *Journal of Chemical Physics*, 110(7), 3275-3290.
- [27] Feller, S. E., Zhang, Y. H., Pastor, R. W., Brooks, B. R. 1995. Constant-Pressure Molecular-Dynamics Simulation - the Langevin Piston Method. *Journal of Chemical Physics*, 103(11), 4613-4621.
- [28] Hoover, W. G. 1985. Canonical dynamics: Equilibrium phase-space distributions. *Physical Review A*, 31(3), 1695-1697.

- [29] Wallace, A. C., Laskowski, R. A., Thornton, J. M. 1995. LIGPLOT: a program to generate schematic diagrams of protein-ligand interactions. *Protein Engineering, Design and Selection*, 8(2), 127-134.
- [30] Miller, B. R., McGee, T. D., Jr., Swails, J. M., Homeyer, N., Gohlke, H., Roitberg, A. E. 2012. MMPBSA.py: An Efficient Program for End-State Free Energy Calculations. *Journal of Chemical Theory and Computation*, 8(9), 3314-3321.
- [31] Berman, H. M., Westbrook, J., Feng, Z., Gilliland, G., Bhat, T. N., Weissig, H., Shindyalov, I. N., Bourne, P. E. 2000. The Protein Data Bank. *Nucleic acids research*, 28(1), 235-242.
- [32] Wester, M. R., Yano, J. K., Schoch, G. A., Yang, C., Griffin, K. J., Stout, C. D., Johnson, E. F. 2004. The structure of human cytochrome P450 2C9 complexed with flurbiprofen at 2.0-Å resolution. *Journal of Biological Chemistry*, 279(34), 35630-35637.
- [33] Dai, D. P., Xu, R. A., Hu, L. M., Wang, S. H., Geng, P. W., Yang, J. F., Yang, L. P., Qian, J. C., Wang, Z. S., Zhu, G. H., Zhang, X. H., Ge, R. S., Hu, G. X., Cai, J. P. 2014. CYP2C9 polymorphism analysis in Han Chinese populations: building the largest allele frequency database. *The Pharmacogenomics Journal*, 14(1), 85-92.
- [34] Tracy, T. S., Hutzler, J. M., Haining, R. L., Rettie, A. E., Hummel, M. A., Dickmann, L. J. 2002. Polymorphic variants (CYP2C9*3 and CYP2C9*5) and the F114L active site mutation of CYP2C9: effect on atypical kinetic metabolism profiles. *Drug Metabolism and Disposition*, 30(4), 385-390.
- [35] Genheden, S., Ryde, U. 2015. The MM/PBSA and MM/GBSA methods to estimate ligand-binding affinities. *Expert Opinion on Drug Discovery*, 10(5), 449-461.
- [36] Spackova, N., Cheatham, T. E., 3rd, Ryjacek, F., Lankas, F., Van Meervelt, L., Hobza, P., Sponer, J. 2003. Molecular dynamics simulations and thermodynamics analysis of DNA-drug complexes. Minor groove binding between 4',6'-diamidino-2-phenylindole and DNA duplexes in solution. *Journal of the American Chemical Society*, 125(7), 1759-1769.
- [37] Yang, T., Wu, J. C., Yan, C., Wang, Y., Luo, R., Gonzales, M. B., Dalby, K. N., Ren, P. 2011. Virtual screening using molecular simulations. *Proteins*, 79(6), 1940-1951.
- [38] Foloppe, N., Hubbard, R. 2006. Towards predictive ligand design with free-energy based computational methods? *Current Medicinal Chemistry*, 13(29), 3583-3608.
- [39] Wang, J. M., Hou, T. J., Xu, X. J. 2006. Recent Advances in Free Energy Calculations with a Combination of Molecular Mechanics and Continuum Models. *Current Computer-Aided Drug Design*, 2(3), 287-306.
- [40] Homeyer, N., Gohlke, H. 2012. Free Energy Calculations by the Molecular Mechanics Poisson-Boltzmann Surface Area Method. *Molecular Informatics*, 31(2), 114-122.
- [41] Atkins, W. M. 2005. Non-Michaelis-Menten kinetics in cytochrome P450-catalyzed reactions. *Annual Review of Pharmacology and Toxicology*, 45 291-310.
- [42] Hutzler, J. M., Hauer, M. J., Tracy, T. S. 2001. Dapsone activation of CYP2C9-mediated metabolism: evidence for activation of multiple substrates and a two-site model. *Drug Metabolism and Disposition*, 29(7), 1029-1034.

Evrişimli Sinir Ağları ile Mantar Görüntülerinden Mantar Türlerinin Transfer Öğrenme Yöntemiyle Tanımlanması

Bahadır ELMAS*¹

¹Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, İstatistik Bölümü, 34380, İstanbul, Türkiye

(Alınış / Received: 30.10.2020, Kabul / Accepted: 14.12.2020, Online Yayınlanma / Published Online: 15.04.2021)

Anahtar Kelimeler

Mantar türlerini tanımlama,
Önceden eğitilmiş ağlar,
Transfer öğrenme

Özet: Evrişimli sinir ağlarıyla mantarların tanımlanması; hayatî açıdan önemli mantarların koruma altına alınmasında ve mantar kaynaklarının sürdürülebilir yönetim planlarının yapılmasında oldukça önemlidir. Ayrıca, zehirli mantarların tespit edilmesinde, mantar yetiştiricileri ile toplayıcıların mantarları tanımlamasında yararlı olabilecek bir problem çözümüdür. Mantar şapkaları döküntü, leke, pul, kuşak, yiv, özgün desen ve renk gibi çok sayıda ayırt edici özelliği sahiptirler. Bu nedenle şapka görüntülerinin Lamel, Yüzük, Sap ve Volva görüntülerine göre tanımlamaya daha çok katkısı olacağı düşünülmüştür. Bunun yanı sıra mevcut veri setleri evrişimli sinir ağları'nı eğitmek için yetersiz veya düzensizdir. Bu tezleri ispat etmek ve çalışmalara katkı sağlamak amacıyla, 18 aile ait 472 sınıfın görüntülerini içeren üç adet yeni veri seti oluşturulmuştur. Düzensiz veri seti 148318, düzenlenmiş Şapka, Lamel, Yüzük, Sap ve Volva görüntülerini içeren veri seti 97450 görüntü içermektedir. Düzenlenerek oluşturulmuş mantar şapka görüntüleri ise 65419 görüntüden oluşmaktadır. Çalışmada 6 evrişimli sinir ağı, transfer öğrenme yöntemi kullanılarak eğitilmiştir. Düzenlenmiş mantar şapka veri setiyle eğitilmiş en başarılı ağın doğruluk oranı %97.62'dir. Bu veri setinin görüntü sayısı, birinci veri setine göre %44, ikinci veri setine göre %32 daha az olmasına rağmen başarı oranı birinci veri setine göre %26.53, ikinci veri setine göre %14.5 daha iyidir.

Identifying Species of Mushrooms Through Mushrooms Images by Convolutional Neural Networks with Transfer Learning Method

Keywords

Identifying species of mushrooms,
Pre-trained networks,
Transfer learning

Abstract: Identification of fungi by convolutional neural networks; It is very important for the protection of vital mushrooms and for making sustainable management plans of mushroom resources. It is also a problem solution that can be useful in detecting poisonous mushrooms and for mushroom growers and collectors to identify mushrooms. Mushroom hats have many distinctive features such as rash, stain, scale, sash, groove, unique pattern and color. For this reason, it is thought that hat images will be more successful in defining according to Lamella, Ring, body and Volva images. In addition, the available datasets are insufficient or disorganized to train convolutional neural networks. In order to prove these two theses and contribute to the studies, three new datasets containing the images of 472 classes belonging to 18 families were created. The irregular dataset contains 148318 images. the dataset of the edited Hat, Lamella, Ring, Body and Volva images has 97450 images. Mushroom hat images created by editing consist of 65419 images. In the study, 6 convolutional neural networks were trained using the transfer learning method. The accuracy of the most successful network trained with the regulated mushroom hat dataset is 97.62 %. Although the number of images of this dataset is 44% less than the first dataset and 32% the second dataset. the success rate is 26.53% better than the first dataset and 14.5% the second dataset.

1. Giriş

Mantarlar; çıplak gözle görülebilecek ve elle toplanabilecek büyüklükte, kendine özgü meyve

kısımları olan makrofunguslar olarak kabul edilmektedir [1]. Mantarlar yenilebilir ve tıbbi olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır [2]. Yüksek besin değerine sahip mantarlar, genellikle gıda ürünü

olarak tüketilmektedir. Mantarlar B3, B12 vitamini, demir, potasyum, kalsiyum, bakır, selenyum, fosfor, magnezyum, çinko ve manganez gibi birçok mineralleri içermektedir. Bunun yanı sıra riboflavin, niasin, pantotenik ve konjuge linoleik asit kaynağıdır [3]. Protein miktarı et, yumurta ve süt kadar yüksektir ve en iyi D vitamini kaynaklarından biridir [3-5]. Hayvansal kaynaklar dışında D vitamini içeren tek doğal kaynaktır. Mantarların bazı besin değerleri Tablo 1’de verilmiştir [6].

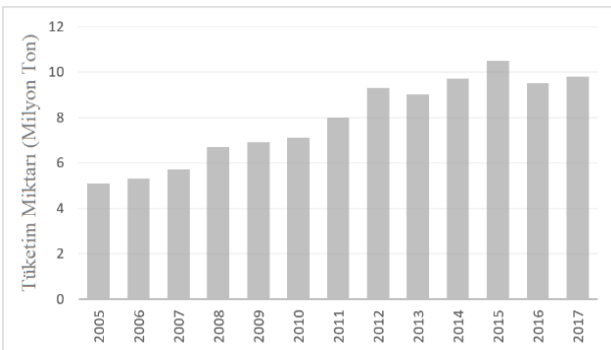
Mantarlar içerdikleri biyoaktif bileşikler nedeniyle birçok hastalığın önlenmesi ve tedavisinde destekleyici ürün olarak da kullanılabilir. Doğadan toplanan çoğu mantar türlerinin antitümör, antioksidan, antimikrobiyal, antiviral ve antialerjik gibi tıbbi yararları olduğu tespit edilmiştir [7].

Tablo 1. Mantarların besin değerleri [6]

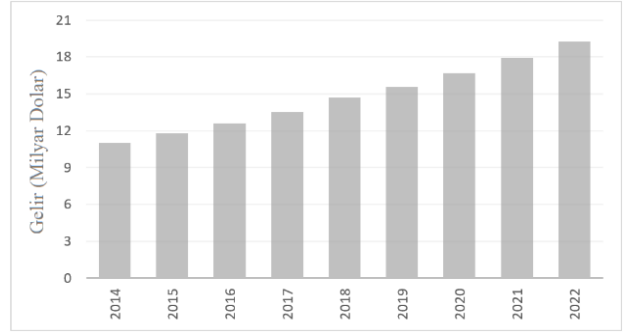
Mantarların Besin Değerleri	
Enerji	240-310 kcal/kg
Yağ	20-30 g/kg
Protein	200-250 g/kg
Karbonhidrat	500-650 g/kg
Diyet Lifleri	220-300 g/kg

Doğada yabani olarak yetişen 140000'den fazla mantar türü bulunmaktadır [8]. Bunlardan 2500 kadarı yenilebilir olarak tanımlanmıştır [9]. Doğadan toplanan yenilebilir yabani mantarlar, kültür mantarlarına göre çok talep görmektedir. Yabani mantarlara olan bu talep artışı ve ticari potansiyel, mantarları odun dışı orman ürünü alternatifi arasına sokmaktadır [10,11,12]. Fazla işgücü gerektirmemesi, iş gücünün ve mantar toplama şeklinin düşük masraflı olması nedeniyle insanlar için geçim kaynağı haline gelmiştir [13]. Fakat bilinçsiz toplayıcılık ve mantar üretim taleplerindeki son yıllardaki aşırı artış, mantarcılıkta sürdürülebilirlik problemlerinin ortaya çıkmasına sebep olmuştur [11]. Özellikle gelişmiş ülkelerde mantara çok fazla talep vardır; bu ülkelerde kişi başına yıllık mantar tüketimi 2.5kg'a kadar yükselmiştir. Şekil 1’de 2005 yılı ile 2017 yılları arasında dünyada mantar tüketim miktarları verilmiştir [14].

Tüketim miktarları, mantara ilginin önümüzdeki yıllarda daha da artacağını göstermektedir. Şekil 2’de verilmiştir [15].



Şekil 1. Dünya’da mantar tüketim miktarları [14]



Şekil 2. Dünya’da mantar gelir miktarları [15]

Yaşam açısından çok değerli olan mantarların herkes tarafından tanımlanması önemli bir sorundur. Özellikle mantara dokunmadan ve zarar vermeden görsel olarak tanımlanması insan sağlığı ve mantarlar kaynaklarının sürdürülebilirliği açısından önemlidir. Mantar türlerini mantar görüntülerinden tanımlama yeteneği, önemli bir sorun olmasına rağmen yeterince ilgi görmemiştir. Bunun nedeni bu alandaki veri yetersizliği veya düzensizliğidir.

Bazı mantar türlerinin yapılarında çok ince farklar olmakla beraber doğada çok sayıda mantar türü bulunmaktadır. Bu nedenle mantar türlerinin tanımlanması eğitilmiş ve tecrübeli insanların dahi zorlandığı bir konudur. Mantar türlerinin belirlenmesinde, görme problemleri üzerinde etkileyici sonuçlar veren ve her geçen gün hızla ilerleme kaydedilen derin öğrenme yöntemlerinden evrişimli sinir ağlarını kullanmak yararlı olabilecek bir problem çözümüdür. Bu çalışmadaki görsel tür tanımlaması; mantarların geleceğe taşınmasında, yaşam açısından önemli mantarların koruma altına alınmasında, mantar kaynaklarının sürdürülebilir yönetim planlarının yapılmasında, mantarların zehirli olup olmadığının tespitinde, botanik araştırmalarında, mantarların sınıf veya alt türlerinin belirlenmesinde, mantar yetiştiriciliğinde, mantarların işleme süreçlerinde, mantar toplayıcıların mantarları türlerine göre sınıflandırmasında yararlı olabilecek bir problem çözümüdür.

Derin öğrenmedeki son gelişmeler sinir ağlarının birçok görsel tanıma görevinde insan performansını geçebildiğini göstermiştir. Derin öğrenme yaklaşımlarının önemli dezavantajı, tatmin edici sonuçlar elde etmek için genellikle çok büyük veri setlerine ihtiyaç duymalarıdır. Örneğin, ImageNet veritabanı, 15 000 000’u aşan resim içeren ve 22000 kategoriye ayrılmış bir veri setidir. Dünyada trilyonlarca mantar olup doğada yabani olarak yetişen 140000’den fazla mantar türüne rağmen mantar türü tanımlaması için boyut veya çeşitlilik bakımından eşdeğer bir veri seti yoktur. Bu alandaki, en büyük görsel veri setlerinden mushroomobserver WEB sitesinde yaklaşık 250 bin mantar görüntüsü bulunmaktadır. Bu veri setinde her mantar türüne ait yaklaşık 1 ile 5 arasında görüntü mevcuttur [16]. 2018 FGVCx mantar sınıflandırma yarışmasında

kullanılan veri setinde ise toplam 1394 mantar türü vardır. Söz konusu veri seti 99.518 adet görüntü içermektedir [17,18]. Kuzey Avrupa mantar türlerinin en yaygın dokuz adet mantar türünü barındıran diğer bir veri setinde ise 6713 görüntü vardır [19]. Bu çalışmada söz konusu bu sorunun çözümüne katkıda bulunmak ve evrişimli sinir ağlarını eğitmek amacıyla yeni, yeterli ve düzenli bir veri seti oluşturulmuştur. Söz konusu veri seti bir yılı kapsayan bir süreçte diğer veri setlerinden, doğaseverlerin fotoğraf çekimlerinden ve bu çalışma için çekilmiş fotoğraflardan oluşmaktadır. Oluşturulan veri setinde Lamel, Yüzük, Sap, Volva özelliklerde mantar şapkalarını ön planda tutacak şekilde yeniden düzenlenmiştir.

Bu çalışma bir başlangıç çalışması olup, ilk aşamada oluşturulan mantar veri seti ile önceden eğitilmiş ağları transfer öğrenme yöntemleriyle eğiterek mantar türlerinin tanımlanmasının mümkün olduğunu göstermektedir. Bu çalışma sonucunda kazanılacak bilgi ve tecrübeler doğrultusunda çalışmanın devamında planlanan proje ile veri setini Türkiye sınırlarını kapsayacak şekilde mümkün olduğunca büyündürmektir. Bu veri setiyle de mantar görüntülerinden mantar tanımlaması yapabilecek yüksek çözünürlükte veri girişine sahip, söz konusu göreve özgün bir ağ tasarlamaktır. Yine proje kapsamında mantar alt türlerinin tanımlamasını yapabilecek ikinci özgün bir ağ tasarımının yapılması planlanmaktadır. Her iki ağ tasarımı herkesin ulaşabileceği uygulamalar haline getirilerek oluşturulan veri setiyle birlikte kamuya açılacaktır.

Image-CLEF Challenge 2013'te bitkilerin tanınması için yapılan çalışmalarda yaprak verilerin yanı sıra bitkinin diğer kısımları da kullanılmaya başlamıştır. Farklı ekipler, bitkinin farklı kısımlarının görüntüleriyle bitki türlerini tanımlamak için algoritmalar ve programlar geliştirilmiştir [20, 21]. 2014 yılına kadar, algoritmaların çoğu Scale-Invariant Feature Transform veya Speeded-Up Robust Features gibi noktaların tespit edilmesi ve karakterizasyonuna, Fourier veya Local Binary Pattern dönüşümlerinden elde edilen renk bilgilerine ve bag-of-word yaklaşımlarına dayanmaktaydı [22-24]. ImageCLEF 2015'ten itibaren ise bitkilerin sınıflandırılması veya özelliklerin çıkarılmasında derin öğrenme yaklaşımları kullanılmaya başlanmıştır [25].

M. Sulc ve arkadaşlarının LifeCLEF 2014'da bitki türlerinin fotoğraflardan otomatik olarak tanınmasına yönelik önceden eğitilmiş ResNet152'yi kullanmışlar ve %50 ile %60 arasında başarı elde etmişlerdir [26]. N. Sunderhauf ve arkadaşlarının LifeCLEF 2015'te Fransa'dan 500 farklı ot, ağaç ve eğreltiotu türünden alınan 47000'den fazla kök, yaprak, meyve, çiçek ve dal deseni görüntülerini kullanarak Evrişimli sinir ağları ile sınıflandırma yapmışlar ve ortalama %25 başarı elde etmişlerdir

[27]. J. Champ ve arkadaşları LifeCLEF 2015'de Batı Avrupa'da yaşayan ağaç, ot ve eğreltiotu türüne ait 1000 adet türün çok sayıda çiçek, yaprak, meyve, kök ve dal görüntülerini toplamışlardır. Çalışmalarında evrişimli sinir ağlarını kullanarak sınıflandırma yapmışlar ve %58 başarı oranı elde etmişlerdir [28]. H. Goeau ve arkadaşları LifeCLEF 2017'de yaptıkları çalışmada AlexNet, GoogLeNet, ResNet, VGGNet gibi birçok mimariyi kullanarak çiçek, meyve, tüm bitki görüntüsü, yaprak, dal deseni, üzerine yaptıkları çalışmada %48 ile %95 arasında değişen başarı oranları elde etmişlerdir [29]. LifeCLEF'de bitki sınıflandırmasının yapıldığı bu çalışmalarda derin öğrenme yaklaşımları kullanılmıştır.

Mantar tanımlama alanında yapılan çalışmalar ise şu şekildedir; A. Masoudian ve K. A. McIsaac, Mantar hasat robotunun mikrobik veya mekanik kaynaklı mantar hasarını tespit etmek amacıyla hızlı ve tahribatsız bir yöntem için Destek Vektör Makinesi yöntemini uygulamışlardır. Çalışmalarında %90'ın üzerinde doğruluk oranı elde etmişlerdir [30]. A. Subramaniam ve B.J. Oh yaptıkları çalışmada, temel bileşen analizi algoritmasını kullanarak yenilebilir mantarları yenilemeyen mantarlardan ayırt etme yöntemini önermişlerdir. Önerilen yöntemin başarı oranı, eğitim görüntülerinin sayısı bağlı olarak %85 ile %96 arasındadır [31]. Kyung-Jong Kim ve arkadaşları evrişimli sinir ağlarını kullanarak mantar tarlalarında yetiştirilen mantarların haşere durumunu analiz etmek için bir sistem önermişlerdir. Çalışmayı mantar hastalıkları ve zararlıları hakkındaki özel verilerden elde edilen yaklaşık 1500 mantar görüntüsü ile gerçekleştirmişlerdir [32]. A. J. Olpin yaptığı çalışmada tarım mantarlarını sınıflandırmak ve tespit için iki takım deney yapmıştır. Sınıflandırma için yaptığı ilk deney setinde standart bir evrişimli sinir ağlarını kullanmış, %87.5 ile %88.9 arasında doğruluğa ulaşmıştır. İkinci deney setinde ise Bölge Tabanlı Evrişimli Sinir Ağını (Region-Based Convolutional Neural Network) kullanmış, %92.1 doğruluk elde etmiştir [33]. R. F. Rahmat ve arkadaşları zehirli mantarları tanımlamak için K-En Yakın Komşu Algoritmasını önermişlerdir. Tanımlama işleminden önce, görüntü gri ölçeklendirme, görüntü kenarı ve eşikleme, görüntü bölümlenme ile özellik çıkarma işlemi kullanılarak mantar görüntüleri ön işlemden geçirmişlerdir. Sistemi test etmek için 40 mantar görüntüsü kullanılmış, zehirli mantar tanımlamasında sistemin doğruluk oranı %90 olarak bulmuşlardır [34]. Wibowo ve arkadaşları, Karar Ağacı (C4.5), NaïveBayes ve Destek Vektör Makinesi yöntemlerini kullanarak Agaricus ve Lepiota ailesinin mantar verileri sınıflandırmışlardır. Test sonuçları, C4.5 algoritmasının Support Vector Machine (SVM) ile %100 oranında aynı doğruluk seviyesine sahip olduğunu göstermiş ancak hız açısından C4.5 algoritmasının SVM'den daha hızlı olduğunu tespit etmişlerdir [35]. M. Wulandari ve arkadaşları, zehirli mantarları belirlemek amacıyla geri yayımlı bir sinir

ağını kullanmışlardır. 1020 eğitim verisi üzerinde özellik çıkarmada, renk için 3D Renk Vektörü Niceleme ve form çıkarma işlemi için Hu Moment yöntemlerini kullanmışlardır. Araştırmanın sonucunda, %89.71 doğrulukla mantar türlerini tespit etmişlerdir [36]. A. Anil ve arkadaşları, Agaricus ve Bisporus mantarlarının açık atmosferde çevreyle reaksiyona girme ve kahverengi renkli bir pigment geliştirme eğiliminden yola çıkarak mantarda tazeliğin belirlenmesi için bilgisayar tabanlı görme yöntemi önermişler. SVM sınıflandırıcısının %80 doğrulukla mantarın tazeliğini belirlediği sonucuna varmışlardır [37]. P. Maurya ve N. P. Singh yenilebilir ve zehirli mantarları ayırt etmek için makine öğrenme yaklaşımına dayanan doku özelliğini kullanarak mantarın sınıflandırılması için bir SVM sınıflandırıcıyı önermişler ve önerdikleri yaklaşımın performansını %76.6 olarak bulmuşlardır [38].

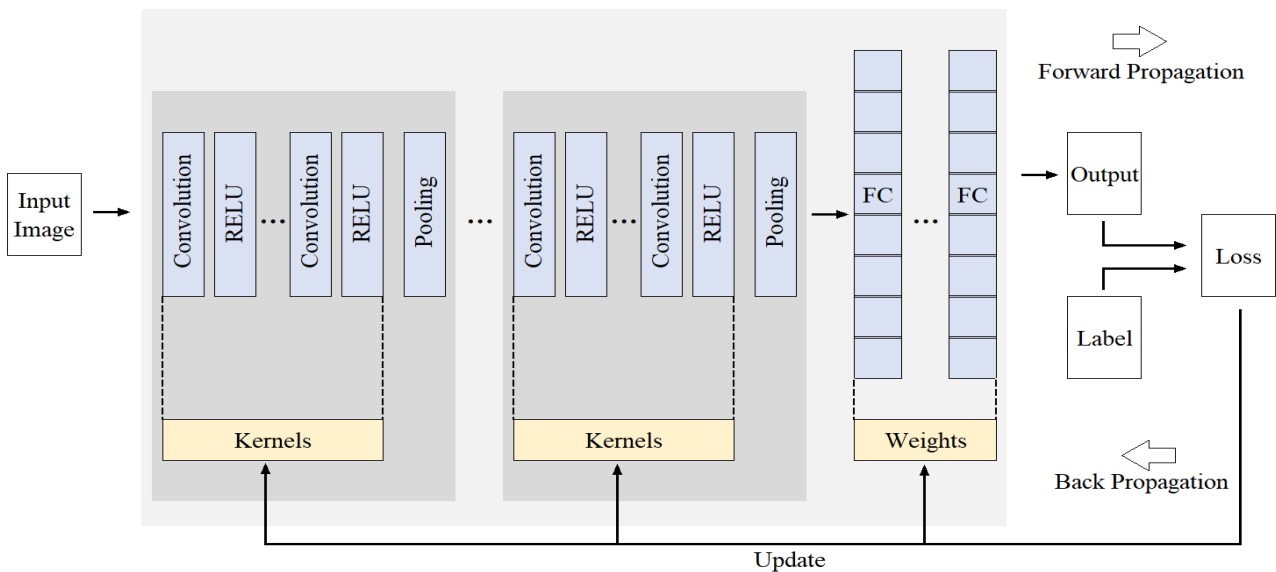
2. Materyal ve Metot

2.1. Evrişimli sinir ağları ve transfer öğrenme

Derin sinir ağları bilgisayarlı görme, konuşma tanıma ve robotik içeren için birçok yapay zekâ uygulamasında yaygın olarak kullanılmaktadır. Derin sinir ağlarının sıkça tercih edilen bir şekli ise çoklu evrişimli katmanlardan oluşan evrişimli sinir ağlarıdır [39]. Evrişimli sinir ağları, ızgara benzeri bilinen bir topolojiye sahip veriyi işlemek için kullanılan bir tür sinir ağı olan derin öğrenme yöntemidir [40]. İleri beslemeli mimariye sahiptir ve tamamen bağlı katmanlara sahip ağlara kıyasla daha iyi genelleme yapar [41, 42]. Daha çok örüntü tanıma, sınıflandırma, sinyal işleme, sözlük, tıp, finans ve savunma sanayinde kullanılmaktadır. Evrişimli sinir ağları çoğunlukla Şekil 3'teki gibi Convolution, Rectified Linear Unit (ReLU), Pooling ve Fully Connected Layers (FC) katmanlarından oluşur [41, 43-46].

Yeni bir evrişimli sinir ağı yaratmanın ve eğitmenin ilk adımı ağ mimarisini tanımlamaktır. Ağ mimarisi, dâhil edilen katmanların türlerine ve sayılarına bağlı olarak değişebilir. Dâhil edilen katmanların türleri ve sayısı, uygulamaya veya verilere bağlıdır. Uygulamada kategorik yanıtlar varsa, bir softmax ve sınıflandırma katmanına sahip olunmalıdır. Yanıt sürekli ise; ağın sonunda bir regresyon katmanı bulunmalıdır. Yalnızca bir veya iki evrişimli katmana sahip küçük bir ağ, az sayıda gri tonlamalı görüntü verisini öğrenmek için yeterli olabilir. Diğer taraftan, milyonlarca renkli görüntü içeren karmaşık verilerde, daha karmaşık ağlara ihtiyaç duyulmaktadır [45]. Evrişimli sinir ağlarında Şekil 3'te gösterildiği gibi ilk katmanlarda verilen girdi üzerinde, filtreler yoluyla özellik çıkarımı gerçekleştirilir. Aynı zamanda bir yandan hesaplama maliyetini düşürmek diğer yandan ise girdiden öğrenilen özelliklerin özet bilgisini diğer katmanlara aktarmak amacıyla boyut düşürme fonksiyonları kullanılır. Daha sonra girdiden elde edilen bu özellikler tek boyutlu bir vektör haline getirilir ve tam bağlantılı katman veya katmanlara girdi olarak verilir, sınıflandırma işlemi gerçekleştirilir. Ağın filtreler ve ağırlıklar altındaki performansı, bir kayıp fonksiyonu ile hesaplanır ve öğrenilebilir parametreler yani filtreler ve ağırlıklar geri yayılım yoluyla kayıp değerine göre güncellenir [42]. Evrişimli sinir ağlarının her biri farklı mimari kullanarak eğitim işlemi gerçekleştirilmektedir. Bu çalışmada kullanılan evrişimli sinir ağları; AlexNet, ResNet18, ResNet50, ResNet101, VGG16, VGG19'dur [47-50]. Tablo 2'de söz konusu ağların katman, derinlik, parametre sayısı, görüntü giriş boyutları ve ağ mimarileri verilmiştir.

Bazı evrişimli sinir ağlarının eğitilmesi, ağın karmaşıklığı ya da veri setinin büyüklüğü nedeniyle standart bilgisayar işlemcilerinde gerçekleştirmek oldukça zordur. Bu nedenle güçlü grafik işleme birimlerine ihtiyaç duyulur. Uzun süren eğitimler sonucunda eğitilmiş birçok modelden problem için



Şekil 3. Evrişimli Sinir Ağlar

Tablo 2. Ağların derinlik, katman, parametre sayısı, resim giriş boyutu ve mimarileri

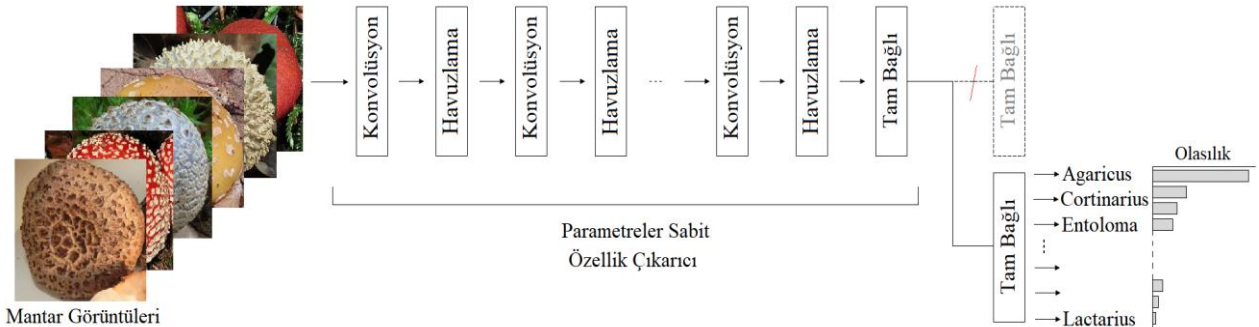
	AlexNet	ResNet-18	ResNet-50	ResNet-101	VGG16	VGG19
Derinlik	8	18	50	101	16	19
Katman	25	72	177	347	41	47
Parametre	61 Milyon	11.7 Milyon	25.6 Milyon	44.6 Milyon	138 Milyon	144 Milyon
Resim	227x227	224x224	224x224	224x224	224x224	224x224
Mimari	[11x11 conv 3x3 max]	7x7,64, stride 2 3x3 Max. Pool	7x7,64, stride 2 3x3 Max. Pool	7x7,64, stride 2 3x3 Max. Pool	[3x3conv,64]x2 Max. Pool	[3x3conv,64]x2 Max. Pool
	[5x5 conv 3x3 max]	[3x3 64] [3x3 64]x2	[1x1 64] [3x3 64]x3 [1x1 256]	[1x1 64] [3x3 64]x3 [1x1 256]	[3x3conv,128]x2 Max. Pool	[3x3conv,128]x2 Max. Pool
	[3 x 3] x 1 [3 x 3] x 1	[3x3 128] [3x3 128]x2	[1x1 128] [3x3 128]x4 [1x1 512]	[1x1 128] [3x3 128]x4 [1x1 512]	[3x3conv,256]x3 Max. Pool	[3x3conv,256]x4 Max. Pool
	[3x3 conv 3x3 max]	[3x3 256] [3x3 256]x2	[1x1 256] [3x3 256]x6 [1x1 1024]	[1x1 256] [3x3 256]x23 [1x1 1024]	[3x3con,512]x3 Max. Pool	[3x3conv,512]x4 Max. Pool
	1000fc softmax	[3x3 512] [3x3 512]x2	[1x1 512] [3x3 512]x3 [1x1 2048]	[1x1 512] [3x3 512]x3 [1x1 2048]	4096 fc,ReLU 4096 fc,ReLU 1000 fc softmax	4096 fc,ReLU 4096 fc,ReLU 1000 fc softmax
		Avg. Pool 1000fc, softmax	Avg. Pool 1000fc, softmax	Avg. Pool 1000fc, softmax		

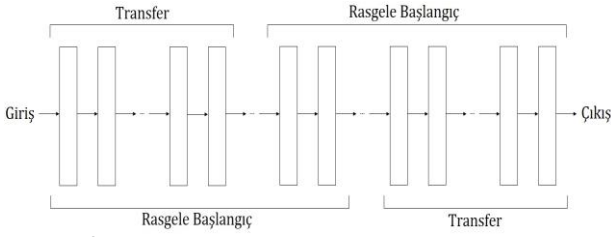
uygun bir model seçilerek problemin çözümünde kullanılabilir. Eğitilmiş bir ağı, ilgili ikinci bir görevde yeniden tasarlandığı, hızlı ilerleme ve gelişmiş performans sağlayan bu makine öğrenmesi tekniğine transfer öğrenme denir. Transfer öğrenme; ağı eğitilmesi için yeterli zaman yok ve donanım yetersizse, ne kadar veri olduğuna dair endişelenmeden, bir derin öğrenme modeli oluşturmanın en hızlı ve en kolay yoludur [51-53]. Geleneksel makine öğrenme teknikleri, her görevi sıfırdan öğrenmeye çalışırken, transfer öğrenme teknikleri, önceki görevlerden elde ettiği bilgileri yeni bir görevi öğrenme hedefine aktarır [53]. Öğrenilen niteliklerin taşınabilir olması derin öğrenmeyi eski ve sığ öğrenme yaklaşımlarından ayıran en önemli avantajlarından biri olup derin öğrenme yöntemini küçük veri problemlerinde etkin yapar [54].

Evrişimli sinir ağlarının giriş ve ara katmanları genellikle kenar, doku, desen, gibi üst seviye özellikleri öğrenirken son katmanları daha spesifik özellikleri öğrenir. Bu yüzden giriş ve ara katmanlar korunurken son katman probleme uygun şekilde tasarlanıp, mevcut veri setiyle eğiterek hızlı bir şekilde yeni bir model elde edilir [55]. Veri ve hedef görev, orijinal modelin üzerinde çalıştığı veri ve hedef görevle benzerlik gösteriyorsa, bu yaklaşım en iyi sonucu verir. Bununla birlikte, bir modeli sıfırdan

eğitmek için yeterli veri varsa ve görevler o kadar yakın olmasa da, önceden eğitilmiş bir model kullanarak parametreleri başlatmak, rasgele başlatmadan daha iyi sonuçlar verebilir [56]. Ayrıca sahip olunan veri problemleri ve miktarı yetersiz ise bu veri için tasarlanmış özel model, önce genel bir görev için hazırlanmış büyük bir veri kümesi kullanılarak eğitildikten sonra mevcut veri ile eğitilebilir. Bu yöntemde aktarılan şey temel olarak parametrelerin başlangıç değerleridir. Ağırlıkları rastgele başlatmak yerine önceden eğitilmiş bir ağı kullanarak başlatmak; ağı öğrenmede iyi bir başlangıç yapmasını, öğrenme gelişiminin daha hızlı olmasını ve daha yüksek performans elde etmesini sağlayarak yakınsamayı hızlandırır. Ayrıca yeterli veri olmadığı durumlarda, transfer öğrenme ağı aşırı öğrenmeden koruyarak eğitmek için iyi bir seçenektir. Şekil 4'teki gibi Tam Bağlı katman dışındaki tüm katmanları aktarmak en yaygın transfer öğrenme türüdür. Bu çalışmada da bu yöntemin kullanılması tercih edilmiştir [51-53].

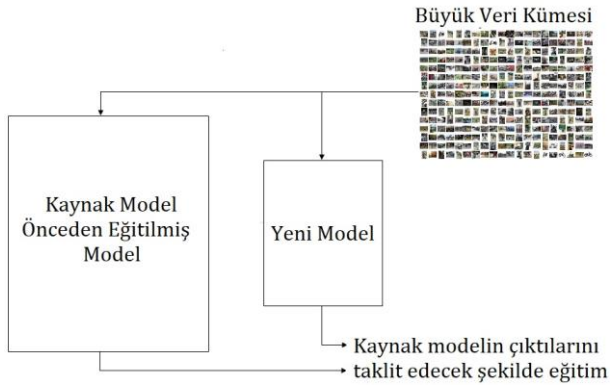
Ayrıca önceden eğitilmiş bir ağı ilk n katmanını bir hedef ağı aktarıp geri kalan katmanları rastgele başlatmak da mümkündür. Aktarılan kısmın, ilk katmanlar olması da gerekmez. Görevler aynı fakat girdi verilerinin türü biraz farklıysa, son katmanları da aktarmak mümkündür.

**Şekil 4.** Tam Bağlı katmanların probleme göre tasarımı.



Şekil 5. İlk ve son katmanların transfer modeli

Transfer öğrenme pek çok görev için kullanılabilir. Ancak bir modeli başka bir modele aktarmak her zaman mümkün değildir. Veri türünün ve görevinin oldukça farklı olduğu durumlar bu kapsama girer. Transfer öğreniminin uygulanamayacağı bir başka durum, özellikleri aktarılabilecek model ile aktarılan modelin mimarisindeki uyumsuzluk durumudur. Farklı mimariye sahip modeller arasında bilgi aktarımını sağlayan teknik model ise Şekil 6'da verilen damıttır. Önceden eğitilmiş bir modelin damıtılması; yeni modeli, doğrudan veriler üzerinde eğitmek yerine önceden eğitilmiş modelin çıktılarını taklit edecek şekilde eğitilmesidir. Bu yaklaşım özellikle kaynak modelden daha küçük bir modelin eğitilmesinde verimlidir.

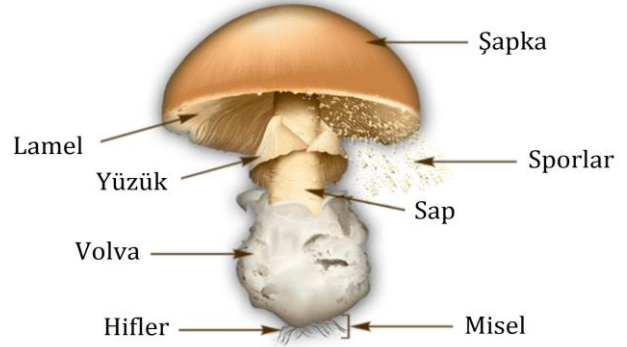


Şekil 6. Eğitilmiş bir modelin damıtılması

Mantar sınıflandırılması, ImageNet yarışmasından farklı bir problem olup daha spesifik bir problem çözümdür. Bu yüzden çalışmada kullanılan ağların eğitilmesi gerekir. Ağların giriş katmanından sınıflandırma katmanına kadarki ara katmanlar, Şekil 4'teki gibi korunmuştur. Veri seti ağların giriş katmanından verilmiştir. Çalışmada kullanılan ağlar 1000 sınıflandırma yaparken bu çalışma 18 sınıflandırma yapmaktadır. Bu nedenle ağların sınıflandırma katmanları Şekil 4'teki gibi 18 sınıflandırma yapacak şekilde tasarlanmıştır. Ağlardan AlexNet, VGG16 ve VGG19'da havuzlama katmanında maksimum havuzlama yöntemi kullanılırken, ResNet-18, ResNet-50, ResNet-101 ağlarında ise maksimum ve ortalama havuzlama yöntemi kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan ağlar oluşturulan veri setiyle MATLAB ortamında eğitilmiştir (MATLAB R2019a). Eğitimde kullanılan bilgisayarın işletim sistemi 64 bit, işlemcisi Intel(R) Core(TM) i7-7820HQ CPU @ 2.90 GHz, RAM'i 16 GB olup ekran kartı Radeon Pro 560'dır.

2.2. Veri setinin toplanması

Mantarlar dünya üzerinde çok fazla tür ve alt tür barındırdığından fiziksel görüntüleri birbirine çok benzemektedir. Çıplak gözle birbirinden ayırt edilemeyen türler vardır. Bu türler ancak laboratuvarlarda testlerle tayin edilmektedir. Mantarların tanımlanmasında yaygın kullanılan mantar bölümleri Şekil 7'de verilmiştir.



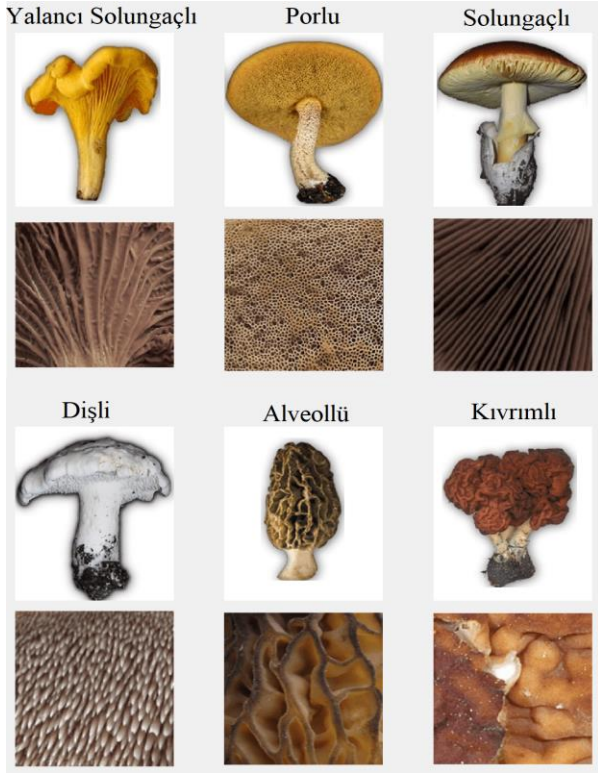
Şekil 7. Mantar bölümleri

Mantarlarda şapka mantarın en üstteki bölümüdür. Şapka, mantar türünün belirlenmesi, başka bir tür ile karşılaştırılması açısından çok önemli ayırt edici özellikleri taşımaktadır. Mantarlarda dokuz adet şapka türü vardır. Bunlara ait görseller Şekil 8'de verilmiştir.



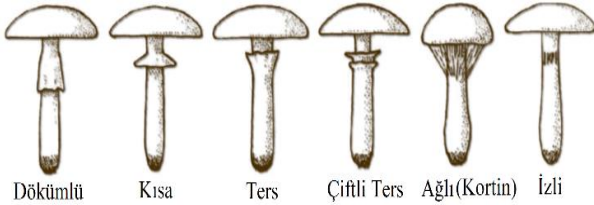
Şekil 8. Mantarlarda şapka çeşitleri

Şapka altındaki yapılar Lamel olarak adlandırılır. Mantarlarda Şekil 9'da verildiği gibi farklı görünümde altı çeşit Lamel vardır. Lamellerin dokusu ve görünümü mantar türlerinin belirlenmesinde önemli ayırt edici bir özelliktir.



Şekil 9. Mantarlarda lamel çeşitleri.

Mantarların gelişimlerini tamamladığı koruyucu zar, yırtıldıktan sonra mantarın sap bölümüne yapışarak Şekil 10'daki gibi yüzük görüntüsünde bir yapı oluştururlar. Yüzük, tür tayininde bir seçenektir. Fakat çeşitli çevre şartları nedeniyle saptan ayrılabilir veya eriyerek yok olabilirler.



Şekil 10. Mantarlarda yüzük çeşitleri.

Koruyucu zarflar bazen yırtılarak Şekil 11'deki gibi Sap'ın yaşam alanı ile birleştiği yerde bir kılıf olarak kalabilirler. Bu yapılar Volva olarak adlandırılır. Volva bazı mantarlar için karakteristik bir özelliktir ve ilk bakışta mantar cinsinin belirlenmesinde yardımcı olabilir.



Şekil 11. Mantarlarda volva çeşitleri.

Mantarlardaki Sap'ın dokusu, rengi, yüzüklü ve/veya volvalı olup olmaması tür tayininde belirleyici bir özellik olarak kullanılabilir. Mantarlarda altı adet Sap çeşidi vardır; bunlar Şekil 12'de verilmiştir.



Şekil 12. Mantarlarda sap çeşitleri.

Bunların yanı sıra Hifler, Misel ve Sporlar bazı cins mantarların belirlenmesinde karakteristik özelliklerdir. Fakat bu yapılar yaşam alanının altında veya laboratuvar ortamında görülebileceği için bu çalışmada ayırt edici bir özellik olarak kullanılmamıştır. Çünkü bu çalışma mümkün olduğu kadar mantara dokunmadan veya zarar vermeden mantarların fotoğraflanabileceği bölümlerinden yola çıkılarak tanımlama yapmayı amaçlamaktadır.

Yukarıda belirtilen mantarların tanımlanmasında önemli rol oynayan mantar bölümlerini içeren bir veri seti oluşturmak amacıyla çok sayıda veri seti, doğaseverlerin fotoğraf çekimleri ve yayınları gözden geçirilmiştir. Bunun yanı sıra doğada karşılaşılan mantarlarda fotoğraflanarak oluşturulan veri setine eklenmiştir. İncelenen veri setleri;

- 2018 FGVCx mantar sınıflandırma yarışmasında kullanılan veri kümesinde toplam 1394 mantar türü vardır. Söz konusu veri seti 99518 adet görüntü içermektedir. [17,18].
- Kuzey Avrupa mantar türlerinin en yaygın dokuz tanesini barındıran diğer bir veri setinde ise 6713 görüntü vardır [19].
- mushroomobserver WEB sitesinde yaklaşık 250 bin mantar görüntüsü bulunmaktadır. Her mantar türüne ait yaklaşık 1 ile 5 arasında görüntü mevcuttur [16].
- first-nature WEB sitesinde 700'den fazla mantarın görüntü ve açıklamaları bulunmaktadır [57].
- mushroom.world WEB sitesi 139 adet mantar türüne ait görüntüleri içermektedir [58].
- Guillaume Eyssartier ve Pierre Roux tarafından yayınlanan Le Guide Des Champignons kitabında Fransa ve Avrupa'daki 3000 türü ait 1500'den fazla fotoğraf yer almaktadır [59].
- Borgarino ve Christian Hurtado tarafından yayınlanan Le Guide Des Champignons kitabında ise 1200'den fazla türün 900 fotoğrafı vardır [60].

Çalışma için veri seti oluşturmak amacıyla yukarıda bahsedilen veri setleri ve kaynakları incelenirken karşılaşılan en önemli problem mantar görüntülerinin Şekil 13'teki gibi birçoğunun mantar tanımlamaya katkıda bulunmak yerine tanımlamayı zora sokacak mesafeden veya açıdan fotoğraflanmasıdır.



Şekil 13. Veri setleri ve kaynaklar incelenirken karşılaşılan mantar görüntüleri.

Mantar toplayıcıların, araştırmacıların veya doğaseverlerin mantarı ilk gördüğünde gözlerine çarpan mantarın Şapka, Sap, Yüzük, Lamel ve Volva bölümleridir. Özellikle mantarı koparmadan tanımlamak hem sağlık hem de mantarlara zarar vermeme açısından önem arz etmektedir. Bu nedenle veri seti oluşturulurken Şekil 14'teki gibi öncelikle mantarın yukarıdan veya karşı cephesinden çekilen fotoğraflar elde edilmeye çalışılmıştır. Bu işlem yapılırken Şekil 13'teki gibi fotoğraflar kırpma işlemiyle düzenlenmiştir. Böylelikle mantarların Şapka, Sap, Yüzük ve Volva bölümlerinin ön planda olduğu görüntüler veri setine eklenmiştir.



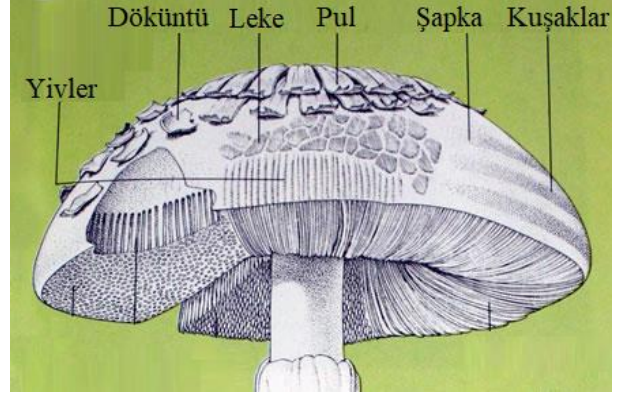
Şekil 14. Düzenlenmiş mantar görüntüleri

Bunun yanı sıra mantarların kesilmesi durumunda görülen ve mantarların tanımlanmasında önemli rol oynayan Lameller de Şekil 15'teki gibi fotoğraflardan kırılıp düzenlenerek veri setine eklenmiştir.



Şekil 15. Düzenlenmiş lamel görüntüleri

Bu şekilde elde edilen fotoğraflar Sap, Yüzük ve Volva bölümlerinde ön plana çıkarması nedeniyle mantar tanımlanmasına önemli katkılar sunmaktadır. Veri setinin oluşturulduğu bu süreçte gözden geçirilen görüntü sayısı 148318 adettir. Fotoğraflar gözden geçirilirken mantar şapkalarının tanımlamada daha ön plana çıkacak özellikler taşıdığı gözlemlenmiştir. Şekil 16'daki gibi şapka üzerindeki döküntü, leke, pul, kuşaklar, yivler, mantar türüne özgü desenler ve renkler bunda önemli rol oynamaktadır.



