



ISSN 2564-7377 (Online)



**GİRESUN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Giresun University Institute of Natural Sciences

The Black Sea Journal of Sciences

**KARADENİZ FEN BİLİMLERİ DERGİSİ
KARADENİZ FEN BİLİMLERİ DERGİSİ**

Cilt 13 Sayı 1

2023

Volume 13 Issue 1



K F B D

<http://www.dergipark.org.tr/kfbd>

Giresun Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Giresun University
Institute of Natural Sciences

Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi
The Black Sea Journal of Sciences

Cilt 13, Sayı 1, Mart 2023
Volume 13, Issue 1, March 2023

ISSN: 2564-7377 (Online)

Dergi Hakkında

Giresun Üniversitesi tarafından yılda dört kez (15 Mart, 15 Haziran, 15 Eylül ve 15 Aralık) yayın yapan dergimiz 2020 yılından itibaren Tübitak - Ulakbim Mühendislik ve Temel Bilimler Veri Tabanı (TR Dizin) Dergi Listesinde taranmaktadır. Yayın hayatına 2010 yılında başlamıştır. Fen, Mühendislik, ve Teknoloji alanlarından gelen eserleri kabul etmektedir. Dergimizde yayınlanmak üzere gönderilen makaleler editör, yayın kurulu ve hakemler (Hakemlerin isimleri yazarlara bildirilmez) tarafından değerlendirilir. Dergimiz, Türkçe veya İngilizce dilinde yazılmış orjinal araştırma makalesi kabul etmektedir. Dergimize gönderilen çalışmaların benzerlik oranı %25'i geçmemelidir. Dergimize gönderilen makaleler için değerlendirme ücreti ve başvuru ücreti alınmamaktadır. Dergimiz, 2017 yılından itibaren sadece elektronik olarak yayın hayatına devam etmektedir

About The Journal

The Black Sea Journal of Sciences is an international peer reviewed journal published four times a year and indexed by national and international databases. The Black Sea Journal of Sciences started its publication life in 2010. Our journal accepts works from science, engineering and technology. Articles submitted for publications in our journal are evaluated by the editor, editorial board and referees (Blind peer review). Our journal accepts original research articles written in Turkish or English. The similarity rate of the studies submitted to our journal should not exceed 25%. There are no evaluation fees or application fees for articles sent to our journal. Starting in 2017, The Black Sea Journal of Sciences will be published electronically only.

Sahibi / Owner

Prof. Dr. Yılmaz CAN

Giresun Üniversitesi Adına (Rektör)

Baş Editör / Editor in Chief

Prof. Dr. Bahadır KOZ
Giresun Üniversitesi (Enstitü Müdürü)

Yardımcı Editörler / Assistant Editors

Doç. Dr. Selin KALKAN
Giresun Üniversitesi
Doç. Dr. Yasemin HACIOĞLU
Giresun Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Kenan YANMAZ
Giresun Üniversitesi

Alan Editörleri / Field Editors

Prof. Dr. Temel ÖZTÜRK
Prof. Dr. Bahadır KOZ
Prof. Dr. Seydahmet ÇAY
Doç. Dr. Mehmet Soner ENGİN
Doç. Dr. Onur Özdal MENGİ
Doç. Dr. Fulya AYDIN TEMEL
Doç. Dr. Selin KALKAN
Doç. Dr. Volkan BAŞER
Doç. Dr. Murat GÜL
Doç. Dr. Erdiç ŞAHİN
Doç. Dr. Tayfun ARSLAN
Doç. Dr. Eren KÖMÜRLÜ
Doç. Dr. Serdal KAYA
Doç. Dr. Yasemin HACIOĞLU
Dr. Öğr. Üyesi Kenan YANMAZ
Dr. Öğr. Üyesi Serdar SOYLU
Dr. Öğr. Üyesi Ahmet ÇELİK
Dr. Öğr. Üyesi Selçuk ATASOY
Dr. Öğr. Üyesi Zeliha ÇOLAK TOKA
Dr. Öğr. Üyesi Mehmet KILINÇ

Mizanpaj Editörleri / Manuscript Editors

Doç. Dr. Arzu AYDIN UNCUMUSAOĞLU
Dr. Öğr. Üyesi Kenan YANMAZ

Yazışma Adresi / Correspondence Address

Giresun Üniversitesi Fen Bilimlerle Enstitüsü
Güre Yerleşkesi 28200 / Giresun
Tel: 0 (454) 310 10 87

E-mail: kfbd@giresun.edu.tr

Web: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/kfbd>

Dil Editörleri / Language Editors

Öğr. Gör. Öznur GÜLER
Öğr. Gör. Yasin BİÇER

İstatistik Editörleri / Statistical Editors

Prof. Dr. Erol EĞRİOĞLU
Doç. Dr. Eren BAŞ

Editör Kurulu / Editorial Board

Prof. Dr. Alp Yalçın TEPE
Prof. Dr. Birol ERTUĞRAL
Prof. Dr. Birsen Şengül OKSAL
Prof. Dr. Temel ÖZTÜRK
Prof. Dr. Elif Neyran SOYLU
Prof. Dr. Cengiz MUTLU
Prof. Dr. Hakan BEKTAŞ
Prof. Dr. Saim TOPÇU
Prof. Dr. Hasan Hüseyin AKSU
Prof. Dr. Hakan ADATEPE
Prof. Dr. İmdat İŞCAN
Doç. Dr. Mustafa Recep KAÇAL
Doç. Dr. Murat YOLCU
Dr. Öğr. Üyesi Şerif Ali DEĞİRMENÇAY
Dr. Öğr. Üyesi Zuhul YOLCU

Danışma Kurulu / Advisory Board

Prof. Dr. Mustafa TÜRKMEN (Giresun Üniversitesi)
Prof. Dr. Baki HAZER (Bülent Ecevit Üniversitesi)
Prof. Dr. Telhat ÖZDOĞAN (Amasya Üniversitesi)
Prof. Dr. Hümeysra BATI (Ondokuzmayıs Üniversitesi)
Prof. Dr. Metin H. ACAR (İstanbul Teknik Üniversitesi)
Prof. Dr. Zeki AYTAÇ (Gazi Üniversitesi)
Prof. Dr. İsmail Hakkı ALTAŞ (Karadeniz Teknik Üniversitesi)
Prof. Dr. Yusuf AYVAZ (Yıldız Teknik Üniversitesi)
Prof. Dr. Dursun SARAYDIN (Cumhuriyet Üniversitesi)
Prof. Dr. Emin KASAP (Ondokuz Mayıs Üniversitesi)
Prof. Dr. Okan Zafer YEŞİLEL (Eskişehir Osmangazi Üniversitesi)
Prof. Dr. Mithat KAYA (Marmara Üniversitesi)
Prof. Dr. Mustafa KURT (Ahi Evran Üniversitesi)
Prof. Dr. Nazmi POLAT (Ondokuz Mayıs Üniversitesi)
Prof. Dr. Nezihe ÇALIŞKAN (Gazi Üniversitesi)
Prof. Dr. Veysel Turan YILMAZ (Uludağ Üniversitesi)
Prof. Dr. Halil İbrahim OKUMUŞ (Karadeniz Teknik Üniversitesi)

Yazı İşleri Müdürü / Editorial Manager

Dr. Öğr. Üyesi Kenan YANMAZ

Grafik-Tasarım / Graphic-Design

Dr. Öğr. Üyesi Erkan GÜLER

Redaksiyon / Redaction

Dr. Öğr. Üyesi Fikret USLUCAN

Bu dergi, aşağıda listelenen veri tabanları tarafından taranmaktadır / This journal is indexed by the following abstracting and indexing databases.

Tr Dizin, BASE, idealonline, Google Scholar, Index Copernicus, InfoBase Index, ResearchBib, SIS (Scientific Indexing Services), Akademik Dizin, Directory of Research Journals Indexing (DRJI), Directory of Open Access Journals (DOAJ) .

İçindekiler/Contents

Araştırma Makaleleri / Research Articles

Savfa/Page

Farklı Seramik Takviyeli Al Alaşım Matrisli Nanokompozitlerin Mekanik ve Korozyon Özelliklerinin İncelenmesi Abdullah Hasan KARABACAK Aykut ÇANAKÇI	1-14
Çok Kriterli Karar Verme Yöntemi ile Kapalı Alan Çalışmalarında Tehlikelerin Değerlendirilmesi: Örnek Bir Uygulama Onur DOĞAN	15-32
Estimation of Cloudiness Data Based on Multiple Linear Regression Model Mine Tulin ZATEROGLU	33-41
Kayıt Sistemi Süreç İyileştirmesinde Simülasyon Tekniğinin Kullanımı ve Bir Uygulaması Meryem PULAT Dilayla BAYYURT İpek DEVECİ KOCAKOÇ	42-59
Kapalı Mekân Ortamında 1D-CNN Kullanarak Yapılan Doluluk Tespiti Sınıflandırması Erkan GÜLER Muhammet Talha KAKIZ Faruk Baturalp GUNAY Burcu ŞANAL Tuğrul ÇAVDAR	60-71
A Deep Learning-Based System to Assist Radiologists in Detecting COVID-19 Disease from Chest Computed Tomography Images Oğuzhan KATAR Erkan DUMAN	72-96
Şartlandırılmış Zeolit - Klinoptilolit Minerali ile Bakır Gideriminin Araştırılması İlknur ŞENTÜRK	97-113
Yapıştırma ile Oluşturulmuş Al-Çe Katmanlı Sacların Dizilime Bağlı Olarak Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi Cengiz Görkem DENGİZ Kemal YILDIZLI	114-134
Synthesis and Spectroscopic Characterization of Novel Pyridine-based N-acyl Hydrazone Derivatives and Molecular Docking Studies on Glucosamine-6-Phosphate Derya VURAL Selbi KESKİN	135-152
Comparison of Artificial Neural Networks with other Machine Learning Methods in Foot Movement Classification Selin AYDIN FANDAKLI Halil OKUMUŞ	153-171
Ankaferd Blood Stopper'ın Sıçan Karaciğer, Böbrek ve Pankreasında Güvenilirlik Düzeyinin Belirlenmesi Erhan ŞENSOY	172-186
Farklı Ön İşlemlerin Patates Dilimlerinin Kuruma Karakteristikleri ve Rehidrasyon Yetenekleri Üzerine Etkisi Mustafa OTAĞ	187-201
Geleneksel Konutların Restorasyon Sürecinde Enerji Etkin İyileştirilmesi: Trabzon Evi Örneği Esra LAKOT ALEMDAĞ Birol ŞAHİN Ayça AKKAN	202-222
Experimental Investigation of Usability of 100% Recycled Asphalt Pavement (RAP) as a Cold Patching Material in Turkey Orhan KAYA	223-231
Prediction for the Anomalous ZZZ and ZZ γ Couplings via two Z-boson Production at the CLIC Emre GÜRKANLI	232-246
Türk İnşaat Sektöründe Şantiye Şeflerinin Liderlik Tipleri ile Çalışanların Motivasyonu Arasındaki İlişkinin Bir Veri Madenciliği Yöntemiyle Belirlenmesi Abdullah Emre KELEŞ Emel ORAL	247-263
Giresun Pazarlarında Satışa Sunulan Peynir Örneklerinden Enterococcus faecalis izolasyonu, Moleküler Tanımlanması ve Antibiyotik Duyarlılıklarının Araştırılması Tuğba CEBECİ	264-274

Farklı Seramik Takviyeli Al Alaşım Matrisli Nanokompozitlerin Mekanik ve Korozyon Özelliklerinin İncelenmesi

Abdullah Hasan KARABACAK^{1*} , Aykut ÇANAKÇI² 

Öz

Alüminyum metal matrisli kompozitler uçak, uzay, otomotiv ve savunma sanayi gibi birçok dalda kullanılan malzemelerdir. Araştırmacılar birçok çalışmada metal matrisli kompozitlere farklı takviyeleri mikro boyutta ekleyerek araştırmışlardır. Bu çalışmada ise, nano boyutta B₄C ve SiC takviyeleri ayrı ayrı ve birlikte alüminyum metal matrisli kompozitlere ilave edilerek nanokompozit ve hibrit nanokompozit numuneler toz metalurjisi yöntemi ile üretilmiştir. B₄C ve SiC takviye türünün nanokompozitlerin ve hibrit nanokompozitin mekanik ve korozyon davranışı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Mekanik testler sonucu takviye türü ne olursa olsun sertlik ve eğme mukavemeti değerleri artmıştır. En yüksek sertlik (209.9 HB) ve eğme mukavemeti (799.2 MPa) değerleri ağırlıkça %5 B₄C takviyeli nanokompozit numune göstermiştir. En düşük porozite değeri ise takviyesiz Al 2024 alaşım numunesine aittir. Korozyon testi sonuçlarına göre ise en düşük akım yoğunluğuna sahip numune Al 2024-B₄C (0.53 A/cm²x10⁻⁶) nanokompozitidir ve ayrıca takviyesiz Al 2024 numunesinin (46.12 A/cm²x10⁻⁶) akım yoğunluğundan yaklaşık 87 kat daha düşüktür.

Anahtar Kelimeler: Metal Matris Kompozit, B₄C, SiC, Korozyon.

Investigation of Mechanical and Corrosion Properties of Different Ceramic Reinforced Al Alloy Matrix Nanocomposites

Abstract

Aluminum metal matrix composites are materials used in many branches such as aircraft, space, automotive and defense industries. Researchers have investigated metal matrix composites by adding different reinforcements in micro size in many studies. In this study, nanocomposite and hybrid nanocomposite samples were produced by powder metallurgy method by adding nano-sized B₄C and SiC reinforcements separately and together to aluminum metal matrix composites. The effect of B₄C and SiC reinforcement type on the mechanical, physical and corrosion behavior of nanocomposites and hybrid nanocomposites was investigated. As a result of mechanical tests, hardness and bending strength values increased regardless of reinforcement type. The highest hardness (209.9 HB) and bending strength (799.2 MPa) values showed 5% by weight B₄C reinforced nanocomposite sample. The lowest porosity value belongs to the unreinforced Al 2024 alloy sample. According to the corrosion test results, the sample with the lowest current density was Al 2024-B₄C (0.53 A/cm²x10⁻⁶) nanocomposite, and it was approximately 87 times lower than the current density of the unreinforced Al 2024 sample (46.12 A/cm²x10⁻⁶).

Keywords: Metal Matrix Composite, B₄C, SiC, Corrosion.

¹Karadeniz Teknik Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Trabzon, Türkiye, hasankarabacak@ktu.edu.tr

²Karadeniz Teknik Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Trabzon, Türkiye, aykut@ktu.edu.tr

¹<https://orcid.org/0000-0003-4551-5254> ²<https://orcid.org/0000-0001-5244-6467>

1. Giriş

Alüminyum esaslı kompozitler en yaygın kullanılan metal esaslı kompozitlerden biridir ve çok dikkat çekmiştir, bu nedenle metal esaslı kompozitler alanında çok sayıda çalışma bu alana aittir (Onoro ve ark., 2009; Mula ve ark., 2009). Dövme alüminyum alaşımları, metal esaslı kompozitlerin üretiminde uzun süredir matris alaşımı olarak kullanılmaktadır. Bunun ana nedeni alüminyumun düşük yoğunluklu olmasıdır (Dutkiewicz ve ark., 2005; Torralba ve ark., 2003). Mükemmel sertlik-ağırlık ve mukavemet-ağırlık oranları nedeniyle, yapısal uygulamalarda alüminyum bazlı metal matrisli kompozitlerin (MMK 'ler) kullanılması çekicidir (Tang ve ark., 2004; Ceschini ve ark., 2007). Ancak bu kompozitlerin dezavantajı yüksek üretim maliyetleridir (Torralba ve ark., 2003; Rahimiana ve ark., 2009). Alüminyuma seramik parçacıkların (B_4C , SiC , Al_2O_3 gibi) eklenmesinin alüminyumun mukavemetini, aşınma direncini ve korozyon direncini iyileştirdiği belirlenmiştir (Torres ve ark., 2002; Sahin ve ark., 1996). B_4C 'yi bir takviye partikülü olarak kullanan nanokompozitler, yüksek sertlik ve modülün yanı sıra mükemmel korozyon direnci ve aşınma direnci sağlar. Silisyum karbür parçacıkları, yüksek elastik modül, özel mukavemet, daha yüksek mikro sertlik ve daha iyi aşınma direnci gibi özelliklerin elde edilmesi için kullanılır. Bununla birlikte, B_4C ve SiC seramik takviyeleri birlikte kullanıldığında, kompozitler daha iyi oksidasyon direnci, daha yüksek mukavemet, kırılma tokluğu ve sertliği ile korozyona dayanıklı malzemeler olarak kullanılabilir (Zhang ve ark., 2021; Çevik ve ark., 2021).

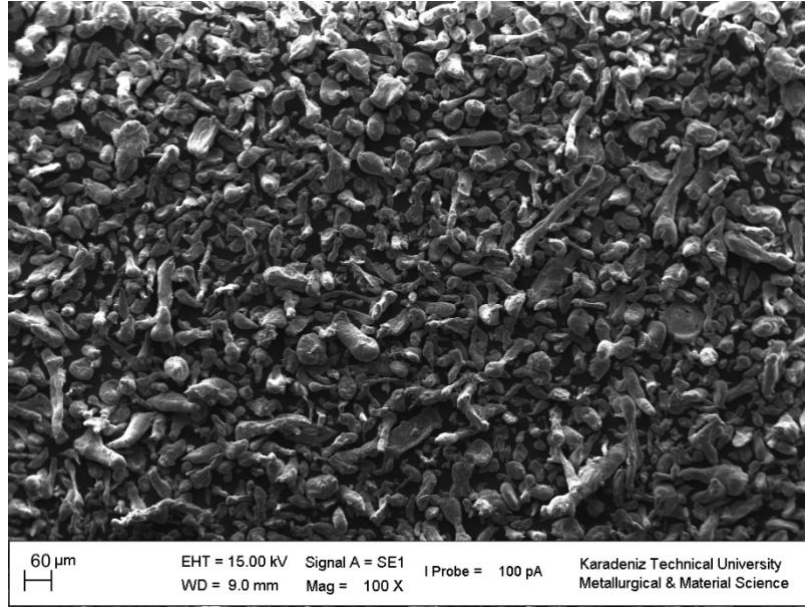
MMK 'ler, geleneksel döküm teknikleri, toz metalurjisi, sprey biriktirme ve difüzyon bağlama yaklaşımı gibi yöntemlerle sentezlenebilir (Varol ve ark., 2013). Toz metalurjisi yöntemi, MMK 'leri yapmak için en uygun yöntemdir. Toz metalurjisi yönteminin ergitme yöntemlerine göre en önemli avantajı düşük işlem sıcaklığıdır. Ayrıca, takviye parçacıkları da matris içinde iyi bir şekilde dağılmıştır (Canakci ve ark., 2012). Karakoç et al. (Karakoç ve ark., 2019), toz metalurjisi yöntemiyle üretilen B_4C - SiC takviyeli Al6061 matrisli kompozit ve hibrit kompozitlerin yoğunluğunu, sertliğini, çekme mukavemetini ve aşınmasını incelemiştir. Sonuçlara göre en düşük yoğunluk değerini (%99.02) ve en yüksek sertlik değerini (76 HB) ağırlıkça %12 B_4C kompozit numunesinden elde etmişlerdir. Takviye oranı arttıkça yoğunluk azaldı ve sertlik arttı. Ancak en yüksek çekme mukavemeti değeri (185.1 MPa), B_4C içeren numunelere kıyasla ağırlıkça %12 SiC içeren numuneden elde edilmiştir.

Literatürdeki çalışmalara bakıldığında, birçok araştırmacı metal matrisli kompozitlere tek bir takviye elemanı ilave ederek bazı özelliklerini incelemiştir. Bu çalışmada ise literatürdeki çalışmalardan farklı olarak iki farklı takviye hem ayrı ayrı eklenerek kompozit numuneler hem de birlikte katılarak hibrit nanokompozit numune üretilmiştir. Bu sayede farklı takviye türünün metal matrisli kompozitlerin özelliklerine etkisi tek bir çalışmada karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Ayrıca

takviye parçacıkları nano boyutta eklenerek literatürde çalışma miktarı az olan bir alana da katkı sağlanmıştır. Çalışmanın bir diğer yenilikçi yanı ise, metal matrisli nanokompozitlerin hem fiziksel ve mekanik hem de korozyon özellikler tek bir çalışma içerisinde incelenmiştir.

2. Materyal ve Metot

Matris malzemesi olarak Al 2024 alaşım tozları, nanokompozitlerin ve hibrit nanokompozitlerin üretiminde takviye malzemesi olarak ise nano B₄C ve nano SiC parçacıkları kullanılmıştır. Gaz atomizasyonu yöntemi ile üretilmiş Al 2024 tozları (Gündoğdu Ekzoterm Şirketi) ticari olarak, 4.85 Cu, 1.78 Mg, 0.385 Si, 0.374 Fe, 0.312 Mn, 0.138 Zn, 0.042 Cr, 0.005 Ti ve Al (denge) kimyasal bileşimine sahiptir (Şekil 1). Al 2024 alaşım tozlarını Matris malzemesinin ortalama partikül boyutu 50 µm, takviye malzemelerinin (B₄C; %99.8 saflık ve SiC; %99.7 saflık) (Alfa Aesar, Almanya) ortalama partikül boyutu sırasıyla 50 nm ve 40 nm'dir. Al 2024 matris tozları B₄C ve SiC tozları ile ayrı ayrı nanokompozit ve birlikte hibrit nanokompozit numuneler oluşturmak için karıştırıldı. Karıştırma işlemleri ağırlıkça %5 takviye içeriği ile bir gezegen bilyeli değirmende (Fritsch GmbH, model "Pulverisette 7 Premium line") oda sıcaklığında bir tungsten karbür haznede ve yüksek argon atmosferi altında 8 saat karıştırıldı. Öğütme haznesi içerisinde 10 mm çapa sahip tungsten karbür bilyeler kullanılmıştır. Bilye-toz ağırlık oranı olarak 5:1 oran ve 400 rpm öğütme hızı seçilmiştir. Ayrıca öğütme işlemi esnasında tozlar değirmende iki dakika çalışıp bir dakika dinlendirilmiştir ve kontrol ajanı olarak hazneye direkt ağırlıkça %2 oranında metanol eklenmiştir. Al 2024-B₄C ve Al 2024-SiC nanokompozitlerin ve Al 2024-B₄C hibrit nanokompozitin kalıpta hazırlanmasında sıcak presleme yöntemi kullanılmıştır. Numuneler ilk olarak 250 MPa ön presle sıkıştırıldı. Ardından 3 saat boyunca vakum altında 560 °C sıcaklıkta sinterlendi ve son olarak 500 MPa son basınçla preslenerek üretildi.

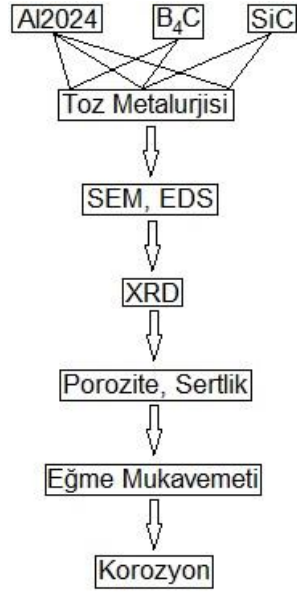


Şekil 1. Al 2024 alaşımı tozları

Tablo 1. Numunelerin kodlanması ve takviye oranları

Numune Kodu	B ₄ C (% ağı.)	SiC (% ağı.)	Al 2024	Öğütme Zamanı(s)
M0	-	-	100	8
M1	5	-	95	8
M2	-	5	95	8
M3	2.5	2.5	95	8

Numunelerin mikroyapı incelemeleri için 600, 800, 1000, 1200 ve 1500 numaralı su zımparaları ile zımparalanıp, ardından 1 mikrometre boyutlu alümina solüsyonu ile parlatılmıştır. Parlatma işleminden sonra 20 saniye keller ayırıcı ile dağlama işlemi yapılmıştır. Dağlama yapılan numunelerin mikroyapı analizleri, elementel analizleri ve korozyon testi sonrası hasar gören yüzeyleri Zeiss Evo LS10 taramalı elektron mikroskobu kullanılmıştır. Nanokompozitlerin faz analizi, Cu K α radyasyonu (1.541874 Å) tarafından kullanılan X-ışını kırınımı (XRD, PANalytical - X'Pert3 Pro) ile 20° ila 90° arasında ve 0.01°'lik bir tarama adımı boyutuyla tarif edilmiştir. Nanokompozitlerin yoğunluğu Arşimet yöntemi ile belirlenip porozite oranları hesaplanmıştır. Bu nanokompozitlerin sertlik ölçümleri Nemesis 9000 Brinell sertlik cihazında 31.25 kg yük altında 10 saniye uygulanmıştır. Ayrıca tüm numunelerin eğme testleri MTS marka universal malzeme test cihazında 0.5 mm/dakika test hızında gerçekleştirilmiştir. Eğme numunelerinin boyutları 6*10*80 mm'dir. Korozyon testi, oda sıcaklığında ağırlıkça %3,5 NaCl sulu çözeltisinde üç elektrotlu sistem (karşı elektrot, referans elektrot ve çalışma elektrotu) ile potansiyodinamik polarizasyon ölçümü kullanılarak yapılmıştır. Her korozyon testi, 1 mVs⁻¹ tarama hızında, -0.5 V 'tan (E_{kor}) +0.5 V_{Ag/AgCl} 'ye kadar gerçekleştirilmiştir (Şekil 2).



Şekil 2. Deneysel çalışmalar akış şeması



(a)



(b)



(c)



(d)



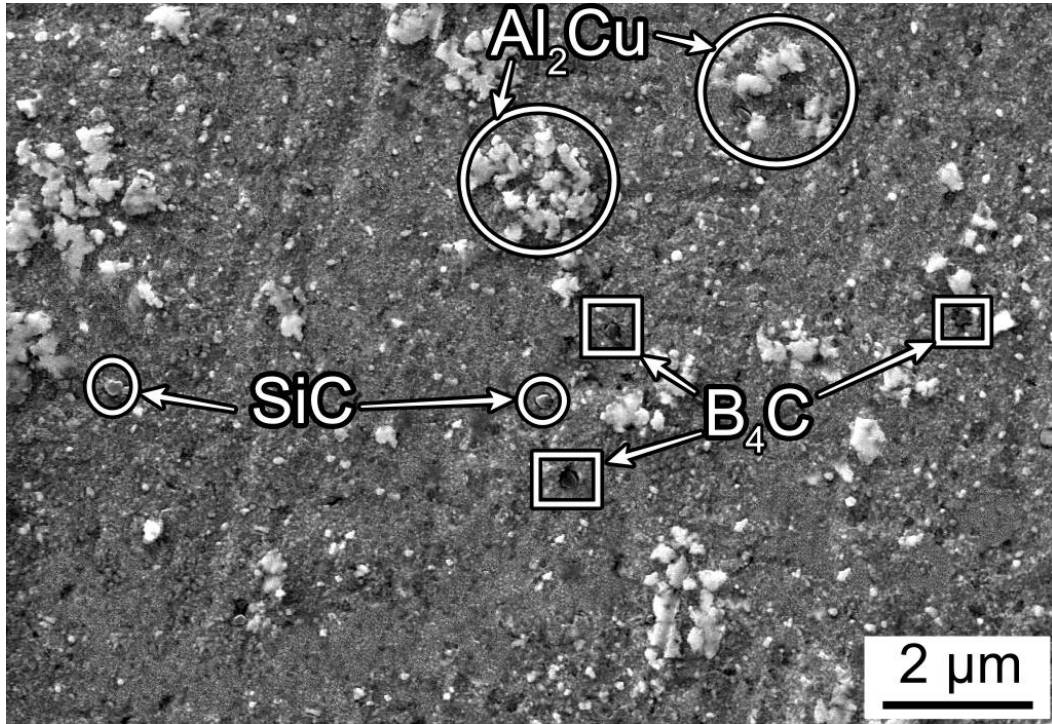
(e)

Şekil 3. Çalışmada kullanılan cihazların makro görüntüleri: (a) SEM ve EDS, (b) XRD, (c) Ünlversal çekme ve eğme, (d) Korozyon ve (e) Sertlik cihazları

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Mikroyapı

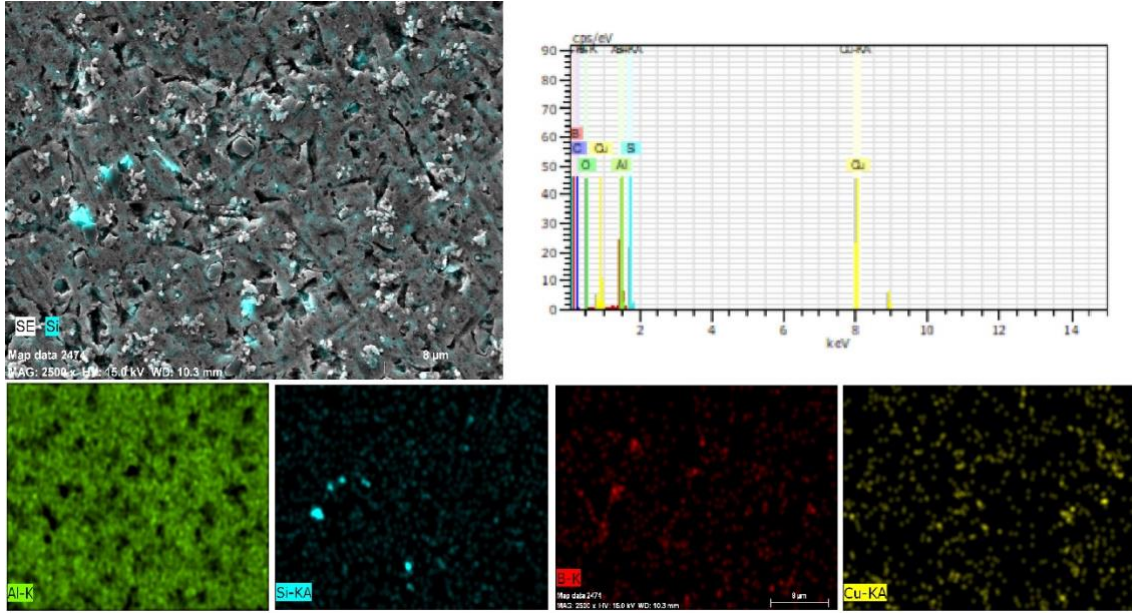
Toz metalurjisi yöntemiyle üretilen M3 kodlu hibrit nanokompozitin mikroyapısal görünümü Şekil 4'de gösterilmektedir. Bu şekilde gri alanlar Al 2024 alaşımını, beyaz alanlar Al_2Cu intermetalik fazlarını temsil etmektedir. Şekil 4 de işaretlenmiş B_4C ve SiC parçacıkları görülmektedir. Elde edilen görüntüden anlaşılacağı gibi numunede B_4C ve SiC tanecikleri homojen dağılmıştır. Sinterleme dönemlerinde elde edilen iç yapılarda tane sınırlarının tamamen ortadan kalktığı ve gözeneklerin küreselleştiği görülmektedir. Ayrıca oluşan intermetaliklerin tüm yüzeyde olduğu ve homojen dağıldığı görülmektedir. B_4C ve SiC seramik parçacıkları, sıcak presleme ile sıvı faz sinterleme sırasında erimiş alaşımın önceki soğuk bölgeleriyle çevrelenebilir. Takviye edici seramikler ve matris parçacıkları arasındaki kafes düzensizliği nedeniyle, B_4C ve SiC seramik parçacıklarının Al matrisinin hareketli sıvı/katı arayüzü tarafından yutulması çok zordur. Al_2Cu intermetalik fazın çekirdeklenmesi ve büyümesi, seramikler ve Al parçacıkları arasındaki ara yüzeyin yakınında gerçekleşir (Wu ve ark., 1999).



Şekil 4. M3 numunesinin mikroyapısı

Şekil 5, ağırlıkça %5 Al 2024- B_4C -SiC (M3) hibrit kompozit numunenin EDS element haritalama kimyasal analizinin sonuçlarını gösterir. Şekil 5, takviyelerin ve intermetaliklerin dağılımını gösterir. M3 numunesi için Al 2024 matrisinde B_4C -SiC partiküllerinin yakından homojen

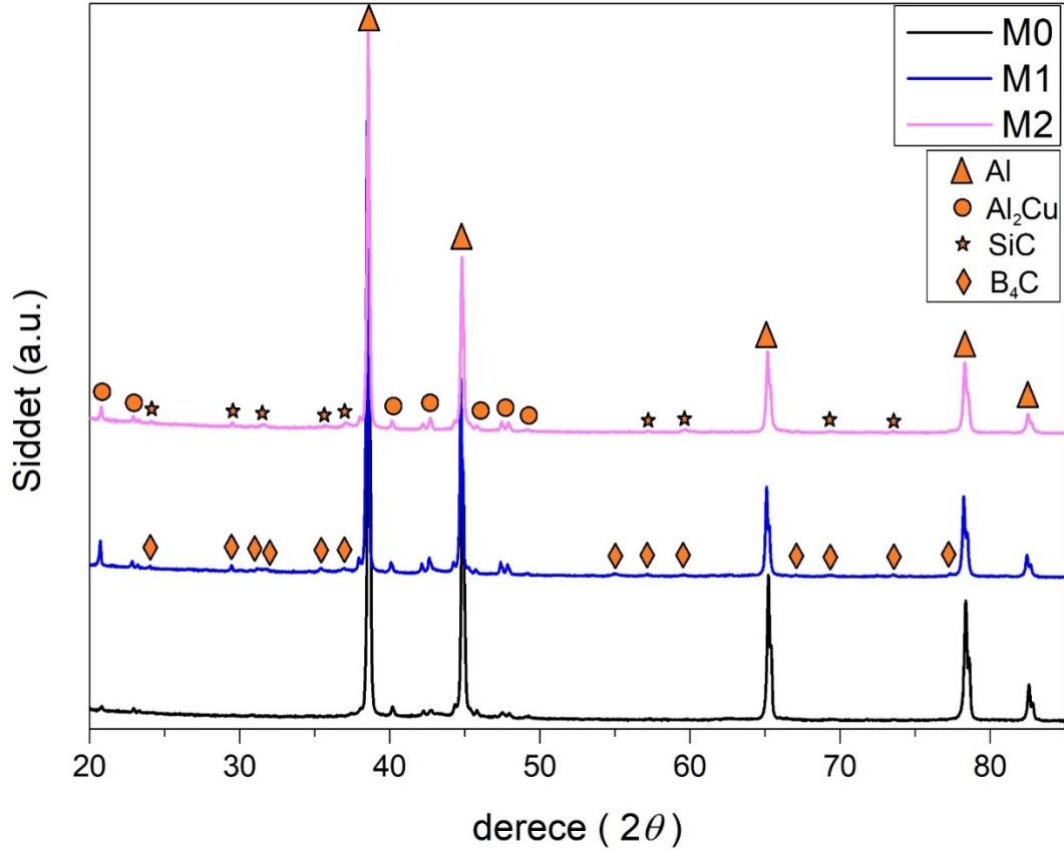
olarak dağıldığı görülmektedir. EDS eleman eşleme görüntüsünde matris tane sınırında B_4C -SiC parçacıklarının varlığına dair hiçbir açık kanıt incelenmemiştir. Ek olarak, özellikle Al 2024 matrisi içindeki SiC için takviye partiküllerinin aglomerasyonunun tamamen önlenemediği de fark edilmiştir.



Şekil 5. M3 hibrit nanokompozitin EDS haritalama analizi.

3.2. XRD Analizi

M0 alaşımı ve M1 ve M2 nanokompozit numunelerin XRD analiz grafikleri Şekil 6 'de gösterilmiştir. XRD grafikleri; Al (JCPDS No: 00-004-0787), B_4C (JCPDS No: 00-035-0798) ve SiC (JCPDS No: 00-029-1129) ile Al_2Cu bileşiğinin varlığını desteklemektedir. M0 kodlu numune için Al_2Cu 'nun kırınım pikleri, M1 ve M2 numunelerine kıyasla çok zayıftır. Bu tepe noktalarının bir örneği, yaklaşık 21° derecedeki Al_2Cu (JCPDS No: 96-901-2197) intermetalik faz tepe noktasıdır. Al-Cu sistemlerinde $AlCu$, Al_3Cu_4 , Al_4Cu_9 gibi oluşma ihtimali bulunan bileşiklerin varlığına rastlanmamıştır (Aravind ve ark., 2004). Bu durum bakır içeriğinin yetersiz olması veya Al_2Cu intermetalik faz oluşumunun daha düşük serbest enerjisi ile açıklanabilir. Bileşik tepe noktalarının olmaması Al_2Cu intermetalik fazın reaksiyon süresi boyunca bozunma yoluyla diğer bileşiklere dönüşmediğini gösterir (Chen ve ark., 2011). Al_4C_3 intermetalik fazı, düşük sinterleme sıcaklığı nedeniyle Al 2024, B_4C ve SiC tozları arasında herhangi bir reaksiyon gözlemlenmediği için XRD analizlerinde gözlemlenmemiştir. Sonuçlar ayrıca matris ve takviye partikülleri arasında herhangi bir kimyasal etkileşim olmadığını göstermiştir.



Şekil 6. Takviyeli ve takviyesiz numunelerin XRD analizi

3.3. Porozite ve Sertlik

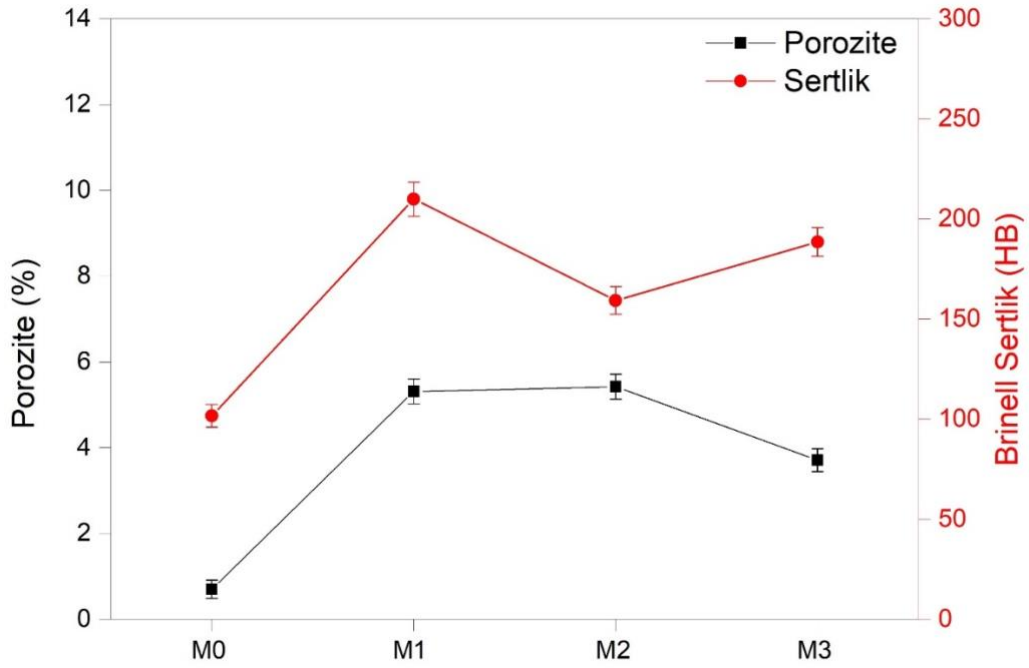
Al 2024 alaşımı ve tüm nanokompozitlerin mekanik ve fiziksel özellikleri ile ilgili çalışmaların sonuçları Tablo 2 'de verilmiştir. Her bir numune için üç ayrı porozite ölçümü ve sertlik testleri yapılmıştır. Şekil 7'de verilen grafikte porozite ve sertlik değerlerindeki değişim gösterilmiştir. Porozite değerlerine bakıldığında en düşük porozite değeri Al 2024 (M0) numunesine ait olduğu görülmektedir. Sonuçlarda, B₄C ve SiC takviye partiküllerinin ilavesi ile nanokompozitlerin porozite değerlerinde artış olduğunu göstermektedir. En yüksek porozite değeri ise SiC takviyeli M2 numunesi ait olduğu belirlenmiştir. Matris içerisinde sert partiküllerin varlığı boşluk ve çukur oluşumuna sebebiyet verdiğinden porozite değerlerinde yükselme olduğu sonucuna varılabilir.

Nanokompozitlerin sertliğinin Al 2024 alaşımından daha yüksek olduğu değerler Şekil 7 'de verilmiştir. En yüksek sertlik değerine M1 (209.9 HB) numunesi sahip olup, buna sebep olarak ise B₄C partiküllerinin SiC partiküllerinden daha sert olması gösterilebilir. Ayrıca M1 numunesi M0 numunesinden yaklaşık 2 kat daha yüksek sertliğe sahiptir. Nanokompozitlerin sertliğindeki artışın kritik gerekçesi, Al 2024 partikülünden çok daha sert partikül ile takviye edilmesinden ve plastik deformasyondan kaynaklanan sertleşmeden oluşmaktadır. Bahsedilen sebebe ek olarak, Hall Petch

etkisi ve partiküllerin nanokompozitlerin güçlendirilmesi üzerindeki etkisine atfedilmiştir. B₄C/SiC çift partikülleri, dislokasyonun ilerlemesine engel teşkil eder (Baradeswaran ve ark., 2014).

Tablo 2. Al 2024 alaşım ve nanokompozitlerinin mekanik ve fiziksel özellikleri

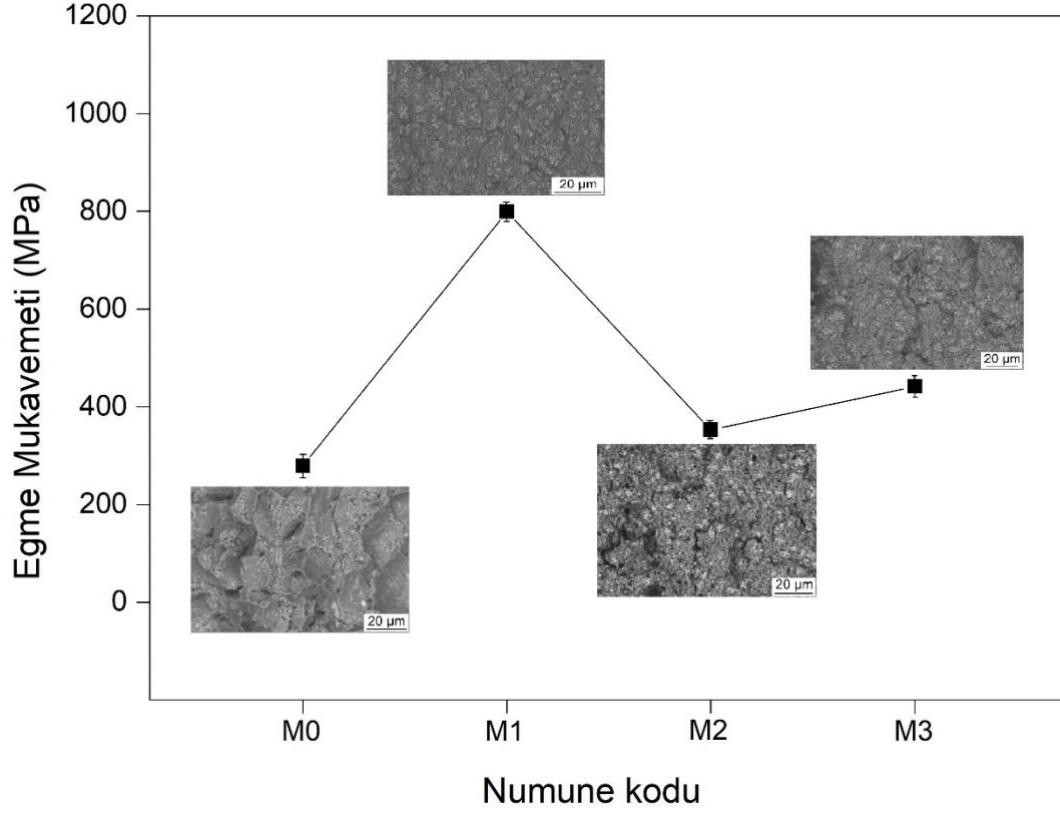
Numune Kodu	Porozite (%)	Brinell Sertlik (HB)	Eğme Mukavemeti (MPa)
M0	0.7 ±0.21	101.6 ±5.6	279.2 ±15.5
M1	5.31 ±0.29	209.9 ±8.5	799.2 ±21.6
M2	5.42 ±0.29	159.3 ±6.9	352.8 ±16.8
M3	3.71 ±0.27	188.5 ±7.2	441.5 ±18.3



Şekil 7. Porozite ve Sertlik sonuçları

3.4. Eğme Mukavemeti

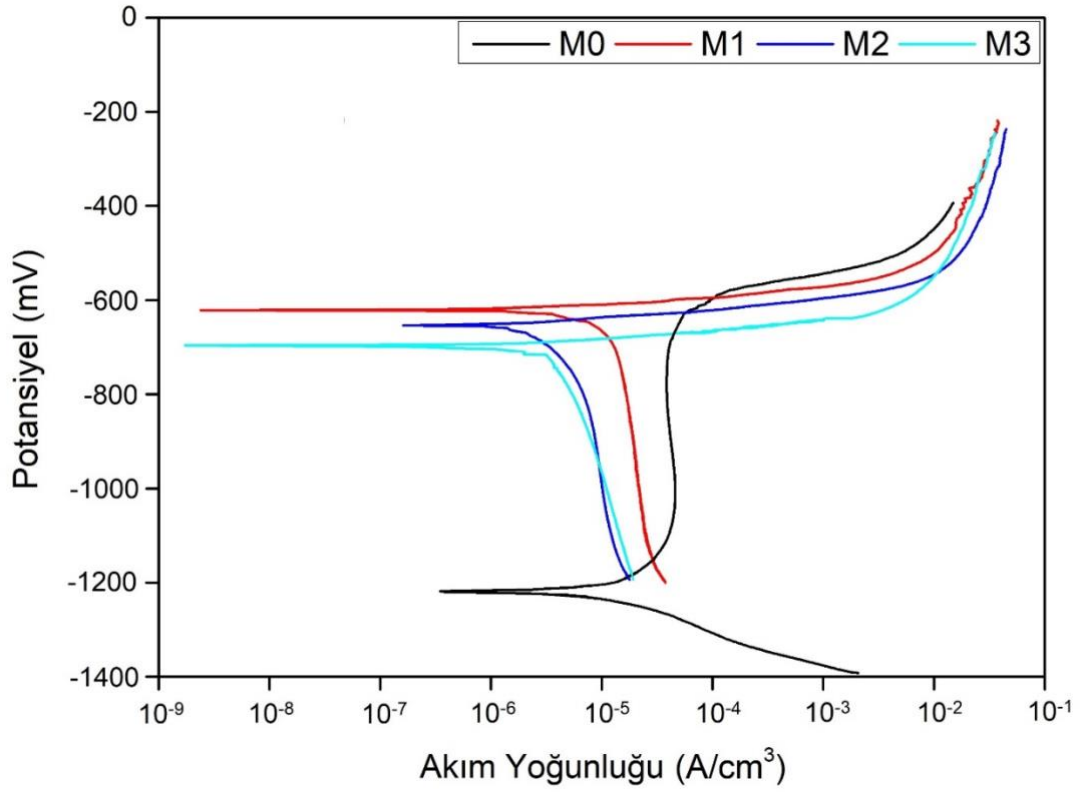
Şekil 8, sırasıyla Al 2024 alaşımının, Al 2024-B₄C, Al 2024-SiC nanokompozitlerin ve Al 2024-B₄C-SiC hibrit nanokompozitin eğme mukavemetini göstermektedir ve aynı grafik üzerinde eğme testleri sonu elde edilen kırılma yüzeyleri de sunulmuştur. Ayrıca numunelerin eğme mukavemeti değerleri Tablo 2 'de özetlenmiştir. Her bir numune için üç ayrı eğme mukavemeti testi yapılmıştır. Grafikte görüldüğü gibi takviyelerle beraber eğme mukavemeti değerleri artmıştır. Fakat en yüksek eğme mukavemeti değeri M1 (799.2 MPa) numunesine aittir. M1 numunesinin eğme mukavemeti değeri takviyesiz Al 2024 alaşımına kıyasla 2.5 kattan daha yüksek çıkmıştır. Sert B₄C ve Al₂Cu intermetalik parçacıkların dağılımı, parçacık boyutları ve miktarlarındaki azalma veya artma dayanımın değişimine sebep olmaktadır (Dinaharan ve ark., 2019). Kırılma yüzeyleri de incelendiği zaman oluşan yarıkların eğme mukavemeti arttıkça azaldığı belirlenmiştir.



Şekil 8. Eğme deneyi sonucu oluşan eğme mukavemeti değerleri

3.5. Korozyon

Takviyesiz Al 2024 alaşımının ve tüm nanokompozitlerin %3.5 NaCl çözeltisi içindeki potansiyodinamik polarizasyon eğrileri Şekil 9 'da verilmiştir. Tüm numuneler genellikle benzer polarizasyon eğrileri ve pasiflik türleri sergilemiştir. Tüm potansiyodinamik polarizasyon eğrilerindeki akımın, anodik ve katodik Tafel davranışı sergileyen dinlenme potansiyeli etrafında doğrusal ve düzgün bir şekilde değiştiği görülür. Nanokompozit numunelerin polarizasyon eğrileri, Al 2024 ile karşılaştırıldığında, seramik nano parçacıkların (B_4C -SiC) eklenmesi nedeniyle daha düşük bir korozyon hızı ile sonuçlandığını göstermiştir (Mishra ve ark., 2007). Nanokompozitlerin korozyon potansiyelleri (E_{kor}) -621 ile -703 mV arasında karakterize edilmesine rağmen, Al 2024 alaşımının E_{kor} değeri -1220 mV'dur.



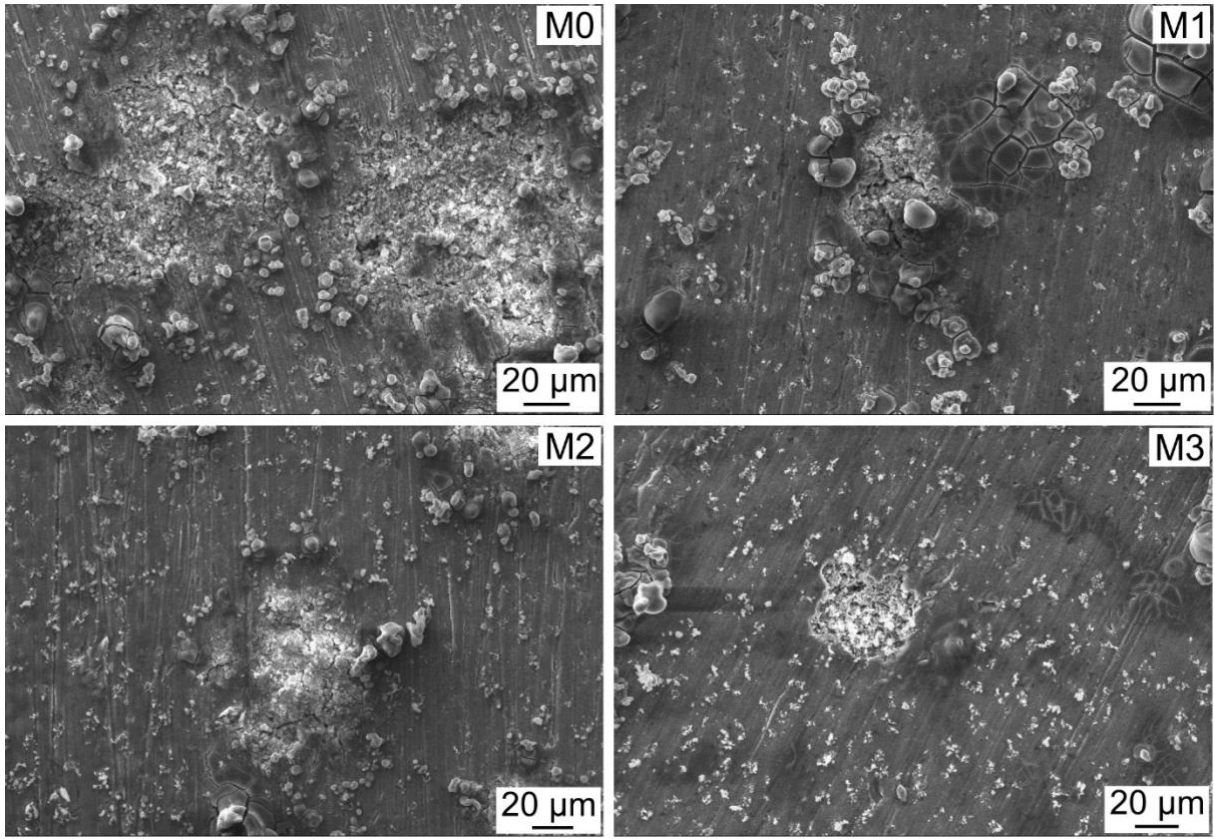
Şekil 9. Al 2024 alaşımının, nanokompozitlerin ve hibrit nanokompozitin %3,5 NaCl çözeltisi içinde potansiyodinamik polarizasyon eğrileri

Tafel potansiyodinamik yöntemi kullanılarak Şekil 9 'dan elde edilen E_{kor} , akım yoğunluğu (I_{kor}) ve korozyon hızı değerleri Tablo 3'te gösterilmektedir. Elde edilen veriler ışığında en iyi korozyon direncine sahip numuneler hem akım yoğunluk değerleri hem de korozyon hız değerleri birine çok yakın olan M1 ($I_{kor}=0.53 \text{ A/cm}^2 \times 10^{-6}$) ve M3 ($0.54 \text{ A/cm}^2 \times 10^{-6}$) numuneleridir.

Tablo 3. Korozyon potansiyeli (E_{kor}), korozyon akım yoğunluğu (I_{kor}), ve numunelerin korozyon oranları değerleri

Numune Kodu	I_{kor} ($\text{A/cm}^2 \times 10^{-6}$)	E_{kor} (mV)	Korozyon Hızı (mpy)
M0	46.12	-1220	31.87
M1	0.53	-703	0.37
M2	5.35	-621	3.91
M3	0.54	-679	0.38

Korozyon testleri sonrası tüm numunelerde oluşan korozyon yüzeylerinin SEM görüntüleri Şekil 10 'de verilmiştir. Numunelerin tüm yüzeylerinde farklı boyutlarda yarım küre çukurlar gelişmiş ve her çukurun çevresinde Al 2024 alaşım matrisinin korozyonu nedeniyle bir korozyon ürünü toplanmıştır. Destekleyici bir korozyon mekanizması olduğu sonucuna varılabilir. Korozyon değerlerine bakılacak olursa Al 2024 alaşım numunesinin yüzeyinde oluşan çözünme miktarının nanokompozitlere kıyasla daha fazla olduğu görülür.



Şekil 10. Tüm numunelerin korozyon yüzeyleri

4. Sonuçlar ve Öneriler

Bu çalışmada, Al 2024 matrisli ağırlıkça %5 B₄C, SiC ve her ikisinin takviye edildiği nanokompozitler toz metalurjisi yöntemi ile üretilmiştir. Elde edilen sonuçlar sayesinde, literatürde az rastlanan bir çalışma örneği ortaya koyulmuştur. Çalışma sayesinde, hem B₄C ve SiC takviyeleri ayrı ayrı Al2024 alaşımına eklenerek nanokompozitler hem de B₄C ve SiC takviye elemanları birlikte eklenerek hibrit nanokompozit numuneler üretilmiştir. Ayrıca tüm farklı türde nanokompozitlerin tek bir çalışma içerisinde fiziksel, mekanik ve korozyon özellikleri bir arada incelenip karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

1- XRD analiz sonuçları Al, B₄C, SiC ve Al₂Cu'nun varlığını ortaya koymuştur. EDS analizi ile de B₄C ve SiC parçacıklarının yapıda homojen dağıldığından bahsedebiliriz. Ayrıca SEM görüntüsü ile yapıdaki B₄C, SiC ve Al₂Cu bileşiklerinin nasıl bir yapıya sahip olduğu görülmüştür.

2- Takviye parçacıklarının eklemesi ile porozite de artış olduğu anlaşılmaktadır. En düşük porozite değeri M0 (%0.7) numunesine ait iken en yüksek porozite değeri ise M2 (%5.42) numunesine aittir. Nanokompozitler arasındaki en iyi porozite değeri M3 (%3.71) numunesine aittir.

3- Sertlik değerlerine göre ise en yüksek sertlik değere M1 (209.9 HB) numunesi, en düşük sertlik değerine ise takviyesiz M0 (101.6 HB) numunesi sahiptir. Aynı zamanda eğme mukavemeti

sonuçlarına göre de en yüksek değere M1 (799.2 MPa) numunesi, en düşük eğme mukavemeti değerine ise M0 (279.2 MPa) numunesi sahiptir.

4- Nanokompozitlerin korozyon direnci, B₄C-SiC nano parçacıklarının eklenmesiyle önemli ölçüde arttırılmıştır. Korozyon akım yoğunlukları karşılaştırıldığında, takviyesiz Al 2024 alaşımının korozyon akım yoğunluğunun M1 ve M3 numunesinden 87 kat daha fazla olduğuna karar verildi.

Yazarların Katkısı

Tüm yazarlar çalışmaya eşit katkıda bulunmuştur.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar

- Aravind, M., Yu, P., Yau, M.Y., Ng, DHL., (2004). Formation of Al₂Cu and AlCu intermetallics in Al(Cu) alloy matrix composites by reaction sintering. *Materials Science and Engineering: A*, 380, 384-393.
- Baradeswaran, A., Vettivel, S.C., Elaya, P. A., (2014). Experimental investigation on mechanical behaviour, modelling and optimization of wear parameters of B₄C and graphite reinforced aluminium hybrid composites. *Materials & Design*, 63, 620-632.
- Canakci, A., Ozsahin, S., Varol, T., (2012). Modeling the influence of a process control agent on the properties of metal matrix composite powders using artificial neural networks. *Powder Technology*, 228, 26-35.
- Ceschini, L., Boromei, I., Minak, G., Morri, A., Tarterini, F., (2007). Effect of friction stir welding on microstructure, tensile and fatigue properties of the AA7005/ 10 vol.% Al₂O₃p composite. *Composites Science and Technology*, 67, 605-615.
- Chen, J., Lai, Y.S., Wang, Y.W., Kao, C.R., (2011). Investigation of growth behavior of Al-Cu intermetallic compounds in Cu wire bonding. *Microelectronics Reliability*, 51, 125-129.
- Çevik, Z.A., Karabacak, A.H., Kök, M., Çanakçı, A., Kumar, S.S., Varol, T., (2021). The effect of machining precesses on the physical and surface characteristics of AA2024-B₄C-SiC hybrid nanocomposites fabricated by hot pressing method. *Journal of Composites Materials*, 55, 2657-2671.
- Dinaharan, I., Balakrishnan, M., David, R. S. J., Akinlabi, E.T., (2019). Microstructural characterization and tensile behavior of friction stir processed AA6061/Al₂Cu cast aluminum matrix composites. *Journal of Alloys and Compounds*, 781, 270-279.
- Dutkiewicz, J., Litynska, L., Maziarz, W., Haberko, K., Pyda, W., Kanciruk, A., (2005). Structure and properties of nanocomposites prepared from ball milled 6061 aluminium alloy with ZrO₂ nanoparticles. *Crystal Research and Technology*, 44, 1163-9.
- Karakoç, H., Ovalı, İ., Dündar, S., Çıtak, R., (2019). Wear and mechanical properties of Al6061/SiC/B₄C hybrid composites produced with powder metallurgy. *Journal of Materials Research and Technology*, 8, 5348-5361.
- Mishra, A.K., Balasubramaniam, R., Tiwari, S., (2007). Corrosion inhibition of 6061-SiC by rare earth

- chlorides. *Anti-Corrosion Methods and Materials*, 54, 37-46.
- Mula, S., Padhi, P., Panigrahi, S. C., Pabi, S. K., Ghosh, S., (2009). On structure and mechanical properties of ultrasonically cast Al-2% Al₂O₃ nanocomposite. *Materials Research Bulletin*, 44, 1154-60.
- Onoro, J., Salvador, M. D., Cambronero, L. E. G., (2009). High-temperature mechanical properties of aluminum alloys reinforced with boron carbide particles. *Materials Science Engineering A*, 499, 421-426.
- Rahimiana, M., Ehsania, N., Parvin, N., Baharvandi, H. R., (2009). The effect of particle size, sintering temperature and sintering time on the properties of Al-Al₂O₃ composites made by powder metallurgy. *Journal of Materials Processing Technology*, 209, 5387-5393.
- Sahin, Y., Murphy, S., (1996). The effect of fiber orientation of the dry sliding wear of borsic-reinforced 2014 aluminum alloy. *Journal of Materials Science*, 34, 5399-5407.
- Tang, F., Anderson, E. I., Herold, T.G., Prask, H., (2004). Pure Al matrix composites produced by vacuum hot pressing: tensile properties and strengthening mechanisms. *Materials Science Engineering A*, 383, 362-373.
- Torralba, J. M., Costa, C. E., Velasco, F., (2003). P/M aluminum matrix composites: an overview. *Journal of Materials Processing Technology*, 133, 203-206.
- Torres, B. H., Ibanez, L., Garcia-Escorial, J. A., (2002). Mechanical properties of some PM aluminize and silicate reinforced 2124 aluminum matrix composites. *Scripta Materialia*, 47, 45-49.
- Varol, T., Canakci, A., Ozsahin, S., (2013). Artificial neural network modeling to effect of reinforcement properties on the physical and mechanical properties of Al2024-B₄C composites produced by powder metallurgy. *Composites Part B: Engineering*, 54, 224-233.
- Wu, S., Nakae, H., (1999). Nucleation effect of alumina in Al-Si/Al₂O₃ composites. *Journal of Materials Science Letters*, 18, 321-323.
- Zhang, W., Yamashita, S., Kita, H., (2021). A study of B₄C-SiC composite for self-lubrication. *Journal of the American Ceramic Society*, 104, 2325-2336.

Çok Kriterli Karar Verme Yöntemi ile Kapalı Alan Çalışmalarında Tehlikelerin Değerlendirilmesi: Örnek Bir Uygulama

Onur DOĞAN^{1*} 

Öz

Kapalı alanlar, tek girişi ve çıkışı olan, uzun süreli çalışma yapılmak için tasarlanmamış (reaksiyon tankları, menholler, lağımlar, tüneller, silolar, mahzenler, boru hatları, depolar vb.) yerlerdir. Kapalı alanlar, gaz, toz, gürültü, titreşim, yutma, ezilme, göçük altında kalma, kimyasal ve biyolojik gibi birçok riski içinde barındırabilmektedir. Bu riskler bazı durumlarda bütünlük olarak ortaya çıkabilmekte ve ciddi maddi veya manevi kayıplara neden olabilmektedir. Bu bakımdan kapalı alan çalışmaları öncesinde kapsamlı şekilde risklerin analiz edilmesi iş güvenliği ve çalışan sağlığı açısından hayati derecede önem taşımaktadır. Bu çalışmada, kapalı alanlardaki riskler, Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemi ile değerlendirilmiştir. Çalışmada kullanılan ana kriterler ve alt kriterler, alanında uzman kişilerin görüş ve önerileri (kapalı alan çalışma tecrübesi olan) ve literatür araştırması dikkate alınarak (Aykaç, 2018; Güzel, 2013; Uysal, 2020) hazırlanmıştır. Analiz, çalışan kaynaklı tehlikeler, kimyasal ve biyolojik tehlikeler, ergonomik tehlikeler ve fiziksel tehlikeler ile bu kriterleri etkileyen toplam on iki alt kriterden oluşturulmuştur. Çalışmanın analizinde Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemlerinden Analitik Hiyerarşi Proses (AHP) yöntemi tercih edilmiştir. AHP yöntemi, en iyi seçimin yapılmasında, kolay ve hızlı karar alınmasında, objektif ve subjektif kararları bir arada bulundurulabilmesi açısından diğer ÇKKV yöntemlerine göre avantajlı bir yöntemdir. Analizin çözümünde Microsoft Excel'den faydalanılmış ve ana kriterler arasında yapılan analiz sonucunda tutarlılık indeksi $0,1 > 0,0780$ bulunmuştur. Bu sonuca göre en yüksek ağırlığa sahip kriter 0,3372 ile kimyasal (oksitleyici, aşındırıcı, alerjik, mutajen vb.) ve biyolojik (bakteri, virüs, bulaşıcı hastalıklar vb.) riskler olmuştur. Bunu sırasıyla 0,2683 ergonomik riskler, 0,2208 çalışan kaynaklı riskler, 0,1737 fiziksel tehlikeler takip etmiştir. Yapılan çalışmada, standart risk değerlendirme yöntemleri ve kontrol listelerinden ziyade farklı bir yöntem uygulanmıştır. AHP yöntemi ile riskler en yüksek önem düzeyine sahip olandan en düşük önem düzeyine sahip olana doğru sıralanmıştır. Böylelikle hem risklerin belirlenmesi hem de önceliklendirilmesi yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Kapalı alan, Risk, Risk analizi, Analitik hiyerarşi proses yöntemi (AHP), İş güvenliği

Assessment of Hazards in Confined Areas Studies Using a Multi-Criteria Decision-Making Method: An Example Application

Abstract

Confined spaces are places with only one entrance and exit, not designed for long-term work (reaction tanks, manholes, sewers, tunnels, silos, cellars, pipelines, warehouses, etc.). Confined spaces can contain many risks such as gas, dust, noise, vibration, swallowing, crushing, dent, chemical and biological. In some cases, these risks can occur in an integrated manner and cause serious material or moral losses. In this respect, it is vitally important for occupational safety and employee health to comprehensively analyze risks before indoor work. In this study, the risks in confined spaces were evaluated with the Multi-Criteria Decision Making (MCDM) method. The main criteria and sub-criteria used in the study were prepared by considering the opinions and suggestions of experts in the field (with indoor working experience) and literature research (Aykaç, 2018; Güzel, 2013; Uysal, 2020). In the analysis, employee-related hazards, chemical and biological hazards, ergonomic hazards and physical hazards and a total of twelve sub-criteria affecting these criteria were formed. In the analysis of the study, Analytical Hierarchy Process (AHP) method, one of the Multi-Criteria Decision Making (MCDM) methods, was preferred. The AHP method is an advantageous method compared to other MCDM methods in terms of making the best choice, making easy and fast decisions, and combining objective and subjective decisions. Microsoft Excel was used to solve the analysis and as a result of the analysis made among the main criteria, the consistency index was found to be $0.1 > 0.0780$. According to this result, the criterion with the highest weight was 0.3372 (chemical (oxidizing, corrosive, allergic, mutagen, etc.) and biological (bacteria, virus, infectious diseases, etc.) risks.) This was followed by 0.2683 ergonomic risks, 0.2208 employee-related risks, and 0.1737 physical hazards, respectively. In the study, a different method was applied rather than standard risk assessment methods and checklists. With the AHP method, the risks are ranked from the highest to the lowest. Thus, both the identification and prioritization of risks were made.

Keywords: Confined space, Risk, Risk analysis, Analytical hierarchy process method (AHP), Occupational safety

¹Gümüşhane Üniversitesi, MYO, Mülkiyet Koruma ve Güvenlik Bölümü, Gümüşhane, Türkiye onurdogan@gumushane.edu.tr

¹<https://orcid.org/0000-0001-8231-9872>

1. Giriş

Kapalı alanlar, tek bir noktadan giriş ve çıkışı olan, uzun süreli çalışma yapmak için tasarlanmamış, özel izin gerektiren ve içinde birçok riski barındıran yerlerdir. Menholler, kanalizasyonlar, tanklar, silolar, su kuleleri, üstü açık su depoları, boru hatları vb. yerler kapalı alanlara örnek gösterilebilir. Kapalı alan çalışmalarının yapıldığı yerler, işin türü (sıcak, soğuk, solventler vb.), çalışma alanının yapısı (kaygan zemin, akışkan sıvı, aşağı doğru daralan vb.), çalışan (eğitimsiz kişiler, kusurlu hareket vb.) ve çevresel (deprem, sel, taşkın vb.) nedenlerden kaynaklanan birçok riski barındırabilmektedir. Bu nedenle bu çalışmaların yapılacağı yerlerde çalışma öncesinde birtakım prosedürler bulunmaktadır. Kapalı alana giriş izni bu prosedürlerin başında gelmektedir. Eğer bu alanlarda çalışma yapılması gerekiyorsa her koşulda çalışma izin formunun doldurulup yetkili kişiler tarafından imzalanması gerekmektedir. Kapalı alan çalışmalarına karar vermeden önce yapılması gereken bir diğer husus da yapılacak işin tanımıdır. Sıcak-soğuk, temizlik, kaynak, genel bakım ve onarım gibi işler bu çalışmalardan bazılarıdır. Daha sonra kapalı alan içinde ne kadar süre çalışma yapılacağına dair planlama yapılmalıdır. Kapalı alanlarda genellikle uzun süreli çalışma tavsiye edilmez. Çünkü kapalı alanlarda çoğu zaman birden fazla risk bir arada bulunmaktadır. Örneğin kapalı alan içinde tortu halinde bulunan ve patlama özelliğine sahip kimyasallar statik elektrik sonucu patlama-yangın olarak ortaya çıkabilmektedir. Temizlik çalışmaları için çözücülerin kullanılması sonucu zehirli gazların oranının artarken, oksijen (O₂) oranı azalabilmektedir. Tahıl ambarlarında ise, yutma, bakteri-virüs ve toz patlaması gibi riskler bulunmaktadır. Kapalı alan çalışmalarına karar verildikten sonra yetkin kişiler tarafından kapsamlı şekilde risk değerlendirmesi yapılır. Daha sonra acil durum prosedürleri ve gözlemcinin görev ve sorumlulukları belirlenir. Çalışma öncesinde kapalı alan çalışanına ve destek elemanına eğitim verilir. Eğitim kapsamında; yapılacak işin türü, genel riskler, iletişim, kullanılan ekipmanlar, acil durum prosedürleri, ilk yardım, çevresel faktörler, kişisel koruyucu donanımların kullanımı vb. hususlar yer almaktadır. Kapalı alanlarda her ne kadar iş güvenliği ve çalışan sağlığına yönelik tedbirler alınsa da risklerin yüzde yüz engellenmesi çoğu zaman imkansızdır. Klasik yöntemler ile risklerin öngörülmesi ve elimine edilmesi bazı durumlarda yetersiz kalabilmektedir. İş yerlerinde risklerin tespit edilmesi ve önceliklendirilmesine yönelik farklı yöntemlerin uygulanmasının iş güvenliği ve çalışan sağlığı açısından faydalı olacağı düşünülmektedir. Yapılan bu çalışmada, kapalı alan çalışmalarının yapıldığı yerlerdeki riskler (dört ana kriter on iki alt kriter) literatür araştırması ve uzman kişilerin görüş ve önerileri dikkate alınarak belirlenmiştir. Çalışmanın analizinde Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemlerinden, Analitik Hiyerarşi Proses (AHP) yöntemi kullanılmıştır. Karar verme problemleri çoğu zaman karmaşık ve zorlu süreç gerektirir. Bu bakımdan AHP yöntemi, büyük çaplı problemlerin küçük ve alt problemlere bölünerek etki düzeyinin araştırılması açısından avantajlı bir yöntemdir

(Ishizaka ve Nemery, 2013). Aynı zamanda birden çok değerlendirme kriterinin dikkate alınarak çözümlemenin yapılabildiği esnek bir modelleme yöntemidir (Timor, 2011; Bhutta ve Huq, 2002). Grup kararlarının alınmasında diğer yöntemlere nazaran daha uygundur (Tüzemen ve Özdağoğlu, 2007). Kapalı alan gibi çok tehlikeli işlerin yapıldığı yerlerde çoğu zaman hızlı ve etkili karar almayı gerektiren durumlar söz konusu olabilmektedir. Çalışmada kullanılan yöntem ile risklerin önceliklendirilmesi hem daha güvenli bir çalışma ortamının sağlanması hem de hızlı karar alınabilmesi açısından iş güvenliği uzmanlarına zaman kazandırması öngörülmektedir. Bu bakımdan yapılan analizlerden elde edilen sonuçlar detaylı şekilde analiz edilmiş ve kapalı alan gibi çok tehlikeli iş yerlerinde risklerin tespit edilmesi ve önceliklendirilmesi için AHP yöntemi tavsiye edilmiştir.

2. Kapalı Alanlar ve Barındırdığı Riskler

Endüstriyel sanayide kapalı alan olarak tanımlanabilecek birçok çalışma alanı bulunmaktadır. Kapalı alanlar, konfigürasyon ve içerik itibari ile birbirinden farklı birçok riski içinde barındırmaktadır. Örneğin patlayıcı veya zehirli gazların kapalı alanda kalması çalışanlar için ciddi risk oluşturabilmektedir (Code of Practice for Confined Space Entry, Canada, 2009). Kapalı alanlardaki muhtemel risklerin tanımlanmasındaki ve denetlemedeki başarısızlıklar, yanlış ve yetersiz acil durum planları (N.C.Dep.of Labor.Usa, 2008) yaralanma hatta ölümlerle sonuçlanabilecek durumlara neden olabilmektedir. Yıllık ortalama bir milyon işçi kapalı alan çalışması yapmak amacıyla kapalı alanlara giriş yapmaktadır (Aykaş, 2018). Bu nedenle kapalı alana girmeden veya çalışmaya başlamadan önce alana daha güvenli ve alternatif iş yapma metotları araştırılması önerilmektedir. Çünkü kapalı alanlar, normal iş yerlerinden çok daha tehlikeli yerlerdir. Girişte önemsiz olarak görülen bir hata veya dikkatten kaçan herhangi bir durum trajik bir kaza ile sonuçlanabilmektedir. Kapalı alan çalışmaları, Amerika Birleşik Devletleri'nde (ABD) ölümlü iş kazalarının yaşandığı alanlardan bir tanesidir. ABD İş Güvenliği ve Çalışma İdaresi'ne (OSHA) göre, kazaların büyük bir kısmı, kapalı alandaki muhtemel tehlikelerle mücadele konusunda eğitim almayan kişilerden kaynaklanmıştır. OSHA'ya göre her yıl kapalı alan çalışmalarının yapıldığı iş yerlerinde yaklaşık doksan çalışan yaşamını yitirmektedir (Uysal, 2020:1-2).

Tablo 2.1. 2011-2018 yıllarına ait ABD'de kapalı alan çalışmaları sonucu ölümlü yaralanma oranları (U.S. Bureau of Labor Statistics, 2020)

	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Birincil	37	31	33	22	34	44	38	31
İkincil	56	42	50	45	54	38	48	42
Toplam	93	73	83	67	88	82	86	73

Tablo 2.1'e göre birincil yaralanma kaynağı, doğrudan yaralanmaya neden olan nesneyi veya maruz kalmayı tanımlarken, ikincil yaralanma kaynağı ise, mevcut durumda yaralanma kaynağını oluşturan olaya veya maruz kalmaya neden olan nesneyi, kişi veya maddeyi ifade etmektedir (Uysal, 2020). Tablo 2.2'de 2011-2022 yıllarına ait kapalı alan çalışmaları esnasında yaralanma sayılarını ve işçi başına düzen ortalama işten ayrılma sürelerini ifade etmektedir. Olay ya da maruziyet faktörleri ve yıllar dikkate alındığında kayma, takılma ve düşme sonucu yaralanma oranları, nesne, donanım ile temas, aşırı efor ve vücut reaksiyonuna göre daha fazla yaralanmaya bağlı işten ayrı kalma süresine neden olmuştur.

Tablo 2.2. 2011-2018 yıllar arasında ABD'de kapalı alanlardaki tehlikelerden kaynaklanan yaralanma sayıları ve işçi başına ortalama işten ayrı kalma süreleri (U.S. Bureau of Labor Statistics, 2020)

Maruziyet ya da Olay	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Kayma, düşme, takılma	740	500	590	530	570	960	530	610
Düşmeksizin takılma, kayma	20	40	-	-	-	-	-	-
Aynı seviyeye düşme	160	70	230	150	180	310	200	140
Alt seviyeye düşme	500	320	270	340	340	650	330	450
Nesne, donanım ile temas	590	690	1140	440	500	400	310	290
Nesnenin çarpması	110	150	80	110	170	70	90	60
Nesneye çarpma	240	200	310	150	130	160	140	70
Nesne, malzemeye sıkışma,	110	50	120	30	50	90	-	30
Aşırı efor ve vücut reaksiyonu	290	350	280	140	660	240	170	60
Kaldırma ve indirme aşırı efor	150	150	30	60	170	130	90	-
Toplam	1620	1540	2010	1110	1730	1600	1010	960
İşçi Başına Ortalama İşten Ayrı kalma süreleri	8	4	47	8	7	14	21	7

Kapalı alanlar dört şekilde sınıflandırılır. Bunlar, birincil sınıf kapalı alanlar; insan sağlığı ve güvenliği için doğrudan tehdit eden koşullardır. Alt patlama sınırının %10'u veya daha fazla miktarda patlayıcı gaz ihtiva eden ortamlar ile O₂ konsantrasyonunun %16'dan az veya %22'den fazla olan ortamlar buna örnek gösterilebilir. İkinci sınıf kapalı alanlar, insan sağlığı için herhangi bir risk oluşturmayan bölmelerdir. Patlayıcı ve parlayıcı maddeler, alt patlama sınırının %1'i ile %10'u arasındaki ortamlardır. Üçüncü sınıf kapalı alanlar, insan sağlığı ve güvenliği için tehdit oluşturmayan oranda tehlikeli olan veya olması muhtemel riskli alanlardır. Dördüncü sınıf kapalı alanlar, daha önce belirtilen riskli ortamlara nazaran daha az tehlikeli alanlardır. Bu alanlarda ortalama %20-21 oranında O₂ bulunmaktadır (DKK, 2014). Kapalı alanlarda, O₂ yetersizliği ne kadar önemliyse fazla olması da bir o kadar önemli ve tehlikelidir. Bu nedenle kapalı alan çalışmalarının yapıldığı yerlerde O₂ oranının %20,8-21 arasında kalması önemlidir. Uygun havalandırma yöntemleri sayesinde bu oranı istenilen düzeyde tutulabilir (Karabakır, 2020).

Kapalı alanlarda, atmosfer şartları ile ilgili tehlikeler (O₂ seviyesi, gazların neden olabileceği zehirlenmeler, H₂S gazı ve tehlikeleri, patlayıcı ortam oluşma ihtimali, CO ve solvent gazların etkileri), çökme, göçük, boğulma ve benzeri kaza olasılıkları, biyolojik tehlikeler (biyolojik tehlikeler, elektrik kaynağı ve mekanik tehlikeler, çevresel etmenlerin neden olabileceği tehlikeler)

bulunmaktadır. Risk değerlendirmesi, kapalı alan çalışmalarına giriş öncesinde ve çalışma esnasında var olan veya sonradan ortaya çıkması muhtemel risklere karşı bir nevi yol haritası niteliği taşır. Yapılacak değerlendirme, alanında uzman kişiler tarafından iş süreçlerinin tamamı dikkate alınarak yapılır (Güzel, 2013:17-18). Örneğin Avustralya'nın "Kapalı Alanların Kullanımı" ile ilgili AS/NZS 2865 numaralı ulusal standardına göre risk değerlendirmesi yapılırken; boğulma, yutulma, çalan sayısı, alan dışında ihtiyaç duyulacak çalışan sayısı, ısı, ses ve elektrik çarpması, kişisel koruyucu donanım yeterliliği, kapalı alanın sınıflandırılması gibi hususlar dikkate alınır (Safe Work Australia, 2011:15-16; Confined Spaces Management Plan, 2005:7). Tablo 2.3'te kapalı alanlarda karşılaşılabilecek diğer tehlikeler belirtilmiştir.

Tablo 2.3. Kapalı alanlardaki diğer tehlikeler (Uysal, 2020:39)

Tehlike	Olusma Sekli	Risk
Ergonomi	Kısıtlı alan ve uygun olmayan duruşlar	Kas ve iskelet sistemi
Yutulma	Akışkan maddeler üzerinde bulunma sonucu gömülme	Boğulma
Kapana Kısılma	Aşağı doğru keskinleşen düz veya kaygan duvar	Mahsur kalma ve boğulma
Radyasyon	Kaynak işinden kaynaklanan kızılötesi veya ultraviyole radyasyon	Genetik, katarakt, kanser vb.
Asbest	Gemi sökümü	Mesothelioma, asbestosis
Biyolojik Tehlikeler	Bakteri, virüs, böcek. Kemirgen vb.	Zehirlenme, hepatit A vb.

Literatür araştırmasında kapalı alanlar ile ilgili yapılan çalışmalar incelendiğinde; Manwaring ve Conroy (1990) mesleki kapalı alan ile ilgili ölümlü iş kazalarını araştırmışlardır. Çalışma sonucunda sınırlı alana giriş prosedürlerinin geliştirilmesinin, uygulanmasının, işçilerin ve denetçilerin, mesleki kapalı alanla ilgili ölümlerin sayısını azaltmak için güvenli çalışma prosedürlerini takip etmeleri konusunda eğitilmesinin önemini vurgulamışlardır. Riaz ve ark. (2014) kapalı alanlarda iş güvenliği için BIM ve kablosuz sensör tabanlı entegre bir çözüm sunmuşlardır. Burlet Vienney ve ark. (2014) kapalı alanlara müdahaleler sırasında iş güvenliği ile ilgili bir çalışma yapmışlardır. Turner (2016) mağara gibi kapalı alanları SLAM algoritması ile haritalandırmıştır. Yapılan ölçümlerde mağaranın pürüzlü yüzeyleri, operatör tarafından AscTec Pelican robotun üzerinden lazer sensör ile taramıştır. Chinnial ve ark. (2017) kapalı alanlarda risk analizi ve iş kategorizasyon aracının geliştirilmesine yönelik bir çalışma yapmışlardır. Doughangı (2017) kapalı alanlarda konum belirleme üzerine bir çalışma yapmıştır. Ediz ve ark., (2017) yapmış oldukları çalışmada, AHP yöntemini kullanarak İSG yönetim sistemi performans ölçümü için belirlenmiş 80 adet performans göstergesi yerine kilit performans göstergeleri ile performans ölçümünün yapılabilirliğini incelemişlerdir. Viran ve Barlas (2018) gemilerde kapalı alanlarda çalışmalar ve iş kazalarının analizini yapmışlardır. Çalışma sonucunda, kapalı alan çalışmalarında yaralanma ve ölüm ile sonuçlanan iş kazalarının azaltılmasına yönelik, eğitim, denetim ve kontrol tedbirlerinin etkin şekilde uygulanması ve takip edilmesi gerektiğini belirtmişlerdir. Aykaş (2018) endüstri tesislerinde kapalı alanlarda yapılan çalışmalarda iş sağlığı ve güvenliği riskleri ve güvenli çalışma sistemleri

üzerine çalışma yapmıştır. Çalışma sonucunda, farklı kapalı alanlarda ve farklı zamanlarda ölçüm yaparak, hidrojen sülfür (H₂S), oksijen (O₂) ve karbonmonoksit (CO) miktarlarını ölçerek kapalı alanlardaki tehlikeler ve risklerin minimum düzeye indirilebilmesini araştırmıştır. Çalışma kapsamında idealist Wi-Fi tabanlı konumlandırma sistemini bulmak için üç farklı senaryoyu test (iki erişim-üç erişim noktalı konumlandırma sistemi tabanlı Wi-Fi simülasyonu ve kümeleme algoritması) etmiştir. Kantoğlu ve ark., (2018) iş sağlığı ve güvenliği eğitiminde AHP yöntemini kullanmışlardır. İSG eğitiminde başarıyı artırmak için eğitim programının çok karmaşık yapısının ÇKKV yöntemlerinden AHP yaklaşımı ile bir araya getiren bir model önermişlerdir. Arslan (2019) yapmış olduğu çalışmada, yapay zekâ teknikleri ile Wi-Fi ve Bluetooth tabanlı kapalı alan konumlandırma sisteminin geliştirilmesi üzerine çalışmıştır. Mortavazi ve ark. (2019) yapmış oldukları çalışmada kaza araştırma raporları ve yarı yapılandırılmış görüşmeler kullanarak kapalı alan kazalarına neden olan faktörleri araştırmışlardır. Sevgi (2020) kapalı alanlarda yüksek gürültü ve titreşime maruz kalan çalışanların kardiyovasküler parametrelerini ölçerek insan sağlığı üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Uysal (2020) yapmış olduğu çalışmada, onarım halinde bulunan askeri gemilerdeki kapalı alanları iş sağlığı ve güvenliği açısından araştırmıştır. Sümer (2020) yapmış olduğu çalışmada, kapalı alan konum tespitinde RSSI tabanlı düşük enerjili Bluetooth kullanımını araştırmıştır. Çalışma sonucunda BLE teknolojisiyle kapalı alan konumlandırma için daha iyi algoritma geliştirerek konum hassasiyetini artırmıştır. Yorulmaz ve Aksu (2021) liman işletmelerinde iş sağlığı ve güvenliği uygulama performansını AHP yöntemiyle değerlendirilmişlerdir. Çalışma sonucuna göre, İSG uygulama performans boyutlarının her birinin çok önemli olduğunu bunun da en önemli nedeninin boyutların birbirleriyle bağlantılı olmasından kaynaklandığını belirtmişlerdir. Bozkuş ve Bozkuş (2021) işçi sağlığı ve iş güvenliğinde bulanık yöntemlere dayalı risk değerlendirme yaklaşımı konusu üzerine çalışma yapmışlardır. Çalışma sonucunda, uygun bir nicel olasılık modeline sahip olmayan riskler için, neden sonuç ilişkilerine modellemeye, bulanık mantık sistemi, riske maruz kalma derecesini değerlendirmeye hem uzmanlara hem de mevcut verilere göre temel riskleri tutarlı şekilde sıralanabilmesine katkı sağladığı öngörüsünde bulunmuşlardır. Wang ve Zhao (2022) kapalı alan kazaları için katkıda bulunan faktörlerin otomatik frekans tahmini üzerine bir çalışma yapmışlardır.

3. Analitik Hiyerarşi Proses Yöntemi (AHP)

AHP yöntemi, Thomas L. Saaty tarafından 1977 yılında, karmaşık problemlerin çözümü için geliştirilen ve en yaygın kullanılan çok kriterli karar verme yöntemlerindedir. AHP, birden çok kriter arasından karar vericinin belirlediği kriterler çerçevesinde karar alternatiflerinin önem düzeyine göre sıralayan bir yöntemdir. AHP yönteminin çözümünde birden çok katılımcı sürece dahil edilebilir.

Karar almada nitel ve nicel ölçütleri değerlendirebilen bireylerin veya grubun bilgi, deneyim, sezgi ve yargılarını ve düşüncelerini de karar sürecine dahil edebilen doğrusal ağırlık bir yöntemdir (Saaty, 1980; Özbek ve Eren, 2012:48). AHP yönteminin çözümünde öncelikle amaç belirlenir, daha sonra bu amaç doğrultusunda bu amacı etkileyen kriterler ve alt kriterler oluşturulur. Kriterlerin tespitinde kurum veya kuruluş, anket, uzman görüşü, literatür araştırmaları dikkate alınır. AHP, problemi her biri en az bir elemandan oluşan hiyerarşik bir yapıda tanımlar. Ana kriterlere bağlı, her bir alt kriterin üst kriteri etkilediği varsayımına dayanır (Özbek, 2017). Problemin çözümünde Super Decision programı ve Microsoft Excel ile çözüm sağlanabilmektedir. Tablo 3.1’de kriter, alt kriter veya ölçütlerin ikili karşılaştırmada kullanıldığı ölçek görülmektedir.

Tablo 3.1. Karşılaştırma Ölçeği (Saaty, 2008:86).

Önem	Tanım	Açıklama
1	Eşit Önele Sahip	Her iki seçenekte eşit değerde önem sahip
2	Zayıf ya da hafif	
3	Biraz önemli	Bir ölçüt değerine göre biraz daha önemli sayılmıştır
4	Makul artı	
5	Fazla önemli	Bir ölçüt değerine göre çok daha önemli sayılmıştır
6	Güçlü artı	
7	Çok fazla önemli	Ölçüt diğer ölçüte göre kesinlikle çok fazla önemli sayılmıştır
8	Çok çok güçlü	
9	Son derece önemli	Bir ölçütün diğerine göre son derece önemli olduğu çeşitli bilgilere dayandırılmıştır
Karşılıklı Değerler	i, j karşılaştırılırken bir değer (x) atanmış ise; j/i ile karşılaştırılırken atanacak değer ($1/x$) olacaktır.	

Tablo 3.2’de kriterler karşılaştırma matrisi görülmektedir. Yapılan karşılaştırma $n(n-1)/2$ oranı kadar yapılmaktadır. Yapılan çalışmaya birden fazla katılımcı dahil edilmesi durumunda her bir katılımcının her bir karşılaştırmaya vermiş olduğu değerlerin geometrik ortalaması alınarak matris oluşturulur (Özbek, 2017).

Tablo 3.2. Kriterler Karşılaştırma Matrisi (Saaty, 1980).

	Kriter-1	Kriter-2	Kriter-...	Kriter-n
Kriter-1	K_1/K_1	K_1/K_2	K_1/K_n
Kriter-2	K_2/K_1	K_2/K_2	K_2/K_n
Kriter...	
Kriter-n	K_n/K_1	K_n/K_2	K_n/K_n

Karşılaştırma yapıldıktan sonra her bir sütun toplanır. Daha sonra her bir kriter (1) nolu denklem kullanılarak normalize edilir (Özbek, 2017).

$$a'_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}} \quad (1)$$

İkili karşılaştırma matrisi hesabından sonra, öncelik vektörü hesaplanır. Hesaplama (2) nolu denklem kullanılır (Özbek, 2017).

$$w_i = \left(\frac{1}{n} \right) \sum_{j=1}^n a'_{ij} \quad (2)$$

$i, j = 1, 2, 3, \dots, n$

λ_{\max} değerinin hesaplanmasında (3) nolu denklem kullanılır (Özbek, 2017).

$$\lambda_{\max} = \left(\frac{1}{n} \right) \sum_{i=1}^n \left(\frac{\sum_{j=1}^n a_{ij} \cdot w_j}{w_i} \right) \quad (3)$$

Tutarlılık indeksinin hesaplanabilmesi için Rassal İndeks bilinmelidir. Rassal indeksin belirlenmesinde kriter sayısı dikkate alınarak (Tablo 3.3) seçim yapılır.

Tablo 3.3. Rassal İndeks (Saaty, 1980)

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
R1	0	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	1.51

Tutarlılık indeksinin hesaplanmasında (4) nolu denklem kullanılır (Özbek, 2017).

$$CI = \frac{(\lambda_{\max} - n)}{(n - 1)} \quad (4)$$

4. Araştırma Bulguları

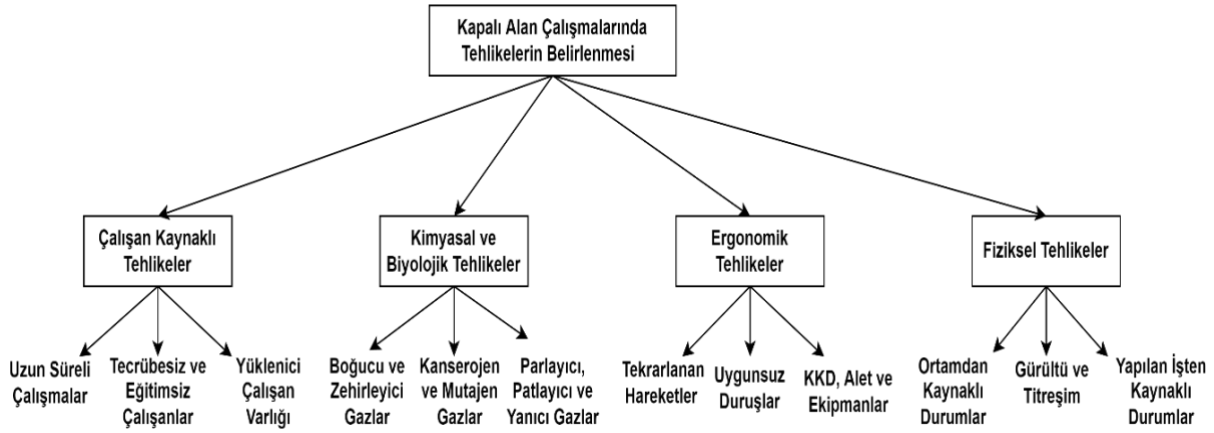
AHP, birden çok alternatif arasından en iyi olanı seçmeyi kolaylaştıran (Saaty, 2008), başka bir ifade ile karmaşık karar problemlerinin çözümü için tercih edilen bir karar destek yöntemidir (Triantaphyllou ve Mann, 1995). Bu yöntem, Thomas L. Saaty (1977) tarafından geliştirilerek analitik hiyerarşi proses yöntemi ismi ile model haline getirilmiş olup ÇKKV yöntemi olarak kullanılmaktadır (Erbaşı ve ark., 2013; Gümüş, 2017). AHP yöntemi, fen bilimleri ve sosyal bilimler gibi birçok alanda tercih edilmektedir (Vaidya ve Kumar, 2004). Bu çalışmada ise, kapalı alan çalışmalarında

tehlikelerin değerlendirilmesi amacıyla kullanılmıştır. Çalışmada oluşturulan kriterler ve alt kriterler alanında uzman kişilerin görüş ve önerileri (makine mühendisi (1), A sınıfı iş güvenliği uzmanı (2), destek elemanı (3)) ve literatür araştırması sonucu elde edilmiştir (Aykaç, 2018; Güzel, 2013; Uysal, 2020). Buna göre çalışma, dört ana kriter ve bu kriterlere bağlı on iki alt kriterden oluşan hiyerarşiden oluşmaktadır. Bu kriterlerden çalışan kaynaklı tehlikeler; uzun süreli çalışmalar, tecrübesiz ve eğitimsiz çalışanlar ve yüklenici çalışan varlığı alt kriterleri olarak belirlenmiştir.