Şekil 16. Mantar şapkası üzerindeki ayırt edici özellikler.

Sadece Şapka, Lamel, Yüzük ve Sap bölümlerinden oluşan fotoğrafların geniş açıdan çekilmiş fotoğraflarına göre mantar tanımlamada daha yüksek performans gösterdiğini ispatlamak, ayrıca mantar şapkalarının tanımlamada daha ayırt edici özellik taşıdığını göstermek amacıyla üç adet veri seti oluşturulmuştur. Birinci veri seti; mevcut veri setleri, doğaseverlerin fotoğraf çekimleri ve çeşitli yayınlardan elde edilen 148318 görüntüden oluşmaktadır. Görüntüler kaynaklardan alınarak düzenlenmeden oluşturulan veri setine eklenmiştir. İkinci veri seti; birinci veri setindeki görüntülerden kesilerek düzenlenmiş Şapka, Lamel, Yüzük, Sap ve Volva bölümleridir ve görüntü sayısı 97450 adettir. Üçüncü veri seti ise özellikle mantar şapkalarının ön planda olduğu, düzenlenmiş görsellerden oluşmaktadır. Tablo 3'te mantar şapkalarından oluşan 18 adet mantar ailesinin veri seti gösterilmektedir. Veri setinde 18 aile ile bu ailelere ait 472 sınıftan oluşmaktadır. Toplanan görüntü sayısı 65419'dur.

Tablo 3. Mantar şapka görüntülerinden veri seti

Bilimsel Adı	Snf. Say.	Gör. Say.	Bilimsel Adı	Snf. Say.	Gör. Say.
Agaricus	30	2890	Lepiota	12	2168
Amanita	57	4124	Lycoperdon	9	3020
Boletus	39	3782	Mycena	51	6412
Cortinarius	36	4516	Parasola	6	2775
Entoloma	22	3188	Pluteus	19	3327
Galerina	12	3024	Ramaria	6	2594
Hericium	4	2625	Russula	41	5140
Hygrocybe	16	3071	Suillus	19	2629
Lactarius	63	5902	Tricholoma	30	4232

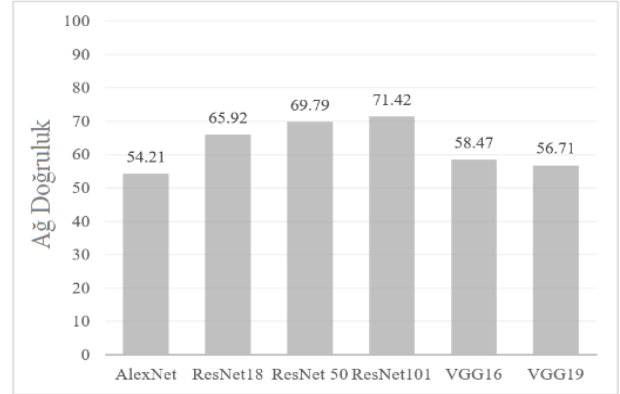


Şekil 17. Mantar aileleri şapka görüntü örnekleri.

3. Bulgular

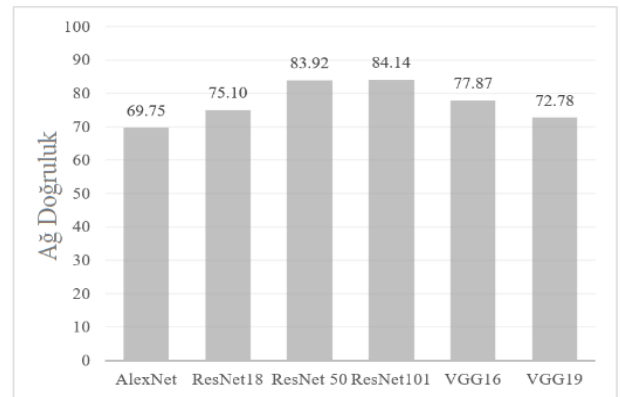
Tanımlayıcı sistemler geliştirilirken karşılaşılan en büyük sorun güvenilir ve performans artırıcı veri setleri oluşturmaktır. Mevcut mantar veri setlerinde mantar görüntülerinden, mantar tanımlamayı zorlaştıran uzak mesafeden veya açıdan çekilmiş fotoğraflardır. Ayrıca kadraja çok fazla nesne ve bu nesnelere ait renk ve/veya desen girmesidir. Bu çalışma için oluşturulan veri setinde söz konusu sorunları ortadan kaldırmak amacıyla görüntüler kırpma ve kesme yöntemleriyle yeniden düzenlenmiştir. İncelenen diğer kaynaklar ve çekilen fotoğraflarla görüntü sayısı ve çeşitliliği artırılmıştır. Bunun yanı sıra yeni tanımlayıcı sistemler geliştirirken ortaya çıkan yaygın bir soru; veri setinin boyutunun ve eğitim verisinin veri setindeki oranının ne olduğudur. Bu soruyu yanıtlamak ve yukarıda belirtilen düzenlenmiş mantar görüntüleri ile mantar sayısı ve görüntü çeşitliliğinin tanımlama doğruluğu üzerinde etkisini deneysel olarak görmek amacıyla oluşturulan üç adet veri seti incelenmiştir.

Birinci veri seti; mevcut veri setleri, doğaseverlerin fotoğraf çekimleri ve çeşitli yayınlardan elde edilen görüntülerden oluşmaktadır. Görüntüler kaynaklardan alınarak düzenlenmeden oluşturulan veri setine eklenmiştir. Veri setindeki fotoğrafların birçoğunun mantar tanımlamaya katkıda bulunmak yerine tanımlamayı zora sokacak mesafeden veya açıdan çekilmesinin yanısıra kadraja çok fazla nesne ve bu nesnelere ait renk ve/veya desenin girmesidir. Şapka, Sap, Yüzük, Lamel ve Volva gibi mantar bölümlerinin renk, desen veya konumları görüntülerde ya arka planda kalmış ya da görüntüdeki diğer nesnelere renk ve desenleri arasında belirleyici özelliklerini yitirmişlerdir. Şekil 18'deki grafikte de görülebileceği gibi bu veri seti ile eğitilen 6 adet önceden eğitilmiş ağıın doğruluk oranı %54.21 ile %71.42 arasında değişmektedir.



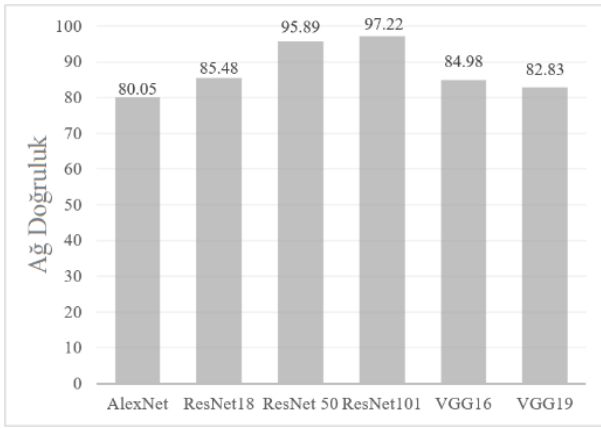
Şekil 18. Veri seti 1 ağ doğruluk oranları

İkinci veri seti; birinci veri setindeki görüntülerin kırpma ve kesme işlemiyle düzenlenmiş Şapka, Lamel, Yüzük, Sap ve Volva bölümlerini içeren görüntülerden oluşmaktadır. Böylece birinci veri setindeki mantar dışındaki diğer nesnelere çıkarılmıştır. Bunun sonucunda ikinci veri seti mantarların tanımlayıcı bölümlerini içeren bir veri seti haline gelmiştir. Söz konusu veri seti ile eğitilen ağıların başarı oranı Şekil 19'da gösterildiği gibi %69.75 ile %84.14 arasında değişmektedir. Birinci veri setine göre başarı oranı ortalama %15 artmıştır.



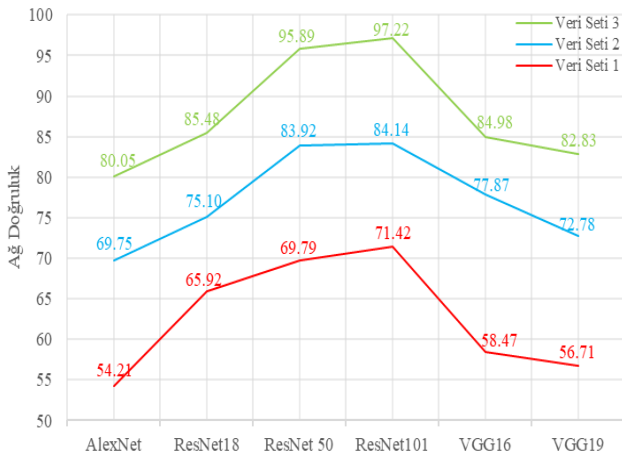
Şekil 19. Veri seti 2 ağ doğruluk oranları

Üçüncü veri seti ise üzerindeki döküntü, leke, pul, kuşaklar, yivler, mantar türüne özgü desenler ve renkler bulduran mantar şapkalarının ön planda olduğu düzenlenmiş görüntülerden oluşmaktadır. Özellikle zehirli olma ihtimali olan mantarlara dokunmadan ve mantarın fizik bütünlüğüne zarar vermeden mantarların şapkalarını fotoğraflamak, mantarların diğer bölümlerini fotoğraflamaya göre daha kolay ve güvenilirdir. Mantar şapkasının diğer bölümlere göre daha fazla ayırt edici özellikler içermesi ve fotoğraflama kolaylığı bu veri setinin oluşturulmasında önemli rol oynamıştır. Söz konusu veri seti ile eğitilen ağların başarı oranı Şekil 20'de gösterildiği gibi %80.05 ile %97.22 arasında değişmektedir. Birinci veri setine göre başarı oranı ortalama %25, ikinci veri setine göre başarı oranı ortalama %10 artmıştır.



Şekil 20. Veri seti 3 ağ doğruluk oranları.

Mevcut veri setlerinden ve diğer kaynaklardan bir araya getirilerek oluşturulan Veri Seti 1 ile bu çalışma için oluşturulan Veri Seti 2 ve Veri Seti 3'ün tanımlama başarısını gösteren genel grafik Şekil 21'de verilmiştir. Çalışmada kullanılan önceden eğitilmiş ağlardan ResNet101 ve ResNet50'nin düzenlenerek oluşturulan yeni veri setlerindeki başarıları kayda değer başarılarıdır. Bu iki ağın ağırlıklı olarak mantar şapkalarını içeren görüntülerden oluşan Veri Seti 3'deki başarıları ResNet101 için %97.22 ve Resnet50 için %95.89'dur.

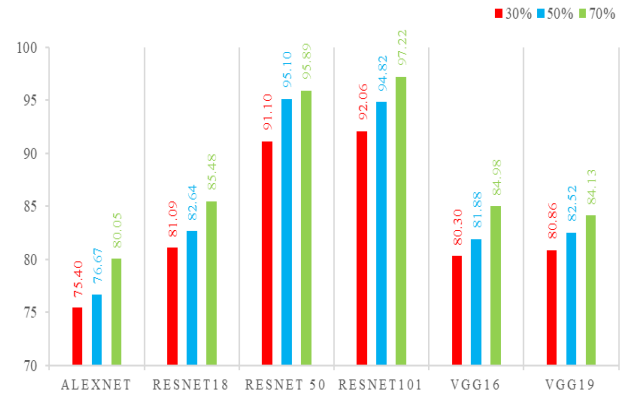


Şekil 21. Veri setleri ağ doğruluk oranları.

İncelenen ikinci konu ise eğitim verisi oranının ne olacaktır. Bu amaçla en başarılı veri seti olan Veri Seti 3'te eğitim verisi oranı %30, %50 ve %70 alınarak ağlar eğitilmiştir. Eğitim verisi oranı %30'dan %70'e çıkarıldığında ağların doğruluk oranının %3.26 ile %5.16 arasında attığı gözlenmiştir. Her üç eğitim oranında da ResNet101 ve ResNet50 en başarılı ağlar olmuşlardır. Ayrıca başarı oranındaki en fazla artış %5.16 ve %4.8 ile bu ağlarda gerçekleşmiştir. Tablo 4 ve Şekil 22'de bu değişimler gösterilmiştir.

Tablo 4. Veri seti 3 eğitim verisi oranı ağ doğruluk tablosu.

Ağlar	%30	%50	%70
AlexNet	75.40	76.67	80.05
ResNet18	81.09	82.64	85.48
ResNet 50	91.10	95.10	95.89
ResNet101	92.06	94.82	97.22
VGG16	80.30	81.88	84.98
VGG19	80.86	82.52	84.13



Şekil 22. Veri seti 3 eğitim verisi oranı-ağ doğruluk grafiği.

Veri Seti 3'te eğitim verisi oranı %70 iken en başarılı ağ ResNet101'in Confusion Matrix'i ve bu matristen yola çıkılarak çizilen ROC grafiği ise Şekil 23'teki gibidir.

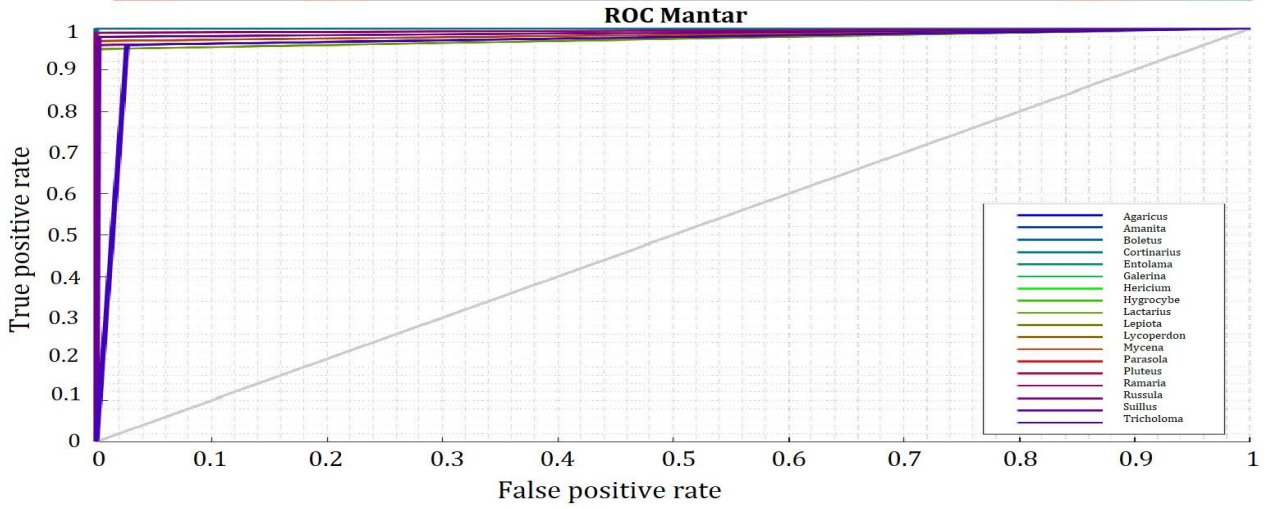
Çalışmada incelenen üçüncü konu; ağ katman sayısı, derinliği ve parametre sayısının tanımlama üzerindeki etkisidir. Veri Seti 3'te eğitim verisi oranı %70 iken ağların katman, derinlik ve parametre sayısına bağlı olarak ağ doğruluk oranları da Tablo 5 ve Şekil 24'te verilmiştir.

Tablo 5. Katman, derinlik, parametre ve ağ doğruluk tablosu

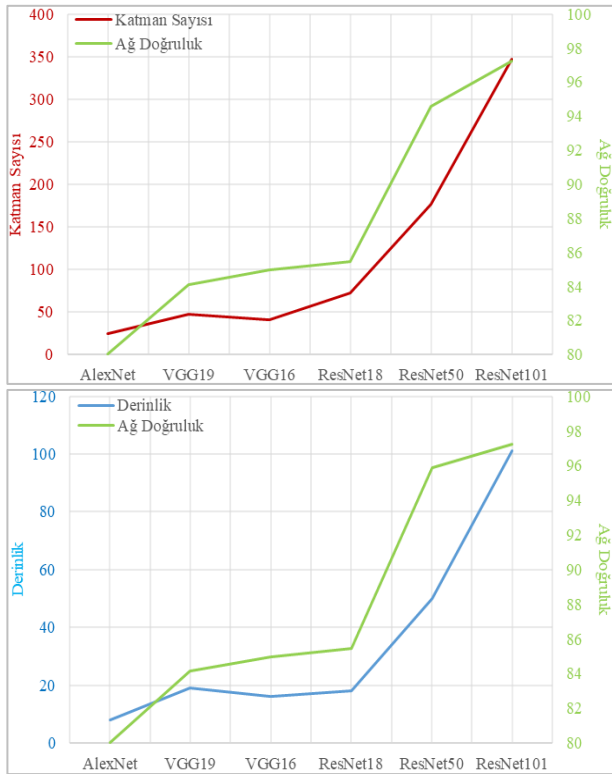
Ağlar	Katman	Derinlik	Parametre (Milyon)	Doğruluk
AlexNet	25	8	61	80.05
ResNet18	72	18	11.7	85.48
ResNet50	177	50	25.6	95.89
ResNet101	347	101	44.6	97.22
VGG16	41	16	138	84.98
VGG19	47	19	144	84.13

Şekil 24'teki grafiklerde görüldüğü gibi ağ doğruluk oranlarındaki artış ile katman sayısı ve ağ derinliği doğru orantılıdır.

	Agaricus	Amanita	Boletus	Cortinarius	Entoloma	Galerina	Hericium	Hygrocybe	Lactarius	Lepiota	Lycoperdon	Mycena	Parasola	Pluteus	Ramaria	Russula	Suillus	Tricholoma
Agaricus	0,97	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,02
Amanita	0,00	0,97	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02
Boletus	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cortinarius	0,00	0,00	0,00	0,96	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,02
Entoloma	0,00	0,00	0,00	0,00	0,97	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00
Galerina	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,97	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Hericium	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,98	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00
Hygrocybe	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,97	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Lactarius	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,95	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00
Lepiota	0,00	0,01	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,97	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Lycoperdon	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,98	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mycena	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,97	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
Parasola	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,99	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
Pluteus	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,01	0,00	0,96	0,00	0,00	0,00	0,00
Ramaria	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,99	0,00	0,00	0,00
Russula	0,01	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,96	0,00	0,00
Suillus	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,98	0,00
Tricholoma	0,02	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,96

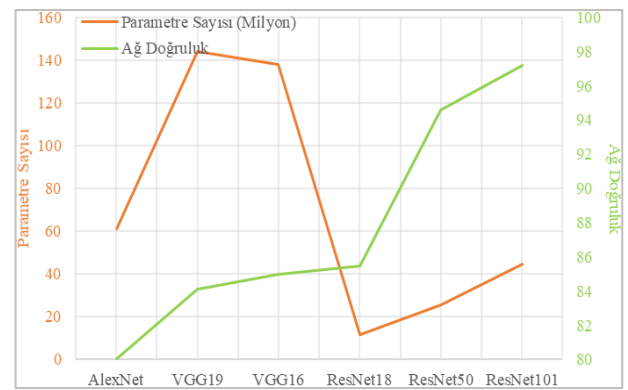


Şekil 23. Confusion matrisi ve ROC grafiği



Şekil 24. Katman sayısı-ağ doğruluk ve derinlik-ağ doğruluk grafiği

Eğitilmede elde edilen diğer bir sonuç; parametre sayısı az, önceden eğitilmiş ağların bu çalışmadaki gibi veri sayısı az, özel problemlere uygulandığında, genel eğilim ağ performanslarının parametre sayısı fazla ağlara göre daha iyi olduğudur. Söz konusu bu durum Tablo 5'teki değerlerle çizilen Şekil 25'te görülebilir.



Şekil 25. Ağ parametre sayısı-ağ doğruluk grafiği

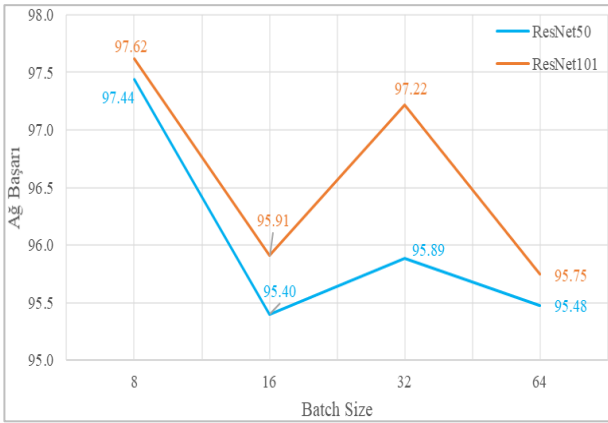
Çalışmada incelenen diğer bir konu ise düzenleme etkisidir. Tablo 5'teki sonuçlar parti büyüklüğü 32 alınarak elde edilmiş sonuçlardır. Düzenleme etkisini değerlendirmek amacıyla

Tablo 5'teki en başarılı iki ağ ResNet50 ve ResNet101 parti büyüklükleri 8, 16 ve 64 olacak şekilde yeniden eğitilerek test edilmiştir. Eğitimler üçüncü veri setinde yapılmış ve eğitim verisi oranı %70 alınmıştır. Eğitim sonuçları Tablo 6 ve Şekil 26'da verilmiştir.

Tablo 6. Parti büyüklüğü-ağ doğruluk tablosu

Parti Büyüklüğü	Ağ Doğruluk	
	ResNet50	ResNet101
8	97.44	97.62
16	95.40	95.91
32	95.89	97.22
64	95.48	95.75

Elde edilen sonuçlar parti büyüklüğünün (Batch Size) 8 olması durumunda ağ performanslarının daha iyi olacağı yönündedir. Parti büyüklüğünün 8 olması durumunda en başarılı iki ağdan ResNet50'nin başarı oranı %95.89'dan %97.44'e, ResNet101'in başarı oranı %97.22'den %97.62'ye çıkmıştır.



Şekil 26. Parti büyüklüğü-ağ doğruluk grafiği

4. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmayla önceden eğitilmiş ağlarda transfer öğrenme yöntemi kullanılarak mantar görüntülerinden mantar türü tanımlanmasının yüksek başarı oranı ile yapılabileceği gösterilmiştir. Bu sonuç; probleme, veriye ve ağa uygun transfer öğrenme yöntemi seçildiğinde önceden eğitilmiş ağların bu ve benzeri problemlere iyi çözümler getireceğini göstermesi açısından önemlidir. Çalışmanın diğer önemli bir sonucu, üzerinde birçok tanımlayıcı özellik taşıyan mantar şapkasının mantar tanımlamada çok önemli rol oynadığını göstermesidir. Ayrıca, bir mantardan çok sayıda fotoğraf çekmek yerine, çok sayıda mantardan fotoğraf çekmenin ağ performansı açısından çok daha önemli olduğunu sonucuna varılmıştır.

Gerek mevcut veriler gerekse düzenlenerek oluşturulan yeni veri setinde oldukça yüksek başarı gösteren ve ileriye dönük iyi bir çözüm olduğunu ispatlayan bu görsel tür tanımlaması; mantarların geleceğe taşınmasında, hayati açıdan önemli; mantarların koruma altına alınmasında, mantar

kaynaklarının sürdürülebilir yönetim planlarının yapılmasında, zehirli mantarların tespitinde, mantar yetiştiriciliğinde, mantar toplayıcıların mantarları türlerine göre sınıflandırılmasında yararlı olabilecek bir problem çözümüdür.

Bu çalışmanın temel amaçlarından biri, mantar görüntülerinden mantar türlerinin tanımında karşılaşılan veri kümesinin eksikliğine veya yetersizliği sorununun çözümüne katkıda bulunmaktır. Fakat yeryüzündeki mantar sayısı ve buldukları ortam çeşitliliği düşünüldüğünde veri setini büyütme tek kişilik bir çalışmadan çok uzak bir ekip işidir ve uzun yıllar devam edecek bir süreçtir. Bu çalışma sonrasında; Türkiye'deki mantar türlerini kapsayan bir projeye çalışmanın geliştirilmesi ve kamuya açılması planlanmaktadır.

Veri seti oluşturulurken diğer taraftan ağ eğitimleri ile aile ve sınıf tanımlamaları gerçekleştirilmiş böylece çalışmanın performansı sürekli denetlenmiştir. Veri seti toplanırken aynı aileye yeni mantar sınıfları eklendikçe şapka renk ve desen benzerliğinin arttığı gözlenmiştir. Bu durum aynı aile içerisindeki sınıf tanımlamayı zamanla düşürmüştü, bir süre sonra ise aile tanımlamayı da etkilediği gözlenmiştir. Bu problemin çözümü için, giriş katmanını yüksek görüntü çözünürlüğüne göre tasarlamak iyi bir yaklaşım olacaktır. Çalışmada kullanılan ağların katman sayısı ve derinliği arttıkça ağ başarı oranı artmıştır. Ağ parametre sayısı arttıkça da başarı oranının düştüğü gözlenmiştir. Veri boyutunun ağ parametre sayısına göre çok küçük kalması bu sonuca neden olmuştur. Ayrıca parti büyüklüğünün ağ başarı oranını etkilediği gözlenmiştir. Bu sonuçlar transfer öğrenme yönteminin kullanıldığı problem çözümlerinde dikkat edilecek hususlardır. Çalışmada yüksek performans gösteren ağlar referans alınarak ve çalışma esnasında kazanılan tecrübeler ile planlanan proje kapsamındaki yeni ağ tasarımında kullanılacaktır. Planlanan bu çalışmada hedeflenen sadece aile tanımlaması değil sınıf tanımlaması yapabilmeye yönelik bir çalışmadır.

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] Zhang, M., Cui, S. W., Cheung, P. C. K., Wang, Q. 2007. Antitumor polysaccharides from mushrooms: a review on their isolation process, structural characteristics and antitumor activity. Trends in Food Science & Technology, 18(1), 4-19.

- [2] Cheung, P. C. K. 2013. Mini-review on edible mushrooms as source of dietary fiber: Preparation and health benefits. *Food Science and Human Wellness*, 2, 162–166.
- [3] Feeney, M. J., Miller, A. M., Roupas, P. 2014. Mushrooms-Biologically Distinct and Nutritionally Unique: Exploring a Third Food Kingdom. *Nutrition Today*, 49(6), 301-307.
- [4] Valentao, P., Andrade, P. B., Rangel, J., Ribeiro, B., Silva, M. B., Baptista, P., Seabra, R. M. 2005. Effect of The Conservation Procedure on the Contents of Phenolic Compounds and Organic Acids in Chanterelle (*Cantharellus cibarius*) Mushroom. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53, 4925-4931.
- [5] Mithril, C., Dragsted, L. O., Meyer, C., Tetens, I., Biloft-Jensen, A., Astrup, A. 2013. Dietary composition and nutrient content of the New Nordic Diet. *Public Health Nutrition*, 16(5), 777–785.
- [6] Kalac, P. 2013. A review of chemical composition and nutritional value of wildgrowing and cultivated mushrooms. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 93, 209–218.
- [7] Athanasakis, G., Aligiannis, N., Zagou, Z. G., Skaltsounis, A. L., Fokialakis, N. 2013. Antioxidant properties of the wild edible mushroom *Lactarius salmonicolor*. *Journal of Medicinal Food*, 16(8), 760-764.
- [8] Heleno, S. A., Barros, L., Sousa, M. J., Martins, A., Ferreira, I. C. F. R. 2009. Study and Characterization of Selected Nutrients in Wild Mushrooms from Portugal by Gas Chromatography and High Performance Liquid Chromatography. *Microchemical Journal*, 93, 195-199.
- [9] Wang, Y., Hall, R. 2004. Edible ectomycorrhizal mushrooms: challenges and achievements. *Canadian Journal Botany*, 82(8), 1063-1073.
- [10] Chang, S. T. 1999. World Production of Cultivated Edible and Medicinal Mushrooms in 1997 With Emphasis on *Lentinus edodes* (Berk.) Sing, in China. *International Journal of Medicinal Mushrooms*, 1, 291-300.
- [11] Boa, E. 2004. Wild Edible Fungi a Global Overview of Their Use and Importance to People. *Fao Press, Rome*, 150s.
- [12] Kalac, P. 2009. Chemical Composition and Nutritional Value of European Species of Wild Growing Mushrooms: A Review. *Food Chemistry*, 113, 9–16.
- [13] Chang, S. T., Miles, P. G. 2004. *Mushrooms: Cultivation, Nutritional Value, Medicinal Effect, and Environmental Impact*. 2nd edition. CRC Press, Boca Raton, 431s.
- [14] Food and Agriculture Organization of the United Nations. *World Food and Agriculture-Statistical Pocketbook 2018*. <http://www.fao.org/3/CA1796EN/ca1796en.pdf> (Erişim Tarihi: 11.09.2019).
- [15] Zion Market Research. *Global Mushroom Industry Size & Analysis Report, 2015-2021 by Market*. <https://www.zionmarketresearch.com/report/mushroom-market> (Erişim Tarihi: 10.12.2019).
- [16] Mushroom observer. <https://mushroomobserver.org/> (Erişim Tarihi:12.12.2019).
- [17] GitHub. 2018 FGVCx Fungi Classification Challenge. https://github.com/visipedia/fgvcx_fungi_comp (Erişim Tarihi:10.07.2019).
- [18] Danmarks svampeatlas. <https://svampe.databasen.org/> (Erişim Tarihi:10.07.2019).
- [19] Kaggle. Mushrooms classification-Common genus's images. <https://www.kaggle.com/maysee/mushrooms-classification-common-genuss-images> (Erişim Tarihi: 21.07.2019).
- [20] Goeau, H., Bonnet, P., Joly, A., Bakic, V., Barthélémy, D., Boujemaa, N., Molino, J. F. 2013. The imageclef 2013 plant identification task, 23-26 September, Valencia, Spain.
- [21] Goeau, H., Joly, A., Bonnet, P., Selmi, S., Molino, J. F., Barth'el'emy, D., Boujemaa, N. 2014. LifeCLEF plant identification task 2014. Working Notes for CLEF 2014 Conference, 15-18 September, Sheffield, United Kingdom, 598–615.
- [22] Lowe, D. G. 1990. Object recognition from local scale-invariant features. The proceedings of the seventh IEEE international conference on Computer vision, 2, 1150–1157.
- [23] Bay, H., Tuytelaars, T., Van, G. L. 2006. Surf: Speeded up robust features. 9th European Conference on Computer Vision, 7-13 May, Graz, Austria, 404–417.
- [24] Ojala, T., Pietikäinen, M., Harwood, D. 1996. A comparative study of texture measures with classification based on featured distributions. *Pattern recognition*, 29(1), 51–59.
- [25] Goëau, H., Bonnet, P., Joly, A. 2015. LifeCLEF plant identification task 2015. LifeCLEF 2015: Multimedia Life Species Identification Challenges, 8-11 September, Toulouse, France.
- [26] Šulc, M., Mishkin, D., Matas, J. 2016. Very deep residual networks with maxout for plant identification in the wild. Conference Working notes of CLEF 2016, 5-8 September, Evora, Portugal.

- [27] Sunderhauf, N., McCool, C., Upcroft, B., Tristan, P. 2014. Fine-grained plant classification using convolutional neural networks for feature extraction. Working notes of CLEF 2014 Conference, 15-18 September, Sheffield, United Kingdom, 756-762.
- [28] Champ, J., Lorieul, T., Servajean, M., Joly, A. 2015. A comparative study of fine-grained classification methods in the context of the LifeCLEF plant identification challenge 2015. in CEUR Workshop Proceedings, 8-11 September, Toulouse, France, 1391.
- [29] Goëau, H., Bonnet, P., Joly, A. 2017. Plant identification based on noisy web data: the amazing performance of deep learning. Working notes of CLEF 2017 Conference, 11-14 September, Dublin, Ireland.
- [30] Masoudian, A., Kenneth, A. M. 2013. Application of support vector machine to detect microbial spoilage of mushrooms. 2013 International Conference on Computer and Robot Vision, 28-31 May, Regina, Canada, 281-287.
- [31] Subramaniam, A., Oh, B. J. 2016 Mushroom Recognition Using PCA Algorithm. International Journal of Software Engineering and Its Applications, 10(1), 43-50.
- [32] Kim, K. J., Jung, S. H., So, W. H., Sim, C. B. 2017. A Study on Mushroom Pest and Diseases Analysis System Implementation based on Convolutional Neural Networks for Smart Farm. International Journal of Control and Automation, 10(11), 61-72.
- [33] Olpin, A. J. 2018. Convolutional Networks for Segmentation and Detection of Agricultural Mushrooms. MSc Thesis, University of Guelph, Ontario, Canada.
- [34] Rahmat, R. F., Aruan, T., Purnamawati, S., Faza, S., Lini T. Z. 2018. Fungus image identification using K-Nearest Neighbor. IOP Conference Series Materials Science and Engineering, 19-20 July, Medan, Indonesia, 420(1).
- [35] Wibowo, A., Rahayu, Y., Riyanto, A., Hidayatulloh, T. 2018. Classification Algorithm for Edible Mushroom Identification. 2018 International Conference on Information and Communications Technology, 6-7 March, Yogyakarta, Indonesia.
- [36] Wulandari, M., Kusumaningtyas, E. M., Politeknik A. R. B. 2018. Identification of Poisonous Fungi Basidiomycota Macro Based on Mobile Device Using Neural Network. 2018 International Electronics Symposium on Knowledge Creation and Intelligent Computing, 29-30 October, Bali, Indonesia.
- [37] Anil, A., Gupta, H., Arora, M. 2019. Computer vision based method for identification of freshness in mushrooms. 2019 International Conference on Issues and Challenges in Intelligent Computing Technique, 27-28 September, Ghaziabad, India.
- [38] Maurya, P., Singh, N. P. 2020. Mushroom Classification Using Feature-Based Machine Learning Approach. Proceedings of 3rd International Conference on Computer Vision and Image Processing, 197-206.
- [39] Gürkan, H., Hanilçı, A. 2020. Evrişimli sinir ağı ve QRS imgeleri kullanarak EKG tabanlı biyometrik tanıma yöntemi. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 26(2), 318-327.
- [40] Goodfellow, I., Bengio, Y., Courville, A. 2015. Deep Learning. The MIT Press, Cambridge, Massachusetts, United States, 848s.
- [41] Indolia, S., Goswami, A. K., Mishra, S. P., Asopa, P. 2018. Conceptual Understanding of Convolutional Neural Network-A Deep Learning Approach. Procedia Computer Science, 132, 679-688.
- [42] Nebauer, C. 1998. Evaluation of convolutional neural networks for visual recognition. IEEE Transactions on Neural Networks, 9(4), 685-696.
- [43] Yamashita, R., Nishio, M., Do, R. K. G., Togashi, K. 2018. Convolutional neural networks: an overview and application in radiology. Insights Imaging, 9, 611-629.
- [44] Lawrence, S., Giles, C. L., Tsoi, A. C., Back, A. D. 1997. Face recognition: A convolutional neural-network approach. IEEE Transactions on Neural Networks, 8(1), 98-113.
- [45] MathWorks. Learn About Convolutional Neural Networks. <https://www.mathworks.com/help/deeplearning/ug/introduction-to-convolutional-neural-networks.html> (Erişim Tarihi: 26.11.2019).
- [46] Baykal E, Doğan H, Ercin ME, Ersoz S, Ekinci M. Transfer learning with pre-trained deep convolutional neural networks for serous cell classification. Multimedia Tools and Applications, 1-19, 2019.
- [47] Zhou, Y., Nejati, H., Do, T. T., Cheung, N. M., Cheah, L. 2016. Image-based vehicle analysis using deep neural network: A systematic study. IEEE international conference on digital signal processing, 276-280.
- [48] He, K., Zhang, X., Ren, S., Sun, J. 2016. Deep Residual Learning for Image Recognition. IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, Las Vegas, United States, 770-778.
- [49] Theckedath, D., Sedamkar, R. R. 2020. Detecting Affect States Using VGG16, ResNet50 and SE-ResNet50 Networks. Springer Nature Computer Science, 79, 1-7.

- [50] Ye, H., Han, H., Zhu, L., Duan, Q. 2019. Vegetable pest image recognition method based on improved VGG convolution neural network. *Journal of Physics: Conference Series*, 1237(3).
- [51] Leo F. Isikdogan, <https://www.isikdogan.com/> (Erişim Tarihi:12.12.2020).
- [52] Nova Research Lab, <https://medium.com/novaresearchlab/%C3%B6%C4%9Frenme-aktar%C4%B1m%C4%B1-transfer-learning-c0b8126965c4> (Erişim Tarihi:12.12.2019)
- [53] Pan, S. J., Yang, Q. 2010. A survey on transfer learning. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, 22(10), 1345-1359.
- [54] Chollet, F. 2017. *Deep Learning with Python*. Manning Publications, New York, United States, 400s.
- [55] *Machine Learning Mastery. A Gentle Introduction to Transfer Learning for Deep Learning*. <https://machinelearningmastery.com/transfer-learning-for-deep-learning/> (Erişim Tarihi: 10.12.2019).
- [56] Martinez, J.B., Gill, G. 2019. Comparison of Pre-trained vs Domain-specific Convolutional Neural Networks for Classification of Interstitial Lung Disease, 2019 International Conference on Computational Science and Computational Intelligence (CSCI), 991-994, 5-7 December, Las Vegas, NV, USA.
- [57] First Nature. Fungi Identification-Picture Galleries. <https://www.first-nature.com/fungi/index1binom.php> (Erişim Tarihi: 06.01.2020).
- [58] Mushroom World. Mushrooms-Alphabetical list. <http://www.mushroom.world/mushrooms/name-list> (Erişim Tarihi:10.11.2019).
- [59] Eyssartier, G., Roux, P. 2011. *Le Guide Des Champignons*. Belin, Paris, France, 1095s.
- [60] Borgarino, D., Hurtado, C., Lagier, R. 2016. *Le Guide Des Champignons*. Edisud, France, 452.

Grup Karşılaştırmalarında Alternatif Bir Yaklaşım Olarak ANOM Testi

Turgut ÖZALTINDI^{1*}, Ali Mertcan KÖSE², Elif Özge ÖZDAMAR³

^{1,3} Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, İstatistik Bölümü, 34380, İstanbul, Türkiye
² İstanbul Kent Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, Tıbbi Dokümantasyon ve Sekreterlik Bölümü,
34433, İstanbul, Türkiye

(Alınış / Received: 02.11.2020, Kabul / Accepted: 04.01.2021, Online Yayınlanma / Published Online: 15.04.2021)

Anahtar Kelimeler

ANOM,
Ortalamaların analizi,
Yükseköğrenim

Özet: Bu çalışmanın amacı tüm grupların aynı anda eşit olmasına ve alternatif hipotez olarak en az birinin farklı olmasına ilişkin hipotez testinde ANOVA veya Kruskal Wallis yöntemine alternatif bir yaklaşım olarak Standart ANOM veya Parametrik Olmayan ANOM testinin kullanılabilir olduğunu göstermektir. Veriler YÖK resmi istatistik sayfasından alınmış olup, 6 fakülte arasında öğrenci, öğretim üyesi sayısı ve öğretim üyesi başına düşen öğrenci sayısı açısından fark olup olmadığı hipotezleri R yazılımı "ANOM" paketi kullanılarak test edilmiştir. Verilerin normal dağılıma uygun olmamasından dolayı, Parametrik Olmayan ANOM testi kullanılmıştır. Parametrik Olmayan ANOM'a göre Eğitim Bilimleri Fakültesi ($p=0,023$) ve Fen Edebiyat Fakültesindeki ($p=0,033$) öğrenci sayısı genel ortalamaya göre yüksek; Tıp Fakültesi ve Sağlık Bilimleri Fakültesi ($p<0,001$) ise genel ortalamaya göre düşük bulunmuştur. Tıp Fakültesi ($p<0,001$) ve Fen Edebiyat Fakültesindeki ($p=0,004$) öğretim üyesi sayısı genel ortalamaya göre yüksek; İktisadi-İdari Bilimler Fakültesi ($p<0,001$) ve Sağlık Bilimleri Fakültesi ($p<0,001$) ise genel ortalamaya göre düşük bulunmuştur. Eğitim Bilimleri Fakültesi ($p=0,001$) ve İktisadi-İdari Bilimler Fakültesindeki ($p<0,001$) öğretim üyesi başına düşen öğrenci sayısı genel ortalamaya göre yüksek; Tıp Fakültesi ($p<0,001$) ise genel ortalamaya göre düşük bulunmuştur. Parametrik Olmayan ANOM sonuçları ile Kruskal Wallis sonuçları birbirinden farklı bulunmuştur.

ANOM Test as an Alternative Approach to Group Comparisons

Keywords

ANOM,
Analysis of means,
University education

Abstract: The aim of this study is ANOM or Non Parametric ANOM test can be used approach as an alternative to ANOVA or Kruskal Wallis method in that all groups are equal and at least one alternative hypothesis is different. Data taken from the official statistics page of YÖK and 6 faculties were selected and hypothesis that there is difference in terms of number of students, number of academician and number of student for each academician between the faculties is tested using R software "ANOM" package. Because Data is non normal, Non Parametric ANOM test is used. According to Non Parametric ANOM, number of students in Faculty of Education ($p=0.023$) and Faculty of Arts and Science ($p=0.033$) were higher than sample mean; Faculty of Medicine and Faculty of Healthy Science ($p<0.001$) were lower than sample mean. Number of academician in Faculty of Medicine ($p<0.001$) and Faculty of Arts and Science ($p=0.004$) were higher than sample mean; Faculty of Economics and Administrative Science ($p<0.001$) and Faculty of Healthy Science ($p<0.001$) were lower than sample mean. Number of student for each academician in Faculty of Education ($p=0.001$) and Faculty of Economics and Administrative Science ($p<0.001$) were higher than sample mean; Faculty of Healthy Science ($p<0.001$) was lower than sample mean. Kruskal Wallis and Non Parametric ANOM results are different, which was found.

*İlgili yazarlar: turgut.ozaltindis@msgsu.edu.tr

1. Giriş

İstatistik teorisi sürekli gelişmekte olup, bazı analiz yöntemleri daha fazla ilgi görüp tüm bilim alanlarında kullanılırken, bazı analiz yöntemleri ise daha kenarda kalmakta ve hak ettikleri ilgiyi görememektedir. Özellikle farklı örneklemeden geldiği düşünülen iki ya da daha fazla grubun ölçümler açısından karşılaştırılması hem sağlık hem de sosyal bilimler literatüründe çok önemli bir yere sahiptir. İki'den fazla örnek dağılımı söz konusu olduğunda bağımsız grupların merkezi eğilimlerinin aynı anda eşit olmasına ve alternatif hipotez olarak en az birinin farklı olmasına ilişkin hipotez testi genel bir yaklaşım olarak ANOVA ya da Kruskal Wallis ile test edilir. Alternatif hipotez kabul edildiğinde ise çoklu karşılaştırma yöntemleri (Post-Hoc) ile hangi grupların birbirinden farklı olduğu tespit edilmeye çalışılır[1]. Bu yaklaşımın süreci uzun olmakla beraber model oluşturulmakta ve test edilmektedir. ANOM yaklaşımında ise grupların hangisinin farklı olduğu tek aşamada ortaya çıkarılmakta ve her bir grubun ortalaması, genel ortalamaya karşı test edilmektedir. ANOM kısaltması İngilizce literatürde "ANalysis Of Means" olarak ifade edilmekte, Türkçe'de ise "Ortalamaların Analizi Yöntemi" olarak kullanılmaktadır[2]. Bu çalışmanın amacı; ANOM testinin alternatif bir yaklaşım olarak kullanılabilir olduğunu göstermektir.

ANOM testi ilk olarak en basit haliyle 1827 yılında LaPlace tarafından atmosfer ölçümlerinin dört mevsim arasındaki önemli farklılıklarını incelemek için kullanılmıştır[3]. 1955 yılında normal dağılımdan gelen örnek ortalamalarının, genel ortalamaya bağımlılığını ortaya çıkarırken uygun kritik değerler üzerinde üst ve alt sınırlar elde etmek için Bonferroni eşitsizliklerini kullanmışlardır[4]. Ott (1967) ise Halperin ve ark (1955) tarafından önerilen metodun, alt ve üst Bonferroni sınırlarının ortalaması olan yaklaşık kritik değerleri tahmin ederek, grafik biçiminde kullanılmasını önermiştir[5]. Ott (1967) ayrıca "ANalysis Of Means" ifadesini kullanan ilk bilim insanıdır. Schilling (1973), Ott'ın çalışmasını, sabit etkileri olan tek faktörlü tasarımlardan daha karmaşık tasarımlara genişletmiş ve ek olarak ANOM'u normal dağılmayan verilerle deneyerek yeni yaklaşımlar geliştirmiştir[5,6]. Bu çalışmalarından sonra, bir dizi yazar, özellikle Nelson (1985) ve (1993), Sheesley(1980), Sheesley(1981) ve Ohta(1981) yıllarında ANOM'un çeşitli yönlerini ele almıştır [3,7-15]. Bütün bu çalışmalar Bonferroni eşitsizliğini kullanarak elde edilen yaklaşımlara ve formüllere dayanmaya devam etmiştir. Bu aşamada ANOM testinin gücü ile ilgili soru işaretlerini gidermeden, testi kullanma önerisinin yetersiz kalma riski olmuştur. ANOVA ile karşılaştırıldığında testin gücü açısından herhangi bir dezavantajı olmadığı Nelson (1983) ve Wludyka ve ark.(2001) tarafından gösterilmiştir[3,16]. Ryan (1978) tarafından ANOM

testinin çok değişkenli dizaynlara uygulanması ve normal dağılmayan ve farklı varyans dağılımında parametrik olmayan yaklaşımları araştırılmıştır[17].

Dünya literatüründe yürütülen çalışmalar ilerlerken, Türkiye literatüründe Mendesh ve Yiğit (2013) tarafından konu üzerinde çalışılmaya başlanmıştır[2]. Mendesh ve Yiğit (2013) makalesinde ANOM ile ANOVA analizlerinin güçlerini incelemiş ve Nelson gibi testlerin gücünün benzer bir sonuç verdiğini bulmuştur. İstatistik teorisi dışında diğer bilim dallarındaki uygulama çalışmaları incelendiğinde, teorik olarak literatürde bulunmasına rağmen, gerek yüksek lisans ve doktora tezleri gerekse ULAKBİM Türkçe dergi literatüründen sınırlı sayıda ANOM testi kullanan çalışmaya rastlanmıştır[18]. Gülsüm (2010), yüksek lisans tezinde gübrelerin verimi etkilemesi üzerine bir deney tasarlamış ve ANOM testi uygulamıştır. Hasgül, 2011 yılındaki çalışmasında pişirme süreci içinde ürün ağırlığına, ürünün pişirme süresi, pişirme sıcaklığı ve fan hızı faktörlerinin etkisini incelemek için ANOM testi kullanmıştır[19,20]. Dumlupınar ve arkadaşları (2015) çalışmasında ANOM testinin MINITAB programında kullanılmasını örnek bir veri seti üzerinde bir uygulama ile anlatmıştır [21]. Üç çalışma dışında Türkçe literatürde ANOM testi kullanımına rastlanmamıştır. Bu durumun en önemli sebeplerinin, Türkçe literatürün ve ANOM testi uygulayan paket program sayısının az olması düşünülmektedir.

2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada İstatistiksel analizler için R yazılımı kullanılmıştır. ANOM testi için "ANOM" ve "nparcomp" paketinden [22], Kruskal Wallis testi için "PMCMR" paketinden yararlanılmıştır[23]. Veri setinde normal dağılım ve varyansların homojenliği varsayımları sağlamadığından dolayı Parametrik Olmayan ANOM testi ve Kruskal Wallis testi kullanılmıştır. Testlerin sonuçları birbiriyle karşılaştırılmıştır. Kruskal Wallis testinde çoklu karşılaştırmalar için Dunn'ın çoklu karşılaştırma testi (Dunn's multiple comparison test) kullanılmış olup %5 anlamlılık düzeyinde test edilmiştir.

Bu çalışmaya ait veriler YÖK resmi istatistik (<https://istatistik.yok.gov.tr/>) sayfasından alınmıştır [24]. Veriler düzenlenerek Tablo 1'de özetlenen 6 fakülte altında toplanmıştır.

Hem devlet üniversiteleri hem de vakıf üniversitelerinde 4 yıllık eğitim veren fakülteler taranmıştır. 2016-2017 öğretim yılında üniversite bazında lisans öğrencisi, öğretim üyesi sayısı ve öğretim üyesi başına düşen öğrenci sayısı hesaplanmıştır. Mühendislik-Mimarlık Fakülteleri birleştirilerek çalışmaya dâhil edilmiştir. Meslek Yüksek Okullarının verileri çalışma dışı bırakılmıştır. Ayrıca öğretim üyesi sayılarına uzman, okutman gibi kadrolar dâhil edilmemiştir.

Tablo 1. Fakültelelere Göre Öğrenci, Akademisyen ve Akademisyen Başına Düşen Öğrenci Sayıları

Fakülte	Kısaltma	Öğrenci Ort ± SS	Akademisyen Ort ± SS	Öğrenci/Akademisyen Ort ± SS
Eğitim Bilimleri Fakültesi	Eğitim BF	2419,20 ± 1670,79	97,52 ± 65,85	24,44 ± 9,76
Fen Edebiyat Fakültesi	FEF	2637,13 ± 2536,95	139,17 ± 111,76	19,52 ± 8,90
İktisadi-İdari Bilimler Fakültesi	İİBF	2627,53 ± 2432,19	62,52 ± 36,17	39,24 ± 29,41
Mühendislik-Mimarlık Fakültesi	MMF	2830,23 ± 2927,37	127,05 ± 132,22	21,94 ± 12,91
Tıp Fakültesi	Tıp F	939,34 ± 883,63	348,29 ± 302,06	2,94 ± 1,520
Sağlık Bilimleri Fakültesi	Sağlık BF	1038,42 ± 898,65	78,20 ± 161,41	20,24 ± 14,30
Genel Ortalama		2284,14 ± 2351,48	133,46 ± 167,68	23,14 ± 19,68

Fakülteler arası öğrenci, öğretim üyesi sayısı ve öğretim üyesi başına düşen öğrenci sayısı açısından fark olup olmadığına ilişkin hipotezler aşağıda açık olarak belirtilmiştir;

Hipotez1:

H₀: Fakülteler arasında öğrenci sayısı açısından fark yoktur.
H₁: Fakülteler arasında öğrenci sayısı açısından fark vardır.

Hipotez2:

H₀: Fakülteler arasında öğretim üyesi sayısı açısından fark yoktur.
H₁: Fakülteler arasında öğretim üyesi sayısı açısından fark vardır.

Hipotez3:

H₀: Fakülteler arasında öğretim üyesi başına düşen öğrenci sayısı açısından fark yoktur.
H₁: Fakülteler arasında öğretim üyesi başına düşen öğrenci sayısı açısından fark vardır.

Yapılan analizlerde değişkenler normal dağılım ve grup varyansların homojenliği varsayımları sağlamadığından dolayı Parametrik Olmayan ANOM testi kullanılmıştır.

2.1. ANOM Testi

Bağımsız gruplar arasındaki farkları incelemek için;

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_k$$

H₁: En az biri farklılık göstermektedir.

Hipotezleri test edilmektedir. H₀ hipotezi reddedilemediğinde gruplar arası farkın anlamlı olmadığı sonucuna varılır iken H₀ reddedildiğinde gruplar arasındaki farkın anlamlı olduğu anlaşılır. Farklılığı yaratan grup ya da grupları belirlemek için çeşitli yöntemler mevcuttur[25]. ANOVA gruplar arası farkı Tukey, Bonferroni, Duncan, Dunnett, Scheffe, Tamhane gibi çoklu karşılaştırmalar (Post-Hoc) ile çözerken ikili kombinasyonlar şeklinde inceleyerek k(k-1)/2 tane karşılaştırma çıktısı vermektedir (k=grup sayısı). Grup sayısı arttıkça karşılaştırma sayısı artmakta ve sonuçları yorumlamak zorlaşmaktadır. Kruskal Wallis yönteminde de benzer bir durum söz konusudur. ANOM testinde ise her bir grup ortalamasının genel

ortalama karşı farklılığı incelenerek görsel olarak ifade edilebilmektedir[18]. Bu bakımdan ANOM diğer yöntemlere göre grafiksel gösterimin pratikliği bakımından bir avantaja sahiptir. Bundan dolayı istatistik bilgisi yeterli olmayan araştırmacılar bu yöntemi rahatlıkla kullanıp yorumlayabilirler[21]. Bu çalışmada normal dağılım ve varyans homojenliği varsayımları sağlanmadığı dikkate alınarak sonuçların karşılaştırılması Parametrik Olmayan ANOM ve Kruskal Wallis testi ile gerçekleştirilmiştir.

2.1.1. Standart ANOM Testi

ANOM testinde grup karşılaştırmaları her bir grubun genel ortalama ile karşılaştırılması şeklinde yapılmaktadır. İlk olarak genel ortalama ve grupların ayrı ayrı ortalamaları hesaplanır. Sonrasında aşağıdaki adımlarda da gösterildiği gibi güven aralıkları oluşturulur ve grup ortalamalarının bu aralıkların dışına çıkıp çıkmadığı incelenir. Eğer bir grubun ortalaması oluşturulan güven aralığının üzerine çıkıyorsa o grubun ortalamasının genel ortalamadan anlamlı düzeyde yüksek olduğu, eğer güven aralığının altında kalıyorsa anlamlı düzeyde düşük olduğu sonucuna varılır. Oluşturulan güven aralıklarının ANOM yöntemi ile söz konusu grup ortalamaları arasındaki farkların karşılaştırılması için sırasıyla aşağıdaki işlemler izlenir:

Her bir grubun ortalaması ($\bar{Y}_{i.}$) ve varyansı (S_i^2) bulunur.

Genel popülasyon ortalaması ($\bar{Y}_{..}$) bulunur. Eğer gruplardaki gözlem sayıları eşit ise:

$$(\bar{Y}_{..}) = \frac{(\bar{Y}_{1.}) + (\bar{Y}_{2.}) + \dots + (\bar{Y}_{k.})}{k} \quad (1)$$

Eğer gruplardaki gözlem sayıları eşit değil ise:

$$(\bar{Y}_{..}) = \frac{n_1 \bar{Y}_{1.} + n_2 \bar{Y}_{2.} + \dots + n_k \bar{Y}_{k.}}{N} \quad (2)$$

$$N = \sum_{i=1}^k n_i \quad (3)$$

şeklinde hesaplanır. Hata kareler ortalaması (HKO) bulunur. HKO aynı zamanda grup içi kareler ortalaması (GİKO) olarak da bilinir. Eğer gruplardaki gözlem sayıları eşit ise:

$$HKO = \frac{S_1^2 + S_2^2 + \dots + S_k^2}{k} \quad (4)$$

Gruplardaki gözlem sayıları eşit değil ise:

$$HKO = \frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2 + \dots + (n_k - 1)S_k^2}{N - k} \quad (5)$$

şeklinde hesaplanır. H_0 hipotezini test etmek için gerekli olan ANOM kritik değerleri olan "h" bulunur. Kritik değer h, Nelson'ın h tablosundan elde edilmektedir[16]. Gruplardaki gözlem sayılarının eşit olması durumunda güven aralığı:

$$\bar{Y} \pm h(\alpha, k, N - k)\sqrt{HKO} \sqrt{\frac{k - 1}{N}} \quad (6)$$

şeklinde oluşturulur. Eğer gruplardaki gözlem sayıları eşit değilse bu durumda söz konusu güven aralığı:

$$\bar{Y} \pm h(\alpha, k, N - k)\sqrt{HKO} \sqrt{\frac{N - n_i}{Nn_i}} \quad (7)$$

şeklinde oluşturulur. Güven aralıkları oluşturulduktan sonra her bir grubun ortalamasının güven aralıklarının dışına çıkıp çıkmadığına bakılır. Eğer grup ortalaması güven aralığının dışına çıkmış ise o grubun ortalamasının genel ortalamaya göre istatistiksel olarak anlamlı farklılığa sahip olduğu anlaşılır. Grup ortalamaları üst güven aralığının üzerine çıkmış ise o grubun ortalamasının genel ortalamadan anlamlı düzeyde yüksek, alt güven aralığının aşağısında kaldıysa genel ortalamadan anlamlı düzeyde düşük olduğu anlaşılır.

2.1.2. Parametrik Olmayan ANOM Testi

ANOM analizi parametrik olmayan yapılar için de oluşturulmuştur. İlk olarak Bakir (1989, 1994) rankları kullanarak ANOMR adında dağılımdan bağımsız parametrik olmayan bir yapı ortaya koymuştur. Basit olarak ANOMR testinde ilk olarak genel rank ve grupların rankları hesaplanır [26,27]. Sonrasında her bir grubun rankı genel ranktan çıkarılır ve mutlak değeri Bakir (1989)'in oluşturduğu kritik tablo değeriyle karşılaştırılır. Bu fark kritik değerden büyükse anlamlı fark olduğu anlaşılır. ANOMR testi her ne kadar dağılımdan bağımsız olsa da varyansların eşitliği (variance heterogeneity) varsayımının sağlanması gerekmektedir ve bu bir dezavantajdır. Bakir (1989)'den sonra Konietzsche ve arkadaşları (2012) varyansların eşitliği varsayımını da ortadan kaldıran hem klasik parametrik olmayan yöntemlere hem de ANOMR'a göre çok daha sağlam yeni bir yaklaşım ortaya koymuştur. Bu yöntemde hipotezler genel ranklama sistemi kullanılarak tahmin edilen göreceli etkiler (relative effects) ile test edilmektedir[28].

$X_{i,k}$ bağımsız değişkenler aşağıdaki gibi dağılmakta olsun.

$$X_{i,k} \sim F_i, i = 1, 2, \dots, a = \text{grup sayısı} \\ k = 1, 2, \dots, n_i$$

$$F_i(x) = P(X_{i,k} < x) + \frac{1}{2}P(X_{i,k} = x) \quad (8)$$

$F_i(x)$ dağılım fonksiyonunun normalleştirilmiş hali olarak adlandırılmaktadır. Buradaki dağılımların ne parametrik yapıda ne de varyansların homojenliği varsayımını sağlaması gerekmemektedir. Bu istatistiksel modelde dağılımlar arasındaki farkı yansıtacak olan herhangi bir parametre bulunmadığından dolayı aşağıdaki gibi marjinal dağılım fonksiyonları kullanılarak göreceli etkiler hesaplanmaktadır[29].

$$p_j = \int G dF_j = \frac{1}{a} \sum_{i=1}^a \left[P(X_{i,1} < X_{j,1}) + \frac{1}{2}P(X_{i,1} = X_{j,1}) \right] \quad (9) \\ j = 1, 2, \dots, a$$

Burada $G = \sum_{i=1}^a w_i F_i$ şeklindedir. Bu yapı ağırlıklandırılmış ($w_i = n_i/N$) ya da ağırlıklandırılmamış ($w_i = 1/a$) olarak karşımıza çıkabilmektedir. Bu çalışmada ağırlıklandırılmamış göreceli etkiler kullanılmıştır. Bunun sebebi Gao et diğ. (2008) yaptıkları çalışmada belirttiği üzere ağırlıklandırılmamış göreceli etkilerin grup örneklem büyüklüklerinden etkilenmediği için daha sağlam ve avantajlı olmasıdır. Burada p_j göreceli etki, $X_{j,1}$ 'in $X_{i,1}$ 'den daha büyük değerler alma olasılığıdır. Bu yüzden $p_j < 1/2$ olduğu zaman $X_{i,1}$ stokastik olarak $X_{j,1}$ 'den daha büyük değerler almaya yatkındır ve tam ters durum olan $p > 1/2$ için de geçerlidir[30]. (9) numaralı eşitliğin başka bir gösterim şekli aşağıdaki gibidir[28].

$$p_j = \int w_i p_{i,j}, j = 1, 2, \dots, a \\ \sum_{i=1}^a w_i p_{i,j}, j = 1, 2, \dots, a \quad (10)$$

$$p_{i,j} = \int F_i dF_j \quad (11)$$

Bu çalışmada Parametrik Olmayan ANOM testindeki hipotezler, problem çözmedeki kısıtlı yapısı ve güven aralığı oluşturamamasından dolayı dağılım fonksiyonlarını kullanmak yerine göreceli etkiler kullanılmaktadır. Dağılım fonksiyonları ve göreceli etkilerle oluşturulan hipotez yapıları aşağıdaki gibidir.

$$H_0^F: CF = 0 \quad C = \text{kontrast matris} \\ F = (F_1, F_2, \dots, F_a)' \\ H_0^p: Cp = 0 \quad C = \text{kontrast matris} \\ p = (p_1, p_2, \dots, p_a)' \\ C = \begin{bmatrix} c_{11}^T \\ \vdots \\ c_{a1}^T \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c_{11} & \dots & c_{1a} \\ \vdots & \dots & \vdots \\ c_{a1} & \dots & c_{aa} \end{bmatrix}$$

Parametrik Olmayan ANOM'da kontrast matris yapısı genel ortalama (Grand Mean) şeklindedir. Buradaki ayrı ayrı alt hipotezleri $H_0^{(l)} = c_l^T p = 0$ test etmek için kullanılan test istatistiği (12) nolu eşitlikteki gibidir [29].

$$T_l^p = \sqrt{N} \frac{c_l^T (\hat{p} - p)}{\hat{\sigma}_l} \quad (12)$$

Bilinmeyen göreceli etki olan p'yı tahmin etmek için ampirik dağılım fonksiyonu aşağıdaki gibi kabul edilmektedir. Burada $x < 0$ ise $c(x) = 0$, $x = 0$ ise $c(x) = 0,5$ ve $x > 0$ ise $c(x) = 1$ şeklindedir [31].

$$\hat{F}_i = \frac{1}{n_i} \sum_{k=1}^a c(x - X_{ik}) \quad (13)$$

Yukarıdaki bilgi doğrultusunda \hat{F}_i ve \hat{F}_j bulunarak \hat{p} tahmin edilir. Eşitlik (12)'deki test istatistiği için gerekli diğer parametreler aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır. Burada $R_{jk}^{(j)}$ j. grup gözlemleri içerisinde X_{jk} 'nın rankını, $R_{jk}^{(ij)}$ ise i ve j gruplarının tüm gözlemleri içerisinde X_{jk} 'nin rankını ifade etmektedir. Ayrıca $\bar{R}_j^{(ij)}$ j. gruptaki rankların ortalamasıdır.

$$\hat{p} = (\hat{p}_1, \hat{p}_2, \dots, \hat{p}_a) = \frac{1}{a} \sum_{i=1}^a \hat{p}_{i,j} \quad (14)$$

$$\hat{p}_{i,j} = \int \hat{F}_i d\hat{F}_j = \frac{1}{n_i} \left(\bar{R}_j^{(ij)} - \frac{n_j + 1}{2} \right) \quad (15)$$

$$\bar{R}_j^{(ij)} = \frac{1}{n_j} \sum_{k=1}^{n_j} R_{jk}^{(ij)}; \hat{F}_i(X_{i,k}) = \frac{1}{n_i} \left(R_{jk}^{(ij)} - R_{jk}^{(j)} \right) \quad (16)$$

$i \neq j$

Burada $\hat{\sigma}_l, Var(\sqrt{N} c_l^T (\hat{p} - p))$ 'nın tutarlı bir tahmin edicisini ifade etmektedir. Tüm bu alt test istatistikleri T vektörü adı altında toplanır.

$$T = (T_1^p, T_2^p, \dots, T_a^p)^T \quad (17)$$

T, beklenen değeri sıfır korelasyon matrisi V olan birçok değişkenli normal dağılımdan geldiği söylenebilir. V matrisi bilinmediğinden dolayı bunun yerine tahmin edicisi kullanılmaktadır. $H_0^{(l)} = c_l^T p = 0$ alt hipotezi, $|T_l^{0,5}|$ test istatistiği $t_{1-\alpha, v}(\hat{V})$ tablo değerinden büyük ya da eşit olduğunda reddedilir. Genel yokluk hipotezi $H_0^p: Cp = 0$;

$$T = \{ |T_1^{0,5}|, |T_2^{0,5}|, \dots, |T_a^{0,5}| \} \geq t_{1-\alpha, v}(\hat{V}) \quad (18)$$

olduğu durumlarda reddedilir. Güven aralığı $(1-\alpha)$ ise aşağıdaki şekildedir [29].

$$c_l^T \hat{p} \mp t_{1-\alpha, v}(\hat{V}) \hat{\sigma}_l / \sqrt{N} \quad (19)$$

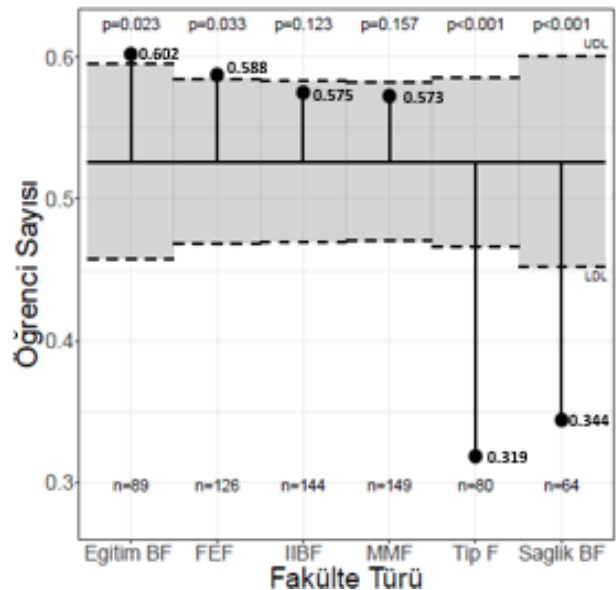
3. Bulgular

Parametrik Olmayan ANOM testi analiz sonuçlarını gösteren şekiller aşağıda verilmiştir. Parametrik ANOM testinde şekillerdeki kesikli çizgiler alt ve üst güven aralıklarını ortadaki düz çizgi genel ortalamayı ve her bir gruptaki nokta ise grup ortalamasını ifade etmektedir. Parametrik Olmayan ANOM testinde ise analizler ortalama üzerinden değil ranklar kullanılarak göreceli etkiler üzerinden yapılmaktadır. Bu sebeple parametrik olmayan analizde ortadaki düz çizgi ortalama göreceli etkiyi (frekanslarla ağırlıklandırılmış) göstermekte, gruplar üzerindeki noktalar ise grubun göreceli etkisini göstermektedir. Bu noktalardan herhangi biri güven aralıklarının dışına çıkarsa o grubun göreceli etkisinin ortalama göreceli etkiye göre farklı olduğu anlaşılır. Ayrıca anlamlılık değerleri grafiğin her gruba ait çizgisinin üst kısmında, gözlem sayısı ise alt kısmında gösterilmektedir.

Türkiye genelinde 89 Eğitim Fakültesi, 126 Fen Edebiyat Fakültesi, 144 İktisadi-İdari Bilimler Fakültesi, 149 Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, 80 Tıp Fakültesi ve 64 Sağlık Bilimleri Fakültesi olmak üzere toplam 6 fakülte karşılaştırılmaktadır. Karşılaştırma yapılmadan önce normallik testi yapılmış olup, veriye ilişkin değişkenlerin normal dağılıma uygun olmadığı belirlenmiştir ($p < 0,0001$). Bu sebeple Parametrik Olmayan ANOM testi kullanılmıştır.

3.1. Fakültelerdeki Öğrenci Sayılarının Karşılaştırılması

Şekil 1'de fakülte türlerine göre öğrenci sayılarının Parametrik Olmayan ANOM testi ile karşılaştırılması gösterilmektedir. Bu şekilde ortadaki çizgi ortalama göreceli etkiyi ifade etmekte, nokta ile belirtilenler ise her bir fakülte için göreceli etkileri ifade etmektedir.



Şekil 1. Fakültelere Göre Öğrenci Sayısının Parametrik Olmayan ANOM Testi ile Karşılaştırılması

Parametrik Olmayan ANOM testinde bir grup ile genel yapı karşılaştırılmaktadır. Bu sebeple göreceli etkisi güven aralığının dışında kalan grubun ortalamasının genel ortalamadan istatistiksel olarak anlamlı farklılık gösterdiği yorumu yapılabilir. Göreceli etkisi güven aralığının altında olan grubun ortalaması genel ortalamaya göre anlamlı düzeyde düşük, güven aralığının üzerinde olan grubun ortalaması ise genel ortalamaya göre anlamlı düzeyde yüksektir.

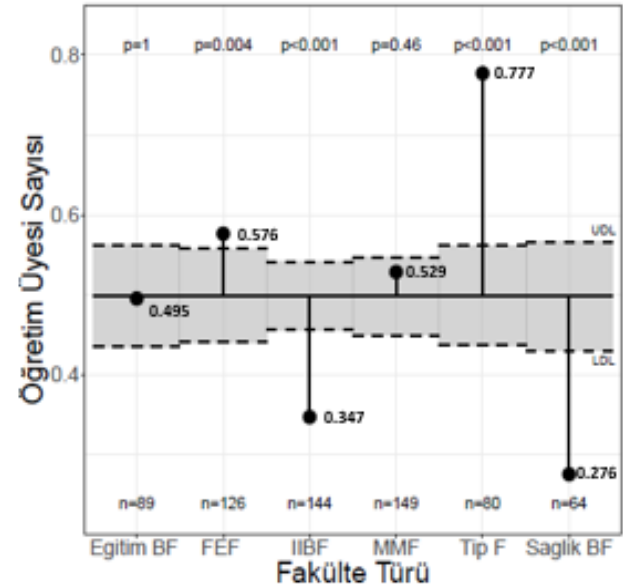
Şekil 1'e göre 4 nokta güven aralıklarının dışında yer almakta ve bu sebeple anlamlı farklılık göstermektedir. Buna göre sırasıyla Eğitim Bilimleri Fakültesi ($p=0,023$) ve Fen Edebiyat Fakültesinin göreceli etkileri güven aralığının üzerinde olduğundan bu fakültelerdeki öğrenci sayısının genel ortalamadan anlamlı düzeyde yüksek olduğu yorumu yapılabilir. Tıp Fakültesi ($p<0,001$) ve Sağlık Bilimleri Fakültesinin ($p=0,001$) göreceli etkileri güven aralığının altında kaldığından dolayı bu iki fakültedeki öğrenci sayısı genel ortalamaya göre anlamlı düzeyde düşüktür. Göreceli etkileri güven aralıklarının içerisinde kaldığından ötürü İktisadi-İdari Bilimler Fakültesi ($p=0,123$) ve Mühendislik-Mimarlık Fakültelerindeki ($p=0,157$) öğrenci sayıları genel ortalamaya göre anlamlı düzeyde farklılık göstermemektedir. Sonuç olarak öğrenci sayısı en yüksek olan fakülte Eğitim Bilimleri Fakültesi olmakla birlikte bunu sırasıyla Fen Edebiyat, İktisadi-İdari Bilimler, Mühendislik-Mimarlık, Sağlık Bilimleri ve Tıp Fakültesi takip etmektedir. Tıp ve Sağlık Bilimleri Fakültelerinin öğrenci sayılarının diğer fakülte göre çok düşük olduğu dikkat çekmektedir. Yapılan istatistiksel karşılaştırmalar bir grup ile genel yapı arasında olduğu için hangi grupların farklılık yarattığını belirlemek için kullanılan bir analiz yoktur. Şekil üzerinden bir kanıya varılmaktadır, fakat istatistiksel olarak net bir yorum yapılamamaktadır. Örneğin Şekilde 1'de görülen Tıp Fakültesindeki öğrenci sayısının Sağlık Bilimleri Fakültesine göre düşük olduğu görsel olarak anlaşılabilir fakat istatistiksel olarak anlamlı bir fark olup olmadığı anlaşılabilir değildir.

Parametrik Olmayan ANOM testini klasik istatistiksel yöntemlerle karşılaştırmak adına Tablo 2'de fakülte türlerine göre öğrenci sayılarının Kruskal Wallis testi

ile karşılaştırılması gösterilmektedir. Kruskal Wallis testinde çoklu karşılaştırmalar için Dunn'ın çoklu karşılaştırma testi (Dunn's multiple comparison test) kullanılmıştır. Fakülte göre öğrenci sayıları arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık saptanmıştır (KW test istatistiği=85,472; $p<0,001$). Farklılığı yaratan grubu belirlemek amacıyla yapılan ikili karşılaştırmalara göre; Parametrik Olmayan ANOM testindeki sonuca benzer olarak Tıp ve Sağlık Fakültesindeki öğrenci sayıları diğer tüm fakültelerdeki öğrenci sayılarına göre anlamlı düzeyde düşüktür. Fakat Parametrik Olmayan ANOM testi sonuçlarının aksine Kruskal Wallis test sonuçlarında Eğitim Bilimleri ve Fen Edebiyat Fakültesindeki öğrenci sayısı diğer fakülte göre anlamlı farklılık göstermemesi dikkat çekmektedir.

3.2. Fakültelerdeki Öğretim Üyeleri Sayılarının Karşılaştırılması

Şekil 2'de fakülte türlerine göre öğretim üyesi sayılarının Parametrik Olmayan ANOM testi ile karşılaştırılması gösterilmektedir. Fakülte göre öğretim üyesi sayıları arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık olduğu saptanmıştır.



Şekil 2. Fakülte türlerine göre öğretim üyesi sayılarının Parametrik Olmayan ANOM Testi ile Karşılaştırılması

Tablo 2. Fakülte türlerine göre öğrenci sayılarının Kruskal Wallis Testi ile Karşılaştırılması

Toplam n	SD	Test İstatistiği	p	Eğitim BF	FEF	İİBF	MMF	Tıp F	Sağlık BF
652	5	85,472	< 0,001	FEF	0,738				
				İİBF	0,533	0,757			
				MMF	0,500	0,716	0,957		
				Tıp F	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	
				Sağlık	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,595

Tablo 3. Fakülterele Göre Öğretim Üyesi Sayısının Kruskal Wallis Testi ile Karşılaştırılması

Toplam n	SD	Test İstatistiği	p	Eğitim BF	FEF	İİBF	MMF	Tıp F
652	5	172,302	< 0,001	FEF	0,033			
				İİBF	< 0,001	< 0,001		
				MMF	0,379	0,141	< 0,001	
				Tıp F	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
				Sağlık	< 0,001	< 0,001	0,093	< 0,001

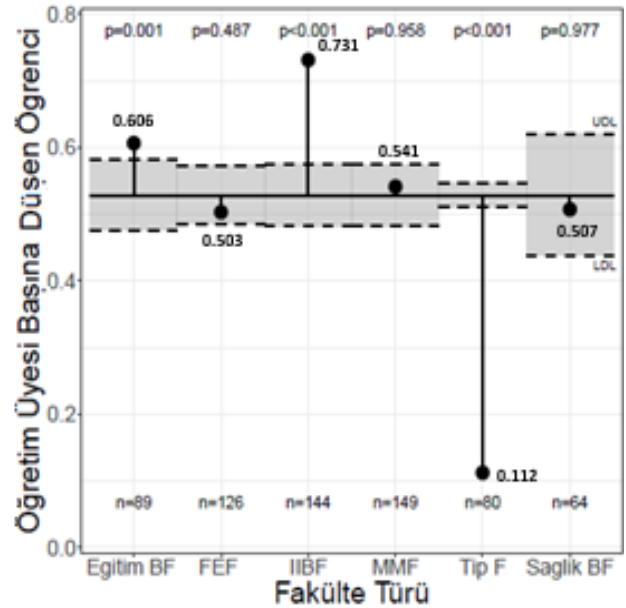
Tıp Fakültesinde bulunan öğretim üyesi sayısı genel ortalamaya göre anlamlı düzeyde yüksek bulunmuştur ($p < 0,001$). Tıp Fakültesine göre daha az seviyede olmasına rağmen Fen Edebiyat Fakültesinde bulunan öğretim üyesi sayısı da genel ortalamaya göre anlamlı düzeyde yüksek bulunmuştur ($p = 0,004$). İktisadi-İdari Bilimler ($p < 0,001$) ve Sağlık Bilimleri Fakültesindeki ($p < 0,001$) öğretim üyesi sayıları genel ortalamaya göre anlamlı düzeyde düşük bulunmuştur. Burada öğretim üyesi sayısı en yüksek olan fakülte Tıp Fakültesidir. Tıp Fakültesini sırasıyla Fen Edebiyat, Mühendislik-Mimarlık, Eğitim Bilimleri, İktisadi-İdari Bilimler ve Sağlık Bilimleri Fakültesi takip etmektedir. Sağlık Bilimleri ve İktisadi-İdari Bilimler Fakültesindeki öğretim üyesi sayısının önemli düzeyde düşük olması dikkat çekmektedir. Bu sonuçlara göre Tıp Fakültesi ile Fen Edebiyat Fakültesi arasındaki farkın çok olduğu gözle görülse de bu farkın istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığı yorumu yapılamamaktadır. Benzer durum anlamlı düzeyde düşük bulunan İktisadi-İdari Bilimler ve Sağlık Bilimleri Fakültesi için de geçerlidir.

Tablo 3'te fakülte türlerine göre öğretim üyesi sayılarının Kruskal Wallis testi ile karşılaştırılması gösterilmektedir. Parametrik Olmayan ANOM sonucuyla benzer olarak fakülterele göre öğretim üyesi sayıları arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık olduğu saptanmıştır ($p < 0,001$). Farklılığı yaratan grubu belirlemek amacıyla yapılan çoklu karşılaştırmalara göre; Tıp Fakültesinde bulunan öğretim üyesi sayısı diğer tüm fakülterdeki öğretim üyesi sayısından anlamlı düzeyde yüksek bulunmuştur ($p < 0,001$). Fen Edebiyat Fakültesinde öğretim üyesi sayısı Tıp Fakültesi kadar yüksek olmamakla birlikte tüm fakülterden anlamlı düzeyde yüksektir. Sağlık Bilimleri Fakültesi öğretim üyesi sayısı İktisadi-İdari Bilimler Fakültesine göre anlamlı olmamakla birlikte anlamlılığa yakın düzeyde düşük bulunmuşken ($p = 0,093$); Eğitim Bilimleri Fakültesi ise Fen Edebiyat Fakültesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi ve Tıp Fakültesine göre anlamlı düzeyde düşük bulunmuştur ($p < 0,001$).

3.3.Fakülterdeki Öğretim Üyesi Başına Düşen Öğrenci Sayılarının Karşılaştırılması

Şekil 3'te fakülte türlerine göre öğretim üyesi başına düşen öğrenci sayılarının Parametrik Olmayan ANOM testi ile karşılaştırılması gösterilmektedir. Öğretim

üyesi başına düşen öğrenci sayısının Parametrik Olmayan ANOM testinde üç fakülteye ait nokta güven aralıkları dışına çıktığı görülmektedir. Tıp Fakültesinde bulunan öğretim üyesi başına düşen öğrenci sayısı genel ortalamaya göre anlamlı düzeyde düşük ($p < 0,001$) bulunmuşken Eğitim Bilimleri ($p = 0,001$) ve İktisadi-İdari Bilimler Fakültesindeki ($p < 0,001$) öğretim üyesi başına düşen öğrenci sayıları ise genel ortalamaya göre anlamlı düzeyde yüksek bulunmuştur. Fen Edebiyat Fakültesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi ve Sağlık Bilimleri Fakültesinde öğretim üyesi başına düşen öğrenci sayısı genel ortalamaya göre anlamlı farklılık göstermemektedir ($p > 0,05$). Sonuç olarak Tıp Fakültesindeki öğretim üyesi başına düşen öğrenci sayısı diğer fakülterele göre çok düşük olduğu gözlemlenmiştir. İktisadi-İdari Bilimler Fakültesinde ise bu durum tam tersidir ve öğretim üyesi başına düşen en fazla öğrenci bu fakültede gözlenmiştir. Eğitim Bilimleri Fakültesinde öğretim üyesi başına düşen öğrenci sayısı İktisadi-İdari Bilimler Fakültesinde olduğu kadar yüksek olmasa da diğer fakülterele nazaran yüksek bulunmuştur. Geriye kalan Fen Edebiyat, Mühendislik-Mimarlık ve Sağlık Bilimleri Fakültesindeki öğretim üyesi başına düşen öğrenci sayısı birbirine benzer düzeydedir.



Şekil 3. Fakülterele Göre Öğretim Üyesi Başına Düşen Öğrenci Sayısının Parametrik Olmayan ANOM Testi ile Karşılaştırılması

Tablo 4. Fakülterele Göre Öğretim Üyesi Başına Düşen Öğrenci Sayısının Kruskal Wallis Testi ile Karşılaştırılması

Toplam n	SD	Test istatistiği	p	EğitimBF	FEF	İİBF	MMF	Tıp F
652	5	247,129	< 0,001	FEF	0,089			
				İİBF	0,012	< 0,001		
				MMF	1,000	1,000	< 0,001	
				Tıp F	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
				Sağlık	0,444	1,000	< 0,001	1,000 < 0,001

Tablo 4'te fakülte türlerine göre öğretim üyesi başına düşen öğrenci sayılarının Kruskal Wallis testi ile karşılaştırılması gösterilmektedir. Fakülterele göre öğretim üyesi başına düşen öğrenci sayıları arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık bulunmakta olduğu saptanmıştır ($p < 0,001$). Farklılığı yaratan grubu belirlemek amacıyla yapılan ikili karşılaştırmalara göre; Tıp Fakültesinde öğretim üyesi başına düşen öğrenci sayısı diğer fakülterele göre anlamlı düzeyde düşük bulunmuştur ($p < 0,001$). İktisadi-İdari Bilimler Fakültesinde ise bu durum tam tersi olup öğretim üyesi başına düşen öğrenci sayısı diğer fakülterele göre en yüksektir ve bu istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. Eğitim Bilimleri Fakültesinin ise sadece İktisadi-İdari Bilimler ile Tıp Fakültesinden farklı olduğu görülmektedir.

4. Tartışma ve Sonuç

Literatürde üniversiteler arası öğrenci sayısı, öğretim üyesi sayısı ya da öğretim üyesi başına düşen öğrenci sayısı karşılaştırılmasına ilişkin bir çalışmaya rastlanmamıştır. Öğrenci sayıları incelendiğinde, Özellikle Tıp ve Sağlık Bilimleri Fakültesinde öğrenci sayısının az olduğu ancak Tıp Fakültesinde öğretim üyesi sayısı yüksek iken, Sağlık Bilimleri Fakültesinde öğretim üyesi sayısı düşüktür. Bu durumda öğretim üyesi başına düşen öğrenci sayısı Tıp Fakültesinde oldukça düşük düzeydedir. Mühendislik-Mimarlık Fakültesinde öğrenci sayısı yüksek iken, öğretim üyesi sayısı orta düzeydedir ve bu durum öğretim üyesi başına düşen öğrenci sayısında bir denge oluşturmaktadır.

Bu çalışmada hipotez testinin bilimsel bulgusunu sunmaktan ziyade ANOM ve Parametrik Olmayan ANOM testinin kullanım şekli ve yorumlanması gösterilmek istenmiştir. Kullanılan veri seti normallik ve varyansların homojenliği varsayımını karşılamadığından dolayı Parametrik Olmayan ANOM yöntemi kullanılarak analizler yapılmıştır. Parametrik Olmayan ANOM ile Kruskal Wallis testi genel olarak benzer sonuçlar vermiş olsa da Parametrik Olmayan ANOM testi bazı durumlarda Kruskal Wallis testinin yakalayamadığı istatistiksel farklılıkları yakalayabilmektedir. Bu durum benzer test güçlerine sahip olan bu iki analiz yöntemi içinde Parametrik Olmayan ANOM'u bir adım öne çıkarmaktadır.

Günümüzde bağımsız grupları karşılaştırmak için en çok kullanılan teknik ANOVA testidir. Bu tekniklere Welch test, Brown-Forsythe test, James-second-order

test ve Alexander-Govern testleride eklenebilir[18]. ANOM testi bu tekniklere alternatif olarak genel ortalama ile grup ortalamalarını karşılaştıran grafiksel bir yöntemdir[21]. Her istatistik tekniğinde olduğu gibi ANOM testinin de hem avantajları hem de dezavantajları vardır.

ANOM testinin avantajları şu şekilde sıralanmaktadır. ANOVA ve Kruskal Wallis testlerinin çoklu karşılaştırmalar aşamasında hata oranları artmakta ve bunun çözümü olarak "Bonferroni Düzeltmesi" yapılarak anlamlılık değerini düşürme yoluna gidilmektedir[1]. ANOM ikili karşılaştırma yapmadığı için bu sorun yaşanmamakta, %5 anlamlılık düzeyi sağlıklı bir şekilde kullanılabilir. İstatistik bilgisi az olan ve ANOVA sonuçlarını yorumlamada zorlanan farklı bilim alanlarında ANOM, ANOVA ve Kruskal Wallis testinin alternatifi olarak ya da bununla birlikte kullanılabilir. Diğer yöntemlerle karşılaştırıldığında, ANOM'un tercih edilme sebebi görsel olarak daha anlaşılabilir bir çıktı vermesidir. ANOM testi sonuçları, p değerlerinin ve gözlem sayılarının üzerinde yazdığı bir grafik formunda görsel olarak sunulmakta olduğundan ötürü nihai sonuca ulaşılması ve yorumlanması açısından kolaylık sağlamaktadır. Ayrıca ikinci bir grafik ya da tablo sunulmasına gerek görülmemesi olumlu yönlerinden biridir. Özellikle çok fazla grup olduğunda diğer analiz sonuçlarının yorumları zorlaşmakta ancak ANOM kolaylıkla yorumlanabilmektedir. Ayrıca bazı durumlarda diğer yöntemlerin yakalayamadığı gruplar arası anlamlı farklılıkları yakalayabilmektedir.

ANOM testinin dezavantajları ise şu şekilde karşımıza çıkmaktadır. Diğer tüm tek değişkenli istatistiksel teknikler gibi normal dağılım ve varyans homojenliği varsayımlarının sağlanmasına göre parametrik ya da parametrik olmayan formüllere sahiptir. Önsel testlerin yapılarak ANOM testinin türüne karar verilmesi ve bu durumun analiz sürecini uzatması olumsuz yönlerinden biri olarak değerlendirilebilir. Bir diğer eksikliği ise grupların ikili karşılaştırmalarında gruplar arası farkın nihai sonucunu vermemesidir. Grupların birbirinden farklarını irdelemek için grafik incelenmelidir. İkili grup karşılaştırmalarına istatistiksel anlamda değil de görsel olarak karar verilmesi olumsuz bir durum olarak değerlendirilebilir.

Tüm bu karşılaştırmaların yanı sıra testin gücü açısından da ANOM testi ANOVA ve Kruskal Wallis testlerine benzer sonuçlar vermektedir. Literatürde ANOM testinin gücü için birçok çalışma gerçekleştirilmiştir. Mendeş ve Yiğit (2013) yaptıkları çalışmada ANOM testi ile ANOVA testinin güçlerini karşılaştırmış ve genel olarak benzer güce sahip olduklarını belirtmiştir. Büyük popülasyon ortalaması ve varyansa sahip olunan durumlarda ANOM'un ANOVA'ya oranla daha üstün olduğu, büyük popülasyon ortalaması ve küçük varyansa sahip olunan durumlarda ise ANOVA'nın üstün olduğu gözlemlenmiştir [18]. Parametrik olmayan ve Kruskal Wallis testlerinin gücünü karşılaştırma konusunda Bakır (1983) yaptığı çalışmada iki testinde hemen hemen aynı güce sahip olduğunu fakat çoğu durumda Kruskal Wallis testinin Parametrik Olmayan ANOM testine göre biraz daha güçlü olduğunu belirtmiştir [18,26]. Yapılan tüm çalışmalara göre ANOM testinin güç olarak diğer testlere benzer olduğunu ve bu testler için bir alternatif olabileceği gözlemlenmiştir.

Teşekkür

Bu çalışma 18. Uluslararası Ekonometri, Yöneyim Araştırması ve İstatistik Sempozyumunda sözlü bildiri olarak sunulmuştur. Bu çalışmanın oluşturulması fikrini sunan ve çalışma esnasında her konuda yardımlarını esirgemeyen Ceyda AFACAN'a teşekkürlerimizi sunarız.

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] Tabachnick, B.G. and Fidell, L.S. (2013) Using Multivariate Statistics. 6th ed. Pearson Education, Boston.
- [2] Mendeş, M. (2015) Uygulamalı Bilimler İçin İstatistik ve Araştırma Yöntemleri. 2nd ed. Kriter Yayın Evi, İstanbul.
- [3] Wludyka, P.S., Nelson, P.R., and Silva, P.R. (2001) Power Curves for The Analysis of Means for Variances. Journal of Quality Technology. 33 (1), 60-65.
- [4] Halperin, M., Greenhouse, S.W., Cornfield, J., and Zalokar, J. (1955) Tables of Percentage Points for the Studentized Maximum Absolute Deviate in Normal Samples. Journal of American Statistical Association. 50 185-195.
- [5] Ott, E.R. (1967) Analysis of Means - a Graphical Procedure. Journal of Quality

- Technology. 24 101-109.
- [6] Schilling, E.G. (1973) Systematic Approach To the Analysis of Means - 1. Analysis of Treatment Effect. Journal of Quality Technology. 5 (3), 93-108.
- [7] Wludyka, P.S. (1999) Non-Parametric Analysis of Means Type Tests for Homogeneity of Variances. Journal of Applied Statistics. 26 (2), 243-256.
- [8] Sheesley, J.H. (1980) Comparison of K Samples Involving Variables or Attribute Data Using The Analysis of Means. Journal of Quality Technology. 12 (1), 47-52.
- [9] Sheesley, J.H. (1981) Factors for Analysis of Means When The Standard Deviation is Estimated with The Range. Journal of Quality Technology. 13 (3), 184-185.
- [10] Ohta, H. (1981) A Procedure for Pooling Data by The Analysis of Means. Journal of Quality Technology. 13 (2), 115-119.
- [11] Wludyka, P.S. and Nelson, P.R. (1997) Analysis-of-Means-Type Test for Variances from Normal Populations. Technometrics 39. 274-285.
- [12] Wludyka, P.S. and Nelson, P.R. (1997) Analysis of Means Type Tests for Variances Using Jackknifing and Subsampling. American Journal of Mathematical and Management Sciences. 17 (1-2), 31-60.
- [13] West, R. (2009) The multiple facets of cigarette addiction and what they mean for encouraging and helping smokers to stop. COPD: Journal of Chronic Obstructive Pulmonary Disease. 6 (4), 277-283.
- [14] Nelson, P.R. (1985) Power curves for the analysis of means. Technometrics. 27 (1), 65-73.
- [15] Nelson, P.R. (1993) Additional uses for the analysis of means and extended tables of critical values. Technometrics. 35 (1), 61-71.
- [16] Nelson, P.R. (1983) A Comparison of Sample Sizes for The Analysis of Means and The Analysis of Variance. Journal of Quality Technology. 15 (1), 33-39.
- [17] Ryan, T.P. (1978) Modern Experimental Design. John Wiley & Sons Inc, New Jersey.
- [18] Mendeş, M. and Yiğit, S. (2013) Comparison of ANOVA-F and ANOM Tests with Regard to Type 1 Error Rate and Test Power. Journal of Statistical Computation and Simulation. 8 (11), 2093-2104.
- [19] Gülsüm, Ü.K. (2010) Bölünmüş Parseller Deney Tasarımı ve Bir Uygulama, Gazi Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Ankara,

- 2010.
- [20] Hasgül, Ö. (2011) Ürün ve süreçlerin geliştirilmesinde deney tasarımı: gıda sektöründe bir uygulama. *Yönetim ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi*. 42-67.
- [21] Dumlupınar, E., Parlar, A., and Üçkardeş, F. (2015) ANOM Testinin Tıp Alanında MİNİTAB Programıyla Kullanımı, 9. Uluslararası İstatistik Kongresi Bildiriler Kitabı. 267-268.
- [22] Pallmann, P. and Hothorn, L.A. (2016) Analysis of means: a generalized approach using R. *Journal of Applied Statistics*. 43 (8), 1541-1560.
- [23] Pohlert, T. (2014) The Pairwise Multiple Comparison of Mean Ranks Package (PMCMR). R Package.
- [24] Yüksek Öğrenim Kurumu (n.d.) <https://istatistik.yok.gov.tr>. Yüksek Öğrenim Kurumu.
- [25] Gamgam, H. and Altunkaynak, B. (2008) Parametrik Olmayan Yöntemler SPSS Uygulamalı. .
- [26] Bakir, S.T. (1989) Analysis of means using ranks. *Communications in Statistics - Simulation and Computation*. 18 (2), 757-776.
- [27] Bakir, S.T. (1994) Analysis of means using ranks for the randomized complete block design. *Communications in Statistics - Simulation and Computation*. 23 (2), 547-568.
- [28] Konietzschke, F., Hothorn, L.A., and Brunner, E. (2012) Rank-based multiple test procedures and simultaneous confidence intervals. *Electronic Journal of Statistics*. 6 (January 2014), 738-759.
- [29] Konietzschke, F., Placzek, M., Schaarschmidt, F., and Hothorn, L.A. (2015) nparcomp: An R Software Package for Nonparametric Multiple Comparisons and Simultaneous Confidence Intervals. *Journal of Statistical Software*. 64 (9), 1-17.
- [30] Gao, X. and Alvo, M. (2008) Nonparametric multiple comparison procedures for unbalanced two-way layouts. *Journal of Statistical Planning and Inference*. 138 (12), 3674-3686.
- [31] Ruymgaart, F.H. (1980) A unified approach to the asymptotic distribution theory of certain midrank statistics. Springer, Berlin.

Tokat-Turhal Karayolunun Güvenlik Teftişinin iRAP Yöntemiyle Yapılması

Ferit YAKAR 

Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 60250,
Tokat, Türkiye

(Alınış/ Received: 03.12.2020, Kabul/ Accepted: 10.02.2021, Online Yayınlanma/ Published Online: 15.04.2021)

Anahtar Kelimeler

iRAP,
Yol Güvenlik Etüdü,
Yol Güvenlik Teftişi,
Karayolu Güvenliği,

Özet: Karayollarının; tasarım aşamasından başlayarak yapım ve işletim aşamalarında bu alanda özel yetişmiş uzmanlar tarafından güvenlik açısından incelenmesi, tehlikeli kesimlerin belirlenmesi ve iyileştirilmelerin yapılması için çok önemli fırsatlar sunmaktadır. Halen dünyada pek çok ülkede uygulanmakta olan Yol Güvenlik Etüdü (YGE), ülkemizde ise henüz yeterli önemi görmemiş ve sistematik bir şekilde kullanılmaya başlanmamıştır. Bu çalışmada, YGE kavramı hakkında genel bilgi verildikten sonra, mevcut yolların trafik güvenliği açısından incelenmesini ifade eden Yol Güvenlik Teftişi (YGT) kavramı üzerinde durulmuştur. YGT'nin Türkiye'de ve dünyadaki durumu hakkında bilgiler verildikten sonra YGT yapımı için sistematik bir çerçeve sunan iRAP (International Road Assessment Program) sistemi hakkında detaylı bilgiler sunulmuştur. Çalışmanın son bölümünde, iRAP sisteminin içerisindeki ViDA yazılımı kullanılarak Turhal-Tokat karayolunun güvenlik teftişi yapılmıştır. iRAP sisteminin; YGT yapılması için kullanılabilecek uygulanabilir bir sistem olduğu, bu amaçla öncelikle yetişmiş insan ve donanım/yazılım altyapısının hazırlanması gerektiği, sonraki aşamada ise mevcut karayolu ağı belirli bir plan dahilinde YGT işleminden geçirilerek tespit edilen iyileştirmelerin yapılması gerektiği sonucuna varılmıştır.

Use of iRAP Method in Road Safety Inspection: Tokat-Turhal Highway Example

Keywords

iRAP,
Road Safety Audit,
Road Safety Inspection,
Road Safety

Abstract: Investigation of highways by specialists in this field, beginning from the design phase upto the construction and operation phases, offers very important opportunities for examining the dangerous sections, and making improvements. Road Safety Audit (RSA), which is still being applied in many countries around the world, has not yet seen sufficient importance and has not been used systematically in our country. In this study, after giving general information about the RSA concept, the concept of Road Safety Inspection (RSI), which refers to the examination of existing roads in terms of traffic safety, is emphasized. After giving information about the situation of RSI in Turkey and in the world, detailed information about iRAP (International Road Assessment Program) system that offers a systematic framework for making RSI was presented. In the last part of the study, RSI of Turhal-Tokat highway was carried out by using the ViDA software in the iRAP system. It was concluded that; iRAP system is a viable system that can be used to make RSA. For this purpose, trained human and hardware/software infrastructure should be prepared, the existing road network should be safety-audited within a certain plan, and the identified improvements should be made.

1. Giriş

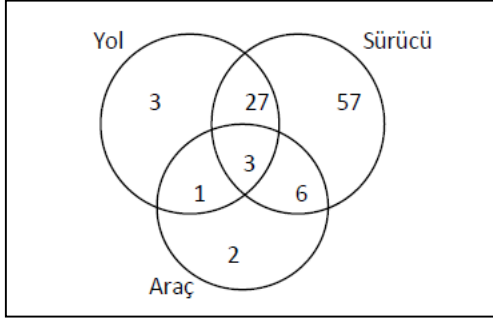
Trafik kazaları Dünya'da ve Türkiye'de önde gelen sorunlardan birisidir. Her yıl dünyada yollarda meydana gelen kazalarda yaklaşık 1,35 milyon insan ölmekte ve 50 milyona yakın kişi de yaralanmaktadır. Başka bir deyişle, her gün yaklaşık 3700 kişi yollarda

hayatını kaybetmektedir [1]. Türkiye'de ise 2018 yılında meydana gelen 186.532 adet ölümlü yaralanmalı trafik kazası sonucunda; 3.368 kişi kaza yerinde, 3.307 kişi ise yaralanıp sağlık kuruluşlarına sevk edildikten sonra kazanın sebep ve tesiriyle 30 gün içinde hayatını kaybetmiştir. Toplamda 6.675 kişi ölmüş, 307.071 kişi yaralanmıştır

[2]. Başka bir ifadeyle, 2018 yılı TÜİK verilerine göre her gün karayollarında ortalama 18 kişi ölmektedir.

Trafik kazaları, sürücünün sürüş performansı, yol ve çevrenin performans gerekliliklerini karşılamakta yetersiz kaldığında meydana gelmektedir [3]. Dolayısıyla, trafik kazaları çoğu zaman birden fazla unsurun etkileşimi sonucu meydana gelmektedir. Motorlu taşıt kazalarının oluşumunda etkili olan belli başlı 3 faktör; yol kullanıcıları (sürücüler, yolcular ve yayalar), yolun kendisi ve çevresi, yolda seyreden araçlardır. Bunlardan en etkili olanı, yol kullanıcıları, yani insan unsurudur.

Diğer taraftan, Şekil 1.'de [4] görüldüğü gibi, sadece yola bağlı kazaların oranı düşük olsa da, yol unsurunun diğer unsurlarla (sürücü ve araç) olan etkileşimleri de dikkate alındığında, yaklaşık olarak kazaların üçte birinin yol unsuruyla ilintili olduğu söylenebilir. Dolayısıyla yol altyapısı ve tasarım unsurları, güvenliğin artırılması açısından büyük bir potansiyel taşımaktadır.



Şekil 1. Trafik kazalarına sebep olan unsurlar [4]

Yol güvenliğini sağlamanın en önemli yöntemlerinden birisi, planlanan veya mevcut yolların güvenlik açısından etüt edilmesi ve tespit edilen eksikliklerin düzeltilmesidir. Dünya'da pek çok ülkede Yol Güvenlik Etüdünün (YGE) yol tasarım, yapım ve işletiminin ayrılmaz bir parçası olduğu görülmektedir.