İş kazalarının ortaya çıkmasında insan davranışlarının etkisi yaklaşık %80'dir. Tehlikeli davranışlar, çalışanın fizyolojik ve psikolojik yapısı gibi özellikler iş kazalarının büyük oranda sebebi durumundaki hususlardandır (Camkurt, 2013). Literatürde iş kaza nedenlerine yönelik yapılan çalışmalarda iş kazası ile iş deneyimi arasında büyük oranda ilişkili olduğu görülmektedir. Örneğin, yapılan araştırmaların büyük çoğunluğu tecrübesiz çalışanların iş kazası sıklığının yüksek olduğunu ortaya koymuştur (Güney, 1990). İş yerleri çoğu zaman birçok riski barındırabilmektedir. Örneğin, kimyasal (oksitleyici, açındırıcı, alerjik, mutajen vb.) ve biyolojik (bakteri, virüs, bulaşıcı hastalıklar vb.) riskler çalışanlarda geçici, bazı durumlarda ise bazı kalıcı hastalıkların ortaya çıkmasına neden olabilmektedir. Biyolojik riskler, iş sağlığını etkileyen önemli risk faktörlerinden bir tanesidir. Biyolojik risk faktörü denilince akla ilk olarak bitki, parazit, mantar, virüs, bakteri vb. gelmektedir. Bu riskler çalışanların sağlığını kaybetmesinin yanı sıra meslek hastalıklarının ortaya çıkmasına da neden olabilmektedir (Alıcı ve ark., 2020; Açar, 2021). Kimyasallar, endüstriyel sanayide en çok görülen risk etmenlerin başında gelmektedir. Kimyasalların her geçen gün neden olduğu yeni zararlı etkileri ortaya çıkmaktadır (Yavuz ve Erdoğan, 2001). Bunu yanı sıra, boğucu, zehirleyici, kanserojen, mutajen, patlayıcı ve yanıcı gibi risklerde barındırabilmektedir. Ergonomi, kısaca iş bilimi olarak da bilinmektedir. İş yerlerinde, iş kazalarının büyük çoğunluğu makine-insan uyumsuzluğu sonucu ortaya çıkmaktadır. Ergonomi, iş yerlerinde çalışanların tekrarlanan, hareketlerinden, KKD, alet ve ekipman gibi birçok unsurun insan antropometrik ölçülerine uygun şekilde tasarlanması ile ilgilenen bir bilimdir (Alper, 1991). Fiziksel riskler, ortamdaki kaynaklı durumlar, gürültü-titreşim ve yapılan işin doğasından kaynaklı birçok unsuru bu kapsamaktadır. Endüstriyel sanayide makineleşme arttıkça çalışanlar işlerini ofis ortamlarından yönetmeye başlamışlardır. Bu da çalışanların termal konfor, havalandırma, aydınlatma gibi fiziksel birçok riskle karşı karşıya kalmalarına neden olmuştur (Can ve Çelik, 2019).

Çalışmaya dahil edilen katılımcılar; iş güvenliği uzmanları ve kapalı alan çalışmalarında görevli (destek elemanları ve kapalı alan çalışanları) kişilerden oluşmaktadır. Aşağıda, ana kriterler arasında ikili karşılaştırma, normalize edilmiş matris, tüm öncelikler vektör hesabı ve tutarlılık indeks hesaplarına yer verilmiştir. Şekil 1'de çalışmada kullanılan probleme yönelik karar hiyerarşi görülmektedir. Başlıca ana kriterler (A.K.) arasında yapılan ikili karşılaştırmada: A.K.-1: Çalışan

Kaynaklı Tehlikeler, A.K.-2: Kimyasal ve Biyolojik Tehlikeler, A.K.-3: Ergonomik Tehlikeler, A.K.-4: Fiziksel Tehlikeler olarak belirlenmiştir.



Şekil 1. Probleme ilişkin karar hiyerarşisi

Tablo 4.1. Kriterler Arasında İkili Karşılaştırma

Ana Kriterler	A.K.-1	A.K.-2	A.K.-3	A.K.-4
A.K.-1	1	0,7746	0,7071	1,4142
A.K.-2	1,2909	1	1,0955	2,8284
A.K.-3	1,4142	1,0471	1	1
A.K.-4	0,7071	0,3536	1	1
Toplam	4,4122	3,1753	3,8026	6,2426

Tablo 4.2. Normalize Edilmiş Matris

	A.K.-1	A.K.-2	A.K.-3	A.K.-4	W
A.K.-1	0,2266	0,2439	0,186	0,2265	0,2208
A.K.-2	0,2926	0,3149	0,288	0,4531	0,3372
A.K.-3	0,3205	0,3298	0,263	0,1602	0,2683
A.K.-4	0,1603	0,1114	0,263	0,1602	0,1737
Toplam	1	1	1	1	1

Tablo 4.3. Ana Kriterlere Bağlı Tutarlılık İndeksi

Toplam	W	T/W	Ortalama	Lamda Max
0,9174	0,22075	4,155	4,2065	4,2065
1,4075	0,33715	4,417		Consistanciy Index
1,1073	0,26838	4,125		0,0688
0,7174	0,17373	4,129		Rassal Index
		4,2065		0,9
				0,1 > 0,0780

4.1. Çalışan Kaynaklı Tehlikelere Bağlı Alt Kriterler

Aşağıda ana kriterlerin hesaplanmasında olduğu gibi alt kriterler arasında yapılan, normalize edilmiş matris, tüm öncelikler vektör hesabı ve tutarlılık indeks hesaplarına yer verilmiştir. Başlıca çalışan kaynaklı tehlikelere bağlı alt kriterler (Ç.K.A.K.) arasında yapılan karşılaştırmada; Ç.K.A.K-1: Uzun süreli çalışmalar, Ç.K.A.K.-2: Tecrübesiz ve Eğitimsiz Çalışanlar, Ç.K.A.K.-3: Yüklenici çalışan varlığı olarak belirlenmiştir.

Tablo 4.4. Kriterler Arasında İkili Karşılaştırma

Çalışan Kaynaklı Alt Kriter (Ç.K.A.K.)	Ç.K.A.K.-1	Ç.K.A.K.-2	Ç.K.A.K.-3
Ç.K.A.K.-1	1	0,3535	4,582
Ç.K.A.K.-2	2,8288	1	4,4721
Ç.K.A.K.-3	0,2182	0,2236	1
Toplam	4,047	1,5771	10,0541

Tablo 4.5. Tutarlılık İndeksi

Toplam	W	T/W	Ortalama	Lamda Max
0,968	0,309	3,132	3,122	3,122
1,906	0,5926	3,216		Consistancy Index
0,297	0,0984	3,018		0,061
		9,366		Rassal Index
				0,58
				0,1 > 0,1

4.2. Kimyasal ve Biyolojik Tehlikelere Bağlı Alt Kriterler

Tablo 4.6’da kimyasal ve biyolojik tehlikelere bağlı alt kriter arasında yapılan normalize edilmiş matris, tüm öncelikler vektör hesabı ve tutarlılık indeks hesaplarına yer verilmiştir. Başlıca kimyasal ve biyolojik tehlikelere bağlı alt kriterler (K.B.A.K.) arasında yapılan karşılaştırmada; K.B.A.K.-1: Boğucu ve Zehirleyici Gazlar, K.B.A.K.-2: Kanserojen ve Mutajen Gazlar, K.B.A.K.-3: Parlayıcı, Patlayıcı ve Yanıcı Gazlar olarak belirlenmiştir.

Tablo 4.6. Kriterler Arasında İkili Karşılaştırma

Kimyasal ve Biyolojik Tehlikeler A.K.	K.B.A.K.-1	K.B.A.K.-2	K.B.A.K.-3
K.B.A.K.-1	1	1	1
K.B.A.K.-2	1	1	0,7071
K.B.A.K.-3	1	1,4142	1
Toplam	3	3,4142	2,7071

Tablo 4.7. Tutarlılık İndeksi

Toplam	W	T/W	Ortalama	Lamda Max
0,9969	0,3318	3,005	3,008	3,008
0,8909	0,2957	3,013		Consistanciy Index
1,1194	0,3725	3,005		0,0038
				Rassal Index
				0,58
				0,1>0,007

4.3. Ergonomik Tehlikelere Bağlı Alt Kriterler

Tablo 4.8’de ergonomik tehlikelere bağlı alt kriterler arasında yapılan normalize edilmiş matris, tüm öncelikler vektör hesabı ve tutarlılık indeks hesaplarına yer verilmiştir. Başlıca ergonomik tehlikeler ve alt kriterler (E.T.A.K.) arasında yapılan karşılaştırmada; E.T.A.K.-1: Tekrarlanan Hareketler, E.T.A.K.-2: Uygunsuz Duruşlar, E.T.A.K.-3: Uygunsuz KKD, Alet ve Ekipmanlar olarak belirlenmiştir.

Tablo 4.8. Kriterler Arasında İkili Karşılaştırma

Ergonomik Tehlikeler Alt Kriterler (E.T.A.K.)	E.T.A.K.-1	E.T.A.K.-2	E.T.A.K.-3
E.T.A.K.-1	1	1,4142	2
E.T.A.K.-2	0,7071	1	1
E.T.A.K.-3	0,5	1	1
Toplam	2,2071	3,4142	4

Tablo 4.9. Tutarlılık İndeksi

Toplam	W	T/W	Ortalama	Lamda Max
1,3756	0,4558	3,018	3,013	3,013
0,8665	0,2878	3,011		Consistanciy Index
0,7721	0,2564	3,011		0,0066
		3,013		Rassal Index
				0,58
				0,1 >0,0115

4.4. Fiziksel Tehlikeler ve Altı Kriterler

Tablo 4.10’da fiziksel tehlikeler ve ona bağlı alt kriterler arasında yapılan normalize edilmiş matris, tüm öncelikler vektör hesabı ve tutarlılık indeks hesaplarına yer verilmiştir. Başlıca fiziksel tehlikeler ve alt kriterler (F.T.A.K.) arasında yapılan karşılaştırmada; F.T.A.K.-1: Ortamdan Kaynaklı Tehlikeler, F.T.A.K.-2: Gürültü ve Titreşim, F.T.A.K.-3: Yapılan İşten Kaynaklı Durumlar olarak belirlenmiştir.

Tablo 4.10. Kriterler Arasında İkili Karşılaştırma

Fiziksel Tehlikeler Alt Kriterler (F.T.A.K.)	F.T.A.K.-1	F.T.A.K.-2	F.T.A.K.-3
F.T.A.K.-1	1	0,7071	1
F.T.A.K.-2	1,4142	1	1,7321
F.T.A.K.-3	1	0,5773	1
Toplam	3,4142	2,2844	3,7321

Tablo 4.11. Tutarlılık İndeksi

Toplam	W	T/W	Ortalama	Lamda Max
0,8715	0,2901	3,004	3,005	3,005
1,3186	0,4387	3,006		Cons. Index
0,8146	0,2712	3,004		0,0023
		3,005		Rassal Index
				0,58
				0,1>0,004

5. Analiz Sonuçları ve Tartışma

Tablo 5.1’de kriterler ve alt kriterler arasında yapılan karşılaştırma sonucuna yer verilmiştir. Kriterler arasında yapılan analiz sonucuna göre en yüksek ağırlığa sahip kriter 0,3372 kimyasal ve biyolojik tehlikeler (K-2) olmuştur. Kapalı alan çalışmalarında öncelikle kapalı alanın geçmişi ve yapılacak işin tanımı belirlenmelidir. Kapalı alanlarda depolanmış maddelerin yanıcı, zehirleyici, boğucu veya enfeksiyon (viral enfeksiyon, bakteriyel enfeksiyon vb.) içerip içermediği bilinmelidir. Kapalı alan çalışanları, bu alanlarda karşılaşılabilecekleri risklerin tamamı hakkında bilgilendirilmelidir. Daha önce meslek hastalığına yakalanmış kişilerin bu alanlarda çalıştırılmasına izin verilmemelidir. Kimyasal ve biyolojik risk faktörlerinin ağırlıklı olduğu kapalı alanlarda, çalışanlar periyodik sağlık taramasından geçirilmelidir. Bu nedenle yapılacak en doğru adım kapalı alandaki risklerin belirlenerek bu risklere karşı kişisel koruyucu donanım (KKD) seçimini temin etmektir. Gözenekli ve geçirgen özelliğe sahip KKD’lerin bu alanlarda kullanılmamasına dikkat edilmelidir. Örneğin, hava beslemeli solunum cihazları, kendinden temiz hava beslemeli solunum cihazları, toz ve gaz geçirmeyen giysiler vb. tercih edilmelidir. Bu KKD’ler çalışma ortamına ve barındırdığı risklere göre değişkenlik gösterebilir. Teknolojiyi yapılan işe entegre ederek çalışanlar için daha güvenli bir çalışma ortamı da sağlanabilir. Örneğin akıllı baret, akıllı cihazlar, akıllı yelekler, gerçek zamanlı konumlandırma sistemleri (çalışan ve lokasyon takibi), bu çalışma ortamlarında kullanılabilir. Böylelikle riski az ve daha güvenli bir çalışma ortamı sağlanmış olacaktır. Ergonomik tehlikeler 0,2683 (K-3) ile en yüksek ağırlığa sahip ikinci kriter olmuştur. Kapalı alanlar

uzun süreli çalışmalar için tasarlanmamış alanlardır. Bu nedenle KKD ve ekipman seçimi yapılırken hem çalışma ortamı hem de çalışanların antropometrik ölçüleri dikkate alınmalıdır. Çalışan seçimi kapalı alanın genişliği veya darlığına göre belirlenmelidir. Aksi takdirde bu durum çalışanın girişte, çıkışta ve acil durum hallerinde güvenli alanlara çıkış sürelerinin uzamasına neden olabilir. Aynı şekilde kullanılan makine-ekipman seçimi çalışanlar için ergonomik ve kişilerin antropometrik ölçülerine uygun şekilde seçilmelidir. Eğer bu unsurlar göz ardı edilirse, çalışanlar daha fazla efor harcarlar, bu da onların hızlı yorulmalarına ve dikkatlerinin daha hızlı dağılmasına neden olur. Bir başka analiz sonucuna göre 0,2208 ile çalışan kaynaklı tehlikeler (K-1) en yüksek ağırlığa sahip üçüncü kriter olmuştur. Kapalı alanlarda çalışmalarına karar verildikten sonra yapılması gereken en önemli hususların başında çalışanların eğitimi gelmektedir. Kapalı alan çalışanı ve destek elemanına ilk yardım, acil durum planı, iletişim, kapalı alan ve yapılan işin türünden kaynaklı tehlikeler ile ilgili kapsamlı eğitimler verilmeli ve periyodik tatbikatlar yaptırılmalıdır. Analizin bir diğer sonucuna göre 0,1737 fiziksel riskler (K-4) en yüksek ağırlığa sahip dördüncü kriter olmuştur. Fiziksel riskler, göçük, çökme, daralan veya keskinleşen çalışma ortamlarını ifade etmektedir. Hububat, gübre, kum gibi akışkan özelliğe sahip maddelerin depolandığı yerlerde boğulma riski yüksek yerlerdir. Bu nedenle bu tür yerlerde risk analizleri yapılarak, eğimli zemine sahip yerlerde paraşüt tipi emniyet kemerinin kullanılması boğulma riskini büyük oranda azaltabilir.

Alt kriterler arasında yapılan karşılaştırmalarda ise şu sonuçlara ulaşılmıştır. Çalışan kaynaklı tehlikelere bağlı olarak yapılan karşılaştırma sonucunda en yüksek ağırlığa sahip alt kriter; 0,5926 ile tecrübesiz ve eğitimsiz çalışanlar olmuştur. Bunu sırası ile 0,3090 uzun süreli çalışmalar ve 0,0984 yüklenici çalışan varlığı takip etmiştir. Kimyasal ve biyolojik tehlikeler ana kriterine bağlı alt kriterler arasında yapılan karşılaştırmalar sonucunda şu sonuçlara ulaşılmıştır. Kimyasal ve biyolojik tehlikelere bağlı alt kriterler arasında en yüksek ağırlığa sahip alt kriter, 0,3725 parlayıcı, patlayıcı ve yanıcı gazlar olmuştur. Bunu sırası ile 0,3318 boğucu ve zehirli gazlar ve 0,2957 kanserojen ve mutajen gazlar takip etmiştir. Ergonomik tehlikelere bağlı olarak alt kriterler arasında yapılan karşılaştırmalar sonucunda en yüksek ağırlığa sahip kriter 0,4558 tekrarlanan hareketler olmuştur. Bunu sırası ile 0,2878 uygunsuz duruş, 0,2564 KKD, ekipman ve alet takip etmiştir. Fiziksel risklere bağlı alt kriterler arasında yapılan karşılaştırma sonucunda ise en yüksek ağırlığa sahip kriter 0,4387 gürültü ve titreşim olmuştur. Bunu sırası ile ortamdaki kaynaklı riskler 0,2901, yapılan işten kaynaklı durumlar 0,2712 takip etmiştir.

Tablo 5.1. Kriterlerin ve Alt Kriterlerinin Ağırlık ve Tutarlılık İndeksleri

Ana Kriterler	Kriter Ağırlıkları (W)	Alt Kriterler	Alt Kriter Ağırlıkları (W)	Alt Kriter Tutarlılık İndeksleri
Çalışan Kaynaklı Tehlikeler (K1)	0,2208	Uzun süreli çalışmalar	0,3090	0,0115
		Tecrübesiz ve eğitimsiz çalışanlar	0,5926	
		Yüklenici çalışan varlığı	0,0984	
Kimyasal ve Biyolojik Tehlikeler (K2)	0,3372	Boğucu ve zehirleyici gazlar	0,3318	0,0070
		Kanserojen ve mutajen gazlar	0,2957	
		Parlayıcı, patlayıcı ve yanıcı gazlar	0,3725	
Ergonomik Tehlikeler (K3)	0,2683	Tekrarlanan hareketler	0,4558	0,0115
		Uygunsuz duruş	0,2878	
		KKD, alet ve ekipman	0,2564	
Fiziksel Riskler (K4)	0,1737	Ortamdan kaynaklı durumlar	0,2901	0,0040
		Gürültü ve titreşim	0,4387	
		Yapılan işten kaynaklı durumlar	0,2712	

6. Sonuçlar ve Öneriler

Kapalı alanlar, uzun süreli çalışma yapmak için tasarlanmamış, giriş ve çıkışı sınırlı olan, yapılan işten, çevresel unsurlardan ve çalışandan kaynaklanabilecek birçok riski içinde barındıran yerlerdir. Reaksiyon tankları, menholler, lağımlar, tüneller, silolar, mahzenler, boru hatları, depolar vb. kapalı alan kapsamında örnek verilebilecek yerlerdir. Kapalı alan çalışmalarının güvenli hale getirilmesi alanında uzman kişilerin hazırlayacakları acil durum planları ve risk değerlendirmesi ile sağlanabilir. Yapılacak kapsamlı çalışma, gaz, toz, gürültü, titreşim, yutma, ezilme, göçük altında kalma, kimyasallar, bakteri-virüs gibi hususlar dikkate alınarak yapılmalıdır. Ayrıca, kapalı alan çalışmasında görevli kişiye ve gözlemciye muhtemel riskler, acil durum prosedürleri, ilk yardım, KKD'lerin kullanımı gibi hususlar hakkında eğitimler verilmelidir. Çalışmanın yapılacağı alana yakın noktalarda, herhangi bir çalışmanın yapılmaması, doğal veya mekanik havalandırmanın yapıldığı yerde uçucu madde ve yanıcı herhangi bir maddenin bulundurulmaması, gözlemci ve kapalı alan çalışan arasındaki iletişimi engelleyebilecek herhangi bir aktiviteye izin verilmemesine özen gösterilmelidir.

Bu çalışmada, kapalı alan çalışmalarında muhtemel riskli durumlar, alanında uzman kişilerin görüş ve önerileri ve literatür taraması sonucunda oluşturulmuştur. Çalışmada AHP yöntemi kullanılmıştır. AHP, birden çok alternatif içinden en iyi olanı seçmek için kullanılan bir yöntemdir. En iyi çalışan, en iyi uygulama, personel seçimi, lokasyon seçimi gibi uygulama alanı bunlara örnek gösterilebilir. Ancak literatür araştırmasında AHP yöntemi kullanılarak kapalı alan çalışmalarında

muhtemel risklerin tespit edilmesine yönelik herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Yapılan çalışmada risklerin tespit edilmesi ve önceliklendirilmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda yapılan analiz sonucuna göre 0,3372 (K-2) kimyasal ve biyolojik riskler en yüksek ağırlıklı kriter olmuştur. Bunu sırayla, 0,2683 (K-3) ergonomik riskler, 0,2208 (K-1) çalışan kaynaklı riskler, 0,1737 (K-4) fiziksel riskler takip etmiştir. K-2 ana kriterine bağlı alt kriterler arasında yapılan analiz sonucunda ise 0,3725 parlayıcı, patlayıcı ve yanıcı gazlar en yüksek ağırlığa sahip alt kriter olmuştur. K-3 ana kriterine bağlı olan alt kriterler arasında yapılan analiz sonucunda en yüksek ağırlığa sahip alt kriter 0,4558 tekrarlanan hareketler olmuştur. K-1 ana kriterine bağlı alt kriterler arasında yapılan analiz sonucunda ise 0,5926 tecrübesiz ve eğitimsiz çalışanlar olmuştur. K-4 ana kriterine bağlı alt kriterler arasında yapılan analiz sonucunda ise en yüksek ağırlığa sahip alt kriter 0,4387 gürültü ve titreşim alt kriteri olmuştur. Literatürde kapalı alan ve risklerine yönelik yapılan çalışmalar bulunmaktadır. Örneğin Wang ve Zhao (2022) kapalı alan kazalarına neden olan faktörlerin frekans tahmini ile ilgili bir çalışma yapmışlardır. Çalışma sonucunda kapalı alan çalışmasının risk değerlendirme kalitesini artırmak ve tehlikeler ve nedensel faktörler arasındaki gizli etkileşimleri tespit etmedeki önemine vurgu yapmışlardır. Viran ve Barlas (2018) gemilerde kapalı alan çalışmalarında iş kazalarının azaltılmasına yönelik eğitim, denetim ve kontrol tedbirlerinin etkin şekilde uygulanması ve takip edilmesi gerektiğini belirtmişlerdir. Aykaş (2018) büyük depolama tank içinde bulunan gazların hidrojen sülfür (H₂S) ve karbonmonoksit (CO) gazlarının gün içinde sıcaklığın azalıp artmasına bağlı olarak gaz miktarında değişim gözlemlemiştir. Aynı zamanda tank hacminin küçülmesiyle de karbonmonoksit (CO) ve hidrojen sülfür (H₂S) gaz konsantrasyonlarının arttığı gözlemlenmiştir.

Yapılan analiz sonuçları ve literatür araştırması dikkate alındığında kapalı alan gibi çok tehlikeli yerler nispeten daha güvenli hale getirilebilir. Günümüzde iletişim, bilişim ve internet gibi teknolojilerin günümüzde birbirlerine entegre edilmesiyle birçok yeni uygulama endüstriyel sanayide yerini almaya başlamıştır. Örneğin, gerçek zamanlı ortam ve çalışan takip sistemleri kapalı alan çalışmalarına entegre edilebilir. Böylelikle patlayıcı veya zehirleyici gaz ölçümü için işgücüne gereksinim kalmayacaktır. Personel takip sisteminde ise bayılma, yaralanma ve sıkışma gibi durumlarda hareket sensörleri operatöre sinyal göndererek acil duruma erken müdahale imkânı sağlayacaktır. Bu uygulamaya ek olarak nabız ve vücut sıcaklığını ölçen akıllı KKD'lerin, kablosuz konum takibi yapan personel takip sistemlerinin, sesli ve ışıklı uyarı sistemlerinin kapalı alan çalışmalarına entegre edilerek daha güvenli bir çalışma ortamı sağlanabilir.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar

- Ağar, A. (2021). Çalışma hayatında biyolojik risk faktörleri ve Covid-19; Halk Sağlığı Hemşireliği Dergisi, 3(2): 133-140.
- Alper, Y. (1991) "İnsan-Makine ilişkileri açısından iş kazaları", Verimlilik Dergisi, C.20, S.1, M.P.M. Yayınları, Ankara.
- Alıcı, N.Ş., Beyan, A.C. & Şimşek, C. (2020, 1 Haziran). Meslek Hastalığı Olarak Covid-19. <http://www.solunum.org.tr/TusadData/userfiles/file/EJP-EK-SAYI-COVID19-27042020.Pdf#Page=149>
- Arslan, K. (2019). *Yapay Zekâ Teknikleri ile Wi-Fi ve Bluetooth Tabanlı Kapalı Alan Konumlandırma Sistemi Geliştirilmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Malzeme Teknolojileri Mühendisliği Anabilim Dalı, Burdur.
- Aykaş, S. (2018). *Endüstri Tesislerinde Kapalı Alanlarda Yapılan Çalışmalarda İş Sağlığı ve Güvenliği Riskleri ve Güvenli Çalışma Sistemleri*. Üsküdar Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü İş Sağlığı ve Güvenliği Ana Bilim Dalı, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, s.3-4.
- Bozkuş, E. ve Bozkuş, Ö. (2021). İşçi Sağlığı ve İş Güvenliğinde Bulanık Yöntemlere Dayalı Risk Değerlendirme Yaklaşımları. *OHS Academy*, 4 (2), 49-64. DOI: 10.38213/Ohsacademy.956021
- Bhutta, K.S. ve and Huq, F. (2002). *Supplier selection problem: A comparasion of the Total Cost of Ownership and Analythich Hierarchy Process Approaches*, *Supply Cahin Management: An International journal*, 7(3), pp.126-135.
- D. Burlet-Vienney, Çinniya, Y. Bahloul A. and Roberge B. (2014). *Occupational safety during interventions in confined spaces*. *Safety Science* 79, pp. 19-28. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2015.05.003>
- Can, E. ve Çelik, N., (2019), Endüstri 4.0 Sisteminde İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetim Sistemi Muhtemel Problemleri ve Çözüm Önerileri, International Conference on Life and Engineering Sciences, 27-29 Haziran 2019, İstanbul, s.113-114.
- Confined Spaces Management Plan (2005) The University Of Queensland, Australia. Erişim Adresi: confined-spaces-management-plan.pdf (uq.edu.au) p.7.
- Camkurt, M.Z. (2013). Çalışanların Kişisel Özelliklerinin İş Kazalarının Meydana Gelmesi Üzerine Etkisi, TÜHİS İş Hukuku ve İktisat Dergisi 24(6), ss.72-73.
- Deniz Kuvvetleri Komutanlığı (DKK). (2014). Gemilerin Akaryakıt Sarnıçlarını Temizleme ve Gazdan Arındırma Yönergesi, Ankara, s.102.
- Doughangı, H. (2017). *Kapalı Alanda Konum Belirleme Sistemi*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Ediz, A., Yıldızbaşı, A. ve Baytemur, E. (2017). İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetim Sistemi Performans Göstergelerinin AHP ile Değerlendirilmesi. *The Journal of Academic Social Science Studies* (62) <http://dx.doi.org/10.9761/JASSS7227>.
- Erbaşı, A., Can, A., Çınar, K. (2012). "The Use of the AHP Method in Selection of the Most Appropriate Production Materials by Businesses: A Simple Study on Tractor Body Materials". *Journal of Advanced Management Science*, 1(1), p.152-155.
- Government Of Alberta Employment and Immigration (2009). Guideline for Developing a Code of Practice for Confined Space Entry, Publication No. CS001, Canada.
- GÜNEY, S. (1990). İş Kazalarının Yapısal Analizi ve Kaza Yapan İşgörenlerin Kişilik Profilleri ile İlgili Bir Araştırma, Yayınlanmamış Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul, s.81.
- Gümüş, S. (2017). "An Evaluation Of Stakeholder Perception Differences İn Forest Road Assessment Factors Using The Analytic Hierarchy Process (Ahp)". *Forest*, 8(165), s.1-9.
- Güzel, F.Ç. (2013). *Kuyu, Dehiz ve Mahzen Gibi Kapalı Alanlarda Yapılan Çalışmalarda Alınması Gereken İş Sağlığı ve Güvenliği Önlemleri*. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, İş Teftiş Kurulu Başkanlığı, İş Müfettişliği Yardımcılığı Etüdü, İstanbul.
- Kantoğlu, B. ve Argun, D.İ. (2018). İş Sağlığı ve Güvenliği Eğitiminde Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) Modeli.2. Uluslararası Farkındalık Kongresi
- Karabakır, A. (2020). Motorin (F-76) Yakıtı Kullanan Gemilerin Yakıt Tanklarında Yapacakları Gazdan Arındırma İşlemlerinde Risk Yönetimi ve Kapalı Alan Prosedürünün Oluşturulması. Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi FBE, İş Güvenliği Anabilim Dalı, İzmir, s.15.
- Karaca, A. (2008). *Kapalı Alanda Radyo Dalgaları Yardımıyla Konum Belirleme ve Paket Takibi*. Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Yönetmeliği

Uyarınca Elektrik & Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı Telekomünikasyon & Sinyal İşleme Bilim Dalında, Eskişehir.

- Manwarin, O.C. and Conroy, C. (1990). *Occupational confined space-related fatalities: Surveillance and prevention*. Journal of Safety Research, 21(4), pp.157-164. [https://doi.org/10.1016/00224375\(90\)90023-5](https://doi.org/10.1016/00224375(90)90023-5)
- Mortazavi, S.B., Zahra, K.N., Hassan, A.M. and Hajizade E. (2019). Exploring the Contributory Factors of Confined Space Accidents Using Accident Investigation Reports and Semistructured Interviews. *Safety and Helath at Work*, (10), 305-313.
- N.C. Department of Labor (2008). *A Guide to Safety in Confined Spaces, Industry Guide-1, U.S.A., (8)*. p.3.
- Özbek, A. ve Eren, T. (2012). Üçüncü Parti Lojistik (3PL) Firmasının Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) Belirlenmesi. *Journal of Engineering Research and Development*, 4(2), s.46-54.
- Özbek, A. (2017). Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ve Excel ile Problem Çözümü. Seçkin Yayıncılık: Ankara, s.71-72.
- Ishizaka, A. ve Nemery, P., 2013. *Multi-Criteria Decision Making: Methods and Software*. John Wiley and Sons, Ltd, United Kingdom
- Saaty, T.L. 1980. *The Analytic Hierarchy Prpcess*, New York: McGraw-Hill.
- Safe Work Australia (2011). *Confined Spaces Code of Preactice*, Australia. Erişim Adresi: [Confined-spaces-COP.pdf \(nsw.gov.au\)](#) p.15-16.
- Sevgi, A. (2020). *Kapalı Alanlarda Yüksek Gürültü ve Titreşime Maruz Kalan Çalışanların Kardiyovasküler Parametrelerinin Ölçülerek İnsan Sağlığı Üzerine Etkilerinin İncelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Tarsus Üniversitesi, İş Sağlığı ve Güvenliği Ana Bilim Dalı, Tarsus.
- Sümer, N.N. (2020). *Kapalı Alan Konum Tespitinde RSSI Tabanlı Düşük Enerjili Bluetooth Kullanımı*. Yüksek Lisans Tezi, Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Gebze.
- Z. Riaz, M. Arslan, A.K. Kiani, S. Azhar (2014). *CoSMoS: A BIM and wireless sensor based integrated solution for worker safety in confined spaces* Autom. Constr., 45 (2014), pp. 96-106. [10.1016/j.autcon.2014.05.010](https://doi.org/10.1016/j.autcon.2014.05.010)
- Tüzemen A. ve Özdağoğlu A. (2007). *Doktora Öğrencilerinin EĞ Seçiminde Önem Verdikleri Kriterlerin Analitik Hiyerarşi Süreci Yöntemi ile Belirlenmesi*. Atatürk Üniversitesi İİBF Dergisi, 21(1), s.215-232.
- Triantaphyllou, E. and Mann, S. (1995). "Using the Analytic Hierarchy Process for Decision Making in Engineering Applications: Some Challenges". *Inter'l Journal of Industrial Engineering: Applications and Practice*, 2 (1), p.35- 44.
- Turner, G. (2016). *Towards Mapping of Rock Walls Using a UAV-Mounted 2D Laser Scanner in GPS Denied Environments*. M.Sc. Thesis, Queen's University, Department of Electrical and Computer Engineering, Canada, p.132.
- Timor, M. (2011). *Analitik Hiyerarşi Prosesi*. Türkmen Kitabevi: İstanbul, s.16. U.S. Bureau of Labor Statistics. "Occupational Injuries and Illnesses and Fatal Injuries Profiles." <https://data.bls.gov/gqt/InitialPage>.
- Uysal, G. (2020). *Onarımda Bulunan Askeri Gemilerdeki Kapalı Alanlarda Yapılan Çalışmalarda İş Sağlığı ve Güvenliği*. Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü, İş Sağlığı ve Güvenliği Anabilim Dalı, İzmir, 19.
- Vaidya, O. S. and Kumar, S. (2006). "Analytic Hierarchy Process: An Overview Of Applications". *European Journal Of Operational Research*, (169), 1-29.
- W. Bingyu and Zhao J. (2022). *Automatic frequency estimation of contributory factors for confined space Accidents*. Process Safety and Environment Protection, 157, 193-207.
- Viran, A. & Barlas, B. (2019). Gemilerde Kapalı Alanlarda Yapılan Çalışmalar ve İş Kazalarının Analizi. *Gemi ve Deniz Teknolojisi*, (214), 19-36. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/gdt/issue/42891/518679>.
- Yorulmaz, M. & Aksu, A. 2021. Liman İşletmelerinde İş Sağlığı ve Güvenliği Uygulama Performans Boyutlarının AHP ile Değerlendirilmesi: Kocaeli Liman Bölgesi. *İşletme Bilimi Dergisi*, 9 (1), 1-24. Doi: 10.22139/Jobs.875400
- Yavuz, C., I., Erdoğan, S., (2001), İşyerinde Kimyasallar, Türk Tabipleri Birliği Mesleki Sağlık ve Güvenlik Dergisi, s. 33-39.

Estimation of Cloudiness Data Based on Multiple Linear Regression Model

Mine Tülin ZATEROĞLU^{1*} 

Abstract

This study estimates cloudiness data using meteorological parameters which include climatic variables and air quality index. Daily average observed values of all meteorological parameters used in this study were transformed to monthly mean data for 1990-2015 period. The monthly mean values of cloudiness were estimated by using the other climatic elements and the value air quality index at urban area in Kayseri. Multiple Linear Regression model was built to determine the mathematical relationships for predicting cloudiness. It has been shown that meteorological parameters affect cloudiness the most in May and October, and the least in September and January. Additionally, according to the estimated models, air quality index value has effect on cloudiness data on January, July, October and November as statistically significant.

Keywords: Cloudiness, Climatic Variables, Air Quality Index Value, Multiple Linear Regression Model.

Bulutluluk Verisinin Çoklu Doğrusal Regresyon Modeli Kullanılarak Tahmin Edilmesi

Öz

Bu çalışma, iklim verileri ve hava kalite indisi gibi meteorolojik değişkenler kullanılarak bulutla kaplılık verisini tahmin etmektedir. Bu çalışmada kullanılan tüm meteorolojik parametrelerin günlük ortalama gözlem değerleri 1990-2015 dönemi için aylık ortalama verilere dönüştürülmüştür. Aylık ortalama bulutluluk değerleri, Kayseri'de kentsel alanda diğer iklim unsurları ve değer hava kalitesi indeksi kullanılarak tahmin edilmiştir. Bulutluluğu tahmin etmek için matematiksel ilişkileri belirlemek için Çoklu Doğrusal Regresyon modeli oluşturulmuştur. Meteorolojik parametrelerin bulutluluğu en fazla Mayıs ve Ekim aylarında, en az ise Eylül ve Ocak aylarında etkilediği gösterilmiştir. Ayrıca tahmin edilen modellere göre hava kalitesi indeks değeri Ocak, Temmuz, Ekim ve Kasım aylarındaki bulutluluk verileri üzerinde istatistiksel olarak anlamlı etkiye sahiptir.

Anahtar Kelimeler: Bulutluluk, İklimsel Değişkenler, Hava Kalitesi İndis Değeri, Çoklu Doğrusal Regresyon Modeli.

¹Çukurova University, Vocational School of AOSB Technical Sciences, Department of Electrical and Energy, Adana, Turkey, mtzateroglu@cu.edu.tr

¹<https://orcid.org/0000-0002-1050-6174>

1. Introduction

Climate is an important factor for our planet in many ways. The information on meteorological parameters has a crucial significance in defining the characteristics of climatic variables. Clouds play an important role in climate system via affecting the atmosphere. They are related to climate feedback and radiation balance of Earth. Clouds reflect the incoming solar radiation and cause the cooling of planet. Besides, clouds absorb the heat that surface emits and then radiate it to the space and cause the warming of the Earth. Furthermore, clouds form the precipitation as water supply for the Earth's surface. According to some studies about air pollution meteorology, it has been shown that air pollutants were related to climatic variables (Zateroglu, 2021a,b,c,d, 2022). Zateroglu (2021a) shown that sunshine duration was associated with particulate matter and sulphur dioxide. Cuhadaroglu and Demirci (1997) studied the effect of some meteorological factors on air pollution for Trabzon province located in the region Black Sea. Dominick et al., (2012) examined the meteorological factors on air pollutants in Malaysia.

Air pollutants, i.e. aerosols, have an increment effect on the absorption and scattering of incoming solar radiation. Also, they serve as cloud condensation nuclei and influence characteristics of clouds (Liepert, 1997, Liou et al., 1990; Twomey 1974, Twomey et al., 1977). Furthermore, cloud condensation nuclei may enhance cloud concentration, and in turn, cloud albedo and may decrease the dimension of droplets of clouds. Mateos et al., (2013) investigated about the radiative effects of aerosols and clouds for long-term records.

Clouds are observed via two methods i.e. ground-based observation and satellite-based observation. Those have been utilized in many areas for many applications such as cloud distribution and effects on climate (Changnon, 1981; Kaiser 1998, 2000). Cloud amount is related to sunshine duration according to some studies (Essa and Etman, 2004; Elnesr and El-Sabban, 1964; Badescu et al., 2016; Hoyt, 1977; Zateroglu 2021, 2022). Cloudiness and climatic variables have interactions in atmospheric environment. Clouds have relationships with atmospheric dynamics, precipitation and energy balance of earth (Norris and Slingo, 2009). Webster (1969) examined the relationship between the sunshine duration and total cloud amount. Matuszko (2012) evaluated the influence of cloudiness on sunshine duration. Weber (1994) studied on the relationships between cloudiness, sunshine and temperature range, for the seasonal variation. For Egypt, Robaa (2008) investigated the sunshine duration with the effect of cloudiness data. Otherwise, Neske (2014) analyzed the relations between cloudiness and sunshine duration data in Hamburg. Furthermore, different cloud types have different effects on climate. Liou et al. (1990), have constructed a two dimensional model to investigate the disturbance of high cloud cover on temperature areas.

In this study, it is aimed to examine the variation of cloudiness data related to air quality index value and climatic variables by employing the Kayseri meteorological station data.

2. Materials and Methods

Regression analysis was performed to analyze dataset. This technique is used in modeling the relationships between two or more variables as mathematical structure. The aim is to predict the parameters in established model by using a dependent variable (Y) and one or more independent variables (X) and then, to estimate the value of dependent variable for measured values of independent variables. That is, to determine the relationship structure between the dependent and independent variables. The regression method is called multiple linear regression method when the independent variables are two or higher. For k-independent variables such as $X_1, X_2, X_3, \dots, X_k$, affecting the dependent variable, Y, the multiple regression model is formed as shown in Equation (1),

$$Y_i = b_0 + \sum_{j=1}^k b_j X_{ij} + \varepsilon_i \quad , \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

In Equation (1), b_0 and b_j (where $j=1, 2, \dots, k$) are the estimated regression coefficients, Y is observed value of dependent variable, Xs are the independent variables and ε is error term. The purpose of the model prediction is to estimate the regression coefficients that make smaller the error term. The regression coefficients are predicted via least squares method (Montgomery et al., 2001).

At the end of the analysis, it is crucial if the significance value that is estimated in the models is smaller than the critical value (0.05). This feature indicates the statistically meaningful of the estimated models. Additionally, some statistical evaluation criteria such as Correlation Coefficient (R), Determination Coefficient (R^2) and Standard Error of Estimation (SEE) were used to interpret the success of the estimated model. The value of Correlation Coefficient, R, varies between -1 and +1. Its formula is shown in Equation (2). Determination coefficient, R^2 , is the square of the value R. SEE expresses a size that indicates difference between observed and estimated values. An R-value close to absolute 1 and SEE value in low degree indicate that the model is successful.

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{Y}_i - \bar{Y}_l) (Y_i - \bar{Y}_i)}{\sqrt{\left[\sum_{i=1}^n (\hat{Y}_i - \bar{Y}_l)^2 \right] \left[\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y}_i)^2 \right]}} \quad (2)$$

$$SEE = \sqrt{\frac{\sum (Y_i - \hat{Y}_l)^2}{n - 2}} \quad (3)$$

In these equations, n is the number of observations, Y_i is the observed value and, \hat{Y}_i is the estimated value, \bar{Y}_i and $\bar{\hat{Y}}_i$ is the average of the observed and estimated values respectively.

The dataset utilized in present study were provided from ground based meteorological station and air pollutants monitoring station located in Kayseri. Before employing the regression methods, Daily air quality index values were computed by the formula proposed by United States Environmental Protection Agency (USEPA) utilizing the air pollutants concentrations (Table 1). For any air pollutant, an index value is calculated by using the Equation (4).

$$I_p = \left[\frac{(I_{Hi} - I_{Lo})}{(BP_{Hi} - BP_{Lo})} \right] (C_p - BP_{Lo}) + I_{Lo} \tag{4}$$

In Equation (4), I_p denotes the index value for pollutant p ; C_p is the concentration value of the pollutant p ; BP_{Hi} , is the breakpoint that is equal to or bigger than C_p ; BP_{Lo} is the breakpoint that is equal to or smaller than C_p ; I_{Hi} is the index value defining to BP_{Hi} and I_{Lo} is the index value defining to BP_{Lo} . Hence, the daily AQI value was defined as the highest value among computed index values by using Equation (5).

$$AQI = \text{Max}(I_1, I_2, \dots, I_p), \quad p = 1, 2, \dots, 5 \tag{5}$$

Table 1. United States Environmental Protection Agency breakpoints of air pollutants for the air quality index (AQI) (EPA, 1999)

Breakpoints							AQI	Category
O ₃ (ppm) 8-hour	O ₃ (ppm) 1-hour ¹	PM ₁₀ (µg/m ³)	PM _{2.5} (µg/m ³)	CO (ppm)	SO ₂ (ppm)	NO ₂ (µg/m ³)		
0.000-0.064	-	0-54	0.0-15.4	0.0-4.4	0.000-0.034	(²)	0-50	Good
0.065-0.084	-	55-154	15.5-40.4	4.5-9.4	0.035-0.144	(²)	51-100	Moderate
0.085-0.104	0.125-0.164	155-254	40.5-65.4	9.5-12.4	0.145-0.224	(²)	101-150	Unhealthy for sensitive groups
0.105-0.124	0.165-0.204	255-354	65.5-150.4	12.5-15.4	0.225-0.304	(²)	151-200	Unhealthy
0.125-0.374	0.205-0.404	355-424	150.5-250.4	15.5-30.4	0.305-0.604	0.65-1.24	201-300	Very unhealthy
(³)	0.405-0.504	425-504	250.5-350.4	30.5-40.4	0.605-0.804	1.25-1.64	301-400	Hazardous
(³)	0.505-0.604	505-604	350.5-500.4	40.5-50.4	0.805-1.004	1.65-2.04	401-500	Hazardous

¹ Generally AQI is reported by using 8-hour ozone values. Anyway, for some areas, AQI is evaluated using both 1- and 8-h ozone (O₃) levels and reported as the maximum of each.

² NO₂ has no short-term National Ambient Air Quality Standards (NAAQS) and can generate AQI if it is >200.

³ For higher AQI values (301-400 and 401-500), 1-h O₃ concentrations are used instead of 8-h O₃ concentrations.

3. Findings and Discussion

3.1. Statistical values of meteorological parameters

Table 2 shows the descriptive statistics for meteorological parameters such as cloudiness (TCC), relative humidity (RHM), wind speed (WINS), precipitation (PREC), air pressure (PRES), minimum air temperature (MINT), maximum air temperature (MAXT) and air quality index (AQI). Those were determined for annual and seasonal i.e. winter months (December, January, February coded as DJF), spring months (March, April, May coded as MAM), summer months (June, July, August coded as JJA), autumn months (September, October, November coded as SON). Minimum, Maximum, Mean and Standard Deviation values were listed according to related period for each parameter. In Table 1, the mean values were defined for parameters such as TCC changed seasonal from 2.0681 (JJA) to 5.61 (DJF), RHM 50.4605 (JJA) to 73.6829 (DJF), WINS 1.4314 (SON) to 2.0276 (MAM), PREC 20.0819 to 52.9657, PRES 890.1333 (JJA) to 893.5867 (SON), MINT -14.7662 (DJF) to 7.4919 (JJA), MAXT 13.4833 (DJF) to 35.4924 (JJA), AQI 37.356 (JJA) to 93.8062 (DJF).

Table 2. Descriptive statistics for meteorological parameters

Parameter	Statistics	ANNUAL	DJF	MAM	JJA	SON
TCC	Minimum	3,4	4,07	4,17	1,4	2,73
	Maximum	4,47	6,63	6,03	3,27	4,03
	Mean	4,0005	5,61	4,8986	2,0681	3,4257
	Std. Deviation	0,3354	0,76901	0,54944	0,54793	0,41077
RHM	Minimum	56,54	65,8	51,9	44,93	54,73
	Maximum	67,81	79,97	68,67	62,47	66,63
	Mean	61,839	73,6829	61,7614	50,4605	61,4481
	Std. Deviation	2,81947	3,46777	4,18111	4,44842	3,36277
WINS	Minimum	1,44	1,07	1,67	1,43	1,2
	Maximum	1,91	1,87	2,67	2,17	1,87
	Mean	1,6638	1,519	2,0276	1,6738	1,4314
	Std. Deviation	0,1476	0,20861	0,23755	0,20578	0,16153
PREC	Minimum	21,49	12,13	21,97	0,47	7,47
	Maximum	47,8	59,1	76,43	45,75	53,35
	Mean	34,4162	36,2819	52,9657	20,0819	27,09
	Std. Deviation	6,82668	11,23343	15,70843	12,09553	11,33242
PRES	Minimum	890,63	888,3	888,63	888,93	892,03
	Maximum	893,01	895,33	892,63	891,53	895
	Mean	891,589	892,3062	890,3267	890,1333	893,5867
	Std. Deviation	0,6355	1,77219	0,84486	0,77689	0,68692
MINT	Minimum	-6,47	-19,7	-7,03	5,9	-5,57
	Maximum	-0,38	-10	0,03	10,83	1,17
	Mean	-3,2276	-14,7662	-3,2571	7,4919	-2,3752
	Std. Deviation	1,34417	2,89461	1,81654	1,26104	1,83245
MAXT	Minimum	22,79	6,37	23,87	32,5	24,27
	Maximum	27,51	19,03	29,47	37,33	29,13
	Mean	25,4948	13,4833	25,7581	35,4924	27,239

	Std. Deviation	0,92235	2,79732	1,45213	1,22031	1,26268
	Minimum	48,86	53,99	30,74	20,38	39,74
	Maximum	77,62	120,28	67,61	74,1	102,38
AQI	Mean	62,0633	93,8062	47,2395	37,356	67,6938
	Std. Deviation	9,01045	18,76332	10,20803	12,05633	15,50122

Statistical expressions were performed with statistical analysis with SPSS. Significance (Sig.) value for models were obtained from ANOVA table. Those were shown the statistically significance of the estimated models in which lower than 5% significance level.

Table 3. Statistical expressions for monthly periods

Period	Mathematical Expression	Sig	R	R ²	SEE
JAN	149,341+0,126*RHM+1,33*WINS+0,005*AQI-0,174*PRES	0,04	0,684	0,468	0,77213
FEB	146,341+1,303*WINS-0,163*PRES-0,111*MINT	0,004	0,734	0,538	0,70253
MAR	292,614-0,320*PRES-1,012*WINS	0,000	0,769	0,591	0,61843
APR	411,132+0,067*RHM-0,463*PRES+0,085*MAXT	0,000	0,845	0,713	0,47807
MAY	-0,82+0,07*RHM+0,013*PREC+0,129*MINT	0,000	0,92	0,847	0,35772
JUN	-1,91+0,091*RHM	0,001	0,722	0,521	0,69433
JUL	-296,622+0,072*RHM+0,336*PRES-0,151*MAXT+0,050*AQI	0,003	0,882	0,779	0,35267
AUG	1,649+0,126*RHM-3,109*WINS-0,152*MINT	0,003	0,825	0,68	0,40539
SEP	-1,642+0,075*RHM	0,016	0,545	0,297	0,56089
OCT	344,172+0,118*RHM-0,388*PRES-0,019*AQI	0,000	0,951	0,904	0,34588
NOV	282,862+2,051*WINS-0,315*PRES+0,007*AQI	0,005	0,719	0,516	0,79012
DEC	166,919+0,154*RHM+0,016*PREC-0,194*PRES	0,002	0,748	0,56	0,97636

According to Table 3, the significance values were found as smaller than the critical value (0,05) so the estimated regression coefficients and models were statistically meaningful. The effect of RHUM, PREC and AQI was found generally to increase the TCC whereas PRES, MINS and MAXT to decrease in different months. WINS has an effect on increasing TCC in JAN, FEB, NOV, and decreasing in MAR, and AUG. MAXT has negative effect on TCC for JUL and positive effect on APR. Furthermore, MINT provided an increment on TCC on MAY and decrement on AUG. RHM and PRES were generally occurred in the estimated models. AQI has positive effect on TCC in JAN, JUL and NOV but negative effect in OCT. Determination coefficients, R², were varied from 0,297 to 0,904. Minimum value as low scale was obtained on SEP whereas maximum as high scale in OCT. The degrees of R have obtained in different values as moderate (0,49 to 0,7) on JAN, SEP, and as high (0,7 to 1) on FEB, MAR, APR, MAY, JUN, JUL, AUG, OCT, NOV and DEC.

Additionally, meteorological dataset were analyzed for annual and seasonal time scales. Regression models were also constructed for each time scale as mentioned and shown in Table 4. The time scales were abbreviated as ANN, DJF, MAM, JJA, SON for Annual, December-January-February, March-April- May, June-July-August, September-October-December respectively.

Table 4. Statistical expressions for annual and seasonal periods

Period	Mathematical Expression	Sign.	R	R2	SEE
ANN	$413,951-0,048*RHM-0,464*PRES-0,100*MINS+0,008*AQI$	0,000	0,849	0,72	0,19835
DJF	$158,121+0,129*RHM+1,641*WINS-0,185*PRES+0,004*AQI$	0,016	0,648	0,42	0,65479
MAM	$378,006-0,423*PRES+0,056*RHM$	0,000	0,782	0,612	0,36091
JJA	$410,264-1,410*WINS+0,026*PREC-0,446*PRES-0,279*MAXT+0,010*AQI$	0,008	0,785	0,615	0,40576
SON	$187,823+0,050*RHM-0,210*PRES$	0,042	0,53	0,281	0,36727

In ANN period, TCC was predicted from RHM, PRES, MINS with negative effect and AQI with positive effect of parameters. For winter time scale, RHM, WINS and AQI have contributions in the model as positive directions but PRES as negative. In periods MAM and SON, the prediction models were constructed with RHM (provides increment on TCC) and PRES (causes decrement on TCC). In summer, the increments on parameters WINS, PRES, and MAXT caused a decrease on TCC but PREC and AQI provided the positive effect on increasing TCC. For DJF and SON, correlation coefficient has a moderate value whereas the other periods, high values.

4. Conclusions and Recommendations

This study analyzed long-term climatic variables measured in meteorological station and air quality index values to examine the impact of these parameters on predicting cloudiness in Kayseri. The mathematical models as shown in Table 3 and Table 4 were obtained statistically significant. For different time scales, different linear models were established due to the relations of meteorological parameters. These differences may also be due to the other reasons. Atmospheric environment is a dynamic structure and many interactions may occur. Elements in the atmosphere have an effect on each other.

The results indicated that meteorological parameters affect cloudiness the most in May and October, and the least in September and January. Additionally, according to the estimated models, air quality index value has effect on cloudiness data on January, July, October and November as statistically significant.

Acknowledgements

Thanks to Turkish State Meteorological Service for providing the climate data and Ministry of Environment and Urbanisation for air pollution data.

Authors' Contributions

All authors contributed equally to the study.

Statement of Conflicts of Interest

There is no conflict of interest between the authors.

Statement of Research and Publication Ethics

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

References

- Badescu, V., Paulescu, M., and Brabec, M. (2016). Reconstruction of effective cloud geometry from series of sunshine number. *Atmospheric Research*, 176, 254-266.
- Changnon, S.A. (1981). Midwestern Cloud, Sunshine and Temperature Trends since 1901: Possible Evidence of Jet Contrail Effects. *Journal of Applied Meteorology*, 20: 496-508.
- Cuhadaroglu, B., and Demirci, E. (1997). Influence of some meteorological factors on air pollution in Trabzon city. *Energy and Buildings*, 25, 179-184.
- Dominick, D., Latif, M.T., Juahir, H. Aris, A.Z., and Zain S.M. (2012). An assessment of influence of meteorological factors on PM10 and NO2 at selected stations in Malaysia. *Sustain. Environ. Res.*, 22(5), 305-315.
- Elnesr, M.K., and El-Sabban, A.F. (1964). Cloudiness and sunshine duration measurements in the U.A.R. *Pure and Applied Geophysics PAGEOPH*, 59(1), 256-260.
- Essa, K.S., and Etman, M.S. (2004). On the Relation Between Cloud Cover Amount and Sunshine Duration, *Meteorology and Atmospheric Physics*, 87, 235-240.
- Hoyt, D.V. (1977). Percent of possible sunshine and the total cloud cover. *Monthly Weather Review*, 105, 648-652.
- Kaiser, D.P. (1998). Analysis of total cloud amount over China, 1951-1994. *Geophysical Research Letters*, 25(19), 3599-3602.
- Kaiser, D.P. (2000). Decreasing cloudiness over China. An updated analysis examining additional variables. *Geophysical Research Letters*, 27(15), 2193-2196.
- Liepert, B. (1997). Recent changes in solar radiation under cloudy conditions. *Int. J. Climatol.* 17:1581–93. doi:10.1002/(ISSN)1097-0088.
- Liou, K.N., Ou, S.C., and Koenig G. (1990). *An investigation of the climatic effect of contrail cirrus. In Air Traffic And the Environment: Background, Tendencies, and Potential Global Atmospheric Effects*, ed. U. Schumann, 154–169. Berlin, Germany: Springer-Verlag.
- Mateos, D., Anton, M, Sanchez-Lorenzo, Calbo, J., and Wild, M. (2013). Long-term changes in the radiative effects of aerosols and clouds in a mid-latitude region (1985-2010). *Global Planet Change*, 111, 288-295, <http://dx.doi.org/10.1016/j.gloplacha.2013.10.004>.
- Matuszko, D. (2012). Influence of cloudiness on sunshine duration. *International Journal of Climatology*, 32(10), 1527– 1536.
- Montgomery, D.C., Peck, E.A., and Vining, G.G., (2001). *Introduction to Linear Regression Analysis*, 3rd Edition, John Wiley & Sons, New York.
- Neske, S. (2014). About the Relation between Sunshine Duration and Cloudiness on the Basis of Data from Hamburg, *Journal of Solar Energy*, ID:306871, 7 pages, <http://dx.doi.org/10.1155/2014/306871>.
- Norris, J.R., and Slingo, A. (2009). *Trends in Observed Cloudiness and Earth's Radiation Budget. From the Strüngmann Forum Report, Clouds in the Perturbed Climate System: Their Relationship to Energy*

- Balance, Atmospheric Dynamics, and Precipitation*. Edited by Jost Heintzenberg and Robert J. Charlson. MIT Press, ISBN 978-0-262-01287-4.
- Robaa, S.M. (2008). Evaluation of Sunshine Duration From Cloud Data in Egypt. *Energy*, 33(5), 785-795.
- Twomey, S. (1974). Pollution and the planetary albedo. *Atmos. Environ.* 8:1251-56. doi:10.1016/0004-6981(74)90004-3.
- Twomey, S. (1977). The influence of pollution on the shortwave albedo of clouds. *J. Atmos. Sci.* 34:1149–52. doi:10.1175/1520-0469(1977)034.
- U.S. Environmental Protection Agency (1999). Guideline for reporting of daily air quality - air quality index (AQI). EPA-454/R-99-010. Office of Air Quality Planning and Standards, Research Triangle Park, NC 27711.
- Weber, G.R. (1994). On the Seasonal Variation of Local Relationships Between Temperature, Temperature Range, Sunshine and Cloudiness. *Theoretical and Applied Climatology*, 50(1-2), 15-22.
- Webster, F.B. (1969). A short investigation into the relationship between the duration of sunshine and total cloud amount. *Meteorological Magazine*, 98, 87-92.
- Zateroglu, M.T. (2021a). Evaluating the Sunshine Duration Characteristics in Association with Other Climate Variables. *European Journal of Science and Technology*, 29, 200-207, <https://doi.org/10.31590/ejosat.1022639>.
- Zateroglu, M.T. (2021b). Statistical Models For Sunshine Duration Related To Precipitation and Relative Humidity. *European Journal of Science and Technology*, 29, 208-213. <https://doi.org/10.31590/ejosat.1022962>
- Zateroglu, M.T. (2021c). Assessment of the effects of air pollution parameters on sunshine duration in six cities in Turkey. *Fresenius Environmental Bulletin*, 30(02A), 2251-2269.
- Zateroglu, M.T. (2021d). The Role of Climate Factors on Air Pollutants (PM10 and SO2). *Fresenius Environmental Bulletin*, 30(11), 12029-12036.
- Zateroglu, M.T. (2022). Modelling the Air Quality Index for Bolu, Turkey. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, 17(1), 119 – 130. <https://doi.org/10.26471/cjees/2022/017/206>

Kayıt Sistemi Süreç İyileştirmesinde Simülasyon Tekniğinin Kullanımı ve Bir Uygulaması

Meryem PULAT^{1*} , Dilayla BAYYURT² , İpek DEVECİ KOCAKOÇ³ 

Öz

Simülasyon, gerçek sistemin davranışının bilgisayar ortamında taklit edilmesidir. Simülasyon, çalışan bir sistemi değiştirmeden ya da durdurmadan o sistem üzerinde ne türden değişiklikler yapabileceğimizi görmemize olanak sağlar. Aynı zamanda, alternatif senaryolar geliştirerek, gelecek durumda sistem üzerinde yapılabilecek iyileştirmeye dönük değişikliklerin sistem üzerindeki etkilerini görebilmemiz yine simülasyon sayesinde mümkündür. Ayrıca yeni bir sistem tasarlamak istediğimizde, sistemin performansı ve maliyeti göz önüne alınarak sistemin kurulup kurulmaması kararını verebilmemiz için simülasyon önemli bir yöntemdir. Yapılan çalışmada, simülasyon yardımıyla bir eğitim kurumundaki kayıt sürecinin iyileştirilmesi amaçlanmıştır. Çalışma, Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü 2017/2018 eğitim yılı güz döneminde lisansüstü eğitim sisteminde üç gün boyunca toplanan verilerle yapılmıştır. Kayıt altına alınan veriler öncelikle MS Excel'e aktarılarak düzenlenmiştir. Elde edilen verilerle kayıt sistemi sürecinin daha iyi bir hale getirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla Arena programı kullanılarak öncelikle mevcut durumun simülasyon modeli geliştirilmiştir. Daha sonra, mevcut durumda yaşanan sorunların ortadan kaldırılmasını amaçlayan senaryolar tasarlanmış ve sistemin gelecek durum simülasyon modeli geliştirilmiştir. Elde edilen sonuçlarla farklı senaryolar önerilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Simülasyon, Kuyruk Sistemleri, Senaryo Analizi.

The Use and An Application of Simulation Technique in Process Improvement in Registration System

Abstract

Simulation is the imitation of the behavior of the real system in a computer environment. Simulation allows us to see what kind of changes we can make in that system without changing or stopping it. At the same time, by developing alternative scenarios, it is possible to see the effects of the changes on the system that can be made in the future situation. Also, when we want to design a new system, considering the performance and cost of the system, simulation is an important method for us to decide whether the system should be installed or not. In this study, process improvement was aimed at an educational institution by using a simulation method. The study was carried out with data collected for three days in the graduate education registration system of the Dokuz Eylul University Institute of Social Sciences in the autumn period of the 2017/2018 academic year. The recorded data was first organized by transferring it to the MS Excel. It is aimed to improve the registration system process with the obtained data. For this purpose, firstly, the current situation model was developed in Arena. Later, the future simulation model of the system, which was created in order to eliminate the current problems, was developed. Different scenarios are proposed with the results obtained.

Keywords: Simulation, Queuing Systems, Scenario Analysis.

¹Dokuz Eylül Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Ekonometri Bölümü, İzmir, meryem.pulat@deu.edu.tr

²Giresun Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İşletme Bölümü, Giresun, dilayla.bayyurt@giresun.edu.tr

³Dokuz Eylül Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Ekonometri Bölümü, İzmir, ipek.deveci@deu.edu.tr

¹<https://orcid.org/0000-0003-0642-5619> ²<https://orcid.org/0000-0001-9930-2313> ³<https://orcid.org/0000-0001-9155-8269>

1. Giriş

Kuyruklar (bekleme hatları) günlük yaşamın bir parçasıdır. Hepimiz bir bankada işlem için, markette ödeme için, bir paket postalamak için ve benzeri durumlarda kuyruklarda bekleriz. Ancak, alışılmadık derecede uzun bekleme rahatsızlık yaratabilmektedir. Beklemek zorunda kalmak sadece küçük bir kişisel sıkıntı değildir. Bir ülkenin halkının kuyruklarda bekleyerek harcadığı zaman miktarı hem oradaki yaşam kalitesi için hem de ülke ekonomisinin verimliliği için önemli bir faktördür. Kuyrukta beklemek sadece insanları etkilemez, beklemeden dolayı büyük verimsizlikler de ortaya çıkar. Örneğin, makinelerin tamir edilmesini beklemek üretim kaybına, boşaltılması için beklenmesi gereken araçlar (gemiler ve kamyonlar dahil) sonraki gönderilerin gecikmesine, kalkmayı veya inmeyi bekleyen uçaklar daha sonraki seyahat programlarının aksamasına ya da bozulmasına, hizmet işlerinin bitiş tarihlerinin gecikmesi gelecekteki işlerin kaybedilmesine sebep olabilmektedir. Kuyruk teorisi (bekleme hattı modeli) de bu tür ihtiyaca karşılık olarak ortaya atılmış ve geliştirilmiş bir teoridir. Uygulamada ortaya çıkan çeşitli kuyruk sistemi türlerini (bir tür kuyruk içeren sistemler) temsil etmek için kuyruk modelleri kullanılır. Her model için formüller, çeşitli koşullar altında gerçekleşecek ortalama bekleme miktarı da dahil olmak üzere ilgili kuyruk sisteminin nasıl çalışması gerektiğini gösterir. Bu nedenle, bu kuyruk modelleri, kuyruk sisteminin en etkili şekilde nasıl çalıştırılacağını belirlemek için çok faydalıdır. Sistemi çalıştırmak için çok fazla hizmet kapasitesi sağlamak aşırı maliyetler gerektirir. Ancak yeterli hizmet kapasitesi sağlanmaması da aşırı beklemeye neden olur. Modeller, hizmet maliyeti ile bekleme miktarı arasında uygun bir denge bulunmasını sağlamayı amaçlar (Hillier ve Lieberman, 2015). Model, bir sistemin veya sürecin tasarımı iken, simülasyon modeli ise, zamanı ve zaman içinde meydana gelen değişiklikleri içeren bir temsildir. Bir model, sistemin veya sürecin mantıksal, matematiksel ve yapısal yönlerini içerebilir (Carson, 2004). Simülasyon, sistemi kontrol eden faktörleri belirlemek ve anlamak veya sistemin gelecekteki davranışını tahmin etmek (tahmin etmek) için mevcut veya önerilen sistem modellerini oluşturma süreci olarak tanımlanmaktadır. Denklemler veya kurallar kullanılarak nicel olarak tanımlanabilen neredeyse tüm sistemler simüle edilebilir. Simülasyon, analistin sistemin bir dizi parametre altında ne kadar iyi performans gösterdiğini anlamasına yardımcı olur.

Simülasyonun kapsamı başta imalat sektörü, tedarik zinciri, ulaşım sistemleri, bilgisayar bilgi sistemleri, hizmet sistemleri olmak üzere daha birçok sistemi olmak üzere son derecede geniştir. Hizmet sistemlerinden biri de eğitim sektörüdür ve bunun bir örneği de üniversite öğrenci kayıt sürecidir (Marsudi, 2020). Üniversite öğrenci kayıt sürecine dair ilk örnek 2018 yılında 38. Yöneylem Araştırması Endüstri Mühendisliği (38. YA/EM) Ulusal Kongresi'nde 'Kayıt Sistemleri Süreç İyileştirmesinde Simülasyon Tekniğinin Kullanımı ve Bir Uygulaması' başlığıyla tarafımızca sunulmuştur (Pulat vd., 2018). Yapılan çalışma da bu çalışmadan türetilmiştir. Çalışmada, Dokuz

Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü lisansüstü öğrenci kayıt sisteminin simülasyon tekniği ile modellenerek analiz edilmesi amaçlanmıştır. Çalışmada öğrenci bekleme sürelerinin minimize edilmesi, kayıt sisteminde görevli optimal personel sayısının tespit edilmesi gibi etmenlerle sürecin iyileştirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü 2017-2018 Güz Dönemi 3 günlük lisansüstü öğrenci kayıt süreci verileri kayıt altına alınmıştır. Kayıt altına alınan veriler Microsoft Excel programına aktarılmış ve Arena simülasyon programı ile analiz edilmiştir.

2. Sistem Simülasyonu

Sistemlerin veya süreçlerin geliştirilmesi için çeşitli değişikliklerin ve gözlemlerin yapılabileceği araştırma ve deneylere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu deneyleri gerçek sistem, gerçek sisteme benzetilen fiziksel maket-model, analitik veya mantıksal model ve simülasyon üzerinde sanal olarak yapmak mümkündür. Gerçek sistem üzerinde deney yapmak genellikle birçok olumsuzluğa sebep olmaktadır. Bir imalat hattını düşünecek olursak yapılacak denemelerde akışın durdurularak aparat, tezgâh veya süreç eklenmesi gibi hattın normal akışını etkileyerek üretimin aksaması, ürün sayısı ve kalitesinin olumsuz etkilenmesi gibi bozucu ve tahrip edici bir etkiye sahip olacaktır. Bu yüzden gerçek sistem üzerinde deneme yapmanın maliyeti çok yüksektir. Bunun yanı sıra birçok sistemde de gerçek sistem üzerinde deneme yapmak mümkün olmamaktadır. Buna örnek olarak sürekli çalışması gereken bir çimento farikası ve yüksek sıcaklıkta çalışan sürekli döküm sistemleri verilebilir. Ayrıca roket, mermi, uçak ve bunlar gibi sistemler üzerinde değişiklik yapmak teknik ve ekonomik açıdan mümkün olmayabilir.

Gerçek sistemin maket model çalışması uzun zaman alabilmekte ve/veya deneylerin tekrar edilmesi gerektiğinden maliyet önemli ölçüde artabilmektedir. Bu yüzden gerçek sistemin fiziksel maket-modeli çok nadir tercih edilmektedir. Dolayısıyla, deneyler analitik veya mantıksal model ve simülasyon üzerinde yapılmaktadır (Ayvaz, Kuşakçı ve Borat, 2017).

Sistemler çoğunlukla analitik modeller kullanılarak modellenemeyecek kadar karmaşık mantıksal yapıya sahiptir. Gerçek hayatta çoğu üretim ve servis sistemi için de bu geçerlidir. Aynı zamanda, sistemler modelledikten sonra çözüme ulaşmak çok karmaşık olabilmekte ve çok uzun zaman alabilmekte ya da çözümü mümkün olmayabilmektedir. Bu gibi durumlar göz önüne alındığında, daha sonra da değineceğimiz simülasyonun önemi ve avantajları düşünüldüğünde, simülasyonun kullanılması analiste önemli derecede kolaylık ve hızlı sağlayacaktır.

Simülasyon, gerçek hayattaki bir sürecin veya sistemin işleyişinin zamana göre taklit edilmesidir. Sistemin taklit edilerek gözlemlenmesi amacıyla yapay bir geçmiş oluşturulur ve temsil edilen gerçek sistemin çalışma özelliklerine ilişkin çıkarımlarda bulunulur (Banks, 1999). Sistemlerin

tasarımı, modellenmesi, analizi ve optimizasyonu için kullanılan bu yöntem güçlü ve popüler bir araçtır (Ayvaz vd., 2017). Schriber'e göre "Simülasyon, bir sürecin veya sistemin, zaman içinde gerçekleşen olaylara tepkisini taklit edecek şekilde modellenmesini içerir". Kompleks bir sistemin ilişkilerini göstermek, farklı koşulların sürece olan etkisini incelemek, çalışan sistemin işleyişi aksatılmadan yani herhangi bir zaman ve/veya para kaybına yol açmadan sistemin iyileştirilebilmesi ve analitik çözümün doğrulanabilmesi için simülasyon yöntemi teknolojik gelişmeler sayesinde test edilebilmesi zor olan farklı senaryoların bilgisayarda modellenmesi olanaklıdır. Böylece karar vericiler, sistemin simülasyon modelini kurarak belirli hedeflere ulaşabilmek için alternatif senaryoları deneyerek en uygun kararları verebilirler (Kuvvetli ve Rızvan, 2017; Shannon, 1992).

Simülasyon yöntemi farklı avantaj ve dezavantajlara sahiptir. Simülasyon yönteminin avantajları şu şekildedir (Takcı ve Doğan, 2013; Shannon, 1992; Aksoy, 2011):

- Çoğu karmaşık sistem analitik olarak değerlendirilip matematiksel modellerle ifade edilemez.
- Devam eden operasyonları aksatmadan yeni politikaları, işletim prosedürlerini, karar kurallarını, organizasyon yapılarını, bilgi akışlarını vb. keşfetmek için kullanılabilir.
- Yeni donanım tasarımları, fiziksel düzenler, yazılım programları, ulaşım sistemleri, vb. kaynaklar uygulamaya başlamadan önce test edilebilir.
- Bazı fenomenlerin nasıl veya neden oluştuğuna dair hipotez fizibilite açısından test edilebilir.
- Simülasyon ile mevcut sistemin farklı koşullardaki performansının tahmini kolaylıkla gerçekleştirilebilir.
- Önerilen farklı sistem tasarımları içinde hangisinin belirlenen hedef için en iyi uyumu göstereceği simülasyon modeli ile bulunabilir.
- Sistem bir defa modellendiğinde sonrasında farklı durumları analiz edebilmek için çok defa kullanmak mümkündür.
- Simülasyon, süreçlerin evrenselliklerini ön plana çıkararak dinamik yapıların incelenebilmesine olanak sağlar.

Simülasyon yönteminin dezavantajları ise aşağıdaki gibi sıralanabilir (Takcı ve Doğan, 2013; Shannon, 1992; Aksoy, 2011):

- Modeli geçersiz kılacak kritik varsayımları gizleyebilir.
- Deterministik problemler için uygulanamamaktadır.
- Bir çözüm metodolojisi ortaya koyamayabilir.
- Optimal çözümü garanti edememektedir.
- Model oluşturma bir sanattır. Karmaşık ve kapsamlı modellerin kurulması uzmanlık gerektirir. Analizin kalitesi, modelin kalitesine ve modelcinin becerisine bağlıdır.

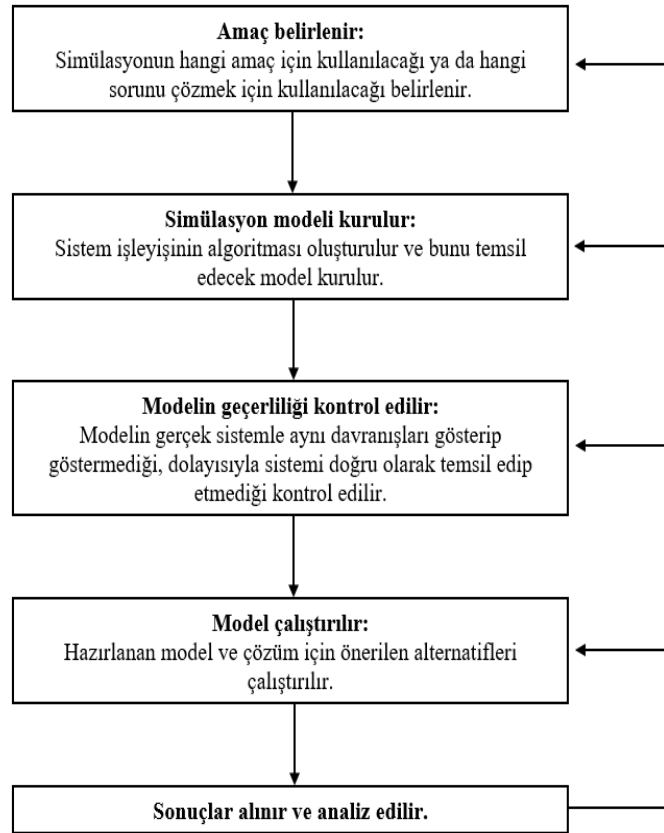
○ Verilerin toplanması, modelin kurulması ve analiz edilmesi yüksek maliyete neden olabilir.

Simülasyonun kullanılmayacağı haller ise şu şekilde verilmiştir (Ayvaz ve ark., 2017):

- Problem analitik olarak çözülebiliyorsa,
- Deneyler zaman ve maliyeti olumsuz etkilemeyecek şekilde gerçekleştirilebiliyorsa,
- Sorun sağduyu ile çözülebiliyorsa,
- Optimum çözümünün bulunması isteniyorsa,
- Simülasyon çalışmasının getirdiği maliyet tasarrufu aşıyorsa,
- Kaynak ve veri yeterli değilse,
- Sistem davranışı insan davranışı gibi çok karmaşık ise simülasyon çalışmasına girilmemelidir.

Ne tür sistemlerin simüle edilebileceği sorusu dikkate alındığında cevap, hemen hemen her tür sistemin üzerinde çalışılabileceği veya incelenebileceğidir. Bu metodolojinin geniş uygulama yelpazesini sınıflandırmak neredeyse imkansızdır.

Bir simülasyon çalışmasındaki aşamalar Şekil 1'de verilmiş ve bu çalışmanın uygulama kısmında da bu aşamalar sırasıyla izlenmiştir.



Şekil 1. Simülasyon çalışmasında izlenmesi gereken adımlar

Kaynak: (Özfiat ve ark., 2015)

3. Simülasyon Uygulaması

Bu çalışmada amaç, lisansüstü öğrenci kayıt sistemi sürecinin iyileştirilmesi için simülasyon modellemesi ile senaryo analizleri yapılmasıdır. Bu amaçla kayıt tarihleri boyunca sisteme giren tezli yüksek lisans, tezsiz yüksek lisans ve doktora öğrencilerine dair veriler (öğrencinin sisteme girişi, sistemden çıkışı, vb.) ve süreçlere ait veriler (dosya verme, belge kontrol, kayıt gibi süreç işlem süreleri) tutulmuştur. Böylece, mevcut durum simülasyon modeli kurularak yoğunluk ve darboğaz alanları belirlendikten sonra, kayıt işleminin daha kısa sürede daha az kaynak (personel) kullanımı ile gerçekleştirilebilmesi için alternatif senaryolar geliştirilmiş, geliştirilen senaryolar mevcut durum ile karşılaştırılarak önerilerde bulunulmuştur.

Bu amaçla, Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü 2017-2018 Güz Dönemi 3 günlük lisansüstü öğrenci kayıt süreci verileri gözlem yolu ile kayıt altına alınmıştır. Kayıt altına alınan veriler MS Excel'e aktarılarak gelişler arası süreler hesaplanmıştır. Sistemin modellenmesinde ARENA simülasyon yazılımı kullanılmıştır. Arena Input Analyzer ile gelişler arası sürenin dağılımı belirlendikten sonra Rockwell Arena Simülasyon Programı ile simülasyon modeli kurulmuş ve çıktılar Arena Output Analyzer ile analiz edilmiştir.

ARENA, SIMAN'ı da piyasaya süren System Modelling firması tarafından geliştirilen ve 2000 yılında Rockwell Automation şirketi tarafından satın alınan, Windows ara yüzüne sahip popüler bir simülasyon ve otomasyon yazılımıdır. SIMAN işlemcisini ve simülasyon dilini kullanarak, mevcut performansı ve olası alternatif çalışma modlarını analiz etmek için tedarik zinciri, süreç, lojistik, servis sistemleri, dağıtım ve depolama gibi birçok sistemi simüle etmek için yaygın olarak kullanılır. Bir süreç modelini simüle ederek, kaynak tahsisini ayarlamak, mevcut veya yeni tasarımları analiz etmek, iyileştirmek ve yeni çözümler önermek için kullanılmaktadır. Arena programı, başarılı bir simülasyon için gerekli olan animasyon, giren ve çıkan verinin analizi gibi fonksiyonları ayrıntılı ve kapsamlı bir şekilde içermektedir (Wang ve ark., 2009; Ayvaz ve ark., 2017).

3.1. Mevcut Durum

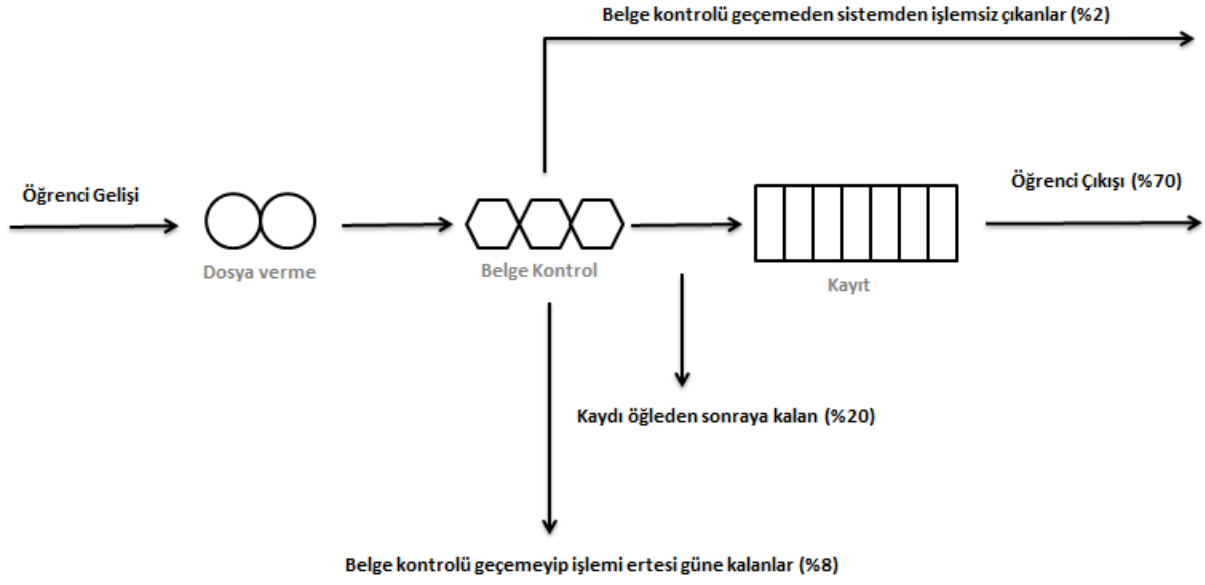
Kayıt sisteminde bekleme ne kadar az olursa öğrenci memnuniyeti o kadar yüksek olacaktır. Öte yandan öğrencilerin bekleme sürelerinin olması gerekenden daha düşük bir seviyeye çekilmesi de bazen bazı sorunları meydana getirebilecek, yani kaynak israfına yol açabilecektir. Böylece sistemde fazla hizmet kapasitesi sağlamak işgücünün verimsiz kullanılmasına neden olacaktır. Kurulan modeller ve yapılan analizler sayesinde uygun bir denge bulunması amaçlanmıştır. Ayrıca karmaşık sistemlerin modellenmesinde oldukça başarılı olması sebebiyle çalışmada simülasyon yönteminin kullanılmasına karar verilmiştir.

Kayıt sistemine ait kavramsal model aşağıda gösterilmiştir. Sistemin 3 günde tamamlanması gerektiğinden ve devamlılık söz konusu olduğundan kavramsal model sabah ve öğleden sonra olarak ayrı ayrı ele alınmış ve Şekil 2 ve Şekil 3'te verilmiştir.

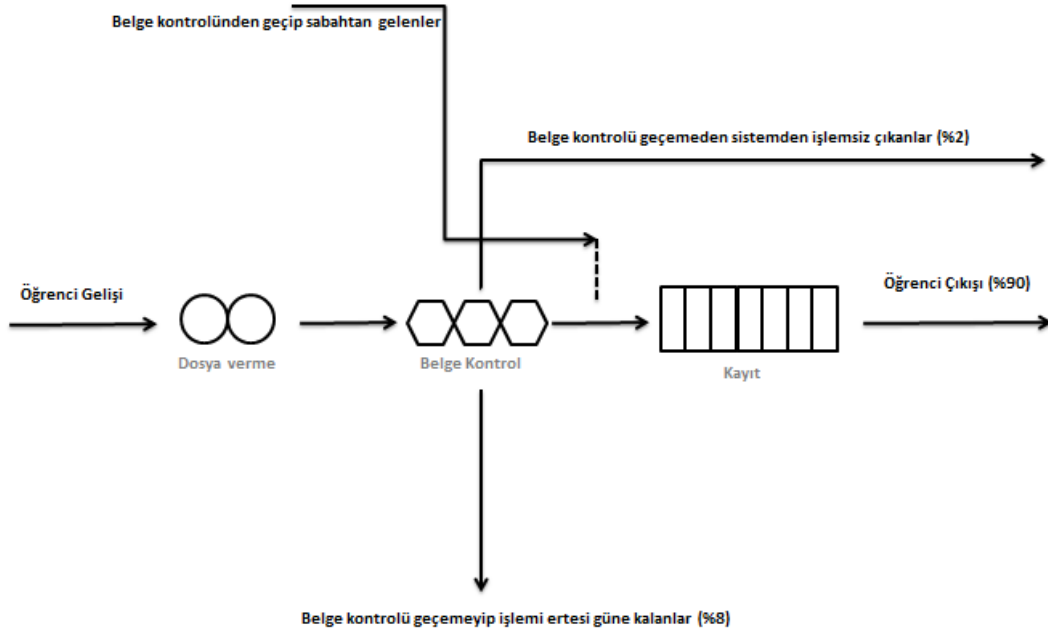
Sistemde sabah kısmı için, sisteme giren öğrenci ilk olarak dosyasını almaktadır. Bir sonraki aşamada öğrencinin kayıt için istenilen belgelerinin kontrolü sağlanmaktadır. Belge kontrolü aşamasında sorun çıkan ve sistemden işlemsiz çıkan öğrenciler için %2'lik bir oran (Yabancı dil puanı olmayan, puanının süresi geçen, yanlış beyanda bulunan, vb.) ve geçici sorun yaşayıp kaydı ertesi güne kalanlar için %8'lik bir oran modele tanımlanmıştır. Kaydını tamamlayarak sistemden çıkan öğrenciler için ise oran %70, kaydı öğle arasına denk gelip öğleden sonraya kalan öğrenciler için ise %20 tanımlanmıştır.

Sistemde öğleden sonra kısmı için ise, aynı şekilde sisteme yeni giren öğrenci ilk olarak dosyasını almaktadır. Belge kontrolü aşamasında aynı şekilde, sorun çıkan ve sistemden işlemsiz çıkan öğrenciler için %2'lik bir oran ve geçici sorun yaşayıp kaydı ertesi güne kalanlar için %8'lik bir oran modele tanımlanmıştır. Sabahtan gelen öğrenciler de yine modelin bu kısmına eklenmiştir. Kaydını tamamlayarak sistemden çıkan öğrenciler için ise oran %90 olarak belirlenmiş ve gelen bütün öğrencilerden belge kontrolünü geçenlerden hiçbiri ertesi güne bırakılmamıştır. Kayıtlar tek günde tamamlanmaktadır.

Sistemde lisansüstü eğitime kayıt olan öğrencilerin %11,81'i doktora programına, %56,21'i tezli yüksek lisans programına ve %31,96'sı ise tezsiz yüksek lisans programına kayıt olmuştur. Öğrencilerin %41,52'si 1.gün, %41,41'i 2.gün ve %17,06'sı ise 3.gün kayıtlarını gerçekleştirmiştir. Sabah ve öğleden sonra için ayrı ayrı bakıldığında ise öğrencilerin %47,39'unun sabah ve %52,61'inin ise öğleden sonra kayıt yaptırmak üzere geldiği görülmektedir. Sistemde dosya verme sürecinde 2, belge kontrolü sürecinde 3 ve kayıt sürecinde ise 7 personel görev almaktadır.



Şekil 2. Kavramsal Model (Sabah)



Şekil 3. Kavramsal Model (Öğleden Sonra)

3.2. Simülasyon Modeli

Sisteme ait varsayımlar aşağıda özetlenmiştir:

- Personel sayıları simülasyon süresince sabit tutulmuştur.

uygunluğuna karar verilirken Ki-kare testi ve ortalama hata kare ölçütleri kullanılmaktadır. Elde edilen dağılımın doğruluğu, Ki-kare testi sonucuna bakılarak anlaşılır. Test sonucu elde edilen p değeri α düzeyinden yüksek ise teorik dağılımların verileri temsil edebileceği sonucuna ulaşılır ve minimum ortalama hata kareye sahip olan dağılım seçilir. Elde edilen dağılımın sonucu Arena Simülasyon modelinde kullanılmıştır. Aynı zamanda Arena, kullanıcının alternatif giriş senaryolarını tanımlamak için girdi dağılımıyla ilgili parametreleri değiştirmesine izin verir (Deryahanoğlu, 2020). 3 günün sabah ve öğleden sonra kısımlarına göre ayrı ayrı yapılan istatistiksel dağılımlarının genel olarak özeti Tablo 1’de belirtilmiştir.

Tablo 1. Gelişler Arası Sürelerin Dağılımı ve Parametreleri

Gün	Günün Bölümü	Dağılım	Açıklama
1. gün	Sabah	Lognormal	Logn (1.7, 1.52)
	Öğleden Sonra	Lognormal	Logn (1.41, 1.12)
2. gün	Sabah	Gamma	Gamm (0.543, 2.43)
	Öğleden Sonra	Gamma	Gamm (0.736, 2.04)
3. gün	Sabah	Lognormal	Logn (2.15, 2.07)
	Öğleden Sonra	Lognormal	Logn (3.38, 3.19)

Süreçlere ait mevcut kaynaklar (personel sayısı) ve her bir kaynağın dakika cinsinden işlem süreleri Tablo 2’de belirtilmiştir.

Tablo 2. Mevcut Kaynaklar (Personel Sayısı) ve Her Bir Kaynağın İşlem Süresi (Dakika)

İşlem	İşlem Süresi	Personel Sayısı
Dosya verme	3	2
Belge kontrol	4	3
Kayıt	14	7

3.3.2. Çıktı Analizi (Output Analyzer)

Simülasyon çalışmasında elde edilen sonuçların anlamlı olabilmesi için çıktı analizi gerçekleştirilmektedir. Simülasyon modeli, başlangıç anında hiçbir varlığın olmadığı (boş olduğu) koşullu ile başlar. Başlangıçtaki koşullarının sonuçları etkilememesi için sistem belirli bir süre çalıştırılarak elde edilecek sonuçlardan bu periyodun (ısınma periyodu) atılması gerekmektedir. Isınma periyodunu belirleyebilmek için Welch yöntemi kullanılmıştır. Grafikselsel analiz yöntemi olan bu yöntemde, belirlenen bir w sayısı kadar kayan ortalama alınarak performans ölçütünün simülasyon uzunluğu boyunca grafiği çizilir. Ortalama değerlerinin düzgün bir doğrultuda ilerlemeye başladığı nokta ısınma periyodu olarak ele alınmaktadır. Bu çalışmada, performans ölçütü olarak ortalama sistemde kalma süresi alınmıştır (Kuvvetli ve Rızvan, 2017).

Tekrar sayısını belirleyebilmek için bağıl hataya bağlı sabit örnek büyüklüğü yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemle göre ilk olarak n tekrar alınır. Daha sonra n tekrar için ortalama ve varyans hesaplandıktan sonra i adet tekrar için uygunluk denklemi 1'deki gibi değerlendirilir (Kuvvetli ve Rızvan, 2017).

$$n_i^*(\gamma) = \left\{ i \geq n: \frac{t_{i-1,1-\alpha/2}\sqrt{S^2/i}}{|\bar{X}(n)|} \right\} \leq \gamma^I \quad (1)$$

$\bar{X}(n)$ = n tekrar ortalaması

S^2 = n tekrar varyansı

$t_{i-1,1-\alpha/2}$ = t dağılım değeri

γ = hata oranı

γ^I = bağıl hata ($\gamma/(1 + \gamma)$)

Çalışmada bağıl hataya bağlı sabit örnek büyüklüğü yöntemi sonuçları aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 3. Modele Uygun Belirlenen Tekrar Sayısı

	Tekrar Sayısı= 10
Ortalama	25,61
Varyans	5,35
T Dağılım Değeri	2,228
Bağıl Hata	0,09
Tekrar Uygunluk Değeri	0,064

Çıktı analizi kullanıcılara, simülasyon modellerinden üretilen sonuçların istatistiksel güvenilirliğini değerlendirebilme imkânı sağlar. Korelogramlar, t-testleri, veri filtreleri, hareketli ortalamalar, varyans analizi ve güven aralıkları gibi yaygın olarak kullanılan çıktı verilerine ilişkin test işlemleri mevcuttur. Bu testler, kullanıcıların sistem performansını tanımlamasına ve değerlendirmesine veya farklı senaryoları değerlendiren iki veya daha fazla simülasyon çalışmasının sonuçlarını karşılaştırmasına olanak tanır. Çıktı analizi, bir simülasyon çalışması yürütebilecek ve daha sonra sistem performans özelliklerini görüntüleyecek seçenekleri seçebilecek şekilde Arena'ya entegre edilmiştir (Hammann ve Markovitch, 1995). Girdi değişkenlerinin değerlerini üretmek için rassal sayı üreticileri kullanıldığından simülasyon modelinin bir kere çalıştırılması ile elde edilen çıktı da rassal olacaktır. Bu nedenle istatistiksel çıktı analizine ihtiyaç duyulmaktadır.

3.3.3. Mevcut Durum Simülasyon Analizi Sonuçları

Mevcut sistemde kayıt süreci üç gün sürmektedir. Gün içerisinde 08:30 ile 17:30 arasındaki çalışma süresinde 12:00-13:00 saatleri arasında öğle molası verilmektedir. Mola süresi çıkartıldığında 8 saat çalışılmaktadır. Mevcut sistem modellenmiş, geliştirilen simülasyon modelinde, simülasyon süresi 3 gün için 24 saat olarak ve tekrar sayısı ise bağıl hataya bağlı sabit örnek büyüklüğü yöntemine göre 10 olarak belirlenerek çalıştırılmıştır. Sonuçlar, Arena simülasyon modelleme ortamında yer alan “Output Analyzer” aracı yardımıyla %95 güven düzeyinde ($\alpha = 0.05$ seçerek) analiz edilmiştir ve sonuçlar aşağıda Tablo 4’te özetlenmiştir.

Tablo 4 incelendiğinde en yüksek kuyrukta bekleme sürelerinin kayıt sürecinde meydana geldiği görülmektedir. Özellikle yoğunluğun en çok olduğu birinci ve ikinci günlerin öğleden sonralarında kayıt sürecinde önemli bir kuyruk oluşmaktadır.