YGE prosedürü İngiltere'de 1980'lerin sonlarında geliştirilmiş ve uygulanmıştır. Bunu diğer ülkeler izlemiştir. Birkaçından bahsetmek gerekirse; Danimarka'da 1993'te [5], Avusturya'da 1994'de [6], Kanada'da 1999'da [7], Almanya'da 2002'de [8] rehberler yayınlanmıştır. Rehberlerin çoğunda YGE aşamaları tarif edilmekte, müşterilerin, etüt görevlilerinin ve tasarımcıların sorumlulukları belirtilmektedir. Ayrıca çoğu durumda etüt görevlilerine yönelik kontrol listeleri bulunmaktadır. Bugün dünyada pek çok ülkede YGE'nin yol tasarım, yapım ve işletiminin ayrılmaz bir parçası olduğu görülmektedir. Konuyla ilgili pek çok ülkenin [9, 10, 11] veya uluslararası kuruluşun [12] da raporları veya el kitapları bulunmaktadır.

Türkiye'de ise YGE kavramı yeterince bilinmemekte ve yeterince uygulanmamaktadır. AB uyum çalışmaları kapsamında yapılan bazı çalışmalar

bulunmakla birlikte, ne yazık ki Türkiye'de yapım, bakım ve işletimden sorumlu kuruluşlar tarafından uygulanan zorunlu ve tam bir YGE prosedürü bulunmamaktadır.

2008/96/EC Sayılı "Karayolu Altyapısı Güvenlik Yönetimi" Konulu AB Direktifi [13], Avrupa karayolu taşımacılığının ana güzergahlarını oluşturan Trans-Avrupa Karayolu Ağının (TEM) bütün kesimlerindeki proje, yapım ve işletim aşamalarına yönelik güvenlik uygulamalarını kapsamaktadır. Ancak, ülkeler direktif hükümlerini diğer karayolu kesimlerine de uygulayabilirler. Yalnızca üye ülkelerde uygulanma zorunluluğu sebebiyle, Türkiye'nin şu anda direktifi uygulama zorunluluğu bulunmamakta olup, AB'ye üyeliği gerçekleştiğinde (gerçekleşirse) direktifin uygulanması zorunlu hale gelecektir. Bu konuda sorumlu kuruluş, Türkiye'de otoyollar ve Devlet yollarının yapım, bakım ve işletilmesinden sorumlu kuruluş olan Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM)'dir.

Tam üye olunmasa bile direktif konusundaki çalışmaların bir program dahilinde yürütülmesi amacıyla, KGM bünyesinde 21.11.2013 tarihli olur ile "Karayolu Altyapısı Güvenlik Yönetimi Direktifi Uyumlaştırma Komisyonu" kurulmuştur. Bu komisyon eğitimler ve yönetmelik hazırlıklarını yürütmeye devam etmektedir. Bu kapsamda yapılması gereken çalışmalar ana başlıklar olarak şunlardır:

- YGE prosedürüne yasal mevzuatta yer verilmesi
- YGE yapabilecek eleman yetiştirilmesi ve sertifikalandırılması
- YGE yapılmasına imkan verecek şekilde veri tabanlarının oluşturulması
- Gerekli yazılımların edinilmesi
- Kaza açısından sorunlu olanlara öncelik vermek kaydıyla mevcut yolların belirli bir plan dâhilinde YGE işleminden geçirilmesi ve bu işlemin periyodik olarak tekrarlanması

Nitekim, Resmi Gazete'nin 30572 sayı ve 21 Ekim 2018 tarihli sayısında yayınlanan "Karayolu Altyapısı Güvenlik Yönetimi Hakkında Yönetmelik" [14] ile YGE konusunda bir yasal çerçeve oluşturulmuştur. Bu Yönetmelik, Türkiye TEM Ağında yer alan ve 500 metreden uzun karayolu tünelleri dışında kalan, planlama, projelendirme ve yapım aşamasındaki karayolu kesimleri ile trafiğe açık yolları kapsamaktadır. Yönetmelikte konuyla ilgili kavramlar ve tanımlar yapıldıktan sonra, karayolu güvenliği etki değerlendirmeleri, karayolu güvenlik kontrolleri, karayolu ağının güvenlik sıralaması ve yönetimi, karayolu güvenlik teftişleri ve veri yönetimi ile ilgili uygulama usul ve esaslar belirlenmiştir. Bu bileşenlerden her birisinin uygulanmasında dikkate alınacak unsurlar ve kriterler de yönetmeliğin ekinde açıklanmıştır. Ayrıca; karayolu altyapı güvenlik uzmanlarının eğitimi ve görevlendirilmesi ile ilgili hususlar da açıklanmıştır. Listedeki diğer maddeler konusunda ise çalışmalar devam etmektedir.

Türkiye'de YGE konusunda yapılmış akademik çalışmalar ise sınırlıdır:

Uzun [15] çalışmasında, mevcut yolların karayolu güvenlik kontrolleriyle ilgili olarak farklı ülkelerin mevcut deneyimlerini ortaya koymak amacıyla çalışmalar yürütülmüştür. Etüdün uygulanmasına ilişkin bir yöntem önerilmiş, önerilen yöntemin, karayolu ağına, izlenmesine ve iyileştirilmesine katkılarını değerlendirmek amacıyla örnek bir çalışma uygulanmıştır.

Bala [16], çalışmasında, değişik ülkelerde trafiğe açık karayollarında uygulanan 'karayolu güvenlik etütleri' incelenerek, Nijerya'da bir örnek çalışma gerçekleştirilmiştir.

Habibu [17], çalışmasında şehir içi arterlere yönelik yol güvenliği etütlerini analiz etmiştir. Kano, Nijerya'da bulunan Katsina Yol Kesimi bir örnek çalışma için seçilmiş ve kavşak kapasitesi, hizmet seviyesi ile özellikle gelişmekte olan ülkelerde gözlenen bazı güvenliği eksiklikleri gibi yol güvenliği etüt parametreleri kullanılarak değerlendirilmiştir.

Zencirkıran [18], çalışmasında iki şeritli kırsal yollarda tasarım tutarlılığı kavramını ön planda tutarak yol güvenlik değerlendirmesi yapmıştır.

Demirel [19], çalışmasında kentsel ana arterlerin güvenlik değerlendirmesi konusunu ele almış, YGT yaparken kullanılacak kontrol listeleri oluşturmuş ve Ankara'da yeni yapılan bir kentsel ana arter olan 1071 Malazgirt Bulvarı için gönüllü olarak bir YGT raporu hazırlamıştır.

Yücel [20], çalışmasında Ankara ilinde 2016-2019 yılları arasında meydana gelen kazalar Çekirdek Yoğunluğu yöntemi destekli Coğrafi Bilgi Sistemleri yardımıyla incelemiş, yapılan analiz sonucunda en çok kazanın meydana geldiği Atatürk Bulvarı için Yol Güvenlik Denetimi yapmıştır.

Bu bağlamda, bu çalışmanın amacı YGE kavramının tanıtılması ve YGE yapmak amacıyla geliştirilmiş yöntemlerden birisi olan ve pek çok ülkede uygulanmakta olan iRAP yönteminin tanıtılmasıdır. Çalışmada örnek bir uygulama olarak Tokat-Turhal Karayolunun bir kısmının güvenlik teftişi iRAP yöntemiyle yapılmış, tehlikeli kesimler tespit edilmiş ve iyileştirme önerileri sunulmuştur.

2. Materyal ve Metot

2.1. Materyal

Yol Güvenlik Teftişi (YGT) yapılan Tokat-Turhal karayolu, KGM yol ağında D180 koduyla kayıtlı olan, 45 km. uzunluğunda, genel yapısı itibarıyla 2X2 kesitinde bir bölünmüş yoldur. Yolun her iki tarafında

aralıklarla küçük köy ve belde yerleşimleri ile yer yer akaryakıt istasyonu, vb. tesisler bulunmaktadır. Çalışma kapsamında YGT, bölünmüş yolun Turhal-Tokat gidiş yönünde yapılmış; diğer yön için yapılmamıştır.

Çalışma yapılan yolda veri toplamak için; otomobil üzerine kamera monte edilmiş ve yolda orta hızda seyrederek video kaydı yapılmış, bu kayıtlar sonradan ofiste incelenmiştir. Yapılan video kaydından başka, belirtilen güzergahta seyahat edilirken önemli ve sorunlu görülen bazı özellikler de konum bilgisiyle birlikte not alınmıştır. Bunun yanı sıra, Google Earth yazılımından ilgili yol güzergahının ekran görüntüleri ölçekli olarak parça alınarak kaydedilmiş ve çıktısı alınmıştır. Bu sayede video kaydında tespit edilen özelliklerin konumları, seyir sırasında alınan notlar ve hazırlanan Google Earth çıktılarıyla da kıyaslanarak kontrol edilmiştir. Bütün bu veriler birlikte kullanılarak, yol ve yol kenarı özellikleri tespit edilmiştir. Gerekli olan trafik hacmi verileri ise KGM sitesinden alınmıştır.

2.2. Metot

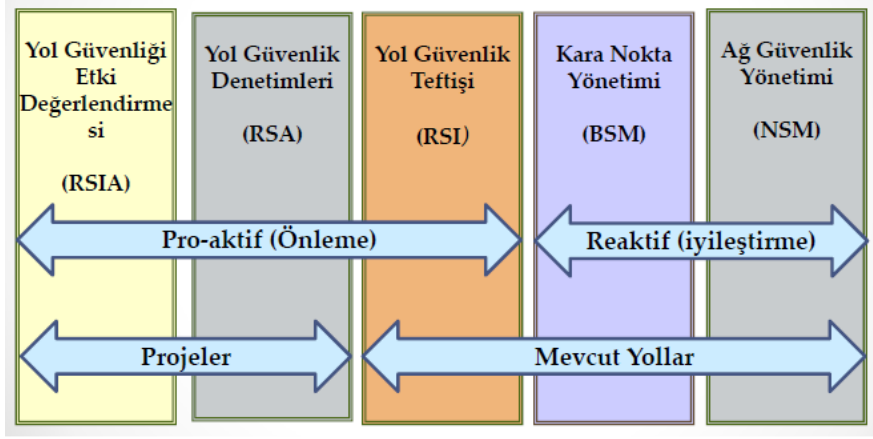
2.2.1. Yol Güvenlik Etüdü (YGE) kavramı

Karayollarının tasarım aşamasından başlayarak yapım ve işletim aşamalarında bu alanda özel yetişmiş uzmanlar tarafından güvenlik açısından incelenmesi, tehlikeli kesimlerin belirlenmesi ve iyileştirilmelerin yapılması için çok önemli fırsatlar sunmaktadır. Bir "Yol Güvenlik Etüdü", mevcut veya planlanan bir yol ya da kavşağın bağımsız, çok disiplinli bir ekip tarafından önceden tanımlanmış prosedüre uyularak trafik güvenliği açısından sorgulanmasıdır [13]. Dünyada pek çok ülkede kullanılan YGE, ülkemiz açısından ise nispeten yeni bir kavram olarak görülmektedir.

Trafik güvenliği konusunda çalışmalar yapan pek çok kuruluş gibi Avrupa Birliği de YGE konusunda bir direktif yayınlamıştır [13]. Bu belgeye göre YGE, Şekil 2.'de gösterilen beş aşamadan oluşur [21]. Aşağıda detaylandırılan bu aşamalardan ikisi proje aşamasındaki yollar için, üçü ise mevcut yollarda uygulanmaktadır. Her ne kadar bu aşamaların her birisi trafik güvenliğini iyileştirme açısından faydalı ve önemliyse de, bu çalışmada YGT konusu geniş olarak ele alınmıştır.

2.2.2. Yol Güvenlik Teftişleri (YGT)

Yol Güvenlik Teftişleri; trafiğe açık karayollarında, yol güvenliğini artırıcı önlemlerin belirlenmesi ve kazaların önlenmesi için yol ağının teftişi çalışmalarını kapsar. Trafiğe açık yol ağının tamamında yol güvenliğini tehlikeye düşüren konular belirlenir ve önlemler geliştirilir. Teftişler; bağımsız bir ekip tarafından, periyodik olarak, yeterli sıklıkta ve bir plan dahilinde yürütülmelidir [21].



Şekil 2. 2008/EC/96 Kodlu Avrupa Birliği Direktifinde Tanımlanmış Yol Güvenliği Çalışmaları [21]

YGT'nin diğer aşamalardan farklı olarak hem mevcut yollarda yapıldığı, hem de proaktif (önleyici) bir prosedür olduğu görülmektedir (Şekil 2.). Yani; trafığe açık olan yolların, kaza meydana gelmesi beklenmeksizin uzmanlar tarafından teftiş edilmesini ve güvenliği artırıcı önlemlerin belirlenmesini içerir. Sağlıklı bir YGT prosedürü için şu noktalar önemlidir:

- YGT, önceden belirlenmiş prosedürlere uyularak ve yasal bağlayıcılığı olacak şekilde yapılmalıdır. Yol projesini yapan ekip içerisindeki uzmanların tecrübelerine güvenilerek veya başka bir sebeple yapılmasından vazgeçilmemelidir.
- YGT, bağımsız bir ekip tarafından yapılmalıdır. Yol projesinin yapımında görev almış olan kişilerin veya birimlerin aynı zamanda YGT yapan ekip içerisinde yer almaları uygun değildir.
- YGT, konunun uzmanları tarafından yapılmalıdır. Yol güvenliği çok sayıda faktörden etkilenebildiğinden, YGT de tek bir uzmandan ziyade, alanlarında uzman çok disiplinli bir ekip tarafından yapılmalıdır. Söz gelişi, bir yol için önerilen bir önlemin güvenlikten başka maliyet, çevre, mülkiyet, sosyo-ekonomik konular, topografya ve jeolojik konular açısından da irdelenmesi gerekmektedir.
- Her bir yol kullanıcı grup (sürücü, yolcu, yaya, vb.) için güvenlik öncelikleri farklı olabilmektedir. YGT'nin bütün yol kullanıcılarının güvenliğini dikkate alması gerekir.
- Güvenliği iyileştirici önlemleri kazalar yaşanmadan ortaya konması beklenmektedir.

YGT prosedürü sırasında genellikle önceden hazırlanmış formlar kullanılmaktadır. Saha çalışmaları sırasında teftiş ekiplerinin işini kolaylaştıran bu formlarda genellikle yolun adı ve/veya numarası, tarih, teftiş sırasındaki yol ve hava koşulları, teftiş ekibi personeli gibi genel bilgilerden sonra yolun durumunun değerlendirildiği bir kontrol listesi yer almaktadır.

Tespit edilen kusurlar kesim numarasıyla beraber raporlarda yer almakta, bu kusurların düzeltilmesi için alınması gereken kısa-orta-uzun vadeli önlemler

ve aciliyet durumu da formda belirtilmektedir. Ayrıca ilgili yerlerdeki durumun fotoğrafı da formda yer alabilmektedir.

2.2.3. iRAP

iRAP (International Road Assessment Program-Uluslararası Yol Değerlendirme Programı), dünya çapında Yol Değerlendirme Programları (Road Assessment Program - RAP) için şemsiye programdır. Avrupa, Asya Pasifik, Kuzey, Orta ve Güney Amerika ve Afrika'da 50'den fazla ülkede faaliyet göstermektedir. iRAP programları ve projeleri şu anda dünya çapında 100'den fazla ülkedeki ortaklar tarafından yürütülmektedir (Şekil 3.). 1.300.000 km'den fazla yolun risk haritalaması ve 1.000.000 km'den fazla yolun yıldız derecelendirilmesi yapılmıştır [22].

iRAP, yolların güvenliğini belirlemek ve geliştirmek için dört adet protokol geliştirmiştir (Tablo 1.).



Şekil 3. iRAP programı uygulanan ülkeler

2.2.4. Yıldız Derecelendirmeleri

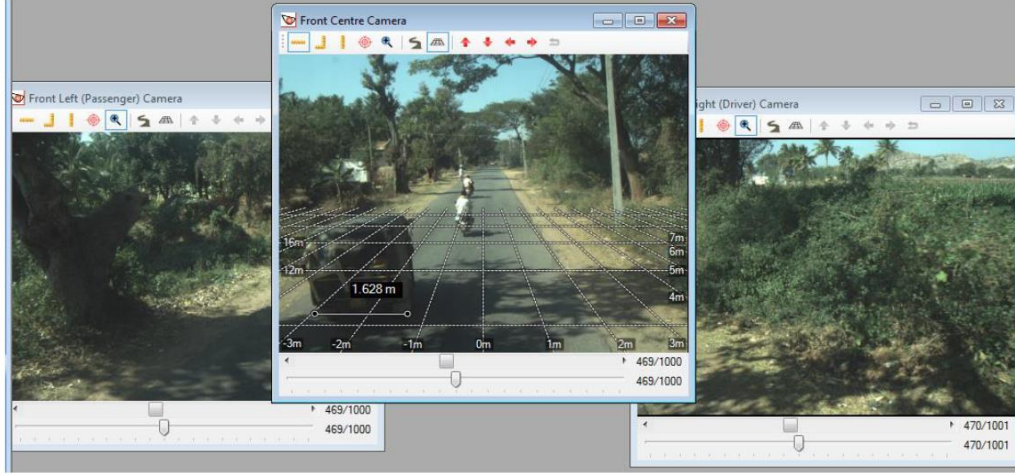
Bu çalışmanın odak noktası, Tablo 1.'de bahsedilen iRAP protokollerinden ikincisi olan Yıldız Derecelendirmesi (Star Ratings) protokolüdür.

iRAP Sisteminde, yol kullanımının çoğunu oluşturan dört yol kullanıcı türünün her biri için ayrı bir Yıldız Derecelendirmesi üretilir:

1. Araç kullanıcıları.
2. Motosikletliler.
3. Bisikletliler.
4. Yaya.

Tablo 1. iRAP Protokolleri [22]

Protokol	Açıklama
1. Risk Haritalama	Tarihsel kaza performansını ölçmek ve karşılaştırmak için küresel bir standart sağlar.
2. Yıldız Derecelendirmeleri	Yayalar, bisikletliler, motosikletliler ve araç sakinleri için mevcut altyapı güvenliğinin nesnel bir ölçüsünü sunar;
3. Daha Güvenli Yol Yatırım Planları	Yapılan yatırım başına kurtarılan yaşamı en üst düzeye çıkaracak, proaktif bir karşı önlemler programı oluşturulmasını sağlar.
4. Performans İzleme	Yol güvenliği performansını izlemek için Yıldız Derecelendirmeleri ve Risk Haritaları kullanımını sağlar.

**Şekil 4.** Yol Kontrol Sistemi cihazı görüntüsü

Yıldız Derecelendirmeleri, bir kazanın olma ihtimalini ve şiddetini etkilediği bilinen yol altyapı unsurlarının incelenmesini içerir. Yola, mevcut olan emniyet seviyesine bağlı olarak 1 ila 5 yıldız arasında puan verilir. En güvenli yollar (4 ve 5 yıldızlı), geçerli trafik hızları için uygun olan yol güvenliği özelliklerine sahiptir. En az güvenli yolların (1 ve 2 yıldızlı), geçerli trafik hızları için uygun yol güvenliği özellikleri yoktur. "Yol ölümlerini ve yaralanmalarını yarıya indirmek", Birleşmiş Milletler Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri'nden birisidir. Buna ek olarak, BM Üye Devletleri, dünya çapında eyleme geçmek için 12 Küresel Yol Güvenliği Performans Hedefi üzerinde anlaşmışlardır. Bu hedeflere göre 2030 yılına kadar;

- tüm yeni yolların tüm yol kullanıcıları için 3 yıldızlı veya daha iyi bir standarda göre oluşturulması (hedef 3) ve
- tüm yol kullanıcıları için seyahatlerin% 75'inden fazlasının 3 yıldızlı veya daha iyi yollara eşdeğer yollarda gerçekleşmesi (hedef 4) istenmektedir.

Bu hedeflerden dördüncüsünün gerçekleşmesi demek, tahmini olarak her yıl 467bin hayatın kurtulması ve 20 yıllık bir süreçte 100milyon ciddi yaralanmanın engellenmesi anlamına gelmektedir. Diğer taraftan, yolların daha güvenli hale getirilmeleri sadece bir sosyal eşitlik konusu değildir, ekonomik olarak da bir ülkenin yapabileceği yatırımlardan en yüksek geri dönüşü sağlayandır [22].

2.2.5. Yol Denetimleri

iRAP Yıldız Derecelendirmeleri, bir yolun altyapı unsurlarının ayrıntılı bir görsel incelemesine dayanır. Sürücüler, motosikletliler, yayalar ve bisikletliler için

en sık karşılaşılan ciddi kaza türlerinin olasılığını ve şiddetini etkileyen tanımlayıcı yol özellikleri, yol incelemeleri ile toplanır. Bu sırada yoldaki görüntüler ve videolarla birlikte konum (GPS) verileri elde edilir.

Şekil 4.'de görüldüğü gibi araca monte edilen "yol kontrol sistemi" cihazı, coğrafi referans verisine bağlı yüksek kaliteli görüntüler sağlayan ileriye dönük üç kamera kullanır.

Görüntüleri kaydedilen ve GPS üzerinden bilgileri kaydedilen yollar daha sonra çalışma ortamına gelir ve burada uzman kişiler tarafından yolun yıldız derecelendirmeleri yapılır.

Yol özellikleri yolun her biri 100 metrelik bölümleri için kaydedilir. Bir özelliğin durumunun 100 metrelik bir bölüm içerisinde değişiklik gösterdiği bir durumda, en olumsuz durum (yol güvenliği açısından) kaydedilir. Örneğin, 100 metrelik bir bölümün ilk 50 metresinde yol kenarı güvenlik bariyerleri mevcutken ikinci 50 metrede yol kenarı tehlikeleri varsa, 100 metrelik bölüm "yol kenarı tehlikeleri mevcut" olarak kodlanır. Tablo 2., iRAP değerlendirmeleri sırasında kaydedilen yol niteliklerini listeler. Tablonun ilk 12 maddesi yolun konumu ve kodlamayı (değerlendirmeyi) yapan kişiyle ilgili bilgileri içerir. Diğer maddeler ise ele alınan yol özellikleriyle ilgili bilgileri içerir.

Tablo 2.'de sıralanan her bir özelliğin ne şekilde ele alınacağı ve kodlanacağı ayrı ayrı Bilgi Tabloları'nda açıklanmıştır. Örneğin; 44. Sırada verilen "kurp kalitesi" özelliği için şu tanımlamalar yapılmıştır (Tablo 3.)[23]:

- Eğrinin kalitesi, işaretlerin ve işaretlemelerin sürücünün doğru kurp eğriliğini ve görüş mesafesini hem kurptan önce hem de kurp içerisinde doğru değerlendirmesine ne ölçüde yardımcı olduğunu yansıtacaktır.
- Eğrinin kalitesinin pratik bir göstergesi, sürücünün kurba yaklaşırken veya kurp içinde hızını aniden ya da beklenmedik şekilde ayarlaması gerekip gerekmediğidir.
- Başlangıç noktasından bitiş noktasına kadar tüm kurba aynı kurp kalitesi kodu uygulayın.
- Eğrilerin gece veya kötü havalarda değerlendirilmesi özellikle zor olabilir. Yansıtıcı işaretlerin ve yol işaretlemelerinin ve aydınlatmanın varlığı ve kalitesi bir eğrinin kalitesini ölçmede önemlidir.

2.2.6. ViDA Online Yazılımı

Kodlamaların kolaylıkla yapılması ve yıldız derecelendirmesinin belirlenmesi için iRAP sisteminde ViDA isimli bir online yazılım

oluşturulmuştur (Şekil 5.). Ücretsiz bir üyelik yapılarak kullanılabilen bu yazılımda çeşitli araçlar vardır. Bu araçlardan birisi olan Demonstrator, her bir yol kesimine ait yol özelliklerinin girilmesini (Çizelge 5'deki özellikler) ve buna bağlı olarak da Yıldız Derecelendirme puanlarının hesaplanmasını sağlar.

Girilen yol özellikleri kullanılarak, her bir yol kesimi için 4 farklı Yıldız Derecelendirme puanı ve Yıldız Sayısı hesaplanır: araçlar, motosiklet, yayalar ve bisikletliler. İlgili kesime ait her bir özelliğin girilmesiyle bu 4 puan anında değişir (Şekil 6.).

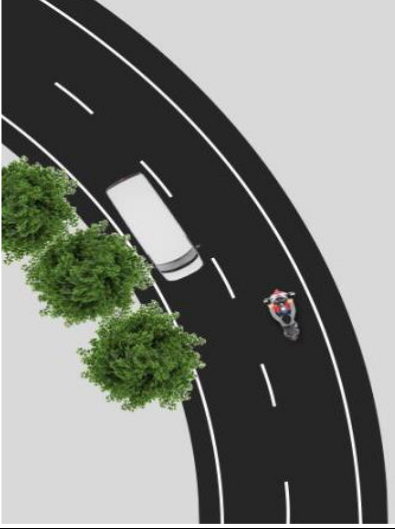
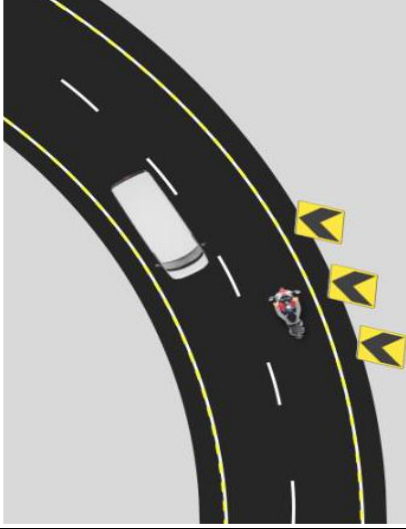
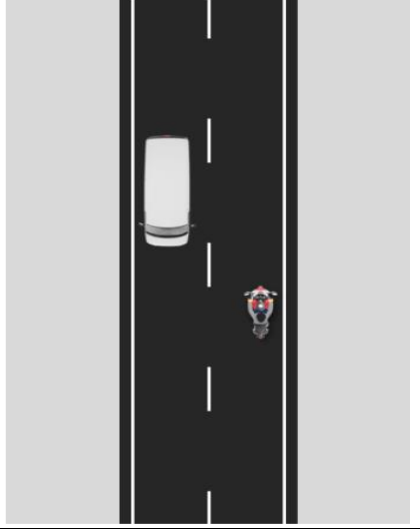
Kesimlere ait yıldız derecelendirme işleminin yapılmasındaki ilk adım, kesim özelliklerine en uygun olan standart bir enkesitin seçilmesidir. Yazılımda 15 tip enkesit mevcuttur (Şekil 7.).

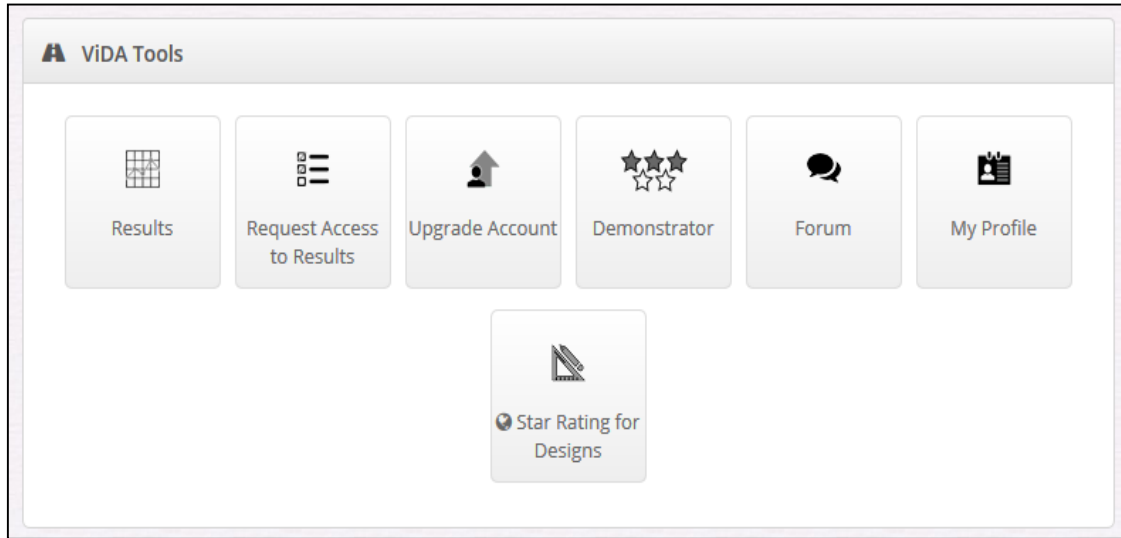
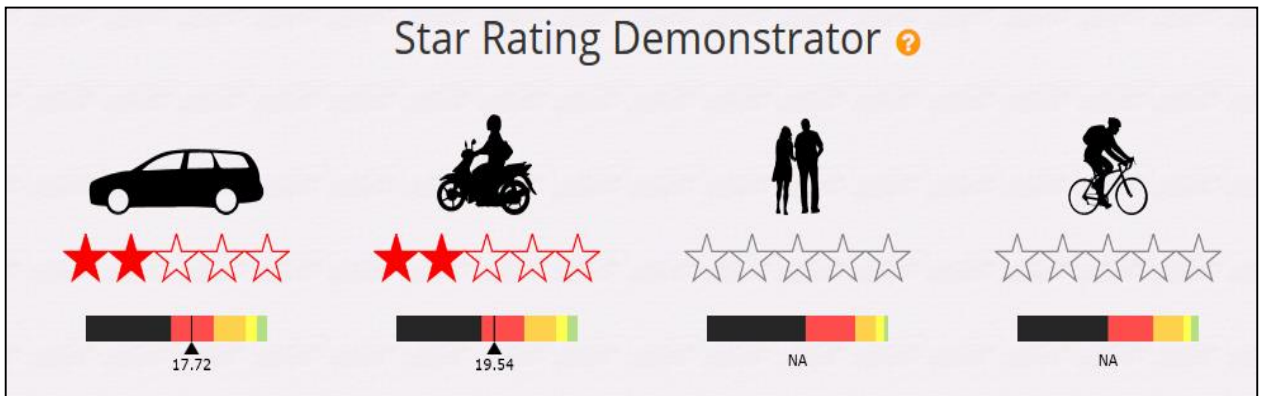
İkinci sekmede yol kenarı özellikleri girilmektedir (Şekil 8.). Bu sekmede ve sonraki sekmelerde yol özellikleri, aşağı açılır menüler vasıtasıyla girilir.

Tablo 2. iRAP yol nitelikleri kodlama tablosu

SN	Özellik	SN	Özellik
13	Yoldaki seyir şeridi	46	Yol durumu
14	İyileştirme maliyeti	47	Kayma direnci
15	Gözlenen motosiklet akımı	48	Görünürlük
16	Gözlenen bisiklet akımı	49	Cadde ışıklandırması
17	Yoldan geçen yaya akımı	50	Yaya geçidi durumu
18	Yol boyunca sürücü tarafında gözlenen yaya akımı	51	Yaya geçidi kalitesi
19	Yol boyunca yaya tarafında gözlenen yaya akımı	52	Yaya geçit tesisleri-yan yol
20	Arazi kullanımı - sürücü tarafı	53	Yaya korkuluğu
21	Arazi kullanımı - yolcu tarafı	54	Hız yönetimi/trafik durultma
22	Alan türü	55	Araç parkı
23	Hız sınırı	56	Kaldırım-sürücü tarafı
24	Motosiklet için hız sınırı	57	Kaldırım-sürücü tarafı
25	Kamyon hız sınırı	58	Servis yolu
26	Farklı hızlar	59	2 tekerlekli motorlu araçlar için tesisler
27	Refüj türü	60	Bisiklet tesisleri
28	Orta çizgide kauçuk şeritler	61	Yol yapım işleri
29	Yol kenarı özellikleri- sürücü tarafı mesafesi	62	Yanal görüş
30	Yol kenarı özellikleri- sürücü tarafı objeleri	63	Araç akımı (YOGT)
31	Yol kenarı özellikleri- yolcu tarafı mesafesi	64	Motosiklet %si
32	Yol kenarı özellikleri- yolcu tarafı objeleri	65	Yoldan geçen saatlik zirve yaya trafiği
33	Banket kauçuk şeritleri	66	Yol boyunca saat. zirve yaya trafiği-sürücü
34	Kaplamalı banket- sürücü tarafı	67	Yol boyunca saat. zirve yaya trafiği-yolcu
35	Kaplamalı banket- yolcu tarafı	68	Zirve saat bisiklet akımı
36	Kavşak türü	69	İşletme hızı (85 persantil)
37	Kavşak kanalizasyonu	70	İşletme hızı (ortalama)
38	Kesişen yol hacimleri	71	Otomobillerin okuyabildiği yollar
39	Kavşak kalitesi	72	Otomobil Yıldız Der. politika hedefi
40	Mülkiyet erişim noktaları	73	Motosiklet Yıldız Der. politika hedefi
41	Şerit sayısı	74	Yaya Yıldız Der. politika hedefi
42	Şerit genişliği	75	Bisiklet Yıldız Der. politika hedefi
43	Eğrilik	76	Yıllık ölüm artış katsayısı
44	Kurp kalitesi	77	Okul bölgesi uyarısı
45	Eğim	78	Okul geçidi görevlisi

Tablo 3. Kurp kalitesi özelliğinin açıklaması

Kod:2- Zayıf	Kod:1-Yeterli	Kod:3 -Uygulanamaz
Kurba uyum sağlamak için ani/beklenmedik hız ayarlamalarının gerekli olduğu bir kurp. Levha ve işaretlemelerin eksikliği ve/veya unutulmuş veya bakımsız yol işaretlemeleri bulunması	Levhalar, işaretlemeler ve görüş mesafesi, sürücünün kurbu doğru değerlendirmesini sağlar. Yeterli kalitede kurplarda chevron hizalama işaretleri (CAM) veya diğer yansıtıcı tehlike işaretleri bulunabilir.	Yol düz veya hafifçe kıvrımlı.
		

**Şekil 5.** ViDA yazılımı ana ekranı**Şekil 6.** Farklı kullanıcılar için Yıldız Derecelendirme ekranı



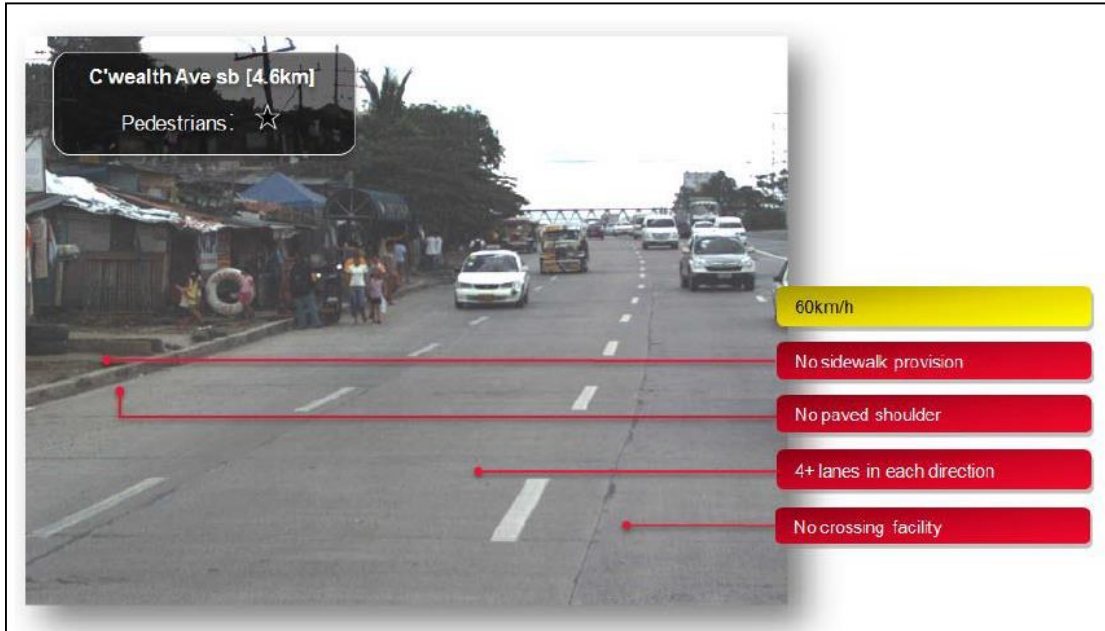
Şekil 7. ViDA yazılımı içerisindeki tip enkesitler

Load / Save	Roadside	Mid-block	Intersections	Flow	VRU facilities and land use	Speeds
Roadside severity - driver-side distance	1 to <5m					▼
Roadside severity - driver-side object	Tree >=10cm dia.					▼
Roadside severity - passenger-side distance	1 to <5m					▼
Roadside severity - passenger-side object	Tree >= 10cm dia.					▼
Shoulder rumble strips	Not present					▼
Paved shoulder - driver-side	None					▼
Paved shoulder - passenger-side	None					▼

Şekil 8. ViDA yazılımı- yol kenarı özellikleri sekmesi



Şekil 9. Araç kullanıcıları için Yıldız Derecelendirmesi



Şekil 10. Yaya kullanıcıları için yıldız derecelendirmesi

Sonraki sekmeler ise sırasıyla; yol ortası, kavşaklar, trafik akımı, korunmasız yol kullanıcıları ve arazi kullanımı ile hız ile bilgilerin girilmesini sağlamaktadır.

2.2.7. Yıldız Derecelendirmelerle İlgili Örnekler

Şekil 9. ve Şekil 10.'de araçlar ve yaya kullanıcıları için Yıldız Derecelendirme uygulamalarına örnekler verilmiştir. Yol kesimleri için Yıldız Derecelendirmeleri tamamlandıktan sonra bu yol kesimlerinin Yıldız Derecelendirme değerleri harita üzerinde farklı renklerle gösterilmektedir. Örneğin; yüksek riskli bir yol haritada siyah bir çizgi (1 yıldızlı) veya kırmızı çizgi (2 yıldızlı) olarak gösterilmektedir. 3 Yıldız, 4 Yıldız ve 5 Yıldızlı kesimler de haritada farklı renklerle gösterilir.

3. Bulgular

Bölüm 2.2.3.'de açıklandığı gibi (Tablo 1.), iRAP yöntemi 4 farklı protokolden oluşan kapsamlı bir yöntemdir. Yöntemin temel direğini oluşturan protokol ise, yoldaki incelemeler sonucu yolun tehlikelilik durumunu temsil eden Yıldız Derecelendirmelerinin yapılmasıdır. Bu çalışmada da örnek bir çalışma olarak Tokat-Turhal Karayolu'nda Yıldız Derecelendirmesi yapılmıştır.

Yol özelliklerinin belirlenmesi ve buna dayalı olarak yıldız derecelendirmelerinin yapılabilmesi için yolun kesimlere ayrılması gerekmektedir. Burada kesim uzunluğunun ne olması gerektiği konusu gündeme gelmektedir. Kesim uzunluğunun mümkün olduğunca kısa tutulması daha hassas ve daha detaylı bir

Tablo 4. Turhal-Tokat Karayolundaki Yıldız Derecelendirme değerleri

Kesim No	Kesim Baş.	Kesim Bit.	Araç		Motosiklet		Yaya		Bisiklet	
			Yıldız Sayısı	Yıldız Puanı	Yıldız Sayısı	Yıldız Puanı	Yıldız Sayısı	Yıldız Puanı	Yıldız Sayısı	Yıldız Puanı
1	10,00	10,50	2	16,45	2	17,83	2	69,86	2	38,33
2	10,50	11,00	2	15,05	2	17,16	2	48,76	2	45,89
3	11,00	11,50	2	16,45	2	18,91	2	69,82	2	53,01
4	11,50	12,00	2	15,36	2	17,52	2	71,46	2	45,89
5	12,00	12,50	1	36,87	1	47,82	1	107,33	1	143,4
.										
75	47,00	47,50	2	17,71	*	*	*	*	*	*
76	47,50	48,00	1	27,16	*	*	*	*	*	*
77	48,00	48,50	1	27,16	*	*	*	*	*	*

incelemeyi mümkün kılarken diğer taraftan da iş yükünü (ve dolayısıyla gerekli zamanı) oldukça artırmaktadır. Kesim uzunluğunun fazla tutulması ise iş yükünü azaltmakla beraber verilerin hassasiyetini düşürmektedir. Bu nedenle kesim uzunluğunun belirlenmesi sırasında bu iki unsurun (veri hassasiyeti ve iş yükü) birlikte ele alınması ve optimum bir çözüm bulunması gerekmektedir.

Önceki bölümlerde bahsedildiği gibi, orijinal iRAP metodolojisinde yol özellikleri 100 metrelik kesimler için belirlenmektedir. Bu çalışmada bu kesim uzunluğunun kullanılması durumunda çok fazla kesim ortaya çıkmaktadır. Ancak, çalışmanın asıl amacı, yolun güvenlik etüdünün gerçekleştirilmesinden daha çok, bu konuda iRAP yönteminin nasıl kullanılabilirliğinin gösterilmesidir. Bu nedenle bu çalışmada yol kesim uzunluğu 500 m olarak alınmış ve 77 adet kesim oluşmuştur.

Saha çalışmasıyla elde edilen veriler (yol özellikleri) iRAP sistemindeki ViDA yazılımına girilmiştir. Böylece ele alınan yolun 500 m uzunluğundaki her bir kesimi için yıldız derecelendirme değerleri ve buna karşılık gelen yıldız sayıları belirlenmiştir.

Önceki bölümlerde belirtildiği gibi, ViDA yazılımı 4 kullanıcı türü (araçlar, motosiklet, yayalar ve bisikletliler) için yıldız derecelendirme yapmaktadır. Ancak, motosiklet, bisiklet ve yayalara yönelik trafik verileri mevcut olmadığından, çalışma kapsamında sadece araçlara yönelik değerlendirme yapılabilmektedir. Bununla birlikte, diğer 3 kullanıcı türüne yönelik işleyişin görülmesi için sadece ilk 7 kesim için motosiklet, bisiklet ve yaya sayıları için gözlemler yapılmış ve bu kesimler için bu kullanıcı türleri için de değerlendirme yapılmıştır. Kesimler için hesaplanan Yıldız Puanları ve Yıldız Sayılarının bir bölümü Tablo 4.'de görülmektedir.

Yapılan değerlendirme sonucunda; ele alınan 77 kesimden 5 tanesi (%6,49) 1 yıldız, 39 tanesi (%50,65) 2 yıldız, 25 tanesi (% 32,47) 3 yıldız, 8 tanesi (% 10,39) 4 yıldız olarak değerlendirilmiştir (Tablo 5.). 5 yıldız alan kesime rastlanmamıştır.

Tablo 5. Turhal-Tokat Karayolundaki kesimlerin Yıldız Derecelendirme özeti

Yıldız Değeri	Kesim sayısı	%
5 yıldız	0	0
4 yıldız	8	10,39
3 yıldız	25	32,47
2 yıldız	39	50,65
1 yıldız	5	6,49
Toplam	77	100

4. Tartışma ve Sonuç

4.1. Tartışma

Bilindiği gibi, KGM istatistikleri, kazalardan sonra olay yerine gelen trafik polisleri tarafından düzenlenen Trafik Kazası Tespit Tutanakları'na dayanılarak oluşturulmaktadır. Bu tutanakları düzenleyen trafik polisleri ise trafik kuralları ile ilgili bilgilere tam hakim olmaları sayesinde yol kullanıcılarının ihlal ettikleri kuralları başarıyla tespit edebilmekte, kazaya karışanların kusur durumları hakkında tespitlerde bulunabilmektedirler. Diğer taraftan tutanağı düzenleyen trafik polisleri, yol yapım tekniği, yol geometrik standartları gibi konularda bir eğitime sahip olmadıklarından yoldan kaynaklanan kusurları tespit etme konusunda aynı yetkinliği sergileyememektedirler. Bu sebeple, yalnızca bariz olarak göze çarpan yol kusurlarına (yol sathında gevşek malzeme, yolda münferit çukur, şerit çökmesi, tekerlek izinde oturma, düşük banket, vb.) yer verildiği; ancak tespit edilmesi uzmanlık gerektiren (geometrik standartlardaki uyumsuzluk-yetersizlik, yolun çevre şartlarıyla uyumsuz olması vb.) konuların tutanaklara (dolayısıyla istatistiklere) yansımadağı görülmektedir.

Yol unsurunun diğer unsurlarla (sürücü ve araç) olan etkileşimleri de dikkate alındığında, yaklaşık olarak kazaların üçte birinin yol unsuruyla ilintili olduğu görülmektedir. Bu bağlamda YGE, yol güvenliğinin artırılması açısından büyük bir potansiyel taşımaktadır. Ülkemizde ise YGE kavramı maalesef yeterli bilinirliğe ve yere sahip değildir.

YGE'nin en önemli parçalarından birisi olan, mevcut yollardaki güvenlik durumunun incelenmesini içeren ve önleyici (Pro-aktif) bileşenlerden birisi olan YGT, trafiğe açık olan yolların, kaza meydana gelmesi beklenmeksizin uzmanlar tarafından teftiş edilmesini ve güvenliği artırıcı önlemlerin belirlenmesini içerir. YGE yapılmasını kolaylaştıran yöntemlerden birisi de iRAP (International Road Assessment Program - Uluslararası Yol Değerlendirme Programı)'dır. Esasen 4 ana protokolden oluşan iRAP sisteminin YGT yapılmasını sağlayan protokolü, Yıldız Derecelendirme protokolüdür. Yıldız Derecelendirmeleri, bir kazanın olma ihtimalini ve şiddetini etkilediği bilinen yol altyapı unsurlarının incelenmesini içerir. Yola, mevcut olan emniyet seviyesine bağlı olarak 1 ila 5 yıldız arasında puan verilir.

Yollara ait Yıldız Derecelendirmelerinin yapılabilmesi için önce yol denetimleri yapılarak yollara ait özellikler belirlenir, sonra bu özellikler masa başında işlenerek yıldız derecelendirme puanları hesaplanarak yıldızlar atanır. Masa başında yapılan çalışmayı kolaylaştırmak üzere de ViDA adlı bir yazılımdan faydalanılmaktadır.

Bu çalışmada, bahsedilen sistem Turhal-Tokat Karayolu'nda (bazı basitleştirmelerle) kullanılmış ve söz konusu yolun yıldız derecelendirmesi yapılmıştır. Buradaki asıl amaç, yöntemin nasıl işlediğinin anlaşılması ve iRAP yönteminin Türkiye'deki yolların YGT'lerinin yapılmasında kullanılıp kullanılmayacağına ilişkin anlaşılmasıdır. Bu bağlamda, Yıldız Derecelendirme Puanı konusunda aşağıdaki tespitlerde bulunulmuştur.

- Çeşitli uluslararası kuruluşların raporlarında, yolların 3 yıldız ve fazlasına sahip olması gerektiği vurgulanmaktadır. Ele alınan yoldaki 77 kesimin 33 tanesi (%42,86) bu hedefi sağlarken, 44 tanesi (% 57,14) bu hedefi sağlamamaktadır. Yoldaki hiçbir kesim 5 yıldız alamamıştır. Ele alınan yolun bir devlet yolu olduğu ve arazi koşulları olarak da engebesiz ve yol yapımı açısından kolay bir bölge olduğu düşünüldüğünde, bu sonuçların tatminkar olmadığı düşünülmektedir. Ancak, bunun sebeplerinden birisinin, yoldaki kesim uzunluğunun 100m yerine 500 m olarak kabul edilmesi olduğu düşünülmektedir. Şöyle ki, kesimler değerlendirilirken, her bir özellikle ilgili en olumsuz duruma göre kodlama yapılmaktadır. Örneğin; mevcut durumda kesim uzunluğu 500 m olarak alındığından, kesim içerisindeki tek bir kontrolsüz kavşak bile 500 m'lik kesimin "kontrolsüz kavşak mevcut" şeklinde kodlamasını gerektirmektedir. Ancak kesim uzunluğu 100m olarak alınırsa, yoldaki kontrolsüz kavşak tek bir kesimde kodlanacak, diğer 4 kesim ise "kavşak yok" şeklinde kodlanacaktır ki bu kesimlerin yıldız derecelendirme puanı artacaktır.

- Yolun yıldız derecelendirme puanı üzerinde en önemli faktörlerden birisinin hız olduğu görülmüştür. Yoldaki hızla ilgili sekmede 2 tür hız değeri girilmektedir. Bunlardan birisi yoldaki hız sınırı, diğeri ise işletme hızıdır (%85 persantil değeri). Doğal olarak bu hız değerlerinin düşük olması, yıldız derecelendirme puanını yükseltmektedir. Ancak bunlardan birisinin düşük olması yetmemektedir. İkisinden daha büyük olan dikkate alınmaktadır. Ayrıca yolda farklı hız sınırlamaları uygulanıp uygulanmadığı ve trafik durultma önlemleri alınıp alınmadığı da yıldız derecelendirme puanını etkilemektedir.
- Yoldaki yıldız derecelendirme puanı üzerinde çok etkili olan bir diğer unsur ise, yol kenarı ve orta refüj durumudur. Çoğu durumda yol kenarlarına ve/veya orta refüje yapılacak metal bariyerler yoldaki yıldız derecelendirmesi üzerinde oldukça etkili olmaktadır. Banket yapımı da çoğu zaman önemli iyileştirmeler sağlamaktadır. Benzer şekilde, orta refüjdeki ya da yol kenarlarındaki bir ağaç veya aydınlatma direği de derecelendirme puanını oldukça azaltabilmektedir.
- Bir diğer önemli unsur ise, beklenebileceği gibi yoldaki viraj durumudur. Yolun düz ya da hafif viraj olması yerine orta şiddette bir virajın bulunması derecelendirme puanını keskin biçimde azaltmaktadır.
- Kavşak varlığı ve kavşak kollarının trafik hacimleri, araç kullanıcıları için önemli bir etki yaratmazken, motosiklet kullanıcıları için önemli etki yapmaktadır.