Tablo 5’e bakıldığında kaynak kullanım oranlarının genellikle yoğun olan ilk iki günde neredeyse tam kapasiteye yakın olduğu görülmektedir. Oranların son gün ise ilk iki güne nispeten daha düşük seviyelerde olduğu görülmektedir.

Sistemde geçen sürelerin ortalaması için Tablo 6’ya bakıldığında, en yüksek sürelerin yoğunluğun en yüksek seyrettiği ilk iki günün öğleden sonraları olduğu görülmektedir.

Tablo 4. Süreçlere Göre Kuyrukta Bekleme Süreleri (Dakika)

		Dosya verme		Belge kontrol		Kayıt	
		Ortalama	Yarı genişlik	Ortalama	Yarı genişlik	Ortalama	Yarı genişlik
1.gün	Sabah	3,37	1,36	0,06	0,03	8,37	4,62
	Öğleden Sonra	22,39	6,10	0,10	0,10	66,06	3,92
2.gün	Sabah	30,02	3,71	7,26	2,74	16,21	5,43
	Öğleden Sonra	10,80	4,77	0,05	0,08	70,99	4,10
3.gün	Sabah	0,92	0,24	0,55	0,13	1,37	0,54
	Öğleden Sonra	0,14	0,06	0,05	0,01	4,16	1,85

Tablo 5. Kaynak Kullanım Oranları (%)

		Dosya Verme	Belge Kontrol	Kayıt
1.gün	Sabah	77	87	90
	Öğleden Sonra	86	98	97
2.gün	Sabah	98	99	96
	Öğleden Sonra	85	96	97
3.gün	Sabah	75	70	78
	Öğleden Sonra	45	45	86

Tablo 6. Sistemde Geçen Süre (Dakika)

		Ortalama	Yarı Genişlik
1.gün	Sabah	32,81	5,11
	Öğleden Sonra	125,87	7,22
2.gün	Sabah	93,83	7,19
	Öğleden Sonra	126,39	7,28
3.gün	Sabah	66,54	3,90
	Öğleden Sonra	104,70	7,38

3.3.4. Simülasyon Modelin Doğrulanması ve Geçerliliğinin Test Edilmesi

Simülasyon çalışmasının en önemli aşamalarından biri kurulan modelin doğruluğunun (verification) ve geçerliliğinin (validation) test edilmesidir. Simülasyon modeli istenilen şekilde çalışmıyorsa ve gerçek sistemi doğru şekilde yansıtamıyorsa, bu modeli karar vermek amacıyla kullanmak doğru değildir. Bu nedenle, mevcut duruma ilişkin simülasyon modeli hem doğrulanmalı hem de modelin geçerliliği gösterilmelidir (Kırıcı ve ark., 2011).

Doğrulama (Verification): Simülasyon modelinin gerçek sistemi aynı şekilde yansıttığını doğrulayabilmek amacıyla gerçekleştirilmektedir (Takcı ve Doğan, 2013). Modeldeki varlıkların (entity), oluşturma (create) modülüyle sisteme ilk girişinden bitiş (dispose) modülüyle sistemden çıkışına kadar olan bütün adımları, interaktif hata ayıklayıcı (interactive debugger) kullanılarak adım adım izlenmiş ve varlıkların (entity) sistemdeki bütün adımlardan sırasıyla geçtikleri gözlenmiştir. Böylece, kurulan simülasyon modelinin doğrulandığı sonucuna varılmıştır. Yani kurulan model gerçek sistemi yeterince temsil edebilmektedir.

Validation (Geçerlilik): Simülasyon modelinden elde edilen çıktılar ile gerçek sisteme ilişkin çıktılar karşılaştırılmasının yapıldığı bir aşamadır (Takcı ve Doğan, 2013). Model davranışının,

simüle edilen gerçek dünya sisteminin davranışını geçerli bir şekilde temsil edip etmediğini tespit eder. Çalışmada, simülasyon sonuçlarının gerçek sistemi yansıtmayı yansıtmadığını ölçmek için geçerliliği test edilmiştir. Bu amaçla gerçek sistemden alınan gözlemlerle simülasyon sonuçları Mann Whitney U testi ile kıyaslanmıştır. Buna göre, gerçek sistemle simülasyon sonuçlarının %95 güvenle aynı dağılımdan geldiği sonucuna ulaşılmıştır. Sonuç olarak, kurulan simülasyon modelinin gerçek sistemi yansıttığı söylenebilir. Gerçek sistem bekleme süreleri ile model bekleme süreleri karşılaştırılmış ve oldukça yakın değerler elde edilmiştir.

3.4. Mevcut Durum için Alternatif Senaryolar

Mevcut sistemde bazı sorunlar gözlenmektedir. Bu çalışmanın ana amacı, incelenen lisansüstü öğrenci kayıt sisteminin iyileştirilmesi için öneriler sunmaktır. Bu amaçla, mevcut durumda yer alan sorunları gidermek için mevcut durum simülasyon modeline alternatif senaryolar önerilmiştir. Belirlenen iyileştirme önerileri aşağıda yer almaktadır:

Senaryo 1: 1.gün öğleden sonra kayıta çalışan personel sayısının 1 artırılması.

Senaryo 2: 2.gün öğleden sonra kayıta çalışan personel sayısının 1 artırılması.

Senaryo 3: 1.gün öğleden sonra; belge kontrol ve dosya verme süreçleri belge kontrol süreci altında birleştirilmesi. Toplamda olan personel sayısı 5 iken 4' e indirilerek, süreç süresi 6 dakika olarak ayarlanmış ve 1 personel kayıt sürecine eklenmiştir.

Senaryo 4: 2.gün öğleden sonra; belge kontrol ve dosya verme süreçleri belge kontrol sürecinin altında birleştirilmesi. Toplamda olan personel sayısı 5 iken 4' e indirilerek, süreç süresi 6 dakika olarak ayarlanmış ve 1 personel kayıt sürecine eklenmiştir. Yukarıda açıklanan alternatif senaryolar doğrultusunda darboğaza sebep olan kayıt aşamasına ait ortalama bekleme zamanları Tablo 7'de verilmiştir.

Tablo 7. Mevcut Durum Simülasyon Modeli ile Alternatif Senaryolardan Elde Edilen Sonuçların Karşılaştırılması

	Kayıt Sürecindeki Ortalama Bekleme Zamanı (Dakika)
Mevcut Durum	66.0
Senaryo 1	42.7
Senaryo 2	49.0
Senaryo 3	45.9
Senaryo 4	47.9

Önerilen alternatif senaryoların daha iyi bir çözüm üretip üretmediğinin anlaşılması, yani istatistiksel olarak anlamlı bir fark olup olmadığının görülmesi amacıyla, mevcut sistemle alternatif

senaryoların oluşturduğu sistemlerin kıyaslanması için ikili t-testi uygulanmıştır. İkili t-testi sonuçlarına göre mevcut durum bekleme zamanı ile alternatif senaryolar bekleme zamanı karşılaştırıldığında istatistiki olarak anlamlı bir farklılık olduğu sonucuna varılmıştır. Tablo 7' deki sonuçlar dikkate alınarak Senaryo 1'in seçilmesi önerilmekle birlikte diğer senaryoların da hem uygulanabilirlik açısından hem de istatistiksel anlamlılık açısından iyi sonuçlar verdiğini söyleyebiliriz.

Tablo 8'de mevcut durum ile alternatif senaryolara ilişkin kıyaslama sonuçları verilmiştir. Tüm alternatif senaryolarda kayıt aşamasındaki ortalama bekleme zamanları mevcut duruma göre istatistiksel olarak anlamlı bir düşüş göstermiştir. Tablo incelendiğinde Senaryo 1'in en büyük düşüşe sahip olduğunu söyleyebiliriz. Bununla birlikte, diğer senaryolar arasında önemli farklılık bulunmamaktadır. En uygun senaryoyu belirlemede birçok faktör etkili olacağı için çok yönlü olarak düşünülmeli ve değerlendirme ona göre yapılmalıdır.

Tablo 8. Kıyaslama Sonuçları

i-j	$\bar{X}_i - \bar{X}_j$	Orta Genişlik	Aralık	
Mevcut Sistem- Senaryo 1	19,9	4,93	15	24,9
Mevcut Sistem- Senaryo 2	13,3	5,24	8,07	18,05
Mevcut Sistem- Senaryo 3	18,3	4,87	13,4	23,1
Mevcut Sistem- Senaryo 4	16,7	5,23	11,4	21,9

4. Sonuçlar

Kuyruk teorisi temel olarak, hizmet sağlama maliyeti ile bekleme hatlarının maliyeti arasında bir denge olacak şekilde, kapasitenin nasıl dağıtılacağıın bulunması sorununu ele alır. Bu amaçla kuyruk modelleri, bekleme sürelerini açıklar, tahmin eder ve darboğazları belirleyerek bunlardan kaçınmaya yardımcı olur (Davwar vd., 2022). Simülasyon ise, bir sistem veya sürecin zaman içinde değişimini kaydeden ve inceleyen bir takliddir (Carson, 2004). Simülasyon çalışmaları yeni bir sistem tasarlanmak istenildiğinde ya da sistemde herhangi bir değişiklik yapmak istenildiğinde sistemin taklit edilerek modellenmesini sağlar. Buradaki amaç sistem performansını ölçerek ekstra maliyetleri azaltmak ve karar verme sürecini kolaylaştırmaktır. Özellikle karmaşık yapıya sahip, zaman alacak yapıda ya da maliyetli modellerin simülasyon kullanılarak çözümlenmesi oldukça yarar sağlamaktadır. Literatürde kuyruk sistemleri ve bekleme hattı problemleri için simülasyon yöntemi kullanılmasıyla ilgili birçok çalışmaya rastlanılmaktadır. Bu çalışmalar sağlık sektörü çalışmaları (Wang vd., 2009; Kırıcı vd., 2011; Wu vd., 2019; Deryahanoğlu, 2020; Davwar vd., 2022), trafik akış yoğunluğu çalışmaları (Zadobrischi vd., 2020; Güneş vd., 2020), banka sektörü çalışmaları (Amalina vd., 2021) şeklinde sıralanabilir ve örnekler arttırılabilir. Kısacası hizmet kapasitesinin sınırlı olduğu

ve bekleme hattı oluşan birçok sistemde simülasyon çalışmaları mevcuttur. Bütün bunlara karşılık özellikle kayıt sistemleri iyileştirmesine yönelik çalışma literatürde oldukça azdır (Adigun vd., 2022; Marsudi, 2020). 2018 yılında 'Kayıt Sistemleri Süreç İyileştirmesinde Simülasyon Tekniğinin Kullanımı ve Bir Uygulaması' başlığıyla 38. Yöneylem Araştırması Endüstri Mühendisliği (38. YA/EM) Ulusal Kongresi'nde sunduğumuz bildiri bu alanda ilk olma niteliği taşımakta ve bu çalışmamızın temelini oluşturmaktadır (Pulat vd., 2018).

Bu çalışmanın amacı lisansüstü öğrenci kayıt sisteminin simülasyon tekniği ile modellenerek öğrenci bekleme sürelerinin minimize edilmesi, kayıt sisteminde görevli optimal personel sayısının tespit edilerek kayıt sistemi sürecinin iyileştirilmesidir. Bu amaçla, Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü 2017-2018 Güz Dönemi 3 günlük lisansüstü öğrenci kayıt süreci verileri kayıt altına alınmıştır. Mevcut durum simülasyon modeli kurulmuştur. Özellikle yoğunluğun en çok olduğu birinci ve ikinci günlerin öğleden sonralarında kayıt sürecinde önemli bir kuyruk olduğu gözlenmektedir ve kaynak kullanım oranlarının da genellikle yoğun olan ilk iki günde neredeyse tam kapasiteye yakın olduğu görülmektedir. Yoğunluk ve darboğaz alanları belirlendikten sonra, kayıt işleminin daha kısa sürede işlem adımları arası kaynak kullanım oranlarını dengeleyerek gerçekleştirilebilmesi ile dört alternatif senaryo geliştirilmiştir ve bu alternatiflerin performansı kayıt aşamasındaki ortalama bekleme zamanı açısından karşılaştırılmıştır. İstatistiksel olarak anlamlı fark olup olmadığının anlaşılması amacıyla, mevcut sistemle alternatif senaryoların oluşturduğu sistemlerin kıyaslanması için ikili t-testi kullanılmıştır. Tüm alternatif senaryolarda kayıt aşamasındaki ortalama bekleme zamanları mevcut duruma göre istatistiksel olarak anlamlı bir düşüş göstermiştir. Kayıt sürecindeki ortalama bekleme zamanında en fazla düşüş senaryo 1 de meydana gelmiştir fakat diğer senaryolar arasında önemli farklılık bulunmamaktadır. En uygun senaryoyu belirlemede bir maliyet söz konusu ise bunun da dikkate alınarak seçimin yapılmasında yarar vardır. Senaryo 1 ve 2 personel artışı olduğunda ek maliyete sebep olmakta, fakat senaryo 3 ve 4'te herhangi bir ek maliyet söz konusu olmamaktadır. Tercih, bu durumu da göz önüne alarak gerçekleştirilmelidir. Lisansüstü öğrenci kayıt süreci için yapılan bu çalışma örnek alınarak, aynı zamanda farklı sektörler için de benzer kayıt süreci sistemlerinde çalışmalar geliştirilebilir.

Yazarların Katkısı

Tüm yazarlar çalışmaya eşit katkıda bulunmuştur.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar

- Adigun, S. O., Ejidokun, T., & Uche-Ihesiulor, E. C. (2022, January). An Executable Model for Student Registration System using Timed coloured Petrinets. In *2022 30th Southern African Universities Power Engineering Conference (SAUPEC)* (pp. 1-5). IEEE.
- Aksoy, S. (2011). *RO-RO terminalleri için simülasyon modellemesi*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Amalina, I., Siburian, B., Zaman, A. N., & Lestari, F. Analysis of Queue System Simulation on Banks with Arena System Modeling.
- Ayvaz, B., Kuşakçı A.O. ve Borat O. (2017). *Sistem benzetimi*. Ankara: Nobel Akademik Yayıncılık.
- Banks, J. (1999, December). Introduction to simulation. In *Proceedings of the 31st conference on Winter simulation: Simulation---a bridge to the future-Volume 1* (pp. 7-13).
- Carson, J. S. (2004, December). Introduction to modeling and simulation. In *Proceedings of the 2004 Winter Simulation Conference, 2004.* (Vol. 1). IEEE.
- Davwar, P. P., Okutachi, A., & Musa, N. (2022). Simulation Of Waiting Line System (A Case Study Of Federal Polytechnicidahmedical Center). *GSI, 10*(6).
- Deryahanoğlu, O. (2020). *Acil servis hasta takip süreçlerinde RFID teknolojisi yatırımına yönelik simülasyon modeli*. Doktora Tezi, Maltepe Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İstanbul.
- Güneş, F., Bayraklı, S., & Zaim, A. H. (2020). Sinyalize bir kavşakta oluşan trafik akımının kuyruk teorisi ile performansının incelenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (19), 56-65.
- Hammann, J. E., and Markovitch, N. A. (1995, December). Introduction to Arena [simulation software]. In *Winter Simulation Conference Proceedings* (pp. 519-523). IEEE.
- Hillier, F. S. and Lieberman, G. J. (2015). *Introduction to operations research*. New York: Tata McGraw-Hill.
- Kezer, D. (2003). *Kesikli ve sürekli sistemlerin modellenmesi ve analizinde görsel simülasyon tekniği ve uygulaması*. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Kırıcı, Ö., Belgin, Ö., ve Testik, M. C. (2011). Hastane poliklinik işlemlerinin verimliliğinin değerlendirilmesi ve iyileştirilmesi için bir simülasyon analizi. *7. KOBİ'ler ve Verimlilik Kongresi* (ss.317-324). İstanbul: İstanbul Kültür Üniversitesi.
- Kuvvetli, Y. ve Rızvan, E. (2017). Ağaç ürünleri üreten bir işletmede malzeme taşıma sisteminin simülasyon yaklaşımıyla iyileştirilmesi. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 32(1), 215-222.
- Marsudi, M. (2020, August) Modeling and Simulation of Student Registration Process by Using ARENA. *Proceedings of the 5th NA International Conference on Industrial Engineering and Operations Management Detroit*. USA: Michigan.
- Özfirat, M. K., Yetkin, M. E., Şimşir, F. ve Kahraman, B. (2015). Bir mekanize uzunayağın simülasyon yöntemi ile modellenmesi. *Türkiye Beşinci Uluslararası Maden Makinaları Sempozyumu ve Sergisi*. Eskişehir.
- Pulat, M., Bayyurt, D., Baran, C., ve Devenci Kocakoç, İ. (2018, Haziran). Kayıt Sistemleri Süreç İyileştirmesinde Simülasyon Tekniğinin Kullanımı ve Bir Uygulaması. *38. Yöneylem Araştırması Endüstri Mühendisliği (38. YA/EM) Ulusal Kongresi*. Eskişehir. <https://docplayer.biz.tr/89825158-Bildiriler-kitabi-38-yoneylem-arastirmasi-endustri-muhendisligi-ulusal-kongresi-yaem-haziran-2018-eskisehir.html> (Son Erişim Tarihi: 08.02.2023).
- Shannon, R. E. (1992, December). Introduction to simulation. In *Proceedings of the 24th conference on Winter simulation* (pp. 65-73). USA: Virginia.
- Takcı, E. ve Doğan, N. Ö. (2013). *Bir imalat işletmesinde simülasyon yardımıyla süreç iyileştirme uygulaması: Kayseri Gürkar Tekstil örneği*. Yüksek Lisans Tezi, Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Sosyal Bilimleri Enstitüsü, Nevşehir.

- Wang, T., Guinet, A., Belaidi, A., and Besombes, B. (2009). Modelling and simulation of emergency services with ARIS and Arena. Case study: the emergency department of Saint Joseph and Saint Luc Hospital. *Production Planning and Control*, 20(6), 484-495.
- Wu, K., Zhu, X., Zhang, R., & Liu, S. (2019, December). Hospital bed planning in a single department based on Monte Carlo Simulation and queuing theory. In *2019 IEEE international conference on industrial engineering and engineering management (IEEM)* (pp. 644-648). IEEE.
- Zadobrischi, E., Cosovanu, L. M., & Dimian, M. (2020). Traffic flow density model and dynamic traffic congestion model simulation based on practice case with vehicle network and system traffic intelligent communication. *Symmetry*, 12(7), 1172.

Kapalı Mekân Ortamında 1D-CNN Kullanarak Yapılan Doluluk Tespiti Sınıflandırması

Erkan GÜLER^{1*} , Muhammet Talha KAKIZ² , Faruk Baturalp GÜNAY³ , Burcu ŞANAL⁴ ,
Tuğrul ÇAVDAR⁵ 

Öz

Derin Öğrenme modelleri kompleks deneyimlerden bilgi çıkarımına imkân sağlayan spesifik Makine Öğrenmesi yöntemleridir. Kapalı bir mekândaki bazı veri değerlerindeki değişiminin öğrenilmesi ile odada herhangi bir kişinin bulunup bulunmamasının tespit edilmesi bu deneyimlerden biridir. Bu çalışmanın amacı zaman serileri olarak oluşturulmuş ve zaman içinde ışık, sıcaklık, nem ve CO₂ değerlerindeki değişimler ile kapalı bir mekânda doluluk tespiti probleminin Bir Boyutlu Evrişimli Sinir Ağı (1D-CNN) ile gerçekleştirilmesidir. Bir adet eğitim ve iki adet test veri seti kullanılarak model eğitilmiş ve daha önce tecrübe edilmeyen test veri setleri ile modelin başarısı gözlenmiştir. Keras uygulama programlama arayüzünde 1D-CNN modeli ile gerçekleştirilen testlerde doluluk tespiti sınıflandırmasının RF (Random Forest), GBM (Gradient Boosting Machines), CART (Classification and Regression Trees), LDA (Linear Discriminant Analysis) yöntemlerinden daha başarılı sonuçlar verdiği gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Doluluk Tespiti, 1D-CNN, Zaman Serisi, Sınıflandırma, Derin Öğrenme.

Occupancy Detection Classification Using 1D-CNN in Indoor Environment

Abstract

Deep Learning models are specific Machine Learning methods that allow to extract knowledge from complex experiences. Learning the change in some data values in an indoor environment and detecting whether there is any person in the room is one of these experiences. The aim of this study is to realize the problem of determining the occupancy in an indoor space with changes in light, temperature, humidity and CO₂ values over time, using a One-Dimensional Convolutional Network (1D-CNN). The model has been trained using one training and two test datasets, and the success of the model has been observed with test datasets that the model has not been experienced before. In the tests performed with the 1D-CNN model in the Keras application programming interface, it has been observed that the occupancy detection classification has given more successful results than the RF (Random Forest), GBM (Gradient Boosting Machines), CART (Classification and Regression Trees), LDA (Linear Discriminant Analysis) methods.

Keywords: Occupancy Detection, 1D-CNN, Time Series, Classification, Deep Learning.

¹Giresun Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Giresun, Türkiye, erkan.guler@giresun.edu.tr

²Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Osmaniye, Türkiye, mtalhakakiz@osmaniye.edu.tr

³Atatürk Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Erzurum, Türkiye, baturalp@atauni.edu.tr

⁴Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Elektronik ve Otomasyon Bölümü, Rize, Türkiye, burcu.sanal@erdogan.edu.tr

⁵Karadeniz Teknik Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Trabzon, Türkiye, ulduz@ktu.edu.tr

¹<https://orcid.org/0000-0001-7225-0859>

²<https://orcid.org/0000-0003-4928-6559>

³<https://orcid.org/0000-0001-5472-3608>

⁴<https://orcid.org/0000-0002-4541-7622>

⁵<https://orcid.org/0000-0003-3656-9592>

1. Giriş

Sabit kodlanmış sistemlerin aksine ham veriden bazı kalıplar çıkararak kendi bilgilerini edinme yeteneğine sahip olan sistemlerin bu yeteneği Makine Öğrenmesi (Machine Learning, ML) olarak adlandırılır. Derin Öğrenme (Deep Learning, DL) ise bir tür ML olmakla birlikte, hiyerarşik düzeyde basit konseptlerin bir araya gelerek daha derin bir yapıyı oluşturması sonucu bilgisayarların daha kompleks deneyimlerden bilgi çıkarımına imkân sağlar (Goodfellow, 2016).

Farklı ihtiyaçlar için geliştirilmiş birçok DL modeli bulunmaktadır. Tekrarlayan Sinir Ağı (Recursive Neural Network, RvNN) modeli ağaç yapısı şeklinde kelimeleri bölerek doğal dil cümlelerini sınıflandırma konusunda başarılı bir model iken, Yinelemeli Sinir Ağı (Recurrent Neural Network, RNN) konuşma işleme gibi sıralı bilgilerin öğrenilmesi konusunda başarılıdır. Bununla birlikte, Evrişimli Sinir Ağı (Convolutional Neural Network, CNN) bilgisayarla görme ve görüntü tanıma alanlarında başarılı bir model iken Çekişmeli Üretici Ağ (Generative Adversarial Network, GAN) denetimsiz öğrenme ile orijinal veriye benzer yeni örnekler üretebilir (Pouyanfar ve ark., 2018).

Bu çalışmanın amacı zaman serileri ile oluşturulmuş bir veri setindeki örneklerin sınıflandırılmasıdır. (Candanedo ve ark., 2016) tarafından oluşturulan veri setinde bir ofis odasında ışık, sıcaklık, nem, CO₂ değerleri dikkate alınarak yapılan ölçüm zamanında odada herhangi bir kimsenin bulunup bulunmadığı etiketlenmiştir. Belirli zaman aralıklarında bu değerler periyodik olarak ölçülmüştür. Zaman serisi olarak paylaşılan bu veri setinin öğrenilmesi sürecinde doğru modelin kullanılması önem arz etmektedir. Biz bu çalışmada zaman serilerinin sınıflandırılması görevinde oldukça başarılı olan bir boyutlu CNN (1D-CNN) modelini kullandık.

Bu bölümün devamında zaman serisi sınıflandırma problemlerinin karakteristik özellikleri, zaman serisi problemleri için kullanılan DL modelleri, 1D-CNN modelinin mimarisi ve bu problem üzerine yapılmış çalışmalardan kısaca bahsedilecektir.

1.1. Zaman Serileri

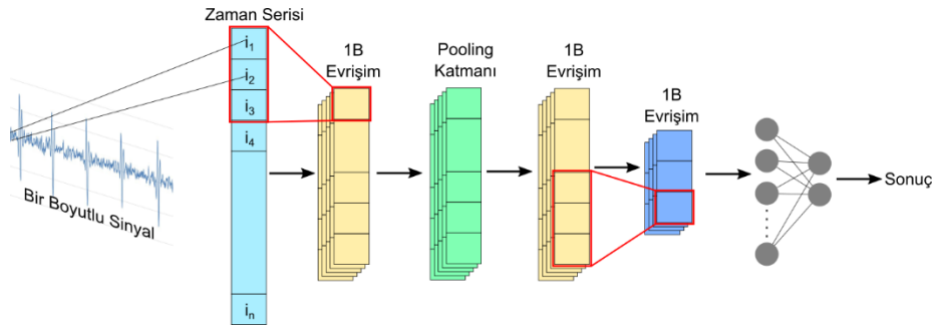
Bir zaman serisi zaman içinde yapılan sıralı ölçümlerden elde edilen değerlerin toplamını ifade eder. Gerçek hayatta zaman serileri genellikle sensörler gibi sürekli fiziksel fenomenleri gözlemleyen cihazlardan elde edilir. Zaman serisi ile ilgili yapılan işlemlere örnek olarak anomali tespiti, kümeleme, sınıflandırma, segmentasyon verilebilir. Günümüzde hayatın birçok alanında zaman serisi analizi ile çözüm getirilen problemler vardır. Örneğin, ekonomik tahminler, izinsiz giriş tespiti, gen ekspresyon analizi, tıbbi gözetim ve hidroloji farklı alanlardaki zaman serisi analizleri ile çözüm getirilen problemlerden bazılarıdır (Esling ve ark., 2012).

ML ve DL modelleri klasik yöntemlere kıyasla zaman serisi tahminlerinde daha başarılı sonuçlar vermiştir. CNN modellerinden 1D-CNN ve RNN modellerinden olan LSTM (Long Short-Term Memory), GRU (Gated Recurrent Unit), AE (Autoencoder) modelleri zaman serileri sınıflandırmaları için kullanılan modellerden bazılarıdır (Mahmoud ve Mohammed, 2020; Lim ve Zohren, 2020).

1.2. Bir Boyutlu Evrişimli Sinir Ağı (1DCNN) Modeli

Geleneksel CNN modeli resim ve video gibi iki boyutlu verinin öğrenilmesi için kullanıldığı için genellikle 2D CNN olarak da bilinir. Bununla birlikte bir boyutlu verilerin evrişimli sinir ağı ile modellenmesi için 1D-CNN modeli geliştirilmiştir. Şekil 1’de 1D-CNN modeline ait mimari gösterilmiştir.

İki model arasındaki fark dikkate alındığında, $N \times N$ boyutlu resim ve $K \times K$ filtreden oluşan bir girdinin işlem karmaşıklığı CNN için $O(N^2K^2)$ iken 1D-CNN için $O(NK)$ olur. Ayrıca, CNN modeli derin olduğu için genellikle 10 milyonun üzerinde parametreye sahip iken 1D-CNN çok daha az parametreye sahiptir. Böylece, eğitim ve uygulaması daha kolaydır. CNN bulut bilişim veya GPU donanımlarına ihtiyaç duyarken 1D-CNN CPU ile eğitilebilir ve uygulanabilir (Kiranyaz ve ark., 2021).



Şekil 1. 1D-CNN Model Mimarisi (Kiranyaz ve ark., 2021)

1D-CNN modeli zaman serileri de dahil olmak üzere bir boyutlu verilerin modellenmesi ve eğitilmesi için tercih edilir. Uygulama alanlarından bazıları otomatik konuşma tanıma, gerçek zamanlı elektrokardiyogram (EKG) izleme, altyapıda titreşim tabanlı yapısal hasar tespiti, sinyal anomali tespiti uygulamalarıdır (Kiranyaz ve ark., 2021).

1D-CNN modeli zaman serisi verilerinin eğitilmesi için kullanılan diğer DL modellerinden daha hızlıdır. Bu modelin hız ve başarı kriterini etkileyen ve kritik olan filtre sayılarının optimum olarak belirlenmesidir (Tang ve ark., 2020).

1.3. İlgili Çalışmalar

Literatürde finanstan tarıma, sağlıktan jeolojiye kadar birçok alanda 1D-CNN modeli ile yapılmış zaman serisi sınıflandırma çalışmaları mevcuttur. Bu çalışmalardan bir kısmı zaman serilerinin sınıflandırılması ile ilgilenirken, zaman serileri ile ilgili anomali tespiti gibi tahminlerin yapıldığı çalışmalar da mevcuttur.

(Kuang, 2020) tarafından yapılan çalışmada bitki yapraklarının basit merkezi kontur mesafe eğrisi zaman serisi olarak değerlendirilmiş ve 1D-CNN modeli ile yaprakların sınıflandırılması gerçekleştirilmiştir. (Rizvi, 2022) tarafından yapılan çalışmada ise elektronik sistemlerin doğru voltaj kararlılığını değerlendirmek için zaman serisi olarak elde edilen sağlam veriye dayalı yük parametresi tahmini 1D-CNN modeli ile gerçekleştirilmiştir. Finans alanında yapılan bir sınıflandırma çalışmasında ise hisse senedi fiyat trendinde tekrar eden sinyaller zaman serisi olarak kullanılmış ve bu tekrar eden grafik şablonları 1D-CNN ağıyla amaca göre sınıflandırılmıştır (Liu ve Si, 2022).

Su kaynaklarının planlanması ve yönetilmesi amacıyla Pakistan'da bulunan Gilgit nehrinin su akış tahmini 1D-CNN ve ELM (Extreme Learning Machine) modelleri ile gerçekleştirilmiştir. Su akış verisi zaman serisi olarak elde edilmiştir (Hussain ve ark., 2020). Jeoloji alanında yapılan bir diğer çalışmada ise zaman serisi olarak kaydedilen rüzgâr hızı ölçüm verisi 1D-CNN ve LSTM modelleri ile eğitilerek geçmişe dönük veri dikkate alınarak gelecekteki rüzgâr hızı tahmin edilmeye çalışılmıştır (Fukuoka ve ark., 2018). Bu modellerin tam bağlı sinir ağı modelinden daha doğru sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Ayrıca, (Barino ve ark., 2020) tarafından 1D-CNN modeli ile Amazon'un en büyük ve en önemli kolu olan Madeira Nehrinin korelasyonlu zaman serisi ile nehrin su akışı tahmini yapılmıştır.

Hata ve anomali tespiti ile ilgili de literatürde yapılmış çalışmalar mevcuttur. (Junior ve ark., 2022) bir elektrik motoruna ait iki farklı ivme ölçerden gelen titreşim sinyalini zaman serisi olarak kaydetmiş ve 1D-CNN modelini 7 farklı hata için eğitmiştir. Ayrıca, gaz türbinlerinde meydana gelecek ani hatanın tespiti için (Zhao ve Li, 2020) gaz türbinlerinden gelen zaman serisi verisini 1D-CNN ile eğitmiş ve hatalar tespit edilmiştir. Bilgisayar ağlarında anormal olan trafiği tespit için (Azizjon ve ark., 2020) anormal ağ verisi ile 1D-CNN modelini eğitmiştir.

(Wu ve Wang, 2021) çalışmasında hareket halinde ve sabit bulunan kişilerin odada bulunma durumları ve sıklığının tespiti PIR sensörü ile yapılmış ve oturma, yatma gibi günlük hareketler incelenmiştir. (Parzinger ve ark., 2022) tarafından yapılan oda içi doluluk tespiti çalışmasında gerçek ve yapay kullanıcı ile bir dizi test yapılarak, gerçek ve simüle edilmiş veri üzerinde çalışılmıştır. (Candanedo ve Feldheim, 2016) ve (Singaravel ve ark., 2021) çalışmalarında ise daha çok ortamda bulunan CO₂ seviyesi ve ışık, sıcaklık, nem verileri dikkate alınmıştır. Bununla birlikte, (Billah ve ark., 2021) ise RF (radio frequency)'ye bağlı doluluk dedektörü kullanmıştır.

2. Materyal ve Metot

Bu bölümde bir odada ölçülen bazı değerlerin kaydedilerek oluşturulduğu veri setinin özelliklerinden, veri setinin ön işleme sürecinden ve önerilen modelin mimarisinden bahsedilecektir. Doluluk tespiti (Occupancy Detection (OD)) probleminin çözümünde kullanılan 1D-CNN modelinin katman sayıları, filtre sayıları ve modele ait diğer parametrelerin değerleri bu bölümde anlatılacaktır. Bu çalışmanın aşamaları Şekil 2’de gösterilmiştir.



Şekil 2. Çalışmanın Aşamaları

2.1. Doluluk Tespiti Veri Seti

(Candanedo ve Feldheim, 2016) tarafından oluşturulan ve paylaşılan veri setinde bir odanın içerisinde ölçülen altı özellik paylaşılmaktadır. Bu özellikler tarih, sıcaklık, bağıl nem, ışık, ppm cinsinden CO₂ miktarı ve nem oranıdır. Bir adet eğitim seti ve iki adet test seti olmak üzere toplamda üç veri seti olarak paylaşılmıştır.

Bahsi geçen altı özellik her dakikada bir ölçülmekte ve bu değerler kaydedilmektedir. Her ölçümün sonunda ise kamera çekimi odada herhangi bir kimsenin olup olmadığı tespiti yapılarak 1 (odada kişi var) veya 0 (odada kimse yok) olarak her örnek için etiketlenmektedir. Eğitim setine ait üç kayıttan oluşan bir örnek Tablo 1’de gösterilmiştir.

Tablo 1. Doluluk Tespiti Veri Seti Örneği

Tarih	Sıcaklık	Nem	Işık	Karbondioksit	Nem Oranı	Doluluk
2/4/2015 17:51	23.180	27.272	426.0	721.25	0.0047929881	1
2/4/2015 18:08	22.945	27.290	0.0	685.00	0.0047279513	0
2/7/2015 00:03	20.000	18.700	0.0	434.00	0.0026962878	0

2.2. OD Veri Seti Ön İşleme

OD veri seti bir dakikalık zaman aralıklarında ölçülen değerlerden oluşur. Bu haliyle zaman serisi olarak isimlendirilmiş olsa da tam bir zaman serisine benzememektedir. Bundan dolayı, öncelikle kronolojik zaman dikkate alınarak etikete göre kayıtlar ayrılmış ve her 32 kayıttan oluşan seri bir örneklem olarak dikkate alınmıştır. Böylece, 32 satırlık ölçümlerden oluşan zaman serileri

hem 0 etiketine sahip kayıtlar için hem de 1 etiketine sahip kayıtlar için oluşturulmuştur. Ayrıca, yapılan bu işlem hem eğitim seti için hem de paylaşılan iki adet test seti için de gerçekleştirilmiştir.

Tablo 2. Ön İşleme Sonundaki Doluluk Tespiti Veri Seti Örneği

Zaman Damgası (NS)	Sıcaklık (T)	Nem (ϕ)	Işık (Light)	Karbondioksit (CO ₂)	Nem Oranı (W)	Hafta İçi / Hafta Sonu (WS)	Doluluk
0.0	1.0	0.4676576576	0.6481551920	0.1889164855	0.5592566358	1	1
0.0019749240	0.9493827160	0.4695417182	0.0	0.1666407585	0.5433896308	1	0
0.3959723251	0.2439024390	0.0815315315	0.0	0.0096603303	0.0014448939	0	0

Veri setinde değerleri girilen altı özelliğin her biri 0 ve 1 aralığında normalize edilmiştir. Bu işlem için sklearn modülünün MinMaxScaler fonksiyonu kullanılmıştır. Altı özelliğin sonuca olan etkisini de görmek açısından her özelliğin farklı kombinasyonları ile model eğitilmiş ve her farklı senaryo için sonuçlar alınmıştır. Veri setinin ön işlem sürecinin sonucunda elde edilen yeni veriler Tablo 2’de gösterilmiştir. Tablo 2’de gösterilen üç satırlık veri Tablo 1’de gösterilen orijinal verilere karşılık gelen yeni verilerdir.

2.3. OD Veri Seti için Kullanılan 1D-CNN Modeli

1D-CNN modeline ait detaylar Tablo 3’te gösterilmiştir. OD veri setinin eğitiminde ve test veri setinin değerlendirilmesinde Python programlama dili ile yazılmış Keras DL Uygulama Programlama Arayüzü (Application Programming Interface, API) kullanılmıştır. 1D-CNN modeli oluşturulurken Keras sıralı (Sequential) modeli kullanılmıştır. Sıralı modelin amacı Keras katmanlarının sıralı bir düzen ile oluşturulmasıdır. Sıralı model yapılandırıcısına add() metodunu kullanarak Keras katmanlarını bir liste şeklinde ileterek bir sıralı model oluşturabiliriz.

Tablo 3. 1D-CNN Model Detayları

Model Parametresi	Değer/Açıklama
API	Keras
Katman Yığılı Modeli	Sequential
Katmanlar	Conv1D, MaxPooling1D, Flatten, Dense
Aktivasyon Fonksiyonları	ReLU, SoftMax
pool_size	2
Kayıp Fonksiyonu	Binary Cross Entropy
Optimizasyon Aracı	Adam

1D-CNN modelinin ilk katmanı zaman serisi olarak düzenlenen girdi verisidir. İkinci katmanı ise Conv1D katmanıdır. Bu katman, bir çıktı tensörü üretmek için tek bir uzaysal (veya zamansal) boyut üzerinden katman girişiyle evrişen bir evrişim çekirdeği (convolution kernel) oluşturur. Bu

katmandaki filtre sayısı bölüm 2.2’de anlatılan farklı özellik kombinasyonlarına bağlı olmak üzere 64 veya 256 olarak belirlenmiştir. Filtrelere ait çekirdek boyutu ise yine özellik kombinasyonlarına bağlı olmak üzere 3×3 veya 16×16 olarak belirlenmiştir. Bu katmana ait aktivasyon fonksiyonu olan Relu (Rectified Linear Units) fonksiyonuna ait eşitlik aşağıda verilmiştir.

$$f(x) = \max(0, x) \quad (1)$$

Oluşturulan modelin üçüncü katmanı ise bir havuzlama katmanı (Pooling Layer) MaxPooling1D katmanıdır. Bu katmanın amacı, pool_size parametresi boyutundaki bir uzamsal pencere üzerinden maksimum değeri alarak girdi temsilini alt örneklemeaktır. Böylece, pencere adım adım kaydırılır. pool_size parametresinin değeri iki olarak belirlenmiştir. “Valid” dolgu seçeneği kullanıldığında çıktı aşağıdaki gibi olur.

$$output_shape = (input_shape - pool_size + 1) / strides \quad (2)$$

Bir sonraki katman olan Flatten katmanına girdi olarak gelen veri düzleştirilir ve tek boyutlu bir dizi haline çevrilir. Bu katmandan sonra ise iki adet Dense katmanı bulunur. Bu katmanlarda bir önceki katmanın çıktıları Dense katmanına girdi olarak gelir ve her çıktı Dense katmanındaki bir düğüm ile bağlantı kurar. Böylece bir önceki katmanın bütün düğümleri (veya çıktıları) ile yeni katmanın bütün düğümleri bağlantılı duruma gelir. Birinci Dense katmanının aktivasyon fonksiyonu Denklem (1)’de gösterildiği gibi Relu fonksiyonudur. İkinci Dense katmanının aktivasyon fonksiyonu ise aşağıda Denklem (3)’de gösterilen Softmax fonksiyonudur.

$$f(x_i) = \frac{\exp(x_i)}{\sum_{j=1}^n \exp(y_j)} \quad (3)$$

Oluşturulan modelin kayıp fonksiyonu (loss function) ise Binary Cross Entropy olarak belirlenmiştir. Bu fonksiyonun denklemi aşağıdaki gibidir. y_i ve $p(y_i)$ parametreleri sırasıyla sınıfların etiket değerini ve bu sınıfların olasılık tahminlerini ifade etmektedir. Optimizasyon aracı olarak ise “adam” optimize edici aracı kullanılmıştır.

$$Loss = -\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i \log(p(y_i)) + (1 - y_i) \log(1 - p(y_i)) \quad (4)$$

Her bir özellik kombinasyonu için model on defa eğitilmiş ve test verisi ile sonuçlar alınmıştır. Her bir modelin on defa çalıştırılması sonucunda bir ortalama ve standart sapma hesabı yapılması amaçlanmıştır.

3. Bulgular ve Tartışma

Bu bölümde 1D-CNN modelinin eğitilmesi sonucunda hem eğitim hem de Test 1 ve Test 2 veri setlerinin sonuçları paylaşılacak ve değerlendirilecektir. Elde edilen sonuçlar RF (Random Forest), GBM (Gradient Boosting Machines), CART (Classification and Regression Trees), LDA (Linear Discriminant Analysis) yöntemleri ile karşılaştırılmıştır.

Tablo 4. Diğer Modellerin ve 1D-CNN Modelinin Sonuçları

	Parametreler	Filtre Sayısı Çekirdek Boyutu	Model	Eğitim	Test 1	Test 2
0	T, ϕ , Light, CO ₂ , W, NS, WS	64 3x3	RF	100,00	95,53	98,06
			GBM	100,00	95,76	96,10
			CART	99,39	94,52	96,52
			LDA	98,85	97,90	99,33
			1D-CNN	99,61	100,00	100,00
1	T, ϕ , Light, CO ₂ , W	64 3x3	RF	100,00	95,05	97,16
			GBM	99,98	93,06	95,14
			CART	99,30	95,57	96,47
			LDA	98,78	97,90	98,76
			1D-CNN	99,61	100,00	100,00
2	T, ϕ , CO ₂ , W, NS, WS	64 3x3	RF	100,00	94,63	64,86
			GBM	100,00	91,86	51,14
			CART	96,55	94,71	69,76
			LDA	93,12	84,88	72,32
			1D-CNN	100,00	96,34	77,30
3	T, ϕ , CO ₂ , W	64 3x3	RF	99,98	68,63	32,68
			GBM	99,56	69,53	38,81
			CART	93,05	84,65	78,96
			LDA	91,91	85,33	73,77
			1D-CNN	100,00	97,56	75,00
4	T, ϕ , Light, W, NS, WS	64 3x3	RF	100,00	95,65	97,21
			GBM	100,00	95,98	97,51
			CART	99,28	96,25	99,00
			LDA	98,77	97,90	98,96
			1D-CNN	99,61	100,00	100,00
5	T, ϕ , Light, W	64 3x3	RF	99,95	94,00	96,73
			GBM	99,96	92,42	95,27
			CART	99,23	93,70	96,29
			LDA	98,55	97,90	98,24
			1D-CNN	99,61	100,00	100,00
6	T, ϕ , W, NS, WS	256 16x16	RF	100,00	94,86	91,66
			GBM	99,98	95,50	92,49
			CART	88,97	90,81	89,36
			LDA	85,78	85,93	86,70
			1D-CNN	92,52	85,37	90,13
7	T, ϕ , W	64 3x3	RF	99,36	75,68	62,59
			GBM	97,85	76,10	63,75
			CART	88,28	84,02	86,30
			LDA	85,46	85,44	85,36
			1D-CNN	99,21	89,02	87,17
8	T, Light, NS, WS	64 3x3	RF	100,00	95,50	97,28
			GBM	99,88	96,36	98,81
			CART	99,28	96,25	99,00

			LDA	98,75	97,90	99,31
			ID-CNN	99,61	100,00	100,00
9	T, Light	64 3x3	RF	99,86	93,10	95,93
			GBM	99,45	95,50	98,33
			CART	99,08	85,10	95,43
			LDA	96,56	97,90	98,62
			ID-CNN	99,61	95,12	99,67
10	ϕ , Light, NS, WS	64 3x3	RF	100,00	96,92	98,31
			GBM	99,99	96,59	98,63
			CART	98,86	97,86	99,31
			LDA	98,12	97,86	97,86
			ID-CNN	99,61	100,00	100,00
11	ϕ , Light	64 3x3	RF	99,96	92,35	94,36
			GBM	99,75	94,52	98,71
			CART	98,86	97,86	99,31
			LDA	96,78	97,86	97,79
			ID-CNN	99,61	100,00	100,00
12	Light, CO ₂ , NS, WS	64 3x3	RF	100,00	96,06	97,42
			GBM	100,00	96,06	98,57
			CART	98,89	97,82	99,31
			LDA	98,33	97,86	98,05
			ID-CNN	99,61	100,00	100,00
13	Light, CO ₂	64 3x3	RF	99,95	92,61	97,41
			GBM	99,26	93,70	98,34
			CART	98,89	97,82	99,31
			LDA	97,53	97,86	97,86
			ID-CNN	99,61	98,78	99,34
14	CO ₂ , T, NS, WS	64 3x3	RF	100,00	95,65	57,85
			GBM	99,98	96,14	77,71
			CART	96,55	94,71	69,76
			LDA	91,01	88,37	80,42
			ID-CNN	100,00	96,34	83,22
15	CO ₂ , T	64 3x3	RF	99,88	75,31	36,93
			GBM	97,76	72,98	46,46
			CART	93,05	84,65	78,96
			LDA	90,26	87,62	80,40
			ID-CNN	99,61	92,68	84,54
16	Light, W, NS, WS	64 3x3	RF	100,00	96,47	98,58
			GBM	99,99	96,74	99,03
			CART	99,37	96,89	98,89
			LDA	97,79	97,86	97,55
			ID-CNN	99,61	100,00	100,00
17	Light, W	64 3x3	RF	99,98	95,76	97,68
			GBM	99,52	96,10	98,98
			CART	98,94	96,66	98,90
			LDA	96,81	97,86	97,39
			ID-CNN	99,61	100,00	100,00
18	T, ϕ , NS, WS	256 16x16	RF	100,00	94,67	91,91
			GBM	99,95	95,61	92,85
			CART	88,97	90,81	89,36
			LDA	85,45	85,93	88,50
			ID-CNN	92,91	85,37	91,12
19	T, ϕ	64 3x3	RF	99,36	75,65	67,30
			GBM	97,85	77,49	65,34
			CART	88,24	84,02	86,30
			LDA	83,67	85,67	84,70
			ID-CNN	98,03	85,37	83,22
20	T, NS, WS	256 16x16	RF	99,88	95,08	92,52
			GBM	99,75	95,91	92,57
			CART	88,97	90,81	89,36

21	T	256 16x16	LDA	86,09	86,23	87,18
			1D-CNN	93,31	85,37	90,13
			RF	87,87	70,73	85,33
			GBM	87,44	64,69	85,63
			CART	85,88	66,53	86,51
			LDA	83,38	85,33	83,64
22	Light, NS, WS	64 3x3	1D-CNN	88,98	85,37	80,92
			RF	99,98	97,00	97,81
			GBM	99,74	95,95	98,47
			CART	98,93	97,22	99,26
			LDA	97,53	97,86	97,84
			1D-CNN	99,61	100,00	100,00
23	Light	64 3x3	RF	99,20	95,68	97,91
			GBM	98,77	97,86	99,32
			CART	98,78	97,86	99,31
			LDA	96,38	97,86	97,70
			1D-CNN	99,21	100,00	100,00
			RF	100,00	96,36	65,20
24	CO ₂ , NS, WS	64 3x3	GBM	99,99	96,21	74,51
			CART	96,55	94,71	69,76
			LDA	88,90	87,02	78,36
			1D-CNN	99,61	93,90	80,59
			RF	97,53	78,76	64,21
			GBM	92,15	87,13	74,62
25	CO ₂	64 3x3	CART	92,18	87,13	74,62
			LDA	88,38	86,19	79,93
			1D-CNN	98,82	93,90	72,70

Tabloda kısaltmaları verilen T, ϕ , W, NS, WS terimleri sırasıyla sıcaklık (temperature), nem (humidity), nem oranı (humidity ratio), saniye sayısı (number of seconds), hafta durumu (week status) değerleridir. Çalışmanın sonuçları ve karşılaştırmalar farklı özellik kombinasyonlarına göre gerçekleştirilmiştir. (Candanedo ve Feltheim, 2016) çalışması tarafından gösterilen özellikler arasındaki korelasyon grafiği dikkate alındığında sonuçların büyük çoğunluğunda özellikler arasındaki korelasyonun yüksek olduğu özellik kombinasyonlarında 1D-CNN modeli diğer modellerin sonuçlarından daha başarılıdır. Tablo 4'te verilen sonuçlar incelendiğinde 1D-CNN modeli ile eğitim sonucunda elde edilen eğitim ve test veri setlerinin başarı yüzdeleri neredeyse bütün özellik kombinasyonları için daha yüksektir.

Tablo 4'te gösterilen bazı kombinasyonlarının eğitim sütunundaki sonuç değerleri diğer modellerde daha yüksek çıkmış olsa da daha önce modelin tecrübe etmediği test veri setlerinde 1D-CNN modeli daha başarılı sonuçlar vermiştir. Tablodan da görüleceği üzere sonuçların büyük çoğunluğunda bu çalışmada uygulanan 1D-CNN modelinin test veri setleri için de doğruluk performansı diğer modellere kıyasla çok daha başarılıdır.

4. Sonuçlar ve neriler

Zaman serisi olarak paylaşılan OD veri seti birçok farklı model ile sınıflandırma yapılmıştır. Bu çalışmada zaman serilerinin sınıflandırılması konusunda başarılı olan 1D-CNN modeli ile sınıflandırma işlemi yapılmıştır. Yapılan testlerin sonucunda literatürde bu problem için denenen birçok yöntemden daha başarılı sınıflandırma yapıldığı görülmüştür. Özellikler arasındaki korelasyon fazla olduğu takdirde birçok kombinasyonda 1D-CNN modelinin daha başarılı olduğu gözlemlenmiştir.

İlerideki çalışmalarda kapalı bir ortamda yapılan ölçümlerin çeşitliliği artırılabilir. Örneğin, zaman içinde ortamdaki ısı miktarındaki değişim veya ısının bölgesel olarak hareketi bir özellik olarak eklenebilir. Ayrıca, hareket algılayıcı cihazlar ile elde edilen anlık veriler de zaman serisi olarak eklenebilir ve tahminler yapılabilir. Bunun için bir dakikalık ölçümler sonucunda oluşturulan OD veri seti için daha kısa zaman dilimlerinde örneklemeler alınmalıdır.

Yazarların Katkısı

Tüm yazarlar çalışmaya eşit katkıda bulunmuştur.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar

- Azizjon, M., Jumabek, A., & Kim, W. (2020, February). 1D CNN based network intrusion detection with normalization on imbalanced data. In *2020 International Conference on Artificial Intelligence in Information and Communication (ICAIIIC)* (pp. 218-224). IEEE.
- Barino, F. O., Silva, V. N., López-Barbero, A. P., Honorio, L. D. M., & Dos Santos, A. B. (2020). Correlated time-series in multi-day-ahead streamflow forecasting using convolutional networks. *IEEE Access*, 8, 215748-215757.
- Billah, M. F. R. M., Saoda, N., Gao, J., & Campbell, B. (2021, May). BLE can see: a reinforcement learning approach for RF-based indoor occupancy detection. In *Proceedings of the 20th International Conference on Information Processing in Sensor Networks (co-located with CPS-IoT Week 2021)* (pp. 132-147).

- Candanedo, L. M., & Feldheim, V. (2016). Accurate occupancy detection of an office room from light, temperature, humidity and CO2 measurements using statistical learning models. *Energy and Buildings*, 112, 28-39.
- Esling, P., & Agon, C. (2012). Time-series data mining. *ACM Computing Surveys (CSUR)*, 45(1), 1-34.
- Fukuoka, R., Suzuki, H., Kitajima, T., Kuwahara, A., & Yasuno, T. (2018). Wind speed prediction model using LSTM and 1D-CNN. *Journal of Signal Processing*, 22(4), 207-210.
- Goodfellow, I., Bengio, Y., & Courville, A. (2016). *Deep learning*. MIT press.
- Hussain, D., Hussain, T., Khan, A. A., Naqvi, S. A. A., & Jamil, A. (2020). A deep learning approach for hydrological time-series prediction: A case study of Gilgit river basin. *Earth Science Informatics*, 13(3), 915-927.
- Junior, R. F. R., dos Santos Areias, I. A., Campos, M. M., Teixeira, C. E., da Silva, L. E. B., & Gomes, G. F. (2022). Fault detection and diagnosis in electric motors using 1d convolutional neural networks with multi-channel vibration signals. *Measurement*, 190, 110759.
- Kiranyaz, S., Avci, O., Abdeljaber, O., Ince, T., Gabbouj, M., & Inman, D. J. (2021). 1D convolutional neural networks and applications: A survey. *Mechanical systems and signal processing*, 151, 107398.
- Kuang, D. (2019). A 1d convolutional network for leaf and time series classification. *arXiv preprint arXiv:1907.00069*.
- Lim, B., & Zohren, S. (2021). Time-series forecasting with deep learning: a survey. *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, 379(2194), 20200209.
- Liu, L., & Si, Y. W. (2022). 1D convolutional neural networks for chart pattern classification in financial time series. *The Journal of Supercomputing*, 1-24.
- Mahmoud, A., & Mohammed, A. (2021). A survey on deep learning for time-series forecasting. In *Machine Learning and Big Data Analytics Paradigms: Analysis, Applications and Challenges* (pp. 365-392). Springer, Cham.
- Occupancy Detection Data Set*. (2016, February 29). <https://archive.ics.uci.edu/ml/datasets/Occupancy+Detection+>
- Parzinger, M., Hanfstaengel, L., Sigg, F., Spindler, U., Wellisch, U., & Wirnsberger, M. (2022). Comparison of different training data sets from simulation and experimental measurement with artificial users for occupancy detection-Using machine learning methods Random Forest and LASSO. *Building and Environment*, 109313.
- Pouyanfar, S., Sadiq, S., Yan, Y., Tian, H., Tao, Y., Reyes, M. P., ... & Iyengar, S. S. (2018). A survey on deep learning: Algorithms, techniques, and applications. *ACM Computing Surveys (CSUR)*, 51(5), 1-36.
- Rizvi, S. M. H. (2022). Time series deep learning for robust steady-state load parameter estimation using 1D-CNN. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 47(3), 2731-2744.
- Singaravel, S., Delrue, S., Pollet, I., & Vandekerckhove, S. (2022). Machine Learning for Occupancy Detection through Smart Home Sensor Data. In *ASHRAE Topical Conference Proceedings* (pp. 1-8). American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers, Inc..
- Tang, W., Long, G., Liu, L., Zhou, T., Jiang, J., & Blumenstein, M. (2020). Rethinking 1d-cnn for time series classification: A stronger baseline. *arXiv preprint arXiv:2002.10061*.
- Wu, L., & Wang, Y. (2021). Stationary and moving occupancy detection using the SLEEPiR sensor module and machine learning. *IEEE Sensors Journal*, 21(13), 14701-14708.
- Zhao, J., & Li, Y. G. (2020). Abrupt Fault Detection and Isolation for Gas Turbine Components Based on a 1D Convolutional Neural Network Using Time Series Data. In *AIAA Propulsion and Energy 2020 Forum* (p. 3675).

A Deep Learning-Based System to Assist Radiologists in Detecting COVID-19 Disease from Chest Computed Tomography Images

Oğuzhan KATAR^{1*} , Erkan DUMAN² 

Abstract

The COVID-19 pandemic has had a significant negative impact on the world in various ways. In an effort to mitigate the negative effects of the pandemic, this study proposes a deep learning approach for the automatic detection of COVID-19 from chest computed tomography (CT) images. This would enable healthcare professionals to more efficiently identify the presence of the virus and provide appropriate care and support to infected individuals. The proposed deep learning approach is based on binary classification and utilizes members of the pre-trained EfficientNet model family. These models were trained on a dataset of real patient images, called the EFSCHE-19 dataset, to classify chest CT images as positive or negative for COVID-19. The results of the predictions made on the test images showed that all models achieved accuracy values of over 98%. Among these models, the EfficientNet-B2 model performed the best, with an accuracy of 99.75%, sensitivity of 99.50%, specificity of 100%, and an F1 score of 99.75%. In addition to the high accuracy achieved in the classification of chest CT images using the proposed pre-trained deep learning models, the gradient-weighted class activation mapping (Grad-CAM) method was also applied to further understand and interpret the model's predictions.

Keywords: COVID-19, Computed Tomography, EfficientNet, Classification, Grad-CAM.

Göğüs Bilgisayarlı Tomografi Görüntülerinden COVID-19 Hastalığını Tespit Etmede Radyologlara Yardımcı Derin Öğrenme Tabanlı Bir Sistem

Öz

COVID-19 pandemisinin dünya üzerinde çeşitli şekillerde önemli bir olumsuz etkisi oldu. Pandeminin olumsuz etkilerini azaltmak amacıyla bu çalışma, göğüs bilgisayarlı tomografi (BT) görüntülerinden COVID-19'un otomatik tespiti için bir derin öğrenme yaklaşımı önermektedir. Bu, sağlık uzmanlarının virüsün varlığını daha verimli bir şekilde tanımlamasını ve enfekte bireylere uygun bakım ve destek sağlamasını sağlayacaktır. Önerilen derin öğrenme yaklaşımı ikili sınıflandırmaya dayanmaktadır ve önceden eğitilmiş EfficientNet model ailesinin üyelerini kullanmaktadır. Bu modeller, göğüs BT görüntülerini COVID-19 için pozitif veya negatif olarak sınıflandırmak için EFSCHE-19 veri seti adı verilen gerçek hasta görüntülerinden oluşan bir veri seti üzerinde eğitildi. Test görüntülerinde yapılan tahminlerin sonuçları, tüm modellerin %98'in üzerinde doğruluk değerlerine ulaştığını gösterdi. Bu modeller arasında EfficientNet-B2 modeli %99,75 doğruluk, %99,50 duyarlılık, %100 özgüllük ve %99,75 F1 skoru ile en iyi performansı gösterdi. Önerilen önceden eğitilmiş derin öğrenme modelleri kullanılarak göğüs BT görüntülerinin sınıflandırılmasında elde edilen yüksek doğruluğa ek olarak, modelin tahminlerini daha iyi anlamak ve yorumlamak için gradyan ağırlıklı sınıf aktivasyon eşleşme (Grad-CAM) yöntemi de uygulandı.

Anahtar Kelimeler: COVID-19, Bilgisayarlı Tomografi, EfficientNet, Sınıflandırma, Grad-CAM.

¹Firat University, Department of Software Engineering, Elazığ, Turkey, okatar@firat.edu.tr

²Firat University, Department of Computer Engineering, Elazığ, Turkey, erkanduman@firat.edu.tr

¹<https://orcid.org/0000-0002-5628-3543> ²<https://orcid.org/0000-0003-2439-7244>

1. Introduction

Throughout history, our world has encountered various pandemics, including the black death, cholera, and Spanish flu. Currently, the global community is grappling with the COVID-19 pandemic, which originated in Wuhan, Hubei province of China (Tekin, 2021). On December 31, 2019, the World Health Organization (WHO) was informed of a cluster of pneumonia cases of unknown cause. Samples were collected from the affected patients and, upon analyzing the genome sequences of these samples, the WHO announced on January 12, 2020 that a novel coronavirus, subsequently named SARS-CoV-2, was responsible for the outbreak and the associated disease, COVID-19 (Issever et al., 2020). SARS-CoV-2 is believed to have initially transmitted from animals to humans due to its zoonotic characteristics (Ahmad et al., 2020). The virus rapidly spread globally following its emergence in Wuhan, leading to the declaration of a pandemic on March 11, 2020 (Hua and Shaw, 2020). As of July 2022, over 580 million people have been infected worldwide, with more than 6 million deaths attributed to COVID-19 (URL-1). The most prominent symptoms of COVID-19 include fever, dry cough, respiratory issues, severe sore throat, and diarrhea. Other commonly reported symptoms include loss of taste and smell, joint pain, and nasal congestion. In severe cases, which comprise 2%-3% of all COVID-19 cases, multiorgan dysfunction can lead to death (Madabhavi et al., 2020). Although vaccines have proven to be beneficial, they are not a definitive solution to preventing COVID-19. There have been instances of vaccinated individuals contracting the disease (Wadman, 2021). Therefore, measures such as creating isolation between healthy and infected individuals through raising awareness and promoting the use of masks are important in the efforts to curb virus transmission. Currently, COVID-19 detection and differentiation between healthy and infected individuals rely on molecular detection methods and radiological imaging techniques (Giri et al., 2021)

Molecular detection methods, such as real-time reverse transcription polymerase chain reaction (RT-PCR), are used to identify the virus. RT-PCR, which is also utilized in the detection of the Middle East Respiratory Syndrome Coronavirus (MERS-CoV), detects the presence of the virus and identifies it by analyzing the ribonucleic acid (RNA) component of the virus (Corman et al., 2020). To perform the test, a cotton swab is used to collect throat and nasal samples from the individual. The duration of time required to obtain results from RT-PCR tests can range from one hour to several days, depending on the specific PCR version. The reliability of the RT-PCR test result is dependent on various factors, including the sample collection method, the types of primers and probes used, the inclusion of appropriate controls, and the temperature value (Wu et al., 2020). However, the RT-PCR test may be less efficient and reliable due to limitations such as variations in viral load rates used by different kit manufacturers, shortages in kit supply, and the number of skilled health professionals

who will use the kit (Zali, 2021). Therefore, it may be useful to utilize alternative methods in the early stages of the disease in addition to or instead of the RT-PCR test.

To address the limitations of the RT-PCR test, it is advisable to examine radiological images prior to the test (Kommos et al., 2020). The lungs are often significantly affected in COVID-19 and SARS-CoV-2 infection can cause severe, potentially permanent damage to lung tissue (Ghaderzadeh et al., 2021). Therefore, lung tissue is often used to detect or monitor COVID-19 disease. Chest radiography or chest computed tomography (CT) scanning are commonly employed methods for radiologically diagnosing COVID-19 (Ng et al., 2020). Lung imaging is often the initial approach recommended by medical and healthcare protocols due to its expediency and simplicity (Fields et al., 2021). CT devices, which have detailed anatomical resolution, have been frequently used since the onset of the pandemic to monitor the effects of COVID-19 (Gundel et al., 2021). Radiologists examine chest CT scans obtained using these devices and create a report with recommendations for the patient's diagnosis. This report creation process is crucial and is therefore carried out with great care. During the current pandemic, radiologists are faced with the task of interpreting an excessive number of radiological images for COVID-19 diagnosis, which exceeds the standard limits (Chartrand et al., 2017). As a result, the time required to interpret the patient's report and initiate appropriate treatment increases significantly. In addition, the reporting process becomes prone to errors due to human factors such as fatigue from extended work hours. Computers with high processing capacity and the ability to be unaffected by human factors can assist radiologists in this process (Arsalan et al., 2020).

Artificial intelligence (AI)-based systems have been widely utilized in the detection of various diseases and for monitoring treatment progress (Owais et al., 2019). Currently, research involving the use and development of deep learning models for the classification of medical images based on disease is common (Mainak et al., 2019). AI-based systems assist physicians in tasks that can greatly impact human life, such as the detection of stroke, the classification of patients with kidney stone issues, and the identification of cancer cells (Chin et al., 2017; Yildirim et al., 2021; Khan et al., 2019). During the COVID-19 pandemic, numerous AI-based COVID-19 detection studies have been proposed in order to minimize social and economic damage and support physicians, similar to other studies. The main aim of classification studies is to determine, based on available data, whether there are positive cases of COVID-19 disease.

Bogu and Snyder (2021) collected heart rate data from real individuals using a smartwatch device, with durations ranging from 15 seconds to 1 minute. They divided this data into two classes based on COVID-19 disease status: infected and non-infected. Using deep learning methods, they classified individuals with COVID-19 disease based on their heart rate with 92% accuracy.

Pahar et al. (2021) classified cough recordings of individuals with positive and negative COVID-19 diagnoses, collected using smartphones. The dataset used in their study included both natural and forced cough samples. The researchers found that cough recordings with a positive diagnosis of COVID-19 were 15-20% shorter than other recordings. When input into seven different machine learning classifiers, the cough recordings achieved the highest success rate, with 95.33% accuracy, when classified using the ResNet-50 classifier. In addition to wearable sensors and smartphone technology, radiological images are frequently used in studies related to the detection of COVID-19 disease.

Wang et al. (2020) proposed a model called COVID-Net, a deep convolutional neural network (CNN) specifically designed for the detection of COVID-19 cases from chest radiographs. The model was trained using 13,975 samples collected from publicly available datasets, which were subjected to pre-processing steps such as cropping, rotating, and zooming. COVID-Net was trained for 22 epochs using ImageNet weights and Adam optimization with a batch size of 64. In the testing stages, COVID-Net was compared to the VGG-19 and ResNet-50 models, which were trained with the same dataset, and was found to be the best performing model with an accuracy rate of 93.3%.

Luz et al. (2022) classified X-ray images containing COVID-19 findings using models in the EfficientNet family. The models were trained using publicly available datasets collected from various sources and using cross-dataset evaluation methods. The dataset, which includes samples from three classes: COVID-19 positive, pneumonia, and normal, consists of samples with different resolution values. Among the models trained for 20 epochs, the EfficientNet-B3 model was the best performing model with an accuracy rate of 93.9%.

Song et al. (2021) developed a system that can assist clinicians in detecting COVID-19-infected patients from CT images. Their model, called DRE-Net, was trained on CT images from two hospitals in China. When the model's performance was evaluated using performance metrics after training, the researchers reported that DRE-Net achieved 86% accuracy. The gradient-weighted class activation mapping (Grad-CAM) method was used to show which areas of the image the model focuses on when classifying.

Bozkurt (2022), presents a framework called HANDEFU for the automatic early diagnosis of COVID-19 using chest x-ray images. HANDEFU is an interactive software that allows the user to select from a library of feature extraction techniques and classification methods to build their own model for diagnosis. The authors evaluated the performance of 27 different models using HANDEFU on an open-access dataset for COVID-19 diagnosis. The model with the highest performance, local binary pattern (LBP)+support vector machine (SVM), achieved an accuracy of 99.36%. This study is noteworthy for its development of a single framework that incorporates image preprocessing and diverse feature extraction and classification techniques.

Marques et al. (2020) developed a CNN using the EfficientNet architecture for the purpose of COVID-19 diagnosis. The CNN was evaluated using a stratified 10-fold cross-validation approach with images of COVID-19 patients, pneumonia patients, and healthy individuals. The results of binary classification (COVID-19 versus normal) showed an average accuracy of 99.62%, recall of 99.63%, precision of 99.64%, and F1 score of 99.62%. The results of multi-class classification (COVID-19, pneumonia, and normal) showed an average accuracy of 96.70%, recall of 96.69%, precision of 97.54%, and F1 score of 97.11%. The authors suggest that this CNN model could serve as a medical decision support system to assist healthcare professionals in COVID-19 diagnosis.

Wang et al. (2021) presented a method for detecting COVID-19 disease from chest CT images using a deep learning algorithm. Chest CT images from three different hospitals were labeled as 325 positives for COVID-19 and 740 negatives for COVID-19 by two radiologists, resulting in a dataset of 1065 total samples, which were sized at 299×299px. After the learning rate was set at 0.01, the M-inception model was trained for 15,000 epochs. Upon completing performance evaluation, the researchers reported that the model achieved 89.5% accuracy.

These classification studies aim to interpret relevant radiological images quickly and reliably, regardless of human factors. In literature studies, deep learning models are typically trained using publicly available datasets. As a result, issues such as mislabeled images and unbalanced distributions in these datasets are often overlooked. To avoid the negative effects of public datasets, a special dataset was created that contains real patient scans. This dataset, called EFSCHE-19, includes chest CT samples with both positive and negative COVID-19 findings, and does not contain any personal information from any patient.

The primary objective of this study is to use a deep learning model to automatically classify COVID-19 and normal findings on chest CT images. The goal of this is to facilitate the early detection of the disease and to provide necessary information to physicians. The main contributions of this study are as follows:

- Evaluation of the performance of pre-trained EfficientNet models on a novel COVID-19 dataset.
- Demonstration of high classification performance of chest CT images on a uniformly distributed dataset without data augmentation.
- Use of the Grad-CAM algorithm to visualize predictions and increase confidence in the clinical use of deep learning models.
- Utilization of deep learning modules to perform tasks currently carried out manually by experts, resulting in reduced time and margin of error.

The remainder of this paper is organized as follows: Section 2 presents the proposed method for this study, including the dataset used, pre-trained deep learning models, training phases, pre-

processing, classification performance measures, and the Grad-CAM algorithm. Section 3 presents the parameters and environments used in the training phase, the numerical values of the model during the training phase, the test phase predictions, and performance values. The discussion and conclusion sections of the study are presented in Section 4 and Section 5, respectively.

2. Materials and Methods

A classifier system has been designed to use a deep learning model to predict whether chest CT images are positive or negative for COVID-19 using the binary classification method. Figure 1 illustrates the block representation of the proposed approach used in this study.

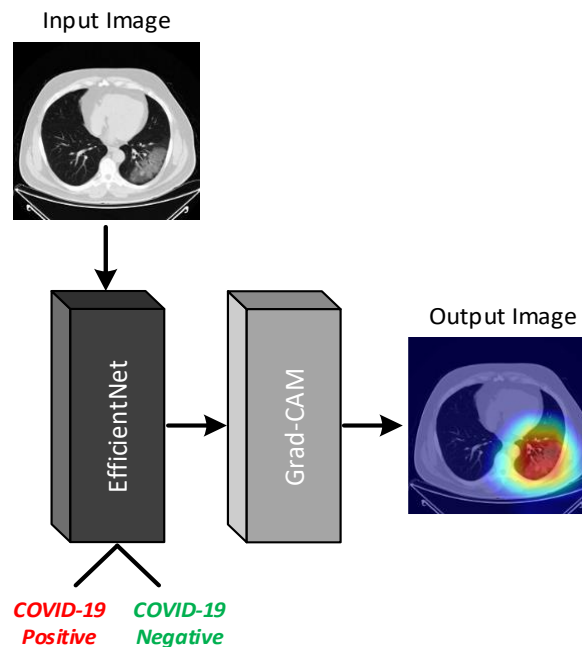


Figure 1. Block representation of the proposed approach.

The input layer of the deep learning model receives an image, which is then classified as positive or negative for COVID-19 disease in the output layer. A key factor in the success of this classification process is the availability of a well-trained deep learning model. To achieve a high success rate, it is essential to use an appropriate dataset for training the model. One option is to use publicly available datasets, which can be obtained at low cost and with minimal time investment. However, such datasets may suffer from issues such as uneven class distribution, mislabeled images, a narrow range of samples, and the use of different radiological scanning techniques, which can hinder the training of the model to the desired level of performance. To address these concerns, the present study used the EFSCHE-19 dataset for training, validation, and testing. This dataset is not included in the examples of publicly available datasets that are commonly used in the literature.

2.1. EFSCH-19 Dataset

This dataset was created with the approval of the ethics committee of Fırat University, Turkey. It is a binary classification dataset, comprising two classes labeled as COVID-19 positive and COVID-19 negative. The dataset includes a total of 4,000 chest CT images, with 2,000 samples in each class. All images have a resolution of 768×768px and are in the Digital Imaging and Communication in Medicine (DICOM) data format. To protect patient privacy, the layers containing personal information were removed from the images before they were provided to us. In radiological images, COVID-19 findings can be classified into two main categories: typical and atypical (Comert and Kiral, 2020). Typical findings include ground glass opacity, consolidation, and air bubbles. The EFSCH-19 dataset includes chest CT images of real patients with typical findings labeled as positive. These samples and the findings they contain have been verified by a radiologist. Figure 2 shows a random selection of samples from the EFSCH-19 dataset.

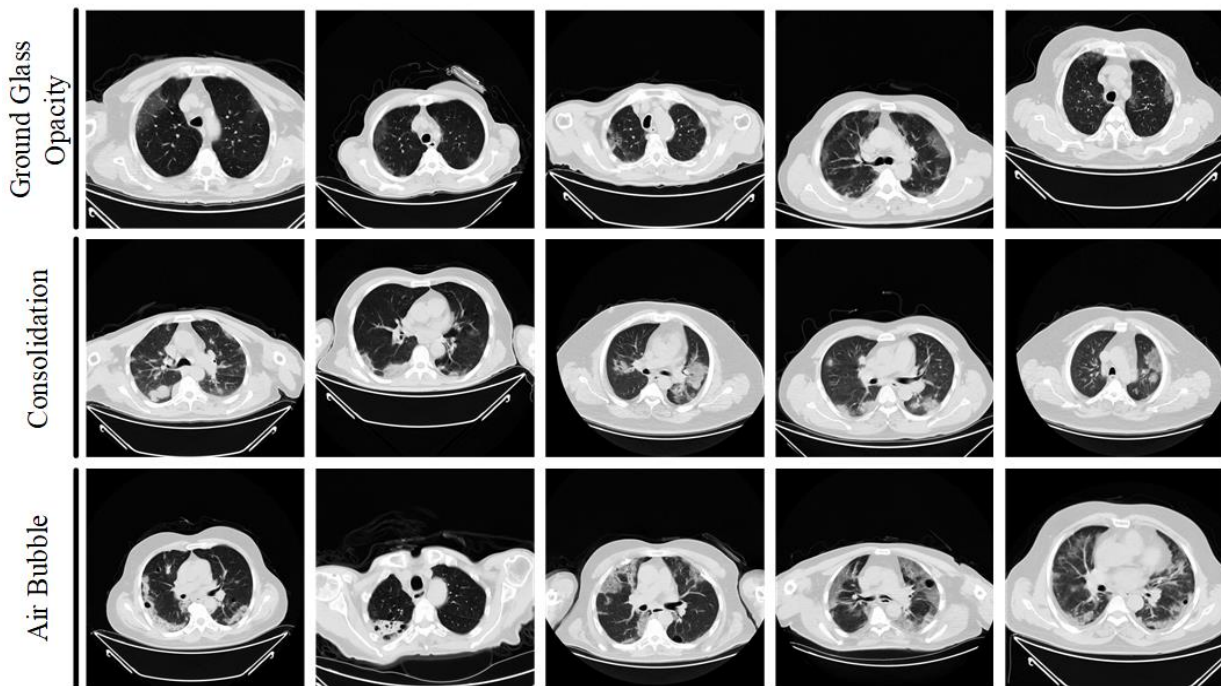


Figure 2. The EFSCH-19 dataset samples.

The radiologist's opinion was used to determine and label the classes to which the dataset samples belong. In the COVID-19 positive class, there are more images with the ground glass opacity finding than with other findings. However, care was taken to ensure that there is an equal number of samples between the two classes. The dataset includes chest CT images of healthy individuals labeled as COVID-19 negative. Figure 3 shows a selection of samples from the EFSCH-19 dataset with the COVID-19 negative label.

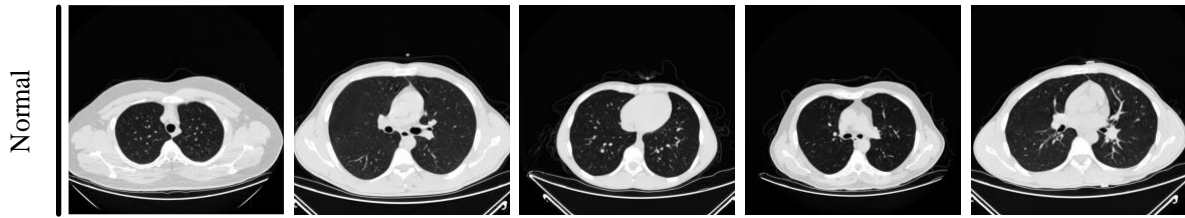


Figure 3. The normal chest CT images.

2.2. EfficientNet Models

CNNs are designed with a predetermined resource allocation and the number of layers is increased as additional resources become available to enhance accuracy. Increasing the number of layers and the depth or width of the network can also enhance accuracy by using a higher input resolution for training and evaluation. However, these techniques may not be adequate in terms of performance. Tan and Le (2019) proposed a new model scaling method that uses a combined coefficient to scale CNNs in a structured manner. This method employs fixed size scaling rather than traditional approaches such as increasing depth, width, or input resolution. As a result, the EfficientNet model family was developed. This family consists of eight models, named EfficientNet-B0 to EfficientNet-B7, with EfficientNet-B0 serving as the base model and the other models being scaled versions of it. Table 1 presents the architecture of the EfficientNet-B0 model. The basic network structure block diagram of the EfficientNet-B0 model is depicted in Figure 4.

Table 1. The architecture of EfficientNet-B0 (Tan and Le, 2019)

Stage	Resolution	Resolution	Channels	Layers
1	Conv3×3	224×224	32	1
2	MBCConv1,3×3	112×112	16	1
3	MBCConv6,3×3	112×112	24	2
4	MBCConv6,5×5	56×56	40	2
5	MBconv6,3×3	28×28	80	3
6	MBCConv6,5×5	14×14	112	3
7	MBCConv6,5×5	14×14	192	4
8	MBCConv6,3×3	7×7	320	1
9	Conv1×1 & Pooling & FC	7×7	1280	1

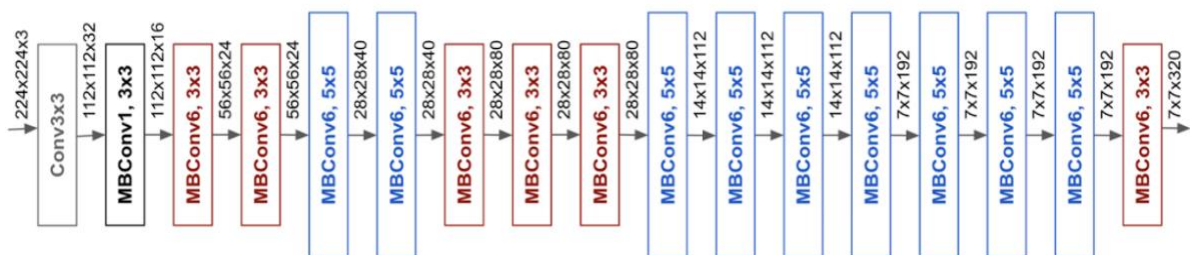


Figure 4. Block diagram of the EfficientNet-B0.

The EfficientNet model family consists of several models that have been derived using various scaling methods. In addition to the basic model, these models differ in the size of their input layers and the number of parameters they possess. The scaling methods responsible for these differences are depicted in Figure 5.

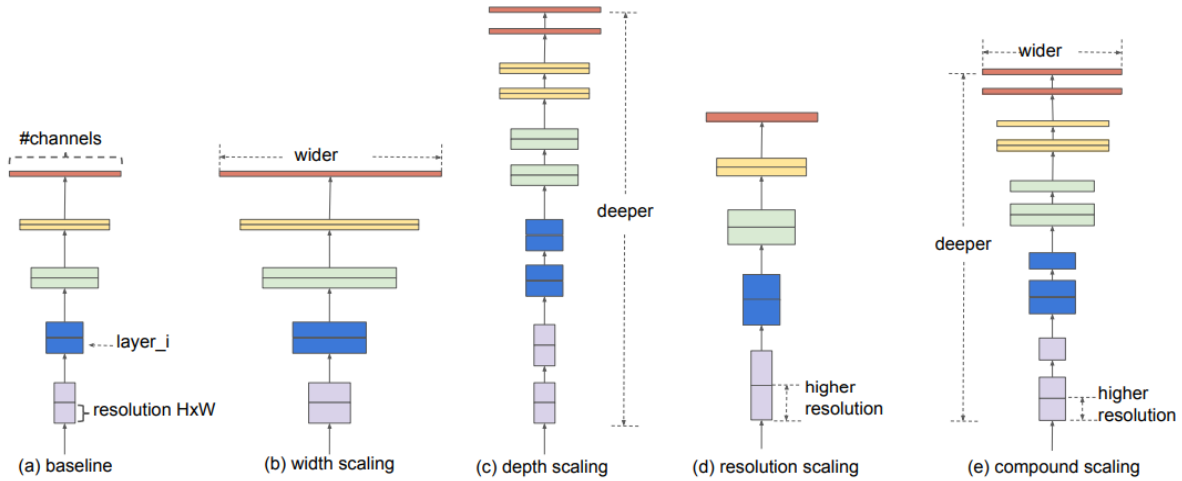


Figure 5. The Scaling methods for EfficientNet Models (Tan and Le, 2019).

The EfficientNet models are derived using scaling methods that involve increasing the depth, width, and resolution of the network, while simultaneously adjusting the input size and number of parameters to maintain constant efficiency. The basic model in the EfficientNet model family, along with the variations derived from it, are outlined in Table 2.

Table 2. The EfficientNet models' details (URL-2).

Model Name	Input Size	Dropout Rate	Depth Coefficient	Width Coefficient	Parameters
EfficientNet-B0	224×224	0.2	1.0	1.0	5.3 Million
EfficientNet-B1	240×240	0.2	1.1	1.0	7.9 Million
EfficientNet-B2	260×260	0.3	1.2	1.1	9.2 Million
EfficientNet-B3	300×300	0.3	1.4	1.2	12.3 Million
EfficientNet-B4	380×380	0.4	1.8	1.4	19.5 Million
EfficientNet-B5	456×456	0.4	2.2	1.6	30.6 Million
EfficientNet-B6	528×528	0.5	2.6	1.8	43.3 Million
EfficientNet-B7	600×600	0.5	3.0	2.0	66.7 Million

EfficientNet models have demonstrated state-of-the-art performance on various image classification benchmarks, including the ImageNet dataset (Deng et al., 2009). The ImageNet dataset, comprising 1.2 million training images and 50,000 validation images from 1000 classes, has consistently shown top results for EfficientNet models in the annual ImageNet Large Scale Visual Recognition Challenge (ILSVRC) (Russakovsky et al., 2015). Overall, EfficientNet models have exhibited high accuracy on the ImageNet dataset while also being comparatively efficient in terms of

the number of parameters and computational resources required. As such, EfficientNet models were employed as the classifier deep learning model in this study.

2.3. Training Phases

The chest CT images in the EFSCH-19 dataset cannot be utilized directly in the training phase due to their resolution and format. Therefore, it is necessary to apply pre-processing steps to the samples in the EFSCH-19 dataset. Following the pre-processing steps, all EfficientNet-B0 to EfficientNet-B7 models were trained while maintaining the parameters constant in order to determine the most suitable model for our study. Once the training phases have been completed, various performance metrics are examined and the most appropriate EfficientNet model to be used is determined. The block diagram of the method employed for training the models is provided in Figure 6.

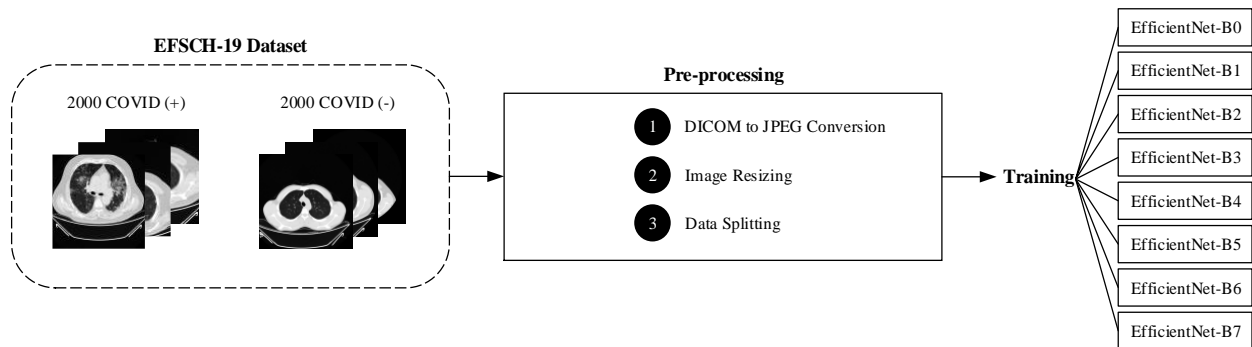


Figure 6. The proposed training method.

2.4. Pre-processing

All images in the EFSCH-19 dataset, which are in the DICOM data format, were converted to the JPEG format using the ImageJ application (Collins, 2007). This conversion process was carried out in a nearly lossless manner. Figure 7 illustrates the result obtained before and after the conversion process, with four times zoom.

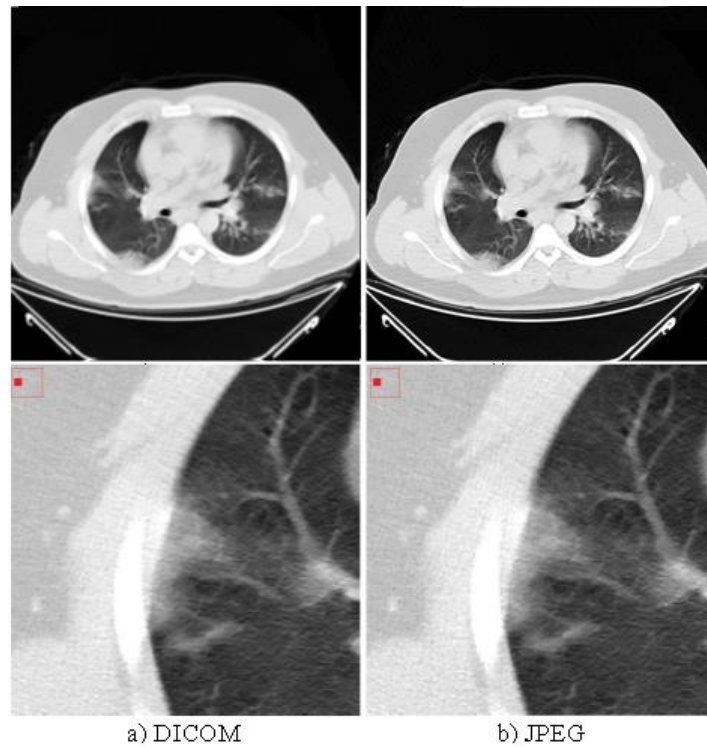


Figure 7. DICOM to JPEG conversion.

All samples were converted to the JPEG data format, and resizing was performed. Images with a resolution of 768×768 px were resized according to the input size of the model to be included in the training. The resizing process is illustrated in Figure 8.

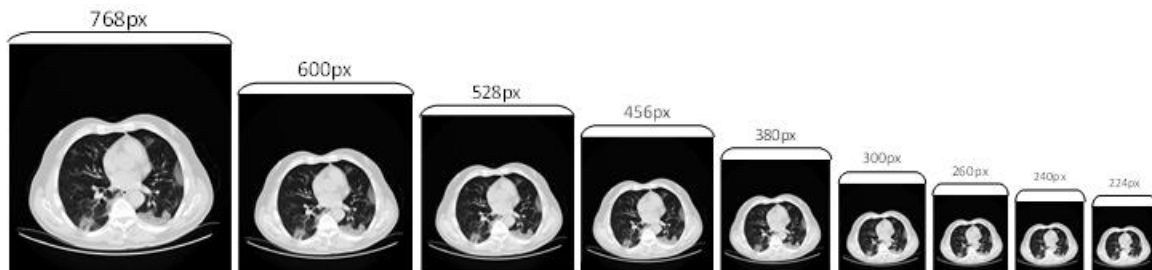


Figure 8. The resizing process.

Prior to initiating the training of the relevant models, 70% of the resized EFSCH-19 dataset samples were randomly divided for use in the training, validation, and testing phases, with 20% allocated for validation and 10% for testing. Detailed numerical information on the distribution of the dataset samples after data splitting is provided in Table 3. This numerical information is independent of the name of the trained model and applies to all eight models.

Table 3. Numerical distribution after the data splitting.

Phase	COVID-19 Positive Samples	COVID-19 Negative Samples
Train	1400	1400
Validation	400	400
Test	200	200

2.5. Evaluation Metrics

Confusion matrix-based performance measures are utilized to evaluate the performance of the deep learning model in classification studies. The confusion matrix provides information regarding the relationship between the class label predicted by the deep learning model for the input image and the known, actual class label of the input image. Deep learning models suitable for binary classification can only predict two different classes at their output, thus up to four different situations can arise in class prediction. These situations are as follows:

- True Positive (TP) is when an image with the COVID-19 positive label is predicted as COVID-19 positive.
- False Positive (FP) is when an image with the COVID-19 negative label is predicted as COVID-19 positive.
- False Negative (FN) is when an image with the COVID-19 positive label is predicted as COVID-19 negative.
- True Negative (TN) is when an image with the COVID-19 negative label is predicted as COVID-19 negative.

The confusion matrix can be visually expressed by placing the values of TP, FP, FN, and TN in a 2×2 matrix. Figure 9 illustrates the visual structure of the confusion matrix and the order in which the corresponding values are placed.

		Actual Class	
		Positive	Negative
Predicted Class	Positive	True Positive (TP)	False Positive (FP)
	Negative	False Negative (FN)	True Negative (TN)

Figure 9. Structure of the confusion matrix.

If the number of examples of TP and TN cases is higher, it will indicate that the classification ability of the deep learning model is advanced. Several performance metrics have been standardized,

using the values of TP, FP, FN, and TN, to measure classification capability. These metrics and their corresponding mathematical equations are listed below.

$$Accuracy (Acc) = (TP + TN)/(TP + FP + FN + TN) \tag{1}$$

$$Recall (Rec) = TP/(TP + FN) \tag{2}$$

$$Precision (Pre) = TP/(TP + FP) \tag{3}$$

$$Specificity (Spe) = TN/(TN + FP) \tag{4}$$

$$F1\ Score (F1) = (2 * (Precision * Recall))/((Precision + Recall)) \tag{5}$$

In addition to standardized statistical evaluation metrics, it is also important to compare the areas of focus for the deep learning model in its predictions.

2.6. Gradient-weighted Class Activation Mapping

The Grad-CAM algorithm visualizes, using the heat map technique (Selvaraju et al., 2017), the areas of the image that the classifier deep learning model considers when making a class prediction for the image provided as input. In this way, it can be determined whether the areas on which the classifier deep learning model focuses in correctly predicted images are, in fact, the areas that play an active role in determining the class. The proposed approach to the Grad-CAM algorithm is shown in Figure 10.

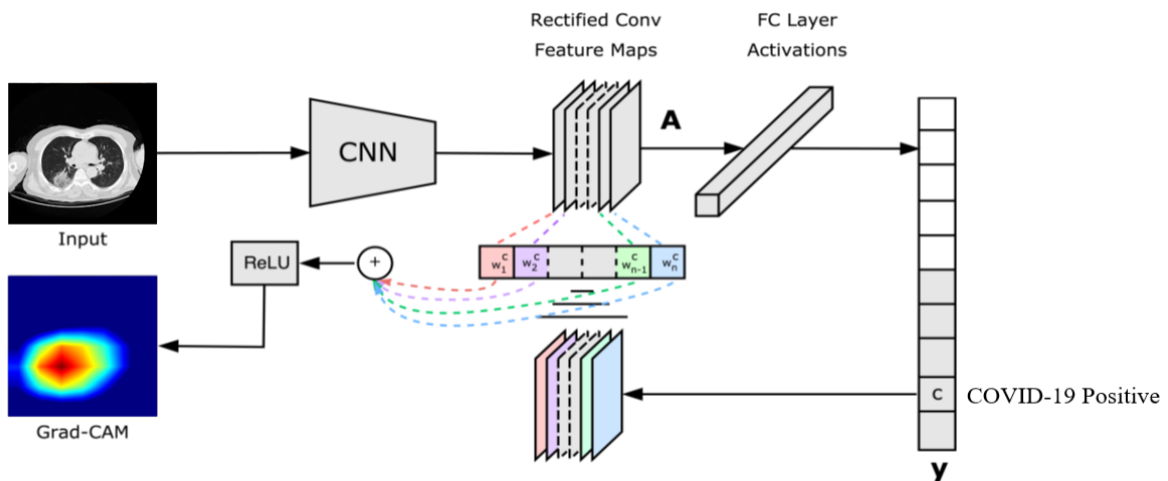


Figure 10. The proposed approach to the Grad-CAM algorithm.

The Grad-CAM algorithm operates by referencing the feature maps produced by the last convolution layer of a CNN. Therefore, the last convolution layer of the classifier deep learning model

should be referenced using the Grad-CAM algorithm. After referencing the last convolution layer, a heat map is created using gradients to highlight the important points of the class label in the image. The yellow and red areas in the generated heat maps indicate the pixel areas that the classifier deep learning model focuses on when making predictions.

3. Experimental Results

This section presents the results of EfficientNet models trained for the detection of COVID-19 disease from chest CT images. The following sections provide the evaluation metric values for the experimental findings.

3.1. Experimental Setups

In this study, members of the EfficientNet model family were used for training a deep learning model, utilizing the Keras library implemented in Python. The models included in the training utilized ImageNet weights rather than random starting weights, and the final layers of the models were modified to produce output in the range of 0 to 1, with the softmax activation function applied (The summary of the model is available at: <https://github.com/oguzhankatar/EfficientNet-B2.git>). The Adam optimization algorithm was utilized for training, with the early stopping function active for 50 epochs, a constant batch size of 16 and learning rate of 0.001, using the cross-entropy loss as the value to be minimized. The validation accuracy rate was tracked during training, and the early stop function was activated if the validation accuracy did not surpass the highest value for five consecutive epochs. These training processes were conducted in the Google Colab environment, with the aim of achieving the highest possible classification accuracy.