4.2. Sonuçlar

Türkiye'de otoyollar, devlet yolları ve il yollarının yapım, bakım, işletimden sorumlu kuruluş KGM'dir. KGM, yolları planlarken, yaparken veya işletirken, yol güvenliğini sağlamak üzere çeşitli çalışmalar yapmaktadır. Ancak; önceki bölümlerde açıklanan anlamda sistematik bir şekilde ve bağımsız bir ekip tarafından uygulanan bir YGE prosedürü mevcut değildir. Oysa üyesi olmaya çalıştığımız Avrupa Birliği başta olmak üzere çeşitli uluslar arası kuruluşlar yol güvenliğini sağlamak üzere YGE uygulanmasını teşvik etmekte/zorunlu tutmaktadırlar. Nitekim KGM bünyesinde de 2008/96/EC kodlu Avrupa Birliği direktifine uyum sağlamak üzere çalışmalar yapılmaktadır. Hatta YGE konusundaki esasları belirlemek üzere bir yönetmelik de yayınlanmıştır. Bu çalışmaların yakın zamanda hızlanacağı, yeni yapılacak ve mevcut bütün yollarda YGE prosedürünün uygulanmasının zorunlu hale geleceği düşünülmektedir. Bu noktada, iRAP yönteminin önemi ortaya çıkmaktadır. Dünya üzerinde 100'den fazla ülkede kullanılmakta olan bu yöntemin Türkiye'de de YGT yapılmasında kullanılabileceği düşünülmektedir.

Bununla birlikte, iRAP yönteminin uygulanabilmesi için yapılması gereken bazı hazırlıklar vardır. Bunlardan en önemlisi, karar vericilerin bu konuyu sahiplenerek bir hedef belirlemeleri (örneğin; önümüzdeki 5 yıl içerisinde yol ağının tamamının yıldız derecelendirmesinin yapılması, 10 yıl içerisinde yol ağının % 60'ının 3 yıldız ve fazlasına sahip hale getirilmesi, vb.) ve buna göre çalışmalarını başlatmalarıdır.

Bütün YGE çalışmalarında olduğu gibi, iRAP yönteminin uygulanabilmesi için de ilk şart, yol güvenliği alanında uzman ve sertifikalı denetçilerin olmasıdır. iRAP bünyesinde ücret karşılığında iRAP denetçiliği eğitimleri düzenlenmekte ve başarılı olanlara sertifika verilmektedir. Sertifikalı denetçilerin de belirli aralıklarla yeni eğitimler ve sınavlardan geçerek sertifikalarını yenilemeleri gerekmektedir. Dolayısıyla, Türkiye'deki yollarda da iRAP sisteminin uygulanması düşünülürse, belirli bir zaman önceden bu eğitimlerin ve sertifikaların alınması gerekmektedir. Bu denetçilerin ise KGM bünyesindeki kişiler olmaktan daha çok kurum dışından kişiler olması doğru olacaktır. Gerek üniversite bünyesinde ulaştırma alanında çalışan uzmanlar, gerek özel sektör bünyesinde ulaşım alanında belli bir tecrübeye sahip mühendislerin bu kapsamda eğitimler alarak sertifika sahibi olması ve YGT yapımında görev alması yerinde olacaktır.

iRAP sisteminin kullanılabilmesi için gereken diğer unsur olan donanım ise tedarik edilmesi nispeten kolay olan unsurdur.

Önceki bölümlerde belirtildiği gibi, bir yolun güvenlik açısından teftiş edilmesi güvenliğin iyileştirilmesi açısından çok büyük fırsat sunmaktadır. Ancak, YGT yapılması için sadece ilk adımdır: Asıl önemli olan YGT sonucunda tespit edilen sorunların iyileştirilmesi için gerekli önlemlerin alınmasıdır. Bu ise ekonomik kaynak ayırmak demektir. YGT sonuçları kendisine sunulan yapımcı kuruluşların ellerindeki imkanlar dahilinde, öncelikleri de belirleyerek, gerekli önlemleri almaları sağlanmalıdır. Hatta bunun yasal olarak güvence altına alınması, yani YGT sonuçlarının bağlayıcı olması sağlanmalıdır. Bu bağlamda, yol güvenliğinin iyileştirilmesi çalışmalarının, ekonomik anlamda da geri dönüşü en yüksek çalışmalardan olduğu, başka bir deyişle, meydana gelecek kazaların yaratacağı ekonomik kaybın yol iyileştirmesi için harcanacak kaynaklardan çok daha fazla olacağı unutulmamalıdır.

Teşekkür

Bu çalışma Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu tarafından desteklenmiştir. (Proje No:2018/51).

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] Anonim, 2018. Global status report on road safety 2018. World Health Organization (WHO) yayını, Geneva.
- [2] Anonim, 2019. Karayolu Trafik Kaza İstatistikleri-2018. Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) yayını. <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Karayolu-Trafik-Kaza-Istatistikleri-2018-30640> (Erişim Tarihi: 19.01.2021).
- [3] Geurts, K., Thomas, I., & Wets, G. 2005. Understanding spatial concentrations of road accidents using frequent item sets. *Accident Analysis & Prevention*, 37(4), 787-799.
- [4] Rumar, K. 1985. The role of perceptual and cognitive filters in observed behavior. ss 151-170. *Human behavior and traffic safety*. Springer, Boston, MA.
- [5] Anonim, 1993. Safety audit handbook. Danish Road Directorate yayını, Copenhagen.
- [6] Anonim, 1994. Road safety audit. Austroads National Office yayını, Sydney.
- [7] Anonim, 1999. Road Safety Audit Guidelines. University of New Brunswick; Transportation Group, Department of Civil Engineering yayını, Fredericton, New Brunswick.
- [8] Anonim, 2002. Empfehlungen für das Sicherheitsaudit von Strassen (ESAS). FGSV - Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen e.v. yayını, Köln.
- [9] Anonim, 2014. Road Safety Audits and Inspections; Guideline, Manual V720E. NPRA Directorate of Public Roads yayını, Oslo.
- [10] Anonim, 2004. Canadian Guide to In-Service Road Safety Reviews. Transportation Association of Canada yayını, Ottawa, ON.
- [11] Anonim, 2007. RVS 02.02.34; Road Safety Inspection. FSV - Österreichische Forschungsgesellschaft Strasse-Schiene-Verkehr yayını, Wien.
- [12] Anonim, 2012. Road safety inspection guidelines for safety checks of existing roads. PIARC yayını, France.
- [13] EU, 2008. Directive 2008/96/EC of the European Parliament and of the Council of 19 November 2008 on Road Infrastructure Safety Management. Official Journal of the European Union, L, 50, 59-67.

- [14] Anonim, 2018. Karayolu Altyapısı Güvenlik Yönetimi Hakkında Yönetmelik. Resmi Gazete (Sayı: 30572). <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2018/10/20181021-1.htm> (Erişim tarihi: 19.01.2021).
- [15] Uzun, O. 2010. Road safety audit and a case study on Akyurt-Kalecik road, Atılım Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 138 s, Ankara.
- [16] Bala, N. 2014. Road safety audit and a case study on Kano-Kaduna road in Nigeria, Atılım Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 120s., Ankara.
- [17] Habibu, A.S. 2014. Safety auditing on urban roads with special emphasis to intersections in a case study in Kano, Nigeria. Atılım Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 125s., Ankara.
- [18] Zencirkıran, B. 2011. Karayolu güvenliği: İki şeritli kırsal yollarda güvenlik değerlendirmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 413s., İstanbul.
- [19] Demirel, M. 2019. Road Safety Evaluation of Urban Major Arterials Case Study of 1071 Malazgirt Boulevard in Ankara, Middle East Technical University, The Graduate School Of Natural And Applied Sciences, Doctoral dissertation, 217s, Ankara.
- [20] Yücel, H. 2020. An Alternative Approach to Accident Analysis and Prevention: Road Safety Audit, İstanbul Technical University, Graduate School of Science Engineering and Technology, M.Sc. Thesis, 171s, İstanbul.
- [21] Orhan, F., Gürsoy, M., Akbaş Karakılçık, D. 2015. 2008/96/EC "Karayolu Altyapısı Güvenlik Yönetimi" AB Direktifi, Güvenli Kentsel Hız Yönetimi İçin Mevzuat Geliştirme Çalıştayı, KGM, 27.02.2015.
- [22] <http://www.irap.org/en/about-irap-3/methodology>. (Erişim tarihi: 19.01.2021)
- [23] Anonim, 2019. iRAP Coding Manual Version 5.0 – Drive on Left Edition. <https://www.irap.org/methodology/> (Erişim Tarihi: 19.01.2021)

Makine Öğrenmesi Teknikleriyle Diyabet Hastalığının Sınıflandırılması

Bilge ÖZLÜER BAŞER¹, Metin YANGIN², E. Selin SARIDAŞ³

^{1,2,3}Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, İstatistik Bölümü, 34380, İstanbul, Türkiye

(Alınış / Received: 17.12.2020, Kabul / Accepted: 15.02.2021, Online Yayınlanma / Published Online: 15.04.2021)

Anahtar Kelimeler

Diyabet,
Makine Öğrenmesi,
Sınıflandırma Algoritmaları

Özet: Diyabet, dünya çapında artan ve gerçekleşen ölümlerin önde gelen nedenlerinden biridir. Sürekli artan vaka sayısı diyabetin önlenmesi, erken teşhisi, tedavisi ve takibi konularında bilimsel çalışmalara ihtiyaç duyulduğunu göstermektedir. Son dönemlerde medikal alanda yaşanan teknolojik gelişmeler sayesinde elde edilen verinin analiz edilmesi, hastalıkların tanı ve tedavi sürecine olumlu katkılar yapmaktadır. Diyabet hastalığı kapsamında da araştırmacılar, hastalığın teşhis edilmesine yönelik, veriye dayalı sistematik yaklaşımlar geliştirmeye çalışmaktadırlar. Bu amaç doğrultusunda çalışmada, 1999-2008 yılları arasında ABD’de bulunan 130 hastanedeki 70000 kayda ait sağlık vakalarından elde edilmiş veri seti düzenlenerek, bireylerin diyabet durumuna göre sınıflandırılması hedeflenmiştir. Sınıflandırma için veri setine uygun makine öğrenmesi algoritmalarından yararlanılmış ve bu algoritmaların sonuçları performans ölçütlerine göre karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, en iyi performans gösteren beş sınıflandırma algoritması (Karar ağaçları, k-en yakın komşuluk, Lojistik regresyon, Naive Bayes ve Rastgele orman) değerlendirmeye alınmış olup en iyi doğru sınıflandırma performansı Rastgele orman algoritması ile elde edilmiştir.

Classification of Diabetes Mellitus with Machine Learning Techniques

Keywords

Diabetes Mellitus,
Machine Learning,
Classification Algorithms

Abstract: Diabetes is one of the leading causes of rising and occurring deaths worldwide. The ever-increasing number of cases indicates the need for scientific studies on the prevention, early diagnosis, treatment, and follow-up of diabetes. Analyzing the data obtained with the recent technological developments in the medical field makes positive contributions to the diagnosis and treatment process of diseases. As related to diabetes, researchers are trying to develop data-based systematic approaches to diagnose the disease. Following this purpose, the study aims to classify individuals according to their diabetes status by arranging a data set obtained from 70000 records of health cases in 130 hospitals in the USA between 1999-2008. Machine learning algorithms suitable for the data set are used for the classification and the results of these algorithms are compared regarding the performance criteria. According to the results, the best performing five classification algorithms (Decision trees, k-nearest neighborhood, Logistic regression, Naive Bayes, and Random forest) are evaluated and the best classification performance is obtained with the Random forest algorithm.

1. Giriş

Diyabet vücutta insülin hormonunun eksikliği, etkisizliği veya yeteri kadar üretilmemesi sonucu gelişen, ayrıca kronik komplikasyonların karbonhidrat metabolizmasını bozan ve kandaki glikoz seviyesini arttıran bir hastalıktır. Yoğun susuzluk, yoğun açlık ve idrara sık çıkmak gibi semptomlarla görülen diyabet, tedavi edilmediği

sürece hastada birçok komplikasyona neden olur. Zamanında önlem alınmadığı ve kan şekeri kontrol edilmediği takdirde özellikle damarlar üzerinde olumsuz etki göstermektedir. Şekerin toksik etkileri başta gözler, böbrekler, sinir uçları, kalp, beyin ve bacak damarları gibi pek çok organımızda ve dokumuzda kalıcı hasarlar oluşturabilmektedir [1]. Bu nedenle diyabette erken teşhis, birçok hasarın yaşanmaması için hayati önem teşkil etmektedir.

*İlgili yazar: bilge.baser@msgsu.edu.tr

Dünya Sağlık Örgütü'nün güncel verilerine göre, başta düşük ve orta gelirli ülkelerde çoğunlukla görülme üzere dünyada yaklaşık 422 milyon insan diyabet hastasıdır ve her yıl gerçekleşen 1.6 milyon ölümün nedeni doğrudan diyabet ile ilişkilidir. Bu nedenle diyabet, dünyada gerçekleşen ölümlerin önde gelen nedenlerinden biri olarak kabul edilmektedir ve hem vaka sayısı hem de prevalansı sürekli olarak çarpıcı biçimde artmaktadır. Bu olumsuz tablo karşısında ülkeler, 2025 yılına kadar diyabetteki artışın global olarak durdurulması için hedef koymuş ve iş birliği yapmaya karar vermişlerdir [2].

Sağlık Bakanlığı'nın 2018 bütçe sunumunda yaptığı açıklamalara göre Türkiye, diyabet sıklığında OECD ülkeleri arasında ikinci sırada yer almaktadır ve yaklaşık 7 milyon diyabet hastasının var olduğu bilinmektedir. Türkiye Diyabet Vakfı'nın 2016 raporlarına göre ise, Türkiye'de diyabet tüm Avrupa ülkeleri arasında en hızlı artışı göstermektedir. Türkiye'nin bu tehlikeli konumu, diyabetin tanısı ve önlenmesi konusunda bilimsel çalışmalara ihtiyaç duyulduğunu vurgulamaktadır.

Teknolojik gelişmelerle birlikte yapay zekâ ve öğrenme teknikleri yardımıyla birçok hastalığın teşhis edilmesi mümkün hale gelmektedir. Bu sayede, hastalıkların teşhisi ve ilgili tetkiklerin raporlanması daha kısa sürede tamamlanmakta, bunun sonucunda da hastaların sağlık kuruluşunda harcadıkları süreyi azaltmaktadır. Günümüzde birçok ülkede akıllı hastane projelerine büyük yatırımlar yapılmaktadır. Bu uygulama hem sağlık kuruluşlarındaki yoğunluğu gidermekte hem de sistemi otomatize ederek gereken işgücü miktarını azaltmaktadır.

Çoğu araştırmacı, hastalıkların teşhisinde makine öğrenmesi algoritmaları kullanarak deneyler yürütmektedir. Makine öğrenmesi algoritmalarının tercih edilme nedeni ise, farklı hastalıkların teşhisinde daha az maliyetle, daha doğru ve daha hızlı sonuç vermeleridir. Çünkü, veri madenciliği ve makine öğrenmesi algoritmaları, çeşitli kaynaklardan gelen verileri birleştirip, büyük miktarda veriyi yönetebilme kabiliyeti sayesinde tahmin gücünü arttırmaktadır.

Son yıllarda medikal alanda giyilebilir teknolojiler de gelişimini hızla sürdürmektedir. Bu gelişmeler hem hastalığın ve tedavinin takibi bakımından hem de kişilerin hastalıkla mücadelesinde yaşam konforlarını artırıcı etkiye sahip olmaları bakımından çok önemlidir. Diyabet alanında ise, kan testi yerine kişinin koluna takılan bir cihaz sayesinde anlık glikoz, glikoz trendi ve gittiği yön bilgisi küçük bir sensörden elde edilebilmektedir. Bu dijitalleşme ancak sensörlerden elde edilen verinin iyi analiz edilmesi ve doğru modellenmesi ile mümkündür.

Literatürde; "Pima Indians Diabetes" olarak bilinen veri seti [3] ile ilgili çalışmalar mevcut olup, bu çalışmalarda veri madenciliği ve sınıflandırma

algoritmaları kullanılarak diyabet sınıfının tahmin edilmesi amaçlanmıştır. "Pima Indians Diabetes" veri setinin sıklıkla kullanılmasının nedeni Kuzey Amerika'da yaşayan Pima yerlilerinin genetik olarak diyabete yatkın olmaları ve diyabet görülme olasılığının yüksek olmasıdır. Diyabet hastalığının görülme sıklığının yüksek olduğu bu topluluğa ait olan veri seti, ABD Ulusal Diyabet ve Sindirim ve Böbrek Hastalıkları Enstitüsü (National Institute of Diabetes and Digestive and Kidney Diseases) tarafından oluşturulmuştur.

Joshi ve Shetty; bu veri seti üzerinde Bayesyen yaklaşım, Naive Bayes, J28, Rastgele orman, Rastgele ağaç, REP, k-NN, CART ve birleşmeli kural öğrenme algoritmalarını kullanarak performans karşılaştırmaları yapmışlardır [4]. Nidhi ve arkadaşları ise, sınıflandırma modeli oluşturmak için karar ağacı (J48), PART, Çok katmanlı algılayıcı ve Naive Bayes algoritmalarını kullanmışlardır [5].

"Pima Indians Diabetes" veri setini kullanarak diyabet hastalığı için sınıflandırma algoritmalarını inceleyen bir diğer çalışma da 2012 yılında Karegowda ve arkadaşları tarafından gerçekleştirilmiştir [6]. Bu çalışmada karar ağacı C4.5 ve k-ortalama kümeleme yöntemleri birleştirilerek karma bir model (hibrid model) oluşturulmuştur. İki aşamalı olarak çalıştırılan karma modelin doğru sınıflandırma oranı, yalnızca karar ağacı C4.5 yöntemi kullanılarak elde edilen sınıflandırma oranından daha yüksek bulunmuştur. Chen ve Pan ise, Wenzhou Medical Üniversitesi'nin ilk yardım hastanesi tarafından oluşturulan iki adet veri seti ile diyabet sınıfını tahmin etmeye çalışmışlardır. 35669 hasta üzerine yapılan klinik test sonuçlarına Adaboost.M1 ve LogitBoost olmak üzere iki ayrı makine sınıflandırması tekniğini uygulamışlardır. İki tekniğin de diyabet hastalığını sınıflandırma başarısı benzer bulunmuştur [7].

Literatürde "Pima Indians Diabetes" ile yapılan çalışmalarda yüksek doğruluk oranlarıyla sınıflandırma gerçekleştirilmiş olsa da veri setindeki gözlemlerin Pima yerlilerinden en az 21 yaşında olan kadınlardan oluşması, yani sınırlı bir gruba ait olması, elde edilen sonuçların genelleştirilebilmesi bakımından tartışmaya açıktır. Bu nedenle, literatürdeki çalışmalardan farklı olarak çalışmamızda, 1999-2008 yılları arasında ABD'de bulunan (Cerner Corporation, Kansas City, MO) 130 hastanedeki 70000 hastaya ait sağlık vaka verilerinden elde edilmiş veri seti kullanılmıştır [8]. Strack ve arkadaşları, bu veri seti ile çok değişkenli lojistik regresyon analizi çalışmış ve HbA1c ölçümü ile hastaneye yeniden yatış oranı arasındaki ilişkiyi modellemiştir [9] ancak veriye ilişkin yapılmış olan sınıflandırma çalışmasına rastlanmamıştır. Hem "Pima Indians Diabetes" veri setine göre daha kapsamlı hasta profili içermesi hem de açık kaynak olması, veri setinin tercih edilme nedenleridir.

Tablo 1. Çalışmada kullanılan değişkenler

Değişken adı	Türü	Açıklama ve değerler
İrk	Nominal	Değerler: Kafkasyalı, Asyalı, Afro-amerikalı, İspanyol ve diğer
Cinsiyet	Nominal	Değerler: Erkek, Kadın
Yaş	Nominal	Değerler: 10 yıl aralıklarla gruplanmış [0-10), [10-20), ..., [90-100)
Ağırlık	Nominal	Değerler: [0-25), [25-50), ..., [175-200), [200- ...]
Hastanede geçirilen süre	Nümerik	Hastaneye kabul ile taburcu edilmesi arasında geçen süre(gün)
Laboratuvar test sayısı	Nümerik	Hastanede gerçekleştirilen laboratuvar testlerinin sayısı
Süreç sayısı	Nümerik	Test sayısı dışındaki süreç sayısı
İlaç sayısı	Nümerik	Kullanılan farklı ilaç sayısı
Poliklinik ziyaret sayısı	Nümerik	Hastanın bir yılda polikliniği ziyaret etme sayısı
Acil bölümü ziyaret sayısı	Nümerik	Hastanın bir yılda acili ziyaret etme sayısı
Yatarak tedavi edilme sayısı	Nümerik	Hastanın bir yılda yatarak tedavi edilme sayısı
Tanı sayısı	Nümerik	Sisteme girilen tanı sayısı
A1C test sonucu	Nominal	Değerler: Test sonucu > 8, 7 < Test sonucu < 8, Test sonucu < 7 ve Test sonucu yok
Diyabetik ilaç geçmişi	Nominal	Evet, Hayır
Hastanın ilaç öyküsüne ilişkin değişkenler	Nominal	Sekiz ilaç (Metformin, Glimiperide, Glipzide, Glyburide, Pioglitazone, Rosiglitazone, Acarbose, İnsülin.) için dozaj durumu: Arttırma, azaltma, sabit ve ilaç verilmemesi
Sınıf değişkeni	Nominal	Diyabet durumu: Diyabetli, Diyabetli değil

2. Materyal ve Metot

2.1. Veri setinin düzenlenmesi

Çalışmada incelenen veri seti 55 özelliğe (nitelik veya değişken) sahip olup, ön-işlenmesi aşamasında “hasta numarası”, “karşılama kimlik numarası”, “ödeme kodu”, “kabul yeri” değişkenleri, diyabet sınıflandırmasında bilgi verici özelliğe sahip olmamaları nedeniyle çalışma kapsamı dışında bırakılmıştır. Bu değişkenlerin yanı sıra, kayıp gözlemleri analize dahil edilmelerine olanak sağlayamayacak derecede fazla olan “başvurduğu medikal bölüm” değişkeni de veri setinden çıkarılmıştır. Ayrıca, dengesiz kategori yapısında olan, başka bir ifadeyle ilgili değişkene ait gözlemlerin yüzde olarak büyük çoğunluğunun tek bir kategoride toplandığı değişkenler (repaglinide, nateglinide vb.) sınıflandırma bakımından bilgi taşımadığı için çalışmaya dahil edilmemiştir.

Veri setinin analizi kapsamında kullanılan sınıf değişkeni daha önceki çalışmalardan farklı şekilde ele alınmıştır. Bunun için veri setinde var olan üç adet tanı kodları değişkenlerinden yararlanılmıştır. Verinin ham halinde her bir hastanın hastaneye ilk gelişi, ikinci gelişi, üç ve daha fazla sayıda geliş sürecinde konulan hastalık teşhisleri, ICD-10 standartlarına uygun olarak kodlanmıştır. Bu üç değişkenin verdiği bilgiler kullanılarak ilgili hastaya ait üç farklı teşhis durumundan en az birinde diyabet tanısı konulması halinde, hastanın diyabet hastalığına sahip olduğu yönünde sınıf değişkeni ataması yapılmıştır.

Veri setinin düzenlenmesi aşamasında bir başka dikkate alınan konu ise, hastaların vücut ağırlığı bilgileridir. Verinin toplanması aşamasında ne yazık

ki, birçok hastanın vücut ağırlığı bilgisi kayıt altına alınmamıştır. Ancak, bu konuda uzman kişilerin görüşlerine başvurulduğunda, vücut ağırlığının diyabet ile ilişkili olabileceği bilgisi elde edilmiştir. Bu nedenle incelenecek veri seti, ağırlık değişkenine ilişkin kaydın tutulmuş olduğu gözlemler üzerinden oluşturulmuştur. Vücut ağırlığı bilinen 3197 hasta dikkate alınarak veri temizleme işlemi yapılmıştır. Veri temizleme işleminde tekrarlı gözlemler söz konusu olduğu için hastaya atanmış olan hasta numarası esas alınarak ilgili hastaya ait sınıf değişkeni aynı olan gözlemler içerisinde sistemdeki son gözlem tutulup öncekiler çıkarılmıştır. Aynı hasta numarasına ait farklı sınıf değişkenine sahip gözlemler olması halinde ise, en az bir kez diyabet tanısı konulmuş olduğu için sınıfı diyabet olan gözlemler veri setinde tutulup olmayanlar devre dışı bırakılmıştır.

Veri temizleme işleminden sonra veri seti; 22’si bağımsız, biri de sınıf değişkeni olmak üzere 23 değişken ve 2705 gözleme indirgenmiştir.

2.2. Sınıflandırma modeli

Veri madenciliğinin temel yöntemlerinden biri olan sınıflandırma yöntemi, öğrenme algoritmasına dayanmaktadır. Büyük ölçekli veri setinde gizli olan örüntü (pattern) yapısını keşfetmek için kullanılır. Örüntü kavramı veri içerisinde gözlemlenebilir, ölçülebilir ve tekrar edilebilir bir bilgidir. Sınıflandırma algoritmaları ulaşılmak istenen bilgiyi hedefleyerek, veriyi ortak özelliklerine göre belirli gruplara (sınıflara) ayırmaktadır [10, 11].

Uygulamada sınıflandırma algoritmaları iki aşamalı olarak çalıştırılmaktadır. İlk olarak “eğitim verisi” (training data) olarak belirlenen veri setinin analiz

edilmesi ile sınıflandırma modeli oluşturulmaktadır. İkinci aşamada ise elde edilen sınıflandırma modeli, yeni bir veri kümesine uygulanarak belirlenen sınıfların veri içerisindeki varlığı araştırılmaktadır. Sınıf etiketlerinin tahmin edilmeye çalışıldığı ve modelin tahmin sonuçlarının performansının değerlendirildiği yeni veri seti "test verisi" (test data) olarak adlandırılmaktadır. Veri kümesini eğitim ve test verisi olarak ayırma işlemi farklı şekillerde yapılabilir. Örneğin, veri setinin %60'lık kısmının eğitim, %40'lık kısmının test verisi olarak ayrıldığı, eğitim ve test kümelerinin rastgele atıldığı ya da katlanarak değiştirildiği yöntemler mevcuttur. Bu çalışma kapsamında k-katlamalı çapraz doğrulama yöntemi kullanılmıştır.

2.2.1. k-Katlamalı çapraz doğrulama

k-katlamalı çapraz doğrulama yöntemi modelin değerlendirilmesi için önemli olup, modelin geliştirilme aşamasında aşırı öğrenmeyi ve eksik öğrenmeyi tespit etmekte [12] ve modelin test edilme aşamasında en iyi modeli oluşturmayı hedeflemektedir [13]. Aşırı öğrenme, modelin eğitim kümesindeki örüntüler yerine gözlemleri öğrenmesi durumunda ortaya çıkmaktadır. Bu durumda oluşturulan model eğitim aşamasında kullanılan veri kümesini öğrenir, ancak yeni gelen gözlemler için başarılı bir tahmin yapamaz. Genelde aşırı öğrenme modelleri eğitim aşamasını küçük hata oranı ile tamamlarken, test aşamasında büyük bir hata oranı ile tahmin etmektedir [13]. Eksik öğrenme ise, modelin gözlemlerdeki örüntüyü eksik bir şekilde öğrenmesi durumunda ortaya çıkmaktadır. Sınıflandırma modellerinde aşırı öğrenmeyi ve eksik öğrenmeyi önlemek için k-katlamalı çapraz doğrulama yöntemi kullanılmaktadır.

k-katlamalı çapraz doğrulama yönteminde, ilk olarak eğitim sürecinde kullanılacak eğitim kümesi karıştırılır ve eşit büyüklükteki k adet alt kümelere bölünür. Bu işlemler k-kez tekrarlanarak her iterasyonda sıradaki alt küme eğitim veri kümesinden çıkarılır ve test kümesi olarak kullanılır. Tüm parçalar için değerlendirme süreci tamamlandığında, çapraz doğrulama modeli tüm veriler için bir performans ölçütü ve sonuçlar üretmektedir [14].

Sınıflandırma modelinin başarısı doğru sınıfa atanan örnek sayısı ve yanlış sınıfa atanan örnek sayısı karşılaştırılarak belirlenmektedir. Model başarısını değerlendirmek için kullanılan temel kavramlar doğruluk, duyarlılık, özgüllük, hassasiyet ve AUC ölçütüdür. Bu ölçütleri hesaplayabilmek için Tablo 2. de verilmiş olan karışıklık matrisinden (confusion matrix) yararlanılır. Karışıklık matrisinde satırlar modelin öngördüğü sınıf sayılarını, sütunlar ise test kümesindeki gerçek sınıf sayılarını ifade etmektedir.

Tablo 2. Karışıklık matrisi

		Gerçek Değer	
		Doğru	Yanlış
Tahmin Edilen Değer	Doğru	Doğru Pozitif (DP)	Yanlış Pozitif (YP)
	Yanlış	Yanlış Negatif (YN)	Doğru Negatif (DN)

Karışıklık matrisindeki bu değerler kullanılarak sınıflandırma modelinin performansı ölçülmektedir. DP: gerçekte doğru olan değerlerin doğru tahmin edilmesi, YP: gerçekte yanlış olan değerlerin doğru tahmin edilmesi, YN: gerçekte doğru olan değerlerin yanlış tahmin edilmesi, DN: gerçekte yanlış olan değerlerin yanlış tahmin edilmesini ifade etmektedir.

2.2.2. Model performans değerlendirme ölçütleri

Karışıklık matrisindeki değerler kullanılarak sınıflandırma modelinin performansı ölçülmektedir. Bu çalışmada; doğru sınıflandırma oranı, duyarlılık, özgüllük, hassasiyet ve AUC (eğri altında kalan alan) performans ölçütleri dikkate alınmıştır.

Doğru sınıflandırma oranı (DSO)

Doğru sınıflandırılmış örnek sayısının toplam örnek sayısına oranıdır.

$$DSO = \frac{DP + DN}{N} \quad (1)$$

Duyarlılık (Sensitivity)

Doğru sınıflandırılmış pozitif örnek sayısının toplam pozitif örnek sayısına oranıdır. Gerçek pozitif oranı olarak da adlandırılır.

$$Duyarlılık = \frac{DP}{DP + YN} \quad (2)$$

Özgüllük (Specificity)

Doğru sınıflandırılmış negatif örnek sayısının toplam negatif örnek sayısına oranıdır. Gerçek negatif oranı olarak da adlandırılır.

$$Özgüllük = \frac{DN}{YP + DN} \quad (3)$$

Hassasiyet (Precision)

Doğru pozitif değerleri tahmin etme oranıdır.

$$Hassasiyet = \frac{DP}{DP + YP} \quad (4)$$

AUC (Eğri altında kalan alan)

AUC (Area Under Curve) değeri sınıflandırma modelinin sınıfları ayırt edebilme başarısını göstermekte ve Alıcı İşletim Karakteristiği (AİK) eğrisi altında kalan alanı ifade etmektedir. AİK eğrisi

(0,0) ile (1,1) arasında artan bir fonksiyondur. AİK puanı olarak da adlandırılan AUC değeri ne kadar yüksek ise modelin sınıflandırma başarısı da o kadar artmaktadır. AUC, en büyük "1" ve en küçük "0.5" değerini alabilmektedir. AUC değerinin 0.5 olması sınıflandırma modelinin başarısız olduğunu ve sınıf atamalarının rastgele yapıldığını göstermektedir.

2.3. Sınıflandırma algoritmaları

Çalışma kapsamında ele alınan sınıflandırma problemi için literatürde var olan makine öğrenmesi sınıflandırma algoritmalarından yararlanılarak bu algoritmalar içerisinde en iyi performansı veren Naive Bayes, Rastgele orman, Karar ağaçları, Lojistik regresyon, k-En yakın komşuluk algoritmaları ele alınmıştır.

2.3.1. Naive Bayes

Bayes sınıflandırıcıları istatistiksel sınıflandırıcı ailesine ait olmakla beraber, sınıf üyelik olasılıkları yardımıyla belirli bir sınıfa ait olma olasılığını tahmin ederek atama yapmaktadır. Bu sınıflandırma algoritmasının temeli, Bayes teoremine dayanmaktadır ve diğer öğrenme yöntemlerinden farklı olarak eğitim verisinin çeşitli kombinasyonlarına ilişkin sıklıkları hesaplamasıdır [15]. Naive Bayes'in avantajı, kolay uygulanması ve genellikle iyi sonuç vermesi iken, dezavantajı ise sınıf ve nitelik bakımından bağımsızlık varsayımına ihtiyaç duymasındır. Naive Bayes algoritması olayların birbirinden bağımsız olduğu varsayımı altında kullanılmakta ve sonsal olasılık değerinin hesaplanması yardımı ile çalışmaktadır.

2.3.2. Rastgele orman

Rastgele orman, içerisinde birçok sınıflandırma ağacı buldurmakla beraber, doğru sınıflandırma değerini çok fazla arttıran bir yöntemdir [16]. Yeni bir örneğin sınıflandırılmasında izlenen adımlarda, incelenen örneğe ait girdi vektörünün, ormandaki her bir ağaç tarafından tek tek sınıflandırılması olayına ağaç oylaması denmektedir [17].

Rastgele orman algoritması, girdi değişkeninin çok olduğu büyük verilerde iyi performans göstermesinin yanı sıra eksik verilerde de yüksek tahminler gerçekleştirmesi bakımından büyük kolaylık sağlamaktadır.

Aynı zamanda rastgele orman algoritması, model geliştirilirken örnekleme boyutunun parametresini belirleyerek her sınıftan ne kadar örnekleme yapılacağını, yerine koyma yöntemi ile belirlemektedir. Örnekleme boyutu parametresi, rastgelelik etkisini sağlayarak, ormandaki her ağaç verisinin farklı yönlerini görmektedir. Bu parametre sayesinde, dengesiz sınıf dağılımına sahip veri kümelerinde model geliştirilirken, dengesizlik

problemini aşmaya ve modelin performansını arttırmaya da yardımcı olmaktadır.

2.3.3. Karar ağaçları

Karar ağaçları sınıflandırma problemlerinde yaygın olarak kullanılan algoritmalarından biridir. Veri madenciliğinde karar ağaçları, sınıflandırma ve regresyon ağaçlarını göstermek için kullanılmaktadır. Karar ağaçlarının avantajı, oluşturulmasının ve yorumlanmasının kolay olmasıdır.

Karar ağaçları, denetimli öğrenme için kullanılan dağılımlardan bağımsız bir öğrenme yöntemi türüdür. Yapısı, aynı bir ağaç gibi kök düğüm, dal ve yapraklardan oluşmaktadır. Yaprak kısmında oluşan değer, çıktı olarak adlandırılmaktadır ve araştırılan problem, sınıflandırma problemi ise, sınıf etiketi; regresyon problemi ise, sayısal bir değeri almaktadır. Karar ağacı, kullanılan verinin durumundan etkilenmekte, eğer veri seti karmaşık ise ağaç dallanıp büyümektedir [18, 19]. Karar ağacı, sınıflama, özellik ve hedefe göre karar düğümleri (decision nodes) ve yaprak düğümlerinden (leaf nodes) oluşan ağaç yapısı formunda bir model oluşturan bir sınıflandırma yöntemidir. Özellik veya karar düğümü seçim ölçüsü, verilen eğitim başlıklarını tanımlayan her özellik için bir sıralama sağlamak ve hangi özelliğin seçileceğine karar vermektedir. Özellik seçimi yani hangi düğümün seçileceğinin belirlenmesinde kullanılan ölçüler: kazanım değeri (information gain), kazanım oranı (gain ratio) ve gini indeksi (gini index) olarak sıralanabilir. Bir veri kümesinden birden fazla ağaç elde edilmesine rağmen, en küçük boyutlu ağaç tercih edilmektedir. Değişken seçimi sırasında algoritmanın karar ağacı modelindeki döngüden çıkabilmesi için bulunduğu düğümdeki bütün elemanların aynı sınıfa atanmış olması gerekmektedir. Bu durumda yapraklarda bütün elemanlar aynı sınıfta yer alacağından ve sınıflandırma yapılacak değer kalmayacağından, karar ağacı modelindeki döngü durdurulur ve karar ağacı modeli oluşumu tamamlanmış olur. Kısacası, benzerlik göstermiş elemanların sınıflara dağılımı yapılmış olur.

2.3.4. Lojistik regresyon

Lojistik regresyon analizi, ele alınan veri setindeki gözlemlerin gruplara atanmasında kullanılan yöntemlerden birisidir. Sınıf sayısı bilinen lojistik regresyon analizinde var olan veriler kullanılarak sınıflandırma modeli elde edilir ve elde edilen bu model sayesinde veriye eklenecek yeni gözlemlerin sınıflara atanması sağlanabilmektedir [18, 19].

Aynı zamanda lojistik regresyon, bağımlı değişkenin yani sınıf değişkeninin iki veya daha fazla kategorili olduğu durumlarda bağımsız değişkenlerle olan neden-sonuç ilişkisini belirlemede kullanılan bir yöntemdir. Lojistik regresyon analizinde bağımsız değişkenlerle bağımlı değişken arasındaki ilişkinin

önemli olup olmadığı incelenerek, ilgilenilen değişkenin modelde var olup olmadığı durumlar için elde edilen tahmin değerleri ile gözlenen değerlerin karşılaştırılması yapılmaktadır. İlgilenilen değişkenin modelde yer aldığı durumda daha iyi, daha doğru tahminler elde edilmesi; o değişkenin model için önemli bir değişken olduğu şeklinde yorumlanır. Araştırmacıların, çalıştıkları konuda birden çok etkenin olması halinde, etkenlerin bağımlı değişken üzerine etkisini tek tek öğrenmenin yanı sıra, bunların birlikte bağımlı değişken üzerindeki etkisini de bilmek ve incelemek istemeleri durumunda tercih ettikleri yöntemlerden biridir.

Lojistik regresyon modellerinin özellikle tıp alanındaki uygulamalarında bağımsız değişkenler; risk değişkenleri ya da bir hastalığın ortaya çıkıp çıkmamasını belirleyen değişkenlerdir. Bu değişkenlerin tespiti, erken tanı ve hastalığa neden olan etkenlerle mücadelede önemli bir yer tutmaktadır.

2.3.5. *k*-En Yakın Komşuluk

Bu algoritmanın çalışma prensibi ilk olarak veri kümesini eğitim ve test verisi olmak üzere ikiye bölmektir. Test kümesinden bir gözlemin sınıflandırılmasında nitelik uzayında ele alınan gözlemin, eğitim kümesindeki gözlemlerin her birine olan uzaklığı ayrı ayrı hesaplanmaktadır. Burada sınıflandırma sırasında çıkarılan özelliklerden, sınıflandırılmak istenen yeni gözlemin daha önceki gözlemlerden *k* tanesine olan yakınlığına bakılmaktadır.

Önceden belirlenen bir *k* sayısı kadar en yakın komşularının hangi sınıflara dâhil olduklarına bakılarak, en çok gözlem sayısı hangi sınıfta ise, ele alınan örnek veri o sınıfa dâhil edilir. Yani yeni gelen bir örneğin, en yakın *k* adet komşusundan çoğunluğunun üyesi olduğu sınıfa dâhil edilmesi anlamına gelir. Eğer *k* sayısı 1 olursa bu durumda en yakın komşusunun sınıfına dâhil edilmektedir. Bu algoritmada *k* sayısının seçimi, sonucu belirlemede kritik bir öneme sahiptir. *k* sayısının çift olması, gözlemin tüm sınıflara da yakın olmasına halinde eşitlik durumu yaratabileceği için, *k* genellikle tek sayı olarak belirlenmektedir. Yapılan çalışmalarda, en iyi sonuçların genellikle *k* sayısının 1, 3 ve 5 değerlerini aldığı elde edildiği görülmüştür [20]. Algoritmanın performansını *k* değerine ek olarak uzaklık hesaplama yöntemi de etkilemektedir. Bu nedenle, farklı uzaklık hesaplama yöntemleri kullanılarak elde edilen sonuçların karşılaştırmalı analizi yapılabilmektedir.

3. Bulgular

Bu çalışmada gerçekleştirilen analizler için WEKA paket programı ve R programlama dili kullanılmıştır. Elde edilen veri setinde hastanın diyabet hastalığına

yakalanması durumu incelenen sınıf olarak belirlenmiştir. Ele alınan veri setinde 727 hastanın diyabet, 1978 hastanın ise diyabet olmadığı tespit edilmiştir. Bu şekilde sınıfların eşit olarak temsil edilmediği veri kümesi, dengesiz bir veri kümesi olarak değerlendirilir. Makine öğrenimi algoritmaları genellikle performans ölçütlerinden doğru sınıflandırma oranını kullanarak değerlendirme yapmaktadır ancak, veriler dengesiz olduğunda bu yaklaşım uygun olmamaktadır [21].

Verilerin yüksek boyutlu olmasının birçok sınıflandırıcı için sınıf dengesizliği sorununu arttırdığı görülmüştür [22]. Yüksek boyutluluk, her bir sınıflandırıcı türünü farklı bir şekilde etkilemektedir. Genel kanı, eğitim verileri ile gerçek değerler arasındaki büyük tutarsızlıkların, daha büyük bir örnekleme değişkenliği olan azınlık sınıfında ortaya çıkma olasılığının daha yüksek olduğudur [23].

Bu sorunların giderilmesi amacıyla, azınlık sınıfının sentetik örnekler yaratılarak örneklendiği bir aşırı örnekleme yaklaşımı olan "Azınlık Aşırı Örnekleme Tekniği (SMOTE)" önerilmiştir [21]. Potansiyel olarak basit örneklemeden daha iyi performans göstermekte ve yaygın olarak kullanılmaktadır [23]. Azınlık sınıfı, her bir azınlık sınıfı örneği alınarak ve en yakın komşuluk sınıflarının herhangi birine/hepsine katılan çizgi parçaları boyunca sentetik örnekler vererek aşırı örneklenmektedir [21].

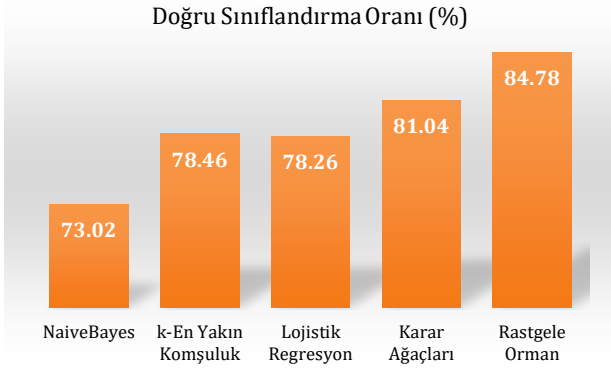
Çalışmada söz konusu olan dengesiz sınıf değişkeni (diyabet olma) için SMOTE yöntemi kullanılarak üretilen sentetik verilerle beraber diyabet sınıfı 1977 ve diyabet olmayan sınıf 1978 olarak elde edilerek, bir başka ifadeyle dengeli hale getirilerek analize dahil edilmiştir.

Çalışma kapsamında incelenen sınıflandırma problemi için oluşturulan karışıklık matrisinde;

DP: Veri setinde, gerçekte diyabet olan hastanın model tarafından diyabet olarak tahmin edilmesine,
DN: Veri setinde, gerçekte diyabet olmayan hastanın model tarafından diyabet olmayan olarak tahmin edilmesine,

YP: Veri setinde, gerçekte diyabet olmayan hastanın model tarafından diyabet olarak tahmin edilmesine,
YN: Veri setinde, gerçekte diyabet olan hastanın model tarafından diyabet olmayan olarak tahmin edilmesine karşılık gelmektedir.

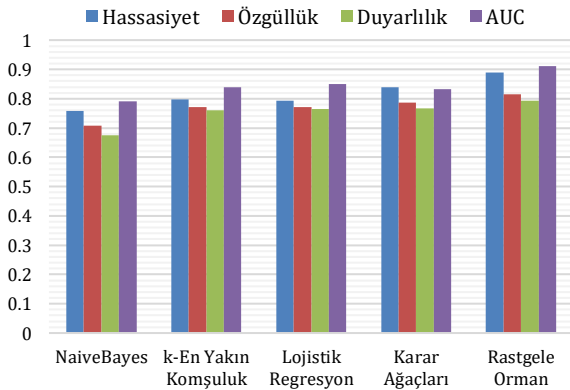
Çalışmada kullanılan algoritmaların en yüksek performans gösteren beş algoritmanın doğru sınıflandırma oranlarının grafiksel gösterimi Şekil 1'de görülmektedir. Buna göre, rastgele orman % 84.78 ile diğerlerinden daha yüksek oranda doğru sınıflandırma yapmıştır.



Şekil 1. Sınıflandırma algoritmalarının doğru sınıflandırma oranlarının karşılaştırılması

Söz konusu algoritmaların hassasiyet, özgüllük, duyarlılık ve AUC gibi diğer model performans ölçütleri karşılaştırıldığında Şekil 2’de verilmiş olan grafiksel yapıya ulaşılmaktadır. Burada hassasiyet ölçütü diyabetli olduğu tahmin edilen hastaların gerçekte de diyabet hastası olmasının etkililiğini göstermektedir. Özgüllük ölçütü ise, diyabet hastası olmayan olarak tahmin edilen hastaların gerçekte de diyabet hastası olmayan toplam örnek sayısına oranını temsil etmektedir. Duyarlılık ölçütü, diyabet hastası olarak tahmin edilen hastaların gerçekte diyabetli hastaların toplam sayısına oranını verirken, AUC ölçütü de diyabet olan ve diyabet olmayan sınıfları ayırt etme başarısını göstermektedir.

Şekil 2 dikkate alındığında, duyarlılık ölçütüne göre tüm algoritmalar birbirine yakın performans gösterebilir de diğer ölçütler dikkate alındığında rastgele orman algoritması daha yüksek performansıyla öne çıkmaktadır.



Şekil 2. Sınıflandırma algoritmalarının performanslarının karşılaştırılması

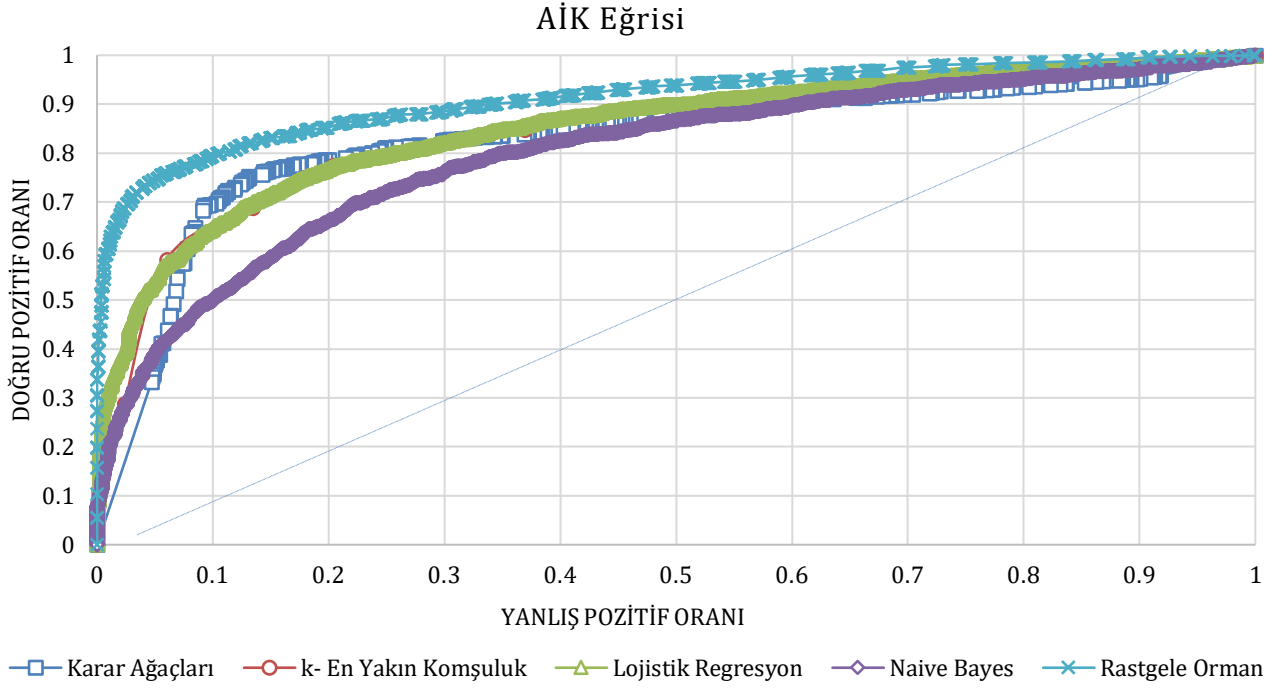
Sınıflandırma modelinin sınıfları ayırt edebilme başarısını gösteren AUC değerleri Şekil 3’te verilmiş olan grafik üzerinde incelendiğinde, ilgilenilen tüm algoritmaların 0.5’ten yüksek değere ulaşabildiği ve sınıf atamalarının rastgele yapılmadığı görülmektedir. Bununla birlikte, rastgele orman algoritmasının AUC ölçütü bakımından en iyi performansı sağladığı; karar ağaçları, lojistik regresyon ve k en yakın komşuluk algoritmalarının yaklaşık performans sergilediği, en düşük performans değerinin ise Naive Bayes algoritması ile elde edildiği görülmektedir.

Kullanılan algoritmaların performans ölçütlerinin sayısal değerleri Tablo 2’de görülmektedir. Buna göre, rastgele orman algoritması hassasiyet, özgüllük, duyarlılık ve AUC ölçütlerine göre sırasıyla (0.89, 0.814, 0.793, 0.912) değerleri ile en yüksek performansı göstermiştir.

Tablo 2. Farklı sınıflandırma algoritmalarına ilişkin performans ölçütleri

	Hassasiyet	Özgüllük	Duyarlılık	AUC
<i>Naive Bayes</i>	0.758	0.708	0.676	0.791
<i>k-En Yakın Komşuluk</i>	0.798	0.772	0.761	0.839
<i>Lojistik Regresyon</i>	0.793	0.772	0.764	0.850
<i>Karar Ağaçları</i>	0.840	0.786	0.767	0.832
<i>Rastgele Orman</i>	0.890	0.814	0.793	0.912

Dolayısıyla, çalışmada ele alınan veri seti için kişinin diyabet hastası olup olmadığının belirlenmesinde en iyi sınıflandırmayı kullanan performans ölçütlerine göre, *Rastgele orman* algoritmasının sağladığı söylenebilir.



Şekil 3. Sınıflandırma Algoritmalarının AUC ölçütlerinin karşılaştırılması

4. Tartışma ve Sonuç

Bu alanda giderek artan büyük verinin analiz edilmesi için sistematik yaklaşımlara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu nedenle, makine öğrenme tekniklerinin konu ile ilgili araştırmalarda uygulanması büyük önem kazanmış, literatürde sıklıkla karşılaşılabilecek hale gelmiştir.

Konunun gelişime açık olması, çalışma kapsamında açık kaynak olarak referans gösterilen bir veri setinin seçilme nedenidir. Elde edilen sonuçlara göre, sağlık kuruluşuna gelen yeni bir hastanın çalışma kapsamında incelenen 22 bağımsız değişken bilgisi kullanılarak diyabet hastası olma olasılığı %84,78 doğruluk ve 0.912 AUC değeri ile tahmin edilebilecektir. Bu bilgi, hastalığın teşhisinde sağlık kuruluşunda harcanacak süreyi azaltıcı yönde etkiye sahip olacaktır ve dolayısıyla sağlık kuruluşlarında yaşanan yoğunluğu giderici yönde katkı sağlayacaktır. Buna ek olarak, sensörlerden elde edilen verilerin işlenmesi ile hastanın bazı tetkikleri yaptırmasına gereksinim duyulmayacaktır. Bu da yine zaman ve maliyet bakımından tasarruf sağlayıp, hastanın yaşam konforunu arttıracaktır. Tüm bu avantajların yanı sıra, elde edilen verinin hızlıca analiz edilmesi, hastalığın erken tanınması ve tedavisine daha kısa sürede başlanması konularında büyük katkı sağlayacaktır.

Gelecek araştırmalarda, diyabet hastalığına ilişkin farklı veri setleri üzerinde sınıflandırma algoritmaları kullanılarak elde edilen sonuçların geliştirilmesi yönünde çalışılması planlanmaktadır.

Teşekkür

Bu çalışma, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri birimi tarafından 2019-30 numaralı proje ile maddi 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] Siva, Z. O. <http://www.diyabet.com/diyabet-hakkinda/diyabet-nedir/diyabet-nasil-bir-hastaliktir.html> (Erişim Tarihi: 10.01.2020).
- [2] Anonim, Dünya Sağlık Örgütü, "World Health Organization". https://www.who.int/health-topics/diabetes#tab=tab_1 (Erişim Tarihi: 05.06.2020).
- [3] Kaggle, 2018. <http://www.kaggle.com/kumargh/pimaindiandiansdiabetescsv> (Erişim Tarihi: 10.01.2020).
- [4] Joshi S., Priyanka Shetty, S. R. 2015. Performance Analysis of Different Classification Methods in Data Mining for Diabetes Dataset using WEKA Tool. International Journal on Recent and Innovation Trends in Computing and Communication, 3(3), 1168-1173.
- [5] Walia N., Kumar M., Kakkar L. 2018. Classification of Diabetes Patient by using Data

- Mining Techniques. International Journal for Research in Engineering Application & Management, 4(5), 347-351.
- [6] Karegowda, A. G., Punya, V., Jayaram, M. A., Manjunath, A. S. 2012. Rule Based Classification for Diabetic Patients using Cascaded k-means and Decision Tree C4. 5. International Journal of Computer Applications, 45(12), 45-50.
- [7] Chen, P., Pan, C. 2018. Diabetes Classification Model Based on Boosting Algorithms. BMC Bioinformatics, 19(1), 1-9.
- [8] <https://archive.ics.uci.edu/ml/datasets/diabetes+130-us+hospitals+for+years+1999-2008#> (Erişim Tarihi: 10.12.2019).
- [9] Strack B., DeShazo J. P., Gennings C., Olmo J. L., Ventura S., Cios K. J., Clore J. N. 2014. Impact of HbA1c Measurement on Hospital Readmission Rates: Analysis of 70,000 Clinical Database Patient Records. BioMed Research International, Article ID 781670, 11s.
- [10] Çınar, A. 2019. Veri Madenciliğinde Sınıflandırma Algoritmalarının Performans Değerlendirmesi ve R Dili ile Bir Uygulama. Öneri dergisi, 14(51), 90-111.
- [11] Han, J., Kamber, M., Pei J. 2011. Data Mining: Concepts and Techniques. Third edition. The Morgan Kaufmann Series in Data Management Systems, 5(4), 83-124.
- [12] Singh, A., Tiwari, V., Tentu, A. N. 2018. A Machine Vision Attack Model on Image Based CAPTCHAs Challenge: Large Scale Evaluation. In International Conference on Security, Privacy, and Applied Cryptography Engineering, Springer, Cham, December 15-19, Kanpur, India, 52-64.
- [13] Arlot, S., Celisse, A. 2010. A Survey of Cross-validation Procedures for Model Selection. Statistics Surveys, 4, 40-79.
- [14] Wiens, T. S., Dale, B. C., Boyce, M. S., Kershaw, G. P. 2008. Three Way k-fold Cross-validation of Resource Selection Functions. Ecological Modelling, 212(3-4), 244-255.
- [15] Mitchell, M. T. 1997. Machine Learning. Sinagapore, TheMcGraw-Hill, 414s.
- [16] Breiman, L. 2001. Random Forests. Machine Learning, 45(1), 5-32.
- [17] Rokach, L., Maimon, O. Z. 2008. Data Mining with Decision Trees: Theory and Applications. 2nd Edition, World Scientific, 305s.
- [18] Hosmer Jr., D. W., Lemeshow, S., Sturdivant, R. X. 2013. Applied Logistic Regression. 3rd Edition, John Wiley & Sons, 510s.
- [19] Kuyucu, Y.E. 2012. Lojistik regresyon analizi (LRA), yapay sinir ağları (YSA) ve sınıflandırma ve regresyon ağaçları (CART) yöntemlerinin karşılaştırılması ve tıp alanında bir uygulama. Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 128s, Tokat.
- [20] Dudoit, S., Fridlyand, J., Speed, T. P. 2002. Comparison of Discrimination Methods for the Classification of Tumors using Gene Expression Data. Journal of the American Statistical Association, 97(457), 77-87.
- [21] Chawla, N. V., Bowyer, K. W., Hall, L. O., Kegelmeyer, W. P. 2002. SMOTE: Synthetic Minority Over-sampling Technique. Journal of Artificial Intelligence Research, 16, 321-357.
- [22] Blagus, R., Lusa, L. 2010. Class Prediction for High-dimensional Class-imbalanced Data. BMC Bioinformatics, 11(523), 1-17.
- [23] Blagus, R., Lusa, L. 2013. Improved Shrunken Centroid Classifiers for High-dimensional Class-imbalanced Data. BMC Bioinformatics, 14(64), 1-13.

Radical Scavenging Activity of Some *Lathyrus* Taxa Distributed in Burdur-Isparta Regio

Esra EYİŞ^{*1}, Asuman KARADENİZ PEKGÖZ¹

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

(Alınış / Received: 24.02.2020, Kabul / Accepted: 21.03.2021, Online Yayınlanma / Published Online: 15.04.2021)

Keywords

DPPH,
Lathyrus,
NO,
Radical scavenging activity,
SO,
Total phenolic content

Abstract: Radical scavenging activity of the extracts of *Lathyrus aphaca* L. var. *pseudoaphaca* (Boiss.) Davis, *L. aureus* (Stev.) Brandza, *L. cicera* L., *L. sphaericus* Retz., *L. digitatus* (Bieb.) Fiori in Fiori & Paol. and *L. setifolius* L. taxa distributed in Burdur-Isparta regio was determined. Methanol extracts of air dried aerial parts and the seeds of the plants were dissolved in water and chlorophylls and lipophilic compounds were removed from the aqueous extracts. 2,2-diphenyl-1-picryl hydrazyl, superoxide and nitric oxide radical scavenging activity of aqueous and methanol extracts of the plants were tested. Gallic acid equivalent total phenolic contents of the plant extracts were also detected using Folin-Ciocalteu reagent. According to the 2,2-diphenyl-1-picryl hydrazyl radical scavenging activity test, the highest antioxidant activity was found in aerial parts of *L. aphaca* var. *pseudoaphaca* and highest total phenolic content was found as gallic acid equivalent in *L. sphaericus* seed extracts.

Burdur-Isparta Yöresinde Yayılış Gösteren Bazı *Lathyrus* Taksonlarının Radikal Süpürücü Aktivitesi

Anahtar Kelimeler

DPPH,
Lathyrus,,
NO,
Radikal süpürücü aktivite,
SO,
Toplam fenolik içeriği

Özet: Burdur-Isparta yöresinde yayılış gösteren *Lathyrus aphaca* L. var. *pseudoaphaca* (Boiss.) Davis, *L. aureus* (Stev.) Brandza, *L. cicera* L., *L. sphaericus* Retz., *L. digitatus* (Bieb.) Fiori in Fiori & Paol. and *L. setifolius* L. taksonlarına ait ekstraktların radikal süpürücü aktivitesi belirlenmiştir. Kurutulmuş topraküstü kısımları ve tohumlarının metanol ekstraktlarından klorofil ve lipofilik bileşikler uzaklaştırılmıştır. Sulu ve metanol ekstraktlarının 2,2-difenil-1-pikril hidrazil, süperoksit ve nitrik oksit radikali süpürücü aktiviteleri araştırılmıştır. Ayrıca gallik aside eşdeğer toplam fenolik madde miktarı Folin-Ciocalteu reaktifi kullanılarak belirlenmiştir. En yüksek 2,2-difenil-1-pikril hidrazil radikali süpürücü aktivite *L. aphaca* var. *pseudoaphaca*'nın topraküstü kısımlarında, en yüksek toplam fenolik madde içeriği gallik aside eşdeğer olarak *L. sphaericus*'un tohumlarında bulunmuştur.

1. Introduction

The Fabaceae family is in the third position in largeness among flowering plants in the world [1]. The genus *Lathyrus*, belonged to the tribe Fabeae, is one of the largest genera with about 200 species worldwide, mainly in the Mediterranean [2]. Legumes bare great economic importance for the world and are used for human food, animal feed and other products. Legumes contain different bioactive compounds. When regularly consumed, they might have beneficial effects against metabolic diseases like diabetes mellitus, coronary heart disease, colon cancer and neurodegenerative disturbances including Alzheimer's and Parkinson's diseases. Besides phenolic compounds which have antioxidant effect,

Lathyrus species also include neurotoxic substances such as ODAP (-β-N-oxalyl-L-α, β-diamino propionic acid), [3].

In spite of the antioxidant activity and phenolic content of *Lathyrus* species [3-9], poor attention has been given to them. Since *Lathyrus* species are important for their nutritional values and bioactivities as potential functional foods, we investigated the radical scavenging activity (RSA) of *Lathyrus aphaca* L. var. *pseudoaphaca* (Boiss.) Davis, *L. aureus* (Stev.) Brandza, *L. cicera* L., *L. sphaericus* Retz., *L. digitatus* (Bieb.) Fiori in Fiori & Paol. and *L. setifolius* L., distributed in Burdur-Isparta regio which we determined ODAP content of in our previous study [10].

* Corresponding author: asumankaradeniz@gmail.com

2. Material and Method

2.1. Plant materials and extraction

Plants were collected from different locations distributed to Isparta-Burdur regio. *L. aphaca*, *L. cicera*, *L. sphaericus* and *L. setifolius* are annual while *L. aureus* and *L. digitatus* are perennial herbs, and they generally distribute in forests and scrublands [11] (Table 1). Air-dried and powdered aerial parts and seeds of the plant materials were extracted for three times with methanol by using magnetic stirrer at 40°C for three days. Afterwards, the obtained methanolic extracts were filtered and evaporated in a rotator evaporator to gain crude extracts (Table 2). Subsequently, crude methanolic extracts were dissolved in distilled water followed by partition with equal volume of petroleum ether to remove chlorophyll and other lipophylic compounds. Finally, the remaining aqueous extracts were lyophilized [12].

Table 1. *Lathyrus* taxa and the collection stations

Taxa	Station	Altitude (m)
<i>L. aphaca</i> var. <i>pseudoaphaca</i>	Isparta-Eğirdir, pine forest	1190
<i>L. aureus</i>	Isparta-Eğirdir, Kasnak oak forest	1530
<i>L. cicera</i>	Burdur, urban area	850
<i>L. sphaericus</i>	Isparta-Eğirdir, pine forest	1190
<i>L. digitatus</i>	Isparta-Eğirdir, lake shore	875
<i>L. setifolius</i>	Isparta-Eğirdir, lake shore	875

2.2. 2,2-diphenyl-1-picryl hydrazyl (DPPH) radical scavenging activity

DPPH RSA potentials of the methanolic extracts of the plants were detected [13]. Each methanol sample or control of 200 µL was added DPPH, a stable free radical, (50 µL, 1 mM) at certain concentrations and then mixed well. The remaining DPPH had an absorbance value of 517 nm after a 30-minute period. The RSA of a negative control well which contained only DPPH and solvent was taken as comparison to the RSA of the extract. Positive control was ascorbic acid. All analyses were done as three replicates. RSA was asserted as percent inhibition and calculated by the following equation:

$$IP (\%) = (ABS_{control} - ABS_{sample} / ABS_{control}) * 100$$

2.3. Superoxide radical scavenging activity test by alkaline DMSO method

Superoxide (SO) RSA was detected according to Kunchandy and Rao [14]. In sum, a non-enzymatic system was established to generate a superoxide radical. The mixture which include 10 µL of nitroblue tetrazolium (NBT) (1 mg/mL solution in dimethyl sulphoxide, (DMSO) and 30 µL of each sample (in DMSO). 100 µL of alkaline DMSO (1 mL of which

containing 5 mM NaOH in 0.1 mL of water) was put in order to make a final volume of 140 µL and the absorbance was read at 560 nm. Positive control was ascorbic acid. All analyses were done as three replicates. RSA was asserted as percent inhibition and calculated by the following equation:

$$IP (\%) = (ABS_{sample} - ABS_{control} / ABS_{sample}) * 100$$

2.4. Nitric oxide radical scavenging activity

Nitric oxide radical scavenging activity of the extracts was also determined [15]. Briefly, 60 µL of 10 mM sodium nitro prussiate, in phosphate buffered saline (PBS), were added to 60 µL of the extract or control wells and the plate was incubated at room temperature under light for 150 min. Finally, 60 µL of Griess reagent (1 g sulphanilamide + 0.1 g N-(1-naphthyl) ethylene diamine dihydrochloride + 2.5 mL phosphoric acid, completed 100 mL distilled water) was added into each well in order to measure the nitrite content at 577 nm. Ascorbic acid was used as positive control. All analyses were done as three replicates. Radical scavenging activity was represented as the inhibition percentage and was calculated using the formula below:

$$IP (\%) = (ABS_{control} - ABS_{sample} / ABS_{control}) * 100$$

2.5. Total phenolic content

The total phenolic content (TPC) was detected via the method of Singleton and Rossi [16] with minimal changes. 10 µL of sample or standard (10-500 µg/mL of gallic acid) and a diluted 150 µL of Folin-Ciocalteu reagent (1:4 reagent/water) were put in the wells of the plate and later taken into incubation at room temperature during three minutes. After the admixture of 50 µL of saturated sodium carbonate (7.5%) and an additional session of incubation for two hours at room temperature, absorbance was at 725 nm. TPC was figured as gallic acid equivalent (GAE).

2.6. Statistical analysis

Statistical significance was assessed using Analysis of Variance, ANOVA (one way), followed by Tukey test for multiple comparisons, at $p < 0.05$ level. Graphics for linear regression curves, inhibition percentage, and correlation coefficients were drawn and used to determine calculations. Correlation coefficients between were defined via Pearson correlation test. All the tests were done in triplicates.

3. Results

Extract yields of *Lathyrus* taxa were given in Table 2. Aerial parts ($IC_{50} = 222.27 \pm 5.61$ µg/mL) and seeds ($IC_{50} = 43.42 \pm 0.39$ µg/mL) of *L. aphaca* have the highest DPPH RSA values. The lowest IC_{50} value indicates the highest RSA, meaning the extract has

effect even in low concentrations (half-maximal inhibitory concentration). Seeds ($IC_{50} = 102.52 \pm 6.31 \mu\text{g/mL}$) of *L. aphaca* have the highest SO RSA. Seeds and aerial parts of *L. cicera* and aerial part of *L. digitatus* showed negligible SO RSA. NO RSA of taxa were found negligible ($IC_{50} > 1000 \mu\text{g/mL}$). The highest total phenolic contents were found in both seed ($288.89 \pm 0.05 \text{ mg/g GAE}$) and aerial ($273.16 \pm 0.35 \text{ mg/g GAE}$) parts of *L. sphaericus*. In addition, there were no or weak correlation between both the total phenolic content and DPPH RSA ($p < 0.05$) ($r_{\text{seed}} -0.34$; $r_{\text{aerial parts}} 0.55$) (Table 3).

Table 2. Extract yields of *Lathyrus* taxa.

Taxa	Extract Yield (%)	
	Seed	Aerial Part
<i>L. aphaca</i> var. <i>pseudoaphaca</i>	6.69	14.00
<i>L. aureus</i>	6.66	12.58
<i>L. cicera</i>	6.25	20.00
<i>L. sphaericus</i>	5.69	5.00
<i>L. digitatus</i>	nd	11.16
<i>L. setifolius</i>	nd	24.87

nd: not determined

4. Discussion and Conclusion

Our results indicate that *L. aphaca* and *L. sphaericus* are significant in antioxidant capacity. *Lathyrus* extracts had negligible NO RSA ($IC_{50} > 1000 \mu\text{g/mL}$) and our extracts can scavenge DPPH and SO radicals more than the NO radical. Flavonoids must contain a catechol group to scavenge NO radical in the plant extracts. Catechins are one of the compounds responsible for the NO RSA [17]. *Lathyrus* extracts did not show a significant NO RSA which can be explained due to lack of NO active substances in the plant contents.

Maximum phenolic contents were found both in seed ($288.89 \pm 0.05 \text{ mg/g GAE}$) and aerial parts ($273.16 \pm 0.35 \text{ mg/g GAE}$) of *L. sphaericus* while the lowest were determined in the seed ($5.38 \pm 0.01 \text{ mg/g GAE}$) and aerial parts ($13.85 \pm 0.16 \pm \text{ mg/g GAE}$) of *L. cicera*. These results were nearly the same as of the records of Pastor-Cavada et al. [3]. In that study, the highest total phenolic content (catechin equivalent) was determined in *L. sphaericus* (29.2 mg/g), while the lowest was found in *L. cicera* (3.8 mg/g).

DPPH RSA and total phenolic content of *Lathyrus* extracts didn't show any correlation ($r_{\text{seed}} -0.34$; $r_{\text{aerial parts}} 0.55$). Moreover, the highest total phenolic content was found in *L. sphaericus* extract, but this taxon had weak or negligible inhibition values in all the RSA tests when compared to most of the other taxa (Table 3). However; *L. aphaca* extract, exhibiting a relatively high RSA, possessed a low total of phenolic content (GAE). In this context, the high RSA of *L. aphaca* extract could be thought due to another compound(s). Antioxidant activity is generally related to total phenolic content and radical scavenging activity deals with numbers and positions of the hydroxyl groups of the phenolic compounds [18]. Furthermore, antioxidant activity is not fully contributed by phenolic compounds alone [19]. Essential oils, vitamins, carotenoids and other secondary compounds are also responsible for antioxidant activities. In addition, a wide range of secondary metabolites can show antagonistic or synergistic effects.

In the past decades nutritional and antinutritional factors of *L. sativus* and other *Lathyrus* species, ODAP and related neurotoxins, their metabolism [20], neurotoxicity [21], physiological [22] and genetic [23] studies to decrease neurotoxin content [24] besides their bioactivities [25, 26] such as antioxidant [3] and antimicrobial [25] properties have been investigated. Therefore some researchers found that neurotoxins such as ODAP which leguminous seeds could contain might be radical scavengers [27]. *Lathyrus* neurotoxins especially ODAP can result in irreversible neurodegeneration causing spastic paraparesis of the lower limbs. This disease called Lathyrism usually happens when seeds are consumed in large amounts during famine episodes triggered by droughts in countries like Ethiopia, India and Bangladesh [28].

There are some studies on bioactive components and their bioactivity of *Lathyrus* taxa. For example, *L. binatus*, *L. cicera* [5], *L. digitatus* [6], *L. czeczottoianus* [2] contain phenolics, *L. japonicus* triterpene saponins [7] and flavonoids [4], *L. cicera* [5] and *L. davidii* flavonoids and saponins [8] and *L. odoratus* contains phytoalexins [9]. *Lathyrus* neurotoxins especially ODAP and its metabolites have been broadly studied in terms of their metabolism [29]. Also neurotoxin

Table 3: Radical scavenging activities (IC_{50} values) and total phenolic contents of *Lathyrus* taxa

Taxa	DPPH ($\mu\text{g/mL}$)		NO ($\mu\text{g/mL}$)		SO ($\mu\text{g/mL}$)		TPC (mg GAE/g dw)	
	Seed	Aerial part	Seed	Aerial part	Seed	Aerial part	Seed	Aerial part
<i>L. aphaca</i> var. <i>pseudoaphaca</i>	43.42 \pm 0.39*a	222.27 \pm 5.61b	>1000	>1000	102.52 \pm 6.31a	171.39 \pm 6.66b	75.33 \pm 0.03b	22,36 \pm 0.02a
<i>L. aureus</i>	480.11 \pm 0.66de	441.61 \pm 11.79de	>1000	>1000	142.36 \pm 5.34ab	562.36 \pm 22.38d	29.90 \pm 0.02a	67.60 \pm 0.03b
<i>L. cicera</i>	768.95 \pm 23.21f	354.49 \pm 10.82bcd	>1000	>1000	>1000	>1000	5.8 \pm 0.01a	13,85 \pm 0.16a
<i>L. sphaericus</i>	410.58 \pm 3.72cde	496.52 \pm 1.12e	>1000	>1000	920.78 \pm 30.98f	667.67 \pm 25.32e	288.89 \pm 0.05c	273,16 \pm 0.35c
<i>L. digitatus</i>	-	275.62 \pm 3.48bc	-	>1000	-	>1000	-	32.84 \pm 0.03a
<i>L. setifolius</i>	-	531.73 \pm 39.07de	-	>1000	-	377.30 \pm 9.32c	-	13.18 \pm 0.01a

*: means of three replicates \pm sd, different letters in the same column indicates significant differences, DPPH: 2,2-diphenyl-1-picryl hydrazyl, NO: nitric oxide, SO: superoxide, TPC: total phenolic content, GAE: gallic acid equivalent, dw: dry weight

content of *Lathyrus* species and its changing in different ecological and physiological conditions was studied. Researches for plant breeding to eliminate the non-protein amino acid β -ODAP from the seed have been conducted for four decades. A large number of "low-toxin" varieties of grass pea emerged but it didn't result in the development of "toxin-free" varieties, yet [30].

There are some data on interactions with neurotoxin content, stress and antioxidant activity especially in legume seeds and *L. sativus*. β -ODAP carries out a protective role in *L. sativus* as it significantly increases when *L. sativus* is under drought stress. β -ODAP pile up in high amounts in order to manage osmotic adjustments in plants exposed to drought stress [31] as well as oxalic acid, a precursor for ODAP biosynthesis [32].

We investigated RSAs of some *Lathyrus* taxa which we determined ODAP contents of. In our previous study, some *Lathyrus* species such as *L. cicera* which has relatively larger and lighter coloured seeds contain ODAP while *L. sphaericus* and *L. aphaca* having antioxidant activity, did not contain ODAP [10]. More studies are needed on *Lathyrus'* neurotoxins and secondary metabolism and genetic and environmental effects on them.

ODAP content increases in stress conditions and it could have radical scavenging ability. Similarly some secondary metabolites like phenolics increase when plants face stress. Phenolics have antioxidant activity beside having some other ecological properties such as allelopathy [33]. *Lathyrus* species are rich in protein and some other nutritional factors, thus scientists have concentrated on their breeding to decrease neurotoxin content and to use for animal and human food in recent. Overall these studies, two substantial outcomes could be obtained:

1. Interactions between ODAP, its metabolites, other secondary metabolites and stress could be enlightening in terms of ecology, physiology and biochemical studies.
2. Breeding strategies of *Lathyrus* species concerning both high nutritional values and lowest neurotoxin content, contribute to agricultural economy

Acknowledgment

Authors are grateful to Assoc. Prof. Hasan Genç from Mehmet Akif Ersoy University Faculty of Education and Assoc. Prof. Neslihan Balpınar from Mehmet Akif Ersoy University Faculty of Science and Art for collection and the authentication of plant material. This study was supported by Research Fund of Mehmet Akif Ersoy University (Project ID: 0086-YL-09).

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] Lewis, G. P. 2005. Tribe Acacieae. In: Legumes of the World. Lewis G, Schrire B, Mackinder B, Lock M, eds. Royal Botanic Gardens, Kew: UK, pp: 187–191.
- [2] Ceylan, R., Zengin, G., Guler, G. O., Aktumsek, A. 2020. Bioactive constituents of *Lathyrus czechottianus* and ethyl acetate and water extracts and their biological activities: An endemic plant to Turkey. South African Journal of Botany, 1-6.
- [3] Pastor-Cavada, E., Juan, R., Pastor, J. E., Alaiz, M., Vioque, J. 2009. Antioxidant activity of seed polyphenols in fifteen wild *Lathyrus* species from South Spain. LWT - Food Science and Technology, 42, 705–709.
- [4] Ohtsuki, T., Murai, Y., Iwashina, T., Setoguchi, H. 2013. Geographical differentiation inferred from flavonoid content between coastal and freshwater populations of the coastal plant *Lathyrus japonicus* (Fabaceae). Biochemical Systematics and Ecology, 51, 243-250.
- [5] Ferreres, F., Magalhães, S. C. Q., Gil-Izquierdo, A., Valentão, P., Cabrita, A. R., Fonseca, A. J., Andrade, P. B. 2017. HPLC-DAD-ESI/MSn profiling of phenolic compounds from *Lathyrus cicera* L. seeds. Food chemistry, 214, 678-685.
- [6] Llorent-Martínez, E. J., Ortega-Barrales, P., Zengin, G., Mocan, A., Simirgiotis, M. J., Ceylan, R., Uysal, S., Aktumsek, A. 2017. Evaluation of antioxidant potential, enzyme inhibition activity and phenolic profile of *Lathyrus cicera* and *Lathyrus digitatus*: Potential sources of bioactive compounds for the food industry. Food and Chemical Toxicology, 107, 609-619.
- [7] Kang, S. S., Ahn, B. T., Kim, J. S., Bae, K. H. 1998. *Lathyrus* saponin, a new trisaccharide glycoside from *Lathyrus japonicus*. Journal of Natural Products, 61(2), 299-300.
- [8] Park, S. Y., Kim, J. S., Li, S. Y., Bae, K. H., Kang, S. S. 2008. Chemical constituents of *Lathyrus davidii*. Natural Product Sciences, 14(4), 281-288.
- [9] Robeson, D. J., Ingham, J. L., Harborne, B. 1980. Identification of two chromone phytoalexins in

- the sweet pea, *Lathyrus odoratus*. *Phytochemistry*, 19, 2171–2173.
- [10] Karadeniz, A., Erdoğan, N., Genç, H., Emre, İ. 2010. ODAP levels in some *Lathyrus* species distributed on Burdur-Isparta provinces in Turkey. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 57, 1121-1126.
- [11] Tubives, 2021. Türkiye Bitkileri Veri Servisi (Turkish Plants Data Services). <http://www.tubives.com> (accessed 1 March 2021, in Turkish).
- [12] Harput, U. S., Genc, Y., Saracoglu, I. 2012. Cytotoxic and antioxidative activities of *Plantago lagopus* L. and characterization of its bioactive compounds. *Food and Chemical Toxicology*, 50, 1554–1559.
- [13] Blois, M. S. 1958. Antioxidant determinations by the use of a stable free radical. *Nature* 181, 1199-1200.
- [14] Kunchandy, E. Rao, M. N. A. 1990. Oxygen radical scavenging activity of curcumin, *International Journal of Pharmaceutics*, 58, 237–240.
- [15] Tsai, P. Y., Tsai, T. H., Yu, C. H., Ho, S. C. 2007. Comparison of NO-scavenging and NO-suppressing activities of different herbal teas with those of green tea, *Food Chemistry*, 103, 181-187.
- [16] Singleton, V. L., Rossi, J. A. Jr. 1965. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic phosphotungstic acid reagents. *American Journal of Enology and Viticulture*, 16, 144-158.
- [17] Paquay, J. B. G., Haenen, G. R. M. M., Stender, G., Wiseman, S. A., Tijburg, L. B. M., Bast, A. 2000. Protection against nitric oxide toxicity by tea. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 48, 5768-5772.
- [18] Awah, F. M., Uzoegwu, P. N., Ifeonu, P., Oyugi, J. O., Rutherford, J., Yao, X., Fehrmann, F., Fowke, K. R., Eze, M. O. 2012. Free radical scavenging activity, phenolic contents and cytotoxicity of selected Nigerian medicinal plants. *Food Chemistry*, 131(4), 1279-1286.
- [19] Babbar, N., Oberoi, H. S., Uppal, D. S., Patil, R. T. 2011. Total phenolic content and antioxidant capacity of extracts obtained from six important fruit residues. *Food Research International*, 44(1), 391-396.
- [20] Kusama Eguchi, K., Kusama, T., Suda, A., Masuko, T., Yamamoto, M., Ikegami, F., Igarashi, K., Kuo, Y. H., Lambein, F., Watanabe, K. 2004. Partial involvement of group I metabotropic glutamate receptors in the neurotoxicity of 3-N-oxalyl-L-2,3-diaminopropionic acid (L-ODAP). *Biological and Pharmaceutical Bulletin*, 27(7), 1052-1058.
- [21] Kawaguchi, K., Lambein, F., Kusama-Eguchi, K. 2012. Vascular insult accompanied by overexpressed heme oxygenase-1 as a pathophysiological mechanism in experimental neurolathyrism with hind-leg paraparesis. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 428, 160-166.
- [22] Xiong, Y. C., Xing, G. M., Li, F. M., Wang, S. M., Fan, X. W., Li, Z. X., Wang, Y. F. 2006. Abscisic acid promotes accumulation of toxin ODAP in relation to free spermin level in grass pea seedlings (*Lathyrus sativus* L.). *Plant Physiology and Chemistry*, 44, 161-169.
- [23] Arslan, M. 2018. Genetic diversity analysis of low β -ODAP population of grass pea with SSR markers. *Journal of Biotechnology* 280, Supplement, p:554.
- [24] Kumar, S., Bejiga, G., Ahmed, S., Nakkoul, H., Sarker, A. 2011. Genetic improvement of grass pea for low neurotoxin β -ODAP content. *Food and Chemical Toxicology*, 49, 589-600.
- [25] Khan, N. A., Kuereshi, S., Pandey, A., Srivastava, A. 2009. Antibacterial activity of seed extracts of commercial and wild *Lathyrus* species. *Turkish Journal of Biology*, 33, 165-169.
- [26] Sharma, D., Singh, P., Singh, S. S. 2018. β -N-oxalyl-L- α , β -diaminopropionic acid induces, wound healing by stabilizing HIF-1 α and modulating associated protein expression. *Phytomedicine*, 44, 9-19.
- [27] Gongke, Z., Yingzhen, K., Kairong, C., Zhixiao, L., Yafu, W. 2001. Hydroxyl radical scavenging activity of β -N-oxalyl-L- α , β -diaminopropionic acid. *Phytochemistry*, 58, 759-762.
- [28] Getahun, H., Mekonnen, A., Teklehaimanot, R., Lambein, F. 1999. Epidemic of neurolathyrism in Ethiopia. *The Lancet*, 354, 306.
- [29] Polignano, G. B., Bisignano, V., Tomaselli, V., Ugenti, P., Alba, V., Della Gatta, C. 2009. Genotype X environment interaction in grass pea (*Lathyrus sativus* L) lines. *International Journal of Argonomy*, Article ID: 898396, 7 pages.
- [30] Lambein, F., Kuo, Y. H., Kusama-Eguchi, K., Ikegami, F. 2007. 3-N-oxalyl-L-2,3-diaminopropanoic acid, a multifunctional plant metabolite of toxic reputation. *ARKIVOC*, 9, 45-52.
- [31] Xiong, J., Bai, X., Batool, A., Kong, H. Y., Tan, R., Wang, Y. F., Jiao, C. J., Xiong, Y. 2014. Ecological Function and application of toxin β -ODAP in grass pea (*Lathyrus sativus*). *Chinese Journal of Applied Ecology* 25(4), 1-10.
- [32] Dawei, Z., Gengmei, X., Hui, X., Zeyi, Y., Chongying, W., Yafu, W., Zhixiao, L. 2005. Relationship between oxalic acid and the metabolism of β -N-oxalyl-L- α , β -diaminopropionic acid (ODAP) in grass pea (*Lathyrus sativus* L.). *Israel Journal of Plant Science*, 53, 89-96.

- [33] Djurdjevic, L., Gajic, G., Kostic, O., Jaric, S., Pavlovic, M., Mitrovic, M., Pavlovic, P. 2012. Seasonal dynamics of allelopathically significant phenolic compounds in globally successful invader *Conyza canadensis* L. plants and associated sandy soil. *Flora*, 207, 812-820.

Güçlü Direkt Radikal Tümlenmiş Modüllerin İki Yeni Genelleştirilmesi

Esra ÖZTÜRK SÖZEN*¹ 

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

(Alınış / Received: 27.10.2020, Kabul / Accepted: 15.02.2021, Online Yayınlanma / Published Online: 15.04.2021)

Anahtar Kelimeler

Radikal tümlenmiş modül,
Güçlü \oplus - δ -radikal,
Tümlenmiş modül,
 δ -Küçük alt modül

Özet: Bir A modülünün δ -radikali A nın direkt toplam terimi olacak şekilde bir δ -tümlenmiş modüle sahipse A ya \oplus - δ -radikal tümlenmiş modül denir. Eğer A nın δ -radikalini içeren her alt modülü A nın direkt toplam terimi olacak şekilde bir δ -tümlenmiş modüle sahip ise A ya güçlü \oplus - δ -radikal tümlenmiş modül adı verilir. Bu çalışmada tanımlanan bu modüllerin temel özellikleri araştırılmış, halka karakterizasyonları incelenmiştir. Özel olarak R ayrık değerlendirme halkası üzerinde $Rad(A) \ll A$ koşulunu gerçekleyen bir A modülünün güçlü- δ -radikal tümlenmiş olması için gerekli ve yeterli koşul P , R nin maksimal ideali; K , R nin kesir cismi ve $Q = K/R$ olmak üzere $A = R^x \oplus K^y \oplus Q^z \oplus B_p(1,2, \dots, n)$ olacak şekilde $x, y, z, n \in \mathbb{N}$ mevcuttur olması ile verilir.

Two New Generalizations of Strongly Direct Radical Supplemented Modules

Keywords

Radical supplemented module,
Strongly \oplus - δ -radical,
Supplemented module,
 δ -Small submodule

Abstract: A module A is called \oplus - δ -radical supplemented if $\delta(A)$ has a δ -supplement in A that is a direct summand of A . A module A is called strongly \oplus - δ -radical supplemented if every submodule of A containing $\delta(A)$ has a δ -supplement in A that is a direct summand of A . In this paper we investigate basic properties of these modules and obtain a characterization for δ -semiperfect rings. In particular, a module A with $Rad(A) \ll A$ over a discrete valuating ring R , is strongly \oplus - δ -radical supplemented if $A = R^x \oplus K^y \oplus Q^z \oplus B_p(1,2, \dots, n)$ for $x, y, z, n \in \mathbb{N}$ and the maximal ideal P of R where K is the quotient field of R and $Q = K/R$.

1. Giriş

Bu çalışmada R ile birleşmeli ve birimli halkalar; A ile de üniter R -modüller gösterilecektir. Ayrıca " $B \leq A, B \trianglelefteq A$ ve $A \ll B$ " notasyonları ile sırasıyla B nin, A nın "alt modülü, büyük alt modülü ve küçük alt modülü" olduğu ifade edilecektir. A nın B alt modülünün, A nın sıfır alt modülü haricindeki alt modülleri ile arakesiti sıfırdan farklı ise B ye A nın *büyük alt modülü* denir. Diğer taraftan A nın her C öz alt modülü için $B + C \neq A$ oluyorsa B ye A nın *küçük alt modülü* denir. A nın tüm küçük alt modüllerinin toplamı " $Rad(A)$ " ile gösterilir. $B \leq A$ için $B + C = A$ koşulunu gerçekleyen A nın alt modüllerinden minimal olanı C ise, C ye B nin A da bir *tümleyeni* denir. Bu ise $B + C = A$ ve $B \cap C \ll A$ olmasına eşdeğerdir. A modülünün her alt modülü tümleyene sahipse A ya *tümlenmiş modül* denir [1].

Zöschinger tümlenmiş modülleri zayıflatarak radikal tümlenmiş modülleri şu şekilde tanımlamıştır [2, 3]: $Rad(A) \leq A$, A da tümleyene sahip ise A ya *radikal tümlenmiş modül* denir. 1990 yılında Muhammed ve Müller ise tümlenmiş modülleri kuvvetlendirerek, her

alt modülü direkt toplam terimi olacak şekilde tümleyene sahip modülleri *\oplus -tümlenmiş modüller* olarak karakterize etmiştir [4].

Bir A modülü için $Z(A) = \{a \in A \mid Ann(a) \trianglelefteq R\}$ ile tanımlı olmak üzere, $Z(A) = A$ ise A ya tekil modül; $Z(A) = 0$ ise A ya tekil olmayan modül denir. Zhou küçük alt modüllerin genellemesi olan δ -küçük alt modülleri şu şekilde tanımlamıştır [5]: $\frac{A}{C}$ tekil olacak şekilde A nın her C öz alt modülü için $B + C = A$ ise B ye A nın *δ -küçük alt modülüdür* denir ve " $B \ll_{\delta} A$ " ile gösterilir. A nın tüm δ -küçük alt modüllerinin toplamı $\delta(A)$ ile gösterilir. Ayrıca $Rad(A) \leq \delta(A)$ olduğu açıktır. δ -radikali kendisine eşit modüllere *δ -radikal modül* denir [6]. Bundan yola çıkarak Koşan bir modülün δ -tümlenmiş alt modüllerini tanımlayarak her alt modülünün δ -tümlenmiş modül olarak tanımlanmıştır [7]. Yani her $B \leq A$ için $B + C = A$, $B \cap C \ll_{\delta} C$ olacak şekilde $C \leq A$ varsa A ya δ -tümlenmiş modül denir. Ayrıca, her alt modülü direkt toplam terimi olacak şekilde δ -tümlenmiş modüller *\oplus - δ -tümlenmiş modül* olarak tanımlanmıştır [8].

*İlgili yazar: esraozturk55@hotmail.com

Büyükaşık ve Türkmen radikali içeren her alt modülü tümleyene sahip modülleri *güçlü radikal tümlenmiş modül* olarak tanımlamışlardır [9]. Nişancı Türkmen ve Pancar sırasıyla radikali, direkt toplam terimi olacak şekilde tümleyene sahip modülleri \oplus -radikal tümlenmiş modüller; radikali içeren her alt modülü direkt toplam terimi olacak şekilde tümleyene sahip modülleri *güçlü \oplus -radikal tümlenmiş modüller* olarak tanımlamışlardır, [10]. Eryılmaz δ -radikali içeren her alt modülü (zayıf) δ - tümleyene sahip modülleri *güçlü genelleştirilmiş (zayıf) δ -tümlenmiş modül* olarak tanımlamıştır, [11].

Bu çalışmada ise δ -radikali ve δ -radikali içeren her alt modülü direkt toplam terimi olacak şekilde δ -tümleyen sahip olan modüller tanımlanmıştır. Böylece Nişancı Türkmen ve Pancar tarafından tanıtılan modüllerin yeni bir genellemesi elde edilmiştir. Bu modüller arasındaki kapsama ilişkin öz olduğunu gösteren örneklemelere yer verilmiştir. Sonlu sayıda (güçlü) \oplus - δ -radikal tümlenmiş modülün toplamının da (güçlü) \oplus - δ - radikal tümlenmiş olduğu gösterilmiştir. Güçlü \oplus - δ - radikal tümlenmiş modüllerin alt modüllerinin ve faktör modüllerinin sınıfının hangi şartlarda korunduğu irdelenmiştir. Özel olarak elde edilen diğer önemli bulguların bir sıralamasını şu şekilde sunabiliriz. Direkt toplam terimi özelliğine sahip bir A modülü güçlü \oplus - δ -radikal tümlenmiş ise A dual sonlu \oplus - δ -tümlenmiş modüldür. Direkt toplam terimi özelliğine sahip bir R halkasının δ -yarımükemmel olması için gerekli ve yeterli koşul her sonlu üretilmiş serbest R -modülün güçlü \oplus - δ -radikal tümlenmiş olmasıdır. Ayrıca lokal Dedekind bölgesi üzerindeki bir A modülünün güçlü \oplus - δ -radikal tümlenmiş olması için gerekli ve yeterli koşul P, R nin maksimal ideali; K, R nin kesir cismi ve $Q = K/R$ olmak üzere $A = R^x \oplus K^y \oplus Q^z \oplus B_p(1,2, \dots, n)$ olacak şekilde $x, y, z, n \in \mathbb{N}$ mevcut olmasıdır.

2. Materyal ve Metot

Bu kısımda çalışmamızın temelini teşkil eden tanımları kurgulamamızı sağlayan temel kavramlara ve yer aldığı kaynaklara yer verilmiştir.

Tanım 1: A bir modül olsun. A nın radikali olan $Rad(A)$ alt modülünü içeren her alt modül A da tümleyene sahip ise A ya *güçlü tümlenmiş modül* denir ve kısaca “srs-modül” şeklinde kısaltılır [9].

Tanım 2: Bir A modülünün radikali (radikalini kapsayan her alt modülü) A da direkt toplam terimi olacak şekilde tümleyene sahip ise A ya (güçlü) \oplus -radikal tümlenmiş modül denir [10].

Güçlü \oplus -radikal tümlenmiş modüller için ilgili kaynakta \oplus -srs-modül kısaltması kullanılmıştır.

Tanım 3: Bir A modülünün δ -radikalinin her alt modülü A da δ - tümleyene sahip ise A ya *güçlü*

genelleştirilmiş δ -tümlenmiş modül denir ve kısaca “ δ -SGS modül” ile gösterilir [11].

Tanım 4: A bir modül olsun. $\delta(A)$, A modülünde direkt toplam terimi olacak şekilde bir tümleyene sahip ise A modülüne \oplus - δ -radikal tümlenmiş modül denir.

Tanım 5: Bir A modülünün $\delta(A)$ alt modülünü kapsayan her alt modülü A da direkt toplam terimi olacak şekilde δ -tümleyene sahip ise, A ya güçlü \oplus - δ -radikal tümlenmiş modül denir.

3. Bulgular

Önerme 1: Her δ -radikal modül (güçlü) \oplus - δ -radikal tümlenmiştir.

İspat: A bir δ -radikal bir modül olsun. Bu durumda $A = \delta(A)$ dır ve açık olarak $0 \leq A, \delta(A)$ nın A da direkt toplam terimi olacak şekilde bir δ -tümleyenidir. Dolayısıyla A, \oplus - δ -radikal tümlenmiş modüldür. Diğer taraftan $\delta(A) = A$ yani $\delta(A)$ alt modülünü içeren A dan farklı bir alt modül yoktur. $\{0\}$ da A nın direkt toplam terimi olacak şekilde δ -tümleyeni olduğundan A güçlü \oplus - δ -radikal tümlenmiştir.

Önerme 2: A bir modül olsun. $P_\delta(A) = \Sigma \{ B \leq A \mid \delta(B) = B \} \leq A$ (güçlü) \oplus - δ -radikal tümlenmiştir.

İspat: $P_\delta(A)$, A nın en büyük δ -radikal alt modülü olduğundan Önerme 1 gereği iddia açıktır.

Yardımcı Teorem 3: A (güçlü) \oplus - δ -radikal tümlenmiş modül olsun. Bu takdirde A, δ -radikal direkt toplam terimine sahiptir.

İspat: A (güçlü) \oplus - δ -radikal tümlenmiş modül olsun. Bu takdirde $\delta(A) + B = A, \delta(A) \cap B = \delta(B) \ll_\delta B$ ve $A = B \oplus B'$ olacak şekilde $B \leq A$ mevcuttur. Bu durumda $\delta(A) = \delta(B) \oplus \delta(B')$ olup $A = \delta(A) + B = [\delta(B) \oplus \delta(B')] + B = B \oplus \delta(B')$ eşitliğinin her iki tarafının B' ile arakesiti alınırsa $B' = \delta(B')$ elde edilir.

Önerme 4: $A, P_\delta(A) = 0$ koşulunu gerçekleyen bir modül olsun. Eğer A (güçlü) \oplus - δ -radikal tümlenmiş ise, $\delta(A) \ll_\delta A$ dır.

İspat : A (güçlü) \oplus - δ -radikal tümlenmiş olduğundan $\delta(A) + B = A, \delta(A) \cap B = \delta(B) \ll_\delta B$ ve $A = B \oplus B'$ olacak şekilde $B, B' \leq A$ vardır. Yardımcı Teorem 3 den $\delta(B') = B' \leq A$ ve $P_\delta(A) = 0$ olduğundan $\delta(B') = B' = 0$ olup $A = B$ elde edilir. Buradan $\delta(A) \ll_\delta A$ olur.

Önerme 5: $A, \delta(A) \ll A$ koşulunu gerçekleyen bir modül olsun. Bu takdirde $A \oplus$ - δ -radikal tümlenmiş modüldür.

İspat: $\delta(A) + B = A$ olacak şekilde herhangi bir $B \leq A$ için $\delta(A) \ll A$ olduğundan $B = A$ dır. Ayrıca $\delta(A) \cap B = \delta(A) \cap A = \delta(A) \ll A$ ve $A =$

$A \oplus 0$ olduğundan $A \oplus -\delta$ -radikal tümlenmiş modüldür.

Sonuç 6: Her δ -eşatomik modül $\oplus -\delta$ -radikal tümlenmiştir.

Teorem 7: A_1, A_2, \dots, A_n (güçlü) $\oplus -\delta$ -radikal tümlenmiş modül ise $A_1 \oplus A_2 \oplus \dots \oplus A_n$ (güçlü) $\oplus -\delta$ -radikal tümlenmiş modüldür.

İspat: $n = 2$ için iddianın doğruluğunu göstermek yeterlidir. A_1 ve A_2 δ -radikal tümlenmiş modüller olmak üzere $A = A_1 \oplus A_2$ olsun. Buradan $A = \delta(A) + A_1 + A_2$ yazılabilir. O halde, $\{0\}$ alt modülü $\delta(A) + A_1 + A_2$ nin A da aşıkardır δ -tümleyenidir. $A_2 \cap (\delta(A) + A_1) \leq A_2$ alt modülü için $A_2 \cap (\delta(A) + A_1) = A_2 \cap [(\delta(A_1) + \delta(A_2)) + A_1] = A_2 \cap (\delta(A_2) + A_1) = (\delta(A_2) + A_1) \cap A_2 = \delta(A_2) + (A_1 \cap A_2) = \delta(A_2)$ olup $A_2 \oplus -\delta$ -radikal tümlenmiş olduğundan $\delta(A_2) + B = A_2$, $\delta(A_2) \cap B \ll_\delta B$ ve $A_2 = B \oplus B'$ olacak şekilde $B, B' \leq A_2$ vardır. O halde $B, A_2 \cap (\delta(A) + A_1)$ in A_2 de direkt toplam terimi olacak şekilde δ -tümleyenidir. O halde $B + 0 = B, \delta(A) + A_1$ in A da δ -tümleyenidir. Şimdi de benzer yolla $A_1 \cap (\delta(A) + B)$ in A_1 de direkt toplam terimi olacak şekilde bir δ -tümleyeninin varlığını gösterebiliriz. Burada $A_1 \cap (\delta(A) + B) = A_1 \cap (\delta(A_1) + \delta(A_2) + B) = \delta(A_1) + [A_1 \cap (\delta(A_2) + B)] = \delta(A_1) + [A_1 \cap A_2] = \delta(A)$ ve $A_1 \oplus -\delta$ -radikal tümlenmiş olduğundan bir $C \leq A_1$ için $A_1 = \delta(A_1) + C$, $\delta(A_1) \cap C \ll_\delta C$ ve $A_1 = C + C'$ dir. O halde $C, A_1 \cap (\delta(A) + B)$ nin A_1 de direkt toplam terimi olacak şekilde bir δ -tümleyenidir. Sonuç olarak $B + C, \delta(A)$ nin A da δ -tümleyenidir. Ayrıca $A = A_1 \oplus A_2 = (C \oplus C') \oplus (B \oplus B') = (C \oplus B) \oplus (C' \oplus B')$ olduğundan $C + B, A$ da bir direkt toplam terimidir. Buradan $A, \oplus -\delta$ -radikal tümlenmiştir.