3.2. Results

The use of an early stopping function aims to prevent overfitting in machine learning models. Overfitting occurs when a model is too complex and performs exceptionally well on the training data, but fails to generalize to new, unseen data. The early stopping function monitors the performance of a model on a validation set during training and stops the training process if the model's performance on the validation set begins to decrease while the performance on the training set continues to improve. This indicates that the model is starting to overfit and the early stopping function ensures that the final model is the one that performed the best on the validation set.

In this study, the training of each model was set to a maximum of 50 epochs, but the early stopping function terminated the training at earlier epochs. The weights were saved following the training phases and the loss graphs for each model are provided in Figure 11. The analysis of loss graphs can facilitate the comprehension of the efficacy of a model's learning process and the identification of potential issues impacting the model's performance. As the model improves its accuracy in predicting outputs, a decrease in the loss value is anticipated during training. Conversely, an absence of decrease or an increase in the loss value may indicate ineffective learning and warrant further investigation.

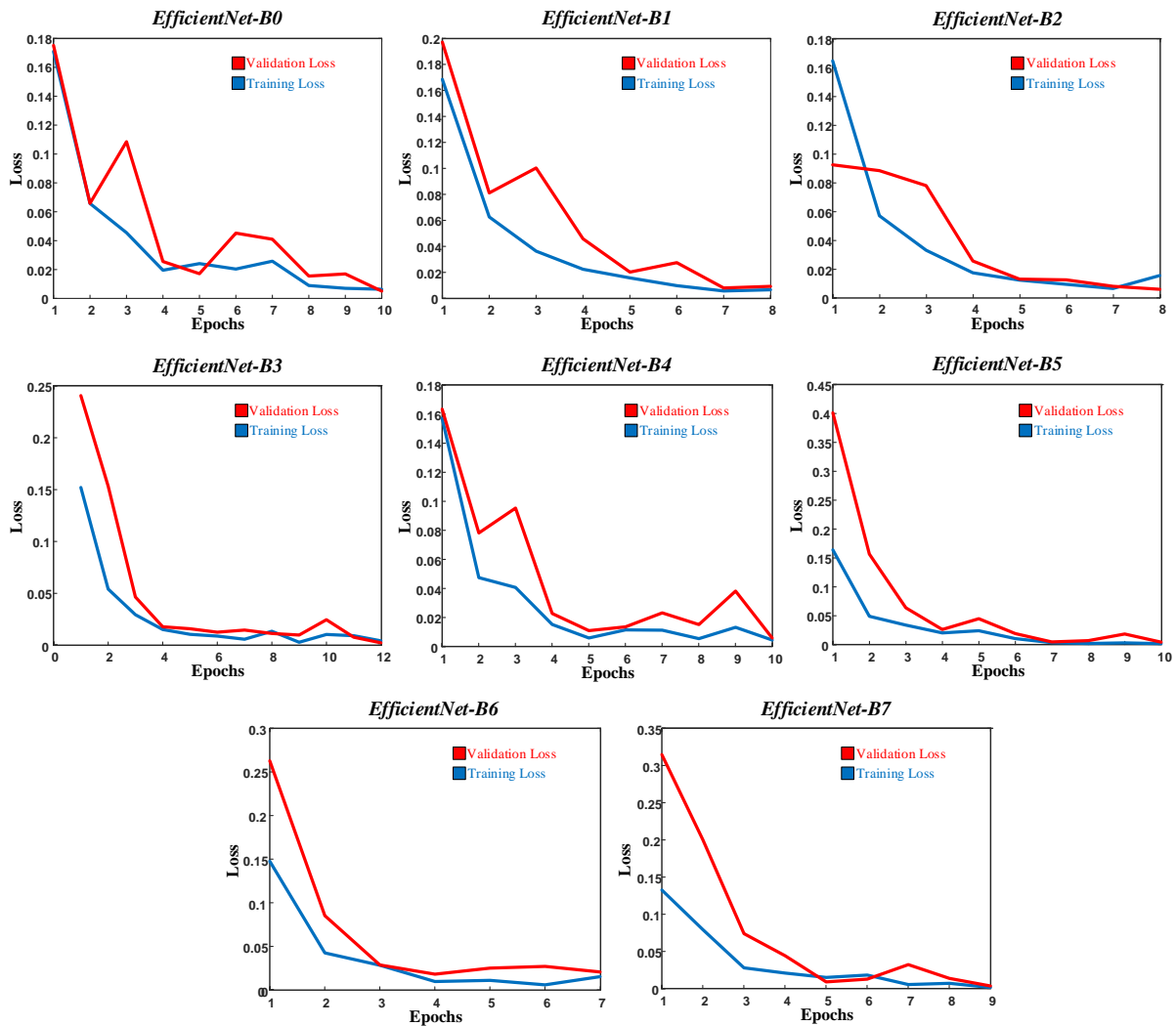


Figure 11. The loss graphs of each model.

The loss graphs of each model were examined and it was observed that the learning process occurred, as the loss values decreased. Therefore, no further research was necessary. The accuracy of the model on the training data is represented by the training accuracy, while the accuracy of the model on unseen data, also known as the validation data, is represented by the validation accuracy. Ideally, the training accuracy should be high and the validation accuracy should be close to the training

accuracy, indicating that the model is generalizing well to unseen data. If the training accuracy is significantly higher than the validation accuracy, this may indicate overfitting, where the model has learned patterns in the training data that do not generalize to unseen data. On the other hand, if the training accuracy is much lower than the validation accuracy, this may suggest underfitting, where the model is not learning enough from the training data. In Figure 12, the training accuracy and validation accuracy graphs obtained by each model during the training phase are shown.

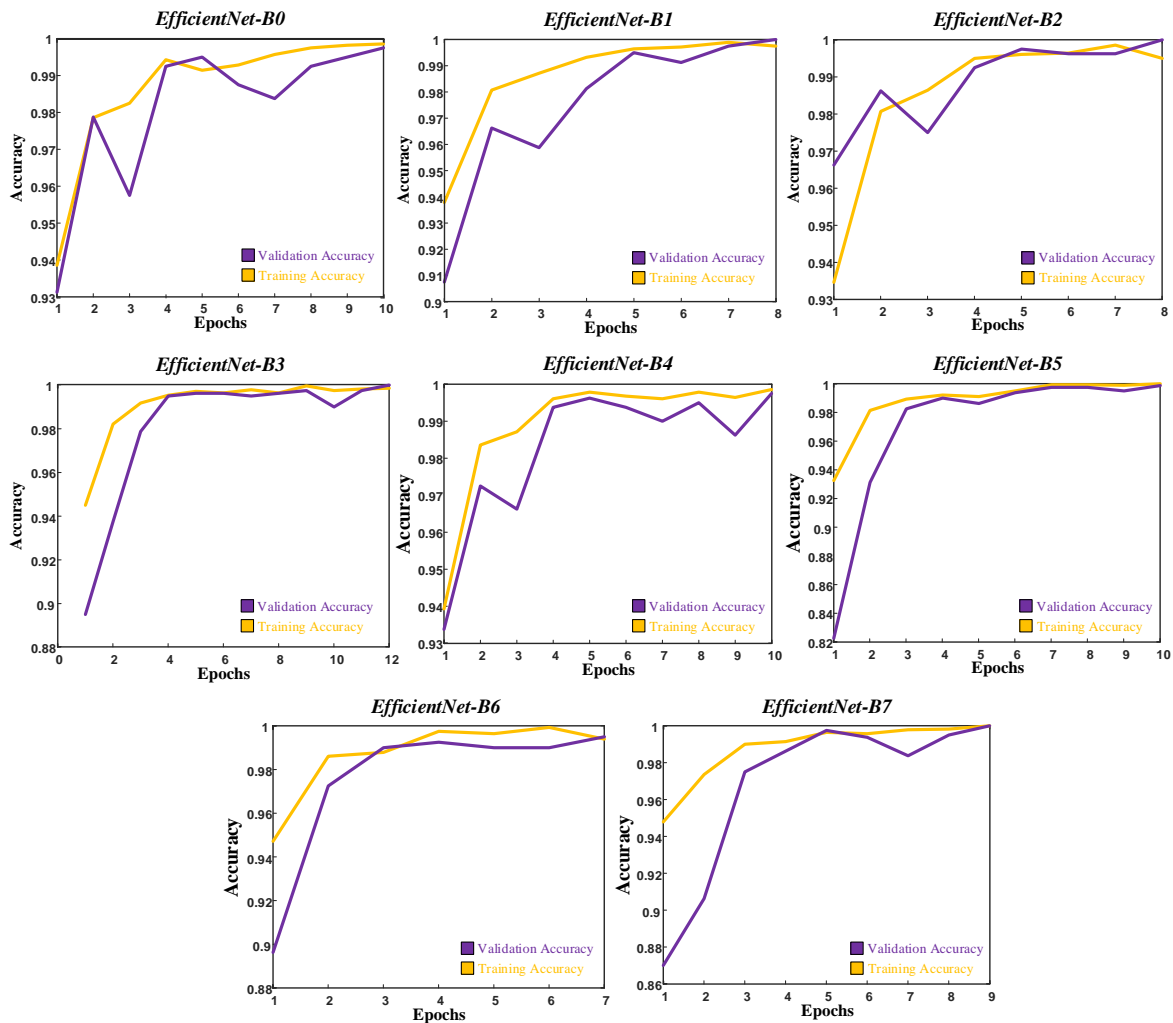


Figure 12. The accuracy graphs of each model.

Upon examining the accuracy graphs of the models, it was observed that they performed well on both the training data and unseen data. This indicates that the models have learned patterns in the training data that generalize well to unseen data, and are therefore able to accurately predict the output for new input data. This is generally a good indication of a well-performing model. However, in order to fully assess the performance of the models, input was only given to each model using images reserved for use in the testing phase. Each model made predictions for the corresponding test images. The confusion matrices resulting from these predictions are shown in Figure 13.

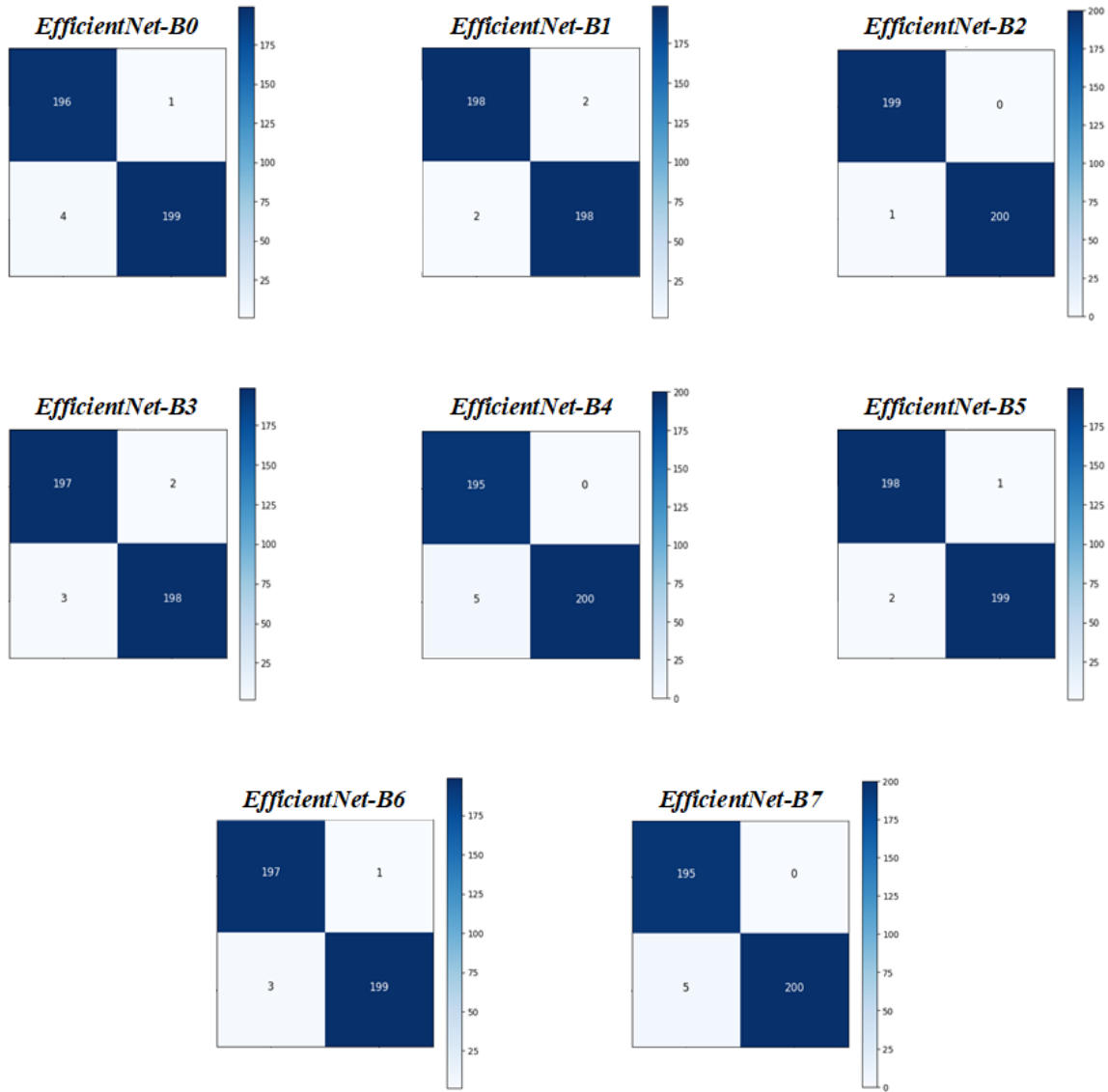


Figure 13. The confusion matrices of each model.

Upon examination of the predictions, it appears that the EfficientNet models are able to classify chest CT images as either COVID-19 positive or COVID-19 negative based on the findings they contain. The performance metric values achieved by the relevant models during the testing phase are presented in Table 4.

Table 4. The performance values of EfficientNet models.

Model Name	Accuracy	Recall	Precision	Specificity	F1 Score
EfficientNet-B0	0.9875	0.9800	0.9949	0.9950	0.9874
EfficientNet-B1	0.9900	0.9900	0.9900	0.9900	0.9900
EfficientNet-B2	0.9975	0.9950	1.00	1.00	0.9975
EfficientNet-B3	0.9875	0.9850	0.9899	0.9900	0.9875
EfficientNet-B4	0.9875	0.9750	1.00	1.00	0.9873
EfficientNet-B5	0.9925	0.9900	0.9950	0.9950	0.9925
EfficientNet-B6	0.9900	0.9850	0.9949	0.9950	0.9899
EfficientNet-B7	0.9875	0.9750	1.00	1.00	0.9873

Performance metrics, such as accuracy, precision, and recall, can be useful for evaluating the overall performance of a CNN, but they do not provide detailed information on how the CNN is arriving at its predictions. By visualizing the regions in the input that are most pertinent to a particular prediction, the Grad-CAM algorithm enables us to comprehend the specific features. This can be beneficial for debugging and improving the performance of the CNN, as well as for comprehending the internal functioning of the CNN. The Grad-CAM algorithm was applied to randomly selected samples from the test images during the prediction process, and the results are depicted in Figure 14.

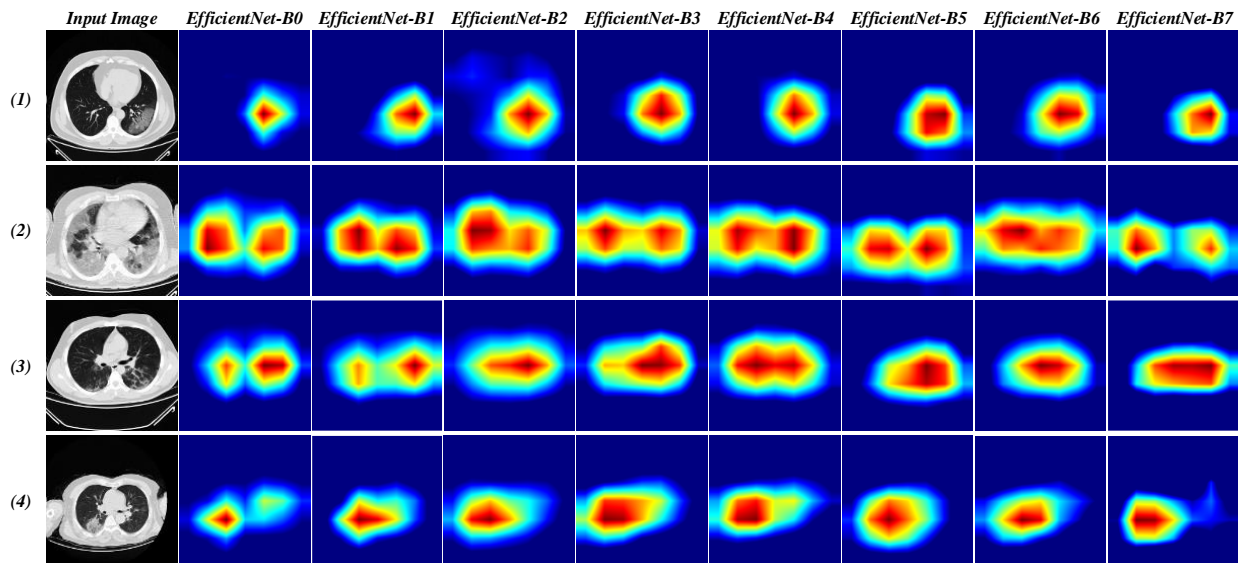


Figure 14. The Grad-CAM outputs of each model.

4. Discussion

Radiological images, such as CT scans and X-rays, can be used to detect COVID-19. However, detecting COVID-19 from radiological images can be challenging because the disease can present differently in different individuals and may not always produce visible abnormalities on images. Furthermore, the manual detection process is very time- and resource-intensive. Thus, it is important to be able to automatically detect COVID-19 without human intervention. Consequently, automatic detection of COVID-19 is a highly popular research topic, and there have been numerous deep learning-based studies on the subject using radiological images. Table 5 presents a curated selection of such studies. Ismael and Sengur (2021) employed deep learning approaches for the classification of COVID-19 and normal chest X-ray images. These approaches included deep feature extraction using pretrained CNNs such as ResNet18, ResNet50, ResNet101, VGG16, and VGG19, fine-tuning of these pretrained CNNs, and end-to-end training of a new CNN model. The deep features were classified using the SVM classifier with various kernel functions, including Linear, Quadratic, Cubic, and Gaussian. A dataset comprising 180 COVID-19 and 200 normal chest X-ray images was utilized

for experimentation. The results demonstrated the potential of deep learning in detecting COVID-19 based on chest X-ray images, with the highest accuracy score of 92.6% achieved by the fine-tuned ResNet50 model. Ozturk et al. (2020) proposed a new model for automatic COVID-19 detection using raw chest X-ray images for both binary (COVID vs. No-Findings) and multi-class (COVID vs. No-Findings vs. Pneumonia) classification. The model, which employed the DarkNet model as a classifier for the YOLO real-time object detection system and featured 17 convolutional layers with diverse filtering on each layer, achieved a classification accuracy of 98.08% for binary classification and 87.02% for multi-class classification. Shah et al. (2021) utilized a self-developed CNN model called CTnet-10 and several other CNN models, including DenseNet-169, VGG-16, ResNet-50, InceptionV3, and VGG-19, for the early diagnosis of COVID-19 using CT scan images. Among the models tested, VGG-19 demonstrated the highest accuracy of 94.52% in differentiating COVID-19 and non-COVID-19 CT scan images. Rahimzadeh et al. (2021) presented a fully-automated method for detecting COVID-19 from chest CT scan images. The method was evaluated using a new dataset consisting of 48,260 CT scan images from 282 normal individuals and 15,589 images from 95 COVID-19 patients. The proposed system was tested using Xception, ResNet50V2, and a novel model for single image classification and patient condition identification. The ResNet50V2 model achieved an accuracy of 98.49% on test images. Gupta et al. (2021) proposed an artificial intelligence model called InstaCovNet-19 for detecting COVID-19 and pneumonia in chest X-ray images. The model is an integrated stacked deep convolution network that leverages various pre-trained models, including ResNet101, Xception, InceptionV3, MobileNet, and NASNet, to compensate for a limited amount of training data. In evaluating the model on 3-class (COVID-19, pneumonia, normal) and 2-class (COVID, non-COVID) classification tasks, the authors achieved accuracies of 99.08% and 99.53%, respectively. Wang et al. (2021) developed an algorithm for detecting COVID-19 by collecting CT images of pathogen-confirmed COVID-19 cases and those diagnosed with typical viral pneumonia, and modifying the inception transfer-learning model. In an internal validation on the dataset, the algorithm demonstrated an accuracy of 89.5%. Katar and Duman (2021) developed a deep learning-based model for detecting COVID-19 from chest CT images using a dataset comprising 800 positive and 800 normal images. The model was evaluated on a test set of 400 randomly selected images and achieved an accuracy of 97.5%. Gupta and Bajaj (2023) proposed a framework for the automated screening of COVID-19 using chest CT-scan images and deep learning techniques. The framework leverages a publicly available CT-scan image dataset containing 1252 COVID-19 and 1230 non-COVID images, as well as two pre-trained deep learning models (MobileNetV2 and DarkNet19) and a newly designed lightweight deep learning model. The authors employed a repeated 10-fold holdout validation method for training, validation, and testing of the models and achieved the highest classification accuracy of 98.91% using transfer-learned DarkNet19. Zhou et al. (2021)

proposed an ensemble deep learning model (EDL_COVID) for rapid detection of COVID-19 from CT images. The model was trained on a dataset comprising 2500 CT images of COVID-19, 2500 images of lung tumors, and 2500 images of normal lungs, which were obtained from various sources. The model consisted of three deep CNN models (AlexNet, GoogleNet, and ResNet) initialized using transfer learning, which were used for feature extraction on all images, followed by a fully connected layer with a softmax classification algorithm. The authors constructed three component classifiers (AlexNet_Softmax, GoogleNet_Softmax, and ResNet_Softmax) and obtained the ensemble classifier EDL_COVID through the method of relative majority vote. The authors evaluated the performance of the ensemble model and found it had an accuracy of 99.05%.

Table 5. Comparison of Our Work With Some State-of-the-art Studies.

Study	Dataset Type	Number of Images	Model	Explainability	Performance
Ismael and Sengur (2021)	X-ray	1) <u>COVID-19</u> : 180 2) <u>Normal</u> : 200	ResNet-50	Black-box	Acc=92.63%
Ozturk et al. (2020)	X-ray	1) <u>COVID-19</u> : 125 2) <u>No-findings</u> : 500	DarkCovidNet	Grad-CAM	Acc=98.08%
Shah et al. (2021)	X-ray	1) <u>COVID-19</u> : 349 2) <u>Non-COVID-19</u> : 463	VGG-19	Black-box	Acc=94.52%
Rahimzadeh et al. (2021)	X-ray	1) <u>COVID-19</u> : 15,589 2) <u>Non-COVID-19</u> : 48,260	ResNet50V2	Black-box	Acc=98.49%
Gupta et al. (2021)	X-ray	1) <u>COVID-19</u> : 361 2) <u>Pneumonia</u> : 362 3) <u>Normal</u> : 365	InstaCovNet-19	Grad-CAM	Acc=99.08%
Wang et al. (2021)	CT	1) <u>COVID-19 Positive</u> : 325 2) <u>COVID-19 Negative</u> : 740	M-Inception-V3	Black-box	Acc=89.50%
Katar and Duman (2021)	CT	1) <u>COVID-19</u> : 1000 2) <u>Normal</u> : 1000	CNN	Black-box	Acc=97.50%
Gupta and Bajaj (2023)	CT	1) <u>COVID-19</u> : 1252 2) <u>Non-COVID-19</u> : 1230	DarkNet19	Black-box	Acc=98.91%
Zhou et al. (2021)	CT	1) <u>COVID-19</u> : 2500 2) <u>Normal</u> : 2500 3) <u>Tumor</u> : 2500	EDL_COVID	Black-box	Acc=99.05%
The proposed our study	CT	1) <u>COVID-19 Positive</u> : 2000 2) <u>COVID-19 Negative</u> : 2000	EfficientNet-B2	Grad-CAM	Acc=99.75%

In this study, we proposed the use of a pre-trained EfficientNet-B2 model for the automated detection of COVID-19 from chest CT images. The results of our study demonstrated a high accuracy of 99.75%, which exceeded the accuracy reported in most other studies. This demonstrates the ability of the model in our study to accurately classify the images into COVID-19 positive and COVID-19 negative categories with a high level of accuracy. The dataset used in this study was novel, consisting of 4,000 images, which may have contributed to the robustness and generalizability of the model. To provide insights into the model's decision-making process and identify any potential biases or weaknesses, we utilized the explainability method of Grad-CAM. In this study, the publicly shared dataset (COVID-CT-dataset) samples provided by Wang et al. (2020) were used to verify the validity

of the proposed method. All 349 COVID-19 and 397 Non-COVID CT images were used as input to the EfficientNet models trained with the EFSCH-19 dataset samples. The performance values resulting from the classification of 746 images by each model are presented in Table 6. The graphical representation of the values given in Table 6 is shown in Figure 15.

Table 6. Performance values of the EfficientNet models tested with the COVID-CT-Dataset.

Model Name	Accuracy	Recall	Precision	Specificity	F1 Score
EfficientNet-B0	0.9142	0.8589	0.9771	0.9771	0.9142
EfficientNet-B1	0.9517	0.9815	0.9140	0.9287	0.9466
EfficientNet-B2	0.9343	0.8989	0.9685	0.9703	0.9324
EfficientNet-B3	0.9651	0.9549	0.9713	0.9744	0.9631
EfficientNet-B4	0.9625	0.9496	0.9713	0.9743	0.9603
EfficientNet-B5	0.9477	0.9429	0.9456	0.9520	0.9442
EfficientNet-B6	0.9558	0.9540	0.9513	0.9573	0.9527
EfficientNet-B7	0.9437	0.9398	0.9398	0.9471	0.9398

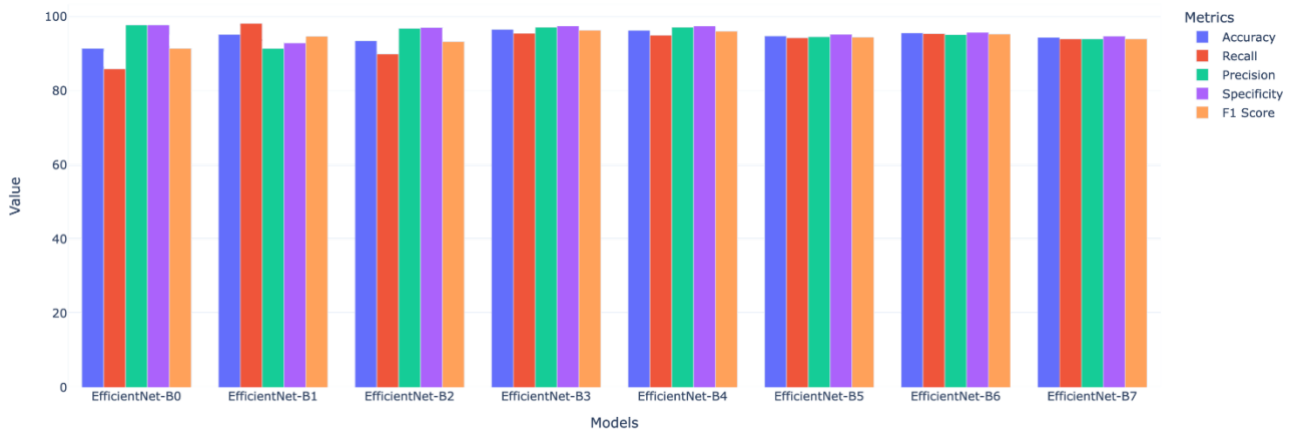


Figure 15. Bar chart of the performance of EfficientNet models.

Upon examination of the results in Table 6, it is observed that all models have a success rate of over 90%. However, with an accuracy rate of 96.51%, the EfficientNet-B3 model is more performant compared to the other models. While the EfficientNet-B2 model architecture was employed in our study, it is worth noting that it may not be optimal for all tasks and datasets. Alternative model architectures may potentially yield better performance in certain cases.

The limitations of this study are as follows:

- The dataset comprises 4,000 images that were collected from a single CT device, which may not be sufficient to adequately capture the variability and complexity of the findings analyzed.
- Identifying slices with signs of COVID-19 from chest CT scans is time-consuming.
- Our study only tested the performance of eight pre-trained models on the task of classifying CT images.

- The robustness of the models in the face of changes in lighting, background, or other factors that may affect the appearance of COVID-19 findings in images has not been evaluated.
- The model was only evaluated on a single split of the data, rather than using k-fold cross-validation to assess its performance more thoroughly.

The results of this study demonstrate the effectiveness of the EfficientNet-B2 model for automated detection of COVID-19 from chest CT images, but there are several areas of future work that could be pursued to further improve the performance and generalizability of the model. One potential direction for future work is to expand the dataset used for training and evaluation. The study used a novel dataset of 4,000 images, but it could be beneficial to further increase the size of the dataset to improve the robustness and generalizability of the model. This could involve collecting additional images, as well as increasing the diversity of the images in terms of factors such as patient demographics, clinical characteristics, and imaging modalities. Another avenue for future research is to evaluate the performance of alternative model architectures. While the EfficientNet-B2 model performed well in this study, it may not be optimal for all tasks and datasets. Future work could include testing the performance of other model architectures, such as those with a greater number of layers and parameters, to determine if they offer any benefits over the EfficientNet-B2 model. This could involve evaluating the models on the same dataset used in this study, as well as on other datasets to assess the generalizability of the results. Additionally, it would be beneficial to investigate methods for addressing any potential biases or weaknesses identified through explainability techniques. In this study, the explainability method of Grad-CAM was utilized to provide insights into the model's decision-making process, but further investigation may reveal other biases or weaknesses that could be mitigated. Finally, it may be interesting to explore the use of the model in other contexts or applications. While the present study demonstrated the effectiveness of the EfficientNet-B2 model for the automated detection of COVID-19 from chest CT images, it may be valuable to test the model on other imaging modalities, such as chest X-rays or MRIs, or to use it to detect other diseases or conditions.

5. Conclusion

The COVID-19 disease has negative impacts on our society in various ways. Classical laboratory methods used for the detection of the disease are insufficient due to their disadvantages. By using radiological imaging techniques instead of classical laboratory methods, the COVID-19 disease can be detected at an early stage. However, specialists are needed to detect the disease from radiological images. Due to the speed and ease of transmission, millions of people have been infected

with COVID-19. As a result, more than the normal number of patients are assigned to specialists who will examine the radiological images. Taking into account the maximum working time and other human characteristics, the time for diagnosis of the patient whose radiological image is taken increases significantly due to the intensity. There is a risk of transmission of the disease to other normal individuals in possible patients whose disease takes a long time to detect. Computers with the ability to process quickly and not be affected by human factors can assist experts in the examination of radiological images. In this study, a decision support system is proposed that can automatically detect COVID-19 disease from chest CT images. The Grad-CAM algorithm was used to explain the detection of COVID-19 disease by focusing on which areas in chest CT images. Eight different EfficientNet models trained with a normally distributed dataset called EFSCHE-19 can automatically classify chest CT images. Among these models, the EfficientNet-B2 model showed the highest performance for the test images. The margin of error is expected to be close to zero in this system, which was designed to support decisions that can directly affect human life. Therefore, improvements such as expanding the scope of the dataset used in the training of the model and increasing the number of samples it contains can be planned for future studies. With the use of such systems in the healthcare sector, early detection of diseases can be achieved and erroneous diagnoses caused by inexperienced personnel can be prevented.

Authors' Contributions

All authors contributed equally to the study.

Statement of Conflicts of Interest

There is no conflict of interest between the authors.

Statement of Research and Publication Ethics

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

References

- Tekin, A. (2021). Tarihten Günümüze Epidemiler, Pandemiler ve Ekonomik Sonuçları. *Süleyman Demirel Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 40, 330-355.
- Issever, H., Issever, T., and Oztan, G. (2020). COVID-19 epidemiyolojisi. *Sağlık Bilimlerinde İleri Araştırmalar Dergisi*, 3(S1), 1-13.

- Ahmad, T., Khan, M., Musa, T. H., Nasir, S., Hui, J., Bonilla-Aldana, D. K., and Rodriguez-Morales, A. J. (2020). COVID-19: Zoonotic aspects. *Travel medicine and infectious disease*, 36, 101607.
- Hua, J., and Shaw, R. (2020). Corona virus (Covid-19)“infodemic” and emerging issues through a data lens: The case of china. *International journal of environmental research and public health*, 17(7), 2309.
- Madabhavi, I., Sarkar, M., and Kadakol, N. (2020). COVID-19: a review. *Monaldi Archives for Chest Disease*, 90(2).
- Wadman, M. (2021). SARS-CoV-2 infection confers greater immunity than shots. *Science*, 373(6559), 1067-1068.
- Giri, B., Pandey, S., Shrestha, R., Pokharel, K., Ligler, F. S., and Neupane, B. B. (2021). Review of analytical performance of COVID-19 detection methods. *Analytical and bioanalytical chemistry*, 413(1), 35-48.
- Corman, V. M., Landt, O., Kaiser, M., Molenkamp, R., Meijer, A., Chu, D. K., and Drosten, C. (2020). Detection of 2019 novel coronavirus (2019-nCoV) by real-time RT-PCR. *Eurosurveillance*, 25(3), 2000045.
- Wu, F., Zhao, S., Yu, B., Chen, Y. M., Wang, W., Song, Z. G., and Zhang, Y. Z. (2020). A new coronavirus associated with human respiratory disease in China. *Nature*, 579(7798), 265-269.
- Zali, A., Sohrabi, M. R., Mahdavi, A., Khalili, N., Taheri, M. S., Maher, A., and Hanani, K. (2021). Correlation between low-dose chest computed tomography and RT-PCR results for the diagnosis of COVID-19: A report of 27,824 cases in tehran, Iran. *Academic Radiology*, 28(12), 1654-1661.
- Kommos, F. K., Schwab, C., Tavernar, L., Schreck, J., Wagner, W. L., Merle, U., and Longerich, T. (2020). The pathology of severe COVID-19-related lung damage: Mechanistic and therapeutic implications. *Deutsches Ärzteblatt International*, 117(29-30), 500.
- Ghaderzadeh, M., and Asadi, F. (2021). Deep learning in the detection and diagnosis of COVID-19 using radiology modalities: a systematic review. *Journal of healthcare engineering*, 2021.
- Ng, M. Y., Lee, E. Y., Yang, J., Yang, F., Li, X., Wang, H., and Kuo, M. D. (2020). Imaging profile of the COVID-19 infection: radiologic findings and literature review. *Radiology: Cardiothoracic Imaging*, 2(1).
- Fields, B. K., Demirjian, N. L., Dadgar, H., and Gholamrezanezhad, A. (2021, July). Imaging of COVID-19: CT, MRI, and PET. In *Seminars in Nuclear Medicine*, 51(4), 312-320.
- Gundel, S., Setio, A. A., Ghesu, F. C., Grbic, S., Georgescu, B., Maier, A., and Comaniciu, D. (2021). Robust classification from noisy labels: Integrating additional knowledge for chest radiography abnormality assessment. *Medical Image Analysis*, 72, 102087.
- Chartrand, G., Cheng, P. M., Vorontsov, E., Drozdal, M., Turcotte, S., Pal, C. J., and Tang, A. (2017). Deep learning: a primer for radiologists. *Radiographics*, 37(7), 2113-2131.
- Arsalan, M., Owais, M., Mahmood, T., Choi, J., and Park, K. R. (2020). Artificial intelligence-based diagnosis of cardiac and related diseases. *Journal of Clinical Medicine*, 9(3), 871.
- Owais, M., Arsalan, M., Choi, J., Mahmood, T., and Park, K. R. (2019). Artificial intelligence-based classification of multiple gastrointestinal diseases using endoscopy videos for clinical diagnosis. *Journal of clinical medicine*, 8(7), 986.
- Mainak, B., Venkatanareshbabu, K., Luca, S., Damodar, R. E., Elisa, C. G., Tato, M. R., and Andrew, N. (2019). State-of-the-art review on deep learning in medical imaging. *Frontiers in Bioscience-Landmark*, 24(3), 380-406.
- Chin, C. L., Lin, B. J., Wu, G. R., Weng, T. C., Yang, C. S., Su, R. C., and Pan, Y. J. (2017, November). An automated early ischemic stroke detection system using CNN deep learning algorithm. *8th International conference on awareness science and technology* (pp. 368-372).
- Yildirim, K., Bozdog, P. G., Talo, M., Yildirim, O., Karabatak, M., and Acharya, U. R. (2021). Deep learning model for automated kidney stone detection using coronal CT images. *Computers in biology and medicine*, 135, 104569.
- Khan, S., Islam, N., Jan, Z., Din, I. U., and Rodrigues, J. J. C. (2019). A novel deep learning based framework for the detection and classification of breast cancer using transfer learning. *Pattern Recognition Letters*, 125, 1-6.
- Bogu, G. K., and Snyder, M. P. (2021). Deep learning-based detection of COVID-19 using wearables data. *MedRxiv*.
- Pahar, M., Klopffer, M., Warren, R., and Niesler, T. (2021). COVID-19 cough classification using machine learning and global smartphone recordings. *Computers in Biology and Medicine*, 135, 104572.
- Wang, L., Lin, Z. Q., and Wong, A. (2020). Covid-net: A tailored deep convolutional neural network design for detection of covid-19 cases from chest x-ray images. *Scientific Reports*, 10(1), 1-12.

- Luz, E., Silva, P., Silva, R., Silva, L., Guimarães, J., Miozzo, G., and Menotti, D. (2022). Towards an effective and efficient deep learning model for COVID-19 patterns detection in X-ray images. *Research on Biomedical Engineering*, 38(1), 149-162.
- Song, Y., Zheng, S., Li, L., Zhang, X., Zhang, X., Huang, Z., and Yang, Y. (2021). Deep learning enables accurate diagnosis of novel coronavirus (COVID-19) with CT images. *IEEE/ACM Transactions on computational biology and bioinformatics*, 18(6), 2775-2780.
- Bozkurt, F. (2022). A deep and handcrafted features-based framework for diagnosis of COVID-19 from chest x-ray images. *Concurrency and Computation: Practice and Experience*, 34(5), e6725.
- Marques, G., Agarwal, D., and de la Torre Díez, I. (2020). Automated medical diagnosis of COVID-19 through EfficientNet convolutional neural network. *Applied soft computing*, 96, 106691.
- Wang, S., Kang, B., Ma, J., Zeng, X., Xiao, M., Guo, J., and Xu, B. (2021). A deep learning algorithm using CT images to screen for Corona Virus Disease (COVID-19). *European radiology*, 31(8), 6096-6104.
- Comert, S. S., and Kiral, N. (2020). Radiological Findings of COVID-19 Pneumonia/COVID-19 Pnomonisinin Radyolojik Bulgulari. *Southern Clinics of Istanbul Eurasia*, 31(SI), 16-23.
- Tan, M., and Le, Q. (2019). Efficientnet: Rethinking model scaling for convolutional neural networks. *International conference on machine learning* (pp. 6105-6114).
- Deng, J., Dong, W., Socher, R., Li, L. J., Li, K., and Fei-Fei, L. (2009). Imagenet: A large-scale hierarchical image database. In *2009 IEEE conference on computer vision and pattern recognition*, pp. 248-255
- Russakovsky, O., Deng, J., Su, H., Krause, J., Satheesh, S., Ma, S., Huang, Z., Karpathy, A., Khosla, A., Bernstein, M., Berg, A., and Fei-Fei, L. (2015). Imagenet large scale visual recognition challenge. *International journal of computer vision*, 115(3), 211-252.
- Collins, T. J. (2007). ImageJ for microscopy. *Biotechniques*, 43(S1), S25-S30.
- Selvaraju, R. R., Cogswell, M., Das, A., Vedantam, R., Parikh, D., and Batra, D. (2017). Grad-cam: Visual explanations from deep networks via gradient-based localization. *Proceedings of the IEEE international conference on computer vision* (pp. 618-626).
- Ismael, A. M., and Şengür, A. (2021). Deep learning approaches for COVID-19 detection based on chest X-ray images. *Expert Systems with Applications*, 164, 114054.
- Ozturk, T., Talu, M., Yildirim, E. A., Baloglu, U. B., Yildirim, O., and Acharya, U. R. (2020). Automated detection of COVID-19 cases using deep neural networks with X-ray images. *Computers in biology and medicine*, 121, 103792.
- Shah, V., Keniya, R., Shridharani, A., Punjabi, M., Shah, J., and Mehendale, N. (2021). Diagnosis of COVID-19 using CT scan images and deep learning techniques. *Emergency radiology*, 28(3), 497-505.
- Rahimzadeh, M., Attar, A., and Sakhaei, S. M. (2021). A fully automated deep learning-based network for detecting covid-19 from a new and large lung ct scan dataset. *Biomedical Signal Processing and Control*, 68, 102588.
- Gupta, A., Gupta, S., and Katarya, R. (2021). InstaCovNet-19: A deep learning classification model for the detection of COVID-19 patients using Chest X-ray. *Applied Soft Computing*, 99, 106859.
- Katar, O., and Duman, E. (2021). Deep Learning Based Covid-19 Detection With A Novel CT Images Dataset: EFSCCH-19. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (29), 150-155.
- Gupta, K., and Bajaj, V. (2023). Deep learning models-based CT-scan image classification for automated screening of COVID-19. *Biomedical Signal Processing and Control*, 80, 104268.
- Zhou, T., Lu, H., Yang, Z., Qiu, S., Huo, B., and Dong, Y. (2021). The ensemble deep learning model for novel COVID-19 on CT images. *Applied soft computing*, 98, 106885.
- Yang, X., He, X., Zhao, J., Zhang, Y., Zhang, S., and Xie, P. (2020). COVID-CT-dataset: a CT scan dataset about COVID-19. *arXiv preprint arXiv:2003.13865*.
- URL-1: <https://www.arcgis.com/apps/dashboards/bda7594740fd40299423467b48e9ecf6>, (Date Accessed: 27 August 2022).
- URL-2: <https://keras.io/api/applications/>, (Date Accessed: 24 December 2022).

Şartlandırılmış Zeolit - Klinoptilolit Minerali ile Bakır Gideriminin Araştırılması

İlknur ŞENTÜRK^{1*} 

Öz

Bu çalışmada ilk etapta doğal (H-Zt), kimyasal şartlandırma yapılmış (KOH-Zt) ve şartlandırma sonrası Fe₃O₄ manyetik nanopartiküller ile yükleme yapılmış (KOH-Zt/Fe₃O₄) olmak üzere üç farklı klinoptilolit ile Cu(II) giderimi konsantrasyon ve pH'ya bağlı olarak araştırılmıştır. Ardından en iyi verim alınan adsorbent KOH-Zt ile çalışmalara devam edilerek, temas süresi, başlangıç metal konsantrasyonu, adsorbent dozajı ve sıcaklığın etkisi araştırılmıştır. KOH ile kimyasal şartlandırma işleminin Cu(II) gideriminde daha etkili olduğu, 30 mg/L Cu(II) konsantrasyonunda %77,61 giderim sağlandığı görülmüştür. Maksimum Cu(II) adsorpsiyon kapasitesi 50 mg/L Cu(II) konsantrasyonunda 8,91 mg/g'dır. Langmuir izoterm modelinin adsorpsiyon dengesini en iyi tanımladığı anlaşılmıştır. Adsorpsiyon kinetik verisi ikinci derece reaksiyon kinetiği ile uyumludur. Termodinamik hesaplar adsorpsiyonun kendiliğinden ve endotermik olduğunu göstermektedir. Çalışmadan elde edilen tüm veriler etkili ve ucuz bir adsorbent olan klinoptilolit üzerine uygulanan kimyasal şartlandırma sonrası elde edilen KOH-Zt adsorbentin, Cu(II) adsorpsiyonu için tercih edilebilir olduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Adsorpsiyon, Bakır, Klinoptilolit, Şartlandırma, İzoterm, Kinetik

Investigation of Copper Removal by Conditioned Zeolite - Clinoptilolite Mineral

Abstract

In this study, Cu(II) removal with three different types of clinoptilolite, which is natural (H-Zt), chemically conditioned (KOH-Zt), and loaded with Fe₃O₄ magnetic nanoparticles after chemical conditioning (KOH-Zt/Fe₃O₄), was investigated depending on concentration and pH in the first step. Then, the studies were continued with the adsorbent KOH-Zt with the best efficiency, and the effects of contact time, initial metal concentration, adsorbent dosage, and temperature were investigated. It was observed that chemical conditioning with KOH was more effective in removing Cu(II) and 77.61% removal was achieved at 30 mg/L Cu(II) concentration. Maximum Cu(II) adsorption capacity is 8.91 mg/g at 50 mg/L Cu(II) concentration. It was understood that the Langmuir isotherm model best describes the adsorption equilibrium. Adsorption kinetic data is compatible with second-order reaction kinetics. Thermodynamic calculations show that adsorption is spontaneous and endothermic. All the data obtained from the study show that the KOH-Zt adsorbent obtained after chemical conditioning applied on clinoptilolite, which is an effective and inexpensive adsorbent, is preferable for Cu(II) adsorption.

Keywords: Adsorption, Copper, Clinoptilolite, Conditioning, Isotherm, Kinetics.

¹Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Sivas, Türkiye, ilknur.senturk@gmail.com

¹<https://orcid.org/0000-0002-8217-2281>

1. Giriş

Endüstri ve sanayideki hızlı gelişmeyle birlikte alıcı sulara deşarj edilen ağır metal miktarı her geçen gün daha da artmaktadır. Bu ağır metallere birisi olan ve polisaj, madencilik, boya, metal kaplama, matbaacılık gibi endüstrilerden önemli miktarda salınan bakır; eser miktarlarda da olsa tüm biyolojik canlılar için gerekli olan bir elementtir (Jain ve ark., 2018). Fakat eser miktardaki maruz kalma sınır değeri aşıldığında karaciğer ve böbrek hasarı, baş dönmesi, baş ağrısı, mide bulantısı, kusma ve mide krampları gibi çeşitli sağlık tehditleri oluşturur (Sharma ve ark., 2021). Biyolojik canlıların zarar görmemesi için endüstriyel atıksular içindeki bakır metalinin ekonomik ve uygun yöntemler ile mutlaka sulardan uzaklaştırılması ve yönetmeliklerde verilen sınır değerin altına düşürülmesi gerekir (Şimşek, 2018).

Ağır metal giderimi için kimyasal çöktürme, iyon değişimi, ters ozmos ve adsorpsiyon gibi birçok yöntem kullanılmakla birlikte ucuz olması, çevre dostu olması ve ikincil atık oluşturmaması, verimli ve uygulanabilir olması vb. nedenlerle en çok tercih edilen yöntemlerden birisi adsorpsiyondur (Topal Canbaz ve ark., 2022). Endüstriyel atıksulardaki bakır konsantrasyonu 20-200 mg/L arasında değişmektedir. USEPA tarafından yayınlanan Ulusal Tavsiye Edilen Su Kalitesi Kriterleri'ne (İnsan Sağlığı Kriter Tablosu) göre su + organizma tüketimi için bakır değerinin 1,3 µg/L'yi geçmemesi gerekir (USEPA, 2002).

Dünyada ve Türkiye'de rezerv olarak en çok bulunan doğal zeolit minerallerinden birisi de klinoptilolittir. Madencilik açısından kolay işletilebilir olması ve yüksek iyon değiştirme kapasitesinden ötürü arıtma işlemlerinde özellikle de adsorpsiyonda tercih edilmektedir. Bu çalışmada; adsorbent olarak seçilen doğal zeolit minerali klinoptilolit ham ve şartlandırılmış olarak kullanılmış olup, Cu(II) iyonlarını içeren çözeltiler ile adsorpsiyon işlemi yapılmış ve adsorpsiyon kapasiteleri belirlenmiştir. Hazırlanan adsorbentler arasından (H-Zt, KOH-Zt ve KOH-Zt/Fe₃O₄) Cu(II) giderimi için en verimli adsorbent türü seçildikten sonra adsorpsiyon mekanizmasını açıklayacak izoterm, kinetik ve termodinamik modeller hesaplanmıştır. Bu çalışma, manyetik ve kimyasal yolla şartlandırma işlemine maruz bırakılan klinoptilolit mineralinin, bakır gideriminde göstermiş olduğu performansın belirlenmesi açısından önemlidir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Adsorbent Hazırlanması

400 mikron boyutundaki doğal zeolit materyalleri Manisa, Gördes’de yer alan Rota Madencilik’ten temin edilmiştir. Kullanılan klinoptilolitin kimyasal kompozisyonu Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Kullanılan klinoptilolitin XRF spektrometresi ile analiz edilen kimyasal içeriği (URL-1)

SiO₂	65-72	Fe₂O₃	0,7-1,9	MnO	0-0,08
Al₂O₃	10-12	MgO	0,9-1,2	Cr₂O₃	0-0,01
CaO	2,4-3,7	Na₂O	0,1-0,5	P₂O₅	0,02-0,03
K₂O	2,5-3,8			SiO₂/Al₂O₃	5,4-7,2

Not: Tüm değerler % olarak verilmiştir.

Malzeme içindeki tozu, kiri ve diğer safsızlıkları gidermek için yıkama suyunda bulanıklık kalmayana kadar deiyonize (DI) su ile iyice yıkanmıştır. Ardından çözünebilir ve istenmeyen materyallerin giderimi için yıkanan zeolit 0,1 M HCl ile arıtılmıştır. Daha sonra yıkama suyu pH’ı nötr olana kadar DI su ile birkaç kez yıkanmış ve 24 saat süresince 250°C’de etüvde kurutulduktan sonra ağzı kapalı polietilen şişeler içinde saklanmıştır. Elde edilen bu materyal ham zeolit (H-Zt) olarak isimlendirilmiştir. Ardından hazırlanan adsorbentin (H-Zt) adsorpsiyon kapasitesini artırmak için, malzeme KOH ile kimyasal şartlandırma ve şartlandırma sonrası Fe₃O₄ magnetik nanopartiküller ile yükleme işlemlerine maruz bırakılarak iki farklı adsorbent daha elde edilmiştir. Bu adsorbentlerin nasıl hazırlandığı aşağıda açıklanmıştır.

2.1.1. KOH ile Şartlandırma

10 g H-Zt 1,5 M 100 mL KOH ile 200 rpm de 3 saat karıştırılmıştır. Ardından DI su ile yıkanıp 24 saat 90°C’de kurutulmuştur. Ardından kuruyan materyal %35’lik HNO₃ içinde 200 rpm de 24 saat bekletildikten sonra süzölmüş ve yıkama suyu (filtrat) pH’ı 7 olana kadar DI su ile yıkanmıştır. Yıkama işlemi sonunda 24 saat 80°C’de kurutularak kullanıma hazır hale getirilmiştir (Amin ve ark., 2017; Cheng ve ark., 2020). Elde edilen malzeme, KOH ile şartlandırılmış zeolit (KOH-Zt) olarak isimlendirilmiştir.

2.1.2. Şartlandırma Sonrası Fe₃O₄ Manyetik Nanopartiküller İle Yükleme

7,5 g KOH-Zt, 200 mL DI suya eklenerek 60 dakika karıştırılmıştır. Hazır olarak alınan 2,5 g Fe₃O₄ manyetik nanopartikül (97%, Alfa Aesar, Germany) KOH-Zt içeren çözeltiliye eklenmiş ve 70°C sıcaklıkta 60 dakika boyunca ultrasonik aygıt içinde homojenizasyon yapılmıştır. Ardından yükleme tamamlanana kadar çözelti 300 rpm de manyetik karıştırıcıda karıştırılmıştır. Ortaya çıkan KOH-Zt/Fe₃O₄ nanopartikül DI su ile birkaç kez yıkandıktan sonra mıknatıs ile ayrılarak 70°C sıcaklıkta 12 saat kurutulmuştur. Elde edilen malzeme, manyetik KOH-Zt/Fe₃O₄ olarak isimlendirilmiştir.

2.2. Analiz Metodu

Adsorpsiyon işlemi sonrası çözeltide kalan adsorbenti ayırmak için çözelti 5 dakika 4000 rpm de santrifüjlenmiştir. Bu işlem sonrasında çözeltide kalan serbest Cu(II) iyon konsantrasyonunu belirlemek için Sodyum dietilditiokarbamat çözeltisi (sodium diethyldithiocarbamate - C₅H₁₀NNaS₂) ile bakır iyonlarının oluşturduğu sarı-kahverengi renkli kompleksin spektrofotometrik olarak ölçümünden faydalanılmıştır (San Andres ve ark., 1995). Bunun için 1 mL Cu içeren örnek, 20 mL 1,5 N NH₃ ve %1'lik C₅H₁₀NNaS₂ çözeltisinden 0,2 mL alınarak bir karışım oluşturulmuş ve bu karışım DI su ile 25 mL'ye tamamlanmıştır. Ardından karışımın absorbansı 460 nm'de spektrofotometrede okunarak elde edilen çalışma eğrisinden ($y= 0,0064x-0,0026$ R²= 0,998) mg/L olarak Cu(II) konsantrasyonu belirlenmiştir.

2.3. Kesikli Adsorpsiyon Prosedürü

Deneyler sıcaklığı kontrol edilen inkübatörlü çalkalayıcı (Gerhardt, Germany) içinde kesikli sistem olarak gerçekleştirilmiştir. Bakır çözeltileri \geq 99 saflıkta CuCl₂.2H₂O (Sigma-Aldrich, China) kullanılarak hazırlanmıştır. Adsorpsiyon deneyleri Tablo 2'de verilen kesikli sistem deney koşullarında gerçekleştirilmiştir. Tüm deneyler 25 mL çözelti hacmi ile gerçekleştirilmiş, adsorbat/adsorbent karışımı 24 saat süresince 125 rpm de çalışan çalkalayıcılı inkübatör içerisinde 25°C'de bekletilmiştir. pH ayarlamaları seyreltik HCl ve/ya da NaOH çözeltileri ile gerçekleştirilmiştir. İki tekrarlı, gerekli durumlarda ikiden daha fazla, yapılan deneyler sonucunda elde edilen verilerin ortalaması alınarak deney sonuçları yorumlanmıştır.

Tablo 2. Kesikli deneysel koşullar

Deneyin amacı	Çözelti pH	Adsorbent dozajı (g/L)	Başlangıç Cu(II) kons. (mg/L)	Temas süresi (dk)	Sıcaklık (°C)
Şartlandırma işleminin etkisi	4,46±0,042	10	30, 90	1440	25
pH'in etkisi	1,5-3-5	10	60	1440	25
Adsorbent dozajının etkisi	5	2-14	60	1440	25
Konsantrasyonun etkisi	5	6	5-150	1440	25
Zamanın etkisi	5	6	60, 120	2-1440	25
Sıcaklığın etkisi	5	6	60, 120	75	5, 25, 40

Çalışmada kullanılan adsorbentin adsorpsiyon verimi (%) ve adsorpsiyon kapasitesi (Q_{ads} , mg/g) aşağıda verildiği şekliyle hesaplanmıştır.

$$\text{Adsorpsiyon verimi} = (C_i - C_e / C_i) \times 100 \quad (1)$$

$$\text{Adsorpsiyon kapasitesi} = [(C_i - C_e) \times V / m] \quad (2)$$

Burada

Q_{ads} : Adsorbentin adsorpsiyon kapasitesi (mg/g),

V: Çözelti hacmi (L),

C_i : Çözeltideki başlangıç metal konsantrasyonu (mg/L),

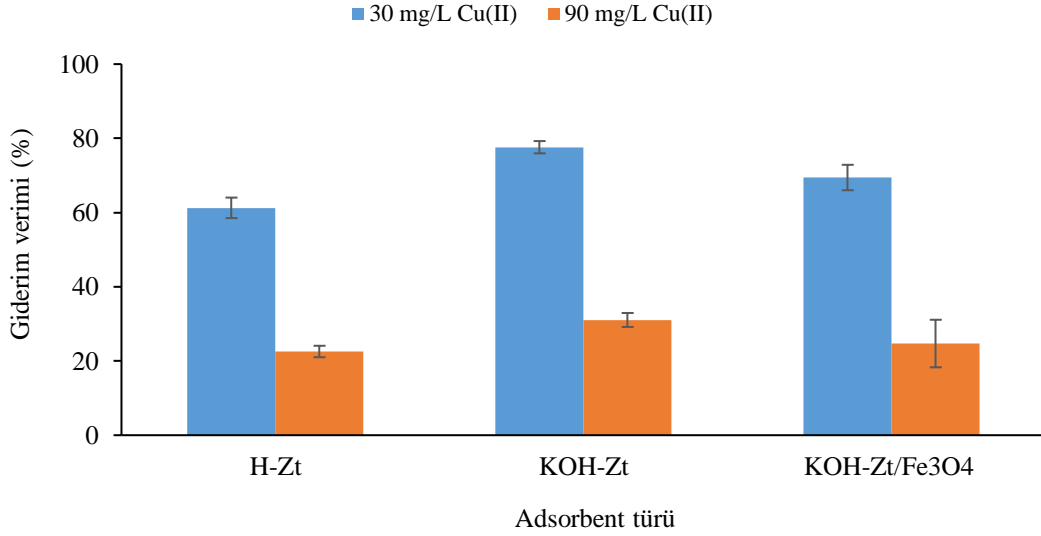
C_e : Denge anında çözeltide kalan metal konsantrasyonu (mg/L),

m: Adsorbent miktarı (g) dir.

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Şartlandırma İşleminin Etkisi

Doğal zeolit materyale uygulanan şartlandırma işleminin etkisini belirlemek ve arıtma verimine olan katkısını incelemek için zeolit farklı işlemlere maruz bırakılmıştır. Şartlandırma sonrası 30 ve 90 mg/L olmak üzere iki farklı Cu(II) konsantrasyonunda yapılan arıtma işleminden sonra elde edilen Cu(II) giderim verimleri Şekil 1'de verilmiştir. Şekil 1 incelendiğinde KOH ile yapılan kimyasal şartlandırma işleminin arıtma verimi açısından daha etkili olduğu görülmektedir. 30 mg/L Cu(II) konsantrasyonunda H-Zt, KOH-Zt ve KOH-Zt/Fe₃O₄ için sırasıyla % 61,26, % 77,61 ve % 69,44 verim elde edilmiştir. 90 mg/L Cu(II) konsantrasyonunda ise bu değerler % 22,55, % 31,06 ve % 24,70 şeklindedir. Konsantrasyon arttıkça verim azalmakla birlikte şartlandırma işleminin adsorbent verimini artırdığı görülmüştür. En iyi sonuç KOH-Zt adsorbent ile elde edilmiştir.



Şekil 1. Şartlandırma işleminin Cu(II) giderim verimine etkisi

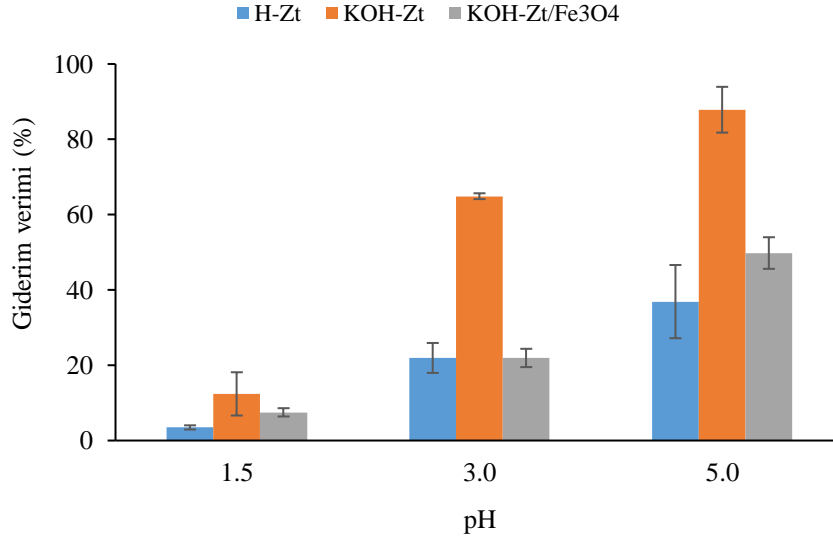
3.2. Başlangıç Çözelti pH'sının Etkisi

Çözelti pH'sı adsorbent adsorpsiyon kapasitesini etkileyecek en önemli faktörlerden birisidir. pH, artılmak istenen kirleticinin iyonizasyon derecesini ve sorbent yüzey özelliğini etkileyebilir (Hui ve ark., 2005). Çünkü adsorbent zeta potansiyeli ve katyonların iyonizasyon derecesi çözeltinin pH seviyesi ile orantılıdır (Korkmaz ve ark., 2012). Adsorbent yüzeyindeki aktif bölgeler için ağır metal katyonları ile hidrojen iyonlarının rekabeti adsorbent adsorpsiyon yeteneği üzerine etki edebilir (Elboughdiri, 2020).

Farklı pH değerlerinde (1,5-3,0-5,0) adsorbent üzerine Cu(II) iyonlarının adsorpsiyonuna pH'ın etkisi çalışılmış ve elde edilen sonuçlar Şekil 2'de verilmiştir. Şekil 2'den pH arttıkça giderim veriminin arttığı görülmüştür. Şekil 2'ye göre pH 1,5'tan 5'e arttığında adsorpsiyon verimi H-Zt, KOH-Zt ve KOH-Zt/Fe₃O₄ için sırasıyla %3,48'den 36,89'a, %12,38'den 87,85'e ve %7,48'den 49,79'a yükselmiştir. Çözelti pH'sındaki artış ağır metal giderim verimliliğini de artırmış; pH 5'de en yüksek adsorpsiyon verimine ulaşılmıştır. Ancak çözeltinin başlangıç pH'ı 5'i geçtiği zaman bakır çökmesinin meydana geldiği bilinmektedir. Bu nedenle bu pH değerinin üzerinde çalışma yapılmamış, daha sonraki adsorpsiyon deneyleri pH 5'te gerçekleştirilmiştir. Benzer sonuçlar Hui ve ark., (2005) tarafından zeolit 4A ile sucul çözülden karışık metal iyonlarının (Co⁺², Cr⁺³, Cu⁺², Zn⁺² ve Ni⁺²) adsorpsiyon prosesiyle arıtılması için gerçekleştirilen çalışmada da görülmüştür. Yine aynı şekilde doğal klinoptilolit ile Cr⁺³ ve Cu⁺² iyonlarının adsorpsiyonu için yapılan çalışmada da benzer sonuçlar vurgulanmıştır (Inglezakis ve ark., 2003). Bu çalışma ile elde ettiğimiz sonuçlar literatür

değerlendirmesinden elde edilen diğer bulgular ile de uyumludur (Korkmaz ve ark., 2012; Şenel, 2020; Canpolat ve ark., 2022).

Ayrıca Şekil 1 ve 2’de elde edilen sonuçlar göz önüne alınarak bundan sonraki çalışmalara KOH-Zt ile devam edilmesine karar verilmiştir.

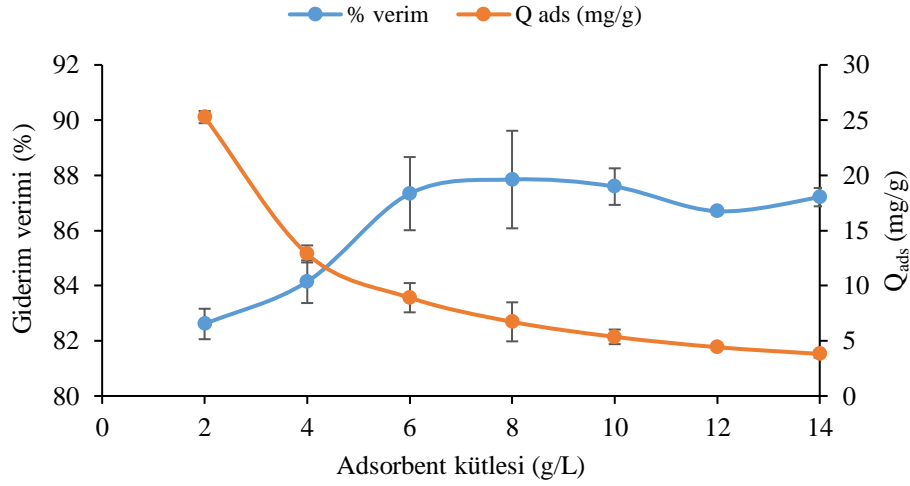


Şekil 2. Giderim verimi üzerine çözelti pH’sının etkisi

3.3. Adsorbent Dozajının Etkisi

Tablo 2’de verilen deneysel koşullar altında adsorpsiyon verimi ve adsorpsiyon kapasitesi üzerine adsorpsiyon kütlelerinin etkisi araştırılmış, sonuçlar Şekil 3’te verilmiştir. Şekil 3’teki sonuçlar açıkça gösteriyor ki adsorbent kütlesi arttığı zaman Cu(II) iyonlarının adsorpsiyonu da artmıştır. Bu durumun sebebi adsorbent kütlesi arttığı için daha fazla adsorpsiyon bölgesinin adsorbent yüzeyinde elde edilebilir olması ve böylece artırılan toplam metal miktarının da artmasıdır. Şekil 3’ten adsorbent dozajındaki 2 g/L’den 6 g/L’ye artış ile verimin % 82,61’den %87,33’e yükseldiği ancak daha sonra sabit kaldığı ve belli bir dozdan sonra giderim veriminin azaldığı görülmektedir. Giderim verimi göz önüne alınarak optimum kütle konsantrasyonu 6 g/L olarak belirlenmiştir.

Adsorpsiyon kapasitesi ise adsorbent dozajı ile birlikte azalmıştır. Öyle ki kütle 2 g/L’den 6 g/L’ye arttığında kapasite değeri 25,27 mg/g’dan 8,91 mg/g’a azalmış, kütle 14 g/L olduğunda bu değer 3,81 mg/g’a düşmüştür. Adsorbent miktarı arttıkça, adsorbent kapasitesi azalmaktadır. Bunun nedeni adsorbentin adsorplayıcı bölgelerinin yeteri kadar bakır ile doygunluğa ulaşamamasındandır. Bakır giderimi için yapılan farklı adsorpsiyon çalışmalarından da benzer sonuçlar elde edilmiştir (Çoruh ve ark., 2009; Geyikçi ve ark., 2013; Darama ve Çoruh, 2020).

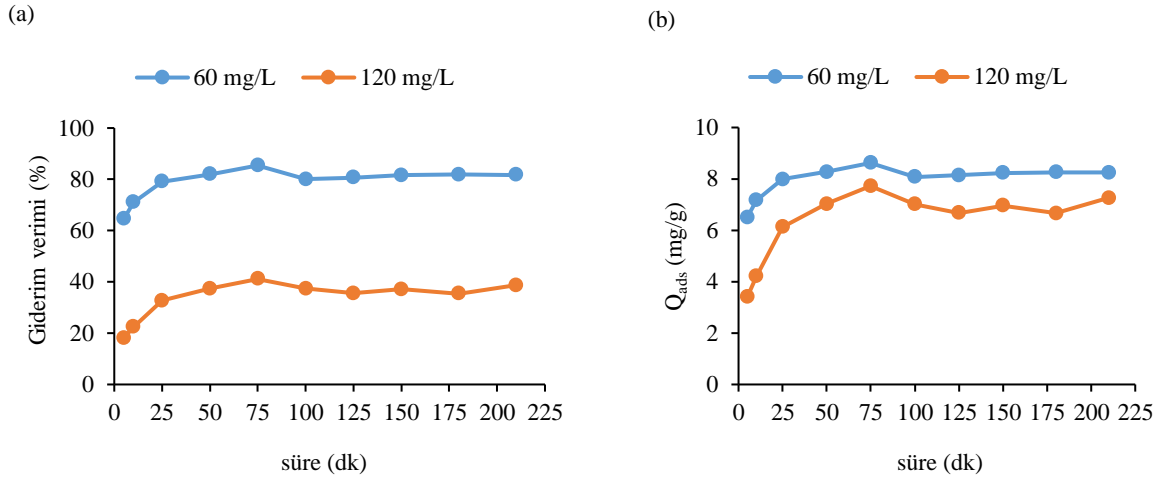


Şekil 3. Adsorbent kütlesinin giderim verimi ve adsorpsiyon kapasitesine etkisi

3.4. Temas Süresinin Etkisi

Sürenin adsorpsiyon prosesine olan etkisini belirlemek için iki farklı konsantrasyonda çalışılmış, sonuçlar Şekil 4'te verilmiştir. Düşük konsantrasyonda (60 mg/L) prosesin çok hızlı gerçekleştiği ilk 10 dakikada %71 giderim verimine ulaşıldığı, ilk 75 dakika içinde ise maksimum %85,39 arıtım veriminin gerçekleştiği görülmektedir. Sonrasında verim bir miktar düşmekle birlikte sabit kalmıştır. Daha yüksek Cu(II) konsantrasyonunda (120 mg/L) arıtım veriminin %50 oranla azaldığı 75 dk içinde maksimum %41 Cu(II) arıtımının sağlandığı ardından giderim veriminin bir miktar düşüş ve hafif dalgalanmalar ile birlikte sabit kaldığı görülmektedir. Daha ilk dakikalarda adsorbent yüzeyindeki bölgelerin fazlalığı ve bu bölgelerin doymamış olması, ilk dakikalardan elde edilen yüksek giderim verimlerinin sebebidir. Fakat daha sonra bu bölgelerin azalması ve Cu(II) ile dolmasından ötürü Cu(II) gideriminde kademeli bir azalma ve dengelenme gerçekleşmiştir. Benzer sonuçlar atıksudan renk giderimini amaçladığımız diğer çalışmalarımızda da görülmüştür (Şentürk and Alzein, 2020a, 2020b; Şentürk and Yıldız, 2020a).

Adsorpsiyon kapasitesinin ise artan temas süresi ile bir miktar artıp sabit kaldığı görülmektedir (Şekil 4b). En iyi giderimin sağlandığı 75. dakikada adsorpsiyon kapasitesi 60 mg/L Cu(II) için 8,62 mg/g, 120 mg/L Cu(II) için 7,72 mg/g'dır. Yukarıda yapmış olduğumuz açıklamalar ve Şekil 4'deki sonuçlar dikkate alındığında denge süresinin 75 dk alınmasının uygun olacağına karar verilmiştir.



Şekil 4. KOH-Zt ile Cu(II) adsorpsiyonuna temas süresinin etkisi

3.4.1. Kinetik Çalışmalar

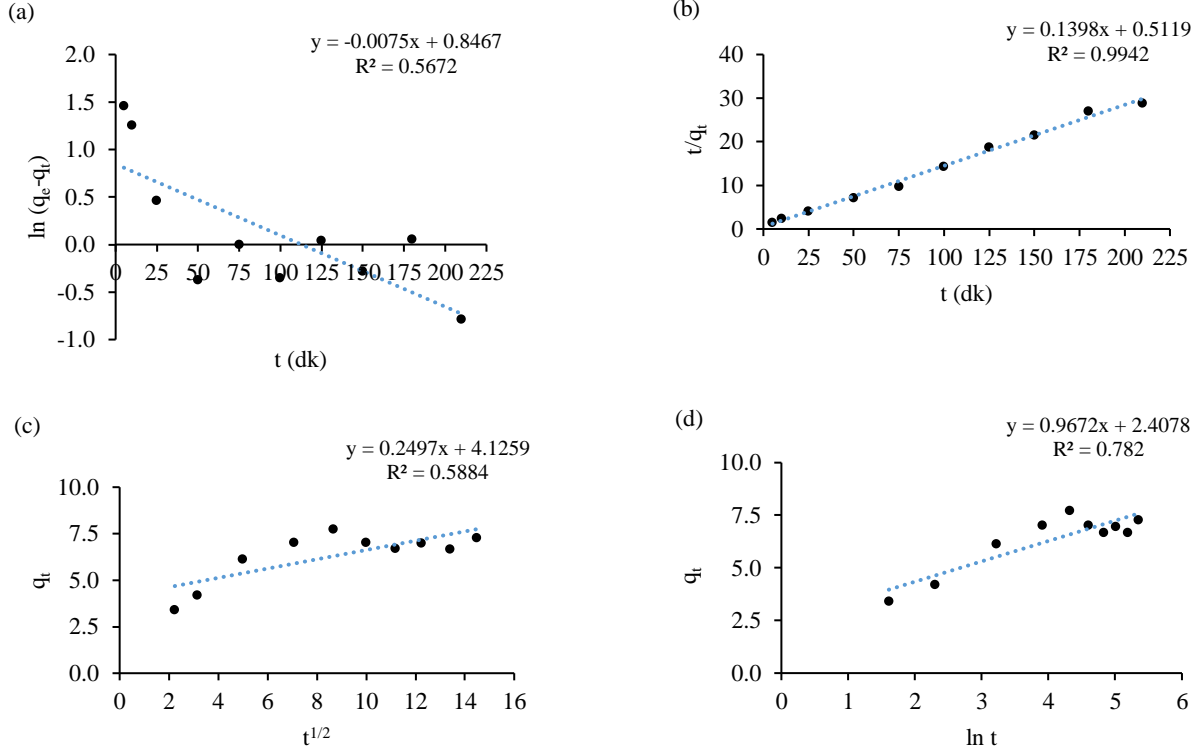
Kinetik çalışmalar, adsorpsiyon işleminin hızını belirleyen aşamaların bilinmesi, ayrıca prosesin modeli ve adsorbent ile adsorbat arasında oluşacak bağın türü hakkında bilgi sağlanması açısından önemlidir. Bu amaçla farklı kinetik modeller kullanılmaktadır. Adsorpsiyon hızını belirlemek için kullanmış olduğumuz kinetik modeller ve bu modellerde kullanılan eşitlikler Tablo 3'te verilmiştir. Tablo 3'teki model denklemleri ve sabitler ise Şekil 5'te verilen kinetik modellere ait grafikler yardımıyla hesaplanmıştır.

Tablo 3'teki R² verilerinden adsorpsiyonun sözde ikinci derece reaksiyon kinetiği modeli ile uyumlu olduğu görülmektedir (R²=0.9942). Sözde ikinci dereceden kinetiğe göre hesaplanan adsorpsiyon kapasitesi (q_{e hesap}= 7,153 mg/g), Şekil 5'te gösterilen deneysel q_e değeri (7,018 mg/g) ile oldukça yakınlık göstermiştir.

Tablo 3. Adsorpsiyon kinetiklerinin modellenmesi (Cu(II) kons. 100 mg/L; sıcaklık 25°C; adsorbent dozajı 6 g/L)

Model	Birinci Dereceden Kinetik Modeli (Lagergren eşitliği)	Sözde İkinci Dereceden Kinetik Modeli (Pseudo-second-order model)
Eşitlik	$\ln(q_e - q_t) = \ln q_e - k_1 t$ (3) (Ho and McKay, 1999)	$t/q_t = (1/k_2 q_e^2) + t/q_e$ (4) (Ho and McKay, 1999)
Eksenler	$\ln(q_e - q_t)$ vs. t	(t/q_t) vs. t
Model denklemleri	$\ln(q_e - q_t) = 0.8467 - 0.0075t$	$t/q_t = 0.5119 + 0.1398t$
R ²	0.5672	0.9942
Sabit	$k_1 = -0.0058 \text{ min}^{-1}$	$k_2 = 0.102 \text{ mg/g min}$
Model	Partikül İçi Difüzyon Modeli (Weber-Morris)	Elovich Modeli
Eşitlik	$q_t = k_d t^{1/2} + C$ (5) (Weber and Morris, 1963)	$q_t = \beta \ln(\alpha) + \beta \ln t$ (6) (Wu ve ark., 2009)

Eksenler	q_t vs. $t^{1/2}$	q_t vs. $\ln t$
Model denklemi	$q_t = 0.2497 t^{1/2} + 4.1259$	$q_t = 0.9672 \ln(\alpha) + 0.9672 \ln t$
R^2	0.5884	0.782
Sabit	$k_d = 0.2497 \text{ mg/g min}^{1/2}$	$\alpha = 12.054 \text{ mg/g min}$ $\beta = 0.9672 \text{ g/mg}$

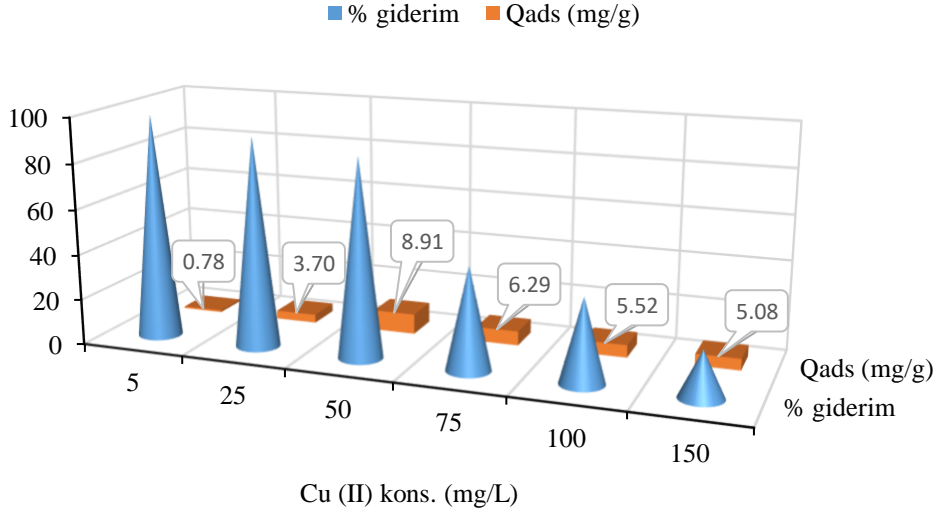


Şekil 5. (a) Birinci derece reaksiyon kinetiği modeli (b) Sözcde ikinci derece reaksiyon kinetiği modeli (c) Partikül içi difüzyon modeli (d) Elovich modeli

3.5. Başlangıç Bakır Konsantrasyonunun Giderime Etkisi

Başlangıç bakır konsantrasyonunun giderim verimine etkisini incelemek için 5-150 mg/L Cu(II) konsantrasyon aralığında çalışılarak sonuçlar Şekil 6'da verilmiştir. Cu(II) konsantrasyonu arttıkça giderim veriminin azaldığı görülmektedir. 5 g/L Cu(II)'de %99 giderim sağlanırken 150 mg/L Cu(II)'de sadece %20,25 giderim sağlanmıştır. 50 mg/L Cu(II) konsantrasyonu sonrası verimin belirgin ve kademeli bir şekilde azaldığı görülmektedir. Bakır konsantrasyonu düşük olduğunda KOH-Zt üzerindeki aktif bölgelere bakır iyonlarının hareketi ve bağlanması daha kolay olduğundan suda serbest halde kalan Cu(II) iyonu miktarı da azalmaktadır. Fakat konsantrasyon arttığında adsorbent yüzeyindeki aktif bölgelerin daha fazla Cu(II) iyonu ile işgal edilmesi ve bu bölgelerin doygunluğa ulaşmasından ötürü adsorbent arıtma verim yüzdesi azalma göstermiştir.

Adsorpsiyon kapasitesi ise 50 mg/L Cu(II) konsantrasyonunda 8,91 mg/g maksimum değerde iken artan konsantrasyonla azalarak 150 mg/L Cu(II) konsantrasyonunda 5,08 mg/g değerine düşmüştür. Başlangıç Cu(II) konsantrasyonundaki artış ilk aşamada adsorpsiyon kapasitesindeki artışla sonuçlanmıştır ancak daha sonra aktif bölgelerin elde edilebilirliğine bağlı olarak ağır metal giderim verimliliğinde ve adsorplama kapasitesinde azalma görülmektedir. Elde edilen sonuçların literatürle uyumlu olduğu görülmüştür (Elboughdiri, 2020).



Şekil 6. Cu(II) konsantrasyonunun giderim verimi ve giderim kapasitesine etkisi

3.5.1. İzoterm Çalışmaları

Çözeltide kalan kirletici konsantrasyonu (C_e , mg/L) ve adsorbente tutunan kirletici konsantrasyonu (q_e , mg/g) dengeye ulaştığı anda adsorbent ve adsorbat arasındaki ilişki adsorpsiyon izotermi ile açıklanır. Adsorbentin yüzeyinde oluşan adsorpsiyon olayının anlaşılabilmesi için farklı izoterm modeller kullanılmaktadır. Langmuir, Freundlich, Dubinin-Radushkevich (D-R) ve Temkin izoterm modelleri kullanılarak bu çalışma için adsorbent (KOH-Zt) ve adsorbat (Cu(II)) ilişkisi incelenmiştir. İzoterm eşitlikleri ve bu eşitliklere göre hesaplanan katsayılar Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4 İzoterm parametreleri

İzoterm	Birim	Bilgi
Langmuir model		$C_e/q_e = 1/k_L q_{max} + C_e/q_{max}$ (7) (Langmuir, 1918)
Eksenler	-	(C_e/q_e) vs. C_e
Model denklemi	-	$C_e/q_e = 0.1943C_e - 0.335$
q_{max}	(mg/g)	5.146
k_L	(L/mg)	0.58
R^2	-	0.9934

$R_L = 1/1 + (k_L C_i)$		0.033	
$C_i = 50 \text{ mg/L için}$			
Freundlich model			
Eksenler	-	$\ln q_e = \ln K_F + 1/n \ln C_e$	(8) (Freundlich 1906)
Model denklemi	-	$\ln q_e \text{ vs. } \ln C_e$	
K_F	(mg/g)	$\ln q_e = 0.7281 + 0.2815 \ln C_e$	
n	mg/[g (L/mg) ^{1/n}]	2.071	
R^2	-	3.55	
D-R model			
Eksenler	-	$\ln q_e = \ln q_m - K_{DR} \varepsilon^2$	(9) (Dubinin ve ark., 1947)
Model denklemi	-	$\ln q_e \text{ vs. } \varepsilon^2$	
K_{DR}	(mol ² /kJ ²)	$\ln q_e = 1.7942 - 2E-07 \varepsilon^2$	
$E = 1/\sqrt{2} K_{DR}$	(kJ/mol)	2E-07	
R^2	-	1.581	
Temkin model			
Eksenler		$q_e = B \ln A + B \ln C_e$	(10) (Temkin 1941)
Model denklemi		$q_e \text{ vs. } \ln C_e$	
A	(L/g)	$q_e = 0.7132 \ln C_e + 3.3346$	
B	(J/mol)	107.29	
R^2		0.7132	
		0.3437	

Tablo 4'te verilen izoterm modellerinin her biri adsorpsiyon mekanizmasını daha iyi anlamamız için bize farklı bilgiler sunmaktadır. Üniform ve sınırlı adsorpsiyon alanına sahip tek tabakalı adsorpsiyon, Langmuir izoterm modeli ile tanımlanır. Heterojen yüzeyler için çok tabakalı adsorpsiyon ise Freundlich izoterm modeli ile tanımlanır. Bu izoterm, çözeltideki kirletici konsantrasyonu ile adsorbent yüzeyine tutunan kirletici konsantrasyonu arasında doğrudan ilişki olduğunu biri arttıkça diğ erinin de arttığını varsayar (Hamdaoui and Naffrechoux, 2007; Özüdoğ ru and Merdivan, 2017; Cebeci ve Şentürk 2020). Heterojen yüzey üzerindeki potansiyel değişim teorisine dayanan Dubinin-Radushkevich (D-R) izoterm modeli, adsorbentin gözenekli yüzeyine kirletici geçişini inceler. Ayrıca adsorpsiyonun fiziksel ya da kimyasal adsorpsiyon mu olduğunu anlamamızı sağlar (Dubinin ve ark., 1947). Temkin izoterm modeli, adsorbe olan maddeler arasındaki etkileşimi açıklar. Bu izoterm modeli adsorbat madde içerisindeki tüm moleküllerin adsorpsiyon entalpisi düşünülerek modellenmiştir. Adsorpsiyon ısısının lineer olduğu, bağ enerjisinin maksimum bağ enerjisine kadar üniform olarak dağıldığı varsayılır.

İzoterm modellemeleri sonucunda hesaplanan ve Tablo 4'te verilen korelasyon katsayısı değerlerine (R^2) göre adsorpsiyonun Langmuir izoterm modeli ile uyumlu olduğu ($R^2 = 0.9934$) görülmektedir. Langmuir modelinden türetilen boyutsuz parametre olan R_L çalışılan tüm konsantrasyonlarda 0-1 arasında değer almıştır. Bu bilgi bize prosesin kendiliğinden gerçekleştiğini ve elverişli olduğunu göstermektedir (Jianlong ve ark., 2000; Hamdaoui and Naffrechoux, 2007).

Adsorpsiyon kapasitesi (K_F) ve adsorpsiyon yoğunluğu (n) katsayıları hesaplanarak Tablo 4'te verilmiştir. Adsorpsiyonun tercih edilebilir olması için n değeri 1-10 arasında değişen değerler almalıdır. Ayrıca $n > 1$ olması adsorbent yüzeyinde çoklu tabaka oluşumunu gösterir. Yüzey heterojenite faktörü ise $1/n$ ile gösterilir. $1/n$ değeri sıfıra yaklaştıkça yüzey heterojenitesi artmaktadır

(Şentürk and Yıldız, 2020b). Tablo 4'e baktığımızda Freundlich modelinden hesaplanan n değeri 3,55, $1/n$ değeri ise 0,28'dir. Buradan KOH-Zt adsorbent yüzeyinin heterojen olduğu ve KOH-Zt üzerine Cu(II) adsorpsiyonunun tercih edilebilir olduğu anlaşılır. Ayrıca prosesin fiziksel yada kimyasal oluşunu göstermek için n değeri kullanılır. $n < 1$ kimyasal prosesi, $n \geq 1$ fiziksel prosesi gösterir (Senturk ve ark., 2016). Bu çalışmada elde edilen n sabiti (3,55), KOH-Zt üzerine Cu(II) adsorpsiyonunun fiziksel prosesle gerçekleştiğini göstermektedir.

D-R izoterm modelinde E değeri < 8 kJ/mol olması prosesin fiziksel, 8-16 kJ/mol arasında olması ise kimyasal proses olduğunu göstermektedir (Şentürk and Alzein, 2020b). Bu çalışmada D-R model için hesaplanan E değeri 1,581 kJ/mol'dür. Bu değer adsorpsiyonun fiziksel adsorpsiyon prosesi ile gerçekleştiğini göstermektedir ve Freundlich modeli ile elde ettiğimiz bilgiyi doğrulamaktadır.

Farklı adsorbent materyaller ile Cu(II) giderim çalışmaları da yapılmış, bu çalışmalara dair birkaç veri Tablo 5'te verilmiştir. Sonuçlar değerlendirildiğinde KOH-Zt adsorbentin bakır gideriminde diğer doğal materyaller kadar verimli ve etkili olduğu görülmektedir.

Tablo 5. Kullanılan farklı adsorbentlerin Cu(II) adsorpsiyon kapasiteleri

Adsorbent	Q_{ads} (mg/g)	Kaynak
NaOH-klinoptilolit	48,45	(Korkmaz ve ark., 2012)
Bentonit	52,63	(Şenol and Açikel, 2018)
Perlit	0,107	(Bakici Tanaydin ve ark., 2020)
TiO ₂ /A.Ç. nanopartikülü	47,61	(Keklikcioğlu Çakmak and Topal Canbaz, 2020)
Boksit - Montmorillonit	9,115 - 8,136	(Yazici Karabulut and Atasoy, 2019)
Brassica Napus bitki sapları	9,37	(Şimşek, 2018)
H ₂ SO ₄ ile aktive edilmiş kil	11,06	(Onursal ve ark., 2020)
Kauçuk (<i>Hevea Brasiliensis</i>) yaprak tozu	9,074	(Rukayat ve ark., 2021)
Talaş	3,6	(Argun ve ark., 2007)
Kenevir lifi	4,23	(Shukla and Pai, 2005)
Talaş-çitosan nanokompozit	7,32	(Kayalvizhi ve ark., 2022)
KOH-Zt	8,91	Bu çalışma

3.6. Sıcaklığın Etkisi

Sıcaklık, sorbentlerin sorpsiyon kapasitesi üzerinde belirgin bir etkiye sahiptir. Seçilen üç farklı sıcaklık değerinde (5, 25, 40°C) Cu(II) adsorpsiyonu üzerine sıcaklığın etkisi çalışılmıştır (Tablo 6). Tablo 6'da görüldüğü gibi, sıcaklık artışı adsorpsiyon verimi ve kapasitesini artırmıştır. Ancak artan Cu(II) konsantrasyonunda arıtım verimi daha düşüktür. Proses suyu sıcaklığının artırılması durumunda oluşacak maliyet artışı da göz önüne alındığında en uygun arıtma sıcaklığı 25°C olarak

belirlenmiştir. Sıcaklık artışı ile görülen verim artışı, Cu(II) ve KOH-Zt arasında endotermik reaksiyonun varlığını göstermektedir.

Tablo 6. Sıcaklığın etkisi

Konsantrasyon (mg/L)	Aritma verimi (%)			Q _{ads} (mg/g)		
	5 °C	25 °C	40 °C	5 °C	25 °C	40 °C
60	38,57	85,40	91,98	3,89	8,62	9,28
120	3,88	41,09	49,82	0,73	7,72	9,36

3.6.1. Termodinamik Çalışma

Adsorpsiyon için termodinamik parametreler aşağıdaki eşitlikler yardımı ile hesaplanarak termodinamik parametreler Tablo 7’de verilmiştir (Yildiz, 2017). ΔH° ve ΔS° değerleri $\ln K_c$ ’ye karşı $1/T$ grafiğinin eğim (ΔH°) ve kayma (ΔS°) değerlerinden hesaplanmaktadır.

$$\Delta G^\circ = -RT \ln K_c \quad (11)$$

$$\Delta G^\circ = \Delta H^\circ - T \Delta S^\circ \quad (12)$$

$$\ln K_c = \frac{\Delta S^\circ}{R} - \frac{\Delta H^\circ}{RT} \quad (13)$$

Burada

ΔG° = Gibbs serbest enerji değişimi; ΔH° = Entalpi değişimi; ΔS° = Entropi değişimi; R = Evrensel gaz sabiti; T = Sıcaklık (K) (Senturk ve ark., 2016).

Tablo 7. Termodinamik parametreler

C _o (mg/L)	ΔG° (kJ/mol)			ΔS° (J/mol K)	ΔH° (kJ/mol)
	278 K	298 K	313 K		
60	1,076	-4,376	-6,449	191,89	53,933
120	7,419	0,893	0,019	191,308	59,785

Tablodan sıcaklık arttıkça ΔG° değerlerinin azaldığı görülmektedir. Negatif ΔG° değerleri adsorpsiyonun spontan ve termodinamik olarak tercih edilebilir olduğunu göstermekte iken, pozitif ΔH° değerleri reaksiyonun endotermik olduğunu bize göstermektedir. Pozitif ΔS° değerleri adsorpsiyon prosesi süresince tüm sistemin rastgeleliği ve adsorbentin Cu(II) çekim gücü ile ilişkili olabilir (Li ve ark., 2008).

4. Sonuçlar ve Öneriler

Doğal klinoptilolit materyaline farklı şartlandırma işlemi uygulayarak Cu(II) gideriminin araştırıldığı bu çalışmada, KOH-Zt adsorbentin adsorpsiyon için daha verimli olduğu, ancak Cu(II) konsantrasyonu arttıkça giderim verimliliğinin azaldığı görülmüştür. Yapılan izoterm çalışmalarında denge verisinin Langmuir izoterm modeli ile uyumlu olduğu belirlenmiştir. Çalışılan konsantrasyon aralığında KOH-Zt adsorbent için belirlenen Langmuir adsorpsiyon kapasitesi 5,146 mg/g'dır. İkinci dereceden reaksiyon kinetik modeli sorpsiyon verisi ile en iyi korelasyonu sağlamıştır. Termodinamik çalışmalar adsorpsiyonun spontan, rastgele ve endotermik olduğunu göstermiştir. Çalışma sonucunda çokça bulunan ve verimli bir materyal olan klinoptilolit üzerine yapılacak kimyasal şartlandırma işlemi ile Cu(II) içeren atıksuların ekonomik ve verimli bir şekilde arıtılabileceği anlaşılmıştır. Bu çalışma, daha sonra yapılacak araştırmalar için bir temel oluşturmak amacıyla yapılmıştır. Yapılacak olan daha ileri seviye araştırmalarda farklı şartlandırma işlemleri adsorbent kapasitesine etkisi açısından araştırılabilir. Ayrıca adsorpsiyon mekanizmasını daha iyi anlamak ve yorumlamak için karakterizasyon çalışmaları yapılabilir. Elde edilen yeni adsorbentin ticari ölçekte kullanıma uygunluğunu araştırmak için yeniden kullanılabilirlik çalışmaları ve maliyet araştırması da yapılmalıdır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.



Kaynaklar

- Amin, M. T., Alazba, A. A., and Shafiq, M. (2017). Effective adsorption of methylene blue dye using activated carbon developed from the rosemary plant: Isotherms and kinetic studies. *Desalination and Water Treatment*, 74, 336-345.
- Argun, M. E., Dursun, S., Ozdemir, C., and Karatas, M. (2007). Heavy metal adsorption by modified oak sawdust: Thermodynamics and kinetics. *Journal of Hazardous Materials*, 141(1), 77-85.
- Bakici Tanaydin, Z., Tanaydin, M. K., Demirkiran, N., and İnce, M. (2020). Adsorption of copper and cadmium with perlite and comparison of adsorption properties. *International Journal of Pure and Applied Sciences*. 6(2), 208-218.
- Canpolat, M., Altunkaynak, Y., and Yavuz, Ö. (2022). Studies on the equilibrium, kinetic, and thermodynamic properties of waste orange peel in the removal of copper (II) ions from aqueous solutions. *Afyon Kocatepe University Journal of Sciences and Engineering*, 22(3), 498-507.
- Cebeci, M. S., and Şentürk, İ. (2020). Tarımsal atık materyal kullanılarak sucul çözültiden Chrysoidine Y boyasının giderimi. *International Journal of Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies*, 4(1), 18-28.
- Cheng, D., Ngo, H. H., Guo, W., Chang, S. W., Nguyen, D. D., Zhang, X., Varjani, S., and Liu, Y. (2020). Feasibility study on a new pomelo peel derived biochar for tetracycline antibiotics removal in swine wastewater. *Science of The Total Environment*, 720, 137662.

- Çoruh, S., Turan, G., Akdemir, A., and Ergun, O. N. (2009). The influence of chemical conditioning on the removal of copper ions from aqueous solutions by using clinoptilolite. *Environmental Progress & Sustainable Energy*, 28(2), 202-211.
- Darama, S. E., and Çoruh, S. (2020). Investigation of the removal of malachite green and copper ions by dual system using natural and biochar pea shells. *Bulletin of Biotechnology*, 1(2), 46-51.
- Dubinin, M. M., Zaverina, E. D., and Radushkevich, L. V. (1947). Sorption and structure of active carbons 1. adsorption of organic vapors. *Zhurnal Fizicheskoi Khimii*, 21, 1351-1362.
- Elboughdiri, N. (2020). The use of natural zeolite to remove heavy metals Cu (II), Pb (II) and Cd (II), from industrial wastewater. *Cogent Engineering*, 7(1), 1782623.
- Freundlich, H.M.F. (1906). Over the Adsorption in Solution. *The Journal of Physical Chemistry*, 57, 385-471.
- Geyikçi, F., Çoruh, S., and Kılıç, E. (2013). Development of experimental results by artificial neural network model for adsorption of Cu²⁺ using single wall carbon nanotubes. *Separation Science and Technology*, 48(10), 1490-1499.
- Hamdaoui, O., and Naffrechoux, E. (2007). Modeling of adsorption isotherms of phenol and chlorophenols onto granular activated carbon Part I. Two-parameter models and equations allowing determination of thermodynamic parameters. *Journal of Hazardous Materials*, 147(1-2), 381-394.
- Ho, Y. S., and McKay, G. (1999). Pseudo-second order model for sorption processes. *Process Biochemistry*, 34(5), 451-465.
- Hui, K. S., Chao, C. Y. H., Kot, S. C. (2005). Removal of mixed heavy metal ions in wastewater by zeolite 4A and residual products from recycled coal fly ash. *Journal of Hazardous Materials*, 127(1-3), 89-101.
- Inglezakis, V. J., Loizidou, M. D., Grigoropoulou, H. P. (2003). Ion Exchange of Pb²⁺, Cu²⁺, Fe³⁺, and Cr³⁺ on natural clinoptilolite: selectivity determination and influence of acidity on metal uptake. *J. Colloid Interface Sci.*, 261, 49-54.
- Jain, M., Yadav, M., Kohout, T., Lahtinen, M., Garg, V. K., and Sillanpää, M. (2018). Development of iron oxide/activated carbon nanoparticle composite for the removal of Cr(VI), Cu(II) and Cd(II) ions from aqueous solution. *Water Resources and Industry*, 20, 54-74.
- Jianlong, W., Yi, Q., Horan, N., and Stentiford, E. (2000). Bioadsorption of pentachlorophenol (PCP) from aqueous solution by activated sludge biomass. *Bioresource Technology*, 75(2), 157-161.
- Kayalvizhi, K., Alhaji, N. M. I., Saravanakumar, D., Mohamed, S. B., Kaviyarasu, K., Ayeshamariam, A., Al-Mohaimed, A. M., AbdelGawwad, M. R., and Elshikh, M. S. (2022). Adsorption of copper and nickel by using sawdust chitosan nanocomposite beads – A kinetic and thermodynamic study. *Environmental Research*, 203, 111814.
- Keklikcioğlu Çakmak, N., and Topal Canbaz, G. (2020). TiO₂ nanopartikülü ve TiO₂/Aktif Çamur sentezi ile sulu çözümlerden Cu (II) iyonlarının adsorpsiyonu. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*. 10(1), 86-98.
- Korkmaz, M., Özmetin, C., Fil, B. A., and Yaşar, Y. (2012). Determination of parameters affecting copper removal from solutions by clinoptilolite: adsorption isotherm and thermodynamic. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 3(1), 47-54.
- Langmuir, I. (1918). The adsorption of gases on plane surfaces of glass, mica and platinum. *Journal of the American Chemical Society*, 40(9), 1361-1403.
- Li, W., Zhang, L., Peng, J., Li, N., Zhang, S., and Guo, S. (2008). Tobacco stems as a low cost adsorbent for the removal of Pb(II) from wastewater: Equilibrium and kinetic studies. *Industrial Crops and Products*, 28(3), 294-302.
- Onursal, N., Dal, M. C., Kul, A. R., and Yavuz, Ö. (2020). Removal of cu(II) ions from aqueous environment via natural mixed clay, examination of isotherm, kinetic and thermodynamic parameters. *Euroasia Journal of Mathematics, Engineering, Natural & Medical Sciences*, 7(9), 85-103.
- Özüdoğru, Y., and Merdivan, M. (2017). Metilen mavisinin modifiye edilmiş *Cystoseira barbata* (STACKHOUSE) C. Agardh kullanılarak biyosorpsiyonu. *Trakya University Journal of Natural Sciences*. 18(2), 81-87.
- Rukayat, O. O., Usman, M. F., Elizabeth, O. M., Abosede, O. O., and Faith, I. U. (2021). Kinetic adsorption of heavy metal (Copper) on rubber (*Hevea Brasiliensis*) leaf powder. *South African Journal of Chemical Engineering*, 37, 74-80.
- San Andres, M. P., Marina, M. I., and Vera, S. (1995). Spectrophotometric determination of Copper(II), Nickel(II), and Cobalt(II) as complexes with sodium diethyldithiocarbamate in the anionic micellar media of dodecylsulfate salts. *Analyst*, 120, 255-259.

- Sentürk, I., Buyukgungor, H., and Geyikci, F. (2016). Biosorption of phenol from aqueous solutions by the *Aspergillus niger* biomass: Comparison of linear and non-linear regression analysis. *Desalination and Water Treatment*, 57(41), 19529-19539.
- Sharma, P., Pandey, A. K., Kim, S.-H., Singh, S. P., Chaturvedi, P., and Varjani, S. (2021). Critical review on microbial community during in-situ bioremediation of heavy metals from industrial wastewater. *Environmental Technology & Innovation*, 24, 101826.
- Shukla, S. R., and Pai, R. S. (2005). Adsorption of Cu(II), Ni(II) and Zn(II) on modified jute fibres. *Bioresource Technology*, 96(13), 1430-1438.
- Şenel, G. U. (2020). Adsorption of Copper (II) from aqueous solution by using carbonized peanut hull: Determination of the equilibrium, kinetic and thermodynamic parameters. *Anadolu Çevre ve Hayvancılık Bilimleri Dergisi*, 5(2), 131-137.
- Şenol, H., and Açikel, Ü. (2018). Investigation of adsorption of Cu (II) heavy metal with bentonite. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 7(2), 231-242.
- Şentürk, İ., and Alzein, M. (2020a). Adsorption of Acid Violet 17 onto acid-activated pistachio shell: Isotherm, kinetic and thermodynamic studies. *Acta Chim. Slov.*, 67(1), 55-69.
- Şentürk, İ., and Alzein, M. (2020b). Adsorptive removal of basic blue 41 using pistachio shell adsorbent—Performance in batch and column system. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 16, 100254.
- Şentürk, İ., and Yıldız, M. R. (2020a). Highly efficient removal from aqueous solution by adsorption of Maxilon Red GRL dye using activated pine sawdust. *Korean Journal of Chemical Engineering*, 37(6), 985-999.
- Şentürk, İ., and Yıldız, M. (2020b). Doğal ve aktive edilen çam talaşı ile sucul çözültiden adsorpsiyonla bazik sarı 28 giderimi. *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 9(2), 746-759.
- Şimşek, Y. (2018). Sulu çözültiden bakır (II) adsorpsiyon sürecinin optimizasyonunda yüzey yanıt metodolojisinin uygulanması. *Academic Platform Journal of Engineering and Science*, 6(3), 182-191.
- Temkin, M. I. (1941). Adsorption Equilibrium and the Kinetics of Processes on Nonhomogeneous Surfaces and in the Interaction between Adsorbed Molecules. *Zhurnal Fiziche- skoi Khimii*, 15, 296-332.
- Topal Canbaz, G., Açikel, U., and Sağ Açikel, Y. (2022). ZnO-Kitosan kompoziti ile ağır metal giderimi. *European Journal of Science and Technology*, 35, 603-609.
- USEPA 2002. National Recommended Water Quality Criteria. Office of Water, 822-R-02-047.
- Weber, W. J. and Morris, J. C. (1963) Kinetics of Adsorption on Carbon from Solutions. *Journal of the Sanitary Engineering Division*, 89, 31-39.
- Wu, F. C., Tseng, R. L., and Juang, R. S. (2009). Characteristics of Elovich equation used for the analysis of adsorption kinetics in dye-chitosan systems. *Chemical Engineering Journal*, 150(2-3), 366-373.
- Yazici Karabulut, B., and Atasoy, A. D. (2019). Ağır metallerin çeşitli gözenekli malzemeler üzerinde adsorpsiyonu. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 23(2), 427-432.
- Yıldız, S. (2017). Kinetic and isotherm analysis of Cu(II) adsorption onto almond shell (*Prunus Dulcis*). *Ecological Chemistry and Engineering S*, 24(1), 87-106.
- URL-1: https://www.rotamining.com/wp-content/uploads/2017/07/ROTA_URUNBILGISI.pdf, (Erişim Tarihi: 22 Ağustos 2022).

Yapıştırma ile Oluşturulmuş Al-Çe Katmanlı Sacların Dizilime Bağlı Olarak Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi

Cengiz Görkem DENGİZ^{1*} , Kemal YILDIZLI² 

Öz

Katmanlı saclar iki veya daha fazla metalin farklı yöntemler ile birleştirilmesi ile oluşturulan kompozit yapılardır. Sac metallere haddeleme yöntemi ile üretildikleri için yöne bağlı olarak farklı mekanik özellikler gösterebilirler. Dolayısıyla bu sacların birleştirilmesi ile oluşturulan katmanlı sacların da dizilim yönlerine göre farklı özellik göstermesi beklenir. Bu çalışma kapsamında alüminyum ile çelik sacların birleştirilmesi ile oluşturulmuş katmanlı sacların mekanik özellikleri incelenmiştir. Çalışmada öncelikle tekil ve katmanlı sacların mekanik özellikleri çekme testi ile belirlenmiştir. Çekme testi sonucunda elde edilen akma gerilmesi, kopma dayanımı, uzama miktarı, pekleşme üsteli gibi farklı parametreler karşılaştırılmıştır. Ayrıca sacların anizotropi katsayıları belirlenerek derin çekme işlemlerinde oluşabilecek olan kulaklanma durumu hakkında yorum yapılmıştır. Çalışma sonucunda katmanlı sacların mekanik özelliklerinin kendisi oluşturan sacların mekanik özelliklerinin arasında olduğu belirlenmiştir. Ayrıca alüminyum sac üzerine hadde yönüne göre farklı dik, paralel ve diagonal şekilde çelik sac yapıştırılarak anizotropik özelliklerin minimize edilebileceği belirlenmiştir. Dolayısıyla derin çekme gibi sac metal şekillendirme işlemlerinde daha kısa kulak yükseklikleri elde etmek mümkün olmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Katmanlı sac, anizotropi, kulaklanma, derin çekme

Change of Mechanical Properties of Al-St Layered Sheets Formed by Adhesion Depending on Sheet Arrangement

Abstract

Layered sheets are composite structures that combine two or more metals with different methods. Since sheet metals are produced by the rolling method, they can show different mechanical properties depending on the direction. Therefore, it is expected that the layered sheets formed by combining them will show different properties according to their arrangement directions. In this study, the mechanical properties of laminated sheets formed by combining aluminum and steel sheets were investigated. The mechanical properties of single and layered sheets were determined by the tensile test. Different parameters such as yield stress, tensile strength, elongation, and hardening exponent were compared as a result of the tensile test. In addition, anisotropy coefficients of the sheets were determined, and comments were made about the earing situation that may occur in deep drawing processes. As a result of the study, it was determined that the mechanical properties of the layered sheets are between the mechanical properties of the sheets that form them. In addition, it has been determined that anisotropic properties can be minimized by bonding steel sheets in different alignments on the aluminium sheet according to the rolling direction. Therefore, obtaining shorter ear heights in sheet metal forming processes such as deep drawing will be possible.

Keywords: Layered sheet, anisotropy, earing, deep drawing.

¹Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Samsun, Türkiye, gorkem.dengiz@omu.edu.tr

²Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Samsun, Türkiye, kyildizli@omu.edu.tr

¹<https://orcid.org/0000-0003-1308-3223>

²<https://orcid.org/0000-0001-9532-2560>

1. Giriş

Katmanlı sac, iki veya daha fazla aynı veya farklı metal sacların soğuk haddeleme, basınç kaynağı, sıcak haddeleme veya yapıştırıcı ile yapıştırma gibi çeşitli yöntemler ile üretilmektedir. Bu saclar, tek metal ile sağlanamayacak özellikleri sağlayabilmek amacıyla tercih edilmektedir. Geliştirilen çift katman metalik saclar ile istenilen elektriksel ve termal karakteristik, hafiflik, korozyon dayanımı ve şok emici yapı sağlanabilmektedir. Çok katmanlı sac uygulamalarının temel amacı, farklı metallerin üstün özelliklerini birleştirmek ve şekillendirilebilirliği düşük olan sacın şekil alma kabiliyetini yükseltmektir.

Katmanlı sacların mekanik özellikleri sac metal şekillendirme işlemlerinde elde edilecek sonuçları doğrudan etkilemektedir. Bu sebeple literatürde pek çok araştırmacı katmanlı saclar ile farklı çalışmalar yapmış ve elde ettikleri sonuçları mekanik özellikleri dikkate alarak değerlendirmişlerdir. Fereshteh-Saniee ve ark. (2008), çift katmanlı levhaların derin çekme prosesinde sürtünme koşulları ve tabaka temas koşullarının etkilerini deneysel olarak araştırmışlardır. Ayrıca, hasar oluşabilecek bölgeyi öngörmek için gerilme ve şekil değiştirme dağılımlarını kullanmışlardır. Aghchai ve ark. (2013) malzemelerin mekanik özelliklerinin Al 3004/St 12 çift katmanlı sacın şekillendirilebilirliği üzerindeki etkisini incelemiştir. Maleki ve ark. (2013), analitik, sayısal ve deneysel yaklaşımları kullanarak alüminyum/çelik çift katmanlı sacların haddeleme işleminde yapışma mukavemetini ve kalınlık azalmasını incelemiştir. Yapışma mukavemetinin ve kritik kalınlık azalmasının, katmanların akma dayanımından ve başlangıç kalınlığından önemli ölçüde etkilenebileceğini bildirmişlerdir. Kagzi ve ark. (2016), çift katmanlı sacların geri esneme durumlarını pekleşme ve kalınlıktaki değişimleri dikkate alarak analitik olarak modellemişlerdir. Yapılan çalışma sonucunda araştırmacılar düşük büküm açılarında geri esneme değerlerinin sabit kaldığını göstermişlerdir. Ayrıca yüksek mukavemetli çeliklerin sahip olduğu yüksek geri esneme değerlerinin, ince ve düşük mukavemetli bir sac ile çift katmanlı yapı oluşturularak azaltılabileceğini göstermişlerdir. Uscinowicz (2019), Al/Cu çift katmanlı sacların elastoplastik özelliklerinin hadde yönüne göre değişimini incelemiştir. Çalışmada Al ve Cu saclar soğuk haddeleme yöntemi ile birleştirilmiştir. Farklı kalınlıklarda bakır sac kullanarak farklı kalınlıkta çift katmanlı sac elde edilmiştir. Çalışma sonucunda farklı oranlarda oluşturulmuş çift katmanlı sacların elastoplastik özellikleri hadde yönüne göre yüksek oranda değişiklik gösterdiği ortaya konulmuştur. Ayrıca kompozit malzemeler için geçerli olan karışım kuralının bu malzeme için elastik sabitleri hesaplarken doğru sonuç vermediği gösterilmiştir. Zahedi ve ark. (2019), patlamalı kaynak ile birleştirilmiş Al/Cu çift katmanlı sacların hasar ve boyun verme şekil değiştirmelerini iki farklı dizilimde araştırmışlardır. Oluşturdukları saclara çekme testi ve düzlem dışı gerdirme testi yapmışlardır. Çalışmalarını sonlu elemanlar yöntemi ile destekleyerek sac üzerinde oluşacak olan hasarları doğru bir şekilde tahmin

etmişlerdir. Satheeshkumar ve Narayanan (2014), çelik iki katlı sacların şekillendirilebilirliği için yapışma özelliklerinin önemini araştırmışlardır. Deneysel çekme testlerine dayanarak, sertleştiricinin reçineye oranının artırılmasıyla şekillendirilebilirliğin arttığını göstermişlerdir. Ayrıca, yapıştırıcı ile oluşturulmuş katmanlı sacların, yapıştırıcı kullanılmayan katmanlı saclar veya tek bir saca göre daha iyi boyuna uzama gösterebileceğini belirtmişlerdir. Kim ve ark. (2003), haddeleme ile yapıştırılmış Al/PP/Al (HYLITE®) malzemenin mekanik davranışını belirlemişler ve akış sınır eğrisi ile akma fonksiyonunu hesaplamışlardır. Çalışmalarında sandviç panelin yüksek şekil değiştirme oranı hassasiyetinin olumlu etkisinin, düşük pekleşme üstelinin olumsuz etkisi tarafından nötrlendiğini belirtmişlerdir. Ayrıca sandviç panellerin yüksek şekil alma kabiliyetinin temel nedeninin daha kalın olmalarından kaynaklandığını da ortaya koymuşlardır.

Bu çalışma kapsamında alüminyum ve çelik sacların yapıştırıcı ile birleştirilmesi sonucu oluşan çift katmanlı yapının mekanik özellikleri incelenmiştir. Sacların hadde yönüne göre farklı yönlerde dizilmesi ile oluşturulmuş yeni katmanlı saclara çekme testi yapılarak akma, kopma gerilmesi gibi özellikleri karşılaştırılmıştır. Ayrıca tekil ve çift katmanlı sacların anizotropi katsayıları belirlenerek derin çekme işlemlerinde oluşabilecek kulaklanma durumu açısından değerlendirilmiştir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Katmanlı Sac Bileşenleri

Çalışma kapsamında 0.5 mm kalınlığında DC01 çelik sac, yapıştırma yöntemiyle 1 mm kalınlığında EN AW 5754 alüminyum sac ile birleştirilerek çift katmanlı sac oluşturulmuştur. DC01 çelik sacı şekil alma kabiliyeti yüksek ancak korozyon direnci düşük olup; buzdolabı ve çamaşır makinesi gibi ev eşyalarından, otomotiv sanayine, büro malzemeleri ve aydınlatma ekipmanlarından galvaniz kaplama ürünlerine kadar pek çok yerde kullanılmaktadır. Alüminyum sac ise korozyon dayanımı yüksek, kaynak kabiliyeti iyi, özellikle endüstriyel atmosfere ve deniz suyuna karşı dayanımı yüksektir. Ayrıca yorulma dayanımı yüksek olup, soğuk şekillendirme ve kaplama için uygun bir malzemedir. Çalışmada kullanılan sac metallere ait kimyasal içerikler Tablo 1'de verilmiştir. Sacların kimyasal kompozisyonları Samsun Uluslararası Akredite Metal Metroloji ve Kalibrasyon Laboratuvarında (SAMLAB) Spectrolab marka M12 Hibrit model metal analiz cihazında belirlenmiştir.

Tablo 1. Çelik ve alüminyum sacın kimyasal içerikleri

Malzeme	%C	%Si	%Mn	%P	%Cr	%Ni	%Cu	%Mg	%Ti	%Zn	%V	%Al	%Fe
DC01	0,062	0,017	0,246	0,017	0,039	0,052	0,057	-	-	-	-	0,041	99,46
EN AW 5754	-	0,33	0,2	-	0,05	0,012	0,07	2,7	0,02	0,06	0,017	96,17	0,37

Çelik ve alüminyum sac metallerin yapıştırılmasında poliüretan bazlı Polymex 3002 reçine kullanılmıştır. Reçineye ait firmanın sunmuş olduğu özellikler Tablo 2’de verilmiştir. Yapıştırıcı değişik koşullarda ve farklı sıcaklıklarda kullanılabilir. Elektrik direnci ve dielektrik katsayısı yüksektir. Korozif (asit vb.) maddelere karşı dayanıklıdır. Düşük sıcaklıklarda önemli bir hacim değişikliği göstermeden sertleşmektedir. Katalizörler sayesinde kürlenme süresi kısaltılabilmektedir. Bu yapıştırıcının seçilmesindeki başlıca sebep kürlenme süresinin ayarlanabilmesidir. Ayrıca katalizör sayesinde iki sac arasında hava ile temas olmasa dahi yapıştırıcı kuruyabilmektedir. Diğer taraftan Polymex 3002 ile yapılan denemelerde sertleşme sonrası hava ile temas eden numunelerin gevrekleştiği görülürken sacın arasında kalan yapıştırıcının sünekliliğini koruduğu tespit edilmiştir. Bu durum çift katmanlı saclar için önemli bir avantajdır.

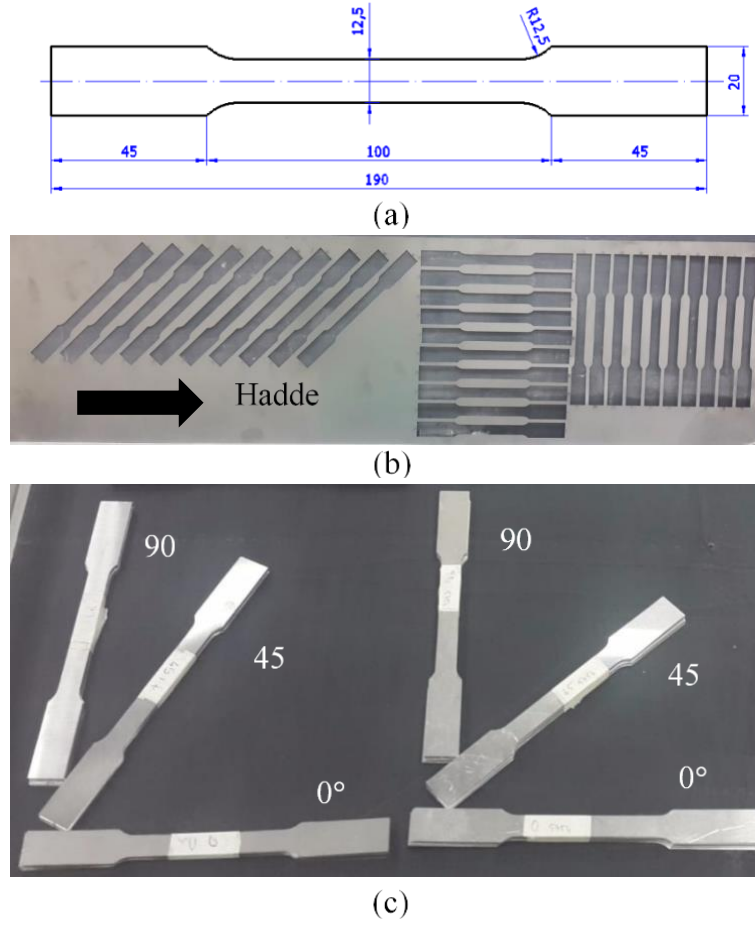
Tablo 2. Polymex 3002 yapıştırıcının teknik özellikleri (Polymex, 2020)

Özellik	Değer
Yapıştırıcının yoğunluğu	1,43 g/cm ³
Sertleştiricinin yoğunluğu	1,22 g/cm ³
Sıcaklık dayanımı	-45 / +280 °C
Shore sertlik	90-95
Dielektrik katsayısı	3,5 F/m
Uygulama sıcaklığı	5-35 °C

Katmanlı saclar oluşturulurken sac yüzeyleri kir ve pastan temizlenmesi için zımparalanmış ve alkol ile silinmiştir. Temizlenen sacların bir yüzeyine yapıştırıcı uygulanarak çelik ve alüminyum saclar birleştirilmiş ve kürlenmeye bırakılmıştır. Hazırlanan çift katmanlı saclar yapıştırıcının kurumması için 24 saat bekletilmiştir.

2.2. Sac Metallerin Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi

Sac metallerin uzama, akma dayanımı, kopma dayanımı gibi mekanik özelliklerinin belirlenmesi için çekme testi yapılmıştır. Çalışmada kullanılan DC01 ve EN AW 5754 H111 kalite saclar ASTM E8 (2013) standardına uygun olarak hazırlanmıştır. Standart numune ölçüleri Şekil 1a’da verilmiştir. Numuneler hadde yönü ile paralel (0°), diagonal (45°) ve dik (90°) olacak şekilde lazer ile koruyucu gaz altında kesilmiştir (Şekil 1b). Kesilen numuneler Şekil 1c’de görülmektedir.



Şekil 1. Çekme testi numuneleri (a) ASTM E8 standart numune ölçüleri (b) Numunelerin çıkartıldığı sac (c) Lazer ışını ile kesilmiş çekme numuneleri

Tek eksenli çekme deneyleri, Karadeniz İleri Teknoloji Araştırma Merkezinde (KİTAM) bulunan Instron Marka 5982 Model 100 kN yükleme kapasiteli 0.01 N hassasiyetli çekme cihazında 3 tekrarlı olarak gerçekleştirilmiştir. Çekme hızı deney standardında (ASTM-E8/E8M-15a, 2015) belirtildiği üzere 10 mm/dk olarak ayarlanmıştır. Deneyler esnasında şekil değiştirme miktarlarını ölçmek amacıyla numuneye ölçü boyu 50 mm olan ekstansometre bağlanarak gerilme ve şekil değiştirme (σ - ϵ) verileri alınmıştır.

2.2.1. Pekleşme üstelinin belirlenmesi

Malzemelerin pekleşme üsteli Holloman (1) eşitliğine göre hesaplanmıştır. Bu eşitlikte K mukavemet katsayısı, n ise pekleşme üstelini ifade etmektedir.

$$\sigma = K \cdot \epsilon^n \quad (1)$$

Hollomon eşitliğindeki K ve n katsayıları hesaplanırken gerçek gerilme ve gerçek şekil değiştirme değerlerinin logaritması alınarak grafikleri çizdirilmiştir. Plastik bölgeye $y=ax+b$ doğru denklemi uydurulur. Bu doğru denklemi $\log(\sigma)=n \log(\varepsilon) + \log(K)$ ile benzerdir. Burada doğrunun eğimi (a) pekleşme üstelini (n) vermektedir. $\varepsilon=1$ veya $\log(\varepsilon)=0$ olduğunda buna karşılık gelen gerçek gerilme değeri mukavemet katsayısını (K) vermektedir.

2.2.2. Anizotropi katsayısının hesaplanması

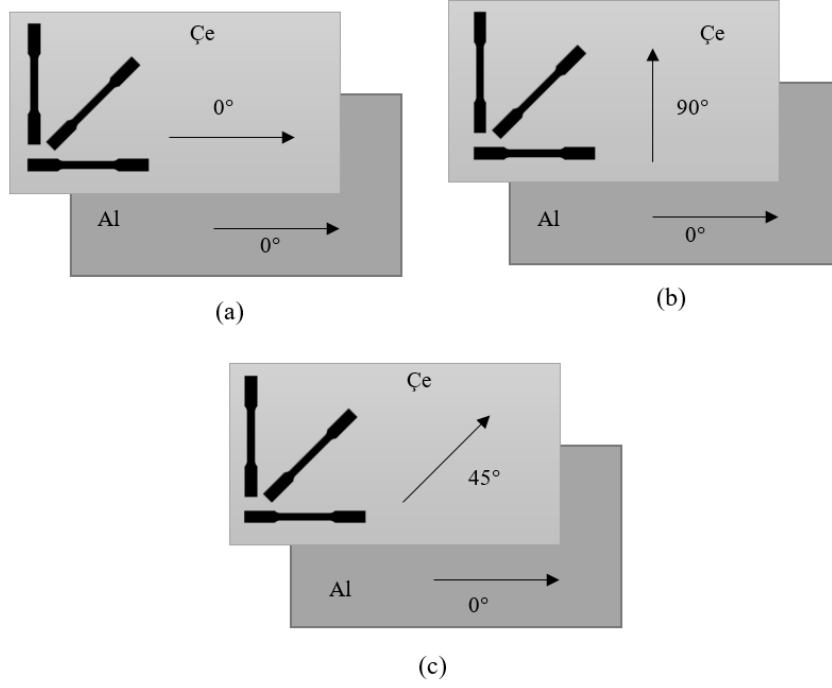
Anizotropi katsayılarını belirlemek için sac metalden hadde yönünde, hadde yönüne dik ve hadde yönü ile 45° açı yapan çekme numuneleri hazırlanarak çekme testine tabi tutulmuştur. Yükleme yönüne bağlı olarak değişiklik gösteren anizotropi durumu R değeri ile ifade edilmektedir. Bu değer genişlikteki (w) şekil değişiminin (ε_w), kalınlıktaki (t) şekil değişimine (ε_t) oranıdır. Kalınlık ölçümünün hassas olarak yapılamadığı durumlarda anizotropi katsayısı sabit hacim varsayımı ile uzunluk (l) ve genişlik (w) ölçümlerinden (2) denklemindeki gibi hesaplanabilmektedir (ASTM-E517-00, 2011). Burada 0 alt indisleri ile ilgili geometrik boyutun ilk ölçüsü simgelenmektedir.

$$R = \frac{\ln\left(\frac{w}{w_0}\right)}{\ln\left(\frac{t}{t_0}\right)} = \frac{\ln\left(\frac{w}{w_0}\right)}{\ln\left(\frac{w_0 l_0}{w l}\right)} \quad (2)$$

Anizotropi katsayısını belirlemek için yapılan uzunluk ve genişlik ölçümleri genellikle belirli bir şekil değiştirme değerinde yapılır. Çekme testi ile maksimum uzama değeri belirlenen parça, yeni bir çekme testi yapılarak maksimum kopma dayanımının olduğu şekil değiştirme değerinden daha düşük bir değere kadar çekilerek test sonlandırılır (ASTM-E517-00, 2011). Bu çalışmada numuneler %15 uzama değerine kadar çekilerek anizotropi katsayıları hesaplanmıştır.

2.2.3. Katmanlı sacların yapıştırma doğrultuları

Sacın üzerinde hadde yönleri oklar ile gösterilmiştir. Bu dizilimlere bakıldığında yapıştırma işlemi ile 3 farklı sac elde edilmiş gibi düşünülebilir. Şekil 2a'da iki sac hadde yönleri paralel olacak şekilde yerleştirilmiştir. Şekil 9b'de birbirine dik olacak şekilde, Şekil 2c'de ise bir sac diğerine göre 45° döndürülerek yapıştırılmıştır. Katmanlı sacların yeni ve farklı birer sac olduğu düşünülerek bu 3 sacdan 0° , 45° ve 90° 'lik doğrultularda üçer adet numune çıkarılmıştır. Çıkarılan numunelerin tek sacların dizilimleri Tablo 3'te verilmiştir.



Şekil 2. Hadde yönüne göre farklı şekillerde dizilmiş saclar (a) 0°-0° (b) 0°-90° (c) 0°-45°

Tablo 3. Çift katmanlı saclardan kesilen çekme numunelerinin sac dizilimleri

	(a)	(b)	(c)
0°	0°-0°	0°-90°	0°-45°
45°	45°-45°	45°-45°	45°-0°
90°	90°-90°	90°-0°	90°-45°

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Tekil Sacların Gerilme-Şekil Değişirme Diyagramları

Çalışma kapsamında yapılan çekme deneyleri sonucunda kopan numuneler Şekil 3'te verilmiştir. Numunelerin tümü boyun vererek sünek kırılma göstermiş ve yükleme yönü ile 45° açı yapacak şekilde kopmuşlardır.



(a)

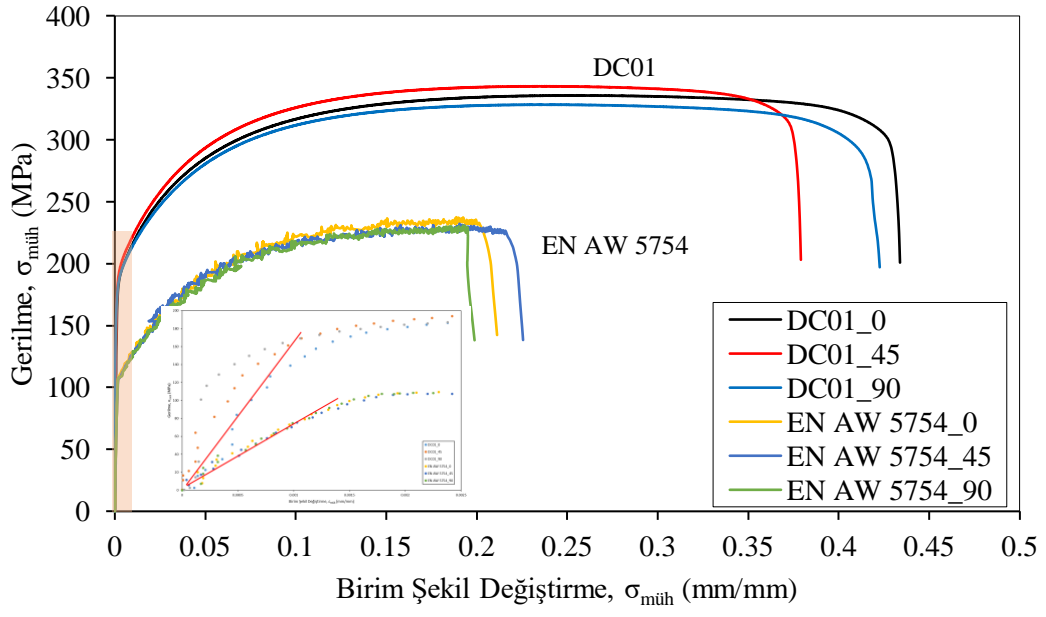


(b)

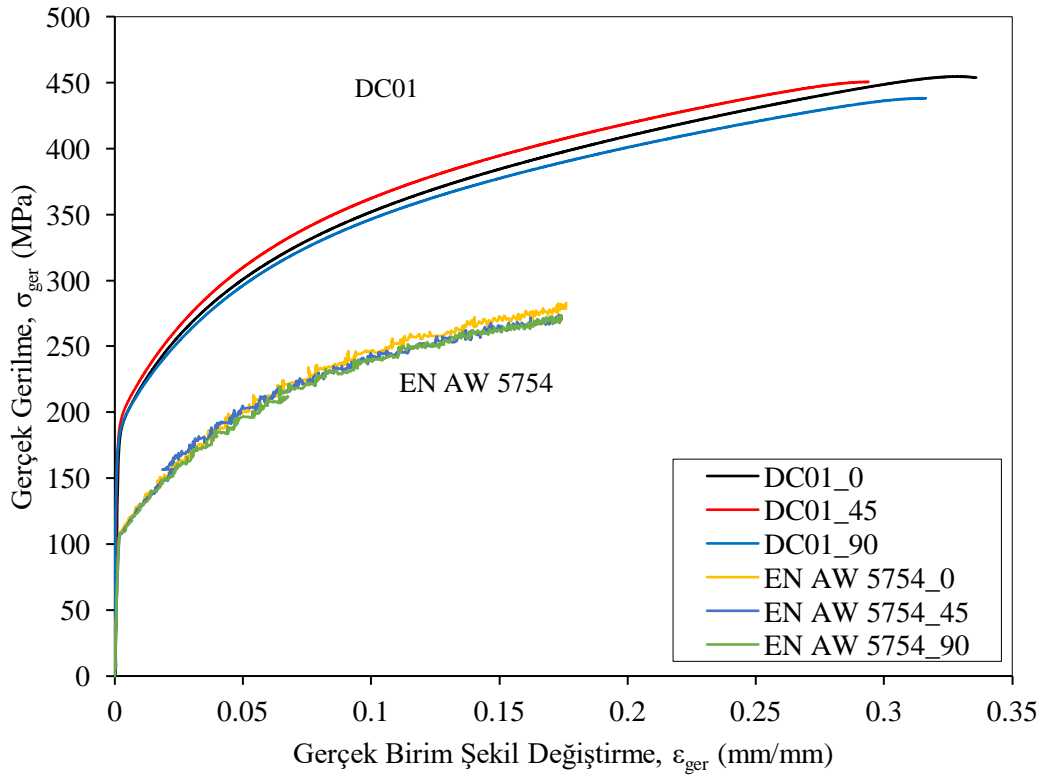
Şekil 3. Çekme testinde kopan numuneler (a) Düşük karbonlu çelik sac (DC01) (b) Al-Mg alaşımı sac (EN AW 5754)

Tek saclara yapılan çekme testleri sonucu gerilme – şekil değiştirme eğrileri Şekil 4a’da verilmiştir. Çekme testi yapılan malzemelerin tümünde belirgin bir akma sınırı gözlenmemiştir. Çekme eğrilerinin elastik bölgeleri yakınlştırıldığında lineer bölge açıkça görülmektedir. Malzemelerin belirgin akma göstermediğinden dolayı %0,2’lik uzamaya ($\epsilon = 0,002$) karşılık gelen çekme gerilmesi değeri akma dayanımı olarak alınmıştır (Off-set kuralı). Çekme testleri sonucunda DC01 çelik sacın ortalama %40,6 uzama gösterdiği görülürken EN AW 6764 alüminyum sacın ortalama %20,4 uzadığı görülmektedir. Çelik sacın ortalama akma dayanımı 204 MPa değerlerinde iken alüminyum sacın akma dayanımı 120 MPa değerlerindedir. Çekme dayanımları karşılaştırıldığında ise çelik sacın ortalama 335,9 MPa’ya çıktığı görülürken, alüminyum alaşımı sacın 237,5 MPa’ya dayandığı görülmektedir.

(a) Mühendislik eğrileri



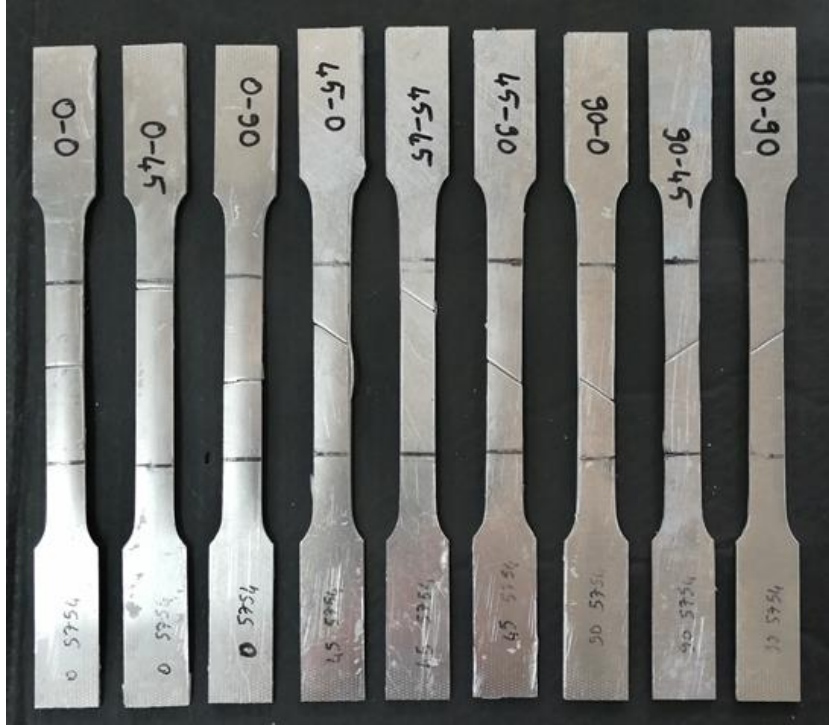
(b) Gerçek eğriler



Şekil 4. Çalışmada kullanılan sac metallere ait mühendislik (a) ve gerçek (b) çekme eğrileri

3.2. Çift Katmanlı Sacların Gerilme-Şekil Değişirme Diyagramları

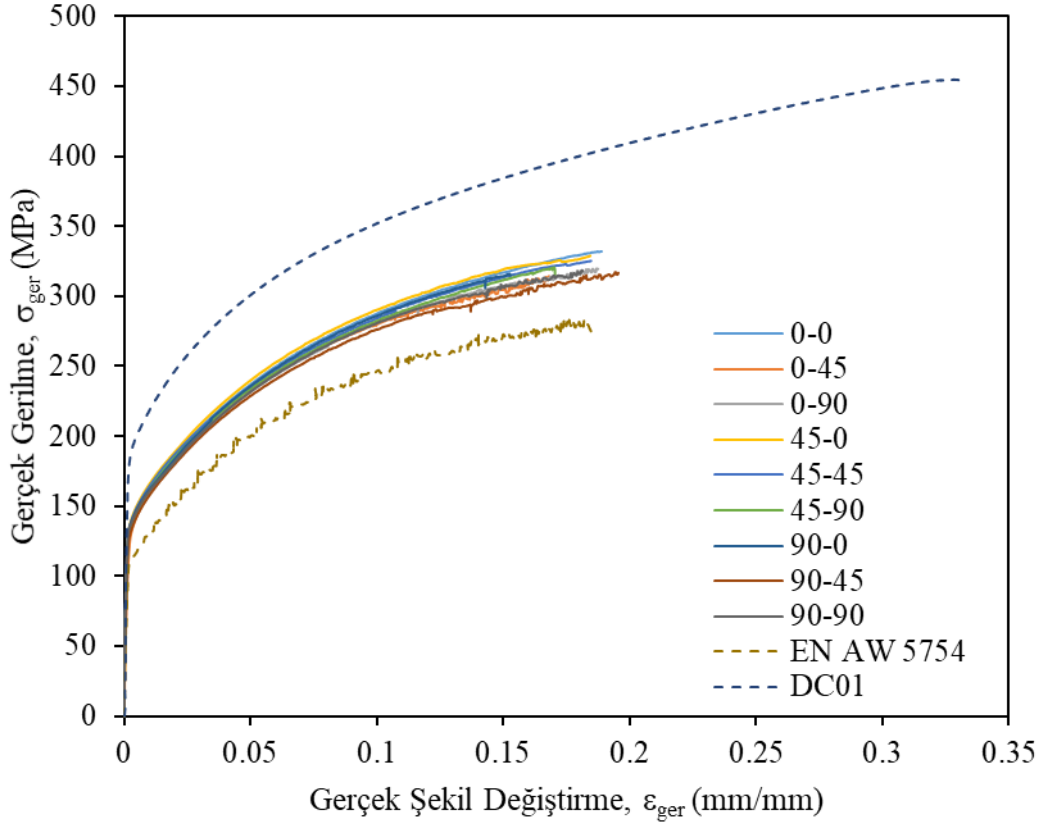
Çalışma kapsamında yapılan çekme deneyleri sonucunda kopan çift katmanlı numuneler Şekil 5'te verilmiştir. Çekme testleri çift katmanlı saclardan herhangi biri hasara uğrayana kadar devam etmiştir. Numunelerin tümünde sadece alüminyum sacın koptuğu gözlenmiştir. Deney numunelerinde hadde yönünde kesilmiş alüminyum numunelerin yükleme yönüne dik olarak koptuğu gözlenirken, diğer numunelerin yükleme yönüne göre 45° açıda koptukları gözlenmiştir. Daha öncede farklı çalışmalarda yapıştırıcı ile oluşturulmuş katmanlı sacların mekanik özelliklerinin, katman saclarının özellikleri arasında olduğu görülmektedir (Reyes and Kang, 2007; Aghchai, Shakeri and Mollaei-Dariani, 2008; Harhash, 2017). Harhash (2017) aynı çelik katmanları polimer katmanla birleştirmiş, Reyes ve Kang (2007) ise alüminyum katmanları katkılı polipropilen ile birleştirmiştir. Katmanların aynı metalden olduğu çalışmalarda çift katmanlı yeni sacın mekanik özelliklerinin, tek sacın mekanik özelliğinden daha zayıf olduğu görülmüştür. Katmanların farklı sac metallere oluşması durumunda ise her katmanın tekil mekanik özelliklerin katmanların mekanik özellikleri arasında kaldığı görülmüştür. Bu özelliklerin katmanların kalınlığı ile doğru orantılı değiştiği ve kalınlığı fazla olan katmana daha yakın olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 5. Çekme testinde kopan EN AW 5754 – DC01 çift katmanlı sac numuneler

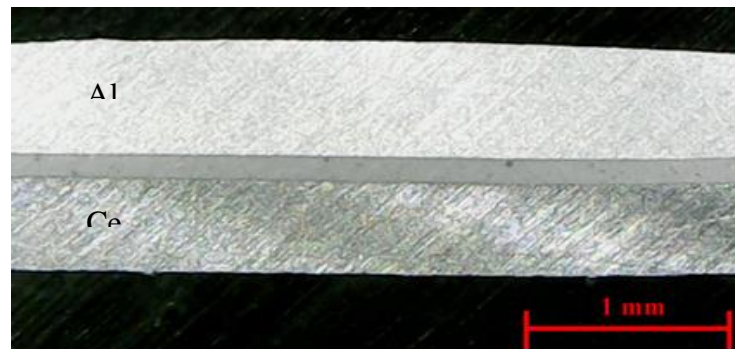
Yapılan çekme testleri sonucunda elde edilen gerilme – şekil değişirme grafikleri Şekil 6'da verilmiştir. Çekme testi yapılan çift katmanlı sacların tümünde tek sacların çekme testlerindeki gibi

belirgin bir akma sınırı gözlenmemiştir. Çift katmanlı sacların dayanımları beklenildiği üzere katmanlı yapıyı oluşturan sacların dayanımları arasında çıkmıştır. Çift katmanlı sacın şekil değiştirme miktarı ise alüminyum sacdan yaklaşık %20 daha fazladır. Şekil değiştirme miktarı alüminyum sac ile benzer çıkmıştır.



Şekil 6. EN AW 5754-DC01 sacların çekme testlerinden elde edilen gerçek gerilme – gerçek şekil değiştirme grafikleri

Şekil 7’de çift katmanlı çekme numunelerinden test sonrası optik mikroskop ile alınmış görüntüler verilmiştir. Alüminyum ve çelik sac katmanları arasında katılaşmış yapıştırıcı katmanın bozulmadan kaldığı görülmektedir. Yapıştırıcı katman kalınlığının kesit boyunca yaklaşık olarak sabit kaldığı görülmüştür.



Şekil 7. Çekme numunesinin optik mikroskop ile alınmış kesit görüntüsü

3.3. Tek ve Çift Katmanlı Sacların Pekleşme Üstellerinin Karşılaştırılması

Şekil 4 ve 6’da verilen gerçek gerilme ve gerçek şekil değiştirme eğrilerinin logaritması alınarak grafikleri çizdirilmiştir. Eğrilerin plastik bölgede kalan kısımlarına lineer regresyon yapılmış ve Tablo 4’teki değerler elde edilmiştir. Bu çizelge incelendiğinde en yüksek pekleşme üstelinin alüminyum (EN AW 5754 H111) sacda, en düşük pekleşme üstelinin ise çelik (DC01) sacda olduğu görülmektedir. Hesaplanan mukavemet katsayıları (K) incelendiğinde en yüksek dayanıma çelik, en düşüğüne ise alüminyum sacın sahip olduğu görülür.

Tablo 4. Çalışmada kullanılan sac metallerin pekleşme üsteli (n) ve mukavemet katsayıları (K)

	DC01			EN AW 5754		
	0	45	90	0	45	90
K	580,4	586,6	561,9	449,9	425,1	435,7
n	0,216	0,210	0,210	0,267	0,252	0,265
R²	0,997	0,996	0,996	0,991	0,993	0,991

Yapılan çekme testleri sonucunda sac metallere ait mekanik özellikler Tablo 5’te verilmiştir.

Tablo 5. Çekme testi sonucuna göre tek sacların ortalama mekanik özellikleri

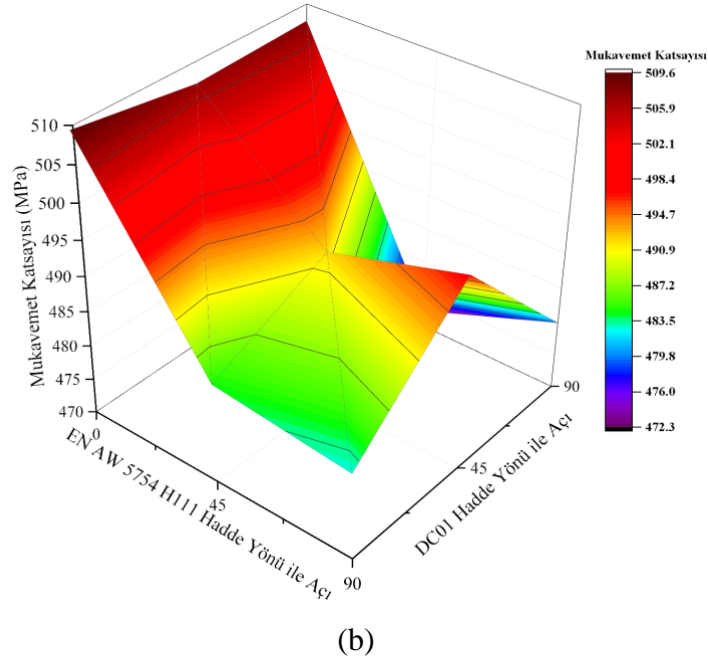
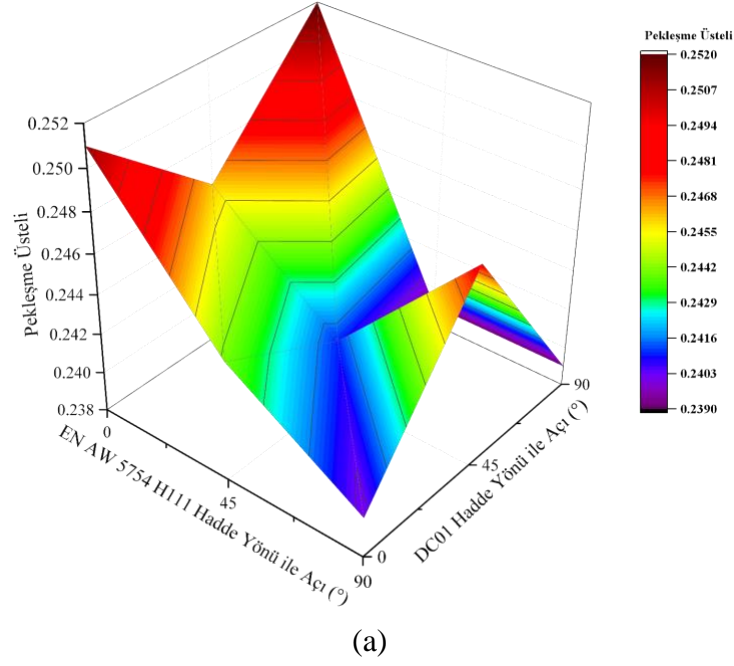
Mekanik Özellikler	DC01	EN AW 5754
Elastisite modülü, E (GPa)	194,7	77,03
Akma dayanımı, $\sigma_{0,2}$ (MPa)	204,3	120,2
Çekme dayanımı, σ_c (MPa)	335,9	237,5
Uniform uzama, ϵ (mm/mm)	0,241	0,188
Kopma uzaması, ϵ_k (mm/mm)	0,406	0,204
Pekleşme üsteli, n	0,212	0,261
Mukavemet katsayısı, K (MPa)	576,3	436,9

Pekleşme üsteli, malzemenin şekil alabilirliği hakkında kullanıcıya bilgi vermektedir. Pekleşme üsteli daha yüksek olan malzemeler daha fazla şekillendirilebilirken, düşük olan malzemeler daha az şekillendirilebilmektedir (Z. Marciniak, J.L. Duncan, 2002).

Çift katmanlı sacların çekme testleri sonuçlarından elde edilen gerçek gerilme - gerçek şekil değiştirme eğrilerinden her bir numunenin K ve n değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanan değerler Tablo 6’da verilmiştir. Ayrıca Şekil 8a’da n değerinin çift katmanlı sacların hadde yönüne göre değişimi verilmiştir. Şekil 8b’de ise K değerinin çift katmanlı sacların hadde yönüne göre değişimi verilmiştir. Grafiklerde K ve n değerlerinin alüminyum sacın hadde yönüne göre daha fazla değiştiği görülmektedir. En yüksek değerleri alüminyum sacın hadde yönünün 0° olduğu durumda elde edilmiştir. Diğer taraftan alüminyum sac sabit tutulup çelik sac farklı yönlerde birleştirildiği zaman K ve n değerlerinin çok fazla değişmediği görülmektedir. Alüminyum sacın çift katmanlı sacın mekanik özellikleri üzerinde etkili olmasının sebebi sac kalınlığının çelik sacdan daha fazla olmasıdır.

Tablo 6. EN AW 5754–DC01 çift katmanlı sacının hadde yönüne farklı dizilimlerdeki K ve n değerleri

	0 - 0	0 - 45	0 - 90	45 - 0	45 - 45	45 - 90	90 - 0	90 - 45	90 - 90
K	509,6	507,1	507,7	484,5	491,9	472,4	482,6	497,5	479,8
n	0,251	0,246	0,252	0,244	0,241	0,239	0,240	0,248	0,239
R²	0,994	0,992	0,991	0,993	0,993	0,994	0,992	0,994	0,992

**Şekil 8.** EN AW 5754 – DC01 çift katmanlı sacların n (a) ve K (b) değerlerinin karşılaştırılması

Yapılan çekme testleri sonucunda çift katmanlı sac ile onu oluşturan sacların mekanik özellikleri Tablo 7’de verilmiştir. Verilen mekanik özellikler hadde yönüne göre farklı açılarda

kesilmiş numunelerin çekme testi sonuçlarından elde edilen değerlerin ortalaması olarak bulunmuştur. Çift katmanlı sacların mekanik özelliklerinin, tek sacların mekanik özelliklerinin arasında olduğu görülmektedir.

Tablo 7. Çekme testi sonucunda EN AW 5754/DC01 sacı için belirlenen mekanik özellikler

Mekanik Özellikler	DC01	EN AW 5754	EN AW 5754 / DC01
Elastisite modülü, E (GPa)	194,7 ± 7,4	77,03 ± 3,2	99,8 ± 6,5
Akma dayanımı, $\sigma_{0,2}$ (MPa)	204,3 ± 4,02	120,2 ± 1,21	147,88 ± 2,74
Çekme dayanımı, σ_c (MPa)	335,9 ± 4,5	237,5 ± 3,9	269,5 ± 4,4
Maks. uzama, ϵ (mm/mm)	0,406 ± 0,03	0,204 ± 0,02	0,218 ± 0,03
Pekleşme üsteli, n	0,212 ± 0,01	0,261 ± 0,01	0,244 ± 0,01
Mukavemet katsayısı, K (MPa)	576,3 ± 15,7	436,9 ± 11,4	493 ± 13,6

Diğer taraftan çift katmanlı sac kompozit bir malzeme olarak da düşünülebilir. Kompozit malzemelerin elastisite modüllerinin hesaplanmasında sıklıkla kullanılan üç farklı model ve bu modellere göre EN AW 5754/DC01 çift katmanlı sacı için hesaplanmış elastisite modülleri Tablo 8’de verilmiştir. Bu modellerde $V_{Al+Çe}$, V_{Al} , $V_{Çe}$ sırasıyla çift katmanlı sacın, alüminyum sacın ve çelik sacın hacimlerini, $E_{Al+Çe}$, E_{Al} , $E_{Çe}$ ise sırasıyla çift katmanlı sacın, alüminyum sacın ve çelik sacın elastisite modüllerini göstermektedir. Önerilen modellerden 1 ve 3 numaralı model deney sonuçlarına uzak değerler verirken, 2 numaralı model %3,3’lük mutlak hata oranı ile deneysel sonuçlara oldukça yakın değer vermiştir.

Tablo 8. Kompozit malzemelerin elastisite modüllerinin tahmini için önerilmiş modeller

No	Model	Elastisite modülü (GPa)	Mutlak hata oranı
1	$E_{Al+Çe} = \frac{V_{Al} \cdot E_{Al} + V_{Çe} \cdot E_{Çe}}{V_{Al+Çe}}$ (Voigt, 1889)	116,25	% 16,4
2	$\frac{V_{Al+Çe}}{E_{Al+Çe}} = \frac{V_{Al}}{E_{Al}} + \frac{V_{Çe}}{E_{Çe}}$ (Reuß, 1929)	96,46	% 3,3
3	$\log E_{Al+Çe} = \frac{V_{Al} \cdot \log E_{Al} + V_{Çe} \cdot \log E_{Çe}}{V_{Al+Çe}}$ (Lichtenecker, 1926)	104,92	% 5,1

Tablo 9’da 2 numaralı model ile hesaplanan mekanik özellikler deneysel olarak elde edilen veriler ile karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Teorik model, mekanik özellikleri genel olarak deneysel değerlerin daha altında hesaplamıştır. Hata oranı düşük olmasına karşın sadece maksimum uzama miktarında teorik model deneysel değerden %12 daha yüksek bir değer vermiştir.

Tablo 9. Çift katmanlı sacın mekanik özelliklerinin teorik değerler ile karşılaştırılması

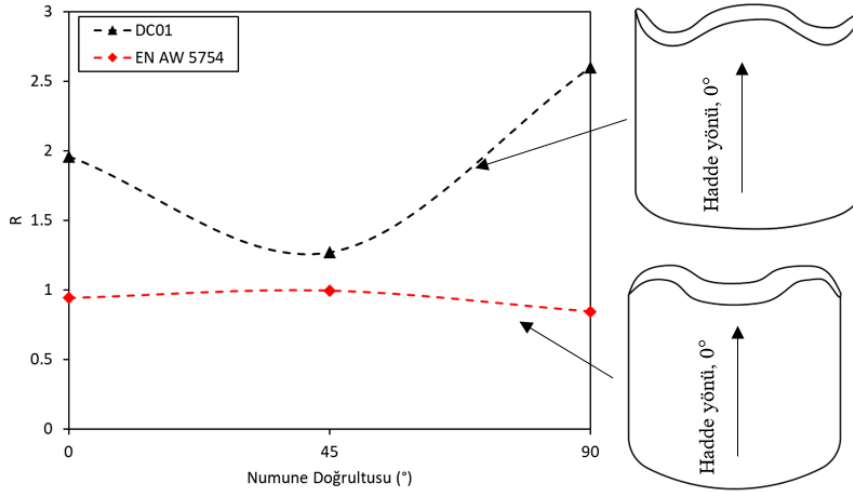
Mekanik Özellikler	EN AW 5754 / DC01	Teorik	Mutlak Hata Oranı
Elastisite modülü, E (GPa)	99,8 ± 6,5	96,5	% 3,36
Akma dayanımı, $\sigma_{0,2}$ (MPa)	147,88 ± 2,74	139,32	% 5,79
Çekme dayanımı, σ_c (MPa)	269,5 ± 4,4	263,2	% 2,35
Maks. uzama, ϵ (mm/mm)	0,218 ± 0,03	0,245	% 12,18
Pekleşme üsteli, n	0,244 ± 0,01	0,242	% 0,87
Mukavemet katsayısı, K (MPa)	493 ± 13,6	475,2	% 3,52

Katmanlı saclar lamine dizilmiş kompozit malzemeler olarak düşünülebilir. Bu durumda çift katmanlı sacların mekanik özellikleri teorik olarak karışım kuralı ile belirlenebilmelidir. Ancak, Lesuer ve ark. (1996) tarafından çelik/pirinç katmanlı sacların kopma uzamaları karışım kuralı ile doğru tahmin edilememiştir. Bunun sebebi olarak hasar oluşumunun katmanlar arası ayrılma, katman kalınlığı, çatlak yeri gibi birçok farklı parametreye bağlı olmasını işaret etmişlerdir. Başka bir çalışmada, Mg/Al/Paslanmaz çelik (AZ31/Al3004/AISI 430) üç katmanlı sacının hasara uğradığı şekil değiştirme miktarının karışım kuralına uymadığını belirtilmiştir (Kim ve Hong, 2013). Yapılan bazı çalışmalarda katmanlı sacların akma gerilmesi, kopma gerilmesi, elastisite modülü gibi mekanik özellikleri karışım kuralı ile belirlenmiştir (Choi ve ark., 1997; Oya ve ark., 2010; Uscinowicz, 2013). Bu çalışmada ise literatürde kompozitler için önerilen 3 farklı karışım kuralı kullanılarak üretilen çift katmanlı sacın elastisite modülü tahmin edilmiştir. Yapılan hesaplamalar sonucunda deneysel değerlere en yakın sonuç Reuss (1929) modeli ile elde edilmiştir. Üretilen çift katmanlı sacın akma dayanımı, kopma dayanımı, maksimum uzama miktarları gibi mekanik özellikleri Reuss modeli ile hesaplanmıştır. Literatüre benzer şekilde maksimum uzama miktarı dışındaki tüm özellikler deneysel sonuçlara yakın olarak tahmin edilmiştir. Teorik model uzama değerini malzemelerin hacimsel yüzdelerini esas alarak ve mükemmel yapışma kabulü ile hesaplamaktadır. Ancak deneysel süreçte katmanlı sac yapıştırıcı ile yapıştırılmasına rağmen uzama esnasında katmanlar arasında ayrılmalar olmaktadır. Bu durumda katmanlar aynı anda hasara uğramamakta, bir başka deyişle sadece biri hasara uğramakta ve deney sonuçlandırılmaktadır. Dolayısı ile ilk hasara uğrayan numunenin uzama değeri kadar bir uzama elde edilmektedir. Deneysel ve teorik uzama değeri arasındaki fark bundan kaynaklanmaktadır.

3.4. Tek ve Çift Katmanlı Sacların Anizotropi Katsayılarının Karşılaştırılması

Çalışmada kullanılan sac metaller maksimum uzama değerlerinin %15'ine kadar çekilmiş, çekme testi boyun vermeden önce sonlandırılmıştır (ASTM-E517-00, 2011). Test edilen numunelerin daralma, uzama ve incelme durumları 0,01 mm hassasiyetli mikrometre ile belirlenmiştir.

Hadde yönüne göre 0, 45 ve 90°'de belirlenen anizotropi katsayıları Şekil 9'da verilmiştir. Yöne bağlı anizotropi katsayıları ve grafiğin şekli derin çekme sonrasında sac metalde oluşacak olan kulaklanma hakkında bilgi vermektedir. Buna göre DC01 sacında 0 ile 90° açılarında kulaklanma görülmesi beklenmektedir (Şekil 9). Diğer taraftan EN AW 5754 alüminyum alaşımı sacda anizotropi katsayılarının 3 farklı açı değeri için birbirine yakın olması bu sacda kulaklanmanın çok az miktarda olacağını göstermektedir.



Şekil 9. Sac metallerin hadde yönüne göre anizotropi katsayıları ve kulaklanma yönleri

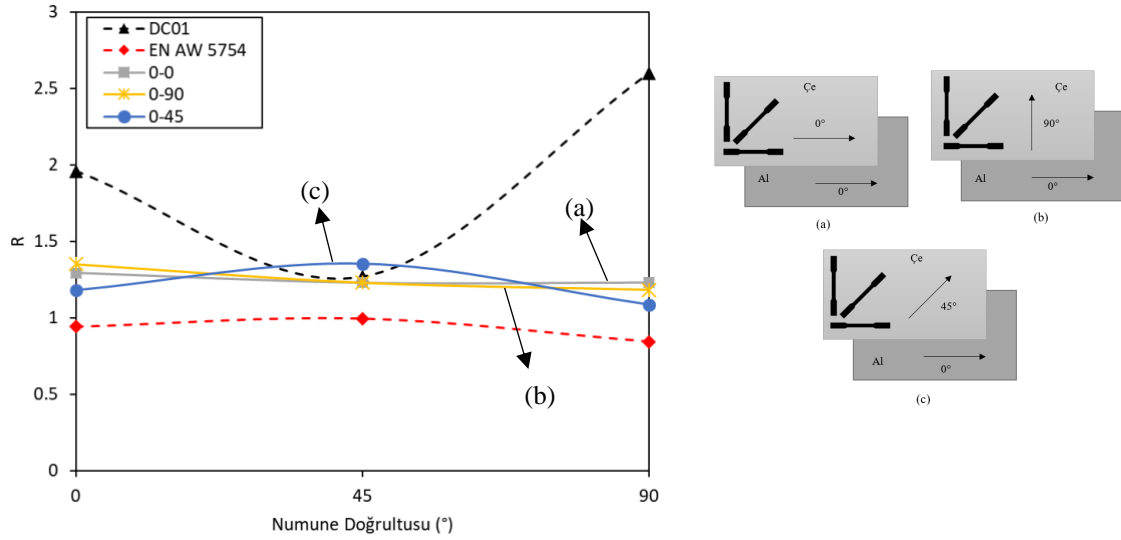
Tablo 10'da yöne bağlı anizotropi katsayılarına ek olarak normal ve düzlemsel anizotropi katsayıları verilmiştir. Burada $|\Delta R|$ değeri daha büyük olan sac metalde daha yüksek kulak uzunluğu görülecektir. Sayısal değerler incelendiğinde en yüksek kulak uzunluğunun DC01 sacında olacağı görülmektedir. Kulaklanma sac şekillendirmede istenmeyen bir durumdur. Çünkü sac şekillendirme sonrası bu kulakların kesilmesi gerekir ve bu durum ek bir maliyet ve israf getirmektedir. Bu sebeple sac metallerde düşük $|\Delta R|$ değeri tercih sebebidir. Alüminyum magnezyum alaşımı (EN AW 5754) sacda $|\Delta R|$ değeri sıfıra yakın olması sebebiyle kulak oluşumu minimum olacaktır. Diğer taraftan \bar{R} değerinin yüksek olması, daha derin parçalar çekilmesini sağlamaktadır. Ayrıca otomobil dış panelleri gibi daha sığ ve düzgün hatlı parçalarda yüksek \bar{R} değeri parçadaki kırışıklık oluşumunu azaltmaktadır (Marciniak ve Duncan, 2002). Tablo 10'daki sac metaller incelendiğinde en yüksek \bar{R} değerine düşük karbonlu çeliğin sahip olduğu görülmektedir. Bu durumda sacın şekillendirilmesi esnasında, düzlem içerisindeki şekil değişiminin incelmedeki şekil değişiminden daha fazla olmakta ve daha geç yırtılmaktadır. Bir başka deyişle, çelik sac alüminyum saca göre incelmeye karşı daha dayanıklıdır.

Tablo 10. Sac metallerin anizotropi katsayıları

	DC01	EN AW 5754
R_0	1,962	0,942
R_{45}	1,271	0,995
R_{90}	2,600	0,846
ΔR	1,010	-0,101
\bar{R}	1,776	0,945

Çift katmanlı sacların hesaplanan anizotropi katsayılarını mevcut haliyle değerlendirmek zor olmaktadır. Anizotropi katsayılarını daha iyi ifade edebilmek için Şekil 9'daki sac dizilimleri verilmiştir.

Çift katmanlı saclarda, saclar eğer birbirine paralel yerleştirilmemiş ise hadde yönü olgusu anlamsızlaşmaktadır. Bu durumda sadece yeni oluşan sac üzerinden farklı yönlerde numune keserek bu numunelerin anizotropisine bakmak uygundur. Hadde yönüne göre 0, 45 ve 90°'de belirlenen anizotropi katsayıları Şekil 9'da verilmiştir. Yöne bağlı anizotropi katsayıları ve grafiğin şekli derin çekme sonrasında sac metalde oluşacak olan kulaklanma hakkında bilgi vermektedir. Tek saclarda, DC01 çelik sacının kulaklanma eğiliminin fazla olduğu Şekil 9'dan anlaşılmaktadır. Tek çelik sacda 45°'de anizotropi katsayısı en düşük çıkmakta 0 ve 90° yönlerinde ise yüksek çıkmaktadır. Bu durum derin çekme işlemi sonrasında oluşan kulakların hadde yönü ve ona dik doğrultuda oluşacağını göstermektedir (Şekil 9a). Diğer taraftan tek alüminyum sacda ise kulaklanma oluşumu oldukça az görülmektedir. Çünkü grafikte 0, 45 ve 90° doğrultuları için anizotropi katsayısında belirgin değişim olmamaktadır. Bu iki sacın birleştirilmesi ile oluşturulan çift katmanlı sacda ise tek sacların dizilimlerine göre 3 farklı durum oluşmuştur. Buna göre iki metal sac Şekil 10a ve Şekil 10b'de olduğu gibi birleştirildiğinde kulaklanmanın azaldığı görülmektedir. Çift katmanlı saclar çekme testine tabi tutulduğunda, çift katman içerisindeki çelik sac, serbest haldeki gibi uzayamamaktadır. Çünkü alüminyum sac, çelik sacın uzamasını kısıtlamaktadır. Dolayısı ile anizotropi katsayısı için çekme testine tabi tutulan çift katmanlı sac ancak alüminyum sacın izin verdiği ölçüde uzamaktadır. Bu sebeple tek çelik sac 0 ve 90° doğrultularında göstermiş olduğu anizotropi çift katmanlı sacda azalmaktadır. Sacların (c) dizilimindeki gibi birleştirilmesi durumunda kulak oluşumunun daha fazla olacağı görülmektedir.



Şekil 10. Çift katmanlı sacların anizotropi katsayıları

Tablo 11’de yöne bağlı anizotropi katsayılarına ek olarak normal ve düzlemsel anizotropi katsayıları verilmiştir. Değerler incelendiğinde çift katmanlı saclarda en fazla kulak oluşumunun (c) tipi sacda yani 0-45 diziliminde olacağı görülmektedir. Sac metallerde düşük $|\Delta R|$ değeri tercih sebebidir. Tablo 11’de en düşük $|\Delta R|$ değerinin (a) ve (b) tipi sacda olduğu görülmektedir. Ayrıca Tablo 11’deki çift katmanlı saclarda (a) ve (c) tipi sacların yüksek \bar{R} değerine sahip olduğu görülmektedir. Tek saclara göre çift katmanlı saclarda elde edilen $|\Delta R|$ ve \bar{R} değerleri birbirine yakındır. Dolayısıyla genel bir değerlendirme yapıldığında çift katmanlı sacların üst üste hangi yönde dizildiğine (istiflendiğine) bakılmaksızın derin çekmede çelik saca göre daha az kulaklanma görüleceği belirlenmiştir.

Tablo 11. EN AW 5754 H111/DC01 çift katmanlı sacların anizotropi katsayıları

	DC01	EN AW 5754	(a)	(b)	(c)
R_0	1,962	0,942	1,294	1,352	1,181
R_{45}	1,271	0,995	1,230	1,230	1,353
R_{90}	2,600	0,846	1,232	1,183	1,088
ΔR	1,010	-0,101	0,033	0,037	-0,219
\bar{R}	1,776	0,945	0,939	0,941	0,906

4. Sonuçlar ve Öneriler

Bu çalışmada tekil ve yapıştırma ile oluşturulmuş katmanlı sacların mekanik özellikleri çekme testi ile belirlenmiş ve çift katmanlı sacların akma dayanımı, çekme dayanımı, kopma uzaması gibi mekanik özellikleri tekil saclar ile karşılaştırılarak yorumlanmıştır. Ayrıca malzemelerin anizotropi

katsayıları belirlenerek sac metal şekillendirme işlemlerinden biri olan derin çekme işlemine olası etkileri üzerinden değerlendirilmiştir. Çalışma sonuçları aşağıda verilmiştir:

- Çekme testleri ile çelik sacın akma ve çekme dayanımları sırasıyla 204,3 MPa ve 335,9 MPa, alüminyum sacın ise 120,2 MPa ve 237,5 MPa olarak belirlenmiştir. Uzama miktarları ise çelik için %24,1, alüminyum için %18,8 olduğu görülmüştür.
- Çift katmanlı sacın akma dayanımı 147,88 MPa, çekme dayanımı ise 269,5 MPa olarak belirlenmiştir. Maksimum uzama değerinin ise %21,8 olduğu görülmüştür.
- Çift katmanlı saclara yapılan çekme testleri sonucunda sacların dayanım ve uzama miktarları kendilerini oluşturan sacların değerlerinin arasında çıkmıştır.
- Çalışma sonucunda çift katmanlı sacların mekanik özelliklerinin kompozit malzemeler için kullanılan karışım kuralına ile belirlenmiştir. Tek malzemelerin mekanik özellikleri ve karışım kuralı formülleri kullanılarak çift katmanlı sacın mekanik özellikleri ortalama %4,6'lık bir hata oranı ile belirlenmiştir.

Teşekkür

Bu çalışma TÜBİTAK tarafından 2211-A Genel Yurt İçi Doktora Burs Programı 2014/2 (Başvuru numarası: 1649B031405081) ile desteklenmiştir.

Bu çalışma, Yüksek Öğretim Kurulu (YÖK) Öğretim Üyesi Yetiştirme Programı (ÖYP) kapsamında hazırlanmıştır.

Bu çalışma PYO.MUH.1905.16.002 nolu Bilimsel Araştırma Projesi olarak Ondokuz Mayıs Üniversitesi tarafından desteklenmiştir..

Yazarların Katkısı

Bu çalışma Dr. Cengiz Görkem DENGİZ'in doktora çalışmasının bir bölümü olup, Prof. Dr. Kemal YILDIZLI danışmanlığında hazırlanmıştır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar

- Aghchai, A.J., Shakeri, M., and Dariani, B.M., (2013). Influences of material properties of components on formability of two-layer metallic sheets. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 66(5–8), 809–823.
- Aghchai, A.J., Shakeri, M., and Mollaei-Darmani, B., (2008). Theoretical and experimental formability study of two-layer metallic sheet (Al1100/St12). *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, 222(9), 1131–1138.
- ASTM-E517-00, (2011). Standard Test Method for Plastic Strain Ratio r for Sheet Metal. *ASTM Standard*.
- ASTM-E8/E8M-15a, (2015). Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials. *ASTM Standard*.
- Choi, S.H., Kim, K.H., Oh, K.H., and Lee, D.N., (1997). Tensile deformation behavior of stainless steel clad aluminum bilayer sheet. *Materials Science and Engineering A*, 222(2), 158–165.
- Fereshteh-Saniee, F., Alavi-Nia, A., and Atrian-Afyani, A., (2008). An experimental investigation on the deep drawing process of steel–brass bimetal sheets. *Proceedings of metal forming p. Krakow, Poland*.
- Harhash, M., (2017). *Forming Behaviour of Multilayer Metal/Polimer/Metal Systems*. Technische Universitat Clausthal.
- Kagzi, S.A., Gandhi, A.H., Dave, H.K., and Raval, H.K., (2016). An analytical model for bending and springback of bimetallic sheets. *Mechanics of Advanced Materials and Structures*, 23(1), 80–88.
- Kim, I.K., and Hong, S.I.G., (2013). Roll-bonded tri-layered Mg/Al/stainless steel clad composites and their deformation and fracture behavior. *Metallurgical and Materials Transactions A: Physical Metallurgy and Materials Science*, 44(8), 3890–3900.
- Kim, K.J., Kim, D., Choi, S.H., Chung, K., Shin, K.S., Barlat, F., et al., (2003). Formability of AA5182/polypropylene/AA5182 sandwich sheets. *Journal of Materials Processing Technology*, 139(1–3), 1–7.
- Lesuer, D.R., Syn, C.K., Sherby, O.D., Wadsworth, J., Lewandowski, J.J., and Hunt, W.H., (1996). Mechanical behaviour of laminated metal composites. *International Materials Reviews*, 41(5), 169–197.
- Lichtenecker, K., (1926). Dielectric constant of natural and synthetic mixtures. *Phys. Z*, 27, 115.
- Maleki, H., Bagherzadeh, S., Mollaei-Darmani, B., and Abrinia, K., (2013). Analysis of bonding behavior and critical reduction of two-layer strips in clad cold rolling process. *Journal of materials engineering and performance*, 22(4), 917–925.
- Oya, T., Tiesler, N., Kawanishi, S., Yanagimoto, J., and Koseki, T., (2010). Experimental and numerical analysis of multilayered steel sheets upon bending. *Journal of Materials Processing Technology*, 210(14), 1926–1933.
- Polymex, (2020). P-3002 Poliüretan Protolin Döküm Reçinesi. URL <https://www.polymex.com.tr/urunler/p-3002-poliuretan-protolin-dokum-recinesi/> [accessed 10 February 2017]
- Reuß, A., (1929). Berechnung der fließgrenze von mischkristallen auf grund der plastizitätsbedingung für einkristalle. *ZAMM-Journal of Applied Mathematics and Mechanics/Zeitschrift für Angewandte Mathematik und Mechanik*, 9(1), 49–58.
- Reyes, G., and Kang, H., (2007). Mechanical behavior of lightweight thermoplastic fiber–metal laminates. *Journal of Materials Processing Technology*, 186(1), 284–290.
- Satheeshkumar, V., and Narayanan, R.G., (2014). Investigation on the influence of adhesive properties on the formability of adhesive-bonded steel sheets. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science*, 228(3), 405–425.
- Standard, A., (2013). ASTM E8/E8M-13a. *Standard test methods for tension testing of metallic materials*.
- Uscinowicz, R., (2013). Experimental identification of yield surface of Al-Cu bimetallic sheet. *Composites Part B: Engineering*, 55, 96–108.
- Uscinowicz, R., (2019). Characterization of Directional Elastoplastic Properties of Al/Cu Bimetallic Sheet. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 28(3), 1350–1359.

- Voigt, W., (1889). Ueber die Beziehung zwischen den beiden Elasticitätsconstanten isotroper Körper. *Annalen der physik*, 274(12), 573–587.
- Z. Marciniak, J.L. Duncan, (2002). *Mechanics of Sheet*. Butterworth Heinemann: Springer.
- Zahedi, A., Mollaei Dariani, B., Mirnia, M.J., Dariani, B.M., and Mirnia, M.J., (2019). Experimental determination and numerical prediction of necking and fracture forming limit curves of laminated Al/Cu sheets using a damage plasticity model. *International Journal of Mechanical Sciences*, 153–154, 341–358.

Synthesis and Spectroscopic Characterization of Novel Pyridine-based N-acyl Hydrazone Derivatives and Molecular Docking Studies on Glucosamine-6-Phosphate

Derya VURAL^{1*} , Selbi KESKİN² 

Abstract

Antimicrobial resistance in infectious diseases caused by organisms such as bacteria, fungi, viruses, and parasites has led to an increase in studies and demands for new antimicrobial drug development. The compounds including pyridine and N-acylhydrazone skeletons in their structures have a large application area in drug discovery due to their anticancer, anti-tubercular, anti-bacterial and anti-fungal activities. Here, the novel N-acyl-hydrazone derivatives, (*E*)-2-oxo-N'-(2,3,4-trimethoxybenzylidene)-1,2-dihydropyridine-3-carbohydrazide and (*E*)-N'-(1-(4-bromophenyl) ethylidene)-2-oxo-1,2-dihydropyridine-3-carbohydrazide were synthesized through a multistep reaction sequence. The structures of newly synthesized compounds were established on the basis of IR, 1D and 2D NMR spectra and mass spectral data. The theoretical electronic structure analysis was performed by density functional theory (DFT) at the B3LYP level with the 6-311++G(d,p) basis set in the gas phase of synthesized compounds. The newly synthesized compounds were docked on glucosamine-6 phosphate synthase to determine potential interactions between the analyzed compounds and its active site due to its role in microbial cell wall synthesis. The possibilities of these compounds to being active for antimycobacterial and antituberculosis have been found as quite high, and their interactions in the binding site have been determined with the range of binding affinity, [-7.1, -7.3] kcal/mol, respectively.

Keywords: N-acylhydrazone, nitrogen containing heterocycles, molecular docking, glucosamine-6 phosphate.

Yeni Piridin Bazlı N-Açıl Hidrazon Türevlerinin Sentezi ve Spektroskopik Karakterizasyonu ve Glukozamin-6-Fosfat Üzerine Moleküler Yerleştirme Çalışmaları

Öz

Bakteri, mantar, virüs ve parazit gibi organizmaların neden olduğu bulaşıcı hastalıklardaki antimikrobiyal direnç yeni antimikrobiyal ilaç geliştirmeye yönelik çalışmaların ve taleplerin artmasına neden olmuştur. Temel yapısında piridin ve N-açılhidrazon içeren bileşikler, antikanser, tüberküloz, anti-bakteriyel ve anti-fungal aktivitelerinden dolayı ilaç tasarımında geniş bir uygulama alanına sahiptir. Bu çalışmada, yeni N-açıl-hidrazon türevleri, (*E*)-2-okso-N'-(2,3,4-trimetoksibenziliden)-1,2-dihidropiridin-3-karbohidrazid ve (*E*)-N'-(1-(4-bromofenil)etiliden)-2-okso-1,2-dihidropiridin-3-karbohidrazid, çok aşamalı bir reaksiyon dizisi yoluyla sentezlenmiştir. Yeni sentezlenen bileşiklerin yapıları IR, 1D ve 2D NMR spektrumları ve kütle spektral verileri kullanılarak belirlenmiştir. Teorik elektronik yapı analizleri ise 6-311++G(d,p) baz setine sahip B3LYP seviyesinde yoğunluk fonksiyonel teorisi kullanılarak gaz fazında gerçekleştirilmiştir. Glukozamin-6 fosfat sentaz proteininin mikrobiyal hücre duvarı sentezindeki rolü nedeniyle, yeni sentezlenen bileşiklerin bu moleküller aralarında gerçekleşebilecek etkileşimlerini belirlemek için moleküler yerleştirme analizi yapılmıştır. Bu bileşiklerin antimikobakteriyel ve antitüberküloz aktivitelerinin oldukça yüksek olduğu belirlenerek bağlanma bölgesindeki etkileşimleri de sırasıyla [-7.1, -7.3] kcal/mol bağlanma afinitesi olarak belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: N-açıl hidrazon, azot içeren heterohalkalı bileşikler, moleküler yerleştirme, glukozamin-6 fosfat.

¹Giresun University, Department of Physics, Faculty of Arts and Sciences, Giresun, Turkey, derya.vural@giresun.edu.tr

²Giresun University, Department of Chemistry, Faculty of Arts and Sciences, Giresun, Turkey, selbi.keskin@giresun.edu.tr

¹<https://orcid.org/0000-0002-0120-3024>

²<https://orcid.org/0000-0003-0664-9903>

1. Introduction

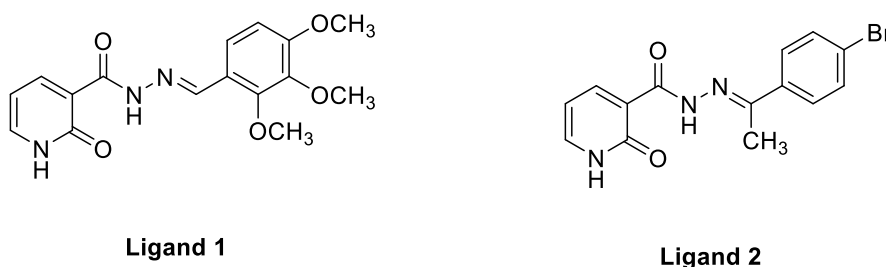
Microbial infections are the growing threat to human health due to the antimicrobial resistance. Since organism, bacteria, fungi, viruses, and parasites, causing to infectious diseases varies over time, the resistance to antimicrobial medicines increases and they become ineffective. It has been reported that the resistance of the against antibiotics increases for bacterial infections. The rising in the drug-resistant *Mycobacterium tuberculosis* cases estimated by the World Health Organization (WHO) also reveals the risk of the spreading globally (*World Health Organization WHO*, 2021).

The decrease in the effect of antibiotics has led to a new potential drugs search. In drug discovery, molecular docking is one of the commonly used techniques to test the suitability of chemical compounds and to decrease a chemical search list (M. T. Ali et al., 2018; Almutairi et al., 2018; Banerjee et al., 2011; El Sayed et al., 2018; More et al., 2014; Shyma et al., 2013; Wang et al., 2017). Glucosamine-6-Phosphate synthase, an enzyme present in microbial cells, plays an important role in the production of Glucosamine-6-Phosphate (Chmara et al., 1986; Fikrika et al., 2016). Compounds including N-benzyl-2,2,2 trifluoroacetamide (Fikrika et al., 2016), N-heterocyclic (Askri et al., 2022), novel 2,5-disubstituted-1,3,4-oxadiazole derivatives (Tok et al., 2021) have been investigated as a potential inhibitor of Glucosamine-6-Phosphate synthase to suppress the production of glucosamine-6-phosphate.

Quantitative structure activity relationship (QSAR) analyses aim to provide information about relationships between structural properties of chemical compounds and biological activities of compounds, for instance a QSAR may be developed to explore how a pyridine skeleton and other moieties (including N-acylhydrazone) demonstrate a broad spectrum of biological activities such as antimicrobial and antimycobacterial activities (Narang et al., 2011, 2012). In a wide perspective, pyridine derivatives play a vital role in medicinal chemistry and it has been reported that there are many drugs consisting of pyridine moiety with a broad spectrum of pharmacological and therapeutic properties including anticancer (Shah et al., 2018), antimicrobial (Muluk et al., 2019), antioxidant (Kotb et al., 2017), and anti-inflammatory (Kandasamy et al., 2019). Similarly, the hydrazone functional group is considered an important functionality in pharmacology since it provides strategic pharmacophore because its unique structure is capable of acting as hydrogen bond acceptors and/or donors to interact with various amino acids of the biological targets. N-acylhydrazones, hydrazide-hydrazone derivatives, are crucial for pharmacology and play an important role for the antimicrobial activity that is why it is important for synthetic organic chemistry. They possess lots of biological activities such as antibacterial (Pomarnacka et al., 2006), antituberculosis (Bedia et al., 2006) and anticonvulsant (Ragavendran et al., 2007). It is stated in some papers and patents in the literature that pyridine-based hydrazones possess important pharmacological properties such as antimicrobial

(Neuman, 2018; Soujanya et al., 2017; Ukrainets et al., 2007), antifungal (Backes et al., 2015), antibacterial (Ali et al., 2020; Morjan et al., 2014) and anti-inflammatory (Khalil et al., 2013).

In this study, we discuss the synthesis procedure of (*E*)-2-oxo-*N'*-(2,3,4-trimethoxybenzylidene)-1,2-dihydropyridine-3-carbohydrazide (Ligand **1**) and (*E*)-*N'*-(1-(4-bromophenyl) ethylidene)-2-oxo-1,2-dihydropyridine-3-carbohydrazide (Ligand **2**), the experimental and computational spectroscopic characterization completed by using NMR, FT-IR spectroscopic techniques and Gaussian 09W. (Scheme 1) The goal is to determine the role of the dihydropyridine-carbohydrazide derivatives in the inactivation of Glucosamine-6-Phosphate synthase, which could be important to find better antimicrobials. Here, we performed the molecular docking of the newly synthesized compounds on glucosamine-6-phosphate synthase to determine the inter-molecular interactions and predict their behavior in the binding sites.

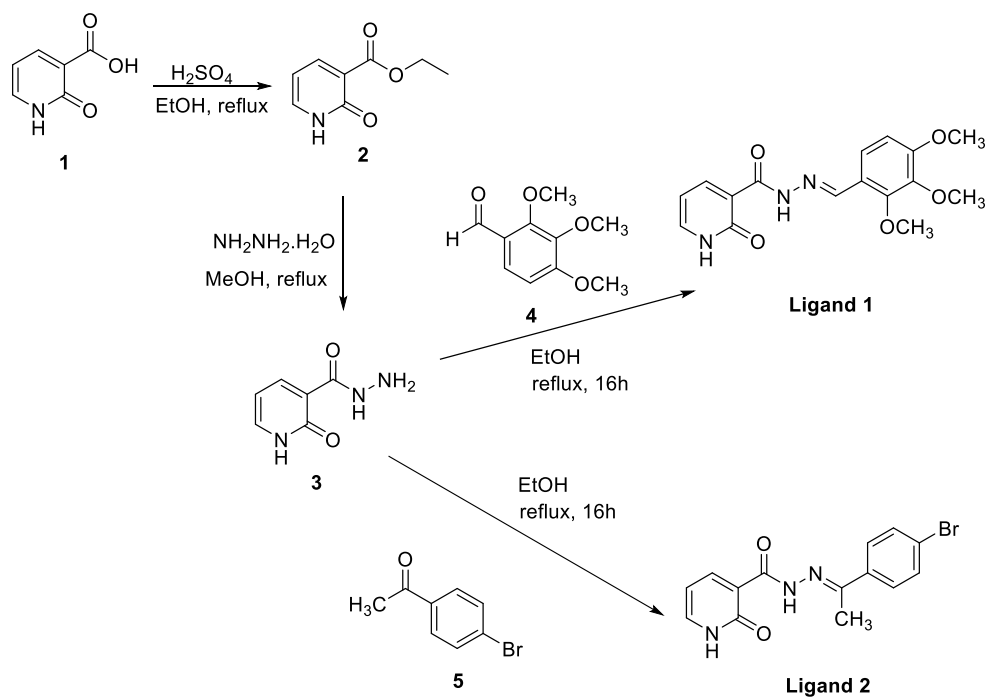


Scheme 1

2. Materials and Methods

2.1. Chemistry

The reaction scheme employed for the synthesis of target molecules are given in Scheme 2. One of the key compounds of the condensation reaction is hydrazide **3** and it was synthesized starting from the commercially available 2-hydroxy-nicotinic acid (**1**) in two steps. Firstly, 2-hydroxy-nicotinic acid (**1**) was refluxed in ethanol in the presence of catalytic amount of H₂SO₄ (He et al., 2012). The product, the compound **2**, was then reacted with hydrazine monohydrate in methanol at reflux temperature to get the key compound **3** similar to literature procedure (David et al., 2010). The condensation reaction between the compound **3** and trimethoxy-substituted aldehyde **4** in ethanol resulted in the formation of *N*-acyl hydrazone derivative (Ligand **1**). Ligand **2** was also synthesized from the condensation reaction between the hydrazide **3** and 4-bromoacetophenone (**5**). (Scheme 2) The structures of newly synthesized *N*-acylhydrazones were characterized by FT-IR, NMR, and mass spectroscopy techniques.



2.2. Experimental

All materials were purchased from commercial sources and they were used without further purification unless otherwise specified. Reactions were monitored by thin-layer chromatography (TLC) with fluorescent indicator visualizable at 254 nm and 365 nm. Melting points were determined by using a Barnstead electrothermal 9200 series digital apparatus using open glass capillaries. Fourier Transform Infrared (FT-IR) ($400\text{-}4000\text{ cm}^{-1}$) spectra were recorded using Thermo Scientific Nicolet IS10 ATR FT-IR spectrometer. Band positions were reported in reciprocal centimeters (cm^{-1}). ^1H NMR (400 MHz) spectra and ^{13}C NMR (100 MHz) spectra, APT, HSQC and HMBC NMR Spectra of the compounds were recorded on a Bruker Ascend 400 (100)-MHz spectrometer with DMSO- d_6 or CDCl_3 as the solvent. Chemical shifts were reported (λ) relative to Me_4Si as internal standard and coupling constants, J , were reported in hertz (Hz). Mass spectrums of the compounds were performed using Agilent 1260 Infinity Series LC-MS/Q-TOF at the Giresun University Central Research and Application Laboratory.