Şimdi de A_1 ve A_2 güçlü $\oplus -\delta$ -radikal tümlenmiş modüller iken direkt toplamlarının da güçlü $\oplus -\delta$ -radikal tümlenmiş olduğunu gösterebiliriz. $A = A_1 \oplus A_2$ ve B, A modülünün $\delta(A)$ alt modülünü kapsayan keyfi bir alt modülü olsun. Bu durumda $A = A_1 + A_2 + B$ yazılabilir. O halde $A_1 + A_2 + B, \{0\} \oplus -\delta$ -tümleyenine sahiptir. $\delta(A_2) \leq \delta(A) \leq B \leq B + A_2$ ve $\delta(A_2) \leq A_2$ olup $\delta(A_2) \leq A_2 \cap (B + A_1)$ dir. Hipotez gereğince A_2 güçlü $\oplus -\delta$ -radikal tümlenmiş modül olduğundan $A_2 \cap (B + A_1) \leq A_2, A_2$ de direkt toplam terimi olacak şekilde bir $C \delta$ -tümleyenine sahiptir. Sonuç olarak $C \leq B + A_1$ için A da δ -tümleyenidir. Diğer taraftan $\delta(A_1) \leq \delta(A) \leq B \leq B + C$ ve $\delta(A_1) \leq A_1$ olduğundan $\delta(A_1) \leq A_1 \cap (B + C)$ dir. Hipotez gereği A_1 güçlü δ -radikal tümlenmiş olduğundan $A_1 \cap (B + C), A_1$ de direkt toplam terimi olacak şekilde bir $D \delta$ -tümleyenine sahiptir. Sonuç olarak $D + C, L$ nin A da direkt toplam terimi olacak şekilde bir δ -tümleyenidir. O halde A güçlü $\oplus -\delta$ -radikal tümlenmiş modüldür.

Yardımcı Teorem 8: A bir modül $B, C \leq A$ olsun. $C \ll_\delta A$ ve $B + C, A$ da bir δ -tümleyene sahip ise B, A da bir δ -tümleyene sahiptir.

İspat: $X, B + C$ nin A da bir δ -tümleyenini olsun. Bu durumda $(B + C) + X = A$ ve $(B + C) \cap X \ll_\delta X$ dir. Buradan $(B + X) + C = A$ ve $C \ll_\delta A$ olduğundan $\exists C' \leq C$ projektif yarı basit alt modülü için $(B + X) \oplus C' = A$ dir. O halde, $B + (X \oplus C') = A$ olduğu açıktır. $B \cap (X \oplus C') \ll_\delta X \oplus C'$ olduğunu gösterebiliriz. $B \cap (X \oplus C') = B \cap X \leq (B + C) \cap X \ll_\delta X \leq X \oplus C'$ olduğundan $B \cap (X \oplus C') \leq X \oplus C'$ bulunur. Sonuç olarak $X \oplus C', A$ da B nin bir δ -tümleyenidir.

$\oplus -\delta$ -tümlenmiş her modül güçlü $\oplus -\delta$ -radikal tümlenmiştir. Önerme 9 ve Önerme 10 da özel şartlar altında tersinin de doğrulanabileceğini görmekteyiz.

Önerme 9: A direkt toplam terimi özelliğine sahip güçlü $\oplus -\delta$ -radikal tümlenmiş modül olsun. $\delta(A) \ll_\delta A$ ise A bir $\oplus -\delta$ -tümlenmiş modüldür.

İspat: $B \leq A$ olsun. $B \leq B + \delta(A) \leq A$ ve A güçlü $\oplus -\delta$ -radikal tümlenmiş modül olduğundan, $A = (B + \delta(A)) + U, (B + \delta(A)) \cap U \ll_\delta U$ ve $A = U \oplus U'$ olacak şekilde $U, U' \leq M$ vardır. Buradan Yardımcı Teorem 8 gereği projektif yarı basit bir $P' \leq \delta(A)$ için $U \oplus P', B$ nin A da bir δ -tümleyenidir. Ayrıca $A = U \oplus U'$ ve $A = U \oplus (B + P') = (B + U) \oplus P'$ ve A direkt toplam terimi özelliğine sahip olduğundan $U \oplus P', A$ nın direkt toplam terimidir. Sonuç olarak A bir $\oplus -\delta$ -tümlenmiş modüldür.

Önerme 10: A güçlü $\oplus -\delta$ -radikal tümlenmiş modül olsun. $\delta(A) \ll A$ ise A $\oplus -\delta$ -tümlenmiş modüldür.

İspat: $B \leq A$ keyfi olsun. $B \leq B + \delta(A) \leq A$ ve A güçlü $\oplus -\delta$ -radikal tümlenmiş modül olduğundan $A = (B + \delta(A)) + U, (B + \delta(A)) \cap U \ll_\delta U$ ve $A = U \oplus U'$ olacak şekilde U, U' vardır. $A = (B + U) + \delta(A)$ ve $\delta(A) \ll A$ olduğundan $A = B + U$ olur. Diğer taraftan, $B \cap U \leq (B + \delta(A)) \cap U \ll_\delta U$ olduğundan U, B nin A da direkt toplam terimi olacak şekilde δ -tümleyenidir. Sonuç olarak A $\oplus -\delta$ -tümlenmiş modüldür.

Sonuç 11: A, δ -eşatomik modül olsun. A modülünün güçlü $\oplus -\delta$ -radikal tümlenmiş olması için gerekli ve yeterli koşul A nın $\oplus -\delta$ -tümlenmiş olmasıdır.

Önerme 12: A parçalanamaz ve $\delta(A) \neq A$ koşulunu gerçekleyen güçlü $\oplus -\delta$ -radikal tümlenmiş modül olsun. Bu takdirde $\delta(A) \ll_\delta A$ dir.

İspat: A güçlü $\oplus -\delta$ -radikal tümlenmiş modül olduğundan $\delta(A) + B = A, \delta(A) \cap B \ll_\delta B$ ve $A = B \oplus B'$ olacak şekilde $B, B' \leq A$ vardır. Ayrıca A parçalanamaz olduğundan $B = 0$ veya $B = A$ olmalıdır. $B = 0$ ise $\delta(A) = A$ çelişkisi elde edilir. Bu durumda $B = A$ olmalıdır. $\delta(A) \cap B \ll_\delta B$ için $\delta(B) \ll_\delta B$ olup $\delta(A) \ll_\delta A$ bulunur.

Aşağıdaki önerme güçlü $\oplus -\delta$ -radikal tümlenmiş bir modülün faktör modülünün de belli şartlar altında güçlü $\oplus -\delta$ -radikal tümlenmiş modül olduğunu gösterir.

Önerme 13: A güçlü \oplus - δ -radikal tümlenmiş modül olsun. $B \leq A$ karakteristik alt modül ise $\frac{A}{B}$ bölüm modülü güçlü \oplus - δ -radikal tümlenmiştir.

İspat: $B \leq A$ karakteristik alt modülü ve $\frac{N}{B} \leq \frac{A}{B}$ faktör modülü; $\delta(\frac{A}{B}) \leq \frac{N}{B}$ olacak şekilde herhangi bir alt modülü olsun. $\alpha: A \rightarrow \frac{A}{B}$ doğal epimorfizması için $\alpha(\delta(A)) = \frac{\delta(A)+B}{B} \leq \delta(\frac{A}{B}) \leq \frac{N}{B}$ olduğundan $\delta(A) \leq N$ olduğu kolayca görülür. A güçlü \oplus - δ -radikal tümlenmiş olduğundan $A = N + S$, $N \cap S \ll_{\delta} S$ ve $A = S \oplus S'$ olacak şekilde $S, S' \leq A$ vardır. Buna göre S, N nin A da δ -tümleneni olduğundan $\frac{S+B}{B}, \frac{N}{B}$ nin $\frac{A}{B}$ de δ -tümleneni olur. Ayrıca $A = S \oplus S'$ ve $B \leq A$ karakteristik alt modül olduğundan $B = (S \cap B) \oplus (S' \cap B)$ olur. Buradan $\frac{A}{B} = \frac{S \oplus B}{B} \oplus \frac{S' \oplus B}{B}$ olduğunu gösterelim. $A = S \oplus S' \Rightarrow A = S + S' \Rightarrow \frac{A}{B} = \frac{S+B}{B} + \frac{S'+B}{B}$ olduğu açıktır. $B = (S \cap B) \oplus (S' \cap B)$ olduğu göz önüne alınarak

$$\frac{S+B}{B} \cap \frac{S'+B}{B} = \frac{S+[(S \cap B)+(S' \cap B)]}{B} \cap \frac{S'+[(S \cap B)+(S' \cap B)]}{B} =$$

$$\frac{S+(S' \cap B)}{B} \cap \frac{S'+(S \cap B)}{B} = \frac{[(S+(S' \cap B)) \cap S']+(S \cap B)}{B} =$$

$$\frac{[(S' \cap B)+(S \cap S')] + (S \cap B)}{B} = \frac{(S \cap B)+(S' \cap B)}{B} = 0 \quad \text{olduğundan}$$

$$\frac{S+B}{B} \leq_{\oplus} \frac{A}{B} \text{ olup } \frac{A}{B} \text{ güçlü } \oplus\text{-}\delta\text{-radikal tümlenmiştir.}$$

Sonuç 14: A güçlü \oplus - δ -radikal tümlenmiş modül ise $\frac{A}{\delta(A)}$ yarı basittir.

İspat: $\delta(A) \leq A$ karakteristik alt modül olduğundan açıkça görülür.

Önerme 15: A bir modül olsun. Bu takdirde $\delta(P_{\delta}(A)) = P_{\delta}(A)$ dir.

İspat: $\delta(P_{\delta}(A)) \leq P_{\delta}(A)$ olduğu açıktır. Tersine $a \in P_{\delta}(A)$ olsun. $P_{\delta}(A) = \sum_{\substack{N \leq A \\ \delta(N)=N}} N$ olduğundan $a = k_{i_1} + k_{i_2} + \dots + k_{i_n}$ olacak şekilde $k_{i_j} \in N_{i_j}$ ($j = 1, 2, \dots, n$) vardır. $N_{i_j} = \delta(N_{i_j})$ olduğundan $k_{i_j} \in \delta(N_{i_j})$ için $R_{k_{i_j}} \ll_{\delta} N_{i_j}$ dir. Buradan [5] (Lemma 1.2) gereği $Ra \ll_{\delta} N_{i_1} + N_{i_2} + \dots + N_{i_n} \leq P_{\delta}(A)$ olup $Ra \ll_{\delta} P_{\delta}(A) \Rightarrow a \in \delta(P_{\delta}(A))$ elde edilir. Bu ise $P_{\delta}(A) \leq \delta(P_{\delta}(A))$ olması demektir. Sonuç olarak $\delta(P_{\delta}(A)) = P_{\delta}(A)$ olup $P_{\delta}(A)$, A nın en büyük δ -radikal alt modülüdür.

Önerme 16: A \oplus - δ -radikal tümlenmiş modül ise $\frac{A}{P_{\delta}(A)}$ \oplus - δ -radikal tümlenmiştir.

İspat: $\alpha: A \rightarrow \frac{A}{P_{\delta}(A)}$ doğal homomorfizması için $\alpha(\delta(A)) \leq \delta(\frac{A}{P_{\delta}(A)})$ olacağından $\frac{\delta(A)+P_{\delta}(A)}{P_{\delta}(A)} = \frac{\delta(A)}{P_{\delta}(A)} \leq \delta(\frac{A}{P_{\delta}(A)})$ dir. $\delta(\frac{A}{P_{\delta}(A)}) \leq \frac{N}{P_{\delta}(A)} \leq \frac{A}{P_{\delta}(A)}$ için $\delta(A) \leq N$ ve

$A \oplus$ - δ -radikal tümlenmiş olduğundan $\delta(A) + N = A$, $\delta(A) \cap N \ll_{\delta} N$ ve $A = N \oplus N'$ dir. Bu durumda $\frac{N+P_{\delta}(A)}{P_{\delta}(A)}, \frac{\delta(A)}{P_{\delta}(A)}$ nin $\frac{A}{P_{\delta}(A)}$ de bir δ -tümleneni olur. Ayrıca, $\frac{A}{P_{\delta}(A)} = \frac{N+P_{\delta}(A)}{P_{\delta}(A)} + \frac{N'+P_{\delta}(A)}{P_{\delta}(A)}$ ve $\frac{N+P_{\delta}(A)}{P_{\delta}(A)} \cap \frac{N'+P_{\delta}(A)}{P_{\delta}(A)} = \frac{(N \cap N') + P_{\delta}(A)}{P_{\delta}(A)} = 0$ olup $\frac{N+P_{\delta}(A)}{P_{\delta}(A)}, \frac{A}{P_{\delta}(A)}$ nin bir direkt toplam terimidir. Sonuç olarak, $\frac{A}{P_{\delta}(A)}$ \oplus - δ -radikal tümlenmiştir.

Önerme 17: A güçlü \oplus - δ -radikal tümlenmiş modül ve $\frac{A}{\delta(A)}$ projektif olsun. Bu takdirde $\delta(A)$ nın \oplus - δ -tümlenmiş olması için gerekli ve yeterli koşul A nın \oplus - δ -tümlenmiş olmasıdır.

İspat: (\Rightarrow): $\frac{A}{\delta(A)}$ projektif olduğundan $0 \rightarrow \delta(A) \rightarrow A \rightarrow \frac{A}{\delta(A)} \rightarrow 0$ kısa tam dizisi parçalanabilir [1]. Bu durumda $A \cong \delta(A) \oplus \frac{A}{\delta(A)}$ yazılır. Dolayısıyla $B \cong \frac{A}{\delta(A)}$ koşulunu sağlayan $B \leq A$ alt modülü için $A = \delta(A) \oplus B$ yazılır. A güçlü \oplus - δ -radikal tümlenmiş modül olduğundan Sonuç 14 gereği $\frac{A}{\delta(A)} \cong B$ yarıbasittir. Dolayısıyla B, \oplus - δ -tümlenmiştir. Hipotezden $\delta(A) \oplus$ - δ -tümlenmiş olduğundan, sonlu toplamları olan A da \oplus - δ -tümlenmiş modüldür [8].

(\Leftarrow): $A \oplus$ - δ -tümlenmiş modül olsun. $\delta(A) \leq A$ bir direkt toplam terimi ve karakteristik alt modülü olduğundan [12] (Teorem 2.9) gereği iddia açıktır.

Önerme 18 ve Teorem 21 de (güçlü) \oplus - δ -radikal tümlenmiş bir modülün belli özellikli alt modüllerinin de (güçlü) \oplus - δ -radikal tümlenmiş olabileceği gösterilecektir.

Önerme 18: A güçlü \oplus - δ -radikal tümlenmiş modül ve C, A nın dual sonlu karakteristik alt modülü olsun. Eğer $C \leq_{\oplus} A$ ise C güçlü \oplus - δ -tümlenmiş modüldür.

İspat: L, C modülünün $\delta(C) \leq L$ olacak şekilde herhangi bir alt modülü olsun. $C \leq A$ dual sonlu ve direkt toplam terimi olduğundan $A = C \oplus U$ olacak şekilde sonlu üretilmiş $U \leq A$ vardır. U sonlu üretilmiş olduğundan $\delta(U) \ll_{\delta} U$ [13]. Ayrıca $A = C \oplus U$ olduğundan $\delta(A) = \delta(C) \oplus \delta(U)$ olup $\delta(C) \leq L \Rightarrow \delta(C) + \delta(U) \leq L + \delta(U) \Rightarrow \delta(A) \leq L + \delta(U) \leq A$ olur. Buradan hipotez gereği A güçlü \oplus - δ -radikal tümlenmiş modül olduğundan $(L + \delta(U)) + N = A$, $(L + \delta(U)) \cap N \ll_{\delta} N$ ve $A = N \oplus N'$ olacak şekilde $N, N' \leq A$ vardır. $(L + N) + \delta(U) = A$, $\delta(U) \ll_{\delta} A$ ise $\exists Y \leq \delta(U)$ projektif yarı basit alt modülü için $(L + N) \oplus Y = A \Rightarrow L + (N \oplus Y) = A \Rightarrow [L + (N \oplus Y)] \cap C = A \cap C \Rightarrow L + [(Y \oplus N) \cap C] = C \Rightarrow L + [(Y \cap C) \oplus (N \cap C)] = L + (N \cap C) = C$ dir. (Çünkü $Y \leq \delta(U) \leq U$ ve $Y \leq U \Rightarrow Y \cap C \leq U \cap C \Rightarrow Y \cap C = 0$). Buradan $L \cap (C \cap N) = L \cap N \leq (L + \delta(U)) \cap N \ll_{\delta} N \Rightarrow L \cap (C \cap N) \ll_{\delta} A$ dir. $C \leq A$ karakteristik alt modülü olduğundan $C = (C \cap N) \oplus$

$(C \cap C')$ dir. Ayrıca, $L \cap (C \cap N) \leq A$ bir δ -tümleyen, $L \cap (C \cap N) \leq C \cap N \leq A$ ve $C \cap N \leq_{\oplus} A$ olduğundan $L \cap (C \cap N) \ll_{\delta} C \cap N$ olur. O halde C güçlü \oplus - δ -radikal tümlenmiştir.

Sonuç 19: A güçlü \oplus - δ -radikal tümlenmiş ve $\delta(A)$, A nın dual sonlu ve direkt toplam terimi olacak şekilde bir alt modülü olsun. Bu takdirde $\delta(A)$ güçlü \oplus - δ -radikal tümlenmiş olur.

Yardımcı Teorem 20: A bir modül ve $\delta(A) \leq B \leq A$ olsun. $B \leq_{\oplus} A \Rightarrow \delta(A) = \delta(B)$ dir.

İspat: $B \leq_{\oplus} A \Rightarrow A = B \oplus B'$ olacak şekilde $\exists B' \leq A$ vardır. Bu durumda $\delta(A) = \delta(B) \oplus \delta(B')$ olup $\delta(A) \cap B = [\delta(B) \oplus \delta(B')] \cap B \Rightarrow \delta(A) = \delta(B) \oplus [\delta(B') \cap B]$ elde edilir. Buradan $\delta(B') \cap B \leq B' \cap B = 0 \Rightarrow (\delta(B') \cap B) = 0 \Rightarrow \delta(A) = \delta(B)$ bulunur.

Hatırlatmak gerekirse bir A modülü, $A = A_1 + A_2$ koşulunu sağlayan $A_1, A_2 \leq_{\oplus} A$ için $A_1 \cap A_2 \leq_{\oplus} A$ oluyorsa A modülü (D_3) özelliğini sağlıyor denir.

Teorem 21: A (D_3) koşulunu gerçekleyen güçlü \oplus - δ -radikal tümlenmiş modül ve B, A modülünün $\delta(A) \leq B$ olacak şekilde bir alt modülü olsun. $B \leq_{\oplus} A$ ise B güçlü \oplus - δ -radikal tümlenmiştir.

İspat: $\delta(B) \leq L \leq B$ olacak şekilde herhangi bir alt modül olsun. $\delta(A) \leq B$ ve $B \leq_{\oplus} A$ ise Yardımcı Teorem 20 gereği $\delta(A) = \delta(B)$ olup $\delta(A) \leq L$ olur. A güçlü \oplus - δ -radikal tümlenmiş olduğundan, $A = L + N, L \cap N \ll_{\delta} N$ ve $A = N \oplus N'$ olacak şekilde $N, N' \leq A$ vardır. $A = L + N$ için modüler kuraldan $B = A \cap B = (L + N) \cap B = L + (N \cap B)$ dir. Ayrıca $A = B + N, B \leq_{\oplus} A$ ve $N \leq_{\oplus} A$ olup A (D_3) özelliğine sahip olduğundan $B \cap N \leq_{\oplus} A$ dir. Bu durumda bir $X \leq A$ için $A = (B \cap N) \oplus X$ dir. $L \cap (B \cap N) \leq L \cap N \ll_{\delta} N$ olduğundan $L \cap (B \cap N) \ll_{\delta} A$ dir. Ayrıca $B \cap N \leq_{\oplus} A$ olduğundan $L \cap (B \cap N) \ll_{\delta} B \cap N$ dir. Sonuç olarak $B \cap N, L$ nin B de bir δ -tümleyenidir. Ayrıca, Modüler kural gereği $B \leq A$ için $A = (B \cap N) \oplus X$ iken $B = (B \cap N) \oplus (B \cap X)$ olup $B \cap N \leq_{\oplus} A$ dir. Dolayısıyla B güçlü \oplus - δ -radikal tümlenmiş modüldür.

Teorem 22: A parçalanamaz modül olsun. A güçlü \oplus - δ -radikal tümlenmiş modül ise $\delta(A) = A$ ya da A δ -lokaldir.

İspat: Kabul edelim ki $\delta(A) \neq A$ olsun. Bu takdirde $\frac{A}{C}$ tekil olacak şekilde $\exists C \leq A$ maksimal alt modülü vardır. A güçlü \oplus - δ -radikal tümlenmiş modül ve $\delta(A) \leq C$ olduğundan $A = C + N, C \cap N \ll_{\delta} N$ ve $A = N \oplus N'$ olacak şekilde $N, N' \leq A$ vardır. $C \leq A$ maximal ve N, C nin A da δ -tümleyeni olduğundan [14] (Lemma 2.22) gereği N δ -lokal ya da projektif yarı basittir. A parçalanamaz modül olduğundan $A = N \oplus N'$ için $N = 0$ veya $N = A$ dir. $N = 0 \Rightarrow A = C$ bulunur ki bu durum C nin maksimalliği ile çelişir. O

halde $N = A$ olmalıdır. Bu durumda A δ -lokal ya da projektif yarı basittir. $\delta(A) \neq A$ olduğundan A projektif yarı basit olamaz. A δ -lokaldir.

Önerme 23: A direkt toplam terimi özelliğine sahip bir modül olsun. A güçlü \oplus - δ -radikal tümlenmiş modül ise A \oplus - δ -dual sonlu tümlenmiştir.

İspat: Teo 2.7 [12] gereği A modülü DTT özelliğine sahip olduğundan A nın her L maksimal alt modülünün A da direkt toplam terimi olacak şekilde bir δ -tümleyeninin varlığını göstermek yeterlidir. $\forall L \leq A$ maksimal alt modülü için $\delta(A) \leq L \vee \delta(A) \not\leq L$. $\delta(A) \leq L$ ise A güçlü \oplus - δ -radikal tümlenmiş modül olduğundan L, A da direkt toplam terimi olacak şekilde bir δ -tümleyene sahiptir. $\delta(A) \not\leq L$ ise $\exists a \in \delta(A)$ için $a \notin L$ dir. $L \leq A$ maksimal olduğundan $L + Ra = A$ dir. $a \in \delta(A)$ olduğundan $Ra \ll_{\delta} A$ olur. Bu durumda $\exists D \leq Ra$ projektif yarı basit alt modülü için $L \oplus D = A$ olup D, L nin A da direkt toplam terimi olacak şekilde δ -tümleyenidir. Sonuç olarak A \oplus - δ -dual sonlu tümlenmiştir.

Önerme 24: A bir modül ve $\delta(A) \leq A$ dual sonlu alt modülü olsun. A, \oplus - δ -dual sonlu tümlenmiş modül ise A güçlü \oplus - δ -radikal tümlenmiştir.

İspat: B, A modülünün $\delta(A) \leq B$ koşulunu gerçekleyen keyfi bir alt modülü olsun. $\frac{A}{\delta(A)}$ sonlu üretilmiş olduğundan $\frac{A/\delta(A)}{B/\delta(A)} \cong \frac{A}{B}$ sonlu üretilmiş olur.

Hipotez gereği A, \oplus - δ -dual sonlu tümlenmiş olduğundan B, A modülünde direkt toplam terimi olacak şekilde δ -tümleyene sahiptir. Dolayısıyla A güçlü \oplus - δ -radikal tümlenmiştir.

Önerme 23 ve Önerme 24 gereği aşağıdaki sonuç verilebilir.

Sonuç 25: A eş modül ve $\delta(A) \leq A$ dual sonlu alt modülü olsun. A modülünün güçlü \oplus - δ -radikal tümlenmiş olması için gerekli ve yeterli koşul A modülünün \oplus - δ -dual sonlu tümlenmiş olmasıdır.

Önerme 26: A parçalanamaz modül olsun. Bu takdirde A nın \oplus - δ -radikal tümlenmiş olması için gerekli ve yeterli koşul $\delta(A) \ll_{\delta} A$ veya $\delta(A) = A$ olmasıdır.

İspat: A parçalanamaz modülü \oplus - δ -radikal tümlenmiş olsun. Bu durumda $\delta(A) + B = A, \delta(A) \cap B \ll_{\delta} B$ ve $A = B \oplus B'$ olacak şekilde $\exists B, B' \leq A$ vardır. A parçalanamaz olduğundan $B = 0 \vee B = A$ dir. Eğer $B = 0 \Rightarrow \delta(A) = A$ dir. Eğer $B = A$ ise $\delta(A) \cap B = \delta(B) = \delta(A) \ll_{\delta} A$ dir. Tersine $\delta(A) = A$ olsun. Bu durumda A δ -radikal modül olduğundan Önerme 1 gereği iddia açıktır. $\delta(A) \ll_{\delta} A$ olsun. Bu durumda $\delta(A) + L = A$ olacak şekilde bir $L \leq A$ için hipotez gereği $H \oplus L = A$ olacak şekilde

projektif yarı basit bir $H \leq \delta(A)$ vardır. A parçalanamaz olduğundan $H = 0$ veya $H = A$ dir. $H = 0 \Rightarrow L = A, \delta(A)$ nın A da direkt toplam terimi olacak şekilde δ -tümlenendir. $H = A$ ise $L = 0 \Rightarrow A = \delta(A)$ olup Önerme 1 gereği $A, \oplus - \delta$ -radikal tümlenmiştir.

Aşağıdaki önermede güçlü $\oplus - \delta$ -radikal tümlenmiş modüllerin δ -yarı mükemmel halkalar üzerinde bir karakterizasyonu verilmektedir.

Önerme 27: R direkt toplam terimi özelliğine sahip bir halka olsun. R nin δ -yarı mükemmel halka olması için gerekli ve yeterli koşul her sonlu üretilmiş serbest R -modülünün güçlü $\oplus - \delta$ -radikal tümlenmiş olmasıdır.

İspat: (\Rightarrow): $I = \{1, 2, \dots, n\}$ bir indis kümesi ve $F = R^{(I)}$ sonlu üretilmiş serbest R -modül olsun. R, δ -yarı mükemmel olduğundan [8] (Lemma 3.5) gereği $\oplus - \delta$ -tümlenmiştir. Dolayısıyla ${}_R R$ güçlü $\oplus - \delta$ -radikal tümlenmiş modüldür. Sonlu sayıda güçlü $\oplus - \delta$ -radikal tümlenmiş modülün toplamıda güçlü $\oplus - \delta$ -radikal tümlenmiş olduğundan F için iddia doğrulanır.

(\Leftarrow): Her sonlu üretilmiş serbest R -modül güçlü $\oplus - \delta$ -radikal tümlenmiş olsun. Bu durumda ${}_R R$ güçlü $\oplus - \delta$ - radikal tümlenmiştir. ${}_R R$ sonlu üretilmiş olduğundan $\delta(R) \ll_\delta R$ olup Önerme 2 gereği ${}_R R \oplus - \delta$ -tümlenmiştir. [8] (Lemma 3.5) gereği R δ -yarı mükemmel halkadır.

Güçlü \oplus -radikal tümlenmiş her halka $\oplus - \delta$ -radikal tümlenmiştir. Aşağıda tersinin her zaman gerçekleşmeyeceği bir örnekle doğrulanmaktadır.

Örnek: $T = \prod_{i=1}^{\infty} \mathbb{Z}_2, R = \langle \oplus_{i=1}^{\infty} \mathbb{Z}_2, 1_T \rangle \leq R$ olsun R regüler olan ancak yarı mükemmel olmayan bir halka örneğidir. Bu durumda [15] (Cor. 2.4) gereği R üzerinde güçlü \oplus -radikal tümlenmiş olmayan sonlu üretilmiş serbest bir A modülü mevcuttur. Diğer yandan regüler R halkası üzerindeki her serbest modül regüler olduğundan ${}_R R$ regülerdir [15]. Dolayısıyla direkt toplam terimi özelliğine sahiptir. Diğer yandan ${}_R R \delta$ - yarı mükemmel halka olduğundan Önerme 27 gereği A R -modülü güçlü $\oplus - \delta$ -radikal tümlenmiştir.

R bir Dedekind Bölgesi ve D, R nin sıfırdan farklı bir ideali olsun. $n \in \mathbb{N}$ olacak şekilde $K_D(1, 2, \dots, n)$ notasyonu ile $\frac{R}{D}, \frac{R}{D^2}, \dots, \frac{R}{D^n}$ kopyalarının direkt toplamı gösterilecektir.

Önerme 28: R ayrık değerlendirme halkası ve $A, RadA \ll A$ olacak şekilde bir R -modül olsun.

1. $A \oplus$ -tümlenmiştir.
2. A güçlü \oplus -radikal tümlenmiştir.
3. A güçlü $\oplus - \delta$ -radikal tümlenmiştir.
4. $A \oplus - \delta$ -tümlenmiştir.

5. x, y, z ve n doğal sayılar olmak üzere $A = R^x \oplus K^y \oplus Q \oplus B_p(1, 2, \dots, n)$ şeklindedir.

İspat: (1) \Rightarrow (2) \Rightarrow (3) tanımlar gereği açıktır. (3) \Rightarrow (4) Önerme 10 dan açıktır. (4) \Rightarrow (5) \Rightarrow (1) [12] (Teorem 5.4) den açıktır.

Örnek: z -modül z modülünün δ -eşatomik modül olduğu [16] (Example 2.19(3)) den görülebilir. Ayrıca [16] (Lemma 2,3) gereği, $\delta(z) \ll z$ olduğu da göz önüne alınırsa Önerme 5 gereği z -modül z nin $\oplus - \delta$ -radikal tümlenmiş modül olduğu doğrulanır. İlaveten, bu örneğin Önerme 4 ü de somutlaştırdığı görülebilir.

4. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada kurgulanan tanımların ışığında, verilen bir A modülü için aşağıdaki diyagram elde edilir. Güçlü \oplus -radikal tümlenmiş modül \Rightarrow güçlü $\oplus - \delta$ -radikal tümlenmiş modül $\Rightarrow \oplus - \delta$ -radikal tümlenmiş modül \oplus -srs-modüllerin sınıfı ile güçlü $\oplus - \delta$ -radikal tümlenmiş modüllerin sınıfı arasındaki kapsamanın öz olmasının vurgulanmasının yanısıra ayrık değerlendirme halkası üzerinde $Rad(A) \ll A$ koşulunu gerçekleyen M modülleri için bu kavramların denkleğinin gösterilmesi oldukça önemlidir.

Teşekkür

Bu çalışmanın geliştirilmesine ve değerlendirilmesine katkı sağlayan değerli hakemlere teşekkürü bir borç biliriz.

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] Wisbauer, R. 1991. Foundations of Module and Ring Theory. Revised and Updated English Edition, Gordon and Breach, Philadelphia
- [2] Zöschinger, H. 1975. Moduln die in jeder Erweiterung ein Komplement Haben. Mathematica Scandinavica, 35, 267-287
- [3] Zöschinger, H. 1974a. Komplementierte Moduln über Dedekindringen. Journal of Algebra, 29, 42-56.
- [4] Mohamed, S.H., Müller, B.J. 1990. Continuous and Discrete Modules. London Mathematical Society Lecture Note Series, Cambridge University Press, Cambridge, UK
- [5] Zhou, Y. 2000. Generalizations of Perfect, Semiperfect and Semiregular Rings. Algebra Colloquium, 7(3), 305-318.

- [6] Sözen, Ö. E., Eren, Ş. 2018. Modules That Have a Generalized δ -Supplement in Every Cofinite Extension. JP Journal of Algebra Number Theory and Applications, 40(3).
- [7] Koşan, M. T. 2007. δ -Lifting and δ -Supplemented Modules. Algebra Colloquium, 14(1), 53-60.
- [8] Talebi, Y., Pour, M. H. 2009. On \oplus - δ -Supplemented Modules. Journal of Algebra Number Theory: Advances and Applications, 1(2), 89-97.
- [9] Büyükaşık, E., Türkmen, E. 2012. Strongly Radical Supplemented Modules. Ukrainian Mathematical Journal, 63(8), 1306-1313.
- [10] Türkmen, B. N., Pancar, A. 2013. Strongly Radical \oplus -Supplemented Modules. Ukrainian Mathematical Journal, 65(4), 612-622.
- [11] Eryılmaz, F. 2017. Strongly Generalized (Weakly) δ -Supplemented Modules. Vasile Alecsandri University of Bacau, Faculty of Sciences, Scientific Studies and Research, Series Mathematics and Informatics, 27(1), 21-32.
- [12] Tribak, R., Talebi, Y., Hamzekolaei, A.R.M., Asgari, S. 2016. \oplus -Supplemented Modules Relative to an Ideal, Hacettepe Journal of Mathematics and Statistics, 45(1), 107-120.
- [13] Tribak, R. 2012. Finitely Generated δ -Supplemented Modules are Amply δ -Supplemented. Bulletin of Australian Mathematical Society, 86, 430-439.
- [14] Tribak, R. 2013. On δ -Local Modules and Amply δ -Supplemented Modules. Journal of Algebra and Its Applications, 12(2), 1250144.
- [15] Lee, G., Rizvi, T. S., Roman, C. 2013. Modules Whose Endomorphism Rings are Von-Neuman Regular. Communications Algebra, 41(11), 4066-4088.

Forced Degradation Studies to Assess the Stability of a Janus Kinase Inhibitor Using RPLC Method

Hulya YILMAZ*¹

¹Sabancı University, Nanotechnology Research and Application Center (SUNUM), 34956, Istanbul, Turkey

(Alınış / Received: 16.11.2020, Kabul / Accepted: 15.03.2021, Online Yayınlanma / Published Online: 15.04.2021)

Keywords

Chromatography,
Tofacitinib,
RPLC,
Method validation,
Drug formulation,
Forced degradation

Abstract: In optimization studies, it is important to study the retention behavior of the compounds containing the ionizable functional groups under the intended chromatographic conditions. In this study, the influence of pH and acetonitrile (ACN) composition in the mobile phase on chromatographic behavior of tofacitinib (TOF), a Janus kinase (JAK) inhibitor, was thoroughly investigated. First, the chromatographic conditions were optimized using retention factors and pK_a values. Then, the developed method was used for the stability studies under various stress conditions, and for the estimation of TOF concentration in tablets. Finally, the method was verified using the International Conference on Harmonization procedure (ICH-Q2) and was successfully used to separate the TOF degradation products. A linearity range, the limits of detection and quantification were confirmed as 2.0-12.0, 0.416, and 1.260 µg/mL, respectively. Between-day and within-day accuracy (RSD%) were found to be as 0.290 and 0.462 for 4 µg/mL, respectively. The result indicates that the developed method is rather effective to isolate the parent drug from the degradation elements.

Janus Kinase İnhibitörünün Stabilitesini Değerlendirmeye Yönelik RPLC Metodu Kullanılarak Yapılan Zorunlu Bozunma Çalışmaları

Anahtar Kelimeler

Kromatografi,
Tofasitinib,
RPLC,
Metot validasyonu,
İlaç formülasyonu,
Zorlanmış bozunma

Özet: Optimizasyon çalışmalarında, iyonlaşabilen bir fonksiyonel grup içeren bileşiklerin belli kromatografik koşullar altında alıkonma davranışlarını incelemek önemlidir. Bu çalışma da, janus kinaz (JAK) inhibitörü olan tofasitinibin (TOF) kromatografik davranışlarında mobil faz asetonytril (ACN) bileşiminin ve pH'ın etkisi kapsamlıca araştırılmıştır. Öncelikle, pK_a ve alıkonma faktörü değerleri kullanılarak kromatografik şartlar optimize edilmiştir. Ardından, geliştirilen metot çeşitli stres testleri altında stabilite çalışmaları ve tabletteki tofasitinibin konsantrasyon belirlenmesinde kullanılmıştır. Son olarak, metot Uluslararası Uyumlaştırma Konferansı (Q2) kılavuzuna göre valide edilmiş ve tofasitinibin bozunma ürünlerinin ayrılmasında başarılı olarak kullanılmıştır. Lineer aralık, tespit ve tayin limitleri sırasıyla 2.0-12.0, 0.416, and 1.260 µg/mL, olarak elde edilmiştir. Gün içi, günler arası doğruluk (RSD%), 4 µg/mL için sırasıyla 0.290 and 0.462 µg/mL bulunmuştur. Bu sonuçlara göre, geliştirilen metot bozunma ürünlerinden ana ilacı ayırmak için oldukça etkilidir.

1. Introduction

The Janus kinase (JAK) family consists of four nonreceptor protein tyrosine kinases: tyrosine kinase 2 (TYK2), JAK3, JAK2 and JAK1 [1]. JAK pathways are normally involved in development, survival, differentiation, and growth of a variety of cells, but are crucially important for hematopoietic and immune cells. These pathways lead to cytokine production, which is responsible for the loop of

inflammation. If proinflammatory cytokines produce redundantly, several autoimmune diseases arise. Therefore, inhibitors of the JAK pathway are potential therapeutics as immunomodulator drugs including TOF (Figure 1). TOF is an oral JAK inhibitor for the therapy of ulcerative colitis [2], psoriasis [3], alopecia [4], and rheumatoid arthritis [5].

Various methods are employed to predict the retention behavior of an ionizable drug molecule

under chromatographic conditions. Today, reversed phase liquid chromatography (RPLC) is the most common way for drug analysis regardless of the ionic status of drug molecule [6]. The RPLC based approach is preferred since it can provide structural information in a short time [7]. During method optimization, the principal target is to ensure optimal separation conditions. For an ionizable analyte, column, mobile phase type, organic solvent composition, and pH are the most important factors targeted for optimization of chromatographic conditions [8-11].

11

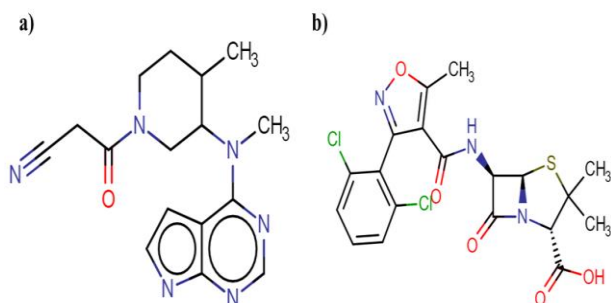


Figure 1. Chemical structure of **a)** TOF, **b)** Dicloxacillin

The forced degradation study is a significant step in drug production since it contributes to knowledge on the degradation profile of drug molecules. It is also important for method validation studies [8,12]. Since a Diode Array Detector (DAD) is very efficient in confirming peak purity, an HPLC instrument equipped with a DAD is routinely used to separate a drug from its degradation elements in a chemical environment including hydrolysis, oxidation, photolysis and thermal stress recommended by ICH [13].

For drugs with an ionizable functional group, a working range of $pK_a \pm 1.5$ for a chromatographic separation is recommended [11, 14]. The drug molecules at this pH range are ionized making the retention time much shorter at lower organic mobile compositions. There are several reports demonstrating the determination of TOF in biological samples and pharmaceutical formulations [13,15-18]. The forced degradation studies of TOF were also reported using RPLC and LC/MS-MS methods [18, 19]. However, there is no procedure detailing the optimization using the chromatographic behavior of TOF in the literature. This study aims to fill this gap as an extension of my previous study with my colleague that we determined the pK_a value of TOF in the water-ACN binary mixture [11]. In this study, organic modifying element and pH of mobile phase on retention behavior of TOF along with its degradation products was investigated with the aim of developing a more accurate, precise and reliable method. Then, the degradation products of TOF under forced circumstances were investigated.

2. Material and Method

2.1. Instruments and tools

The instrument utilized was a Japan-originated Shimadzu HPLC system, formed by a pump (LC-20AD), a DAD (SPDM20A), degasifier (DGU-20A3), and a column heater (CTO-10AS VP). Chromatographic determinations were realized on the Kinetex EVO C18 core-shell (150×4.6 mm, 5 μ m, I.D.) column (Phenomenex, USA). HPLC grade water needed to prepare the solutions was acquired from Millipore (Direct Q3 UV, France). pH measurements were made by a glass electrode (In Lab 412) attached to a Mettler Toledo MA 235 pH meter (Switzerland).

2.2. Chemicals and reagents

TOF and dicloxacillin (Figure 1b) (internal standard, IS) were purchased from Sigma-Aldrich (St. Louis, MO). sodium hydroxide (NaOH), Acetonitrile (ACN), potassium hydrogen phthalate (KHP), hydrogen peroxide (H_2O_2), hydrochloric acid (HCl), uracil and orthophosphoric acid were supplied by Merck (Darmstadt, Germany). KHP is utilized as the standard buffer component to calibrate the pH electrode in water-ACN mixtures [20, 21].

2.3. Liquid chromatographic conditions

In this study, the water-ACN binary mixtures at increasing proportions of organic solvents (30%, 35% and 40%, v/v) were used as mobile phase for understanding the effect of ACN in the binary mobile phase mixtures on the retention of TOF. For each composition, the pH values from 3.0 to 7.0 were adjusted by adding 1.0 M NaOH using 25 mM (concentration after mixing the acetonitrile-water binary mixtures) orthophosphoric acid as buffer solution since the orthophosphoric acid has a third pK_a value of ~ 12 . Retention factors for each compound and mobile phase were calculated using the expression $k = (t_R - t_0) / t_0$ [22]. The dead time (t_0) was measured by injecting uracil solution (0.1%, in water), which was established for each mobile phase composition and pH studied. The chromatographic analysis was carried out when the flow rate was 1.0 mLmin⁻¹ and the injection volume was 20 μ L. The column temperature at which the peak symmetries were excellent was set as 30 °C. The detection wavelength was 287 nm.

2.4. Preparing the standard solutions

Solubility of TOF is first studied in a water-ACN binary mixture since its solubility is critical for qualitative and quantitative analysis. The major stock solutions of IS and TOF obtained at 50 μ g mL⁻¹ are kept away from light and stored at 4 °C. For the calibration curve, the TOF solutions in the range of

2.0 to 12.0 $\mu\text{g mL}^{-1}$ are prepared. The concentration of IS was kept constant at 1.0 $\mu\text{g mL}^{-1}$ throughout the study.

2.5. Sample solution

Ten TOF (Xeljanz™ 5 mg) tablets are thoroughly crushed in a porcelain mortar and 100.0 mg of drug was added into 100 mL volumetric flask holding 50 mL acetonitrile-water binary mixture and sonicated for 30 min. Following, the volume was increased to 100 mL using the same binary mixture and filtered to prepare the stock solution. Then, IS was added to this solution and the new concentration was calculated.

2.6. Forced degradation conditions

Hydrolytic degradation of TOF was separately executed under acidic and basic conditions by adding 1 mL HCl (0.1 M) and NaOH (0.1 M) respectively into 2 mL of TOF stock solution. The same procedure was repeatedly carried out at room temperature for 2, 6, 12, 24, 48 hours. For oxidative stress study, 2 mL of TOF stock solution was treated with 1 mL of 3% (v/v) H_2O_2 at room temperature for 2, 6, 12, 24, 48 hours. For thermal and photolytic degradation studies, the drug substance in solid form was used. For the thermal stress experiments, precisely measured 0.0001 g of TOF was transferred into a glass plate and kept in the hot oven for both 2 and 4 hours at 30, 40, 50 °C. After the heating, a certain amount was taken in a 25 mL flask containing acetonitrile-water binary mixture to make a concentration at 25 $\mu\text{g mL}^{-1}$. For the photolytic degradation, TOF was exposed to 254 nm, 200 Watt.hrs/m² UV light in a UV cabinet for 2, 4, 6 hours at room temperature. The stressed samples were diluted using acetonitrile-water binary mixture to get the final concentration of TOF at 10 $\mu\text{g mL}^{-1}$ and injected in the RPLC system. Acid and base degradation samples were neutralized using an equal molar concentration of base and acid prior to RPLC analysis

3. Results

3.1. RPLC method optimization and validation

Forced degradation studies are performed as a part of the drug development process. In this study, the new RPLC method was developed and validated to determine the stability of TOF under the forced degradation conditions. ACN was chosen as an organic modifier in the mobile phase due to the several advantages over methanol such as higher purity, lower back pressure and a higher elution strength. In general, using LC grade acetonitrile is the safest choice. Kinetex EVO C18 core-shell (150×4.6 mm, 5 μm I.D.), a new generation liquid chromatographic column, was selected particularly due to its high stability and excellent peak symmetry for basic compounds. In order to determine the pK_a

value, the TOF retention factor (k) in the water-ACN binary mixture was taken into consideration. For this, the retention time at constant column temperature and the flow rate was measured, in particular, under acidic pH (3.5-7.0) conditions. The sigmoidal behavior was observed when the retention factor values calculated in the water-ACN binary mixtures of 30, 35, 40%, v/v plotted against mobile phase pH values (Figure 2).

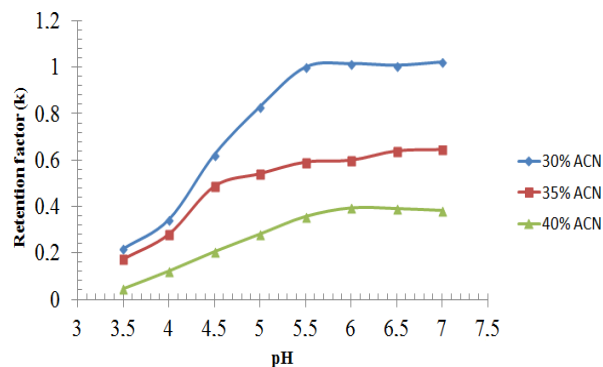


Figure 2. Values of retention factor and pH of the mobile phase for TOF at different ratios of water-ACN binary mixtures.

The mobile phase composition and pH were kept under control to determine the optimum chromatographic conditions. A k value of TOF above 1 or below 5 was chosen for the qualitative and quantitative determinations [23]. From Figure 2, it is seen that when ACN content in the mobile phase is 30% (v/v) at pH 6.0, the condition of $k \geq 1$ is met. As mentioned above, the pH of the mobile phase is selected by qualifying the suggested condition of $\text{pK}_a \pm 1.5$. Since pK_a of TOF is 4.347 as we reported in our previous study [11], a pH of 6.0 was decided to be appropriate.

The IS was used to improve the accuracy and precision of data in difficult to control injection errors. Thus, the quantitative determination of TOF in tablet formulation was selected using dicloxacillin as an IS as it demonstrated a retention time with a good peak symmetry along with a good resolution from the TOF peak. The separation under the optimized condition is completed in 7 minutes as seen in Figure 3.

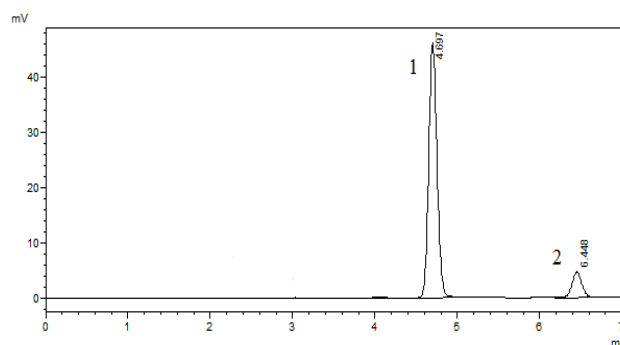


Figure 3. Chromatogram of standard (1) Tofacitinib (12 $\mu\text{g/mL}$) and (2) Dicloxacillin (1 $\mu\text{g/mL}$).

3.1.1. System suitability test results

In method development, it is important to determine system suitability parameters prior to analysis. The specifications such as retention factor, tailing factor (Tf), retention time, theoretical plate number (N), separation (α) and resolution factor (Rs) were calculated and provided in Table 1. The calculated values indicate the applicability of the developed method for routine analysis.

Table 1. System suitability test parameters for TOF (n=3).

Parameters	TOF	IS	Recommended Values
Retention time	4.691	6.457	-
Tailing factor	1.137	1.060	≤ 2
Retention factor	1.013	1.771	> 1
Resolution factor	-	4.070	> 2
Theoretical plate number	7378	3542	> 2000
Selectivity factor(α)	-	1.748	> 1

3.1.2. Linearity, limit of quantification, limit of detection

In Figure 4, the calibration curve is built by taking the area ratio of TOF signal to the internal standard signal as a function of TOF concentration. The calibration equation for TOF was obtained by plotting the peak area ratio of TOF to IS versus concentration of the drug in the linear range of 2-12 $\mu\text{g mL}^{-1}$ (See Table 2).

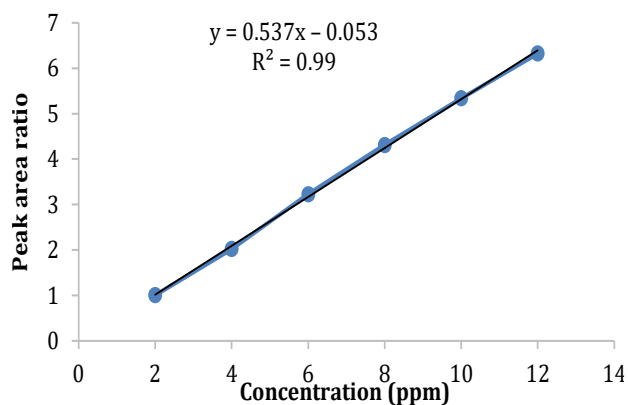


Figure 4. The calibration curve of the area ratio of TOF signal to the internal standard signal versus TOF concentration

The LOD and LOQ were determined using signal to noise ratio and calculated using $3.3 \sigma/s$ and $10 \sigma/s$ respectively. (σ : the standard deviation of the peak area ratio and s : the slope of calibration curve) The LOD and LOQ were calculated 0.416 and 1.260 $\mu\text{g/mL}$, respectively.

The results indicated good linearity in the studied concentration range.

Table 2. Data for the calibration graphs of TOF.

Statistical parameters	Values (n=3)
Linearity range ($\mu\text{g/mL}$)	2.0-12.0
Slope	0.537
Intercept	-0.053
*SD of the slope	0.008
SD of the intercept	0.063
Correlation coefficient	0.999
LOD ($\mu\text{g/mL}$)	0.416
LOQ ($\mu\text{g/mL}$)	1.260

*SD: Standard deviation

3.1.3. Precision

The precision and accuracy of the developed method were calculated using the peak area ratio data obtained from the studies conducted between the within-day and the between-day. The within-day accuracy was validated with two concentrations; 4 and 10 $\mu\text{g mL}^{-1}$, of TOF under the optimized conditions for five times during the same day. The procedure was repeated on three sequential days for between-day accuracy and precision. Accuracy, reproducibility and precision results provided in Table 3 were evaluated by employing iterative analysis of the TOF solution in the mobile phase. The precision of the method (RSD%) was found to be less than 2% when the solutions including internal standard and TOF were injected five times (See Table 3). The obtained RSD% values indicated that the method precision was quite sufficient.