The synthesis of Ethyl 2-oxo-1,2-dihydropyridine-3-carboxylate (2) (He et al., 2012)

To a stirred solution of 2-hydroxy nicotinic acid (**1**) (1.0 g, 7.20 mmol) in ethanol (20 mL), concentrated sulfuric acid (7.20 mL) was added. The formed solution was refluxed overnight. The

reaction mixture was monitored by TLC. After the reaction was complete, ethanol was evaporated under reduced pressure. The residue was treated with a solution of NaHCO₃ (pH = 7-8) and then extracted with dichloromethane. The organic layers were washed with brine and dried over anhydrous Na₂SO₄. Solvent was evaporated until dryness to get the title compound (**2**) as a white solid. (0.9 g, 80%). ¹H NMR (400 MHz, CDCl₃) 13.61 (s, 1H), 8.26 (br d, *J* = 7.1 Hz, 1H), 7.78 (br d, *J* = 5.6 Hz, 1H), 6.40 (t, *J* = 6.3 Hz, 1H), 4.36 (q, *J* = 6.9 Hz, 2H), 1.37 (t, *J* = 6.9 Hz, 3H).

The synthesis of 2-oxo-1,2-dihydropyridine-3-carbohydrazide (3)

Ethyl 2-oxo-1,2-dihydropyridine-3-carboxylate (**2**) (0.2 g, 1.2 mmol) was refluxed with hydrazine monohydrate (0.5 mL) in methanol for 18h. After cooling of the reaction mixture, the formed precipitated was filtered off and wash with ethanol and white solid compound was dried. (172 mg, 94%). ¹H-NMR (DMSO-*d*₆, 400 MHz): δ 12.45 (br s, 1H), 10.56 (s, 1H), 8.30 (dd, *J* = 7.2, 2.2 Hz, 1H), 7.67 (dd, *J* = 6.3, 2.2 Hz, 1H), 6.51 (dd, *J* = 7.1, 6.3 Hz, 1H), 4.64 (br s, 2H). ¹³C-NMR (DMSO-*d*₆, 100 MHz): δ 163.0, 162.2, 144.0, 139.4, 120.0, 106.9.

General procedure for the synthesis of N-acylhydrazone derivatives

A mixture of hydrazide **3** (1 mmol) and the substituted benzaldehyde or acetophenone (1 mmol) in EtOH (10 mL) was refluxed overnight (Demurtas et al., 2019). After cooling the reaction mixture, precipitate was formed and it was filtered off and washed with ethanol. The product of the reaction was purified by crystallization from ethanol.

(E)-2-oxo-N'-(2,3,4-trimethoxybenzylidene)-1,2-dihydropyridine-3-carbohydrazide

(Ligand 1)

Yield: 94%, m.p: 208-209 °C. ¹H NMR (DMSO- *d*₆, 400 MHz) δ 12.90 (s, 1H, O=C-NH-N), 12.71 (br s, 1H, NH), 8.42 (dd, *J* = 7.0, 1.3 Hz, 1H), 8.37 (br s, 1H, C=NH), 7.78 (d, *J* = 5.0 Hz, 1H), 7.62 (d, *J* = 8.8 Hz, 1H, aromatic H), 6.93 (d, *J* = 9.0 Hz, 1H, aromatic H), 6.57 (t, *J* = 6.7 Hz, 1H), 3.85 (s, 3H, OCH₃), 3.84 (s, 3H, OCH₃), 3.76 (s, 3H, OCH₃). ¹³C NMR (DMSO-*d*₆, 100 MHz) δ 162.5, 160.4, 155.8, 153.1, 145.3, 144.0, 141.9, 140.5, 121.4, 120.5, 120.1, 109.1, 107.4, 62.3, 60.9, 56.4. IR (KBr, cm⁻¹) 3141 (N-H), 3010 (N-H), 2929, 2825(arom C-H), 1684 (C=O), 1610 (C=O), 1536, 1494, 1285 (arom. C=C, C=N, C-N, Ar-O-C), 1086, 1004, 777. HRMS-TOF [M+H]⁺ Calculated for C₁₆H₁₈N₃O₅ 332.1241, found: 332.1720.

(E)-N'-(1-(4-bromophenyl) ethylidene)-2-oxo-1,2-dihydropyridine-3-carbohydrazide
(Ligand 2)

Yield: 92%, m.p: 301-302 °C. ¹H NMR (DMSO-*d*₆, 400 MHz) δ 13.16 (s, 1H, O=C-NH-N), 8.46 (d, *J* = 7.4 Hz, 1H), 7.95 – 7.74 (m, 4H), 7.63 (d, *J* = 8.0 Hz, 2H), 6.59 (t, *J* = 6.8 Hz, 1H), 2.30 (s, 3H). ¹³C NMR (DMSO-*d*₆, 100 MHz) δ 162.7, 160.2, 150.8, 145.1, 140.4, 137.2, 131.5 (2C), 128.6 (2C), 123.0, 119.8, 107.3, 13.9. IR (KBr, cm⁻¹) 3104 (N-H), 3072 (N-H), 2953 (arom C-H), 1657 (C=O), 1529, 1484, 1313, 1213 (arom. C=C, C=N, C-N), 764, 534 (C-Br). HRMS-TOF [M+H]⁺ Calculated for C₁₄H₁₃BrN₃O₂ 334.0186, found: 334.0215.

2.3. Computational Procedures

2.3.1. Optimization and NMR calculation

Geometry optimization of ligands ((*E*)-2-oxo-N'-(2,3,4-trimethoxybenzylidene)-1,2-dihydropyridine-3-carbohydrazide and (*E*)-N'-(1-(4-bromophenyl) ethylidene)-2-oxo-1,2-dihydropyridine-3-carbohydrazide) was performed using Density Functional Theory (DFT) method with the B3LYP functional form and 6-311++(d,p) basis set (Becke, 1993; Lee et al., 1988). The calculations of ligands were performed using Gaussian 09W (Frisch et al., 2009) at 298.15 Kelvin and 1 atm. For the newly synthesized ligand **1** and ligand **2**, the calculated optimized structure parameters such as bond lengths, bond angles and dihedral angles were determined and the visual molecular optimized structures were illustrated by using the GaussView5.0 (Dennington et al., 2009). The thermochemical properties were also obtained in the optimization process. For ¹H and ¹³C NMR calculation, the geometrical optimization was repeated in DMSO solvent at IEF-PCM solvation model (Cancès et al., 1997), and then GIAO method was used (Ditchfield, 1974; Wolinski et al., 1990).

2.3.2. Molecular Docking

Molecular docking analysis was performed using the popular docking program AutoDock Vina (Trott et al., 2010). The three dimensional structure form of glucosamine-6-phosphate synthase (PDB ID:2VF5) was obtained from a protein data bank (see Figure 3) (Mouilleron et al., 2008). Receptor data were opened using AutoDockTools (ADT) 1.5.6 (Morris et al., 2009) to remove the natural ligand that was still attached to it before the water molecules were removed, followed by adding the nonpolar hydrogen atoms. The protein file then was saved in AutoDock pdbqt format and ready to be used for docking. Similarly, both of the ligands were prepared using AutoDockTools and the searched box size was chosen as 50Åx50Åx50Å with the grid spacing of 0.375 Å at center position (29.32,

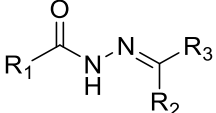
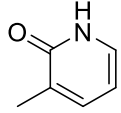
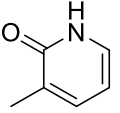
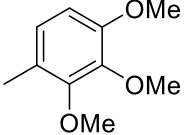
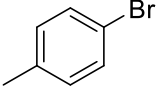
18.375, -3.793). The exhaustiveness was chosen as 8. The interactions between ligand molecules and glucosamine-6-phosphate synthase were analyzed using Discovery Studio Visualizer (*BIOVIA, Dassault Systemes, Discovery Studio Modeling Environment, Release 2017, San Diego, 2016*).

3. Findings and Discussion

3.1. Molecular Structure and Thermochemical Properties

The structure of ligands is generalized as (R_1 -CO-NH-N=C- R_2 - R_3) and the substituents R_1 , R_2 and R_3 are listed in Table 1.

Table 1. The list of the sub-groups in the structure of ligands

		
	Ligand 1	Ligand 2
R_1		
R_2	-H	-CH ₃
R_3		

The optimized structure parameters and atom coordinates of ligand **1** and ligand **2** molecules are in Supporting Information (S.I.) file (see Table S1-S4), and their visual presentations, the atom numbering scheme are shown in Figure 1. The thermochemical properties of the optimized geometrical structure of both ligand molecules given in Table 2 indicate that the larger contribution to thermal energy, entropy, and enthalpy arise from the vibrational part since the electronic contribution is 0.000, and the total values is found as 214.792 and 161.822 kcal/mol for ligand **1** and ligand **2**, respectively. It has been also found that the total electronic energy value, $E(\text{RB3LYP}) = -3429.7996$, for ligand **2** is found as larger than that, $E(\text{RB3LYP}) = -1160.5837$, for ligand **1**.

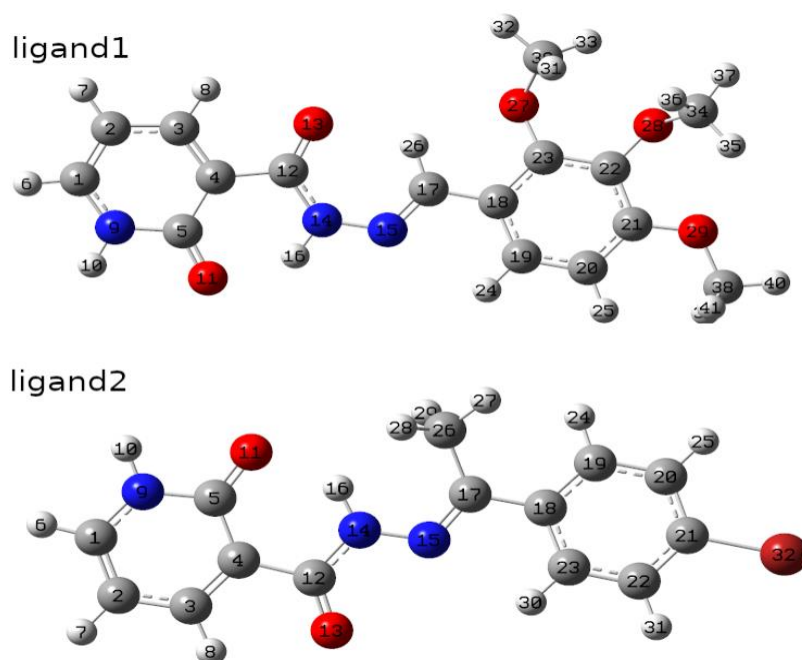


Figure 1. The optimized molecular structure of (*E*)-2-oxo-*N'*-(2,3,4-trimethoxybenzylidene)-1,2-dihydropyridine-3-carbohydrazide (Ligand **1**) and (*E*)-*N'*-(1-(4-bromophenyl) ethylidene)-2-oxo-1,2-dihydropyridine-3-carbohydrazide (Ligand **2**) obtained using GaussView5.0.

To understand the optimized geometrical structure, having the minimum potential energy surface, the orientation of two intersecting planes defined with C12, N14, N15, C17 atoms and of R₁ and R₃ rings around these planes has been investigated. The dihedral angle of C12-N14-N15-C17 is found as -5.96° and -177.67° for ligand **1** and ligand **2**, respectively. These results indicate that ligand molecules are not planar, which is consistent with molecules having sp² and sp³ hybridized atoms. The C3-C4-C12-N14 and N15-C17-C18-C19 torsional angles, indicating the distortion of the R₁ and R₃ rings from the plane surface between them, are found as -178.43° and -2.63° for ligand **1**, and -179.38° and 164.61° for ligand **2**. While the C-C-C angles of R₁ and R₃ rings vary between 118° and 123° , slightly distorted from the typical hexagonal angle of 120° , the angles of C1-N9-C5, C2-C1-N9 and C4-C5-N9 are found as 125° , 119° and 114° , respectively.

In R₁ ring, the bond lengths vary between 1.36 \AA and 1.42 \AA , slightly different from the bond length 1.33 \AA of a pyridine ring, except the slightly higher C4-C5 bond length, 1.46 \AA , due to the O-atom bonded to C5. The bond length between C12 and C4 (R₁ group) is found as 1.51 \AA for both of ligand molecules, since it between C17 and C18 (R₃ group) is slightly longer for ligand **2** than ligand **1** (1.47 \AA (ligand **1**) < 1.49 \AA (ligand **2**)) due to the CH₃ substitution to C17 of ligand **2**. The length of C-C bond in benzene ring of ligand **1** and ligand **2** varies from 1.39 \AA to 1.4 \AA . The C=O bond lengths in both ligand molecules are found approximately as 1.22 \AA while C-O bonds in R₃ ring of ligand **1** molecule varies between 1.36 \AA and 1.42 \AA . The bonds only existing in ligand **2** molecule are C21-Br32 with the lengths of 1.92 \AA . The C-H and N-H bonds are approximately found as 1.09

Å and 1.01 Å, respectively. These values have good agreement with the values in literature (Cai et al., 2011; Fun et al., 2011; Wu et al., 2009).

Table 2. Thermo-chemical properties of ligand 1 and ligand 2 molecules

		Ligand1	Ligand2
Rotational temperatures (Kelvin)		0.03176	0.05493
		0.00401	0.00348
		0.00358	0.00328
Rotational constants (GHZ):		0.66178	1.14450
		0.08347	0.07254
		0.07456	0.06834
Zero-point vibrational energy (Joules/Mol)		837873.8	629991.7
Zero-point correction (Hartree/Particle)		0.31913	0.23995
Thermal correction to Energy		0.34229	0.25788
Thermal correction to Enthalpy		0.34324	0.25882
Thermal correction to Gibbs Free Energy		0.26382	0.19035
Sum of electronic and zero-point Energies		-1160.26458	-3429.55961
Sum of electronic and thermal Energies		-1160.24141	-3429.54168
Sum of electronic and thermal Enthalpies		-1160.24047	-3429.54074
Sum of electronic and thermal Free Energies		-1160.31988	-3429.60921
E (Thermal) (KCal/Mol)	Total	214.792	161.822
	Electronic	0.000	0.000
	Translational	0.889	0.889
	Rotational	0.889	0.889
	Vibrational	213.015	160.045
CV Cal/Mol-Kelvin	Total	84.989	67.060
	Electronic	0.000	0.000
	Translational	2.981	2.981
	Rotational	2.981	2.981
	Vibrational	79.027	61.098
S Cal/Mol-Kelvin	Total	167.145	144.106
	Electronic	0.000	0.000
	Translational	43.287	43.304
	Rotational	35.611	35.292
	Vibrational	88.248	65.510
E(RB3LYP)		-1160.58371	-3429.79956

3.2. Spectroscopic characterization

Target compounds were experimentally characterized by the spectroscopic techniques (Nuclear Magnetic Resonance Spectroscopy (NMR), High-Resolution Mass Spectrometry (HRMS) and Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)). Assignments of all protons and carbons in the target structures were made by the help of 1D and 2D NMR spectra. The $^1\text{H-NMR}$, $^{13}\text{C-NMR}$ and 2D NMR spectra (APT, COSY, HSQC and HMBC) measured in $\text{DMSO-}d_6$ of all the compounds were given in Figures S1-S14 (see SI). The IR spectra of ligands showed the absorption bands of the NH groups in the structures at around 3100 cm^{-1} . In addition, in the region of $\nu = 1683\text{--}1620\text{ cm}^{-1}$, the absorption bands of C = O groups in the structure of the ligands were observed (see SI, Figure S15-

S16). The optimized structural geometries in DMSO with IEF-PCM model of the ligand **1** and **2** were used to compute NMR chemical shifts using same solvation selection at the B3LYP/6-311G++(d,p) level with GIAO method. Table 3 shows the computed and experimental ^1H and ^{13}C NMR chemical shifts of the ligand **2**.

Table 3: The experimental and calculated ^1H -NMR and ^{13}C -NMR chemical shifts of the ligand **2** (all values are in ppm)

Atoms	$\delta_{exp.}$	$\delta_{calc.}$	Atoms	$\delta_{exp.}$	$\delta_{calc.}$
H6	7.82	7.78	C1	140.4	145.7
H7	6.59	6.67	C2	107.3	112.1
H8	8.46	8.87	C3	145.1	151.3
H10	7.84	8.75	C4	119.8	125.3
H16	13.16	12.37	C5	162.7	166.7
H24	7.80	8.27	C12	160.2	165.4
H30	7.80	7.83	C17	150.8	157.5
H25	7.63	7.78	C18	137.2	145.4
H31	7.63	7.60	C19	128.6	133.8
H27	2.30	2.64	C23	128.6	133.0
H28	2.30	2.23	C20	131.5	136.8
H29	2.30	2.23	C22	131.5	136.8
			C21	123.0	147.24
			C27	13.9	13.9

When examined the ^1H -NMR spectrum of the ligand **2**, it was seen that there are three hydrogens resonating separately and two hydrogens having same environment, resonating together. Moreover, since four hydrogens resonate in very close regions to each other, their signals were seen to coincide with each other and seem as multiplet between 7.95-7.74 ppm. However, all the carbons and hydrogens were assigned by using 2D NMR spectra and all the spectra were seen in Figures S4-S9 (see SI). H6 proton gave resonance signal at around 7.82 ppm as multiplet due to the overlapping of another peak in the experimental spectrum while it was computed at 7.78 ppm. The H7 was split by H6 and H8, and it resonated at 6.59 ppm as a triplet with the 6.8 Hz coupling constant value experimentally and its theoretically calculated resonance signal value is 6.67 ppm. The H8 was recorded as a doublet at 8.46 ppm with the value of coupling constant 6.53 Hz splitting by H7 proton experimentally and it is calculated at 8.87 ppm. The resonance signal of NH proton on the ring, H10, was observed at 7.84 ppm as a broad singlet. The calculated value for H10 is 8.75 ppm. The amide NH proton, H16, was theoretically calculated as 12.37 ppm while recorded experimentally at 13.16 ppm as a singlet. About the benzene protons, it is clearly seen that these protons resonate as AA'BB' system. The A part of the AA'BB' system, the H24 and H30, was observed in the experimental spectrum at around 7.80 ppm as multiplet due to the overlapping with different signals while B part of the AA'BB' system, H25 and H31, was appeared as a doublet at 7.63 ppm with the value of 7.35 Hz of coupling constant. The aromatic protons H24 and H30 were computed at 7.83 and 8.27 ppm

while the H25 and H31 were theoretically detected at 7.78 and 7.60 ppm, respectively. The methyl protons (H27, H28 and H29) were observed as singlet at 2.30 ppm in the experimental $^1\text{H-NMR}$ spectrum and theoretically obtained at 2.64 ppm and 2.23 ppm. Overall, comparison of the $^1\text{H-NMR}$ chemical shifts for ligand **2** indicate a good agreement between experiment and theory agree.

The assignment of carbons was done by the help of HSQC and HMBC spectrum. The carbons bonded to hydrogen were easily determined by HSQC spectrum. The H6 correlates with the carbon signal at 140.4 ppm, and it is the C1 carbon calculated theoretically at 145.7 ppm. It was determined that resonance signal of the C2 carbon connected to the H7 proton was at 107.3 ppm in the experimental $^{13}\text{C-NMR}$ spectrum while calculating at 112.1 ppm theoretically. The C3 carbon was computed at 151.3 ppm and detected experimentally at 145.1 ppm. For the assignment of carbonyl carbon atoms, the HMBC spectrum was used. The correlations between H8 (at 8.46 ppm) and the carbons resonating at 140.4, 162.7 and 160.2 ppm were determined. It means that the signals at the 162.7 and 160.2 ppm belong to the carbonyl carbons in the structure of the ligand **2** because the signal at 140.4 ppm belongs to the C1. Additionally, it was seen that the carbon signal at 162.7 ppm correlated both H8 and H6 and it is the proof that this signal (at 162.7) belongs to C5 carbon which was calculated theoretically at 166.7 ppm. The C12 carbon signal was observed at 160.2 ppm (exp.) and 165.4 ppm (calc.) in the $^{13}\text{C-NMR}$ spectrum. The peak at 150.8 correlates with H16, H30 and CH_3 protons in the HMBC spectrum over three bonds and it is concluded that this signal belongs to the imine carbon atom, the C17 carbon calculating at 157.5 ppm as theoretically. The computed resonance signal of the C18 carbon was at 145.4 ppm and it was experimentally found at 137.2 ppm. The C18 signal correlates with H31 and CH_3 protons. The C19 and C23 carbons gave resonance signal at 128.6 ppm together as expected although they gave resonance separately at 133.8 and 133.0 ppm according to calculated results. Also, the C20 and C22 carbons were appeared at 131.5 ppm together in the experimental $^{13}\text{C-NMR}$ spectrum and calculated at 136.8 ppm. The C21 carbon at 123.0 ppm determined from the correlations with H30 proton over 3-bonds and H31 proton over 2 bonds in the HMBC spectrum was calculated at 147.25 ppm as theoretically. This difference can be explained by heavy atom effect. In the first sight, it is expected that bromine withdraw the electron from the aromatic ring and the chemical shift value of C21 carbon should be shifted to downfield due to the electronegativity of bromine atom. However, the experimental value shows that this ipso carbon, C21, shifted to high-field region (123.0 ppm) and chemical shift follows an opposite trend than expected. Br has a wide electron cloud distribution. This electron cloud has very important effect on shielding of C21 and it immerses the carbon within an electron cloud. It is the reason of diamagnetic shielding around the C21 carbon nucleus and a high-field shift.

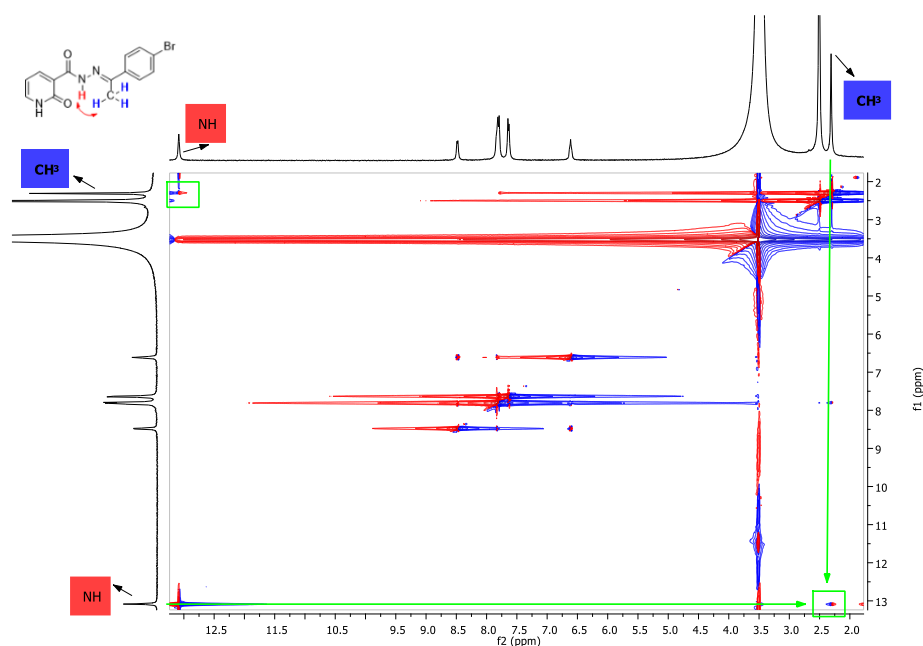
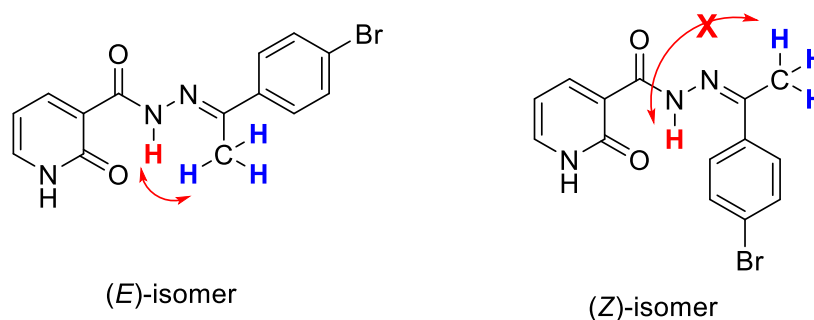


Figure 2. NOESY spectrum of the ligand **2**

After assignment of all hydrogen and carbon atoms, NOESY NMR experiment of the ligand **2** was undertaken to identify the stereochemistry (Figure 2). When examined NOESY spectrum of the ligand **2**, NOE signal was observed between the hydrazide NH at 13.16 ppm and methyl protons resonating at 2.30 ppm. It is expected to observe in the *E* isomer not in the *Z*-isomer. (Scheme 3)



Scheme 3

Table 4 shows the comparison of the experimental and theoretical ^1H -NMR and ^{13}C -NMR chemical shifts of the ligand **1** in ppm. All the assignments were done by using 1D and 2D NMR spectra seen in Figures S10-S14 (see SI). In the structure of ligand **1**, there are three methoxy groups connected to the benzene ring. While methoxy protons of H35, H36, H37 were recorded at 3.76 ppm as singlet, the methoxy protons of H31, H32, H33 and H39, H40, H41 were detected at 3.85 ppm and 3.84 ppm, respectively as experimentally. All of the methoxy protons were computed at the interval of 3.33-4.81 ppm theoretically.

Table 4. The experimental and calculated ^1H -NMR and ^{13}C -NMR chemical shifts of the ligand **1** (all values are in ppm)

Atoms	$\delta_{exp.}$	$\delta_{calc.}$	Atoms	$\delta_{exp.}$	$\delta_{calc.}$
H6	7.78	7.73	C1	140.5	145.7
H7	6.57	6.59	C2	107.4	112.1
H8	8.42	8.82	C3	145.3	151.3
H10	8.37	8.7	C4	120.1	125.3
H16	12.90	12.29	C5	162.5	166.7
H24	7.62	8.05	C12	160.4	165.4
H26	12.71	10.78	C17	144.0	157.5
H25	6.93	6.79	C18	120.5	145.4
H31	3.85	3.52	C19	121.4	133.8
H32	3.85	4.14	C20	109.1	136.8
H33	3.85	4.25	C21	155.8	147.24
H35	3.76	4.81	C22	141.9	136.8
H36	3.76	3.33	C23	153.1	133.0
H37	3.76	3.93	C30	62.3	62.79
H39	3.84	3.80	C34	60.9	60.8
H40	3.84	4.25	C38	56.4	56.4
H41	3.84	3.80			

3.3. Molecular Docking

The biological activities of ligand **1** and ligand **2** were determined by using PASS Web Online (Filimonov et al., 2014). In the results of PASS analysis, Pa and Pi refer to the probability of being active and inactive, respectively. Since the antimycobacterial activities of ligand **1** and ligand **2** were predicted as [Pa, Pi] = [0.730, 0.004] and [Pa, Pi] = [0.775, 0.004], their antituberculosis activities were found as [Pa, Pi] = [0.712, 0.004] and [Pa, Pi] = [0.780, 0.003], respectively. Molecular docking was performed to predict the interaction between ligand molecules and glucosamine-6-phosphate synthase (PDB ID:2VF5) using AutoDock Vina (Figure 3 and Figure S17). The binding affinity for the best binding mode of ligand **1** and ligand **2** is found as -7.1 and -7.3 kcal/mol respectively. The different binding modes for both ligands could be found in Table S5 in S.I. Discovery Studio Visualizer was used to produce two- and three-dimensional docking representations of both ligand molecules. Molecular docking results reveal the interaction occurred between amino acid residue on the glucosamine-6-phosphate synthase and functional group on the ligand molecules. There are three types of interactions: hydrogen bond, electrostatic and hydrophobic interactions. While hydrogen bond and hydrophobic interactions were observed for both ligand molecules, electrostatic interactions were only observed for ligand **1**.

Hydrogen bond interactions between ligand **1** molecule and target protein are formed as N-H...O and C-H...O. Since the conventional hydrogen bond interaction (N-H...O) is formed (i) between O atom of methoxy group of ligand molecule and NH of residues THR302 and SER303 with 2.57, 2.17, and 2.70 Å of interaction distance, (ii) between =O atom on the ring of ligand molecule

and NH of residues ALA353 and ASP354 with 2.95 and 1.94 Å of interaction distance, respectively. The carbon hydrogen bond interaction (C-H...O) is occurred between O atom of residue SER303 and GLU488 and H atoms of methoxy group of ligand molecule, and between H atoms in residues GLY301 and THR302 and O atom of methoxy group of ligand 1. Here, the interaction distance for the carbon hydrogen bonds varies between 3.35 and 3.51 Å.

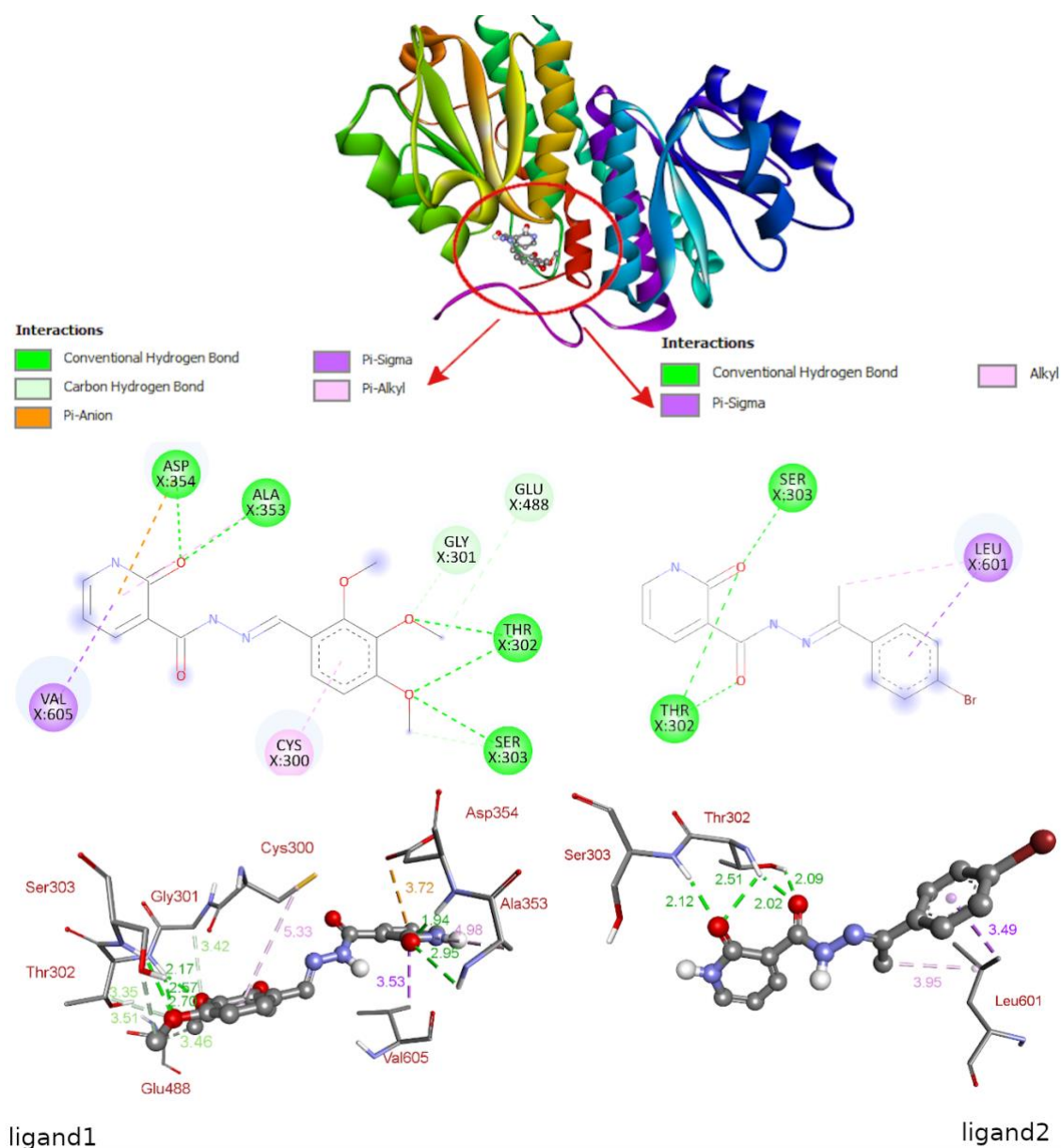


Figure 3. The predicted best binding mode of ligands 1 and 2 to Glucosamine 6-phosphate synthase (PDB ID: 2VF5) with AutoDock Vina predicted binding affinity scores of -7.1 and -7.3 kcal/mol.

The pi-alkyl interactions, one of the hydrophobic interactions, have been observed between the pi-electron cloud over the aromatic groups, dihydropyridinone and benzene rings of ligand molecules, and an alkyl group of residues ALA353 and CYS300 of the glucosamine-6-phosphate

with 4.98 and 5.33 Å of interaction distances, respectively. It has been also observed the pi-sigma interaction between the pyridine ring of ligand and the C atom of residue VAL605 with the 3.53 Å of interaction distance. The pi-anion electrostatic interaction is observed between the electron deficient over the pyridine ring of ligand and the anion on O atom of residue ASP354 and the interaction distance is 3.72 Å.

Hydrogen bond interactions between ligand **2** molecule and target protein are only formed as N-H...O. Here, the conventional hydrogen bond interaction between =O atom of ligand molecule and NH of residues THR302 and SER303 with 2.02, 2.09, 2.12 and 2.51 Å of interaction distance. The hydrophobic interactions were observed between C atom of the residue LEU601 and benzene ring of ligand molecule with 3.49 (pi-sigma), and C atom of methyl group of the ligand and the residue LEU601 with 3.95 of interaction distance (alkyl).

4. Conclusions and Recommendations

The novel N-acylhydrazones, (*E*)-2-oxo-N'-(2,3,4-trimethoxybenzylidene)-1,2-dihydropyridine-3-carbohydrazide (Ligand **1**) and (*E*)-N'-(1-(4-bromophenyl) ethylidene)-2-oxo-1,2-dihydropyridine-3-carbohydrazide (Ligand **2**), were synthesized starting from 2-hydroxynicotinic acid and characterized by spectroscopic techniques both experimentally and computationally. The geometry of the carbohydrazides, ligand **1** and ligand **2**, such as bond lengths, angles, and torsional angles, were characterized using computational technique. Since these two newly synthesized compounds have high activity potential for antimycobacterial and anti-tuberculosis, we were investigated the interaction between the compounds and glucosamine-6-phosphate synthase using molecular docking. The binding affinities of ligand **1** and ligand **2** molecules were determined as -7.1 and -7.3 kcal/mol, respectively. This study could be extended using derivatives of ligand having different substituent on benzene ring to find different candidates in drug development.

Acknowledgements

This work is supported by the Scientific Research Project Found of Giresun Üniversitesi under the project number FEN-BAP-A-250-221-26 and FEN-BAP-A-240222-31.

Authors' Contributions

All authors contributed equally to the study.

Statement of Conflicts of Interest

There is no conflict of interest between the authors.

Statement of Research and Publication Ethics

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

References

- Ali, I., Burki, S., El-Haj, B. M., Shafiullah, Parveen, S., Nadeem, H. Ş., Nadeem, S., & Shah, M. R. (2020). Synthesis and characterization of pyridine-based organic salts: Their antibacterial, antibiofilm and wound healing activities. *Bioorganic Chemistry*, *100*, 103937. doi: 10.1016/j.bioorg.2020.103937
- Ali, M. T., Blicharska, N., Shilpi, J. A., & Seidel, V. (2018). Investigation of the anti-TB potential of selected propolis constituents using a molecular docking approach. *Scientific Reports*, *8*:12238, 1–8. doi: 10.1038/s41598-018-30209-y
- Almutairi, M. S., Zakaria, A. S., Ignasius, P. P., Al-Wabli, R. I., Joe, I. H., & Attia, M. I. (2018). Synthesis, spectroscopic investigations, DFT studies, molecular docking and antimicrobial potential of certain new indole-isatin molecular hybrids: Experimental and theoretical approaches. *Journal of Molecular Structure*, *1153*, 333–345. doi: 10.1016/j.molstruc.2017.10.025
- Askri, S., Dbeibia, A., McHiri, C., Boudriga, S., Knorr, M., Roulland, E., Laprèvote, O., Saffon-merceron, N., & Gharbi, R. (2022). Antimicrobial activity and in silico molecular docking studies of pentacyclic spiro[oxindole-2,3'-pyrrolidines] tethered with succinimide scaffolds. *Applied Sciences*, *12*(1), 360. doi: 10.3390/app12010360
- Backes, G. L., Jursic, B. S., & Neumann, D. M. (2015). Potent antimicrobial agents against azole-resistant fungi based on pyridinohydrazide and hydrazomethylpyridine structural motifs. *Bioorganic and Medicinal Chemistry*, *23*(13), 3397–3407. doi: 10.1016/j.bmc.2015.04.040
- Banerjee, K., Gupta, U., Gupta, S., Wadhwa, G., Gabrani, R., Sharma, S. K., & Jain, C. K. (2011). Molecular docking of glucosamine-6-phosphate synthase in *Rhizopus oryzae*. *Bioinformation*, *7*(6), 285–290. doi: 10.6026/007/97320630007285
- Becke, A. D. (1993). Density-functional thermochemistry. III. The role of exact exchange. *The Journal of Chemical Physics*, *98*(7), 5648–5652. doi: 10.1063/1.464913
- Bedia, K. K., Elçin, O., Seda, U., Fatma, K., Nathaly, S., Sevim, R., & Dimoglo, A. (2006). Synthesis and characterization of novel hydrazide-hydrazones and the study of their structure-antituberculosis activity. *European Journal of Medicinal Chemistry*, *41*(11), 1253–1261. doi: 10.1016/j.ejmech.2006.06.009
- BIOVIA, Dassault Systemes, Discovery Studio Modeling Environment, Release 2017, San Diego, Dassault Systemes ____ (2016).
- Cai, Y., Wang, Z., Li, Z., Zhang, M., & Wu, J. (2011). (E)-1-(4-Methoxyphenyl)-3-(2,4,6-trimethoxyphenyl)prop-2-en-1-one. *Acta Crystallographica Section, E67*, o1432. doi: 10.1107/S1600536811017788
- Cancès, E., Mennucci, B., & Tomasi, J. (1997). A new integral equation formalism for the polarizable continuum model: Theoretical background and applications to isotropic and anisotropic dielectrics. *Journal of Chemical Physics*, *107*(8), 3032–3041. doi: 10.1063/1.474659
- Chmara, H., & Borowski, E. (1986). Bacteriolytic effect of cessation of glucosamine supply, induced by specific inhibition of glucosamine-6-phosphate synthetase. *Acta Microbiologica Polonica*, *35*(1–2), 15–27.
- David, K., Munoz-Muriedas, J., Sime, M., Steadman, J. G. A., Thewlis, R. E. A., Trani, G., & Walter, D. S. (2010). 5,6,7,8-TetrahydroM.2,4,1-triazolo[4,3-b]pyridazine derivatives as P2X7 modulators. *WO 2010/125102 A1*.
- Demurtas, M., Baldisserotto, A., Lampronti, I., Moi, D., Balboni, G., Pacifico, S., Vertuani, S., Manfredini,

- S., & Onnis, V. (2019). Indole derivatives as multifunctional drugs: Synthesis and evaluation of antioxidant, photoprotective and antiproliferative activity of indole hydrazones. *Bioorganic Chemistry*, 85, 568–576. doi: 10.1016/j.bioorg.2019.02.007
- Dennington, R., Keith, T., & Millam, J. (2009). GaussView, Version 5. Semichem Inc., Shawnee Mission. *Shawnee Mission KS, Semichem Inc.*
- Ditchfield, R. (1974). Self-consistent perturbation theory of diamagnetism. *Molecular Physics: An International Journal at the Interface Between Chemistry and Physics*, 27(4), 789–807. doi: 10.1080/00268977400100711
- El Sayed, M. T., El-Sharief, M. A. M. S., Zarie, E. S., Morsy, N. M., Elsheakh, A. R., Nayel, M., Voronkov, A., Berishvili, V., Sabry, N. M., Hassan, G. S., & Abdel-Aziz, H. A. (2018). Design, synthesis, anti-inflammatory antitumor activities, molecular modeling and molecular dynamics simulations of potential naprosyn® analogs as COX-1 and/or COX-2 inhibitors. *Bioorganic Chemistry*, 76, 188–201. doi: 10.1016/j.bioorg.2017.11.002
- Fikrika, H., Ambarsari, L., & Sumaryada, T. (2016). Molecular Docking Studies of Catechin and Its Derivatives as Anti-bacterial Inhibitor for Glucosamine-6-Phosphate Synthase. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 31(1), 012009. doi: 10.1088/1755-1315/31/1/012009
- Filimonov, D. A., Lagunin, A. A., Glorizova, T. A., Rudik, A. V., Druzhilovskii, D. S., Pogodin, P. V., & Poroiikov, V. V. (2014). Prediction of the biological activity spectra of organic compounds using the pass online web resource. *Chemistry of Heterocyclic Compounds*, 50(3), 444–457. doi: 10.1007/s10593-014-1496-1
- Frisch, M. J., Trucks, G. W., Schlegel, H. B., & G. E. Scuseria, et al. (2009). Gaussian 09, Revision C.01. *Gaussian Inc. Wallingford, CT.*
- Fun, H. K., Chantrapromma, S., & Suwunwong, T. (2011). (2E)-1-(Pyridin-2-yl)-3-(2,4,6-trimethoxyphenyl)prop-2-en-1-one. *Acta Crystallographica Section, E67*, o2789. doi: 10.1107/S1600536811039110
- He, W. W., Yang, J., Ma, J. F., & Song, S. Y. (2012). Metal-dependent assemblies of an unusual pentanuclear cadmium cluster and a fascinating 3D 4-connected lead-containing framework. *Inorganic Chemistry Communications*, 24, 63–66. doi: 10.1016/j.inoche.2012.07.044
- Kandasamy, M., Mak, K.-K., Devadoss, T., Thanikachalam, P. V., Sakirolla, R., Choudhury, H., & Pichika, M. R. (2019). Construction of a novel quinoxaline as a new class of Nrf2 activator. *BMC Chemistry*, 13(1), 1–10. doi: 10.1186/s13065-019-0633-4
- Khalil, N. A., Ahmed, E. M., Mohamed, K. O., & Zaitone, S. A. B. (2013). Synthesis of new nicotinic acid derivatives and their evaluation as analgesic and anti-inflammatory agents. *Chemical and Pharmaceutical Bulletin*, 61(9), 933–940. doi: 10.1248/cpb.c13-00261
- Kotb, E. R., Soliman, H. A., Morsy, E. M. H., & Abdelwahed, N. A. M. (2017). New pyridine and triazolopyridine derivatives: Synthesis, antimicrobial and antioxidant evaluation. *Acta Poloniae Pharmaceutica - Drug Research*, 74(3), 861–872.
- Lee, C., Yang, W., & Parr, R. G. (1988). Development of the Colle-Salvetti correlation-energy formula into a functional of the electron density. *Physical Review B*, 37, 785–789.
- More, U. A., Joshi, S. D., Aminabhavi, T. M., Gadad, A. K., Nadagouda, M. N., & Kulkarni, V. H. (2014). Design, synthesis, molecular docking and 3D-QSAR studies of potent inhibitors of enoyl-acyl carrier protein reductase as potential antimycobacterial agents. *European Journal of Medicinal Chemistry*, 71, 199–218. doi: 10.1016/j.ejmech.2013.11.004
- Morjan, R. Y., Mkhadmeh, A. M., Beadham, I., Elmanama, A. A., Mattar, M. R., Raftery, J., Pritchard, R. G., Awadallah, A. M., & Gardiner, J. M. (2014). Antibacterial activities of novel nicotinic acid hydrazides and their conversion into N-acetyl-1,3,4-oxadiazoles. *Bioorganic & Medicinal Chemistry Letters*, 24, 5796–5800. doi: 10.1016/j.bmcl.2014.10.029
- Morris, G. M., Huey, R., Lindstrom, W., Sanner, M. F., Belew, R. K., Goodsell, D. S., & Olson, A. J. (2009). AutoDock4 and AutoDockTools4: Automated Docking with Selective Receptor Flexibility. *Journal of Computational Chemistry*, 30(16), 2785–2791. doi: 10.1002/jcc.21256
- Mouilleron, S., Badet-Denisot, M. A., & Golinelli-Pimpaneau, B. (2008). Ordering of C-terminal Loop and Glutaminase Domains of Glucosamine-6-Phosphate Synthase Promotes Sugar Ring Opening and Formation of the Ammonia Channel. *Journal of Molecular Biology*, 377(4), 1174–1185. doi: 10.1016/j.jmb.2008.01.077
- Muluk, M. B., Dhumal, S. T., Rehman, N. N. M. A., Dixit, P. P., Kharat, K. R., & Haval, K. P. (2019). Synthesis, Anticancer and Antimicrobial Evaluation of New (E)-N'-Benzylidene-2-(2-ethylpyridin-4-yl)-4-methylthiazole-5-carbohydrazides. *ChemistrySelect*, 4(31), 8993–8997. doi:

10.1002/slct.201902030

- Narang, R., Narasimhan, B., Sharma, S., Sriram, D., Yogeewari, P., Clercq, E. De, Pannecouque, C., & Balzarini, J. (2011). Nicotinic Acid Benzylidene/Phenyl-Ethylidene Hydrazides: Synthesis, Antimicrobial Evaluation and QSAR Studies. *Letters in Drug Design & Discovery*, 8(8), 733–749. doi: 10.2174/157018011796575999
- Narang, R., Narasimhan, B., Sharma, S., Sriram, D., Yogeewari, P., De Clercq, E., Pannecouque, C., & Balzarini, J. (2012). Synthesis, antimycobacterial, antiviral, antimicrobial activities, and QSAR studies of nicotinic acid benzylidene hydrazide derivatives. *Medicinal Chemistry Research*, 21(8), 1557–1576. doi: 10.1007/s00044-011-9664-7
- Neuman, D. M. (2018). *Antimicrobial pyridinohydrazone and hydrazomethylpyridine-based agents* (US 2018/0072672 A1).
- Pomarnacka, E., Bednarski, P. J., Reszka, P., Dziemidowicz-Borys, E., Bieńczak, A., Werel, W., & Hałasa, R. (2006). Synthesis and biological activity of new 2-amino-8-chloro-5,5-dioxo[1,2,4]triazolo[2,3-b][1,4,2]benzodithiazines. *European Journal of Medicinal Chemistry*, 41(5), 633–639. doi: 10.1016/j.ejmech.2005.11.009
- Ragavendran, J. V., Sriram, D., Patel, S. K., Reddy, I. V., Bharathwajan, N., Stables, J., & Yogeewari, P. (2007). Design and synthesis of anticonvulsants from a combined phthalimide-GABA-anilide and hydrazone pharmacophore. *European Journal of Medicinal Chemistry*, 42(2), 146–151. doi: 10.1016/j.ejmech.2006.08.010
- Shah, N., & Soman, S. (2018). Design, synthesis and evaluation of antimicrobial and anticancer activity of novel 3-aminomethyl pyridin derivatives. *European Journal of Pharmaceutical and Medical Research*, 5(10), 229–241.
- Shyma, P. C., Kalluraya, B., Peethambar, S. K., Telkar, S., & Arulmoli, T. (2013). Synthesis, characterization and molecular docking studies of some new 1,3,4-oxadiazolines bearing 6-methylpyridine moiety for antimicrobial property. *European Journal of Medicinal Chemistry*, 68, 394–404. doi: 10.1016/j.ejmech.2013.07.019
- Soujanya, M., & Rajitha, G. (2017). CODEN (USA): PCHHAX Synthesis, Characterization, Molecular Docking and Antimicrobial Activity of Nicotinic Acid Derived N-acylhydrazones. *Der Pharma Chemica*, 9(17), 10–15.
- Tok, F., Uğraş, Z., Sağlık, B. N., Özkay, Y., Kaplancıklı, Z. A., & Koçyiğit-Kaymakçioğlu, B. (2021). Novel 2,5-disubstituted-1,3,4-oxadiazole derivatives as MAO-B inhibitors: Synthesis, biological evaluation and molecular modeling studies. *Bioorganic Chemistry*, 112, 104917. doi: 10.1016/j.bioorg.2021.104917
- 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, 455–461. doi: 10.1002/jcc.21334
- Ukrainets, I. V., Sidorenko, L. V., & Golovchenko, O. S. (2007). 4-Hydroxy-2-quinolones 132. Synthesis, chemical, and biological properties of 1-R-4-hydroxy-2-oxo-1,2-dihydroquinoline-3-carboxylic acids 2-nitrobenzylidenehydrazides. *Chemistry of Heterocyclic Compounds*, 43(11), 1434–1439. doi: 10.1007/s10593-007-0221-8
- Wang, S., Liu, H. Y., Xu, R. F., & Sun, J. (2017). Synthesis, biological evaluation, and molecular docking studies of diacylhydrazine derivatives possessing 1,4-benzodioxan moiety as potential anticancer agents. *Russian Journal of General Chemistry*, 87(11), 2671–2677. doi: 10.1134/S1070363217110238
- Wolinski, K., Hinton, J. F., & Pulay, P. (1990). Efficient Implementation of the Gauge-Independent Atomic Orbital Method for NMR Chemical Shift Calculations. *Journal of the American Chemical Society*, 112(23), 8251–8260. doi: 10.1021/ja00179a005
- World Health Organization WHO. (2021). Retrieved from <https://www.who.int/news-room/factsheets/detail/antimicrobial-resistance>
- Wu, J., Zhang, L., Wang, J., Yang, S., & Li, X. (2009). 1-Phenyl-3-(2,4,6-trimethoxy-phen-yl)prop-2-en-1-one. *Acta Crystallographica Section, E65*, o2805. doi: 10.1107/S1600536809041877

Comparison of Artificial Neural Networks with other Machine Learning Methods in Foot Movement Classification

Selin AYDIN FANDAKLI^{1*} , Halil İbrahim OKUMUŞ² 

Abstract

Modern prostheses can be controlled by using gait analysis data from Inertial Measurement Units compared to traditional prostheses. This article aims to classify foot movements for the robotic ankle system in lower limb prostheses to recognize motion intent and adapt to abnormal walking conditions. The statistical features are extracted from IMU data from 11 volunteers aged 20-34 and then the features are classified using machine learning. In this study, the classification accuracies of Naïve Bayes Classifier, Linear Discriminant Analysis, K-Nearest Neighbour Classifier and Support Vector Machines and Artificial Neural Networks in classifying foot movements are examined separately for the raw data and the processed data such as Euler angles and quaternions which estimate with Madwick Filter. Gait analysis data were obtained by using the Inemo inertial module LSM9DS1 work on an NRF52 including 9 DOF, triaxial gyroscope, triaxial accelerometer, and triaxial magnetometer in the Biomechanics Laboratory of the Department of Mechanical Engineering, Middle East Technical University from eleven subjects and achieved an highest classification accuracy rate of 90.9% on test data, 97.3% for training data.

Keywords: K-Nearest Neighbor, Support Vector Machines, Accelerometers, Gyroscope.

Ayak Hareketleri Sınıflandırmasında Yapay Sinir Ağlarının diğer Makine Öğrenme Yöntemleri ile Karşılaştırılması

Öz

Modern protezler, geleneksel protezlere kıyasla Atalet Ölçüm Birimlerinden (IMU'lar) alınan yürüyüş analizi verileri kullanılarak kontrol edilebilir. Bu makale, hareket niyetini tanımak ve anormal yürüme koşullarına uyum sağlamak için alt ekstremite protezlerinde robotik ayak bileği sistemi için ayak hareketlerini sınıflandırmayı amaçlamaktadır. 20-34 yaşları arasındaki 11 gönüllüden toplanan IMU verilerinden istatistiksel özellikler çıkarılmış ve daha sonra öznelikler makine öğrenmesi kullanılarak sınıflandırılmıştır. Bu çalışmada, Naive Bayes Sınıflandırıcısı, Doğrusal Ayırım Analizi, K-En Yakın Komşu Sınıflandırıcısı ve Destek Vektör Makineleri ve Yapay Sinir Ağları ayak hareketlerini sınıflandırmadaki sınıflandırma doğrulukları ham veriler için ve Madwick Filtresi ile tahmin edilen Euler açıları ve kuaterniyonlar gibi işlenmiş veriler için ayrı ayrı incelenmiştir. Yürüyüş analizi verileri, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Biyomekanik Laboratuvarı'nda on bir denekten üç eksenli jiroskop, üç eksenli ivmeölçer ve üç eksenli manyetometre içeren 9 serbestlik dereceli bir NRF52 üzerinde Inemo atalet modülü LSM9DS1 çalışması kullanılarak alındı ve test verilerinde % 90.90, eğitim verilerinde %97.3 en yüksek sınıflandırma doğruluk oranı elde edildi.

Anahtar Kelimeler: K-En Yakın Komşu, Destek Vektör Makineleri, İvmeölçer, Jiroskop.

¹Karadeniz Technical University, Department of Electrical and Electronics Engineering, Trabzon, Turkey, selinaydin@ktu.edu.tr

²Karadeniz Technical University, Department of Electrical and Electronics Engineering, Trabzon, Turkey, okumus@ktu.edu.tr

¹<https://orcid.org/0000-0002-3117-7795> ²<https://orcid.org/0000-0002-4303-5057>

1. Introduction

Amputation is a surgical operation that causes the loss of function and is cut off from the limb that cannot be fed due to trauma, tumor, infection, vascular diseases, etc (Hoile, 1996). An article published in 2019 shows that at least 7000 diabetic patients in the UK have undergone lower limb amputation (Kerr et al.). The purpose of a prosthesis is to create a device that will not feel the lack of the missing limb. One of the most important tools used in prosthetic foot design and actuator selection in clinical gait analysis data obtained from the analysis of human movement.

Robot movements are determined by researchers by mimicking human movements. For this purpose, human movements are collected, learned, and transferred to the robot with motion capture systems (Pollard et al., 2002; Miura et al., 2011). If we consider the prosthetic foot as a robot, human foot movements are also used to determine the movements of the prosthetic foot. Traditionally, gait analysis is carried out with optical devices which are motion capture systems, but complex systems including cameras, markers, infrared light have a disadvantage such as requiring both a laboratory environment and limited field of view. Instead, IMUs with lower cost and easily used devices may be preferred. Wireless sensors are worn by the body ensure long-term monitoring of the patient so that data can be obtained anytime and anywhere, without limiting the movement of the person (Hacker et al., 2014). Amputees need prostheses to gain the ability to walk properly. Since current passive prostheses cannot adapt to complex environments, prostheses with features such as perception of walking environment, user intention estimation, user activity detection are preferred. The IMUs have high accuracy in detecting user activity. IMU signals are a good option for use in machine learning approach as they provide rich signal information in terms of walking angular velocity and acceleration.

Parkka et al. obtained data to create a large and realistic data library of 16 volunteers using only the accelerometer. Using these data, they successfully classified daily activities such as sitting, standing, walking, and lying, using the custom decision tree, automatically generated decision tree, and the artificial neural network after feature extraction and 12-fold cross-validation. The highest overall classification accuracy of 86 % was obtained for the automatically generated decision tree. (Parkka et al., 2006).

In the study published in 2014, gait experiments were carried out by a 40-year-old transfemoral amputated male subject by attaching the upper leg, the lower leg, and foot with 6 IMUs at a measurement rate of 60 Hz (Seel et al., 2014).

In the study given in (Haoyu et al., 2019), an adaptive and on-line classification method was proposed to detect four lower extremity activities such as walking, running, stair ascent, stair descent

with IMU signals. In this experiment, 10 healthy subjects (3 female, 7 male) were used regardless of the user's gender, height, and activity speed, and classification accuracy of up to 99.2 % was obtained.

In another study (San-Segundo et al., 2016), Segundo et al. proposed a human activity recognition and segmentation (HARS) system using publicly available data set by collecting smartphones inertial signals from 30 volunteers to recognize 6 activities such as walking, sitting, standing, lying, stairs up, and stairs down. The error rate has been reduced so that the segmentation error rate is less than 0.5%.

In (Fullerton et al., 2017), it was aimed to detect daily activity by using unfiltered data collected from 10 participants with the help of 9 body-worn accelerometer sensors. KNN classifier with mean and standard deviation features was used and recognition accuracy of 97.6 % was obtained. In the study in (Gao et al., 2020), a geometry-based locomotion mode recognition system was proposed.

The performance of the proposed system was tested on three healthy (3 males, 25-30 years) and three unilateral transtibial amputees (1 female, 2 males, 21-42 years) for 5 locomotion mode. Experimental results showed that the average accuracy rate for 6 subjects was 98.5 %. By combining the basic classifier AdaBoost algorithm with graphic models such as the Hidden Markov model and Conditional Random Field, Wen and Wang (Wen and Wang, 2016) proposed a method that can automatically select the most discriminating features and improve efficiency recognition accuracy during the adaptation process without human intervention.

A human activity recognition study was performed by creating an unbalanced data set from the data with inertial sensors obtained by Wu et al. (Wu et al., 2016). In this study, a mixed-kernel based weighted extreme learning machine was proposed to find a solution to class imbalance, and successful results were obtained.

Khera et al. (Khera et al., 2020) classified plantarflexion, dorsiflexion, inversion and eversion movements using EMG signals in 2020. They used Support Vector Machines (SVM), Neural Networks (NN) and Logistic Regression as algorithms. The highest classification accuracy was obtained with the SVM algorithm.

Chaobankoh et al. classified Dorsiflexion, Neutral position and Plantarflexion movements using EMG signals in 2022. For this, they preferred the 2D-CNN network. While the algorithm showed high success in training, it achieved average success in testing (Chaobankoh et al., 2022).

In our previous study, a dynamic model of the ankle-foot system, which have sufficient degrees of freedom and range of motion to adapt to human anatomy, has been created. The purpose of prosthesis studies is to prevent the absence of the missing limb. We can achieve this by using a variety of control methods that will allow to minimize the difference between input and output signals. Measuring instruments such as force, pressure, electromyography (EMG), IMU sensors are used to obtain input signals for controllers (Aydin Fandakli et al. 2018).

It is aimed to shorten the rehabilitation period of amputees and increase their performance in daily work by developing an active ankle-foot prosthesis that can effectively detect human gait in a way that prevent gait asymmetry and damage to the healthy leg. The study will contribute to orthotic/prosthesis specialists to determine personalized treatments for patients, and to the robotic scientists to develop two-legged robot that imitates human motion. If sensing walking environments and predicting user intent can be performed, prosthetics would help amputees adapt to complex environments more easily. In this study, it was aimed to develop a prosthesis that can be controlled by gait analysis by classifying foot movements. After this stage, it will be passed to the stage where clinical practice studies for amputees will begin. Thus, prosthetic foot control will be provided by using healthy foot data for amputees.

2. Materials and Methods

In this study, the raw data obtained from IMUs from the foot and lower leg of 11 volunteers were classified extracting features with Linear Discriminant Analysis (LDA), Gaussian Naïve Bayes, Linear-Support Vector Machine (L-SVM), Quadratic SVM (Q-SVM), Fine-k-Nearest Neighbor (F-KNN), Weighted-KNN (W-KNN) and Artificial Neural Networks (ANN).

Gait analysis data were obtained by using the Inemo inertial module LSM9DS1 work on an NRF52 including 9 DOF, triaxial gyroscope, triaxial accelerometer, and triaxial magnetometer in the Biomechanics Laboratory of the Department of Mechanical Engineering, Middle East Technical University. In Figure 1, a schematic representation of LSM9DS1 is given in (URL-1, 2021). As shown in Figure 2, data are collected from the lower leg and foot with four IMU sensors. Before starting the experiment, if it is to be measured for the first time during the day, it is necessary to synchronize the IMUs first. IMUs must have the same or very close values. Otherwise, it will sync again. This process continues until values close to each other are obtained and then the recording is started.

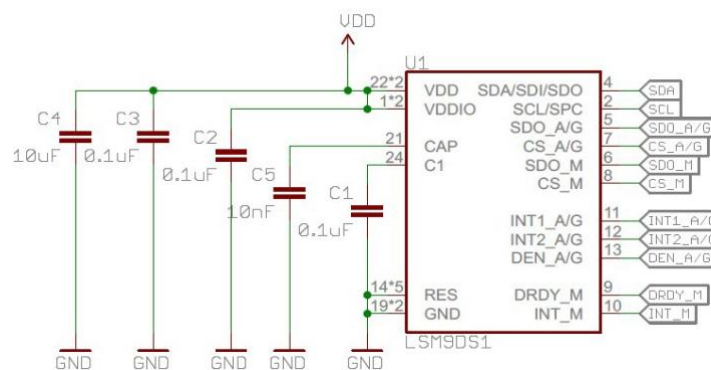


Figure 1. Schematic representation of LSM9DS1



Figure 2. Fitting the sensors to subjects

IMUs can be used to find the three-dimensional orientation of an object. We can calculate Euler angles (ϕ , roll: rotation around x-axis; θ , pitch: rotation around y axis; ψ , yaw: rotation around z axis) using the data obtained from the IMU, and this is the easiest way to show this orientation. With gyro, only angular velocities are calculated. With the accelerometer, pitch and roll angle can be calculated, but it contains noises that prevent to obtain accurate information. The magnetometer sensor is also used to calculate angles in the yaw axis. Because it can detect fluctuations in the Earth's magnetic field, its motion is combined with sensor fusion with accelerometer and gyroscope data to determine absolute direction and orientation. To explain the three-dimensional orientation of the Euler angles, the quaternions method, which assure transition from inertial frame to the body frame of the sensor and is a vector with 4 variables, can be used instead of 3 angles. Filters are used to prevent shifting angles, which calculates angular velocity even in a fixed object. In our study, the Madwick filter was used to calculate Euler angles and quaternions. As shown in Equation (1), quaternions contain four coefficients consisting of one scalar q_0 , 3 vectors q_1 , q_2 and q_3 . The scalar part determines the amount of rotation of the vector part (Craig, 2005; Bernal-Polo and Martínez-Barberá, 2019). When rotated by the θ angle, the quaternion coefficient is expressed as in Equation (2). In this study, quaternions and Euler angles are estimated from the raw data from the sensor with Madwick filter as seen in Equation (3), (4) and (5) (Madwick, 2010).

$$q = q_0 + iq_1 + jq_2 + kq_3 \quad (1)$$

$$q(\theta, v) = \cos\left(\frac{\theta}{2}\right) + iv_1 \sin\left(\frac{\theta}{2}\right) + jv_2 \sin\left(\frac{\theta}{2}\right) + kv_3 \sin\left(\frac{\theta}{2}\right) \quad (2)$$

$$\varphi = a \tan 2(2(q_2q_3 - q_0q_1), 2q_0^2 - 1 + 2q_3^2) \quad (3)$$

$$\theta = -\arctan\left(\frac{2(q_1q_3 + q_0q_2)}{\sqrt{1 - (2q_1q_3 + 2q_0q_2)^2}}\right) \quad (4)$$

$$\psi = a \tan 2(2(q_1q_2 - q_0q_3), 2q_0^2 - 1 + 2q_1^2) \quad (5)$$

The general structure of the study consists of Data Acquisition, Filtering, Feature Extraction, Size Reduction, Classification, and Control Signal Generation stages as given in Figure 3.

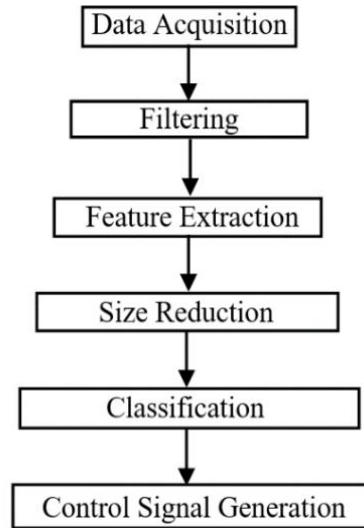


Figure 3. The general structure of prosthetic foot reference signal production

2.1. Data Set Description

The movements of eleven healthy subjects (8 Male, 3 Female, aged 20-34 years) were measured each subject completed fifty trials on a force plate at a self-selected speed. The data obtained using four inertial sensors which are connected to the right and left shank (lower side leg) and others are connected to the right and left metatarsal (foot) and they were transferred to PC via USB-6212 Multifunction I/O Device from National Instruments were analyzed off-line using MATLAB environment. The raw data was sampled at 100 Hz.

In this study, only the data collected by the inertial sensor in the right metatarsal, and right shank were used. Whereas gyroscope measures angular velocity in degrees per second, accelerometer measures acceleration and magnetometer measure the power and direction of magnetic field data were collected, force data were obtained from the BERTEC drill force platform simultaneously.

However, the force plate data are outside the scope of this study and will be used separately in another study. Foot movements to be classified are given in Figure 4.

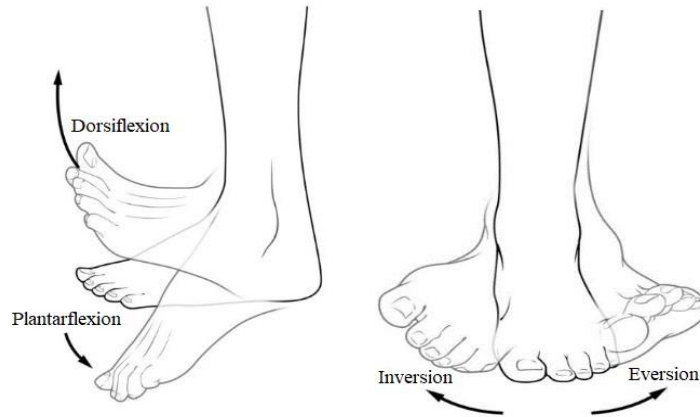


Figure 4. Foot movements

Eleven healthy volunteers signed an informed consent form after the ethics committee report was issued for the measurements. Ethics Committee Approval document numbered 24237859-595 was received by Karadeniz Technical University, Faculty of Medicine, Scientific Research Ethics Committee Chairmanship. Data from eleven healthy subjects regardless of the user's gender, height, and activity rate were processed firstly as raw. Before starting the experiment, if it is to be measured for the first time during the day, it is necessary to synchronize the IMUs first. IMUs must have the same or very close values. Otherwise, it will sync again. This process continues until values close to each other are obtained and then the recording is started.

Before the experiments in this study, reliability tests were conducted with 3 different people. Gait analysis data were collected, except for foot movements. 11 volunteers were allowed to do each foot movement 50 times. Apart from this, these 11 volunteers were asked to walk 10 times within certain limits and their data were collected and tested.

2.2. Feature Extraction

The first step to use the data from the sensor in classification is the feature extraction phase. With the feature extraction process, the size of the input dataset is reduced to lower-dimensional features containing important information of the original data (Aydin Fandakli et al. 2017). The selected features are those obtained by trial-and-error method to achieve the highest classification accuracy.

Firstly, the raw data obtained from the sensors for foot and lower leg was inserted into classifiers after statistical features such as mean, standard deviation, skewness, kurtosis, covariance, sum were extracted.

Data are handled in 9 dimensions as 3-axis accelerometer, 3-axis gyroscope and 3-axis magnetometers. In the first experiment, a 1x9 dimensional feature vector for each movement was obtained calculating the mean of each feature in the 3790x9 dimensional feature matrix. The feature vectors obtained by 4 different movements taken from 11 people were combined to create a 44x9 dimensional feature matrix, and the feature matrix for training and testing was divided into two, and 22x9 dimensional matrices for training and testing were obtained.

The statistical features used in the study are given in Equation (6), (7), (8), (9), (10), (11) and (12).

$$X = \sum_{i=1}^n (x_1 + x_2 + \dots + x_n) \quad (6)$$

X is sum of the data, x_1, x_2, \dots, x_n are the samples, n is the number of samples.

$$\bar{X} = \frac{X}{n} \quad (7)$$

\bar{X} is obtained by dividing the sum of the data by the number of samples.

$$SD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2}{n}} \quad (8)$$

Standard deviation, indicated by SD, refers to how far data deviates from the mean. Skewness, S refers to the measurement of the asymmetry of the data distribution. Kurtosis, k measures the distribution of the signal according to the Gauss distribution.

$$S = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^3}{\left(\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2} \right)^3} \quad (9)$$

$$k = \frac{n \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^4}{\left(\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2} \right)^2} \quad (10)$$

$$\text{cov}(x, y) = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})(y_i - \bar{Y})}{n-1} \quad (11)$$

Covariance, $\text{cov}(x,y)$ is used to measure the directional relationship between x and y variables.

$$\|x\|_2 = \left(\sum_{i=1}^n |x_i|^2 \right)^{1/2} = \sqrt{x_1^2 + x_2^2 + \dots + x_n^2} \quad (12)$$

Norm, $\|X\|_2$ is the calculation of the length or magnitude of the vectors.

2.3. Classification

The classification process was carried out to detect all four-foot movements with 7 classifiers such as Naïve Bayes, LDA, KNN, and SVM and ANN. Different KNN and SVM algorithms have been used to increase the classifier diversity. Fine KNN is an algorithm that makes detailed separation by setting the number of neighbors to 1, while weighted KNN is an algorithm that uses distance weighting. The difference between SVMs is that the kernel function is linear or quadratic.

2.3.1 Linear Discriminant Analysis

This algorithm, which separates the different classes with a strict line, that is, trying to maximize the distribution among different classes, and minimize the distribution within the class, is an approach developed by Fisher (Welling, 2005; Tharwat et al. 2017). It is frequently used in fields such as statistics, machine learning, model recognition, and artificial learning, data mining, biometric, information access. The LDA, which aims to transform the original data matrix into a lower-dimensional matrix, is used as a classifier in this study, although it is mostly used in size reduction, which is a preprocessing (McLachlan, 2004). Fisher's linear discriminant analysis maximizes Equation (15) for the purposes.

There, S_w gives the within classes scatter matrix, S_B refers to the scatter matrix between classes as given in Equation (16) and (17), respectively (Fisher, 1936).

$$J(w) = \frac{w^T S_B w}{w^T S_W w} \quad (15)$$

$$S_W = \sum_{j=1}^C \sum_{i:c_i=j} (x_i - \mu_j)(x_i - \mu_j)^T \quad (16)$$

$$S_B = \sum_{c=1}^C n_c (\mu_c - \mu)(\mu_c - \mu)^T \quad (17)$$

x and w represent the input vector and the projection vector, respectively. $J(w)$ is the expression that shows the maximum class separability. μ and μ_c gives the mean and global mean, respectively. T is threshold value, n_c is the number of cases in class c .

2.3.2 Naïve Bayes Classifier

Based on the Bayes theorem given in Equation (18), the Naïve Bayes classifier has a simple but powerful probabilistic algorithm that can be used even in unbalanced datasets (Han et al. 2011; Friedman et al.,1997).

$$P(A/B) = \frac{P(B/A)P(A)}{P(B)} \quad (18)$$

Here, $P(A/B)$ expresses the probability that event A occurs when event B occurs,

$P(A)$ refers to the probability of occurrence of event A.

$P(B/A)$ expresses the probability that B occurs when event A occurs,

$P(B)$ refers to the probability of occurrence of event B.

This approach, put forward by the English mathematician Thomas Bayes, is widely used due to its high efficiency and good classification accuracy. Naïve Bayes classifier performs the classification according to the highest probability value by calculating the probability of each state of an element (Bhargaviand and Jyothi, 2009).

2.3.3 K-Nearest Neighbor Classifier

The nonparametric KNN algorithm, determined by taking advantage of the fact that similar things are close together, is simple and easy to implement, high estimation power, low calculation

time, and easy to interpret the output. When estimation is made with this algorithm, which is included in the lazy learning algorithm, the neighborhood of the whole data set is considered. K indicates how many the nearest elements to look at, in neighborhood research. The distance between the K element and the test value must be calculated. Besides, the most common use of Euclidean Distance in the distance calculation, Manhattan, Minkowski and Hamming distance are also used in Equation (19), (20), (21), (22), respectively (Gohari and Eydi, 2020). In equation, x is the training data, y is the test data and k is the number of neighbors.

$$\sqrt{\sum_{i=1}^k (x_i - y_i)^2} \quad (19)$$

$$\sqrt{\sum_{i=1}^k |x_i - y_i|} \quad (20)$$

$$\sqrt[q]{\sum_{i=1}^k (|x_i - y_i|)^q} \quad (21)$$

$$D_H = \sum_{i=1}^k |x_i - y_i| \quad (22)$$

2.3.4 Support Vector Machines

The support vector machines have an algorithm that separates the two classes from each other by a plane in the most distant place to their elements. For this, the algorithm determines the hyperplanes that best separate the data as given in Equation (23) (Theodoridis and Koutroumbas, 2006). H_o represents the hyper plane, W is the weight vector, b is the constant number and X is attribute.

$$H_o : W^T X + b \quad (23)$$

2.3.5 Artificial Neural Networks

Inspired by the nervous system in the brain, Artificial Neural Networks (ANNs) contain neurons that transmit data to each other. As shown in the Figure 5, in a simple network with input layer, hidden

layer and output layer, it is connected to each other from certain layers, revealing its difference from neurons in the brain.

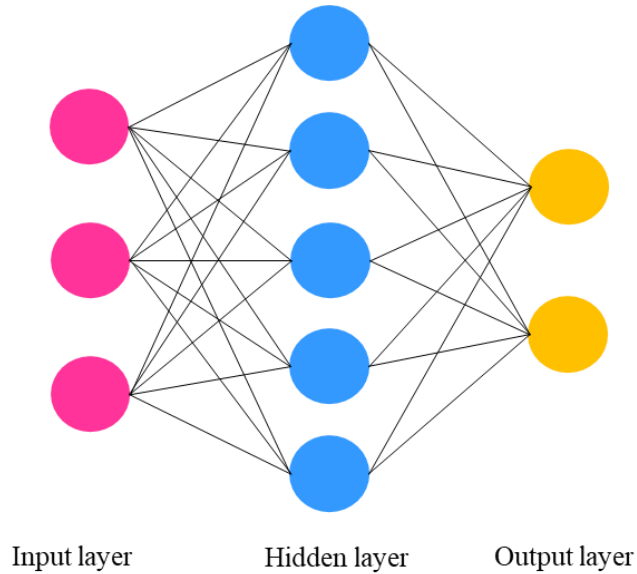


Figure 5. Neural Network Architecture

3. Results

Table 1 shows the sensor characteristics. Table 2 gives the characteristics of different KNN classifiers, Table 3 gives the characteristics of different neural network classifiers used in the study. Eleven volunteers healthy subject whose characteristics are given in Table 4 signed an informed consent form after the ethics committee report was issued for the measurements. Measurements were made on the force plate in the laboratory environment. Dorsiflexion and plantarflexion movements were taken while sitting on the chair, inversion and eversion movements were taken while standing. Performing the movements is based on the maximum degrees that the foot can reach.

K-fold cross-validation was performed and the average of five trials was used in all studies to obtain the classification accuracy given in Equation (24).

$$CA = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN} \quad (24)$$

Where TP = True Positives, TN = True Negatives, FP = False Positives, and FN = False Negatives.

Table 1. The sensor characteristics of the LSM9DS1

Parameter	Typ.	Unit
	±2	
Linear acceleration measurement range	±4 ±8 ±16	g
Magnetic measurement measurement range	±4 ±8 ±12 ±16	gauss
Angular rate measurement range	±245 ±500 ±2000	dps

Table 2. Fine KNN and Weighted KNN characteristics

Model Type	Fine KNN	Weighted KNN
number of neighbors (K)	1	10
distance matrix	Euclidean	Euclidean
distance weight	equal	squared inverse

Table 3. Neural network characteristics used in the study

	Narrow Neural Network	Medium Neural Network	Wide Neural Network	Bilayered Neural Network	Trilayered Neural Network
Number of fully connected layers	1	1	1	2	3
First layer size	10	25	50, 100	10	10
Second layer size	-	-	-	10	10
Third layer size	-	-	-	-	10
Activation	ReLU	ReLU	ReLU	ReLU	ReLU
Iteration number	1000	1000	1000	1000	1000

Firstly, the mean of training and test data as a feature was then given to the classifiers using 5-fold cross-validation. The classification accuracies of four-foot movements obtained by averaging the 5 trial results are given as Classification Accuracy 1 (CA-1) in Table 5 and Table 6, respectively. Secondly, the sum as a feature was selected and classification accuracies are given as Classification Accuracy 2 (CA-2). When the mean, standard deviation, skewness, and kurtosis as features were chosen, the obtained results of the experiment are given as Classification Accuracy 3 (CA-3) and if the standard deviation, skewness, and covariance for features is chosen, the results show as Classification Accuracy 4 (CA-4) in the same table.

Table 4. The characteristics of the volunteer subject

Subject	Height(m)	Weight(kg)	Age(years)	Body Masss Index (BMI)
1- Male	1.78	90	20	24.8
2-Male	1.81	83	20	25.3
3-Male	1.80	86	20	26.5
4-Male	1.75	67	20	21.9
5-Female	1.72	60	26	20.3
6-Male	1.90	150	29	41.6
7-Female	1.64	68	30	25.3
8-Male	1.80	77	34	23.8
9-Male	1.80	68	31	21
10-Male	1.62	80	20	30.5
11-Female	1.65	55	31	20.2

Table 5. The classification accuracy (%) of the raw training data for foot

Classifier	Classification Accuracy				
	CA-1	CA-2	CA-3	CA-4	Average
Linear Discriminant Analysis	67.26	68.18	85.48	81.82	75.69
Gaussian Naïve Bayes	76.38	77.30	97.30	77.26	82.06
Linear SVM	88.18	89.10	91.82	81.82	87.73
Quadratic SVM	86.36	87.28	90	89.08	88.18
Fine KNN	80	86.38	89.10	80.92	84.1
Weighted KNN	82.76	86.40	80.92	80.02	82.53
Narrow Neural Network	87.38	86.38	88.20	84.54	86.63
Bilayered Neural Network	80.94	86.38	86.36	77.28	82.74

Table 6. The classification accuracy (%) of the raw test data for foot

Classifier	Classification Accuracy				
	CA-1	CA-2	CA-3	CA-4	Average
Linear Discriminant Analysis	64.54	66.34	80.90	80.92	73.18
Gaussian Naïve Bayes	60	63.62	84.58	77.28	71.37
Linear SVM	66.34	69.98	90	80.90	76.80
Quadratic SVM	66.36	69.98	86.36	87.26	77.49
Fine KNN	67.24	70.90	82.74	74.54	73.86
Weighted KNN	70	70	90.90	72.72	75.91
Narrow Neural Network	68.2	69.10	84.58	72.70	73.65
Bilayered Neural Network	72.72	69.08	85.46	75.46	75.68

Considering the tables, when the only feature is selected, the **L-SVM** for training data has the highest classification accuracy with an average of **89.10 %** and **Bilayered Neural Network** highest classification accuracy was achieved with an average **72.72 %** for test data.

If more than one feature is extracted, **W-KNN** gives the highest accuracy again for test data. When the average of the results of all the features is considered, it is seen that the highest results are obtained with the **SVM**.

Secondly, the raw data from the IMU sensor for the lower side leg are classified by the same classifiers used for foot after the features extraction process in the same order. The results obtained when using the mean as features are given as CA-1 in Tables 7 for training data, respectively.

Table 7. The classification accuracy (%) of the raw training data for lower leg

Classifier	Classification Accuracy				
	CA-1	CA-2	CA-3	CA-4	Average
Linear Discriminant Analysis	90.94	65.44	56.36	57.26	67.50
Gaussian Naïve Bayes	50.90	62.72	60.02	59.10	58.19
Linear SVM	67.26	59.08	59.08	68.16	63.40
Quadratic SVM	58.16	49.10	59.08	69.10	58.86
Fine KNN	50	47.30	39.10	60	49.10
Weighted KNN	52.72	49.10	35.46	51.80	47.27
Narrow Neural Network	59.96	59.08	46.38	62.72	57.04
Bilayered Neural Network	53.62	51.82	51.82	52.72	52.50

Considering all the tables, **LDA** provides the highest accuracy with an average **90.94 %** for CA-1 results, **67.50 %** for average results in the classification of the training data.

In the classification of foot movements, data from the sensors connected to the foot and lower leg were studied. Classification accuracy is higher than the lower leg, since the foot has more range of motion. This is also expected state.

As can be seen from Figure 6, the highest results with 97.3% were obtained for the CA-3 features. Therefore, in the next step, using these features to compare Naive Bayes, SVM, KNN and Artificial Neural Network, results were obtained again and recorded in Table 9 and comparison results of different neural networks are given in Table 8.

According to the results in the tables, the classification accuracy of the single-layer neural network is higher than that of the bilayered and trilayered neural networks. Also, as the size of the first layer increases, the accuracy of the results increases.

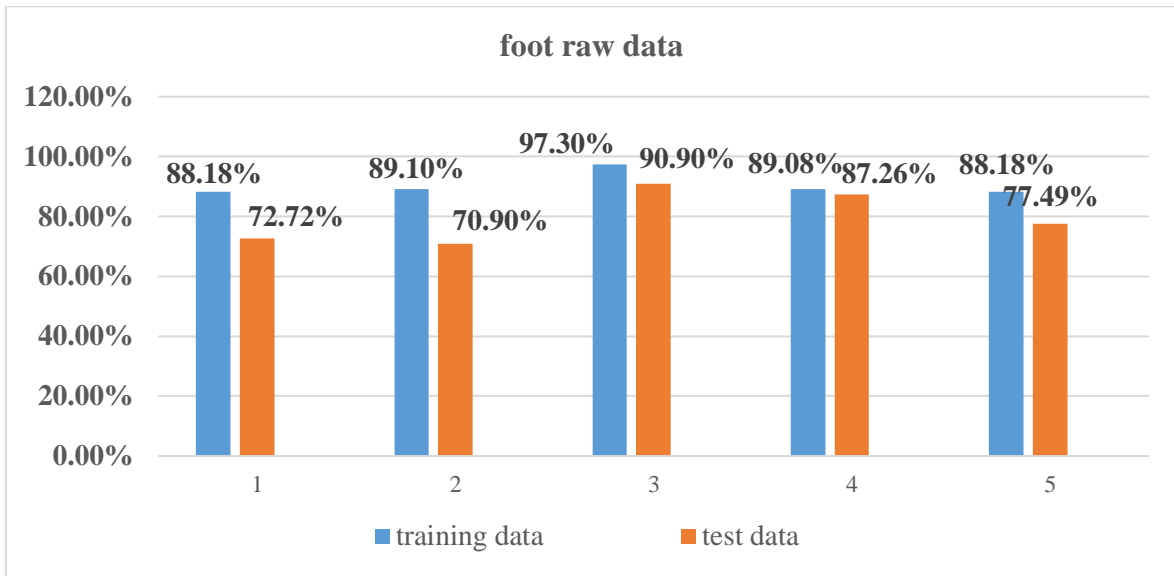


Figure 6. Classification accuracy (%) of the raw data for foot (1-mean; 2- sum; 3-mean, standard deviation, skewness, kurtosis; 4-standard deviation, skewness, covariance; 5- average of the features results)

Table 8. Comparison results of different neural networks

	5-trial average
Narrow neural network	88.18
Medium neural network	90.02
Wide neural network	90.92
Bilayered neural network	86.38
Trilayered neural network	79.10

Table 9. SVM, KNN and neural networks comparison results

	5-trial average
Gaussian Naïve Bayes	92.74
Linear SVM	90
Fine KNN	90.92
Wide Neural Network	93.66

4. Discussion

It is seen that for motion recognition, EMG signal were used in the most of studies in the literature. Because analyzing of EMG data is very complicated, we proposed to perform motion recognition in the lower extremity using only IMU data in this paper. The obtained results show the proposed method presents a classification with a high accuracy. To prove our recommendation, our comparison with other articles in the literature is presented in the Table 10. In this study (Maragliulo et al.,2019), 5 movements in the same plane were examined with the SVM algorithm, although it is in a single plane, it has lower classification accuracy. In the study cited in reference (Khera et al., 2020), the number of people is less, the SVM algorithm is preferred and the EMG signal is used.

Again, lower accuracy was achieved. In the study cited in reference (Hooda et al, 2021), the number of planes was increased, however lower accuracy was obtained. These prove that IMU is a more reliable method than EMG in motion recognition. Unlike other articles, this article is suggesting that high accuracy can be achieved with Artificial Neural Networks using only IMU in motion recognition.

There is very little research in the literature for ankle motion recognition from the lower extremity joints. Studies have generally been conducted using EMG signals. These studies were also limited, as the sEMG of the lower extremities was affected by body gravity and muscle tremors, resulting in very noisy data. IMU sensors, which is a simpler method, were preferred due to the difficulties in real-time implementation of assessments, difficulties in signal processing and insecurity in the accuracy of the obtained data based on Electromyography (EMG) and Electroencephalography (EEG).

Table 10. Comparison of our study with previous studies

	This article	(Maragliulo et. al, 2019)	(Khera et al., 2020)	(Hooda et al, 2021)
Sensors	IMU(4)	sEMG(2)	sEMG(2)	sEMG (6)
Motion types	4 movements (sagittal plane frontal plane)	5 movements (sagittal plane)	4 movements (sagittal plane frontal plane)	4 movements (sagittal plane frontal plane)
Classifier	ANN	SVM	SVM	SVM
Accuracy (%)	93.66	90.04	93.23	91.85
Subject	11 healthy	3 healthy	10 healthy	20 healthy 5 patients

5. Conclusion

Compared to the classification accuracy of foot and lower side leg, the foot was higher. When all studies were examined, it was observed that the ANN algorithm worked better in the classification of foot movements. This study also showed that human movements can be determined by classification. As a result of the foot movements classification study, a quality prosthesis that can be controlled by gait analysis will have been developed and will have reached a stage where it will be ready for clinical trial. At this stage, clinical practice studies for amputees will begin. Thus, the prosthetic foot will be controlled by using the healthy foot data of amputees. Data can be collected not only for foot but also for knee, upper knee and hip prostheses and their clinical application can be realized. This study is similar to the gait analysis classification using IMUs. The literature shows that gait classification can be made with a small number of people. The effect of this on the classification results by increasing the number of people or expanding the dataset will be examined in future studies.

Acknowledgments

We thank to Associate Professor Ergin Tonuk who is supervisor of Biomechanics Laboratory of the Department of Mechanical Engineering, Middle East Technical University for his contribution to obtaining the data.

Authors' Contributions

All authors contributed equally to the study.

Statement of Conflicts of Interest

There is no conflict of interest between the authors.

Statement of Research and Publication Ethics

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

References

- Hoile, R. (1996). Amputation: Surgical Practice and Patient Management. *British Medical Journal*, 312(7036), 984-985.
- Kerr, M., Barron, E., Chadwick, P., Evans, T., Kong, W. M., Rayman, G., Jeffcoate, W. J. (2019). The cost of diabetic foot ulcers and amputations to the National Health Service in England. *Diabetic Medicine*, 36(8): 995-1002.
- Parkka, J., Ermes, M., Korpipaa, P., Mantyjarvi, J., Peltola, J., Korhonen, I. (2006). Activity classification using realistic data from wearable sensors. *In: IEEE Trans. Inf. Technol. Biomed.*, 119-128.
- Seel, T., Raisch, J., Schauer, T. (2014). IMU-based joint angle measurement for gait analysis. *Sensors*, 14(4), 6891-6909.
- Haoyu, L., Derrode, S., Pieczynski, W. (2019). An adaptive and on-line IMU-based locomotion activity classification method using a triplet Markov model, *Neurocomputing*, 362, pp. 94-105.
- San-Segundo, R., Montero, J. M., Barra-Chicote, R., Fernandez, F., Pardo, J. M. (2016). Feature extraction from smartphones inertial signals for human activity segmentation, *Signal Processing*; 120, 359-372.
- Fullerton, E., Heller, B., Munoz-Organero, M. (2017). Recognizing human activity in free-living using multiple body-worn accelerometers, *IEEE Sensors Journal*, 17(16), 5290-5297.
- Gao, F., Liu, G., Liang, F., Liao, W-H. (2020). IMU-based locomotion mode identification for transtibial prostheses, orthoses, and exoskeletons. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*; 28(6), 1334-1343.
- Wen, J., Wang, Z., (2016). Sensor-based adaptive activity recognition with dynamically available sensors. *Neurocomputing*, 218, 307-317.
- Wu, D., Wang, Z., Chen, Y., Zhao, H. (2016). Mixed kernel based weighted extreme learning machine for inertial sensor based human activity recognition with imbalanced dataset. *Neurocomputing*, 190, 35-49.

- Khera, P., Kumar, N., Ahuja, P. (2020). Machine Learning based Electromyography Signal Classification Feature Selection for Foot Movements. *Journal of Scientific & Industrial Research*, vol.79, p. 1011-1016.
- Chaobankoh, N., Jumphoo, T., Uthansakul, M., Phapatanaburi, K., Sindhupakorn, B., Rooppakhun, S., Uthansakul, P. (2022). Lower Limb Motion Based Ankle Foot Movement Classification Using 2D-CNN. *Computers, Materials & Continua*, vol.73, p. 1269-1282.
- Bernal-Polo, P., Martínez-Barberá, H. (2019). Kalman filtering for attitude estimation with quaternions and concepts from manifold theory. *Sensors*, 19(1), 149.
- Bhargaviand, P., Jyothi, S. (2009). Applying naive bayes data mining technique for classification of agricultural land soil. *International Journal of Computer Science and Network Security*, 9(8), 117-122.
- Gohari, M., Eydi, A. M. (2020). Modelling of shaft unbalance: Modelling and multi discs rotors using K-Nearest Neighbor and Decision Tree Algorithms. *Measurement*, 151.
- Maragliulo, S., Lopes, P. F. A., Osório L. B., De Almeida A. T., Tavakoli, M. (2019). Foot gesture through dual channel wearable EMG system. *IEEE Sens. J.* 19, p. 10187–10197.
- Hooda, N., Kumar, N. (2021). Optimal Channel-set and Feature-set Assessment for Foot Movement Based EMG Pattern Recognition. *Applied Artificial Intelligence*; 35:15, p. 1685-1707.
- Friedman, N., Geigerand, D., Goldszmidt, M. (1997). Bayesian network classifiers. *Machine Learning*, 29(2-3), 131-161.
- Craig, J. J. (2005). *Introduction to Robotics Mechanics and Control*. Pearson Education International, 42-50.
- Welling, M. (2005). *Fisher linear discriminant analysis*. Department of Computer Science, University of Toronto, 3, 1–4.
- McLachlan, G., (2004). *Discriminant analysis and statistical pattern recognition*. 132-134, John Wiley & Sons.
- Fisher, R. A. (1936). *Annals of Eugenics*. Management Science, 7(2), 179-188.
- Han, J., Kamber, M., Pei, J. (2011). *Data Mining Concept and Techniques*. 3rd Edition, Morgan Kaufmann Publishers, USA, 394-397.
- Theodoridis, S., Koutroumbas S. (2006). *Pattern Recognition*. 3rd Edition, Elsevier, USA, pp.119-133.
- Pollard, N. S., Hodgins, J. K., Riley, M. J., Atkeson, C. G. (2002). Adapting human motion for the control of humanoid robot, In: *IEEE International Conference on Robotics and Automation*. pp. 1390-1397.
- Miura, K., Morisawa, M., Kanehiro, F., Kajita, S., Kaneko, K., Yokoi, K. (2011). Human-like walking with toe supporting for humanoids. *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*; pp. 4428-4435.
- Hacker, S., Kalkbrenner, C., Algorri, M., Blechschmidt-Trapp, R. (2014). Gait Analysis with IMU - Gaining new orientation information of the lower leg. In: *Proceedings of the International Conference on Biomedical Electronics and Devices*, pp. 127-133.
- Aydin Fandakli, S., Okumus, H. I., Erdem, A. F. (2018). Design and Dynamic Modelling of an Ankle-Foot Prosthesis for Transfemoral Amputees, *International Conference on Engineering Technologies (ICENTE'18)*, pp.409-413.
- Aydin Fandakli, S., Okumus, H. I., Aydemir, O. (2017). A fast and highly accurate EMG signal classification approach for multifunctional prosthetic fingers control. *Telecommunications and Signal Processing (TSP), 40th International Conference on*, Barcelona, Spain: 2017. pp. 395-398.
- URL-1: <https://cdn.sparkfun.com/datasheets/Sensors/IMU/SparkFun-LSM9DS1-Breakout-v10.pdf>. (Data Accessed.04.05.2021).
- Madwick, S. O. (2010). An efficient orientation filter for inertial and inertial/magnetic sensor arrays. *Citado*, 9-19.
- Tharwat, A., Gaber, T., Ibrahim, A., Hassanien, A. E. (2017). Linear discriminant analysis: A detailed tutorial. *AI Communications*; 30(2), 169-190.

Ankaferd Blood Stopper'ın Sıçan Karaciğer, Böbrek ve Pankreasında Güvenilirlik Düzeyinin Belirlenmesi

Erhan ŞENSOY^{1*} 

Öz

Bu çalışmada dişi sıçanlarda oluşturulan deneysel yara modelinde lokal Ankaferd Blood Stopper (ABS) ve ABS katkılı yara örtüsünün karaciğer, böbrek ve pankreasta meydana getirdiği etkinin histolojik ve biyokimyasal yöntemlerle belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışma dört grup, toplam 24 sıçanla gerçekleştirilmiştir (n:6). Punch iğnesiyle sıçanların sırt bölgesinde 15x15 mm yara oluşturulmuştur. Kontrol grubuna tedavi uygulanmazken, diğer gruplara; tek doz lokal ABS, ABS içeren (+) yara örtüsü ve ABS içermeyen (-) yara örtüsü dikilmiştir. Çalışmanın sonlandırıldığı 14. Gün karaciğer, böbrek ve pankreas dokuları rutin histolojik aşamalardan geçirilmiş, ardından Hematoksilen-Eosin (H-E) ile boyanmıştır. Dokularda SOD ve GSH-Px enzim aktivitesi ile MDA ölçümü yapılmıştır. ABS uygulanan sıçanların ortalama karaciğer ve böbrek ağırlıklarında artış belirlenirken, ortalama pankreas ağırlıklarında değişim gözlenmediği ($p<0.05$), rölatif organ ağırlıklarında değişim olmadığı belirlenmiştir ($p>0.05$). ABS'nin organlarda patolojiye yol açmadığı tespit edilmiştir. ABS'nin yara iyileşme sürecinde güvenle kullanılabileceği sonucuna varılmıştır. ABS'nin karaciğer, böbrek ve pankreastaki etkileri hakkında daha sağlıklı değerlendirmeler yapabilmek için uzun süreli kullanımının test edildiği ek çalışmalara ihtiyaç olduğu sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Ankaferd Blood Stopper, böbrek, karaciğer, pankreas, patoloji.

Determination of Ankaferd Blood Stopper's Reliability in Rat Liver, Kidney and Pancreas

Abstract

The experimental wound model created in female rats is intended to determine the effect caused by local Ankaferd Blood Stopper (ABS) and ABS added scarring on liver, kidney and pancreas in histological and biochemical methods. The study was carried out with four groups, a total of 24 rats (n:6). 15x15 mm wound was created in the rat's back area via a punch needle. Control group not treated. Other groups were administered a single dose of local ABS, covered with (+) ABS and covered with ABS-free (-) scarring. day 14 operation terminated. Liver, kidney and pancreatic tissues were painted with Hematoxilen-Eosin (H-E) after routine histological phases. In the tissues, the enzyme activity of SOD and GSH-PX and the MDA were measured. Average liver and kidney weights of rats with ABS were determined to increase, while average pancreatic weights were not observed ($p<0.05$). It has been determined that the ABS does not cause a change in the relative organ weight ($p>0.05$). It was determined that the ABS did not cause pathology in the organs. It has been determined that the ABS can be safely used in the wound recovery process. It has been concluded that additional work is needed to test the prolonged use of ABS to make healthier assessments of the effects of the liver, kidney and pancreas.

Keywords: Ankaferd Blood Stopper, kidney, liver, pancreas, pathology.

¹Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Ebelik Bölümü, Karaman, Türkiye, erhansensoy@kmu.edu.tr

¹<https://orcid.org/0000-0003-2989-459X>

1. Giriş

Fiziksel bir etki nedeniyle organizmanın hasar görmesi olarak tanımlanan "yaralanma"; ister basit ister ileri boyutta olsun, kanamaya neden olabileceği için ciddi bir sağlık sorunu olarak değerlendirilir (Aydın ve ark., 2015). Her gün milyonlarca insanın farklı nedenlerle yaralanması sonucu oluşan kanamalar, kan kayıplarına yol açarak insan hayatını tehdit etmektedir. Kanama durumunda, yüksek metabolizma hızından dolayı kalpten pompalanan kan miktarı önce artar, ardından hipovolemi nedeniyle düşer (Tokgöz ve ark., 2010). Etkin kan volümünün azalması ve doku perfüzyonunun düşmesi nedeniyle oluşan asidoz, böbrek ve karaciğer gibi hayati organları olumsuz yönde etkiler (Satar ve ark., 2013). Azalan kan akımı böbrekte; ADH salgılanmasına ve sıvı rezorbsiyonunun artmasına yol açar (Karakoc ve ark., 2012). Kanamanın erken dönemde önlenmediği ve sıvı kaybının karşılanmadığı durumlarda, tübüler nekroz ve bunun sonucunda böbrek yetmezliği meydana gelebilir (Young, 2006). Hipovolemi ve hipoksi karaciğerde; nekroz, şişme ve yağ dejenerasyonuna yol açabilir (Nergiz, 2014).

Kanamanın kısa sürede durdurulması hayati önem taşıdığı için bu amaçla farklı hemostatik ajanlar kullanılmakla birlikte, günümüzde doğal ürünlere yönelim artmaktadır. Doğal ve antibakteriyel bir hemostatik ajan olan Ankaferd Bleeding Stoper (ABS); kanamanın konvansiyonel kontrolünün sağlanmasında Türk tıbbında yüzyıllardır kullanılan bitkilerden elde edilen tıbbi bir bitki özüdür (Aydın, 2015; Ekici ve ark., 2019; Sağlıyan ve ark., 2021). ABS; beş gram *Thymus vulgaris* (bahçe kekiği), altı gram *Urtica dioica* (ısırgan otu), yedi gram *Glycyrrhiza glabra* (meyan kökü), yedi gram *Alpinia officinarum* (havlıcan) ve sekiz gram *Vitis vinifera* (yerli asma, üzüm) bitkilerinden oluşan bir karışımdır (Gul ve Gunay 2022). ABS; pıhtılaşma faktörleri dışındaki fizyolojik sürecin genelini etkiler (Goker ve ark 2008; Nakir 2014). Kanamanın olduğu bölgeye spreya veya tampon şeklinde uygulanabilen ABS, pasif difüzyonla rezorbe edildikten sonra hücreler arası ortama ulaşır. Dolaşıma geçmeden önce Vena Cava yoluyla metabolik aktivitesi son derece yüksek olan karaciğere gelir. Karaciğer enzimleri tarafından metabolize edilir, ardından inaktif olan ve suda çözünebilen bileşiklere dönüştürüldükten sonra böbreklerden atılır (Aktop ve ark, 2012; Yayla, 2014).

Literatürde sıçanlarda oluşturulan deneysel yara modelinde; ABS'nin lokal etkisinin, histolojik ve biyokimyasal yöntemler kullanılarak ABS katkılı yara örtüsüyle kıyaslandığı bir çalışma yer almamaktadır. Bu çalışmanın amacı; yara tedavisinde ABS'nin lokal ve yara örtüsü katkılı formlarının, sıçanların pankreas, karaciğer ve böbreklerinde meydana getirdiği etkinin histolojik ve biyokimyasal yöntemlerle araştırılarak, ABS'nin güvenilirliğinin test edilmesidir.

2. Materyal ve Metot

Çalışma gerçekleştirilmeden önce Selçuk Üniversitesi Deneysel Tıp Araştırma ve Uygulama Merkezi'nden (SÜDAM) 25.01.2019 tarihli ve 2019-2 karar sayısı ile etik kurul izni alınmıştır. Bu araştırma, Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonunca kabul edilen "03-M-21" nolu proje kapsamında desteklenmiştir.

2.1. Hayvan materyali

Çalışma ilk aşamada;sekiz grupta (dört diyabet grup, dört diyabet olmayan grup, n:altı) toplam 48 adet 12-24 haftalık Wistar Albino türü dişi sıçan olarak planlanmıştır (Tablo 1.). Diyabet oluşturmak için, 0.1 M sitrat fosfat tamponu içinde (pH: 4.5) 65 mg/kg Streptozotosin (STZ) (CAS 18883-66-4, Merck) çözülerek intraperitoneal yolla (i.p.) tek doz uygulanmıştır (Bhargava ve ark., 2022; Farid ve ark., 2022; Shehata ve ark., 2022). Üçüncü gün sıçanların kuyruk venasından alınan kan örneklerinde diyabetin başarıyla oluşturulduğu (STZ uygulanan sıçanların ortalama glikoz değeri: 449mg/dl; STZ uygulanmayanların ortalama glikoz değeri: 125 mg/dl) belirlenmiştir (Low ve ark., 2016).

Tablo 1. İlk planlanan çalışma grupları

Diyabetik gruplar (n=6)	Diyabet olmayan gruplar (n=6)
I. Kontrol	V. Kontrol
II. ABS lokal uygulama	VI. ABS lokal uygulama
III. ABS (+) yara örtüsü	VII. ABS (+) yara örtüsü
IV. ABS (-) yara örtüsü	VIII. ABS (-) yara örtüsü

Gruplar oluşturulduktan sonra sıçanlara i.p. yolla 70 mg/kg Ketamin ve 10 mg/kg Xylazine ile anestesi uygulandı (Imani ve ark., 2022; Connel ve ark., 2022). Sırt bölgesi tıraşlanan sıçanlarda biyopsi iğnesi kullanılarak 15x15 mm çapında yara meydana getirildi. I. ve V. gruplara tedavi uygulanmadı. II. ve VI. gruplara sprey formda tek doz lokal ABS uygulandı. III. ve VII. gruplara ABS katkılı yara örtüsü, IV. ve VIII. gruplara ABS içermeyen yara örtüsü dikildi. Bu uygulamaların yapılmasından üç gün sonra diyabetik sıçanların hepsi öldüğü için diyabetik gruplar dahil edilmeyerek, çalışmaya diyabet olmayan gruplarla (V,VI,VII,VIII) devam edildi (Tablo 2.) ve çalışma 14. günde tamamlandı.

Tablo 2. Çalışma grupları

Diyabet olmayan gruplar (n=6)
V. grup: Kontrol
VI.grup:ABS lokal uygulama
VII. grup:ABS (+) yara örtüsü
VIII. grup:ABS (-) yara örtüsü

2.2. Histolojik analizler

Histolojik analizlerin gerçekleştirilebilmesi amacıyla dokular % 10'luk formaldehitte tespit edildi. Rutin takip işlemlerinin ardından parafine aktarıldı. Parafin bloklardan mikrotom yardımıyla 6 mikrometre (μm) kalınlığında kesitler alınıp Hematoksilen-Eozin (H-E) ile boyandı (Şensoy ve Öznurlu, 2019). Preparatlar, dijital kameralı ışık mikroskopunda x40 büyütme oranında incelendi. İncelemelerde gruplar arasındaki histomorfolojik fark dikkate alındı (Yuan ve ark., 2014; Alharbi ve ark. 2019). Histomorfolojik kriter olarak; karaciğerde; dejeneratif ve nekrotik alanlar, hepatositlerin nükleus ve sitoplazmalarının genel durumları ile sinüzoid çaplarındaki değişim incelendi (Aydoğdu ve ark 2007, Karaca ve ark 2014, Alharbi ve ark 2019). Böbrekte; dejeneratif alanlar, Bowman boşluğundaki değişim, glomerulusta proksimal ve distal tübüller yapıların durumu ve tübüller epitel hücrelerinin genel durumları belirlendi (Kaplan ve ark., 2009, El-Neweshy ve Srag 2011, Alharbi ve ark., 2019). Pankreasta; atrofi oluşumu, kontur değerlendirmesi ile β hücrelerinin genel durumu, dejeneratif ve nekrotik alan oluşumu değerlendirildi (Gökalp ve ark. 2005; Alharbi ve ark 2019).

2.3. Biyokimyasal analizler

Dokularda; Malondialdehit (MDA) ölçümü, Süperoksit dismutaz (SOD) ile Glutasyon Peroksidaz (GSH-Px) enzim aktiviteleri belirlendi (Uluocak ve ark, 2010, Karaca ve ark, 2014).

2.3.1. Süperoksitdismutaz (SOD) enzim aktivitesinin ölçümü

Toplam SOD (EC 1.15.1.1) tayininde pyrogallolun üç dakika sürede 440 nm'de alkali ortamda otooksidasyonu ile yükselen absorpsiyon olarak ölçüldü (Marklund ve Marklund 1974; Tezcan, 2011).

2.3.2. Glutasyon Peroksidaz (GSH-Px) enzim aktivitesinin ölçümü

Kümen hidroperoksit ortamında GSH-Px'inglutasyonun oksidasyonunu katalizlemesi ile okside duruma gelen glutasyonun yeniden redükte hale dönüşümü için gerekli olan NADPH'ın absorbanans değeri 340 nm'de spektrofotometrikyoldan belirlendi (Tapiero ve ark 2003).

2.3.3. Malondialdehit (MDA) ölçümü

Lipit peroksidasyonunun son ürünü olan MDA ile TiyoBarbitürik Asit (TBA) reaksiyonu sonucu oluşan kompleksin (TBARS) kompleksinin 532 nm'deki ekstinksiyon katsayısı ($1.56 \times 10^5 \text{ cm}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$) kullanılarak nmol/ml türünden MDA değeri her ıslak doku için nanomol olarak belirlendi (Ohkawa ve ark., 1979; Jain ve Levine, 1995; Eken, 2017).

2.4. İstatistiksel analizler

Analizler, SPSS paket programında; ANOVA (tek yönlü varyans analizi) ve LSD (ikili karşılaştırmalarda en küçük önemli fark) testleriyle yapıldı ($p < 0,05$).

3. Bulgular

3.1. Organ ağırlıkları

Sıçanların organ ağırlıkları çalışmanın sonlandırıldığı gün tartılarak kayıt edildi. ABS uygulanan sıçanların ortalama vücut ile ortalama karaciğer ve böbrek ağırlıklarında artış belirlenirken ($p < 0,05$), ortalama pankreas ağırlıklarında değişim gözlenmedi ($p > 0,05$). ABS uygulanan sıçanların rölatif organ ağırlıklarında değişim gözlenmedi ($p > 0,05$; Tablo 3.).

Tablo 3. Sıçanların organ ve rölatif organ ağırlıkları

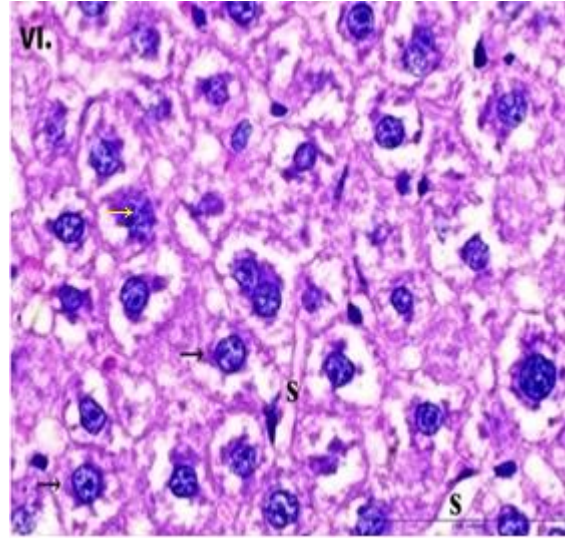
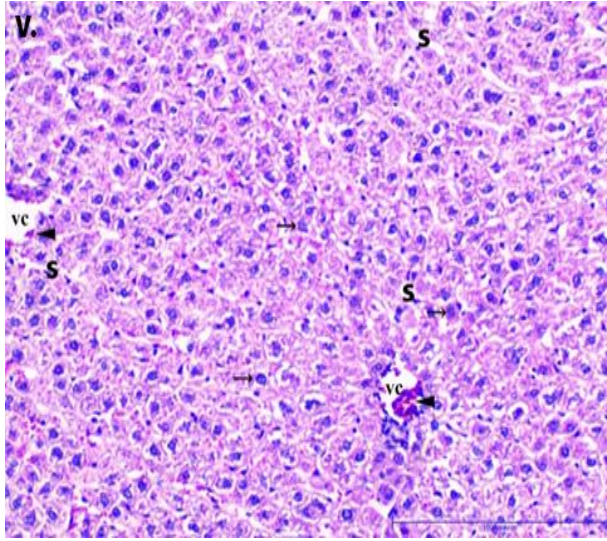
Grup	Ortalama Vücut Ağırlığı (gr)	Ortalama Organ Ağırlığı (gr)			Rölatif Organ Ağırlığı (gr)		
		Kara ciğer	Pankreas	Böbrek ler	Kara ciğer	Pankreas	Böbrek ler
V. grup	270 ^b	11.39 ^b	2.66 ^a	2.40 ^b	0.045 ^a	0.009 ^a	0.008 ^a
VI. grup	295 ^a	12.16 ^a	2.33 ^a	2.52 ^a	0.041 ^a	0.007 ^a	0.008 ^a
VII. grup	267 ^a	11.30 ^a	2.35 ^a	2.60 ^a	0.042 ^a	0.009 ^a	0.009 ^a
VIII. grup	287 ^c	11.15 ^c	2.05 ^a	2.42 ^c	0.038 ^a	0.008 ^a	0.008 ^a

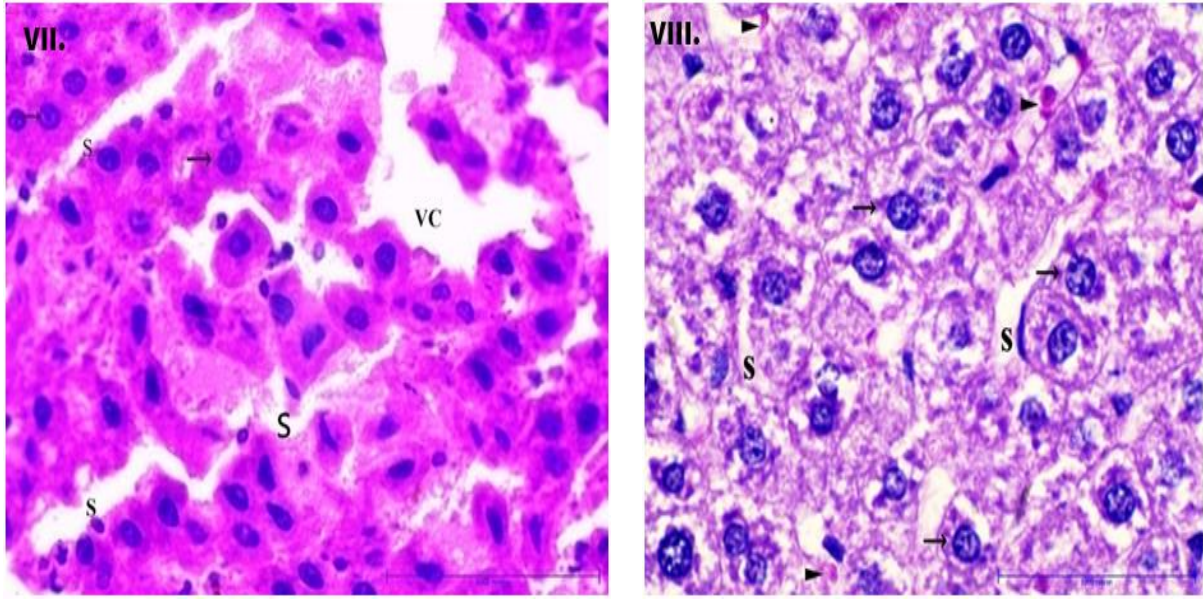
Aynı sütunda bulunan farklı harfler arasında önemli farklılıklar bulunmaktadır ($p < 0,05$).

3.2. Histolojik değerlendirme

3.2.1. Karaciğer

Sıçanların karaciğer hepatositlerin genel görünümünün normal, nükleus ve sitoplazmalarının koyu renkli boyandığı, benzer şekilde sinüzoidlerinin standart şekil ve genişlikte olduğu, epitel hücrelerinin düzenli yapısını koruduğu gözlemlendi (Şekil 1.). Kontrol grubunda Vena Cava etrafında sinüzoidlerin düzenli olarak konumlandığı, hepatositlerin normal büyüklükte olduğu, çekirdek ve sitoplazmalarının koyu renkli boyandığı görüldü (Şekil 1. V. grup). Sinüzoidlerde yaygın olmayan düzensiz yapısal oluşumlar ve vakuoller gibi dejeneratif yapılar tespit edildi (Şekil 1. VI. grup). Hepatositlerin vesinüzoidlerinyapısal bütünlüğün kontrol grubuyla belirgin bir farklılık göstermediği, hepatositnükleus ve sitoplazmalarının koyu renkte boyandığı belirlendi (Şekil 1. VII. grup). VIII. grupta ise, hepatosit ve sinüzoidpatolojilerine rastlanmazken, hafif şiddette hemoraji gözlemlendi(Şekil 1. VIII. grup).

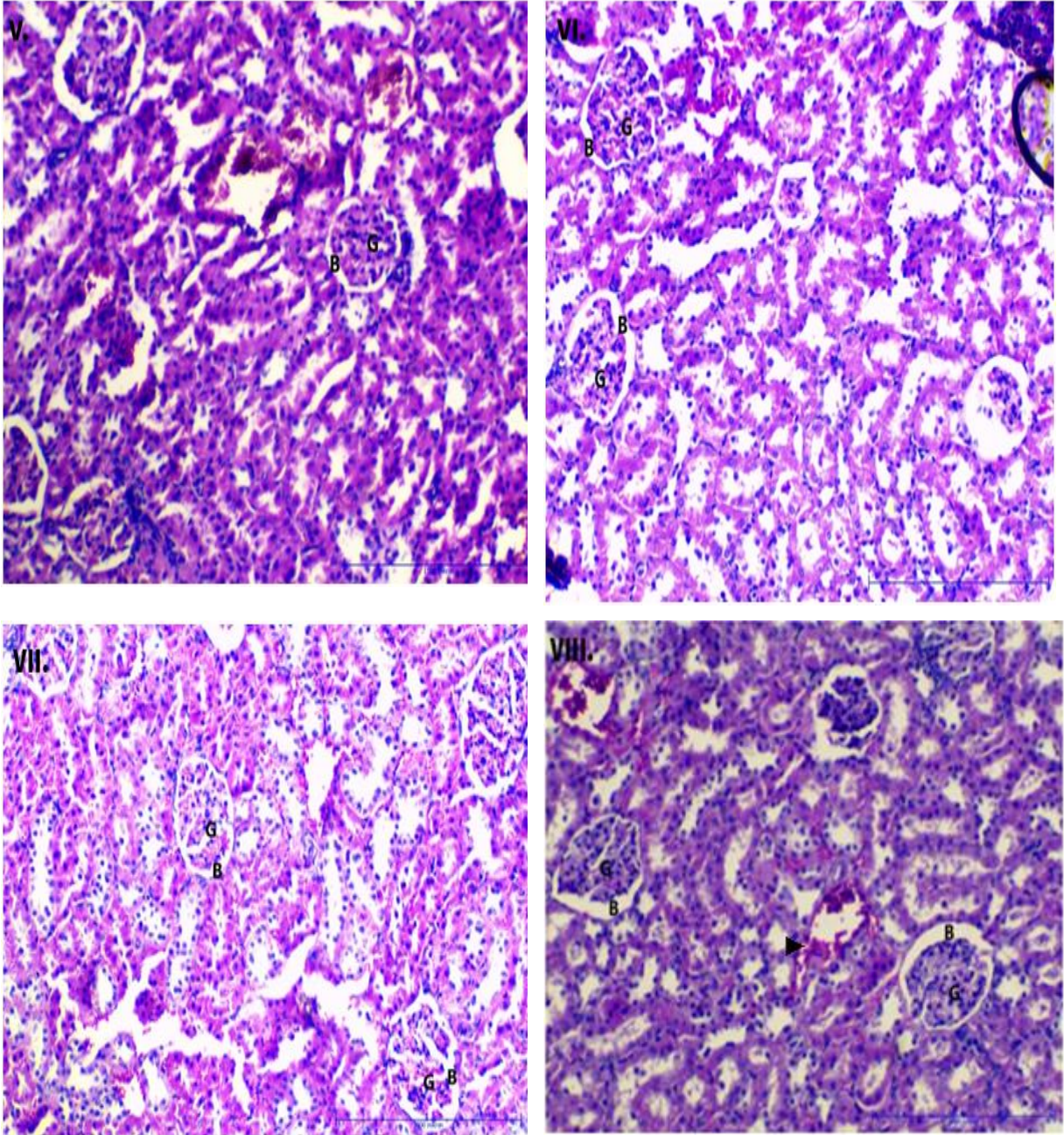




Şekil 1. Gruplara ait karaciğer dokusu örnekleri (H-E boyama, Büyütme çizgisi: 100 µm X 40*).
 VC: Vena Centralis, S: Sinüzoid, →: Normal görünümlü hepatosit, →:Dejeneratif görünümlü hepatosit,
 ►: Hemoraji

3.2.2. Böbrek

Böbrek dokularında; Glomerul tübüler yapıları ile tübüler epitel hücrelerinin genel görünümünün normal olduğu, Bowman kapsülü boşluklarının tabii genişlikte olduğu belirlendi (Şekil 2.). Kontrol grubunun Glomerul yapısının ve Bowman kapsülü boşluk genişliklerinin normal olduğu tespit edildi (Şekil 2.-V. grup). Tübüllerde yapısal düzensizliklere ve vakuol oluşumu gibi dejeneratif durumlara rastlanmadı (Şekil 2. VI. grup).VII. gruba ait dokularda; genel görünümün kontrol grubundan farklı olmadığı belirlendi (Şekil 2. VII. grup). VIII. grupta ise, tübüler epitel hücre çekirdeklerinde hidropik görünüm ve vakuol oluşumu gözlenmemekle birlikte, hafif şiddette hemoraji tespit edildi (Şekil 2. VIII. grup).

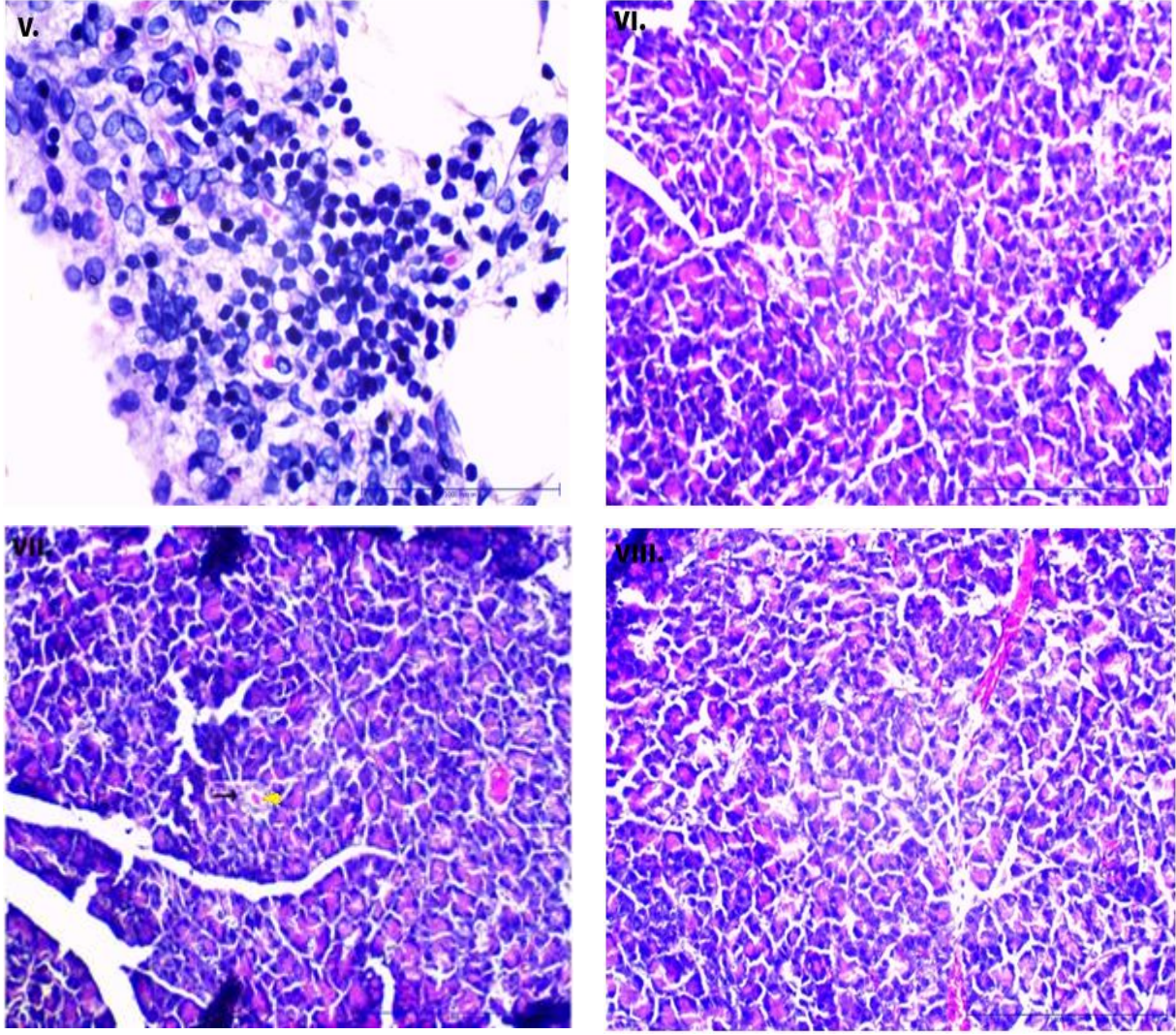


Şekil 2. Gruplara ait böbrek dokusu örnekleri (H-E boyama, Büyütme çizgisi: 100 µm X 10).

*G: Glomerul, B: Bowman boşluğu, ▶ : Hemoraji

3.2.3. Pankreas

Pankreas dokularının tabii görünümde ve stromanın homojen olduğu, Langerhans adacık çapında değişiklik meydana gelmediği ve β hücrelerinde dejenerasyon ya da nekroz oluşmadığı tespit edildi (Şekil 3.).



Şekil 3. Gruplara ait pankreas dokusu örnekleri (H-E boyama, Büyütme çizgisi: 100 µm X 40).
→: Langerhans adacığı, ►: Beta hücreleri.

3.3. Biyokimyasal değerlendirme

3.3.1. Karaciğer

Karaciğer örneklerinde MDA ortalamasının VII. grupta (ABS'li yara örtüsü) oldukça azaldığı, diğer grupların aralarında benzerlik gösterdiği belirlendi ($p < 0,05$). SOD aktivitesinin ve detoksifikasyonun uygulama gruplarında arttığı saptandı ($p < 0,05$; $F_{3/1}=415$), (Tablo 4).

3.3.2. Böbrek

Böbrek örneklerinde, grupların MDA ortalamasının benzerlik gösterdiği belirlendi. ABS uygulanan gruplarda SOD enzim aktivitesinin, ABS'li yara örtüsü uygulanan VII. grupta ise GSH-Px aktivitesinin önemli derecede artış gösterdiği saptandı ($F_{3/1}=2,749$; $p < 0,05$), (Tablo 4).

3.3.3. Pankreas

Pankreas örneklerinde, MDA ortalamasının uygulama gruplarında benzerlik gösterdiği, kontrol grubunda oksidasyon seviyesinin düşük olduğu belirlendi. SOD enzim ortalamasının ABS uygulanan gruplarda (VI. ve VII. gruplar) arttığı, ABS'li yara örtüsü uygulanan grupta (VII. grup) en yüksek değere ulaştığı saptandı. GSH-Px aktivitesinin uygulama gruplarında artış gösterdiği, VII. grupta en yüksek değere ulaştığı belirlendi ($p<0,05$; $F_{3/1}=3,512$), (Tablo 4).

Tablo 4. Gruplar arası serum MDA, SOD ve GSH-Px düzeylerinin karşılaştırılması

	Gruplar/ Parametreler	MDA ($\mu\text{mol/L}$) *Ort. \pm S.S.	SOD (U/ml) *Ort. \pm S.S.	GSH-Px ($\mu\text{mol/ml}$) *Ort. \pm S.S.
Böbrek	V. grup	1,30 \pm 0,02 ^c	205,74 \pm 2,40 ^c	61,70 \pm 0,89 ^c
	VI. grup	1,30 \pm 0,02 ^c	234,80 \pm 2,54 ^b	62,00 \pm 0,94 ^c
	VII. grup	1,45 \pm 0,08 ^c	300,01 \pm 2,01 ^a	79,64 \pm 1,00 ^a
	VIII. grup	1,35 \pm 0,08 ^c	214,05 \pm 2,00 ^d	65,32 \pm 0,98 ^c
Karaciğer	V. grup	1,30 \pm 0,02 ^c	205,74 \pm 2,40 ^c	63,09 \pm 0,18 ^c
	VI. grup	1,52 \pm 0,04 ^c	285,58 \pm 0,60 ^b	61,12 \pm 0,12 ^c
	VII. grup	1,02 \pm 1,05 ^a	384,11 \pm 1,02 ^a	72,84 \pm 0,02 ^c
	VIII. grup	1,22 \pm 0,40 ^c	280,00 \pm 0,50 ^d	62,10 \pm 0,62 ^c
Pankreas	V. grup	1,25 \pm 0,80 ^b	205,74 \pm 2,40 ^c	60,75 \pm 1,08 ^b
	VI. grup	2,50 \pm 1,04 ^c	224,58 \pm 1,02 ^b	60,99 \pm 1,10 ^b
	VII. grup	2,38 \pm 0,55 ^c	294,90 \pm 2,04 ^a	65,71 \pm 1,00 ^a
	VIII. grup	2,02 \pm 1,10 ^c	209,88 \pm 1,30 ^d	61,07 \pm 1,02 ^b

Aynı sütunda bulunan farklı harfler arasında önemli farklılıklar bulunmaktadır ($p<0,05$).

Ort.: Ortalama, S.S: Standart Sapma olarak verilmiştir.

4. Tartışma

Yaralanma durumunda süratle hemostaz sağlanmalı ve tedaviye başlanmalıdır. Kanamanın yol açtığı sıvı ve elektrolit kaybı; karaciğer, böbrek ve pankreas gibi hayati organlarda nekroz, şişme, yağ dejenerasyonu gibi patolojilere ve organ yetmezliğine yol açabilir (Nergiz, 2014). Kanamanın durdurulmasına yönelik olarak kullanılan hemostatik ajanlar etkin ve güvenilir olmalı, iç organlarda patolojiye yol açmamalıdır (Akalin ve ark. 2014; Ersoy ve ark, 2015). Yapısında enzimlerin yoğun olarak bulunduğu, yaşamsal bir organ olan karaciğer, metabolik faaliyetlerin pek çoğunu stimüle eder (Yayla, 2014; Özdemir ve Karakurt 2016). Ksenobiyotik metabolizması ve biyotransformasyon süreçlerinde etkin görev alan karaciğer, bu süreçten olumsuz yönde etkilenebilir (Yayla, 2014). Doğal

bir ajan olan ABS'nin sıçanların karaciğer dokusunda nekroz, fibrozis, inflamasyon ve dejenerasyon oluşumunu azalttığı bildirilmiştir (Kalayci ve ark. 2010). Sıçanlarda oluşturulan deneysel karaciğer hasar modelinde; ABS uygulanan grupta minimal inflamasyon belirtileri ve tam rejenerasyon oluşumunun görüldüğü bildirilmiştir (Satar ve ark. 2013). Sıçanlarda oluşturulan deneysel tıkanma sarılık modelinde; ABS'nin karaciğerde portal ve fokal bölgede inflamasyonu, nekrozu, fibrozisi azalttığı bildirilmiştir (Koşmaz ve ark. 2021). ABS uygulanan sıçanların karaciğerinde konjesyon, parankim dokuda lenfoid infiltrasyon ve hepatit tablosu oluşumuna bağlı hepatosit onarımı gözlemlendiği ifade edilmiştir (Yılmaz2014). Sonuçlarımız; karaciğer hepatositlerinin tabii görünümde, sinüzoidlerin standart şekil ve genişlikte olduğuna işaret etmektedir. Bu nedenle; ABS'nin sıçan karaciğerinde histopatolojik etkiye yol açmadığı söylenebilir.

İlaç metabolizmasında karaciğerle birlikte aktif rol oynayan organlardan birisi de böbreklerdir. Karaciğer tarafından metabolize edilen bileşikler böbreklerde filtrasyona uğrar. ABS'nin insanlarda renal tübüler yapıda apoptozu etkilediği ifade edilmiştir (Huri ve ark. 2010). Diğer bir çalışmada ABS'nin sıçanların böbrek dokusunda eritrositlerde agregasyona yol açarak fizyolojik hemostaz sürecine yardımcı olduğu bildirilmiştir (Karakocve ark.2012). Buna karşın, ABS uygulamasının sıçanlarda tübüler dilatasyonu etkilemediği bildirilmiştir (Yılmaz, 2014). Bu çalışmada ABS'nin böbrek dokuda herhangi bir patolojik değişime yol açmadığı belirlenmiştir.

Pankreas; oksidatif strese, toksik maddelere ve patojenlere karşı hassas bir organdır (Gokalp ve ark, 2005). Oksidatif stresin, pankreatit başta olmak üzere önemli komplikasyonlara yol açabileceği belirtilmiştir (Nasri ve ark 2013). Fibrozis gelişimi, inflamasyon varlığı ve atrofi pankreatitin göstergeleridir (Özercan, 2015). Sıçanlarda pankreatit tedavisinde, ABS'nin iyileştirici etkilere sahip olduğu ifade edilmiştir (Aktaş ve ark. 2014). ABS'nin, domuzlarda pankreatit tedavisinde olumlu etkisinin olduğu bildirilmiştir (Karaman ve ark., 2015). Domuzların pankreatik kanalına uygulanan ABS'nin, pankreatite neden olmadan fistülü önlediği, ABS grubunun pankreas dokusunun hem makroskopik hem de mikroskopik açıdan normal olduğu belirtilmiştir (Karaman ve ark., 2015). ABS'nin insanda pankreatik fistül gibi komplikasyonlarda etkili olabileceği bildirilmiştir (Karaman ve ark. 2012). Çalışmamızda ABS'nin hemostazı kısa sürede sağladığının, belirlenmiş olması, benzer çalışmalarla uyumluluk sergilemektedir. ABS uygulanan gruplarda fibrozis, inflamasyon ve atrofi oluşumunun gözlenmemiş olması pankreatitin şekillenmediğinin en önemli kanıtıdır. ABS'nin pankreatit başta olmak üzere pankreasta patolojiye neden olmadığına tespit edilmesi çalışmanın diğer bir özgün değeridir.

5. Sonuç ve Öneriler

ABS uygulamasının karaciğer, böbrek ve pankreas dokusunda patolojik oluşumlara yol açmadığı belirlenmiştir. Bu nedenle, ABS'nin yara iyileşme sürecinde güvenle kullanılabilmesi söylenebilir. Bununla birlikte, ABS'nin uzun süreli kullanımının iç organlar üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesi için ileri çalışmalara ihtiyaç olduğu düşünülmektedir.

Teşekkür

Bu proje, Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonunca kabul edilen "03-M-21" nolu proje kapsamında desteklenmiştir. Çalışmamızı finansal açıdan destekleyen Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu Koordinatörlüğü'ne (BAP) teşekkür ederiz.

Yazarların Katkısı

Çalışmanın tasarlanması, işlemlerin gerçekleştirilmesi, histolojik prosedürlerin yapılması, son taslağın yazılması ve eleştirel okuma yazar Erhan Şensoy tarafından gerçekleştirildi.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar


- Akalin, C., Kuru, S., Barlas, A. M., Kismet, K., Kaptanoğlu, B., Demir, A., Astarci, H. M., Ustun, H., Ertas, E. (2014). Beneficial Effects of Ankaferd Blood Stopper on Dermal Wound Healing: An Experimental study. *International WoundJournal*, 11(1), 64-68. <https://doi.org/10.1111/j.1742-481X.2012.01063.x>
- Aktaş, B., Başar, Ö., Yılmaz, B., Ekiz, F., Altınbaş, A., Çoban, Ş., Delibaşı, T. (2014). Serum M30 and M65 Levels And Effects Of Ankaferd Blood Stopperin Cerulein Induced Experimental Acute Pancreatitis Model in Rats. *International Journal of Clinical and Experimental Medicine*, 7(7), 1676-1680.
- Aktop, S., Alturfan, E.E., Özer, C, Gönül, O., Garip, H., Yarat, A., Göker, K. (2012). Ankaferd blood stopper ve celox'un varfarin verilmiş sıçan derisinde glutatyon ve lipid peroksidasyon üzerine etkilerinin incelenmesi. *Clinical and Experimental Health Sciences*, 2(1), 32-42.

- Ankaferd Blood Stopper ve Celox'un Varfarin Verilmiş Sıçan Derisinde Glutasyon ve Lipidperoksidasyon Üzerine Etkilerinin İncelenmesi. *Müşbed*, 2, 32-42.
- Alharbi, N., Elobeid, M., Virk, P. (2019). Protective Effect of Quercetin Treatment Against Cadmium-Induced Oxidative Stress in a Male Rat Model. *Pakistan J Zool.* 51,(6), 2287-2296. DOI: <http://dx.doi.org/10.17582/journal.pjz/2019.51.6.2287.2296>
- Aydın, B.K., Altan, E., Acar, M.A., Erkoçak, Ö.F., Ugraş, S. (2015). Effect of Ankaferd Blood Stopper on Tendon Healing: an Experimental Study in a Rat Model of Achilles Tendon Injury. *Eklem Hastalık Cerrahisi* 26, 31-37. <https://doi.org/10.5606/ehc.2015.08>
- Aydoğdu, N., Kanter, M., Erbaş, H., Kaymak, K. (2007). Kadmiyuma Bağlı Karaciğer Hasarında Taurin, Melatonin ve AsetilSisteinin Nitrik Oksit, Lipid Peroksidasyonu ve Bazı Antioksidanlar Üzerindeki Etkileri. *Erciyes Tıp Fak Derg* 29,(2), 89-96.
- Bhargava, S. K., Singh, T. G., Mannan, A., Singh, S., Gupta, S. (2022). Pharmacological Evaluation of Thuja Occidentalis for the Attenuation of Nephropathy in Streptozotocin-Induced Diabetes Rats. *Obesity Medicine*, 31, 1, 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.obmed.2022.100391>
- Connell, A. R., Hookham, M. B., Fu, D., Brazil, D. P., Lyons, T. J., Yu, J. Y. (2022). Comparisons of α 2-Adrenergic Agents, Medetomidine and Xylazine, with Pentobarbital for Anesthesia: Important Pitfalls in Diabetic and Nondiabetic Rats. *Journal of Ocular Pharmacology and Therapeutics*, 38(2), 156-166. <https://doi.org/10.1089/jop.2021.0084>
- Eken, A. (2017). Rat Kan ve Doku Örneklerinde Oksidatif Stres Parametreleri, *Journal of Clinical and Analytical Medicine*, 1, 69-73.
- Ekici, U. Ferhatoğlu, M.F. Çitgez, B. Uludağ, M. (2019). Effects of the Folk Medicinal Plant Extract Ankaferd Blood Stopper on the Healing of Colon Anastomosis: An Experimental Study in a Rat Model. *The Medical Bulletin of Sisli Etfal Hospital*, 53(2), 154-159. <https://doi.org/10.14744/SEMB.2019.98965>
- El-Neweshy, M. S., Srag, M. A. (2011). Chronic Malachite Green Toxicity in Nile Tilapia: Pathological and Haematological Studies with Special Reference to Quantitative Histopathological Assessment. *Researcher* 3, (4), 55-64.
- Ersoy, Y., Duran, M., Tayyar, A. (2015). Tıbbi Tekstiller ve Yara Örtüsü. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 3(2), 451-458.
- Farid, A., Moussa, P., Youssef, M., Haytham, M., Shamy, A., Safwat, G. (2022). Melatonin Relieves Diabetic Complications and Regenerates Pancreatic Beta Cells by the Reduction in Nf-Kb Expression in Streptozotocin Induced Diabetic Rats Melatonin: Anti-Diabetic Drug. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 29,7, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2022.103313>
- Gokalp, O., Buyukvanlı, B., Cicek, E., Ozer, M. K., Koyu, A., Altuntas, I., Koylu, H. (2005). The Effects of Diazinon on Pancreatic Damage and Ameliorating Role of Vitamin E and Vitamin C. *Pesticide Biochemistry and Physiology*. 81, 123-128.
- Goker H, Haznedaroglu IC, Ercetin S, Kirazli S, Akman U, Ozturk Y, Firat HC: (2008). Haemostatic actions of the Folkloric Medicinal Plant Extract Ankaferd Blood Stopper. *J IntMedRes*, 36 (1): 163-70,
- Gökalp, O., Mehmet, Ö., Ahmet, K., Çiçek, E., Sütçü, R., Koçak, A., Aktürk, O. (2005). Ratlarda Kadmiyumun Pankreasa Etkileri. *SDÜ Tıp Fakültesi Dergisi*, 12(3), 27-30.
- Gul, M., Gunay, A. (2020). Effect of Caffeic Acid Phenethyl Ester and Ankaferd Blood Stopper on Palatal Wound Healing in the Diabetic Rats. *SRM Journal of Research in Dental Sciences*, 11(4), 172-177.
- Huri, E., Haznedaroglu, C., Akgul, T. (2010). Biphasic Effects of Ankaferd Blood Stopper on Renal Tubular Apoptosis in the Rat Partial Nephrectomy Model Representing Distinct Levels of Hemorrhage, *Saudi Med J*, 31, 864-868.
- Imani, A., Rajani, S. F., Rakhshan, K., Faghihi, M., Nemati, M., Parsazadegan, T. (2022). The Role of Nitric Oxide on the Antiarrhythmic Effects of Ketamine/Xylazine in a Rat Model of Acute Cardiac Ischemia-Reperfusion. *Current Research in Physiology*, 5, 302-311. <https://doi.org/10.1016/j.crphys.2022.06.008>
- Jain, S. K., Levine, S. N. (1995). Elevated Lipid Peroxidation and Vitamin E-Quinone Levels in Heart Ventricles of Streptozotocin-Treated Diabetic Rats. *Free Radical Bioand Med*, 18, (2), 337-41. [https://doi.org/10.1016/0891-5849\(94\)00114-Y](https://doi.org/10.1016/0891-5849(94)00114-Y).
- Kalayci, U., Soylu, A., Eroglu, E., Kubilay, D., Sancak, B., Ugurluoglu, C., Karatepe, O. (2010). Effect of Ankaferd Blood Stopper on Hemostasis and Histopathological Score in Experimental Liver Injury. *Bratisl Lek Listy*, 111(4), 183-188.
- Kaplan, M., Atakan, İ. H., Aydoğdu, N., Aktoz, T., Puyan, F. Ö., Şeren, G., Tokuç, B., İnci, O. (2009). The Effect of Melatonin on Cadmium-Induced Renal Injury in Chronically Exposed Rats. *Turkish Journal of Urology*. 35,(2), 139-147.

- Karaca, Ö., Sunay, F., Kuş, M., Gülçen, B., Özcan, E., Ögetürk, M., Kuş, İ. (2014). Kadmiyum ile Oluşturulan Deneysel Karaciğer Hasarına Karşı Melatoninin Etkilerinin Biyokimyasal ve Histopatolojik Düzeylerde İncelenmesi. *Fırat Tıp Derg.* 19, (3), 110-115.
- Karakoc, D., Eylem, A., Salih, A., Aysegul, U., Ozdemir, A., Hamaloglu, E., Haznedaroglu, C. (2012). Histopathological Alterations in the Kidney Tissue Following Topical Ankaferd Hemostat Application in a Rat Renal Injury Model. *International Journal of Hematology and Oncology*, 32(1), 275-281.
- Karaman, A., Baskol, M., Gursoy, S., Torun, E., Yurci, A., Celikbilek, M., Yucesoy M. (2012). Endoscopic Topical Application of Ankaferd Blood Stopper in Gastrointestinal Bleeding. *Journal of Alternative and Complementary Medicine*, 18(1), 65-68. <https://doi.org/10.1089/acm.2010.0827>
- Karaman, K., Bostanci, E.B., Celep, B., Dincer, N., Kurt, M. Teke, Z., Haznedaroglu, I.C. (2015). InVivo Healing Effects of Ankaferd Blood Stopper on the Residual Pancreatic Tissue in a Swine Model of Distal Pancreatectomy. *Indian Journal of Surgery*, 77(3), 176-181. <https://doi.org/10.1007/s12262-013-0828-1>
- Koşmaz, K., Durhan, A., Süleyman, M., Ünal, Y., Bostanci, M., Haskaraca, Y., Hücümenoğlu, S. (2021). The effect of Ankaferd Blood Stopper on Liver Damage in Experimental Obstructive Jaundice. *Turkish Journal of Medical Sciences*, 51(3), 1472-1480. doi: 10.3906/sag-2007-298
- Low, W. C, Hess, C., Hiatt, W., Goldfine, A. (2016). Clinical Update: Cardiovascular Disease in Diabetes Mellitus: Atherosclerotic Cardiovascular Disease and Heart Failure in Type 2 Diabetes Mellitus - Mechanisms, Management, and Clinical Considerations. *Circulation.*;133:2459–502.
- Marklund, S., Marklund, G. (1974). Involvement of the Superoxide Anion Radical in the Autoxidation of Pyrogallol and a Convenient Assay For Superoxide Dismutase. *European Journal of Biochemistry*, 47, (3), 469-74.
- Nakir, İ. Y. (2014). *Deneysel Nötropenik Rat Modelinde Sistemik Kandida Enfeksiyonu Üzerine Ankaferd Blood Stopper (ABS) Etkisinin Araştırılması*. İnönü Üniversitesi Tıp Fakültesi, Uzmanlık Tezi, Malatya.
- Nasri, H., Baradaran, A., Ardalan, R., Mardani, S., Momeni, A., Rafieian-Kopaei, M. (2013). Bright Renoprotective Properties of Metformin: Beyond Blood Glucose Regulatory Effects. *Iran J Kidney Dis*, 7(6), 423-428.
- Nergiz, S. (2014). *Ratlarda Yüzeysel ve Derin Yanık Modellerinin Karşılaştırılması*. Cumhuriyet Üniversitesi Tıp Fakültesi Plastik, Rekonstrüktif Ve Estetik Cerrahi Anabilim Dalı Uzmanlık Tezi, Sivas.
- Ohkawa, H., Ohishi, N., Yagi, K. (1979). Assay for Lipid Peroxides in Animals and Tissues by Thiobarbituric Acid Reaction. *Anal Biochem*, 95, 351-8. [https://doi.org/10.1016/0003-2697\(79\)90738-3](https://doi.org/10.1016/0003-2697(79)90738-3)
- Özdemir, Z., Karakurt, A. (2016). İlaç Metabolizması ve Farmasötik Kimyada Önemi. *Annals of Health Sciences Research*, 5(2), 35-46.
- Özercan, A. (2015). *Whey Proteinini İzolatının Deneysel Kronik Pankreatit Modelinde Koruyucu Etkilerinin Araştırılması*. Fırat Üniversitesi Tıp Fakültesi İç Hastalıkları Anabilim Dalı Uzmanlık Tezi, Elazığ.
- Sağlıyan, A, Günay, C, Durmuş, A, Mokhtare, B, Köm, M. (2021). Ratlarda Ankaferd Blood Stopper'ın Hemostatik ve Doku İyileşmesi Üzerindeki Etkilerinin Değerlendirilmesi. *F. Ü. Sağ. Bil. Vet. Derg.*, 35 (1), 27-32.
- Satar, G., Akkoc, A., Oktay, A., Topal, A., Inan, K. (2013). Evaluation of the Hemostatic and Histopathological Effects of Ankaferd Blood Stopper in Experimental Liver Injury In Rats. *Blood Coagulation&Fibrinolysis*, 24(5), 518-524. doi: 10.1097/MBC.0b013e32835e9498
- Shehata, N. I., Abozeid, S. M., Abd El-Aziz, S. A., Abdelgawad, H. M. (2022). Mitigation of Streptozotocin-Induced Alterations by Natural Agents Via Upregulation of Pdx1 and Ins1 Genes in Male Rats. *Journal of Food Biochemistry*. 46(5),1-12. <https://doi.org/10.1111/jfbc.14086>
- Şensoy, E., Öznurlu, Y. (2019). Determination of the Changes on the Small Intestine of Pregnant Mice by Histological, Enzyme Histochemical, and Immunohistochemical Methods. *The Turkish Journal of Gastroenterology*, 30(10), 917. DOI: 10.5152/tjg.2019.18681
- Tapiero, H., Townsend, D. M., Tew, K. D. (2003). The Antioxidant Role of Selenium and Seleno-Compounds. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 57(3-4), 134-44. [https://doi.org/10.1016/S0753-3322\(03\)00035-0](https://doi.org/10.1016/S0753-3322(03)00035-0)
- Tezcan, Ö. (2011). *Kadmiyum'un İnsan Eritrositleri Üzerine İn Vitro Toksik Etkisi ve Vitamin C ve E'nin Koruyucu Rolü*. Yozgat Bozok Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Yozgat.
- Tokgöz, H., Karakaya, K., Hancı, V., Abduşoğlu, M., Erol, B., Türksoy, Ö., & Mungan, N. A. (2010). Protective Value of a Folkloric Medicinal Plant Extract Against Mortality and Hemorrhage in a Life-Threatening Renal Trauma Model. *Urology*, 75(6), 1515-e9.
- Uluocak, N., Atılğan, D., Erdemir, F. (2010). An Animal Model of Ischemic Priapism And The Effects of Melatonin on Antioxidant Enzymes and Oxidative Injury Parameters in Rat Penis. *International Urology and Nephrology*, 42(4), 889–895. <https://doi.org/10.1007/s11255-010-9706-y>

- Yayla, N. (2014). *Ratlarda Parasetamolle İndüklenen Akut Karaciğer Toksisitesi Üzerine Nigellasativa L. Etanol Ekstresinin Etkilerinin Araştırılması*. Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Yılmaz, İ., (2014). *Deneysel Nötropenik Rat Modelinde Sistemik Kandida Enfeksiyonu Üzerine Ankaferd Blood Stopper (ABS) Etkisinin Araştırılması*. İnönü Üniversitesi Tıp Fakültesi Uzmanlık Tezi, Malatya.
- Young, D. M. (2006). *Burn and Electrical Injury*. Philadelphia,USA:Mathes SJ (ed) Saunders Elsevier,. (2.ed) : 811-862.
- Yuan, G., Dai, S., Yin, Z., Lu, H., Jia, R., Xu, J., Song, X., Li, L., Shu, Y. Zhao, X. (2014). Toxicological Assessment of Combined Lead and Cadmium: AcuteandSub-Chronic Toxicity Study in Rats. *Fd. Chem. Toxicol.*, 65,260-268. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2013.12.041>

Farklı Ön İşlemlerin Patates Dilimlerinin Kuruma Karakteristikleri ve Rehidrasyon Yetenekleri Üzerine Etkisi

Mustafa Remzi OTAĞ^{1*} 

Öz

Bu çalışmada sitrik asit çözeltisine daldırma, sıcak suya daldırma, etanol çözeltisine daldırma ve ultrases ön işlemlerinin patates dilimlerinin kuruma karakteristikleri ve rehidrasyon özellikleri üzerine etkisi araştırılmıştır. En yüksek kuruma süresi ön işlem uygulanmamış örneklerde tespit edilirken, tüm ön işlemler kuruma süresini kısaltmış olup, aralarında en düşük kuruma süresine etanol ön işlemine tabi tutulan örnekler olduğu belirlenmiştir. Ön işlemlerin farklı kuruma davranışlara sebep olduğu tespit edilmiştir. Ön işlem uygulanmamış örnekler ile sıcak suya daldırılan örnekler Parabolik model ile açıklanırken, sitrik asit çözeltisine daldırılan örnekler Wang ve Singh, etanol çözeltisine daldırılan ve ultrases ön işlemine daldırılan örneklerin kuruma eğrileri Page model ile açıklanmıştır. Ayrıca etanol çözeltisine daldırılan ve ultrases ön işlemi uygulanan örneklerde önemli düzeyde ağırlık kaybı, su kaybı ve katı madde kaybı gerçekleşmiştir. Diğer bir yandan tüm ön işlemlerin kurutulmuş patates dilimlerinin rehidrasyon yeteneğini artırdığı gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Patates, Kurutma Karakteristiği, Ön İşlem, Etanol, Ultrases, Rehidrasyon

The Effect of Different Pretreatments on Drying Characteristics and Rehydration Abilities of Potato Slices

Abstract

In this study, the effect of some pretreatments such as immersing citric acid, blanching hot water, immersing ethanol solution and ultrasound on the drying characteristics and rehydration properties of potato slices. All pretreatments reduced drying time of the potato slices. The highest drying rate was observed in potato slices immersed ethanol solution, whereas the untreated samples had the lowest drying rate. Different drying behaviors were determined because of different pretreatments. The most appropriate models for drying curves were given as; the untreated and blanched samples for Parabolic model, the samples immersed in citric acid solution for Wang and Singh, the samples immersed in ethanol solution and ultrasonicated samples for Page models. Besides, remarkable weight reduction, water loss and dry matter loss were observed from the samples immersed in ethanol solution and the ultrasonicated samples. On the other hand, all pretreatments enhanced the rehydration ability of the dried potato slices.

Keywords: Potato, Drying Characteristics, Pretreatment, Ethanol, Ultrasound, Rehydration

¹ Giresun Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Giresun, Türkiye, mustafa.otag@giresun.edu.tr

¹<https://orcid.org/0000-0001-5450-1546>

1. Giriş

Meyve ve sebzeler içeriklerinde bulunan biyoaktif bileşikler sayesinde dejeneratif hastalıklar, kanser ve kardiyovasküler rahatsızlıklar gibi sorunların görülme sıklığının azaltılmasında önemli rol oynamaktadırlar. Ancak bünyelerinde bulunan yüksek miktarda sudan kaynaklı olarak özellikle hasat sonrası süreçte gerek kimyasal gerek mikrobiyolojik gerekse de fiziksel değişimler sebebiyle raf ömrü oldukça kısa sürmektedir (da Cunha ve ark., 2020; Osae ve ark. 2020; Gomez ve Garcia 2020; Tepe ve Kadakal 2022).

Patates (*Solanum tuberosum* L.) *Solanaceae* familyasına ait olan bir kök sebzedir. Mısır, buğday ve pirinçten sonra dünyada en çok üretimi yapılan ve tüketilen bir gıdadır. Dünyada önemli patates üreticisi ülkelerin Çin, Hindistan, Amerika Birleşik Devletleri ve Ukrayna olduğu bildirilmektedir (Wang ve ark., 2020). Türkiye İstatistik Kurumunun (TÜİK, 2022) verilerine göre ise 2021 yılında Türkiye’de 5.100.000 ton patates üretimi gerçekleşmiştir. Patates vitamin, diyet lifi, mineral ve esansiyel aminoasitlerce zengin bir gıda maddesi olarak tanımlanmaktadır (Wu ve ark., 2018). Patates de diğer birçok sebze gibi yüksek su içeriğinden dolayı hasat sonrasında oldukça kısa bir raf ömrüne sahiptir (Wang ve ark., 2020).

Kurutma patatesin muhafazasında ve işlenmesinde dünyada en sık kullanılan yöntemlerden bir tanesidir (Amjad ve ark., 2018). Kurutma yöntemleri arasında zirai ürünlerin kurutulmasında en çok tercih edilen yöntemlerden birisi de sıcak hava kurutma yöntemidir. Bu yöntemin temeli ısıtılmış bir hava ile gıda içerisindeki suyun uzaklaştırılması ve böylece su aktivitesinin ve mikrobiyolojik gelişmenin azaltılması, uzun raf ömrü ve kimyasal reaksiyonların büyük ölçüde önlenmesidir. Ayrıca ağırlık ve hacim azalması ile daha az paketleme ve daha ucuz transfer ve depolama maliyetleri sağlamaktadır (Tepe ve Tepe 2020; Tunçkal ve Doymaz 2020; Huang ve ark., 2020). Ancak bu yöntemin yüksek sıcaklıklarda düşük ürün kalitesi, düşük sıcaklıklarda uzun kuruma süresi ve yüksek enerji tüketimi ve rehidrasyon yeteneği üzerine olumsuz etkileri gibi dezavantajları bulunmaktadır. Ayrıca sıcaklık, hava hızı, bağıl nem, kurutma ortamı ve ısı kaynağı gibi etkenler sıcak hava kurutmanın performansını etkileyen faktörler arasındadır (Bondaruk ve ark., 2007; Ju ve ark., 2016; Deng ve ark., 2018; Tepe ve Kadakal, 2022). Belirtilen dezavantajların giderilmesi amacıyla kurutma öncesinde çeşitli ön işlemler uygulanabilmektedir (Osae ve ark., 2020). Ön işlemler geçirgenliği artırmak, bazı enzimleri inaktive etmek ve oksidasyonu önlemek suretiyle kuruma hızını artırabilmektedir (Basse ve ark., 2021).

Kurutma prosesi uygulandığı ürünlerin yapısını ve fizikokimyasal özelliklerini değiştirmektedir. Rehidrasyon özellikleri kurutulmuş ürünlerde bu değişimlerin belirlenmesinde başvurulan en önemli yollardan bir tanesidir. Rehidrasyon esnasında gıda kaybettiği suyun bir kısmını geri kazanmaktadır. Böylece kuruma öncesi durumunun bir kısmını yeniden kazanabilmektedir

(Bharvaga ve ark., 2021). Ayrıca rehidrasyon işlemi ile kurutulan ürünün ne kadar zarar gördüğü de belirlenebilmektedir (Tepe ve Tepe, 2020).

Bu çalışmada patates dilimlerine geleneksel olarak kullanılan sıcak suya ve sitrik asit çözeltisine daldırma ön işlemi ile yeni yöntemler olarak ise etanol çözeltisine daldırma ve ultrases ön işlemi uygulanmıştır. Ardından bu yöntemlerin patates dilimlerinin kuruma karakteristiklerine ve rehidrasyon yeteneklerine etkisi araştırılması ve karşılaştırılmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Örneklerin hazırlanması

Patates (*Solanum tuberosum*) örnekleri Denizli ilindeki bir marketten sağlam görümlü ve eş boyutlarda olacak şekilde satın alınmıştır. Patatesler yabancı materyallerin uzaklaştırılması amacıyla yıkanmış ve yüzeydeki fazla su uzaklaştırılmıştır. Ardından paslanmaz çelikten imal edilmiş bir kabuk soyucu yardımı ile patateslerin kabukları soyulmuştur. Kabukların soyulmasından sonra paslanmaz çelik bir dilimleyici ile kalınlığı 5 mm olacak şekilde dilimlenmiştir. Patates örneklerinin başlangıç nem içeriği $81,55 \pm 0,48$ olarak tespit edilmiştir.

2.2. Kurutma Prosedürleri

2.2.1. Ön İşlem Uygulanmamış Örnekler

Ön işlem uygulanmamış patates örnekleri 5 mm kalınlığında dilimlendikten sonra 100 g olarak tartılarak kurutma tepsilerine yerleştirilmiştir. Kurutma işlemi sıcak hava kurutma fırınında (Arçelik KMF 833 W) $65\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de 1 m s^{-1} hava hızında gerçekleştirilmiştir. Kurutma esnasında örneklerde meydana gelen ağırlık değişimi 0,01 hassasiyete sahip dijital hassas terazide (İsolab) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kurutma işlemi örneklerin yaş bazda nem içeriği %10 değerine ulaştığında sonlandırılmıştır. Bu değer aynı zamanda $0,1\text{ g su g kuru madde (KM)}^{-1}$ değerine tekabül etmektedir. Ayrıca kurutma işlemleri 3 tekerrürlü olarak gerçekleştirilmiştir.

2.2.2. Sitrik Asit Çözeltisine Daldırma Ön İşlemi

5 mm kalınlığında dilimlenmiş patates örnekleri %1 sitrik asit (SA)(Sigma) içeren çözeltiliye 2 dakika süreyle daldırılmış olup, süre sonunda örnekler süzölmüş ve yüzeyindeki fazla su filtre kâğıdı

yardımı ile uzaklaştırılmıştır. Ardından diğer işlemler ön işlem uygulanmamış örneklerle aynı prosedürle gerçekleştirilmiştir. Örnekler 65 °C + %1 SA olarak kodlanmıştır.

2.2.3. Sıcak Suya Daldırma Ön İşlemi

5 mm kalınlığında dilimlenmiş patates örnekleri %1 SA içeren çözeltiliye 2 dakika süreyle daldırılmış olup, süre sonunda örnekler süzölmüş ve yüzeyindeki fazla su filtre kâğıdı yardımı ile uzaklaştırılmıştır. Ardından diğer işlemler ön işlem uygulanmamış örneklerle aynı prosedürle gerçekleştirilmiştir. Örnekler 65 °C + %1 SA olarak kodlanmıştır.

2.2.4. Ultrases Ön İşlemi

5 mm kalınlığında dilimlenmiş patates örnekleri 1:4 (ağırlık/hacim) olacak şekilde su dolu ultrasonik su banyosunda (Bandelin Sonorex Digiplus, DL 510 H, 35 kHz) %100 güç (640 W) uygulanarak 30 dakika süreyle ultrases ön işlemine tabi tutulmuştur. Ultrases uygulaması sonlandıktan sonra örnekler süzölmüş ve yüzeydeki fazla su filtre kâğıdı yardımı ile uzaklaştırılmıştır. Kurutma işlemi ön işlem uygulanmamış örnekler ile aynı prosedürle gerçekleştirilmiş olup, örnekler 65 °C + %100 US olarak kodlanmıştır. Ayrıca ultrases uygulaması öncesi suyun sıcaklığı bir termometre (Thr233x-1) yardımı ile 24,3 °C ölçülürken işlem sonrasında 32,8 °C olarak ölçülmüştür.

2.2.5. Etanol Çözeltisine Daldırma Ön İşlemi

5 mm kalınlığında dilimlenmiş patates örnekleri 1:4 (ağırlık/hacim) olacak şekilde %100 etanol (%99,9 saflıkta, İsolab, Almanya) içeren çözeltiliye 10 dakika süreyle daldırılmış olup, süre sonunda örneklerin yüzeyinde fazla çözelti filtre kâğıdı yardımı ile uzaklaştırılmıştır. Ön işlem sonrasında kurutma işlemi ön işlem uygulanmamış örneklerle aynı prosedürle gerçekleştirilmiştir. Örnekler 65 °C + 100 ET olarak kodlanmıştır.

2.3. Ağırlık Kaybı, Su kaybı ve Katı Madde Kayıplarının Hesaplanması

Ağırlık kaybı (AK), su kaybı (SK) ve katı madde kayıpları (KMK) Bozkır ve Ergün (2020)'nin belirttiği yöntemle gerçekleştirilmiştir. AK, SK ve KMK'nın hesaplanmasına dair denklemler denklem 1, denklem 2 ve denklem 3'te sırasıyla verilmiştir.

$$AK \% = \frac{w_i - w_s}{w_i} * 100 \quad (1)$$

$$SK \% = \frac{w_i * X_i - w_s * X_s}{w_i} * 100 \quad (2)$$

$$KMK \% = \frac{[w_s * (1 - X_s) - w_i * (1 - X_i)]}{w_i} * 100 \quad (3)$$

w_i : patates örneklerinin başlangıç ağırlığı (g)

w_s : patates örneklerinin ön işlem sonrası ağırlığı (g)

X_i : patates örneklerinin başlangıç su içeriği

X_s : patates örneklerinin ön işlem sonrası su içeriği

2.4. Kuruma Karakteristiklerinin Belirlenmesi

2.4.1. Nem İçeriğinin Belirlenmesi

Patates örneklerinin nem içeriği Tepe ve ark. (2021)'in belirttiği denkleme 4 göre hesaplanmıştır.

$$M_t = \frac{m - KM}{KM} \quad (4)$$

M_t : patates örneklerinin herhangi bir zamanda nem içeriği (g su g KM^{-1})

m : patates örneklerinin ağırlığı (g)

KM : patates örneklerinin kuru madde içeriği (g)

2.4.2. Nem Oranının Belirlenmesi

Denkleme 5 kuruma süresinde örneklerinin nem oranının (NO) belirlenmesi amacıyla kullanılmıştır (Tepe ve ark., 2021).

$$NO = \frac{M_t - M_d}{M_i - M_d} \quad (5)$$

M_t : patates örneklerinin herhangi bir zamanda nem içeriği (g su g KM^{-1})

M_d : patates örneklerinin denge nem içeriği (g su g KM^{-1})

M_i : patates örneklerinin başlangıç nem içeriği (g su g KM^{-1})

M_d değeri M_t ve M_i değerlerine kıyasla oldukça düşük bir değer olmasından ötürü hesaplama esnasında ihmal edilmiştir (Tepe ve ark., 2021)

2.4.3. Kuruma Hızının Hesaplanması

Örneklerin kuruma hızı (KH) denklem 6'ya göre hesaplanmıştır (Tepe ve Kadakal, 2022).

Δt : iki ölçüm noktası arasındaki zaman farkı

$M_{t+\Delta t}$: zaman farkındaki nem içeriği (g su g KM^{-1})

$$KH = \frac{M_t - M_{t+\Delta t}}{\Delta t} \quad (6)$$

2.4.4. Efektif Difüzyon Katsayısının Hesaplanması

Sabit nem difüzyonu ve sonsuz kalınlıktaki örneklerde efektif difüzyon katsayısının hesaplanması amacıyla Fick'in ikinci kanunu kullanılmıştır (Denklem 7) (Crank 1975).

$$NO = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp\left(- (2n+1)\pi^2 \frac{D_{eff} t}{4L^2}\right) \quad (7)$$

L: Kurutma öncesi örnek kalınlığının yarısı (m)

Denklem 7'nin çözümlenmesi ile basitçe denklem (8) yazılabilir (Demiray ve ark., 2017).

$$\ln(NO) = \ln\left(\frac{8}{\pi^2}\right) - \left(\frac{\pi^2}{4L^2} D_{eff} t\right) \quad (8)$$

Denklem 8'in NO'nun zamana karşı doğal logaritması ile çözümlenmesi ile doğrusal bir eğri elde edilir ve denklem 9'da ki gibi bir eğim elde edilir (Demiray ve ark., 2017).

$$\text{Slope} = - \frac{\pi^2}{4L^2} D_{eff} \quad (9)$$

2.5. Kuruma Eğrilerinin Matematiksek Olarak Modellenmesi

Kök ortalama kare hatası (RMSE), indirgenmiş ki-kare (χ^2) ve determinasyon katsayılarına (R^2) ait denklemler sırasıyla denklem 10, denklem 11 ve denklem 12'de verilmiştir.

$$RMSE = \left[\frac{1}{N} \sum_{i=0}^N (NO_{tah,i} - NO_{den,i})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (10)$$

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=0}^N (NO_{tah,i} - NO_{den,i})^2}{N - n} \quad (11)$$

$$R^2 = \frac{\sum(MR_{tah} - \sum MR_{den})^2}{\sum(MR_{tah,ort} - \sum MR_{den})^2} \quad (12)$$

Tahmini NO: NO_{tah}

Deneysel NO: NO_{den}

Tahmini NO'larının ortalaması: $MR_{tah,ort}$

N ve n sırasıyla matematiksel modellere ait gözlem sayısı ve denklem sabiti sayısını ifade etmektedir (Demiray ve ark., 2017). Denemelerde kullanılan matematiksel modeller Tablo 1'de verilmiştir. İstatistiksel parametrelerinin hesaplanabilmesi için MATLAB (2015a, versiyon 8.5) yazılımının trust-region algoritma ayarlı Curve Fitting Toolbox özelliği kullanılmıştır. En uygun model seçimi yapılırken ise en yüksek R^2 değeri ve en düşük RMSE ve χ^2 değerleri göz önünde bulundurulmuştur (Tepe ve Tepe 2020).

Tablo 1. Matematiksel modellemede kullanılan eşitlikler

Model Adı	Model	Kaynak
Lewis	$\exp(-kt)$	Tepe ve ark., (2021)
Henderson ve Pabis	$a \exp(-kt)$	Tepe ve ark., (2021)
Page	$\exp(-kt^n)$	Tepe ve ark., (2021)
Parabolik	$a + bt + ct^2$	Tepe ve ark., (2021)

2.6. Rehidrasyon Oranının Hesaplanması

Rehidrasyon denemeleri Tepe ve Tepe (2020)'nin belirttiği yöntemin modifiye edilmesi ile gerçekleştirilmiştir. 5 g kuru patates örneği önceden 40 °C sıcaklığı ulaşmış 400 ml saf suya ilave edilmiştir. Rehidrasyon işlemi 12 saat süre sonunda sonlandırılmış, örnekler süzildükten sonra yüzeyindeki su filtre kâğıdı ile uzaklaştırılmıştır. Ardından örnekler tartılarak denklem 13 yardımı ile rehidrasyon oranı hesaplanmıştır.

$$RO\% = \frac{W_r}{W_i} \quad (13)$$

W_i : Rehidrasyon öncesi örnek ağırlığı (g)

W_r : Rehidrasyon sonrası örnek ağırlığı (g)

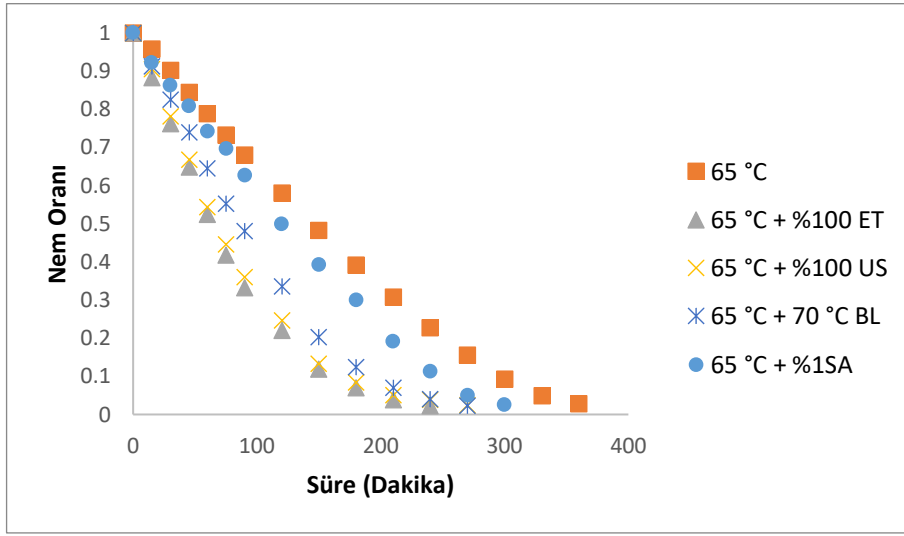
2.7. İstatistiksel Analiz

İstatistiksel analizler SPSS yazılımı (versiyon 22, SPSS Inc.) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. $p = 0,05$ anlamlılık düzeyine sahip değerler arasındaki farklılıkları değerlendirmek için varyans analizi (ANOVA) kullanılmıştır. Gruplar arasındaki farklılıklar Duncan testi kullanılarak belirlenmiştir.

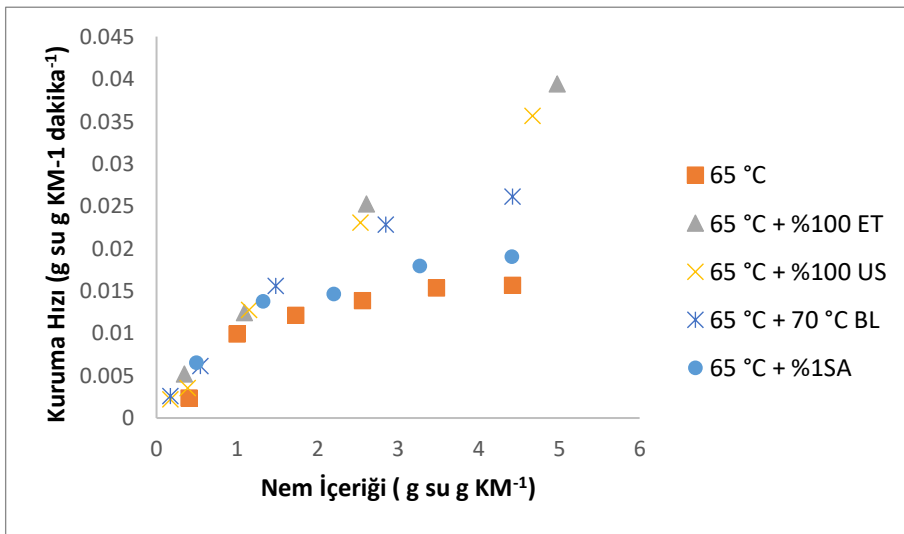
3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Patates Dilimlerinin Kuruma Karakteristikleri

Farklı ön işlemler kullanılarak kurutulan patates dilimlerine ait NO ve KH grafikleri Şekil 1 ve Şekil 2’de verilmiştir. Herhangi bir ön işlem uygulanmamış patates dilimlerinin kuruma süresi 360 dakika olarak tespit edilirken, ön işlem uygulanan örneklerde kuruma süresinin kısaldığı tespit edilmiştir. Sitrik asit çözeltisine daldırma, sıcak suya daldırma, ultrases ve etanol çözeltisine daldırılan patates örneklerinin kuruma süreleri sırasıyla 300, 270, 270 ve 240 dakika olarak tespit edilmiştir.



Şekil 1. Farklı ön işlemler uygulanarak kurutulan patates dilimlerinin nem oranı



Şekil 2. Farklı ön işlemler uygulanarak kurutulan patates dilimlerinin kuruma hızı değişimleri

Farklı ön işlemler kullanılarak kurutulan patates dilimlerine ait efektif difüzyon katsayıları ise Tablo 2’de verilmiştir. Tablo 2’den de görüldüğü gibi efektif difüzyon katsayıları kuruma süresi ile ters orantılı olup, kuruma süresi kısaldıkça efektif difüzyon katsayısının arttığı görülmüştür. En yüksek efektif difüzyon katsayısı $2,74 \times 10^{-9} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ değeri ile etanol çözeltisine daldırılan örneklerde tespit edilirken, en düşük efektif difüzyon katsayısı $1,54 \times 10^{-9} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ değeri ile ön işlem uygulanmayan patates örneklerinde gözlenmiştir. Buna ek olarak kuruma hızı ile kuruma süresi ters orantılı olup, en yüksek kuruma hızına etanol çözeltisine daldırılan patateslerde ulaşılrken, en düşük kuruma hızının ön işlem uygulanmamış örneklerde gözlendiği Şekil 2’den açıkça görülmektedir. Ön işlemlerin kuruma hızının artışı üzerine etkisi yüksek konsantrasyonda etanol çözeltisi için hücre zarında geçirgenlik artışı ve Marangoni etkisi; ultrases ön işlemi için kavitasyon nedeniyle mikrokanal ve por oluşumu; sıcak suya daldırma için enzim degradasyonu ve geçirgenlik artışına neden olan doku gevşemesi; sitrik asit çözeltisine daldırma için ise enzim degradasyonu ve zar geçirgenliği artışına neden olan pektin gevşemesi ile açıklana bilmektedir (Hiranvarachat ve ark., 2011; Wang ve ark., 2018; Deng ve ark., 2019; Bozkır ve ark., 2019; Llavata ve ark., 2020; Zhou ve ark., 2021; Tepe ve Kadakal, 2022). Doymaz (2012) benzer şekilde sıcak suya ve sitrik asit çözeltisine daldırılan patates dilimlerinin $65 \text{ }^\circ\text{C}$ ’de kuruma hızlarının ön işlem uygulanmayan örneklere kıyasla artış gösterdiğini bildirmiştir. Rojas ve Agosto (2018) ise etanol çözeltisine daldırılan ve ultrases ön işlemine tabi tutulan örneklerin kuruma sürelerinin ön işlem uygulanmayan örneklere kıyasla daha kısa sürdüğünü gözlemlemişlerdir. Guedes ve ark. (2021) patates dilimlerinin kuruma hızlarının etanol çözeltisine daldırma ile artırılabilceğini bildirmişlerdir. Tepe (2022) de benzer şekilde sitrik asit çözeltisine daldırma, etanol çözeltisine daldırma ve ultrases ön işlemi uygulanan elma dilimlerinin kuruma hızlarının arttığını gözlemlemiştir. Başka meyve ve sebzeler de çalışmamızla uyumlu sonuçlar tespit edilmiştir. Tepe ve Kadakal (2022) kavun meyvelerinin sitrik asit çözeltisine daldırma, sıcak suya daldırma, etanol çözeltisine daldırma ve ultrases ön işlemleri ile kuruma sürelerinin kısaldığını bildirmişlerdir. Doymaz (2020) sitrik asit çözeltisine daldırılan kivi dilimlerinin kuruma sürelerinin kısaldığını bildirmiştir. Benzer şekilde Doymaz ve ark. (2015) ayva dilimlerinin kuruma hızlarının sitrik asit çözeltisine daldırma ön işlemi ile ön işlemsiz örneklere kıyasla daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir.

Tablo 2. Patates dilimlerinin efektif difüzyon katsayıları

Kurutma Yöntemi	Efektif Difüzyon Katsayısı (Deff)
65 °C	$1,54 \times 10^{-9}$
65 °C + %100 ET	$2,74 \times 10^{-9}$
65 °C + %100 US	$2,47 \times 10^{-9}$
65 °C + %1 SA	$1,91 \times 10^{-9}$
65 °C + 70 °C BL	$2,42 \times 10^{-9}$

Tablo 3. Patates dilimlerinin kuruma eğrilerine uygulanan matematiksel modeller ve istatistiksel parametreleri

Model	Kurutma Yöntemi	Model Katsayıları			χ^2	RMSE	R ²
Page	65 °C	$k= 0,0006207$	$n= 1,425$		$0,000701203$	$0,02477$	$0,9951$
	65 °C + 100% ET	$k= 0,003583$	$n= 1,270$		$5,98293E-05$	$0,007061$	$0,9996$
	65 °C + 100% US	$k= 0,003180$	$n= 1,280$		$6,36538E-05$	$0,007339$	$0,9996$
	65 °C +1% SA	$k= 0,0007872$	$n= 1,430$		$0,001101722$	$0,03073$	$0,9924$
	65 °C + 70°C BL	$k= 0,001551$	$n= 1,380$		$0,00024167$	$0,0143$	$0,9985$
Henderson and Pabis	65 °C	$k= 0,006121$	$a= 1,084$		$0,004032411$	$0,0594$	$0,9717$
	65 °C + 100% ET	$k= 0,0126$	$a= 1,056$		$0,001625088$	$0,0368$	$0,9895$
	65 °C + 100% US	$k= 0,01198$	$a= 1,064$		$0,001552983$	$0,03625$	$0,99$
	65 °C +1% SA	$k= 0,00722$	$a= 1,073$		$0,004976295$	$0,06531$	$0,9656$
	65 °C + 70°C BL	$k= 0,00993$	$a= 1,074$		$0,003287236$	$0,05274$	$0,9791$
Wang and Singh	65 °C	$a= -0,003949$	$b= 0,000003252$		$0,000210451$	$0,01357$	$0,9984$
	65 °C + 100% ET	$a= -0,009067$	$b= 0,00002109$		$0,000286443$	$0,01545$	$0,9982$
	65 °C + 100% US	$a= -0,008498$	$b= 0,00001843$		$0,000457721$	$0,01968$	$0,9971$
	65 °C +1% SA	$a= -0,00471$	$b= 0,000004548$		$0,000264253$	$0,01505$	$0,9983$
	65 °C + 70°C BL	$a= -0,006954$	$b= 0,00001216$		$0,000352073$	$0,01726$	$0,9978$
Parabolic	65 °C	$a= 1,019$	$b= -0,00418$	$c= 0,000003792$	$0,000126962$	$0,01054$	$0,9995$
	65 °C + 100% ET	$a= 1,005$	$b= -0,00916$	$c= 0,00002142$	$0,000309894$	$0,01607$	$0,9982$
	65 °C + 100% US	$a= 1,008$	$b= -0,00863$	$c= 0,00001884$	$0,000483663$	$0,02023$	$0,9972$
	65 °C +1% SA	$a= 1,008$	$b= -0,004821$	$c= 0,000004858$	$0,000270612$	$0,01523$	$0,9983$
	65 °C + 70°C BL	$a= 1,023$	$b= -0,007322$	$c= 0,0000133$	$0,000231636$	$0,014$	$0,9987$
Lewis	65 °C	$k= 0,005549$			$0,005393931$	$0,0687$	$0,9595$
	65 °C + 100% ET	$k= 0,01184$			$0,002118816$	$0,04202$	9850
	65 °C + 100% US	$k= 0,01117$			$0,002205556$	$0,0432$	$0,9845$
	65 °C +1% SA	$k= 0,006619$			$0,00588448$	$0,07102$	$0,956$
	65 °C + 70°C BL	$k= 0,00914$			$0,004207874$	$0,05967$	$0,9709$

3.2 Patates Dilimlerinin Kuruma Eğrilerinin Matematiksel Modellemesi

Kuruma eğrilerinin modellenmesi bir çeşit matematiksel modelleme olup meyve ve sebzelerin kuruma kinetiğinin belirlenmesi amacıyla kullanılmaktadır. Böylece kuruma prosesinin tasarımı ve optimizasyonu yapılmasını kolaylaştırmaktadır (Tepe ve Tepe, 2020). Kuruma eğrilerine ait matematiksel modeller ve istatistiksel parametreler Tablo 3'te verilmiştir. Tablo 3'ten de görüldüğü gibi ön işlem uygulaması sonucunda kuruma eğrileri farklı matematiksel modellerle açıklanabilmektedir. Bunun temel sebebinin uygulanan ön işlemlerin ürün dokusu üzerinde etkisi ile kuruma davranışını etkilemesi olduğu düşünülmektedir. Ön işlem uygulanmamış örneklerin kuruma eğrileri en iyi Parabolik model ile açıklanabilirken, sitrik asit çözeltisine daldırılanlar Wang ve ark. (2019) sıcak suya daldırılanlar Parabolik, etanol çözeltisine daldırılan ve ultrases ön işlemi uygulananlar ise Page model ile açıklanmaktadır. Doymaz (2012) ön işlem uygulanmamış ve sıcak suya daldırılmış patates dilimlerinin kuruma eğrilerinin Midilli, Verma, iki terimli ve logaritmik modelle açıklanabildiğini, sitrik asit çözeltisine daldırılan örneklerin ise Midilli, modifiye Henderson-Pabis, parabolik ve logaritmik modellerle açıklanabildiğini belirtmiştir. Rojas ve Agosto (2018) ise etanol çözeltisine daldırılan ve ultrases ön işlemi uygulanan patateslerin kuruma eğrilerinin en iyi Page model ile açıklandığını gözlemlemişlerdir.

3.3 Patates Dilimlerinde Meydana Gelen Ağırlık Kaybı, Su Kaybı ve Katı Madde Kayıpları

Etanol ve ultrases ön işlemi görmemiş patates dilimlerinin başlangıç nem içeriği 4,42 g su g KM^{-1} olarak tespit edilmiştir. Etanol ve ultrases ön işlemi görmüş patates dilimlerinin kuru madde bazında nem içerikleri sırasıyla 4,98 g su g KM^{-1} ve 4,67 g su g KM^{-1} olarak tespit edilmiştir. Etanol ve ultrases ön işlemi görmüş patates dilimlerinde meydana gelen ağırlık kaybı, su kaybı ve katı madde kayıpları Tablo 4'te gösterilmiştir. Sitrik asit çözeltisine daldırma ve sıcak suya daldırma ön işlemlerinde kayda değer bir değişim gözlenmemiştir. Bunun sebebi ise kısa süreli daldırma işlemi olarak düşünülmektedir. Etanol ve ultrases ön işlemi uygulanan örneklerde ciddi düzeyde ağırlık kaybı, su kaybı ve katı madde kaybı gerçekleşmiştir. Bunun sebebi ise uzun süreli uygulama süresi, geçirgenlik artışı ve kavitasyon etkisi olarak açıklanmaktadır (Tepe ve Kadakal, 2020). Nitekim Tepe ve Kadakal (2020) etanole daldırma ve ultrases ön işlemi uygulanan kavun meyvelerinde ağırlık kaybı, su kaybı ve katı madde kaybı gerçekleştiğini bildirmişlerdir. Bozkır ve ark. (2019), La Fuente ve Tadini (2018) ve Wang ve ark. (2019) ultrases ön işlemi uygulanan sarımsak, muz ve kivi meyvelerinde benzer sonuçlar rapor etmişlerdir.

Tablo 4. Patates dilimlerinde meydana gelen ağırlık kayıpları, su kayıpları ve katı madde kayıpları

Ön İşlem	Nem İçeriği (%)	Ağırlık Kaybı (%)	Su Kaybı (%)	Katı Madde Kaybı (%)
100% ET	83,27	25,12	19,20	5,92
100% US	82,37	16,29	12,60	3,69

3.4 Kurutulan Patates Dilimlerinin Rehidrasyon Oranları

Ön işlem uygulanmayan ve uygulanan patates dilimlerinin rehidrasyon oranları Tablo 5'te verilmiştir. Tablo 5'ten de görüldüğü gibi ön işlem uygulanan bütün örneklerin rehidrasyon oranlarında artış meydana gelmiştir. Sitrik asit çözeltisine daldırma ve suya daldırma ön işlemlerinin rehidrasyon yeteneği üzerine etkisi sebep oldukları zar geçirgenliği artışı ve degradasyon enzimlerinin inaktivasyonu olarak açıklanabilir (Tepe ve Kadakal, 2022). Etanol çözeltisine daldırma ön işleminin etkisi ise osmoz yolu ile hücre içine giren etanol moleküllerinin büzüşmeye karşı sebep olduğu direnç ile açıklanmaktadır (Zhou ve ark., 2021). Ultrases ön işleminin rehidrasyon yeteneğinde artışa sebebiyet vermesi ise yeni porlar, mikrokanallar, geniş tüneller ve boşluk ile yüksek doku içi stres ile açıklanmaktadır (Wang ve ark., 2019; Tao ve ark., 2019; Wu ve ark., 2019).

Tablo 5. Patates dilimlerine ait rehidrasyon oranları

Kurutma Yöntemi	Rehidrasyon Oranı
65 °C	3,01±0,06 ^a
65 °C + %100 ET	3,37±0,04 ^b
65 °C + %100 US	3,32±0,08 ^b
65 °C + %1 SA	3,45±0,07 ^b
65 °C + 70 °C BL	3,39±0,11 ^b

* 3 ölçümün ortalaması ± SD (standart sapması); Farklı harflerle işaretlenmiş satırların ortalaması önemli ölçüde farklıdır (p≤0.05).

Doymaz (2012) sitrik asit çözeltisine daldırılarak kurutulan patates örneklerinin rehidrasyon yeteneklerinde artış meydana geldiğini, ancak sıcak suya daldırılan örneklerin rehidrasyon yeteneğinde azalma meydana geldiğini bildirmiştir. Doymaz ve ark. (2015) ise sitrik asit çözeltisine ve sıcak suya daldırılan ayva dilimlerinin rehidrasyon yeteneğinde artış meydana geldiğini bildirmişlerdir. Rojas ve ark. (2020) ve Zhou ve ark. (2021) ise sırasıyla etanole daldırma ön işleminin kurutulan elma ve yeşil soğanların rehidrasyon yeteneğini geliştirdiğini gözlemlemişlerdir. Bozkır ve ark. (2019) ve Zhang ve ark. (2016) ise sırasıyla ultrases ön işleminin kurutulmuş sarımsakların ve mantarların rehidrasyon yeteneğini artırdığını bildirmişlerdir.

4. Sonuçlar ve neriler

Bu çalışmada geleneksel (sitrik asit çözeltisine daldırma ve sıcak suya daldırma) ve yeni ön işlemlerin (etanole daldırma ve ultrases uygulaması) patates dilimlerinin kuruma karakteristikleri ve rehidrasyon özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

- Ön işlemler patates dilimlerinin kuruma hızlarını ön işlem uygulanmamış örneklere kıyasla artırmıştır.
- Ön işlemler arasında en yüksek kuruma süresine sahip örneklerin etanol çözeltisine daldırılan örnekler olduğu tespit edilmiştir.
- Ön işlemler kuruma davranışlarını değiştirdiği için kuruma eğrilerini açıklayan modellerde farklılıklar gözlenmiştir.
- Etanol çözeltisine daldırılan ve ultrases uygulanan örneklerde önemli düzeyde ağılık kaybı, su kaybı ve katı madde kaybı gerçekleşmiştir.
- Tüm ön işlemler patates dilimlerinin rehidrasyon yeteneklerini artırmıştır.

Bu bilgilerin bahsi geçen yöntemlerin endüstriyel olarak kullanım potansiyelinin artırılmasına yardımcı olacağı düşünülmektedir. Özellikle son zamanlarda öne çıkan etanol çözeltisine daldırma ön işleminin başka bilimsel çalışmalarda kullanılabilmesi için kaynak niteliği taşımaktadır. Öneri olarak ise bu yöntemlerin kullanıldığı çalışmalarda ürünlerin besleyici özellikleri üzerine etkisinin araştırılması yöntemleri daha anlamlı kılacaktır.

Yazarların Katkısı

Tüm yazarlar çalışmaya eşit katkıda bulunmuştur.