Table 3. The within-day and between-day precision data (n=5).

	Theoretical concentration ($\mu\text{g/mL}$)	Within-day average ($\mu\text{g/mL}$)	*RSD% ($\mu\text{g/mL}$)	Between-day average ($\mu\text{g/mL}$)	RSD% ($\mu\text{g/mL}$)
T					
O	4	4.179	0.290	4.106	0.462
F	10	10.504	0.352	10.571	0.626

3.1.4. Tablet Analysis

The developed RPLC method in this study was used to quantify tofacitinib in the tablet dosage form using the related calibration curve without any sample extraction or evaporation other than filtration and adequate dilution steps. The results are illustrated in Table 4.

Table 4. The obtained amount of TOF in the tablet (n=3).

The amount of TOF in the tablet (mg)	
1	5.135
2	5.118
3	5.158
X_{mean}	5.137
SD	0.020
% RSD	0.392

Figure 5 shows the chromatograms of Xeljanz (Pfizer®) tablets containing tofacitinib. As seen, no

interfering peaks from excipients including microcrystalline cellulose, magnesium stearate, titanium dioxide (E171), lactose monohydrate, croscarmellose sodium, triacetin (E1518), etc. in the TOF tablet are not observed on the chromatogram.

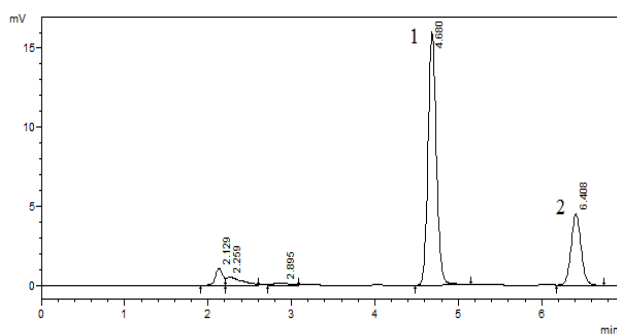


Figure 5. Chromatogram of the analysis method of Xeljanz (5 mg) tablets containing tofacitinib. TOF (**1**) and IS (**2**).

3.1.5. Recovery Studies

The accuracy of the developed method (recovery experiments) was decided by adding 4 and 8 $\mu\text{g mL}^{-1}$ TOF standard to the actual sample and triplicate. The result of recovery studies is provided in Table 5. As seen, a good recovery was obtained.

Table 5. % Recovery results of Xeljanz (5 mg) containing tofacitinib (n=3).

	% Recovery
1	102.691
2	102.366
3	103.168
X _{mean}	102.742
SD	0.403

According to the results, whereas the labelled amount of TOF in the tablet was 5 mg, obtained amount of TOF was 5.137 ± 0.020 .

3.2. Qualitative determination of degradation products

The distinction of the developed method was decided by forced degradation experiments. TOF's degradation behavior in different stress conditions (mild) was investigated using ICH Q1A (R2) guidelines [24]. In our previous study, TOF has different degradation products under stress conditions such as hydrolytic and oxidative degradation [26].

3.2.1. Hydrolytic degradation

Under the hydrolytic conditions (0.1 M HCl or 0.1 M NaOH), the liquid solution of TOF at constant temperature and at a certain time interval was subjected to degradation. Since temperature and pH have an important effect on degradation, the degradation studies were performed at room temperature and neutral pH. The decomposition data of TOF in solution exposed to 0.1 M HCl and 0.1 M NaOH is given in Table 6 and the chromatograms are provided in Figure 6. When the chromatograms were examined, only one peak was observed in the degradation in the acidic hydrolysis while more than one peak appeared in the case of alkaline hydrolysis. After 48 hours, the TOF showed more degradation in the basic medium. The observed difference can be explained with different hydrolysis mechanisms under acidic and basic conditions. It is possible that

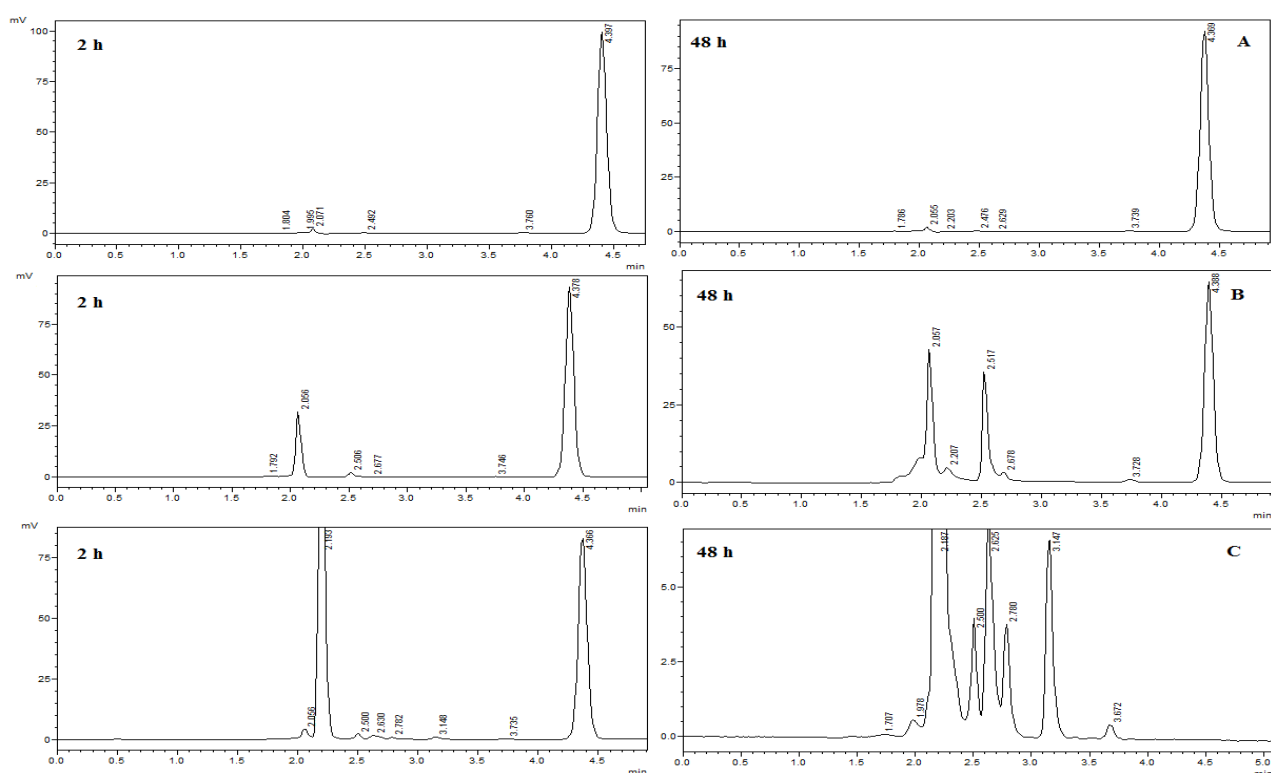


Figure 6. Chromatograms of degradation products at different times (2 and 48 h) in the **A)** acid, **B)** base, **C)** peroxide.

hydrolysis takes place at one site under the acidic conditions while it takes place at multiple sites under the basic conditions [19]. The degradation products of TOF under hydrolytic degradation are isocyanato ethyne (C_3HNO) and 3-oxopropionitrile [26].

3.2.2. Oxidative degradation

When the TOF solution was exposed to 3% (v/v) H_2O_2 at room temperature, the degradation was quite fast as consistent with the report by Wu et al [19]. Table 6 and Figure 6 illustrate the chromatogram obtained from the TOF solution exposed to H_2O_2 . As seen, there are six degradation peaks in addition to the TOF peak. TOF has different degradation products such as 7H-pyrrolo[2,3-d]pyrimidine [26].

Table 6. Hydrolytic and oxidative degradation results for TOF (n=3).

Time (hour)	Degradation %		
	Acid	Base	Oxidation
	Hydrolysis 0.1 M HCl	Hydrolysis 0.1 M NaOH	3% (v/v) H_2O_2
2	6.80	20.43	28.11
6	10.91	20.6	32.14
12	12.33	20.99	51.91
24	13.33	30.86	72.03
48	22.02	45.84	94.26

3.2.3. Photolytic and thermal degradation

In the stress studies, the solid form of TOF was exposed to UV light (200 Watt.hrs/m² as specified in ISO 10977) and heat under various conditions. When TOF was exposed 254 nm light for 2, 4 and 6 hours, only one degradation product was observed, and the % degradation increased over time (See Figure 7, Table 7). When TOF was exposed to increasing temperatures (30, 40, 50 °C) for 2 and 6 hours, it showed increased degradation behavior at higher

temperatures, especially at 50 °C (See Figure 7, Table 7). In this study, the peak impurity of TOF was determined using a DAD detector and found to be higher than 99.9% under all conditions.

Table 7. Photolytic and thermal degradation results for TOF.

Time (hour)	Degradation % (n=3)			
	Photolysis (254 nm)	Thermal (30°C)	Thermal (40°C)	Thermal (50°C)
2	10.18	21.2	36.26	43.09
4	12.07	34.2	37.6	45.14
6	17.23	-	-	-

In this study, the degradation of products was determined qualitative. In the study conducted by Wu et al. [19], degradation products of TOF were defined in the degradation conditions studied. It was concluded that TOF was prone to hydrolysis under acidic and basic conditions at the amide and cyano position of the 3-oxopropenenitrile moiety. TOF was specifically sensitive to the oxidative degradation at the pyrrole ring double bond with the major degradation products [19, 25, 26].

Dowty et al. demonstrates that the half-life of tofacitinib was approximately 3.2 hours for main drug and its metabolites. All metabolites of TOF was representing less than 10% each of total circulating radioactivity [15].

4. Discussion and Conclusion

There is no procedure detailing the optimization using the chromatographic behavior of TOF in the literature. This is the first study on the chromatographic optimization of TOF. A suitable analytical procedure was established and verified in

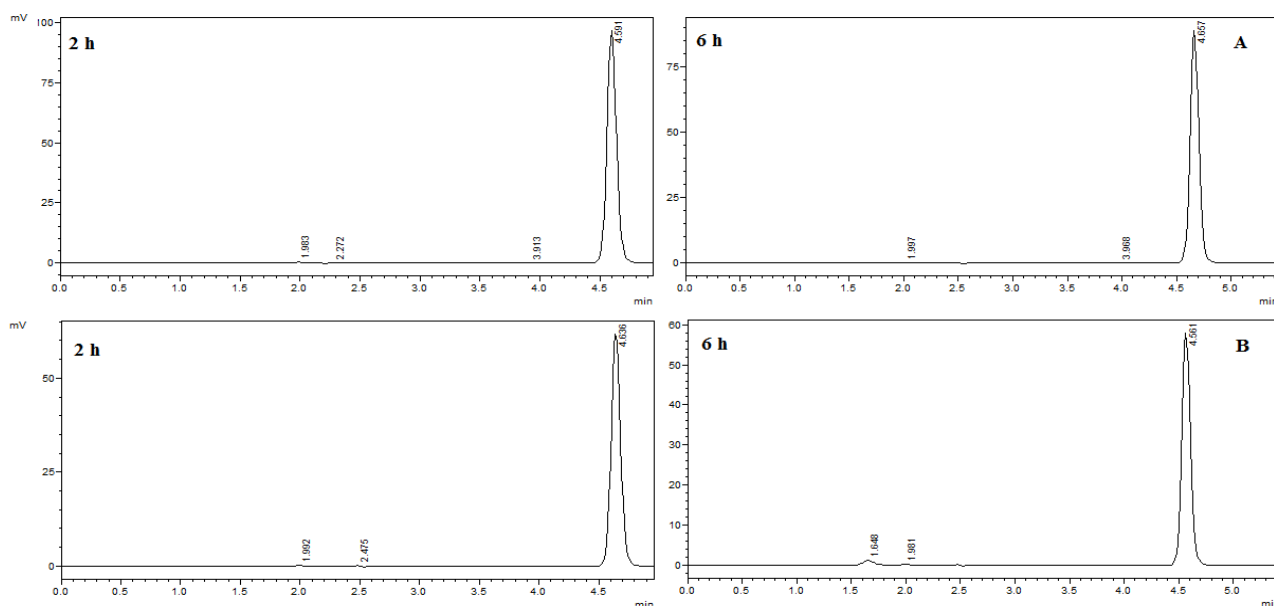


Figure 7. HPLC chromatograms A) UV (2 and 6 h 254 nm UV light) B) thermal (50°C at 2 h and 6 h).

order to quantify TOF in pharmaceutical dosage with an HPLC instrument equipped with a DAD detector. The method validation produced perfect results in terms of linearity, specificity, precision, accuracy, LOD, and LOQ. The developed method displayed no interference with the formulation excipients. The behavior of TOF under the stress conditions in acidic, alkaline, thermal, photolytic and oxidative media was studied and the peaks originating from degradation products were well resolved from TOF peak. The experimental model, which explains the retention factors in various pH and ACN concentration states was successfully applied to degradation studies of TOF under different conditions. The highest degradation of TOF was realized in the oxidative condition and the least degradation was in the photolytic condition.

Acknowledgment

The presented study is a part of the project number 4580-D2-16 supported by the Institutional Research Fund of the Suleyman Demirel University. I thank the Prof. Dr. Ebru Çubuk Demiralay for her expertise and assistance throughout all aspects of my study.

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] Ghoreschi, K., Laurence, A., O'shea, J. J. 2009. Janus kinases in immune cell signaling. *Immunological Reviews*, 228, 273-287.
- [2] Sandborn, W. J., Ghosh, S., Panes, J., Vranic, I., Su C, Rousell, S., Niezychowski W. 2012. Tofacitinib, an oral Janus kinase inhibitor, in active ulcerative colitis. *New England Journal of Medicine*, 367, 616-624.
- [3] Papp, K. A., Menter, A., Strober, B., Langley, R. G., Buonanno, M., Wolk, R., Gupta, P., Krishnaswami, S., Tan, H., Harness, J. A. 2012. Efficacy and safety of tofacitinib, an oral Janus kinase inhibitor, in the treatment of psoriasis: a Phase 2b randomized placebo-controlled dose-ranging study. *British Journal of Dermatology*, 67, 668-677.
- [4] Craiglow, B. G., King, B. A. 2014. Killing two birds with one stone: oral tofacitinib reverses alopecia universalis in a patient with plaque psoriasis. *Journal of Investigative Dermatology*. 134, 2988-2990.
- [5] Hodge, J. A., Kawabata, T. T., Krishnaswami, S., Clark, J. D., Telliez, J. B., Dowty, M. E., Menon, S., Lamba, M., Zwillich, S. 2016. The mechanism of action of tofacitinib-an oral Janus kinase inhibitor for the treatment of rheumatoid arthritis. *Clinical and Experimental Rheumatology*. 34, 318-328.
- [6] Lloyd, R., Snyder, J., Kirkland, J., Joseph, L. G., 2002. *Practical HPLC method development*. Pinehurst, North Carolina, USA.
- [7] Demiralay, E. C., Alsancak, G., Ozkan, S.A. 2009. Determination of pK_a values of nonsteroidal antiinflammatory drug-oxicams by RP-HPLC and their analysis in pharmaceutical dosage forms. *Journal of Separation Science*. 32, 2928-2936.
- [8] Canbay, H. S., Demiralay, E. C., Alsancak, G., Ozkan, S. A. 2012. The combined effect of the organic modifier content and pH of the mobile phase on the chromatographic behavior of some arylpropionic and arylacetic acids to optimize their liquid chromatographic determinations. *Chromatographia*, 75, 711-720.
- [9] García-Álvarez-Coque, M. C., Torres-Lapasió, J. R., Baeza-Baeza, J. J. 2006. Models and objective functions for the optimization of selectivity in reversed-phase liquid chromatography. *Analytica Chimica Acta*, 579, 125-145.
- [10] Snyder, L. R., Kirkland, J. J., Dolan, J. W. 2010. *Introduction to modern liquid chromatography*. Third edition, A John Wiley&Sons.
- [11] Ortak, H. Y. Demiralay, E. C. 2019. Effect of temperature on the retention of Janus Kinase 3 inhibitor in different mobile phase compositions using reversed-phase liquid chromatography. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis* 5, 706-712.
- [12] Sankar, A. S. K., Datchayani, B., Balakumaran, N., Mohammed, R., Subaranjani, R. 2017. Development of a validated reverse phase liquid chromatographic assay-method for determination of tofacitinib in pure form and in physical admixtures. *Research Journal of Pharmacy and Technology*, 10, 223-226.
- [13] Prathyusha Naik C. N. Chandra Sekhar K. B. 2018. Novel stability indicating chromatographic method development and validation for the quantification of tofacitinib in pure and its dosage form. *IOSR Journal of Applied Chemistry*, 11, 33-37.
- [14] Kiran, B. S. S., Raja, S. 2018. RP-HPLC method development and validation for the quantification of tofacitinib. *Research Journal of Life Sciences, Bioinformatics, Pharmaceutical and Chemical Sciences*. 4, 646-653.

- [15] Dowty, M. E., Lin, J., Ryder, T. F., Wang, W., Walker, G. S., Vaz, A., Chan, G. L., Krishnaswami, S., Prakash, C. 2014. The Pharmacokinetics, Metabolism, and Clearance Mechanisms of Tofacitinib, a Janus Kinase Inhibitor, in Humans. *Journal of Pharmacology and Experimental Therapeutics*, 348, 165-173.
- [16] Kumar, V., Dhiman, V., Kumar, K., Sharma, G.K., Zainuddin, M., Mullangi, R. 2015. Development and validation of a RP-HPLC method for the quantitation of tofacitinib in rat plasma and its application to a pharmacokinetic study. *Biomedical Chromatography*, 29, 1325-1329.
- [17] Sharma, K., Giri, K., Dhiman, V., Dixit, A., Zainuddin, M., Mullangi, R. 2015. A validated LC-MS/MS assay for simultaneous quantification of methotrexate and tofacitinib in rat plasma: application to a pharmacokinetic study. *Biomedical Chromatography*, 29, 722-732.
- [18] Kadi, A. A., Abdelhameed, A. S., Darwish, H. W., Attwa, M. W. Bakheit, A. H. 2016. Liquid chromatographic-tandem mass spectrometric assay for simultaneous quantitation of tofacitinib, cabozantinib and afatinib in human plasma and urine. *Tropical Journal of Pharmaceutical Research*, 15, 2683-2692.
- [19] Wu, X., Zeng, X., Wang, L., Hang, T. and Song, M., 2017. Identification of related substances in tofacitinib citrate by LC-MS techniques for synthetic process optimization. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 143, 17-25.
- [20] Barbosa, J. Sanz-Nebot, V. 1992. pH measurements in acetonitrile-water mixtures by use of a glass electrode. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 10, 1047-1051.
- [21] Rondinini, S., Mussini, P. R., Mussini T. 1987. Reference value standards and primary standards for pH measurements in Organic Solvents and Water + Organic Solvent Mixtures of Moderate to High Permittivity's. *Pure and Applied Chemistry*, 59(11), 1549-1560.
- [22] Yilmaz H., Demiralay, E. Ç. 2015. Investigation of chromatographic behavior of leflunomide and its identification in pharmaceutical dosage form by reversed phase liquid chromatography. *Journal of Liquid Chromatography & Related Technologies*, 38, 1.
- [23] Stout, R. W., De Stefano, J. J., Snyder, L. R. 1983. High-performance liquid chromatographic column efficiency as a function of particle composition and geometry and capacity factor. *Journal of Chromatography A*, 282, 263-286.
- [24] International Conference on Harmonisation, 2003. International conference on harmonization of technical requirements for registration of pharmaceuticals for human use, topic Q1A (R2): stability testing of new drug substances and products.
- [25] Dogan Daldal, Y., Çakır, C., Yilmaz, H., Cubuk Demiralay, E., A Ozkan, S., Alsancak, G., 2014. Liquid Chromatographic, Spectrophotometric and Potentiometric pK_a Determination of Ranitidine and Famotidine. *Current Drug Therapy*, 9(4), 277-284.
- [26] Yilmaz, H., Cobandede, Z., Yilmaz, D., Cinkilic, A., Culha, M., Demiralay, E. C. 2020. Monitoring forced degradation of drugs using silica coated AgNPs with surface-enhanced Raman scattering. *Talanta*, 214(1), 120828.

Conformable Diferensiyel Denklemlerin Genelleştirilmiş Kudryashov Yöntemiyle Tam Çözümleri

Arzu AKBULUT¹, Melike KAPLAN²

¹Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Matematik-Bilgisayar Bölümü, 26040, Eskişehir, Türkiye

²Kastamonu Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Matematik Bölümü, 37150, Kastamonu, Türkiye

(Alınış / Received: 01.01.2021, Kabul / Accepted: 05.02.2021, Online Yayınlanma / Published Online: 15.04.2021)

Anahtar Kelimeler

Tam çözümler,
Genelleştirilmiş Kudryashov
metot,
Sembolik hesaplama,
Conformable zaman kesir
mertebeli üçüncü
mertebeden modifiye KdV
denklemleri,
Conformable zaman kesir
mertebeli Boussinesq
denklemleri

Özet: Lineer olmayan conformable diferensiyel denklemler matematiksel fizikte önemli bir yere sahiptir. Bu denklemlerin tam çözümlerinin elde edilmesi, son yıllarda oldukça ilgi çeken bir çalışma alanı olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu makalede, conformable üçüncü mertebeden modifiye KdV denklemleri ve conformable Boussinesq denklemlerinin tam çözümleri genelleştirilmiş Kudryashov yöntemi kullanılarak bulunmuştur. Bu yöntem, lineer olmayan conformable denklemlerin tam çözümlerini elde etmede kullanılan etkili bir yöntemdir. Bu çalışmadaki bütün hesaplamalar Maple paket programı kullanılarak yapılmış ve elde edilen çözümler denklemlerde yerine konularak doğruluğu teyit edilmiştir. Ayrıca elde edilen çözümlerin grafiklerine de yer verilmiştir. Elde edilen çözümler, matematiksel fizik ve mühendislik alanlarında önemli kullanım alanlarına sahip olma potansiyeline sahiptirler.

Exact Solutions of Conformable Differential Equations Using Generalized Kudryashov Method

Keywords

Exact solutions,
Generalized Kudryashov
method,
Symbolic computation,
Conformable time fractional
third order modified KdV
equation,
Conformable time fractional
Boussinesq equation

Abstract: Nonlinear conformable differential equations have an important place in mathematical physics. Recently, the search for exact solutions of these equations has been an appealing field for most scientists. In this work, exact solutions of the conformable third-order modified KdV equation and conformable Boussinesq equation founded by using the generalized Kudryashov method. This method is an effective method to acquire exact solutions of nonlinear conformable equations. All calculations in this study have been made and checked back with the aid of the Maple packet program. Also, the graphical representation of the obtained solutions is given. The obtained solutions in this manuscript have the potential to be useful in mathematical physics and engineering.

1. Giriş

Son yıllarda, plazma fiziği, matematiksel biyoloji, akışkanlar mekaniği, fiber optik, türbülans teorisi, soliton teorisi ve matematiksel fizik alanlarında lineer olmayan oluşum denklemleri üzerine yapılan çalışmalar büyük önem kazanmıştır. Lineer olmayan kısmi diferensiyel denklemlerin analitik çözümleri, modellemiş oldukları olayın yorumlanmasına katkı sağlamaktadır. Bu sebeple araştırmacılar bu denklemlerin çözümlerinin elde edilmesi için Maple, Matlab ve Mathematica gibi paket programlar yardımıyla çeşitli yöntemler geliştirmişlerdir. Bunlardan bazıları ters saçılım metodu [1], homojen denge metodu [2], Hirota bilineer metot [3, 4], üstel

fonksiyon metodu [5], trial denklemler metodu [6], genişletilmiş trial denklemler metodu [7], sine-Gordon açılım metodu [8, 9] ve genelleştirilmiş Kudryashov metodu [10] olarak sıralanabilir. Bu yöntemler içinden en etkili olanı şeklinde bir tanımlama yapmak mümkün değildir. Bu sebeple de bu alan popülerliğini korumaya devam etmektedir.

Bu çalışmanın amacı genelleştirilmiş Kudryashov yöntemi kullanılarak conformable üçüncü mertebeden modifiye KdV denklemleri ve conformable Boussinesq denklemlerinin farklı analitik çözümlerini elde etmektir. Bir başka deyişle, bu çalışmada elde

edilen çözümleri diğer çalışmalarda elde edilenlerle kıyaslırsak, parametrelerin uygun seçimi ile diğer çalışmalarda benzer çözümler elde edilebilecek iken, bu çalışmada elde edilen çözümlerin yine farklı olduğu görülür. Ayrıca genelleştirilmiş Kudryashov yöntemi diğer yöntemlere kıyasla uygulanması daha pratik bir yöntemdir.

Makalenin geri kalan bölümleri şu şekilde organize edilmiştir. İkinci bölümde genelleştirilmiş Kudryashov yöntemi adım adım tanıtılmıştır. Üçüncü bölümünde bu yöntemin uygulamalarına yer verilmiştir. Dördüncü bölümde ise tartışma ve sonuçlara yer verilmiştir.

2. Genelleştirilmiş Kudryashov Metot

Bu bölümde, lineer olmayan kısmi diferensiyel denklemlerin tam çözümlerinin bulunması için genelleştirilmiş Kudryashov metodunu vereceğiz. Bunun için öncelikle conformable türev ile ilgili gerekli bilgiler vereceğiz.

Conformable kesirli türev ve özellikleri

$f: [0, \infty) \rightarrow R$ şeklinde fonksiyon olsun. α mertebeden f fonksiyonunun conformable kesirli türevi $t > 0, \alpha \in (0, 1]$ olmak üzere;

$$(T_\alpha f)(t) = \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \frac{f(t + \varepsilon t^{1-\alpha}) - f(t)}{\varepsilon}$$

şeklinde tanımlanır ve aşağıdaki özellikleri sağlar.

$$T_\alpha (af + bg) = a(T_\alpha f) + b(T_\alpha g), a, b \in R$$

$$T_\alpha (t^p) = pt^{p-\alpha}, p \in R$$

$$T_\alpha (f(t)) = 0, f(t) = \lambda \text{ sabit fonksiyondur.}$$

$$T_\alpha (fg) = fT_\alpha (g) + gT_\alpha (f)$$

$$T_\alpha (f/g) = \frac{g(T_\alpha f) - f(T_\alpha g)}{g^2}$$

Ek olarak f diferensiyellenebilir bir fonksiyon ise $T_\alpha (f)(t) = t^{1-\alpha} \frac{df}{dt}(t)$ olur [11].

Teorem: $f, g: [0, \infty) \rightarrow R, \alpha$ mertebeden diferensiyellenebilir fonksiyonlar olsunlar. O halde aşağıdaki zincir kuralı sağlanır [11].

$$T_\alpha (f \circ g)(t) = t^{1-\alpha} g'(t) f'(g(t)).$$

Şimdi genelleştirilmiş Kudryashov metodu verelim [12]. Genel olarak lineer olmayan kısmi diferensiyel denklemler

$$P(u, \frac{\partial^\alpha u}{\partial t^\alpha}, \frac{\partial u}{\partial x}, \frac{\partial^{2\alpha} u}{\partial t^{2\alpha}}, \frac{\partial^2 u}{\partial x^2}, \dots) = 0 \quad (1)$$

şeklinde olsun. Burada P , yüksek mertebeden kısmi türevler ve lineer olmayan terimler içeren $u(x, y, z, t)$ nin bir polinomudur.

Genelleştirilmiş Kudryashov metodunun ana adımlarını aşağıda vereceğiz:

Adım 1: Denklemlerin dalga çözümlerini bulabilmek için öncelikle aşağıdaki dalga dönüşümü kullanılır.

$$u(x, t) = u(\xi), \xi = x - l \frac{t^{\alpha_1}}{\alpha_1} \quad (2)$$

Denklem (2) kullanıldığında, Denklem (1) aşağıdaki formda verilen lineer olmayan adi diferensiyel denkleme dönüşür.

$$H(u, u', u'', \dots) = 0 \quad (3)$$

Buradaki türev, ξ ye göre türevi gösterir.

Adım 2: Genelleştirilmiş Kudryashov metoduna göre, denklem (3) ün çözümü aşağıdaki rasyonel formda aranacaktır.

$$u(\xi) = \frac{\sum_{i=0}^N a_i Q^i(\xi)}{\sum_{j=0}^M b_j Q^j(\xi)} \quad (4)$$

Burada $a_i (i = 0, 1, \dots, n), b_j (j = 0, 1, \dots, m)$ sabitlerdir ve $a_N \neq 0, b_M \neq 0$. Ayrıca $Q = Q(\xi)$

$$\frac{dQ}{d\xi} = Q^2(\xi) - Q(\xi) \quad (5)$$

şeklindeki adi diferensiyel denklemini sağlar. Denklem (5) in çözümünün;

$$Q(\xi) = \frac{1}{1 + Ae^\xi} \quad (6)$$

şeklinde olduğu açıktır ve A integral sabitidir.

Adım 3: Denklem (4) teki pozitif tamsayı olan N ve M homojen denge metodu kullanılarak bulunur. Bir başka deyişle, en yüksek mertebeden türevli terim ile en yüksek dereceden lineer olmayan terimlerin derecelerinin dengelenmesiyle elde edilir.

Adım 4: Denklem (5) yardımıyla Denklem (4), Denklem (3) te yerine yazılırsa, Q nun $R(Q)$ polinomu elde edilir. $R(Q)$ nun bütün katsayıları sıfıra eşitlenirse, cebirsel denklemler sistemi elde edilir. Maple yardımıyla bu sistem çözümlerse, $a_i (i = 0, 1, \dots, n), b_j (j = 0, 1, \dots, m)$ değerleri bulunur. Son olarak, Denklem (5) ve bulunan değerler Denklem (4) te yerlerine yazılırsa ele alınan denklemin tam çözümleri bulunur [13].

3. Uygulamalar

3.1. Conformable Üçüncü Mertebeden Modifiye KdV Denklemi

Conformable üçüncü mertebeden modifiye KdV denklemi

$$D_t^\alpha u + pu^2u_x + qu_{xxx} = 0, 0 < \alpha \leq 1 \quad (7)$$

şeklinde verilir. Burada p ve q keyfi sabitler, $D_t^\alpha u$, t zaman değişkenine göre α yıncı mertebeden conformable türevdir. Bu denklem üç boyutlu lineer olmayan dispersiyon problemlerinde önemli bir rol oynamaktadır. Bu denklem, soliton genişliğinin plazma homojenliğinin ölçek uzunluğuyla kıyaslandığında küçük olduğu varsayımıyla, pertürbasyon açılımlarından elde edilir. Bu varsayımda soliton, özeliğini, genliğini, genişliğini ve hızını korur. mKdV denklemi özel soliton yapısıyla bilinir. Esasen, genellikle karma KdV-mKdV denklemi olarak bilinen mKdV denklemi ya da Galilean dönüştürülmüş versiyonu birçok fiziksel olayda karşımıza çıkar. Bunlardan bazıları harmonik lattisler, Alfvén dalgalar, iyonakustik solitonlar, trafik sıkışıklığı, Schottky bariyer iletim hatları olarak sıralanabilir. mKdV denklemi, boyutlandırılmış filmler elektrodinamik, elastik medya ve trafik akışındaki çok bileşenli plazmalar, elektrik devreleri, elektromanyetik dalgalarda karşımıza çıkar [14].

Denklem (7) ile verilen denklemi adi diferensiyel denkleme dönüştürmek için aşağıdaki dalga dönüşümü kullanılır.

$$u(x, t) = u(\xi), \xi = x - l \frac{t^{\alpha_1}}{\alpha_1} \quad (8)$$

Burada, l sıfırdan farklı keyfi sabittir ve dalganın hızını göstermektedir. Böylelikle

$$-lu' + pu^2u' + qu''' = 0 \quad (9)$$

adi diferensiyel denklemi elde edilir. Bulunan adi diferensiyel denklemin ξ ye göre bir kez integrali alınırsa;

$$-lu + \frac{1}{3}pu^3 + qu'' = 0. \quad (10)$$

adi diferensiyel denklemi bulunur. Buradan genelleştirilmiş Kudryashov metoduna göre, (10) numaralı indirgenmiş denklemde en yüksek mertebeden türevli terim ile en yüksek dereceden lineer olmayan terimin dengelenmesiyle,

$$N = M + 1 \quad (11)$$

bağıntısı elde edilir. Burada $M=1$ ve $N=2$ seçilerek, (10) denkleminde çözüm,

$$u(\xi) = \frac{a_0 + a_1Q + a_2Q^2}{b_0 + b_1Q} \quad (12)$$

biçiminde aranır. Burada $Q(\xi)$ Denklem (5) denkleminin çözümüdür. (12) denkleminde a_0, a_1, a_2, b_0, b_1 daha sonra hesaplanacak parametrelerdir. Denklem (12), Denklem (5) yardımıyla Denklem (10) da yerine yazılarak, Q^k nın kuvvetlerine göre paranteze alınıp ve Q^k nın tüm katsayılarının sıfıra eşitlenmesiyle aşağıdaki denklem sistemi elde edilir.

$$\begin{aligned} Q^6: & 2qa_2b_1^2 + (1/3)pa_2^3 = 0, \\ Q^5: & pa_1a_2^2 - 3qa_2b_1^2 + 6qa_2b_0b_1 = 0, \\ Q^4: & -9qa_2b_0b_1 + pa_1^2a_2 + qa_2b_1^2 + 6qa_2b_0^2 - \\ & la_2b_1^2 + pa_0a_2^2 = 0, \\ Q^3: & qa_1b_0b_1 + 2qa_1b_0^2 + (1/3)pa_1^3 - la_1b_1^2 + \\ & 2pa_0a_1a_2 + 3qa_2b_0b_1 - 2la_2b_0b_1 - 10qa_2b_0^2 \\ & -2qa_0b_0b_1 - qa_0b_1^2 = 0, \\ Q^2: & -2la_1b_0b_1 - qa_1b_0b_1 - la_0b_1^2 + pa_0^2a_2 \\ & + pa_0a_1^2 + 4qa_2b_0^2 - 3qa_1b_0 + 3qa_0b_0b_1 - la_2b_0^2 \\ & + qa_0b_1^2 = 0, \\ Q^1: & -la_1b_0^2 + qa_1b_0^2 - 2la_0b_0b_1 \\ & -qa_0b_0b_1 + pa_0^2a_1 = 0, \\ Q^0: & -la_0b_0^2 + (1/3)pa_0^3 = 0. \quad (13) \end{aligned}$$

Yukarıdaki cebirsel denklem sistemi Maple yardımıyla çözümlerse, farklı 8 adet çözüm bulunur. Şekil 1-4 ile denklemin her bir durumda bulunan çözümlerinin grafiklerini verelim:

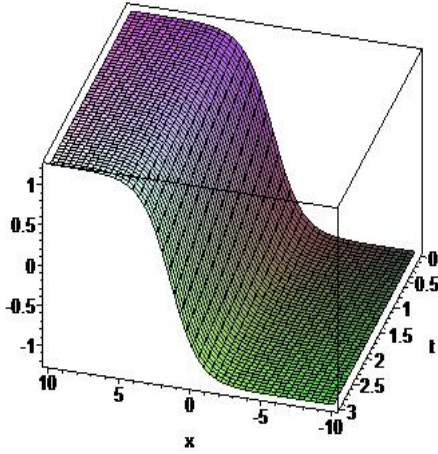
Durum 1:

$$\begin{aligned} a_0 = 0, a_1 = \pm \sqrt{-\frac{3q}{2p}} b_1, a_2 = \pm \frac{3qb_1}{p \sqrt{-\frac{3q}{2p}}}, \\ b_0 = 0, b_1 = b_1, l = -\frac{q}{2}. \end{aligned}$$

Bulunan değerler Denklem (12) de yerine yazılırsa;

$$\begin{aligned} u_{1,2}(x, t) \\ = \frac{\pm \sqrt{-\frac{3q}{2p}} b_1 \left(\frac{1}{1+Ae^{\left(\frac{x+\frac{q}{2}t^{\alpha_1}}{\alpha_1}\right)}} \right) \pm \frac{3qb_1}{p \sqrt{-\frac{3q}{2p}}} \left(\frac{1}{1+Ae^{\left(\frac{x+\frac{q}{2}t^{\alpha_1}}{\alpha_1}\right)}} \right)^2}{b_1 \left(\frac{1}{1+Ae^{\left(\frac{x+\frac{q}{2}t^{\alpha_1}}{\alpha_1}\right)}} \right)} \end{aligned}$$

şeklinde 2 farklı çözüm bulunur. Burada A integral sabitidir.



Şekil 1. $A = 1, q = -1, \alpha_1 = 0.8, b_1 = 1, p=1$ değerleri için $u(x, t)$ çözümüne karşılık gelen grafik

Durum 2:

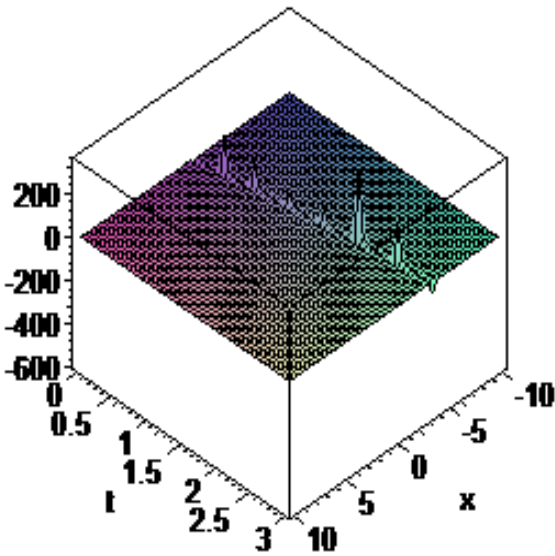
$$a_0 = 0, a_1 = \pm 2 \sqrt{-\frac{6q}{p}} b_0, a_2 = \mp 2 \sqrt{-\frac{6q}{p}} b_0,$$

$$b_0 = b_0, b_1 = -2b_0, l = q.$$

Yukarıdaki değerler Denklem (12) de yerine yazılırsa;

$$u_{3,4}(x, t) = \frac{\pm 2 \sqrt{-\frac{6q}{p}} b_0 \left(\frac{1}{1+Ae^{(x-q\frac{t^{\alpha_1}}{\alpha_1})}} \right) \mp 2 \sqrt{-\frac{6q}{p}} b_0 \left(\frac{1}{1+Ae^{(x-q\frac{t^{\alpha_1}}{\alpha_1})}} \right)^2}{b_0 - 2b_0 \left(\frac{1}{1+Ae^{(x-q\frac{t^{\alpha_1}}{\alpha_1})}} \right)}$$

çözümleri bulunur. Burada A integral sabitidir.



Şekil 2. $A = 2, q = -1, \alpha_1 = 0.8, b_0 = 1, p=1$ değerleri için $u(x, t)$ çözümüne karşılık gelen grafik

Durum 3:

$$a_0 = \mp \frac{3qb_1}{\sqrt{-\frac{6q}{p}} p}, a_1 = \pm \frac{6qb_1}{\sqrt{-\frac{6q}{p}} p},$$

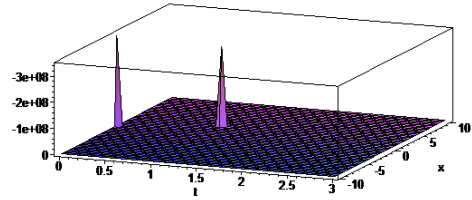
$$a_2 = \pm \sqrt{-\frac{6q}{p}} b_1, b_0 = -\frac{b_1}{2},$$

$$b_1 = b_1, l = -2q.$$

bulunur. Verilen denklemin çözümleri ise;

$$u_{5,6}(x, t) = \frac{\mp \frac{3qb_1}{\sqrt{-\frac{6q}{p}} p} \pm \frac{6qb_1}{\sqrt{-\frac{6q}{p}} p} \left(\frac{1}{1+Ae^{(x+2q\frac{t^{\alpha_1}}{\alpha_1})}} \right)}{-\frac{b_1}{2} + b_1 \left(\frac{1}{1+Ae^{(x+2q\frac{t^{\alpha_1}}{\alpha_1})}} \right)} \pm \frac{\sqrt{-\frac{6q}{p}} b_1 \left(\frac{1}{1+Ae^{(x+2q\frac{t^{\alpha_1}}{\alpha_1})}} \right)^2}{-\frac{b_1}{2} + b_1 \left(\frac{1}{1+Ae^{(x+2q\frac{t^{\alpha_1}}{\alpha_1})}} \right)}$$

olarak elde edilir. Burada A integral sabitidir.



Şekil 3. $A = 1, q = -1, \alpha_1 = 0.8, b_1 = 1, p=1$ değerleri için $u(x, t)$ çözümüne karşılık gelen grafik

Durum 4:

$$a_0 = \pm \frac{3qb_0}{\sqrt{-\frac{6q}{p}} p}, a_1 = \mp \frac{3q(-b_1 + 2b_0)}{\sqrt{-\frac{6q}{p}} p}, a_2 = \pm \sqrt{-\frac{6q}{p}} b_1,$$

$$b_0 = b_0, b_1 = b_1, l = -\frac{q}{2}.$$

değerleri indirgenmiş adi diferensiyel denklemde yerine yazılırsa;

$$u_{7,8}(x, t) = \frac{\pm \frac{3qb_0}{\sqrt{-\frac{6q}{p}} p} \mp \frac{3q(-b_1 + 2b_0)}{\sqrt{-\frac{6q}{p}} p} \left(\frac{1}{1+Ae^{(x+\frac{q}{2}\frac{t^{\alpha_1}}{\alpha_1})}} \right)^2}{b_0 + b_1 \left(\frac{1}{1+Ae^{(x+\frac{q}{2}\frac{t^{\alpha_1}}{\alpha_1})}} \right)}$$

$$a_0 = b_0, a_1 = b_1 - 6b_0, a_2 = -6b_1 + 6b_0,$$

$$a_3 = 6b_1, b_0 = b_0, b_1 = b_1, l = 2$$

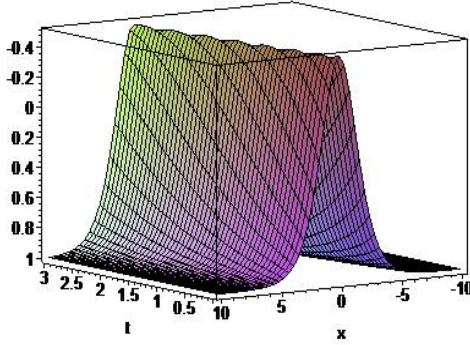
olarak bulunur. O halde, conformable Boussinesq denkleminin çözümü

$$u(x, t) = \frac{b_0 + (b_1 - 6b_0)Q + (-6b_1 + 6b_0)Q^2 + (6b_1)Q^3}{b_0 + b_1Q}$$

olarak bulunur. Burada

$$Q = \left(\frac{1}{1 + Ae^{\left(x - 2\frac{t^{\alpha_1}}{\alpha_1}\right)}} \right) \text{dir.}$$

Yukarıda bulmuş olduğumuz çözümde gerekli seçimleri yaptığımızda Şekil 5 ile verilen grafiği elde ederiz.



Şekil 5. $A = 1, l = 1, \alpha_1 = 0.8, b_0 = 1, b_1 = 1$ değerleri için $u(x, t)$ çözümüne karşılık gelen grafik

4. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada özet olarak genelleştirilmiş Kudryashov metodu lineer olmayan denklemlerin tam çözümlerini bulabilmek için tanıtılmıştır. Conformable üçüncü mertebeden modifiye KdV denkleminin ve conformable Boussinesq denkleminin analitik çözümlerini bu verilen metot ile elde edilmiştir. Ayrıca elde edilen çözümlerin grafiklerine yer verilmiştir.

Conformable Üçüncü Mertebeden Modifiye KdV denklemin altı adet tam çözümü Sahoo ve Ray tarafından (G'/G) -açılım yöntemi ve geliştirilmiş (G'/G) yöntemi kullanılarak elde edilmiştir [14]. Akbulut ve Kaplan tarafından yardımcı denklemler metodu ile bu denklemin çözümleri elde edilmiştir [15]. Sabi'u ve çalışma arkadaşları tarafından sinüs-cosinüs yöntemiyle çeşitli çözümler elde edilmiştir [16]. Conformable Boussinesq denkleminin ise Hosseini ve Ansari'nin çalışmasında ele alınmış ve modifiye edilmiş Kudryashov yöntemi ile tam çözümleri bulunmuştur [16]. Ayrıca Hosseini ve çalışma arkadaşları tarafından $\exp(-\phi(\epsilon))$ -expansion yöntemiyle ise farklı çözümler elde edilmiştir [19]. Bu

çalışmada elde edilen çözümleri diğer çalışmalarda elde edilenlerle kıyaslırsak, parametrelerin uygun seçimi ile diğer çalışmalarda benzer çözümler elde edilebilecek iken, bu çalışmada elde edilen çözümlerin yine farklı olduğu görülür. Sözü geçen tüm yöntemlerde yardımcı denklemler yardımıyla çözümlere ulaşılmaktadır, Ayrıca genelleştirilmiş Kudryashov yöntemi diğer yöntemlere kıyasla uygulanması daha pratik bir yöntemdir.

Bir başka deyişle, genelleştirilmiş Kudryashov metodu lineer olmayan diferensiyel denklemlerin tam çözümlerini bulmak için etkili ve güçlü bir yöntemdir. Matematiksel fizik ve lineer olmayan bilimlerde kullanılan lineer olmayan denklemlerin analitik çözümlerinin bulunmasında kolaylıkla uygulanabilir bir yöntemdir.

Bu çalışmada elde edilen çözümlerin doğruluğu, Maple paket programı yardımıyla elde edilen çözümlerin yerine konulmasıyla teyit edilmiştir.

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] Ablowitz, M. J., Segur, H. 1981. Solitons and Inverse Scattering Transformation, SIAM, Philadelphia, 438 s.
- [2] Wang, M. L. 1995. Solitary Wave Solutions for Variant Boussinesq Equations. Physics Letters A, 199, 169- 172.
- [3] Wazwaz, A. M. 2007. Multiple-Soliton Solutions for the Boussinesq Equation. Applied Mathematics and Computation, 192(2), 479-486.
- [4] Gümüş, H., Yılmaz, H. 2019. Nonlinear Schrödinger Denkleminin Tam Çözümleri. Türkiye Teknoloji ve Uygulamalı Bilimler Dergisi, 2(1), 11-19.
- [5] Gurefe, Y., Mısırlı, E. 2011. Exp-function Method for Solving Nonlinear Evolution Equations with Higher Order Nonlinearity. Computers & Mathematics with Applications, 61 (8), 2025-2030.
- [6] Gurefe, Y., Mısırlı, Pandir, Y., Sönmezoğlu, A., Ekici, M. 2015. New Exact Solutions of the Davey-Stewartson Equation with Power-Law Nonlinearity. The Bulletin of the Malaysian Mathematical Society Series, 38(3), 1223-1234.
- [7] Bulut, H., Pandir, Y., Tuluçe Demiray, S. 2014. Exact Solutions of Nonlinear Schrodinger's Equation with Dual PowerLaw Nonlinearity by

- Extended Trial Equation Method. *Waves Random Complex Media*, 24(4), 439-451.
- [8] Tasbozan, O., Kurt, A. 2020. The New Travelling Wave Solutions of Time Fractional Fitzhugh-Naguma Equation with Sine-Gordon Expansion Method. *Adıyaman Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 10(1), 256-263.
- [9] Başkonuş, H. M., Bulut, H., Tukur, A. S. 2017. Investigation of Various Travelling Wave Solutions to the Extended (2+1)-dimensional Quantum ZK Equation. *The European Physical Journal Plus*, 132, 482-490.
- [10] Demiray, S. T. 2019. New Exact Solutions of (3+1)-Dimensional Modified Quantum Zakharov-Kuznetsov Equation. *Turkish Journal of Mathematics and Computer Science*, 11, 56-59.
- [11] Khalil, R., Horani, M. Al., Yousef, A., Sababbeh, M. 2014. A new definition of fractional derivative, *Journal of Computational and Applied Mathematics*, 264, 65-70.
- [12] Kudryashov, N. A. 2013. Polynomials in Logistic Function and Solitary Waves of Nonlinear Differential Equations. *Applied Mathematics and Computation*, 219(17), 9245-9253.
- [13] Kaplan, M., Bekir, A., Akbulut, A. 2016. A generalized Kudryashov to Some Nonlinear Evolution Equations in Mathematical Physics. *Nonlinear Dynamics*, 85(4), 2843-2850.
- [14] Sahoo, S., Ray, S. 2016. Solitary Wave Solutions for Time Fractional Third Order Modified KdV Equation Using Two Reliable Techniques (G'/G)-Expansion Method and improved (G'/G)-Expansion Method. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, 448, 265-282.
- [15] Wazwaz, A. M. 2001. Construction of Soliton Solutions and Periodic Solutions of the Boussinesq Equation by the Modified Decomposition Method. *Chaos, Soliton and Fractals*, 12, 1549-1556.
- [16] Hosseini, K., Ansari, R. 2017. New Exact Solutions of Nonlinear Conformable Time-Fractional Boussinesq Equations Using the Modified Kudryashov Method. *Waves in Random and Complex Media*, 27(4), 628-636.
- [17] Akbulut, A., Kaplan, M., 2018. Auxiliary equation method for time-fractional differential equations with conformable derivative, *Computers & Mathematics with Applications*, 75(3), 876-882.
- [18] Sabi'u, J., Jibril, A., Gadu, A. M. 2019. New exact solution for the (3+1) conformable space-time fractional modified Korteweg-de-Vries equations via Sine-Cosine Method, *Journal of Taibah University Science*, 13(1), 91-95.
- [19] Hosseini K., Bekir A., Ansari R. 2017. Exact solutions of nonlinear conformable time-fractional Boussinesq equations using the $\exp(-\phi(\epsilon))$ -expansion Method, *Opt Quant Electron* 49, 131.