Çıkar atışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar atışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar

- Amjad, W., Crichton, S. O., Munir, A., Hensel, O., and Sturm, B. (2018). Hyperspectral imaging for the determination of potato slice moisture content and chromaticity during the convective hot air drying process. *Biosystems Engineering*, 166, 170-183.
- Bassey, E. J., Cheng, J. H., and Sun, D. W. (2021). Novel nonthermal and thermal pretreatments for enhancing drying performance and improving quality of fruits and vegetables. *Trends in Food Science and Technology*, 112, 137-148.
- Bhargava, N., Mor, R. S., Kumar, K., and Sharanagat, V. S. (2021). Advances in application of ultrasound in food processing: A review. *Ultrasonics Sonochemistry*, 70, 105293.
- Bondaruk, J., Markowski, M., & Błaszczak, W. (2007). Effect of drying conditions on the quality of vacuum-microwave dried potato cubes. *Journal of Food Engineering*, 81(2), 306-312.
- Bozkir, H., & Ergün, A. R. (2020). Effect of sonication and osmotic dehydration applications on the hot air drying kinetics and quality of persimmon. *Lwt*, 131, 109704.
- Bozkir, H., Rayman Ergün, A., Tekgül, Y., & Baysal, T. (2019). Ultrasound as pretreatment for drying garlic slices in microwave and convective dryer. *Food Science and Biotechnology*, 28(2), 347-354.
- Crank, J. (1979). *The mathematics of diffusion*. Oxford UK, Clarendon Press.
- da Cunha, R. M. C., Brandão, S. C. R., de Medeiros, R. A. B., da Silva Júnior, E. V., da Silva, J. H. F., and Azoubel, P. M. (2020). Effect of ethanol pretreatment on melon convective drying. *Food Chemistry*, 333, 127502.
- Demiray, E., Seker, A., and Tulek, Y. (2017). Drying kinetics of onion (*Allium cepa* L.) slices with convective and microwave drying. *Heat and Mass Transfer*, 53(5), 1817-1827.
- Deng, L. Z., Mujumdar, A. S., Zhang, Q., Yang, X. H., Wang, J., Zheng, Z. A., and Xiao, H. W. (2019). Chemical and physical pretreatments of fruits and vegetables: Effects on drying characteristics and quality attributes—a comprehensive review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 59(9), 1408-1432.
- Deng, L. Z., Yang, X. H., Mujumdar, A. S., Zhao, J. H., Wang, D., Zhang, Q., and Xiao, H. W. (2018). Red pepper (*Capsicum annuum* L.) drying: Effects of different drying methods on drying kinetics, physicochemical properties, antioxidant capacity, and microstructure. *Drying Technology*, 36(8), 893-907.
- Doymaz, I. (2012). Drying of potato slices: Effect of pretreatments and mathematical modeling. *Journal of Food Processing and Preservation*, 36(4), 310-319.
- Doymaz, İ. (2020). Impact of citric acid on the drying characteristics of kiwifruit slices. *Acta Scientiarum. Technology*, 42.
- Doymaz, İ., Demir, H., and Yildirim, A. (2015). Drying of quince slices: effect of pretreatments on drying and rehydration characteristics. *Chemical Engineering Communications*, 202(10), 1271-1279.
- Gómez-García, R., Campos, D. A., Aguilar, C. N., Madureira, A. R., and Pintado, M. (2020). Valorization of melon fruit (*Cucumis melo* L.) by-products: Phytochemical and Biofunctional properties with Emphasis on Recent Trends and Advances. *Trends in Food Science and Technology*, 99, 507-519.
- Guedes, J. S., Santos, K. C., Castanha, N., Rojas, M. L., Junior, M. D. M., Lima, D. C., and Augusto, P. E. (2021). Structural modification on potato tissue and starch using ethanol pre-treatment and drying process. *Food Structure*, 29, 100202.
- Hiranvarachat, B., Devahastin, S., and Chiewchan, N. (2011). Effects of acid pretreatments on some physicochemical properties of carrot undergoing hot air drying. *Food and Bioproducts Processing*, 89(2), 116-127.
- Huang, D., Men, K., Li, D., Wen, T., Gong, Z., Sunden, B., and Wu, Z. (2020). Application of ultrasound technology in the drying of food products. *Ultrasonics Sonochemistry*, 63, 104950.
- Ju, H. Y., El-Mashad, H. M., Fang, X. M., Pan, Z., Xiao, H. W., Liu, Y. H., and Gao, Z. J. (2016). Drying characteristics and modeling of yam slices under different relative humidity conditions. *Drying Technology*, 34(3), 296-306.
- La Fuente, C. I., and Tadini, C. C. (2018). Ultrasound pre-treatment prior to unripe banana air-drying: effect of the ultrasonic volumetric power on the kinetic parameters. *Journal of Food Science and Technology*, 55(12), 5098-5105.
- Llavata, B., García-Pérez, J. V., Simal, S., and Cárcel, J. A. (2020). Innovative pre-treatments to enhance food drying: A current review. *Current Opinion in Food Science*, 35, 20-26.

- Osa, R., Essilfie, G., Alolga, R. N., Akaba, S., Song, X., Owusu-Ansah, P., and Zhou, C. (2020). Application of non-thermal pretreatment techniques on agricultural products prior to drying: a review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 100(6), 2585-2599.
- Rojas, M. L., and Augusto, P. E. (2018). Ethanol and ultrasound pre-treatments to improve infrared drying of potato slices. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 49, 65-75.
- Rojas, M. L., Augusto, P. E. D., and Cárcel, J. A. (2020). Ethanol pre-treatment to ultrasound-assisted convective drying of apple. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 61, 102328.
- Tao, Y., Han, M., Gao, X., Han, Y., Show, P. L., Liu, C., ... and Xie, G. (2019). Applications of water blanching, surface contacting ultrasound-assisted air drying, and their combination for dehydration of white cabbage: Drying mechanism, bioactive profile, color and rehydration property. *Ultrasonics Sonochemistry*, 53, 192-201.
- Tepe, F. B. (2022). Impact of pretreatments and hybrid microwave assisting on drying characteristics and bioactive properties of apple slices. *Journal of Food Processing and Preservation*, 46(10), e17067.
- Tepe, F. B., Tepe, T. K., and Ekinici, A. (2022). Impact of air temperature on drying characteristics and some bioactive properties of kiwi fruit slices. *Chemical Industry & Chemical Engineering Quarterly*, 28(2), 151-159.
- Tepe, T. K., and Tepe, B. (2020). The comparison of drying and rehydration characteristics of intermittent-microwave and hot-air dried-apple slices. *Heat and Mass Transfer*, 56(11), 3047-3057.
- Tunckal, C., and Doymaz, İ. (2020). Performance analysis and mathematical modelling of banana slices in a heat pump drying system. *Renewable Energy*, 150, 918-923.
- Wang, H. O., Fu, Q. Q., Chen, S. J., Hu, Z. C., and Xie, H. X. (2018). Effect of hot-water blanching pretreatment on drying characteristics and product qualities for the novel integrated freeze-drying of apple slices. *Journal of Food Quality*, 2018, 1-12
- Wang, H., Liu, Z. L., Vidyarthi, S. K., Wang, Q. H., Gao, L., Li, B. R., ... and Xiao, H. W. (2020). Effects of different drying methods on drying kinetics, physicochemical properties, microstructure, and energy consumption of potato (*Solanum tuberosum* L.) cubes. *Drying Technology*, 39(3), 418-431.
- Wang, J., Xiao, H. W., Ye, J. H., Wang, J., and Raghavan, V. (2019). Ultrasound pretreatment to enhance drying kinetics of kiwifruit (*Actinidia deliciosa*) slices: pros and cons. *Food and Bioprocess Technology*, 12(5), 865-876.
- Wu, B., Guo, Y., Wang, J., Pan, Z., and Ma, H. (2018). Effect of thickness on non-fried potato chips subjected to infrared radiation blanching and drying. *Journal of Food Engineering*, 237, 249-255.
- Wu, X. F., Zhang, M., Mujumdar, A. S., and Yang, C. H. (2019). Effect of ultrasound-assisted osmotic dehydration pretreatment on the infrared drying of Pakchoi Stems. *Drying Technology*, 38 (15), 2015-2026.
- Zhang, Z., Liu, Z., Liu, C., Li, D., Jiang, N., and Liu, C. (2016). Effects of ultrasound pretreatment on drying kinetics and quality parameters of button mushroom slices. *Drying Technology*, 34(15), 1791-1800.
- Zhou, C., Wang, Z., Wang, X., Yagoub, A. E., Ma, H., Sun, Y., & Yu, X. (2021). Effects of tri-frequency ultrasound-ethanol pretreatment combined with infrared convection drying on the quality properties and drying characteristics of scallion stalk. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 101(7), 2809-2817.

Geleneksel Konutların Restorasyon Sürecinde Enerji Etkin İyileştirilmesi: Trabzon Evi Örneği

Esra LAKOT ALEMDAĞ^{1*} , Birol ŞAHİN² , Ayça AKKAN ÇAVDAR³ 

Öz

İnşaat sektörü küresel enerji kullanımında ve çevresel sorunlarda önemli bir paya sahiptir. Konutlarda enerji verimliliğini arttıracak önlemler ile iç mekân iklimsel konforu iyileştirilerek daha az enerji tüketen, sürdürülebilir yapılar çevreler oluşturmak mümkündür. Ülkemizdeki konut stoğu düşünüldüğünde mevcut yapılarda yapılacak enerji etkin iyileştirmeler, verimlilik açısından düşük enerjili yeni bir bina inşa etmek kadar etkili olacaktır. Kentlerin kimliğini yansıtan tescilli geleneksel konutlar da mevcut yapı stoğunun önemli bir parçasıdır. Bu yapıların taşıdığı kültürel değerlerin korunmasının yanı sıra enerji performanslarının da iyileştirilmesi gerekmektedir. Yapılan çalışmada Trabzon ilinde yer alan restore edilmiş tescilli konutlardan biri seçilerek yapı dış kabuğu ve döşemeleri için enerji etkin iyileştirme önerileri hazırlanmıştır. Binanın ısı yalıtım performansının artırılması ve farklı yalıtım malzemelerinin etkinliğinin incelenmesi amacıyla hazırlanan bu öneriler TSE 825 Hesap programı kullanılarak irdelenmiştir. Binanın zemin ve 1. katında yer alan her bir mekân için ısı kayıpları hesaplanmıştır. Ayrıca çalışmada önerilen dış duvar alternatifleri için aynı programda yoğunlaşma kontrolü de yapılmıştır. Sonuç olarak bağdadi duvar yapım sistemine sahip binada uygulanan yalıtım önerileri yıllık ısıtma yüklerinde % 66.8 ile % 68.8 arasında azalma sağlamıştır. Isıtma yükünün en fazla olduğu Ocak ayında örnek binada maksimum %66.4 tasarruf sağlanmıştır. Bu uygulamalar sonucunda duvar konstrüksiyonlarında herhangi bir yoğunlaşma problemi de meydana gelmemiştir.

Anahtar Kelimeler: Bağdadi duvar, Enerji performansı, Enerji etkin iyileştirme, Geleneksel konut, Isıtma yükleri.

Energy Efficient Improvement of Traditional Houses in the Restoration Process: A Case Study of Trabzon House

Abstract

The construction industry has a significant share in global energy use and environmental problems. It is possible to create sustainable built environments that consume less energy by improving indoor climatic comfort with measures to increase energy efficiency in houses. Considering the housing stock in our country, energy efficient improvements to be made in existing buildings will be as effective as constructing a new low-energy building in terms of efficiency. Registered traditional residences reflecting the identity of cities are also an important part of the existing building stock. In addition to preserving the cultural values of these structures, their energy performance should also be improved. In the study, one of the restored registered houses in the province of Trabzon was selected and energy efficient improvement suggestions were prepared for the outer skin and flooring of the building. These suggestions, which were prepared to increase the thermal insulation performance of the building and to examine the effectiveness of different insulation materials, were examined using the TSE 825 Calculation program. Heat losses were calculated for each space on the ground and first floor of the building. In addition, condensation control was carried out in the same program for the exterior wall alternatives in the study. As a result, insulation recommendations applied in the building with the bağdadi wall construction system have reduced the annual heating loads between 66.8 % and 68.8 %. In January, when the heating load was the highest, a max. of 66.4% savings was achieved in the sample building. As a result of these applications, no condensation problem has occurred in the wall constructions.

Keywords: Bağdadi wall, Energy performance, Energy efficient improvement, Traditional housing, Heating loads.

¹ Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Mimarlık Bölümü, Rize, Türkiye, esra.lakotalemdag@erdogan.edu.tr

² Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Mimarlık Bölümü, Rize, Türkiye, birol.sahin@erdogan.edu.tr

³ Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Rize, Türkiye, ayca.akkan@erdogan.edu.tr

¹<https://orcid.org/0000-0003-0959-2068> ²<https://orcid.org/0000-0003-1004-4720> ³<https://orcid.org/0000-0002-3333-8943>

1. Giriş

Dünya nüfusunun ve buna paralel enerji tüketiminin hızla artması doğal çevrede geri dönüşü olmayan tahribata neden olmaktadır. Fosil yakıt tüketimi bu tahribatı ve kirliliği arttıran nedenler arasındadır. Kentlerde kontrolsüz gelişen yapılaşma da ekosistemi olumsuz etkilemektedir (Dedeoğlu, 2002). Doğal kaynakların hızla tüketilmesi, sera gazı emisyonlarının artması ve iklim dengesinin bozulması gibi konular sürdürülebilir yapı ve doğal çevrenin geleceği için tehlike arz etmektedir. 2020 yılında emisyonu gerçekleşen 523,9 milyon ton CO₂ eşdeğeri sera gazı miktarının sektörlere göre; %70,2'sinin enerji, %12,7'sinin endüstriyel işlemler ve ürün kullanımı, %14'ünün tarım ve %3,1'inin ise atık olarak sıralandığı görülmektedir (TUİK, 2022). Konut sektörü, Türkiye için enerji tüketiminin en etkili şekilde azaltılabileceği sektör olarak vurgulanmaktadır. Bu doğrultuda enerji verimliliği sağlanabilmesi için sürdürülebilir mimarlık kapsamında binalarda bazı önlemler alınması gerekmektedir (Uzun, 2022; Zinzade, 2010). Tasarım aşamasında belirlenecek pasif ve aktif önlemler ile binaların iklimlendirme (ısıtma-soğutma-havalandırma) ve aydınlatma enerji tüketimlerinde ciddi oranlarda iyileştirme yapmak mümkündür (Baca & López, 2018). Özellikle her türlü iklim koşuluna açık olan bina dış kabuğunda yapılacak ısı yalıtım uygulamaları enerji verimliliğinin artırılmasında en etkili pasif tasarım yöntemlerinden biridir.

2017-2023 için planlanan Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı'nda 2000-2015 yılları arasındaki dönem için yapılan analizlerde konut sektöründe %1,9, imalat sektöründe %1,8 ve ulaştırma sektöründe %2,9 oranında enerji verimliliği iyileşmesi görülmüş olup; enerji verimliliğinin artırılması üzerine olan çalışmalar devam ettirilmek istenmektedir (UEVEP, 2017). Ülkemizdeki konut stoğu düşünüldüğünde de mevcut yapılarda yapılacak enerji etkin iyileştirmeler, verimlilik açısından düşük enerjili yeni bir bina inşa etmek kadar etkili olacaktır. Bu bağlamda kentlerin kimliğini yansıtan tescilli geleneksel konutlar da mevcut yapı stoğunun önemli bir parçasıdır. T.C. Kültür ve Turizm Bakanlığı'ndan elde edilen verilere göre 2021 yılsonu itibarıyla Türkiye genelinde korunması gerekli 119.263 adet tescilli taşınmaz kültür varlıkları içerisinde 74.424 adet sivil mimarlık örneği yer almaktadır (T.C. Kültür ve Turizm Bakanlığı, t.y.). Geleneksel yapı sistemleri ve malzemeleriyle yıllar önce inşa edilmiş bu yapıların bazıları restore edilip kullanılırken geri kalanların çoğu kullanıcıların istekleri, maddi yetersizlikler, yasal izinler vb. nedenlerle herhangi bir müdahale ve iyileştirme yapılmadan kullanılmaya devam etmektedir ya da yıkılmaya terk edilmiştir. Hâlbuki yıllar önce doğaya ve bulunduğu iklime uygun inşa edilmiş bu yapıların günümüz şartlarına uygun olarak yenilenmesi ve bu mekanlardaki yaşam kalitelerinin kademeli şekilde iyileştirilmesi kentlerin kimliğinin, kültürel mirasının yaşatılması için önem verilmesi gereken bir konudur.

Literatürde binalarda enerji verimliliği, optimum yalıtım kalınlığı, yakıt tipleri ve geri ödeme süreleri üzerine yapılmış yurt içi ve yurt dışında birçok çalışma yer almaktadır (Aktemur & Atikol,

2017; Ashrafiyan vd., 2016; Gelis & Yeşildal, 2020; Golcu vd., 2006; Gürel & Cingiz, 2000; Kandemir vd., 2019; Karabey vd., 2012; Kon & Yüksel, 2016; Kürekçi vd., 2009; Sezer, 2005 ; Şahin & Çarkacı, 2019; Yesildal & Gelis, 2020).

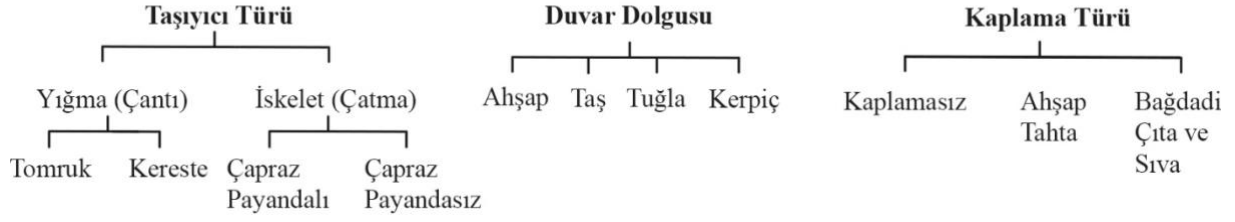
Özellikle ülkemizdeki binaların enerji verimliliği üzerine yapılan çalışmaların önemli bir çoğunluğunda betonarme yapım sistemiyle inşa edilmiş, dış duvarları tuğla, gaz beton, bims gibi malzemelerle örülen konut binalarının irdelendiği görülmektedir. Yapılan çalışmanın amacı ise ülkemizdeki mevcut yapı stoğunun önemli bir kısmını oluşturan, tarihi değeri olan, geleneksel ahşap yapım sistemleriyle inşa edilmiş konutların restorasyon sürecinde enerji etkin iyileştirmesinin nasıl olabileceğini ve bu iyileştirmenin binanın ısı yalıtım performansını nasıl etkileyeceğini ortaya koymaktır. Bu amaç doğrultusunda Trabzon ilinde seçilen bir tescilli geleneksel konutun dış kabuğunda ve döşemelerinde bazı yalıtım uygulamaları önerilerek TSE 825 Hesap programı yardımıyla enerji verimliliği incelenmiştir.

2. Doğu Karadeniz Bölgesi Geleneksel Konut Yapım Sistemi

Çalışmada ele alınan geleneksel Trabzon evinin yapım sistemini daha iyi anlayabilmek için öncelikle bölge genelindeki konutların yapım sistemleri ve malzemelerinin bilinmesi gerekmektedir. Doğu Karadeniz evleri genellikle iki veya üç katlı olan, geniş bir coğrafyaya yayılmasına rağmen aynı fonksiyonlara yanıt veren karakteristik örneklerdir. Yapım sistemleri farklılaşsa da cephe özellikleri daha ön planda olan ve bu cephelerin bazen iç mekâna yansıdığı bir mimari üsluba sahiptir (Başkan, 2008). Kazmaoğlu ve Tanyeli (1979) Doğu Karadeniz Bölgesi genelinde hımış tekniğinin kullanıldığını fakat ayrıntılarda birçok farklılığın görüldüğünü vurgulamıştır.

Doğu Karadeniz Bölgesi genelindeki yapı farklılıkları ahşap malzemenin duvar strüktüründe kullanım şekline, oluşturulan ahşap karkas sistemin dolgu malzemesi ile doldurulup doldurulmadığına, bu dolgu malzemesinin ne olduğuna ve cephenin sıvanıp sıvanmadığına göre isimlere ayrılmaktadır. Özen (2019) geleneksel Doğu Karadeniz evlerini ahşap yığma (çanta), ahşap iskelet (çatma) ve karma olmak üzere üçe ayırmıştır. Eruzun (2019) ise geleneksel yapı sistemlerini basitten gelişmişe doğru şu şekilde sıralamıştır: Ahşap yığma sistemler (ahşap yığma, kütük yığma, yontma ahşap yığma), ahşap karkas sistemler (blok ahşap dolma, göz dolma, muskalı dolma, çakatura) ve karma sistemler. Literatürde bulunan sınıflandırmalar ve geleneksel konutlar incelenerek geleneksel ahşap taşıyıcılı duvar sistemlerini anlatan Şekil 1'deki şema oluşturulmuştur.

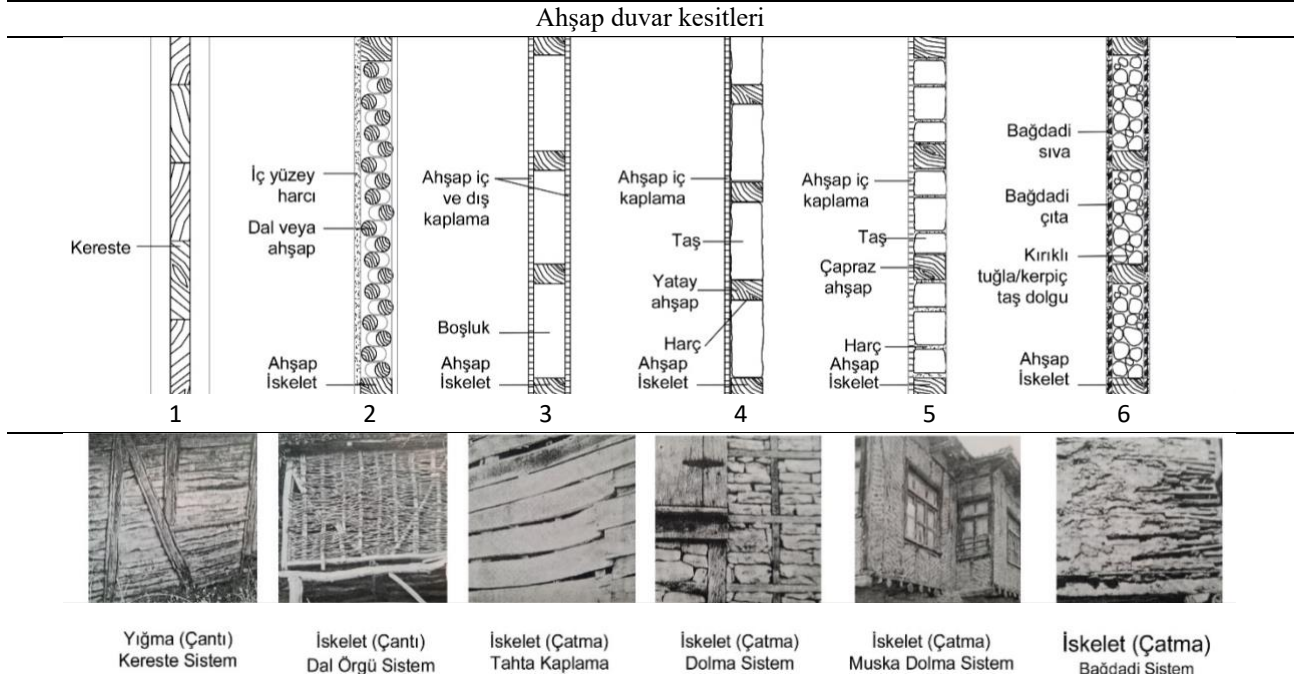
Geleneksel Ahşap Taşıyıcı Duvar Sistemlerinin Sınıflandırması



Şekil 1. Geleneksel ahşap taşıyıcı duvar sistemlerinin sınıflandırması

Doğu Karadeniz’de ahşap malzemeden inşa edilen duvar tipleri yığma, dal örgü, tahta kaplama, dolma ve bağdadi şeklinde özetlenebilir. Yığma sistemler tomruk ve kerestelerin geçme yöntemleri ile birbirine bağlanması ile oluşturulmaktadır. Dal örgü ilkel ve basit bir yöntemdir. Duvarı oluşturan ahşap dikmelerin arasının dal örgüler ile örülmesidir. Tahta kaplama duvarda ise aynı dikmelerden oluşturulan duvarın iç ve dış alanları yatay veya düşey tahtalar ile kapatılmaktadır. Dolma duvarda, yatay ve düşey kare gözler oluşturacak şekilde ahşap bir iskelet hazırlanır ve bu gözler genelde taş olmak üzere; taş, tuğla, kerpiç vb. malzemeler ile doldurulur. Muska şeklinde olan tipleri de mevcuttur. Bağdadi duvar ise, ahşap iskeletin her iki yanının da aralıklı çitalar ile kapatılması ve sıva ile kaplanarak duvar yüzeyi elde edilmesidir (Tablo 1) (Tuna, 2008).

Tablo 1. Doğu Karadeniz Bölgesi geleneksel ahşap duvar tipleri kesitleri ve örnekleri (Tuna, 2008’den alınarak tekrar düzenlenmiştir).



Geleneksel konut yapım sistemleri özellikle kırsal alanlarda daha çok karşımıza çıkmaktadır. Bu alanlardaki konutlarda genellikle ağır, depo gibi mekanların yer aldığı bodrum katlarda taş malzemenin kullanıldığı üst katlarda ise Tablo 1’de yapım teknikleri gösterilen ahşap duvarların

tercih edildiği görülmektedir. Çalışma kapsamında incelenen Trabzon kenti içindeki konutlara bakıldığında ise yaşam alanlarının bulunduğu zemin katlarda taş yığma duvarlar, üst katlarda ise ahşap iskeletli bağdadi duvar sistemlerinin tercih edildiği ve dış cephenin boyanarak klasik Trabzon evi görüldüğü elde edildiği görülmektedir (Özen vd., 2010)

2. Materyal ve Metot

Çalışmanın bu kısmında örnek bina olarak seçilen konutun bulunduğu bölgeye ait veriler, konutun tüm detayları ve çalışma yöntemine ilişkin bilgiler detaylı şekilde sunulmuştur.

2.1. Çalışma Alanı

Kültürel miras açısından zengin olan ülkemizde çalışma alanı olarak seçilen Doğu Karadeniz Bölgesi, doğal çevrenin yerel kültürü sardığı bir alan olarak tanımlanmaktadır. Sarp yamaçlar ve deniz kıyısı arasında kalmış bu bölgeye ait tüm alt kültürlerin farklılığı ise konut gelişimine yansımıştır. Örneğin; Rumlar Akçaabat evlerinde taş yapı malzemesini kullanırken; Çağlayan bölgesi Lazların, Artvin evleri ise Gürcülerin izlerini taşımaktadır (Gür, 2005). Bölgedeki yapı sistemlerini ortaya çıkaran en önemli etkenler ise; iklim, topografya, yöreye özgü yapı yapma deneyimleri, yerleşme, gelenek ve görenekler, sosyo-ekonomik durum, kültür ve tarih ilişkisi olarak söylenebilir (Başkan, 2008).

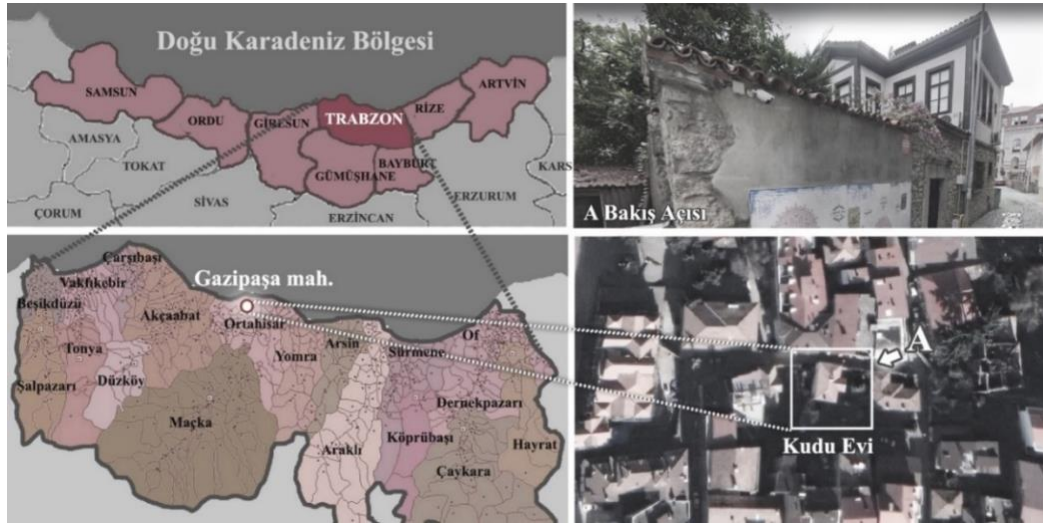
Doğu Karadeniz bölgesinin topografik yapısı onu Türkiye'nin diğer bölgelerinden ayıran özellikleri arasındadır. Dağlar geniş bir alana yayılır ve denize paralel olarak uzanmaktadır. Bu nedenle farklı iklim özellikleri kendisini göstermektedir. İklimi etkileyen diğer bir etken de güneştir. Mevsimlere göre farklı seviyede alınan güneş enerjisi atmosfer dolaşımını etkilemekte ve nemli-yağışlı bir iklimin oluşmasına neden olmaktadır (Tuna, 2008). Doğu Karadeniz Bölgesi her mevsim yağış alan bir bölgedir. Bunun yanı sıra nemli ve ılıman özelliklere sahip olduğu görülmektedir. Çalışma kapsamında ele alınacak olan Trabzon ili, genellikle kıyı kesiminde hâkim olan Cfa tipi sınıflandırma içerisindedir. Bu sınıflandırma bölgenin kışları ılıman, her mevsim yağışlı ve sıcak yaz aylarının hâkim olduğunu göstermektedir (Öztürk vd., 2017). Bölgede nem seviyesi özellikle iç kesimlerde yaklaşık olarak %66'lara düşebilirken, Trabzon'un da bulunduğu kıyı kesiminde yaklaşık ortalama nem değeri %78'lere çıkabilmektedir. Tablo 2'de görüldüğü üzere Trabzon ilinin yıllık ortalama toplam yağış miktarı ve yıllık ortalama sıcaklık değerleri Türkiye geneline göre fazladır.

Tablo 2. Trabzon iline, bölge ve ülke geneline ait 1927-2021 iklim verileri (MGM, 2022).

İller	Yıllık Sıcaklık (°C)	Ort. Max. Sıcaklık (°C)	Ort. Min. Sıcaklık (°C)	Ort. Yıllık Yağış (mm)	Top. Günlük en hızlı rüzgâr (m/sn)
Trabzon	14,8	18,1	11,8	828,9	32,3
Bölge Geneli	12,73	17,4	8,9	973,1	36,5
Türkiye Geneli	13,3	19,1	7,9	620,6	2,0

2.2. Örnek Binaya Ait Veriler

Çalışma kapsamında seçilen Kudu Evi, Trabzon ilinin Gazipaşa mahallesinde geleneksel mimarinin hâkim olduğu bir bölgede yer alan Devran sokakta bulunmaktadır. Yapı ve çevresindeki konutlar kent merkezinde yaklaşık 80 m rakımında bulunmaktadır. Yapı, Karadeniz kıyısına yakındır ve 150 m² inşaat alanına sahiptir (Şekil 2).



Şekil 2. Kudu Evi'nin Doğu Karadeniz Bölgesi ve Trabzon'daki konumu (Google Earth,2022)

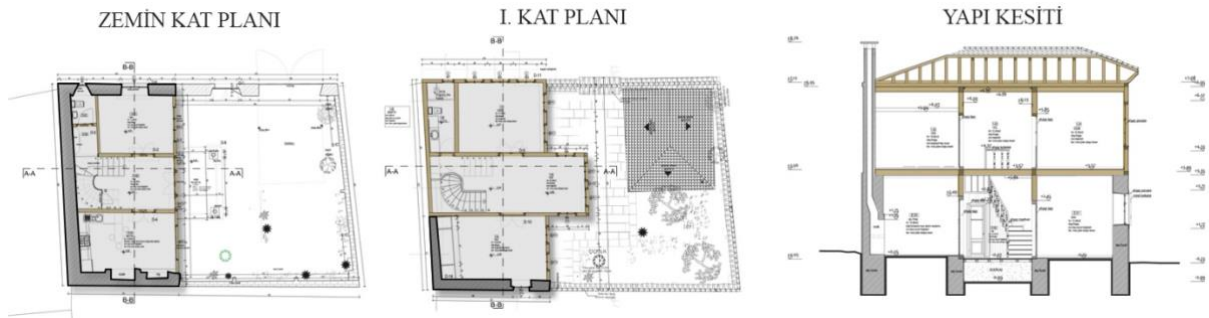
Doğu Karadeniz Bölgesi'nin kendine özgü kırsal mimarisinin yanı sıra Trabzon kenti içinde de geleneksel mimari örneklerin ön plana çıktığı görülmektedir. Kent genelinde 2021 yılsonu itibariyle toplam 1213 sivil mimarlık örneği bulunmaktadır (T.C. Kültür ve Turizm Bakanlığı, t.y.). Çalışma kapsamında incelenen kent merkezinde ise üç adet kentsel sit alanı içinde ve sit alanı dışındaki mahallelerde birçok tescilli eser bulunmaktadır. Çalışma alanı içerisinde yer alan tescilli konutlar, bölge mimari üslubunu yansıtmakta ve kırsal alanlarda kullanılan yapıım tekniklerinden bazılarının kullanımına bu kentsel bölgelerde rastlanmaktadır. Kent merkezinde toplam 259 adet tescilli konut binası hala ayakta durmaktadır. Kudu Evi'nin bulunduğu konumda olan Gazipaşa, Tekke ve Boztepe mahallelerinde ise toplam 26 adet tescilli konut binası bulunmaktadır (Şekil 3). Kent envanteri (Özen vd., 2010) incelendiğinde merkezde bulunan 259 adet tescilli konut binasından 122'sinin taş, 83'ünün bağdadi, 15'inin taş-ahşap, 1'inin taş-tuğla ve 14'ünün de kagir malzeme ile yapıldığı görülmektedir.

2 adet konutun yapım sistemi bilinmemekte, 24 adet konutun ise yıkılarak çoğunun betonarme yapım sistemiyle yeniden inşa edildiği belirtilmektedir. Kudu evi bağdadi sistem ve taş duvarlarla inşa edildiğinden ve restorasyon projesine ulaşılabildiği için örnek bina olarak tercih edilmiştir.

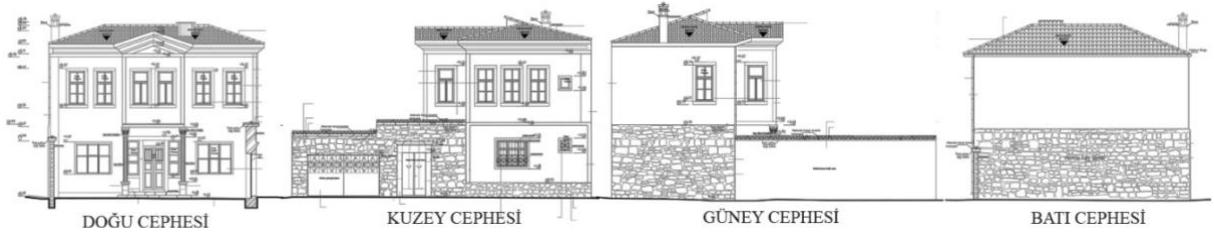


Şekil 3. Trabzon kentsel sit alanları, tescilli yapılar ve Kudu Evi (Özen vd., 2010)

Geleneksel mimari yapım tekniklerinden izler taşıyan bu tescilli yapı, Mimar Uğur Değermenci'nin başta olduğu bir ekip tarafından 2014 yılında rölöve projesi yapılarak tahrip olmuş bölümleri restore edilmiştir. Şekil 4-5'deki plan, kesit ve cephe çizimleri Uğur Değermenci'den temin edilmiştir. Ramazan Murat KUDU'ya ait iki katlı geleneksel ev kargir taşıyıcı sisteme sahiptir. Alt katında bir mutfak, bir oda, hol ve bir tuvalet; üst katında ise üç odası ve bir banyosu bulunmaktadır. Kırmızı ahşap çatısı olan binanın çatı katı kullanılmamakta olup çatı kaplaması ise alaturka kiremittir (Şekil 4). Kudu Evi avlusunda bir çeşme ve meyve ağaçları bulunduğu görülmektedir.



Şekil 4. Kudu Evi kat planları ve bina kesiti



Şekil 5. Kudu Evi cepheleri

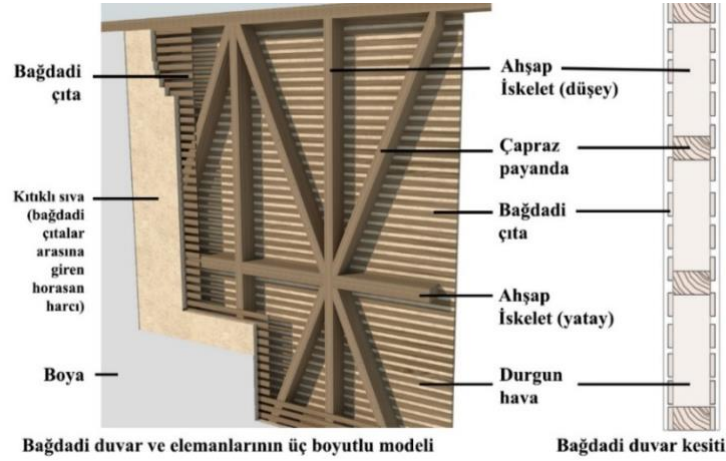
Bina zemin kat duvarlarının geleneksel Doğu Karadeniz evlerinde olduğu gibi kalın taş duvarlar (60-70 cm) ile örüldüğü görülmektedir. Akok (1951) geleneksel Karadeniz evlerinde binanın kuzey ve batı yönlerine bakan duvarların kalın ve kârgir duvarlar olduklarını, avluya bakan sofanın duvarlarının ve üst kat duvarlarının ahşap duvarlardan oluşturulduğunu belirtmiştir. Kudu Evi'nde de bu özellik kendisini göstermektedir (Şekil 5). 2014 yılında yapılan restorasyon çalışmasında binanın yalnızca tahrip olan bölümleri yenilenmiş ve binanın orjinalliğine aykırı bir müdahalede bulunulmamıştır. İç dolgusu bulunmayan bağdadi duvarlara herhangi bir dolgu veya yalıtım malzemesi eklenmemiştir. Yalnızca zarar görmüş sıva katmanına rasta yapılmış ve yeniden sıva yapılarak yüzey onarılmıştır. Bunun yanı sıra taş yüzeylerde bulunan birkaç boya veya sıva izleri için rasta yapılmış ve taş yüzeyler temizlenmiştir. Tahrip olmuş taş yüzeyler sıva raspası yapılarak yeniden onarılmıştır. Bina içi döşeme elemanları için latalı ahşap döşeme yenilemesi yapılmış ve koruyucu ile kaplanmıştır. Çatı kaplaması ise sökülmüş altındaki bozuk ahşap sistem onarılmış ardından bina orjinaline uygun olarak alaturka kiremit kaplanmıştır. Bunun yanı sıra yapı genelinde bulunan ahşap söveler, ahşap doğramalar (tek camlı pencere), demir parmaklıklar ve gerekli ahşap kapılar sert ağaç malzemedan yeniden üretilmiştir (Tablo 3).

Tablo 3. Kudu evi restorasyon aşamasına ve sonrasına ait görseller (Uğur Değermenci arşivi, 2014).



İki katlı olan binanın zemin kat duvarlarından kuzey, batı ve güney yönüne bakan duvarlar taş duvar; birinci katta ise yalnızca güneye bakan ve batıya bakan duvarın yarısı taş duvar olarak yapılmıştır. Geri kalan duvarlarda ise yörede sık görülen bağdadi duvar tekniği kullanılmıştır. Bu duvarlar; iskelet (çatma) taşıyıcıya ve payandalara sahip, içerisine farklı dolgu malzemeleri koyulabilen, bağdadi çita ve sıva ile kapatılan geleneksel duvar tipidir.

Bağdadi duvar ahşap kafesli bir karkas taşıyıcı üzerine 3 cm kalınlığında çıtaların yerleştirilmesi ve çıtaların dış düzeyinin kireçli sıva ile kapatılması ile oluşturulur. Çıtalar 2-2,5 cm aralıklarla boşluklar bırakılarak yerleştirildiğinden kireçli harç bu boşluklara girerek sistemde bir bütünlük sağlar. Ahşap iskelet içerisinde kalan hava ise ısı yalıtım görevi görür. Bunun yanı sıra kalan boşlukların topraklı balçık harç ile doldurulduğu bağdadi yapı örnekleri de bulunmaktadır. Bağdadi duvarın en önemli özelliklerinden biri bol nefes alan, kışın sıcak yazın ise soğuk tutan bir sistem olmasıdır (Aşanlı, 2021) (Şekil 6).



Şekil 6. Bağdadi duvar sistemi ve malzemeleri

Bağdadi duvarları oluştururken kullanılan çıtalar; birbirine eş genişlikte olmayan kerestelerden ahşabın lif yapısına uygun olarak yarılarak elde edilmektedir. Bu çıtalar duvarın yatay yönde sürekliliğini sağlar. Geçmişte el aletleri ile hazırlanan bu elemanlar günümüzde makineler ile hazırlanmaktadır (Kudde vd., 2009). Bağdadi çıtalarının üzerine sürülen sıva ise, kırıtlı sıva olarak da bilinen horasan harcıdır. Bünyesinde bulundurduğu kireç bağlayıcı, tuğla ise agrega görevi görmektedir. Yağmur sularının içeri girmesini engelleyen ve tek kat sürülmesi yeterli olan bir sıvadır. Kalınlığı yaklaşık 3 cm'dir ve ülkemizdeki birçok tarihi yapıda yalıtım malzemesi olarak uygulandığı görülmektedir (Şekil 7) (İpekoğlu, Böke ve Çizer, 2007).



Şekil 7. Bağdadi çitlar ve horasan harcı uygulaması, Bolu Göynük Hükümet Konağı restorasyon projesi

Bağdadi tekniği ile oluşturulan duvarlar; hafif olmaları, iyi ısı yalıtımı sağlamaları, geniş pencere boşluklarına izin vermeleri ve nem tutmama özelliklerine sahiptir. Sağlıklı bir duvar sistemi olan bağdadi tekniğinin duvarların yanı sıra çatı sistemlerinde de kullanıldığı örnekler mevcuttur ve genellikle Giresun ve Trabzon illerinde yoğunluklu olarak kullanılmıştır (Şekil 7) (Şahin, 2013).

2.3. Metot

Çalışma üç aşamadan oluşmaktadır. İlk olarak konu ile ilgili literatür ve daha önce yapılmış çalışmalar incelenerek seçilen evin planları ve yapım sistemleri/kullanılan malzemeler detaylı şekilde analiz edilmiştir. Örnek evin yapı elemanlarına ait katmanlaşma detayları ve U değerleri Tablo 6' da yer almaktadır. İkinci aşamada çoğunlukla ahşap bağdadi duvar sistemiyle inşa edilmiş Kudu evinin enerji etkin iyileştirilmesi amacıyla mevcut dış duvarları, döşemeleri ve çatısı için ısı yalıtım uygulama önerileri hazırlanmıştır (Tablo 7). Bu öneriler hazırlanırken mevcut konutun geleneksel mimari özelliklerinin korunması ve yapı elemanları açısından değişiklik yapılmamasına özen gösterilmiştir. Son olarak çalışmada Kudu evinin mevcut durumu ve iyileştirme yapıldıktan sonraki halinde her bir mekanda yapı bileşenleri aracılığıyla gerçekleşen ısı kayıpları, bölüm 3.3.2' de belirtilen eşitlikler ile hesaplanmıştır. Tüm binanın yıllık ısı kayıpları TSE 825 standartlarına göre değerlendirilip İzoder hesap programı kullanılarak irdelenmiştir. Isı kaybı hesaplamalarında kullanılan yüzey alanları ve güneş enerji kazancı hesabında kullanılan saydam yüzey alanlarına ait bilgiler Tablo 4 ve 5'de gösterilmektedir. Ayrıca ahşap dış duvar iskelet sistemi için önerilen yalıtım uygulamalarının duvarlarda herhangi bir yoğuşma problemi oluşturup oluşturmadığı da aynı program üzerinden incelenmiştir.


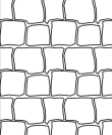

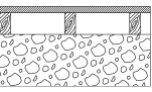
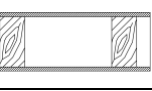
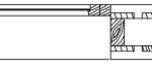
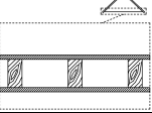
Tablo 4. Hesaplamalar için kullanılan yüzeyler ve alanları

Yüzey Adı	Yüzey Alanı (m ²)
Dış Havaya Açık Duvar	9,1785
Kırma Çatı	88,1385
Toprağa Temas Eden Taban	50
Dış Ortama Bakan Kapı Pencere	41,1874
Dış Ahşap Kapı	2,6656
Birinci kat zemin alanı	72,62
Toplam duvar yüzey alanı	237,116

Tablo 5. Güneş enerjisi kazancı hesabında kullanılan pencere alanları

Yön	Pencere Alanı (m ²)
Kuzey	13,023
Batı	-
Doğu	29,13
Güney	1,70

Tablo 6. Kudu evinin yapı elemanlarına ait katmanlar

Yapı Elemanları (Mevcut Durum)	Katmanlar	Kalınlık (m)	Duvar kalınlığı (m)	λ (W/mK)	U (W/m ² K)	
	Dış duvar (bağdadi)	Kıtıklı sıva	0,02	0,15	0,3	1,148
		Bağdadi çita	0,02		0,13	
		Durgun hava	0,07		0,412	
		Bağdadi çita	0,02		0,13	
		Kıtıklı sıva	0,02		0,3	
	Dış duvar (taş)	Taş	0,53-0,75	0,53-0,75	~2,56	~2,381
	İç duvar	Kıtıklı sıva	0,02	0,15	0,3	1,148
		Bağdadi çita	0,02		0,13	
		Durgun hava	0,07		0,412	
		Bağdadi çita	0,02		0,13	
		Kıtıklı sıva	0,02		0,3	
	Zemin kat döşemesi	Ahşap kaplama	0,02	0,34	0,13	1,535
		Durgun hava	0,02		0,095	
		Taş temel döşeme	0,30		0,26	
	Ara kat döşemesi	Ahşap kaplama	0,02	0,27	0,13	0,674
		Durgun hava	0,23		0,095	
		Ahşap kaplama	0,02		0,13	
	Pencere	Ahşap doğramalı tek cam	0,004	0,004	-	5,1
	Çatı döşemesi	Ahşap kaplama	0,02	0,17	0,13	1,072
		Durgun hava	0,13		0,313	
		Ahşap kaplama	0,02		0,13	

2.3.1. İyileştirme önerileri

Kudu evinin restorasyon projesi incelendiğinde dış bağıdadi duvarların orjinale uygun şekilde yenilediği ancak dış kabukta yalıtım malzemesinin uygulanmadığı tespit edilmiştir. Konut içindeki ahşap döşemeler de aslına uygun şekilde yenilenmiştir. Mevcut tek camlı ahşap doğramalı pencerelerin eskiyen doğramaları yenilenecek standart çift cam uygulaması yapılmıştır. Çatıda ise mevcut ahşap taşıyıcı elemanlar onararak su yalıtımı yapılmıştır. Çalışmada restorasyon projesinde yapılan düzenlemelere ek olarak binanın mevcut durumunun enerji etkin iyileştirilmesi için Tablo 7’ de gösterilen öneriler hazırlanmıştır.

Tablo 7. Kudu evinin enerji etkin iyileştirme senaryoları

Yapı Elemanı	Önerilen Senaryolar	Kalınlık (m)	U (W/m ² K)
Dış duvar (bağıdadi)	S1 Bağıdadi duvar arası 7 cm mineral yün (cam yünü, taş yünü) yalıtım	0,15	0,383
	S2 Bağıdadi duvara kireç-çimento harcı (3 cm) ile dıştan yapıştırılan, 4 cm EPS yalıtım	0,26	0,499
	S3 Bağıdadi duvara kireç-çimento harcı (3 cm) ile dıştan yapıştırılan, 3 cm mineral yün (taş yünü) yalıtım	0,24	0,586
	S4 Bağıdadi duvara içten PVC (0,5 cm) örtü ile birlikte polistren keçe (2 cm) uygulanması + ahşap lambri kaplama (2 cm)	0,215	0,581
	S5 Bağıdadi duvara kireç-çimento harcı (3 cm) ile içten yapıştırılan, 4 cm EPS yalıtım	0,26	0,465
	S6 Bağıdadi duvara kireç-çimento harcı (3 cm) ile içten yapıştırılan, 4 cm boşluklu EPS yalıtım	0,26	0,465
Dış duvar (taş)	T1 Mevcut taş duvara kireç-çimento harcı (1cm) ile yapıştırılan 5 cm polistren keçe	0,61-0,83	0,524-0,501
İç duvar	I1 Mevcut bağıdadi duvara kireç-çimento harcı (1cm) ile yapıştırılan çift kat (3 cm) polistren keçe	0,21	0,555
Zemin kat döşemesi	D1 Mevcut taş döşeme üzerine 3 cm (çift kat) polistren keçe + 2 cm ahşap döşeme kaplaması	0,39	0,568
Ara kat döşemesi	D2 Yenilenen ahşap döşeme kirişleri üzerine 2 cm ahşap döşeme kaplaması + 2 cm polistren keçe + 2 cm ahşap döşeme kaplaması	0,35	0,407
Pencere	P1 Low-E kaplamalı ahşap doğramalı pencere (çift cam)	0,024	2,2
Dış Kapı	K1 Masif ahşap kapı (mevcut hali korunmuş)	0,045	3,5
Çatı Döşemesi (soğuk çatı)	Ç1 Çatı katındaki ahşap döşeme üzerine serilen 8 cm kalınlığında mineral yün yalıtım	0,25	0,311

Çalışmada mevcut bağıdadi dış duvarlar için 6 farklı yalıtım uygulaması önerilmiştir. İlk öneri bağıdadi duvar arasına mineral yünler (cam yünü ve taş yünü) yerleştirilerek yapılan uygulamadır. İkinci ve üçüncü öneride bağıdadi duvara dıştan EPS ve taş yünü yalıtım levhaları uygulanmıştır. Dördüncü öneride bağıdadi duvarın iç yüzeyine PVC örtü ile polistren keçe zımbalanmış ardından çıtalar ile ahşap lambri kaplama yapılmıştır. Polistren keçe malzeme son dönemlerde geleneksel binaların restorasyonunda yalıtım amaçlı kullanıldığı için çalışmada da tercih edilmiştir. Beşinci ve

altıncı öneride ise bağdadi duvara iç taraftan standart EPS ve boşluklu EPS yalıtım levhaları yapıştırılarak uygulanmıştır. Boşluklu EPS levha, karbon takviyeli ve üzerindeki mevcut delikler sayesinde nefes alabilen ısı yalıtım kabiliyeti yüksek bir malzemedir. Bu malzeme standart EPS levhaya göre ısı yalıtım etkinliği ve yoğuşma durumu incelenmesi amacıyla özellikle tercih edilmiştir. Bağdadi tekniğiyle yapılmış iç duvarlar ile zemin ve ara kat döşemelerinde de polistren keçe yalıtım uygulaması tercih edilmiştir. Restorasyonda yenilenen standart çift camlar Low-E kaplamalı camlar ile değiştirilmiştir. Çatı da ise son kat ahşap döşemesi üzerine optimum U değerini sağlayacak kalınlıkta cam yünü şilte uygulaması önerilmiştir (Tablo 7).

2.3.2. Hesap yöntemi

Dış ortamla temas halinde bulunan yapı kabuğu ve tüm yapı bileşenleri (duvarlar, döşemeler, saydam yüzeyler, zemin ve çatı) binalardaki ısı kayıp ve kazançlarının belirlenmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Çalışma kapsamında incelenen örnek binanın zemin ve birinci katında yer alan her bir mekan için yapı bileşenleri aracılığıyla ve hava sızıntısıyla gerçekleşen ısı kayıpları, transmisyonla aktarılan ısı miktarı aşağıda belirtilen eşitliklerle hesaplanmıştır.

Çok katmanlı yapı bileşenleri için ısıl geçirgenlik direnci (R), ısı transferinin gerçekleştiği her bir yapı elemanı kalınlığının (d) ısıl iletkenlik hesap değerine (λ_h) bölünmesiyle Eşitlik 1'deki gibi elde edilir:

$$R = \frac{d_1}{\lambda_{h1}} + \frac{d_2}{\lambda_{h2}} + \dots + \frac{d_n}{\lambda_{hn}} \quad (1)$$

Toplam ısıl geçirgenlik direnci (1/U) belirlenirken tek veya çok katmanlı yapı bileşeninin iç (R_i) ve dış (R_e) yüzeyinin temasta olduğu akışkanla arasındaki yüzeysel ısıl iletim dirençleri de yapı bileşeni ısıl geçirgenlik direncine (R) eklenerek en genel halde Eşitlik 2' de verildiği gibi aşağıdaki formda yazılır:

$$\frac{1}{U} = R_i + R + R_e \quad (2)$$

Eşitlik 2'de görülen R_i ve R_e değerleri dış duvar, iç duvar, tavan ve döşeme gibi yapı bileşenleri için TS 825 ten Çizelge 1'e göre seçilmektedir. Toplam ısıl geçirgenlik katsayısı ise ısıl geçirgenlik direncinin tersi alınarak Eşitlik 3'te verildiği gibi hesaplanır:

$$U = \frac{1}{R_i + R + R_e} \quad (3)$$

Her bir yapı bileşeni için ısı geçirgenlik katsayısı bulunduktan sonra sıcaklık farkı ve ısı transferinin gerçekleştiği alana bağlı olarak transmisyonla kaybedilen artırimsız ısı miktarı

$$Q_o = U \cdot A \cdot (T_i - T_e) \quad (4)$$

formülü yardımıyla hesaplanır.

Denklemdaki T_i ve T_e sembolleri sırasıyla iç ve dış ortama ait sıcaklık değerlerini temsil etmektedir. Bir yapıyı oluşturan ve ısıtılacak her bir hacim için ısı kaybının meydana geldiği yapı bileşenlerinden kaybedilen ısı miktarları tek tek bulunarak toplanır. Hesaplanan artırimsız ısı değerine sırasıyla birleştirilmiş artırım katsayısı (Z_D), yön artırım katsayısı (Z_H), yüksek katlar-yüksek kat artırım katsayısı (Z_W) uygulanarak transmisyonla aktarılan artırımlı ısı miktarı (Q_i) bulunur:

$$Q_i = Q_o(1 + Z_D + Z_H + Z_W) \quad (5)$$

Yapılan hesaplamalarda konutlar için birleştirilmiş artırım katsayısı ($Z_D=7$), yön artırım katsayısı (Z_H) ise yöne bağlı olarak (-5, 0 ve 5), yüksek katlar-yüksek kat artırım katsayısı ($Z_W=0$) alınarak işlem yapılmıştır. Isıtılacak her bir hacimdeki kapı, pencere, duvar, tavan ve döşeme gibi yapı bileşenlerinden olan ısı kayıpları belirlendikten sonra hava sızıntısı dolayısıyla (infiltrasyon) meydana ısı kaybı aşağıdaki denklem yardımıyla hesaplanır:

$$Q_s = \sum(aL) RH\Delta T Z_e \quad (6)$$

Burada a , hava sızdırma katsayısı (m^3/mh); L , pencere veya kapının açılan kısımlarının (fuga) uzunluğu (m); R , oda durum katsayısı; H , yapı durum katsayısı ($Wh/m^3 \cdot ^\circ C$); ΔT , ($T_i - T_e$) iç ve dış hava sıcaklıklar farkı ($^\circ C$); Z_e ise her iki duvarında pencere olan ortamlar için 1.2; diğer durumlarda 1 olarak alınan bir artırım katsayısıdır.

Böylece bir mahalden kaybedilen toplam ısı miktarı (Q_i), transmisyon ısısı (Q_i) ile infiltrasyon ısısının (Q_s) toplamına eşit olur:

$$Q_t = Q_i + Q_s \quad (7)$$

3. Bulgular ve Tartışma

Kudu evinin bulunduğu Trabzon ili, TS 825'e göre II. iklim bölgesinde yer almaktadır. Tablo 8'de II. derece gün bölgesi için duvar, tavan, taban ve pencereler için tavsiye edilen U değerleri ile

mevcut bina ve önerilen senaryolara ait U değerleri gösterilmektedir. İyileştirme için önerilen optimum yalıtım uygulamaları belirlenirken bu iklim bölgesi için tavsiye edilen U değerlerine ulaşılmasına dikkat edilmiştir. Tüm senaryolarda bu değerlerin altında değerler elde edilmiştir.

Tablo 8. Mevcut bina ve önerilen senaryolar için U değeri karşılaştırması

Örnek bina yapı elemanlarına ait U değerleri (W/m ² K)												
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	T1	I1	D1	D2	P1	Ç1
2. Bölge Optimum U değerleri	0,6						0,6	0,6	0,6	0,6	2,4	0,4
Mevcut durum U değerleri	1,14						2,38	1,14	1,53	0,67	5,1	1,07
Önerilere ait U değerleri	0,38	0,49	0,58	0,58	0,49	0,46	0,52	0,55	0,56	0,40	2,2	0,31

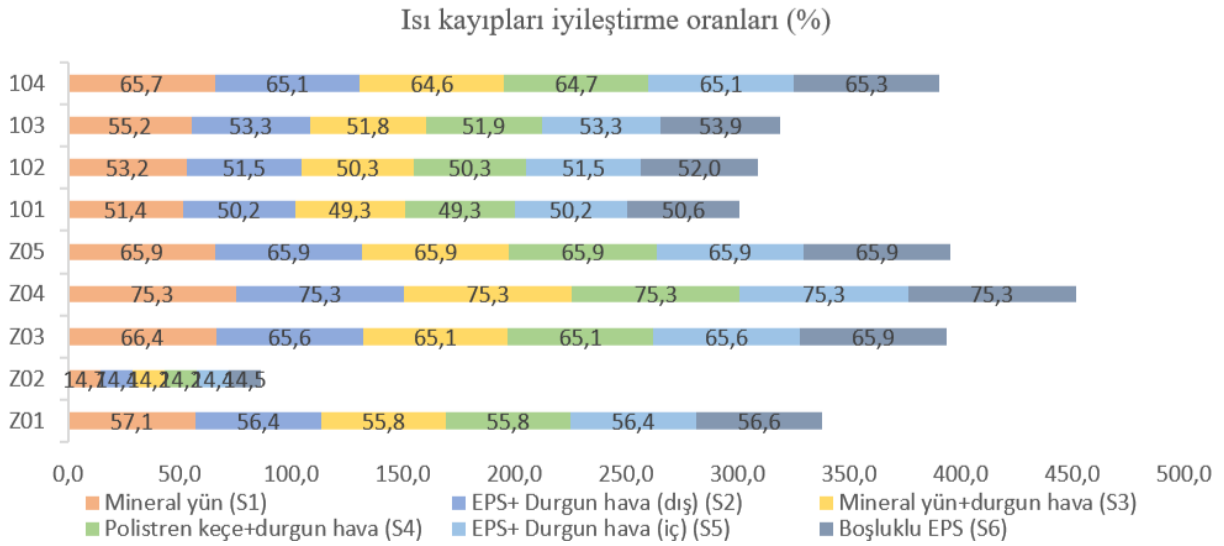
Örnek binanın iç mekanları tek tek ele alındığında yapı bileşenlerinden sıcaklık farkı ve ısı transferinin gerçekleştiği alana bağlı olarak transmisyonla ve hava sızıntısıyla (infiltrasyon) gerçekleşen ısı miktarları Tablo 9’da gösterilmektedir.

Tablo 9. Örnek binada iç mahallerden kaybedilen toplam ısı miktarı (Q_t)

Odalara ait Kat Planları	Odalara	Mevcut durum	Duvar arası Mineral yün (S1)	Dıştan EPS yalıtım (S2)	Dıştan mineral yün yalıtım (S3)	İçten polistren keçe yalıtım (S4)	İçten EPS yalıtım (S5)	İçten boşluklu EPS yalıtım (S6)	Q _t (Q _i (transmisyon ısısı) + Q _s (infiltrasyon ısısı))	
									Q _t	Q _s
Zemin Kat Planı	Z01	3061	1312	1336	1354	1353	1336	1329		
	Z02	5005	4271	4283	4293	4292	4283	4280		
	Z03	2419	812	831	845	845	831	826		
	Z04	291	72	72	72	72	72	72		
	Z05	748	255	255	255	255	255	255		
I. Kat Planı	101	3806	1848	1895	1930	1928	1895	1881		
	102	982	460	476	488	488	476	471		
	103	3272	1465	1529	1577	1574	1529	1510		
	104	3974	1363	1387	1405	1404	1387	1380		

Kapı, pencere gibi özellikle dış ortamla temaslı olan ve açılıp kapanan kısımları bulunan yapı bileşenlerinin birleşim yerlerindeki aralıklardan, basınç ve sıcaklık farkı dolayısıyla iç ve dış ortam arasında hava sızıntısı meydana gelmektedir. Birleşim yerlerindeki bu aralıklardan sıcak olan hava dışarıya, soğuk olan hava ise içeriye sızmaya çalışır. Bahsi geçen hava sızıntısı dolayısıyla ortamın ısıtılmasındaki verim düşmektedir.

Tablo 9'daki sayısal verilere göre iç mekanlardaki ısı kayıpları için hazırlanan iyileştirme oranları Şekil 8'de yer almaktadır. Hesaplara göre en büyük enerji verimliliğinin Z04 nolu wc önündeki holde elde edildiği görülmektedir. Ardından Z05 nolu wc mekânı gelmektedir. Bu durumun nedeni Z04 ve Z05 mekanlarında infiltrasyon ve transmisyon ısı kayıplarını arttıracak kapı-pencere sayısının az olmasından ve dış duvarlarının ikisinin yüksek yoğunluklu taş duvar olmasından kaynaklanmaktadır. Bu mekanları sırası ile Z05, 104, Z01, 103, 102, 101 ve Z02 takip etmektedir. En az enerji verimliliği sağlanan mekânın ise Z02 nolu giriş holü olması dikkat çekmektedir. Holün dış çevre koşulları ile temas eden iki duvarından birinin taş diğerinin ise pencereler ve kapı ile kaplı olması bu duruma neden olarak gösterilebilir. Genel olarak iki taş duvara komşu olan mekanlarda daha büyük enerji verimliliğine ulaşıldığı dikkat çekmektedir. Pencere bulunduran mekanlarda da ısı kayıplarının daha fazla olduğu ve daha az bir oranla iyileştirilebildiği görülmektedir.



Şekil 8. İç mekanlardaki ısı kayıplarının iyileştirme oranları

Tüm senaryolar için yalıtım önerilerine göre aylık ısıtma yükleri incelendiğinde, en yüksek ısıtma yükü değeri Ocak ayında, senaryo 3'de (dıştan taş yünü yalıtım) 2719 kWh olarak elde edilmiştir. Bu durum taş yününün kalınlığı ve öneri duvarın yeni U değerinin diğer senaryolardan daha yüksek olmasıyla doğrudan ilişkilidir. Ocak ayında en düşük ısıtma yükü ise senaryo 1'de (duvar arası mineral yün yalıtım) 2557 kWh olarak elde edilmiştir. Tüm senaryolarda Trabzon ili için en yüksek ısıtma yükü ihtiyacı Ocak ayında, en düşük ısıtma yükü ihtiyacı ise Ekim ayında oluşmaktadır. Binanın yıllık ısıtma ihtiyacı hesaplandığında 11.351 kWh ile senaryo 3 de yine en yüksek değer elde edilmiştir. Tüm bina için hesaplanan özgül ısı kayıpları da bu değerlerle orantılıdır. Senaryo 2 ile 5'in (dıştan / içten EPS yalıtım) yıllık ve aylık ısıtma yüklerinde benzer rakamlar elde edilmiştir. Bağdadi duvara EPS yalıtım içten yada dıştan uygulandığında duvarın U değeri değişmediğinden ısı yükleri açısından bir farklılıkta meydana gelmemiştir. Polistren keçe uygulamasında da (senaryo 4) EPS

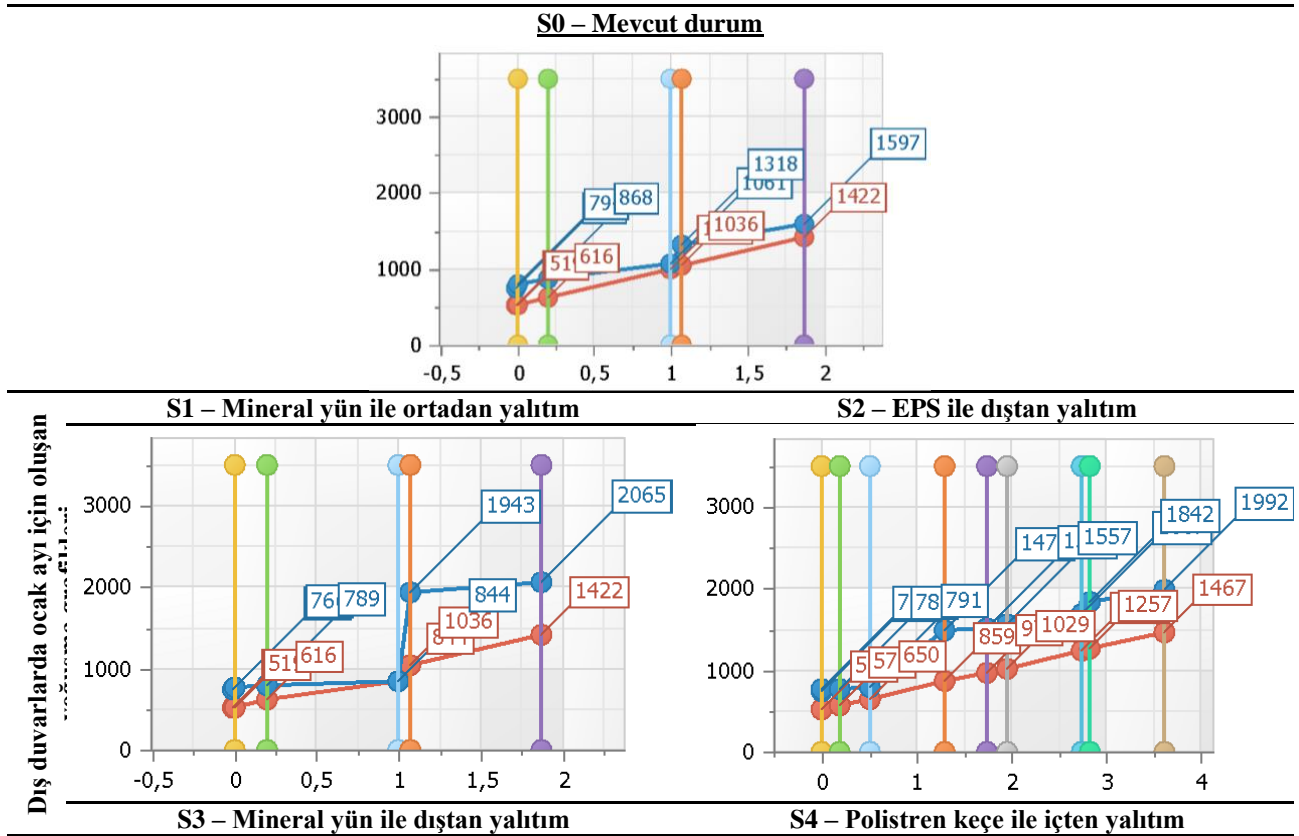
levha ve mineral yünlere yakın bir performans elde edilmiştir. Tüm senaryoların bina enerji performansına etkisi değerlendirildiğinde mevcut yalıtımsız binaya göre yeni öneriler yıllık ısıtma yüklerinde % 66.8 ile % 68.8 oranında tasarruf sağlamıştır. Örnek binanın yapı elemanlarından iletim ve havalandırma yoluyla gerçekleşen özgül ısı kaybı toplamı değerlendirildiğinde ise mevcut duruma karşı önerilen senaryolar ile %56.3 ile %58.1 arasında iyileştirme elde edilmiştir (Tablo 10).

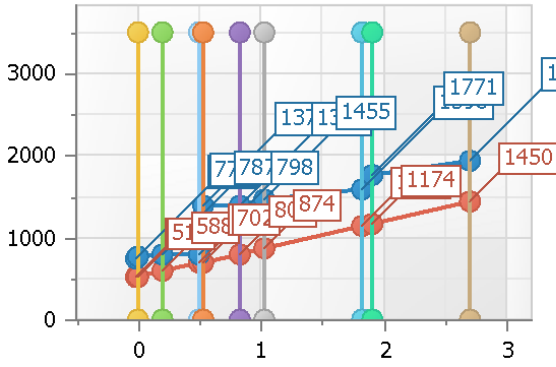
Tablo 10. Örnek binada özgül ısı kaybı ile yıllık ve ocak ayı ısıtma enerjisi ihtiyacı

	S0 (mevcut durum)	S1	S2	S3	S4	S5	S6
H (özgül ısı kaybı, W/K)	756.70	316.76	324.76	330.76	330.42	324.76	322.41
Q _{yl} (kWh)	34.185	10.638	11.034	11.351	11.331	11.034	10.917
Q _{ocak ayı} (kWh)	7614	2557	2650	2719	2715	2650	2622

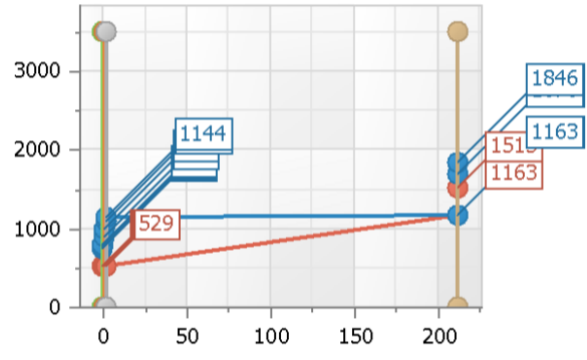
Örnek binanın bağdadi sistemle inşa edilmiş dış duvarlarının yalıtım önerilerine göre enerji performansları incelendikten sonra bu duvar katmanları için Ocak ayı dikkate alınarak TSE825 hesap programında yoğuşma denetimi yapılmıştır. Elde edilen veriler grafikler halinde Tablo 11'de gösterilmektedir.

Tablo 11. Bağdadi dış duvarlarda Ocak ayı için yoğuşma kontrolü grafikleri

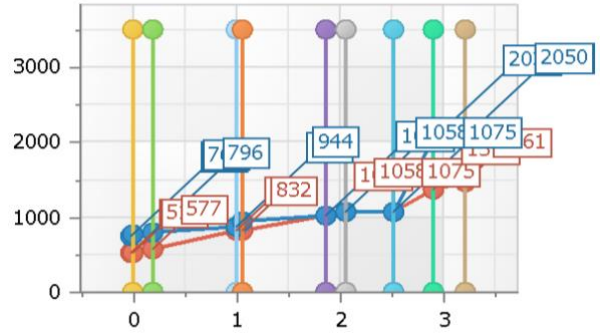
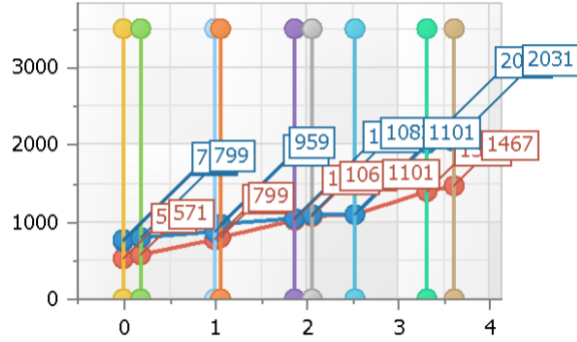




S5 - EPS ile içten yalıtım



S6 - Boşluklu EPS ile içten yalıtım



Grafikler incelendiğinde bağıdadi duvarlara dıştan yapılan yalıtım uygulamasının ısı köprülerini engelleyerek ciddi bir yoğuşma problemi oluşturmadığı görülmektedir. Senaryo 1’de Aralık, Ocak, Şubat ve Mart aylarında 0.385 kg/m² yoğuşma gerçekleşmiştir. Ancak bu miktar 1kg/m² olan sınır değerden düşük olduğu için kabul edilebilir sınırlar içerisinde kalmıştır. Yoğuşan suyun tamamı yaz aylarında buharlaşmıştır. İç duvarlarda küf riski oluşmamıştır. Bu duruma benzer tablo içten yapılan EPS levha uygulamalarında da görülmüştür. Meydana gelen yoğuşmalar sınır değerlerin altında olduğundan uygulamalar standartlara uygun kabul edilmiştir. Polistren keçe yalıtımda ise diğer duvarlara göre daha fazla yoğuşma meydana gelmiştir.

4. Sonuçlar ve Öneriler

Tarihi yapılar, bölgelerin sosyal, kültürel ve ticari değerini yükselten, estetik, arkeolojik ve mimari gibi özellikleri bakımından korunması gereken, geçmişle bağ kurduğumuz taşınmaz kültür varlıklarıdır. Ülkemizin mevcut yapı stoğunda önemli bir yere sahip olan bu yapıların taşıdığı kültürel değerlerin korunmalarının yanı sıra uzman ekipler tarafından günümüz koşullarına göre iyileştirilip enerji verimli hale getirilmeleri de önemlidir. Bu binaların iyileştirme süreçleri bazı yasal kısıtlamalar, kullanıcı istekleri, maddi yetersizlikler gibi nedenlerle zorlu hale gelebilmektedir. Ancak çevre dostu ve enerji verimli restorasyon çalışmaları ile bu yapıların yeniden kullanımını sağlamak üzere uygulamalar yapılması gerekmektedir. Geleneksel yöntemlerle inşa edilmiş mevcut binalarda ısı yalıtımı uygulamaları, yakıt giderlerinin düşmesi, bina ömrünün uzaması, daha sağlıklı ve konforlu

bir yaşam alanı, daha az fosil yakıtla bağlı enerji tüketerek çevreye verilen zararın azaltılması, enerji gereksinimlerinde dışa bağımlılığın azaltılması gibi çeşitli avantajlar sunmaktadır. Bahsi geçen konulara dikkat çekmek amacıyla yapılan çalışmanın ilk bölümünde örnek bina olarak seçilen ve geleneksel Trabzon evi örneklerinden biri olan tescilli Kudu evinin enerji etkin iyileştirilmesi için yapı elemanları üzerinde farklı düzenlemeler önerilmiş, ardından mevcut bina enerji performansı ile karşılaştırılmıştır.

Çalışmada kullanılan malzemelerin termofiziksel özellikleri, kalınlıkları ve dış duvarlardaki katmanlaşma detaylarına göre mevcut binanın enerji performansı iyileştirilerek yıllık ısıtma enerjisi ihtiyaçlarında Senaryo 1'de mak. % 68.8 oranında tasarruf elde edilmiştir. Bu senaryoda bağdadi duvar arasına uygulanması önerilen mineral yün yalıtım kalınlığının diğer duvarlara göre daha fazla (7 cm) olması nedeniyle U değeri düşerek ısı kayıpları azalmıştır. Mevcut duvara dış ve iç taraftan yapılan yalıtım uygulamalarında da enerji performansı olarak senaryo 1'e yakın değerler elde edilmiştir. Binadaki iyileştirme oranları sadece dış bağdadi duvarlardaki düzenlemelerle değil, ara kat-zemin döşemelerinde, pencerelerde ve çatıda önerilen yalıtım uygulamalarına bağlı olarak da gerçekleşmiştir.

İleride yapılacak çalışmalarda ısı yalıtımında kullanılacak malzeme cinsi kadar optimum yalıtım kalınlığının da iklim bölgelerine göre dikkatle hesaplanması gerekmektedir. Bu çalışma ılıman bir bölgede gerçekleştirildiğinden soğutma yükleri dikkate alınmamıştır. Farklı iklim bölgelerinde yer alan bu tür tarihi binalar için yapılacak çalışmalarda tüm enerji yüklerinin incelenmesi, yalıtım türleri ve ısıtma sistemi seçimine göre maliyet hesabı yapılması hatta pasif tasarım önlemlerine ek olarak aktif sistemlerinde binaya entegre edilerek enerji performansının irdelenmesi önerilebilir.

Teşekkür

Yazarlar, makale kapsamında incelenen projenin restorasyonunu yapan ve projeye ait tüm dokümanları paylaşarak çalışmaya katkıda bulunan Mimar Uğur Değermenci'ye teşekkür eder.

Yazarların Katkısı

Çalışmada 1. yazar çalışmanın planlanması, literatür taraması, sayısal hesapların yapılması, bulguların, sonuçların derlenmesi ve yazımı bölümlerinde; 2. yazar sayısal hesapların yapılması ve bulguların derlenip incelenmesi bölümlerinde; 3. yazar literatür taraması, şekillerin oluşturulması, bulguların derlenmesi ve yazım denetiminde katkı sunmuştur.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar

- Aktemur, C. ve Atikol, U. (2017). Optimum insulation thickness for the exterior walls of buildings in Turkey based on different materials, energy sources and climate regions. *International Journal of Engineering Technologies-IJET*, 3(2), 72-82.
- Akok, M. (1951). Trabzon'un Eski Evleri. *Arkitekt*, C(20), 323-325.
- Ashrafian, T., Yilmaz, A. Z., Corgnati, S. P., & Moazzen, N. (2016). Methodology to define cost-optimal level of architectural measures for energy efficient retrofits of existing detached residential buildings in Türkiye. *Energy and Buildings*, 120, 58-77. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.03.074>
- Aşanlı, M. (2021). *Geleneksel yapı teknikleri: doğal ve ekolojik yapı rehberi* (33). Yeni İnsan Yayınevi.
- Baca, L. F. G., & López, F. J. S. (2018). Traditional architecture and sustainable conservation. *Journal of Cultural Heritage Management and Sustainable Development*, 8(2), 194-206. <https://doi.org/10.1108/JCHMSD-06-2017-0036>
- Başkan, S. (2008). Geleneksel Doğu Karadeniz Evleri. *Erdem Dergisi*, (52), 41-90.
- Dedeoğlu, N. (2002). *Ekolojik mimarlık kapsamında konut tasarımlarının incelenmesi* [Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü].
- Gelis, K., & Yesildal, F. (2020). Klasik ve modern yapı elemanları kullanılması durumunda ısı iletim katsayısının değişimi ve minimum yalıtım kalınlığının tayini. *Gümüşhane University Journal of Science and Technology*, 10(4), 869- 877. <https://doi.org/10.17714/gumusfenbil.725909>
- Golcu M., Dombayci, O. A., & Abali, S. (2006). Denizli için optimum yalıtım kalınlığının enerji tasarrufuna etkisi ve sonuçları. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 21(4), 639-644. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/gazimmfd/issue/6670/88852>
- Gür, Ş. Ö. (2005). Doğu Karadeniz Konutu. Prof. Dr. Afife BATUR (Eds.), *Doğu Karadeniz'de Kırsal Mimari* (ss.162-211). Mas Matbaacılık, İstanbul.
- Gürel, A. E. ve Cingiz, Z. (2000). Farklı dış duvar yapıları için optimum ısı yalıtım kalınlığı tespitinin ekonomik analizi. *Sakarya University Journal of Science*, 15(1), 75-81.
- İpekoğlu, B., Böke, H., & Çizer, Ö. (2007). Assessment of material use in relation to climate in historical buildings. *Building and environment*, 42(2), 970-978. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2005.10.029>
- Kandemir, S. Y., Bektaş V., & Açıkkalp E. (2019). Dıştan yalıtım uygulamalarında farklı duvar modelleri için optimum yalıtım kalınlıklarının belirlenmesi ve ekonomik analizleri. *DÜMF Mühendislik Dergisi*, 10(1), 275-288. <https://doi.org/10.24012/dumf.401958>
- Karabey, A., Bolukbasi, A., & Onal, M. (2012). Van ili farklı yakıt türlerine göre optimum yalıtım kalınlığı ve enerji maliyetinin değerlendirilmesi. *National Air Conditioning and Refrigeration Education Symposium*. (pp. 698-708), Balıkesir.
- Kazmaoğlu, M. & Tanyeli, U. (1979). Anadolu konut mimarisinde bölgesel farklılıklar, *Yapı Dergisi*, (33), İstanbul, 29-39.
- Kon, O. ve Yüksel, B. (2016). Kamu binalarının ısıtma yüküne göre dış duvarlarının optimum yalıtım kalınlıkları ve enerji tüketimleri. *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 15(1), 30-47.
- Kudde, E., Sürücü, D., & Köroğlu, Ç. (2009). Bir ahşap yapıda koruma-uygulama metodolojisi, 5. *Restorasyon ve Konservasyon Çalışmaları Dergisi*, (15), 56-72.
- Kürekçi, N. A., Ağra, O. ve Emanet, O. (2009). Determination of Optimum Insulation Thickness for Different Climatic Zones of Turkey. In *ASME 2009 International Mechanical Engineering Congress and Exposition* (pp. 499-505). American Society of Mechanical Engineers.

- MGM. (2022). 2022 yılı genel istatistik verileri. <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?k=A>
- Özen, H., Tuluk, Ö. İ., Engin, H. E., Düzenli, H. İ., Sümerkan, M. R., Tutkun, M., Keleş, S. (2010). *Trabzon kent içi kültür varlıkları envanteri*. Trabzon Valiliği İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü Yayınları, Trabzon.
- Özen, H. (2019). Rize halk mimarisi malzeme ve yapım teknikleri. Prof. Dr. Haşim KARPUZ (Eds.), *Geleneksel Rize mimarisi üzerine araştırmalar* (ss. 61-77). Rize Araştırma Vakfı (REVAK), İstanbul.
- Öztürk, M. Z., Çetinkaya, G., & Aydın, S. (2017). Köppen-Geiger iklim sınıflandırmasına göre Türkiye'nin iklim tipleri. *Coğrafya Dergisi*, (35), 17-27.
- Sezer, F. Ş. (2005). Türkiye'de ısı yalıtımının gelişimi ve konutlarda uygulanan dış duvar ısı yalıtım sistemleri. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 10(2), 79-85
- Şahin, M. (2013). Giresun ilindeki bağdadi kubbeli camiler. *TÜBA-KED Türkiye Bilimler Akademisi Kültür Envanteri Dergisi*, (11), 71-89.
- Şahin, B. & Çarkacı, C. (2019). Gümüşhane ili kamu binalarındaki ısı yalıtımı uygulamalarının incelenmesi. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 9 (3) , 526-535. DOI: 10.17714/gumusfenbil.527341
- T.C. Kültür ve Turizm Bakanlığı. (t.y.). *Türkiye Geneli Korunması Gerekli Taşınmaz Kültür Varlığı İstatistiği*. <https://kvmgm.ktb.gov.tr/TR-44798/turkiye-geneli-korunmasi-gerekli-tasinmaz-kultur-varligi-istatistigi.html>
- TUİK. (2022). *Sektörlere göre toplam sera gazı emisyonları (CO2 eşdeğeri), 1990 – 2020*. <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Sera-Gazi-Emisyon-Istatistikleri-1990-2020-45862>. 30 Mart 2022.
- Tuna, C. (2008). *Orta Karadeniz bölgesi sahil kesiminde geleneksel mimari*. Arkeoloji ve Sanat Yayınları.
- UEVEP. (2017). *Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı 2017-2023*. <http://www.eyoder.org.tr/UlusalEVEP.pdf>. 23 Eylül 2022.
- Uzun, İ. (2022). Türkiye'nin enerji görünümü ve enerji verimliliği. *Mühendis ve Makine*, 63(707), 15-23.
- Yeşildal, F., & Gelis, K. (2020). Gümüşhane iklim şartlarında farklı malzemeler için yalıtım kalınlıklarının TS 825 kapsamında değerlendirilmesi. *Gümüşhane University Journal of Science and Technology*, 10(3), 830- 843. <https://doi.org/10.17714/gumusfenbil.71821>
- Zinzade, D. (2010). *Yüksek yapı tasarımında sürdürülebilirlik boyutunun irdelenmesi* [Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü].

Experimental Investigation of Usability of 100% Recycled Asphalt Pavement (RAP) as a Cold Patching Material in Turkey

Orhan KAYA^{1*} 

Abstract

In this study, the usability of 100% RAP as a cold patching material (CPM) was experimentally investigated. As part of this study, first, the RAP material has been characterized to determine its binder content and particle size distribution of the extracted aggregate. Then, three sets of RAP specimens (each set has three specimens) were prepared. These specimens were conditioned at 22°C, 40°C and 45°C for three hours. Then, the specimens were compacted with 75 Marshall hammer blows. The compacted specimens were then tested for their Marshall stability, and flow at 22°C. Air contents of the test specimens were also determined. It was observed that as conditioning temperatures of the compacted test specimens increased, their Marshall stability test results increased but their flow and air content test results mostly decreased. Marshall stability test results of all three sets of specimens were well above the specification limits. Moreover, all test specimens except for only one specimen conditioned at 22°C met the flow and air content criteria. It could be concluded that 100% RAP could be used as a CPM especially above 22°C. If it is needed to be used at around 22°C, it must be ensured that it is well compacted so that its air content is below 8% for a durable and comparably long-lasting cold patching application.

Keywords: RAP, Cold Patching Material, Asphalt Concrete, Marshall Stability.

%100 Geri Dönüştürülmüş Asfalt Kaplamanın Türkiye'de Soğuk Karışım Bakım Malzemesi Olarak Kullanılabilirliğinin Deneysel Olarak İncelenmesi

Öz

Bu çalışma kapsamında, %100 geri dönüştürülmüş asfalt kaplamanın (RAP) soğuk karışım bakım malzemesi (yama malzemesi) olarak kullanılabilirliği deneysel olarak araştırılmıştır. Bu çalışmanın bir parçası olarak, ilk olarak RAP malzemesi, bitüm içeriğini ve ekstrakte edilen agreganın gradasyonunu belirlemek için karakterize edildi. Daha sonra, üç set RAP numunesi (her sette üç numune vardır) hazırlandı. Bu numuneler 22°C, 40°C ve 45°C'de üç saat süreyle etüvde bekletildi ve bilahare 75 Marshall tokmak darbesi ile sıkıştırıldı. Sıkıştırılmış numuneler daha sonra bekletildi ve Marshall stabilite ve akma değerleri 22°C'de test edildi. Test numunelerinin hava muhtevaları da belirlendi. Sıkıştırılmış test numunelerinin sıkıştırılma sıcaklıkları arttıkça Marshall stabilite test sonuçlarının arttığı ancak çoğunlukla akma ve hava muhtevası test sonuçlarının düştüğü görülmüştür. Her üç numune setinin Marshall stabilite test sonuçları yönetmelik alt sınırının oldukça üzerindedir. Ayrıca, 22°C'de şartlandırılmış bir numune dışındaki tüm test numuneleri, akma ve hava muhtevası kriterlerini karşılamıştır. Özellikle 22°C'nin üzerinde %100 RAP'ın soğuk karışım bakım malzemesi olarak kullanılabilmesi sonucuna varılabilir. 22°C civarında kullanılması gerekiyorsa dayanıklı ve nispeten uzun ömürlü bir soğuk karışım bakım malzemesi uygulaması için hava muhtevasının %8'in altında olacak şekilde iyice sıkıştırıldığından emin olunmalıdır.

Anahtar Kelimeler: RAP, Soğuk Karışım Bakım Malzemesi, Asfalt Betonu, Marshall Stabilite.

¹Adana Alparslan Türkeş Science and Technology University, Department of Civil Engineering, Adana, Turkey, okaya@atu.edu.tr

¹<https://orcid.org/0000-0001-6072-3882>

1. Introduction

Patching in asphalt pavements could be defined as the process of filling excavated areas and potholes. Patching materials have been broadly categorized as hot patching materials (HPMs) and cold patching materials (CPMs), depending on the temperature at the time of their placement (Chen et al., 2016; Dong et al., 2014). While HPMs are mostly preferred for concentrated and large areas, CPMs are mostly preferred for dispersed and small areas. Especially in winter and wet days, CPMs have greater advantages compared to HPMs; some of their advantages are easier material storage and transportation, better adaptability to environment and easier application procedures (Biswas et al., 2016; Biswas et al., 2018; Wang et al., 2022). Conventional CPMs are produced mostly using cutbacks or emulsions as asphalt binders along with aggregates, as well as preferably other materials such as anti-stripping agents to improve their performance (Dah et al., 2022; Jain and Singh, 2021; Yu et al., 2017). Properties of these materials affect the performance of CPMs. The CPMs with open aggregate gradation and higher air contents have been reported to have lower stability and durability but higher workability (Liu et al., 2013). CPMs are expected to have some of the performance requirements such as workability, initial stability/strength, moisture susceptibility, in-service durability, interfacial bonding (Wang et al., 2022). Although, some or all of these performance requirements are used to evaluate CPMs, there are no universal test and evaluation methods reported to be used for the performance evaluation of CPMs. Moreover, most of the reported test methods have been originally developed for hot mix asphalt or (HMA) or HPMs. Some of the most commonly observed failures of CPMs have been listed as bleeding, dishing, shoving, edge disintegration, missing patch, raveling and alligator cracking (Han et al., 2019).

Recycled asphalt pavement (RAP) is obtained from excavated or milled old asphalt pavements. Being a valuable commodity, reuse of this material has various ecological and economic benefits such as: reducing demand for natural aggregates, reducing greenhouse gases, energy and cost due to the production of natural aggregates and new HMA, and reducing the need for landfills. Sustainable use of RAP as part of asphalt pavements has been investigated by many studies especially as part of regular HMA (Rinkal et al., 2021; Nazaal et al., 2015), as an aggregate substitute in cold in place asphalt pavement technologies (Dughaiishi et al., 2022), or as an embankment material (Soleimanbeigi and Edil, 2015; Plati and Cliatt, 2018; Al-Shujairi et al., 2021). Some other studies partially or fully used RAP as an aggregate as part of conventional In-Plant Recycling (CIPR) and Cold In-Place technologies; these technologies use RAP along with asphalt emulsion so that they could be constructed in lower temperatures (Giani et al., 2015; Turk et al., 2016; Pakes et al., 2018). However, there are very few numbers of studies investigating the use of RAP as part of CPMs (Kwon et al.

2017). This might be because that the aged binder in RAP could not be easily activated and blended with unaged binder at low temperatures (Wang et al., 2022).

As stated earlier, there are no universal test and evaluation methods to be used for the performance evaluation of CPMs. In Turkish highway technical specification (KGM, 2013), CPMs and HPMs are designed and evaluated based on their Marshall stability, air content and flow values, obtained based on Marshall mix design methodology. Table 1 shows design criteria used for HPMs and CPMs in Turkey (KGM, 2013).

Table 1. Design criteria for HPMs and CPMs.

Criteria	Limits in HTS (KGM, 2013)	
	HPMs	CPMs
Number of Marshall blows	75	75
Marshall stability (kgf), minimum	750	250*
Air content (%)	3-6	Maximum 8
Flow (mm)	2-5	2-5

*Marshall stability test shall be conducted at 22±1°C

This study experimentally investigates the usability of 100% RAP as CPMs. As part of this study, first, the RAP material has been characterized to determine its binder content and particle size distribution of the extracted aggregate. Then, three sets of RAP specimens (each set has three specimens) were prepared. These specimens were conditioned at 22°C, 40°C and 45°C for three hours. Then, the specimens were compacted with 75 Marshall hammer blows, as specified in Table 1. The compacted specimens were then tested for their Marshall stability, and flow at 22°C, as specified in Table 1. Air contents of the test specimens were also determined. Then, the test results were compared with the design criteria for CPMs in Turkey (Table 1). It was found that almost all specimens met the criteria, and as conditioning temperature increased, Marshall stability values increased, and air content and flow values decreased.

2. Materials and Methods

RAP used in this study was obtained from a local Municipality. As part of this study, first, the RAP material has been characterized to determine its binder content and particle size distribution of the extracted aggregate.

Binder content of the RAP material has been determined using a reflux extraction test set, based on ASTM D2172/D2172 M. As part of this test, specimens with a weight of 1.5-2 kg, depending on the nominal maximum size of aggregate in RAP, are placed on a cylindrical metal frame with a filter

paper, and then placed in a glass jar. Then, binder in the RAP specimens are extracted with a chemical solvent, trichloroethylene. Binder content of the RAP specimen is calculated considering the mass of RAP and the extracted aggregate (Equation 1).

$$\text{Binder content} = [(W1 - W2) / W2] * 100 \quad (1)$$

Where

W1: Original sample weight (RAP)

W2: Aggregate weight after the test

Extracted aggregate blend after the binder extraction test has then been tested for its particle size distribution, following ASTM C136/C136M-19.

After the characterization of RAP material has been finished, three sets (each set consists of three specimens) of Marshall specimens with 100% RAP have been prepared. The Marshall specimens in each set were conditioned at a preheated oven at 22°C, 40°C and 45°C, respectively. These three temperatures were selected that way because:

- 22°C simulates an average day-time temperature where RAP could be applied as CPMs and compacted Marshall specimens are tested at this temperature for their Marshall stability and flow values, as described in Table 1, based on Turkish highway technical specification (KGM, 2013).
- 40°C and 45°C simulate summer day-time temperatures, the pavement surface temperatures could easily reach above 45°C during daytime especially in Southern part of Turkey. Figure 1 shows long-term maximum September temperature distribution in Turkey, provided by Turkish State Meteorological Service (MGM, 2022). As can be seen in Figure 1, temperatures reach as much as 45°C during summer in Adana, where this study has been conducted.

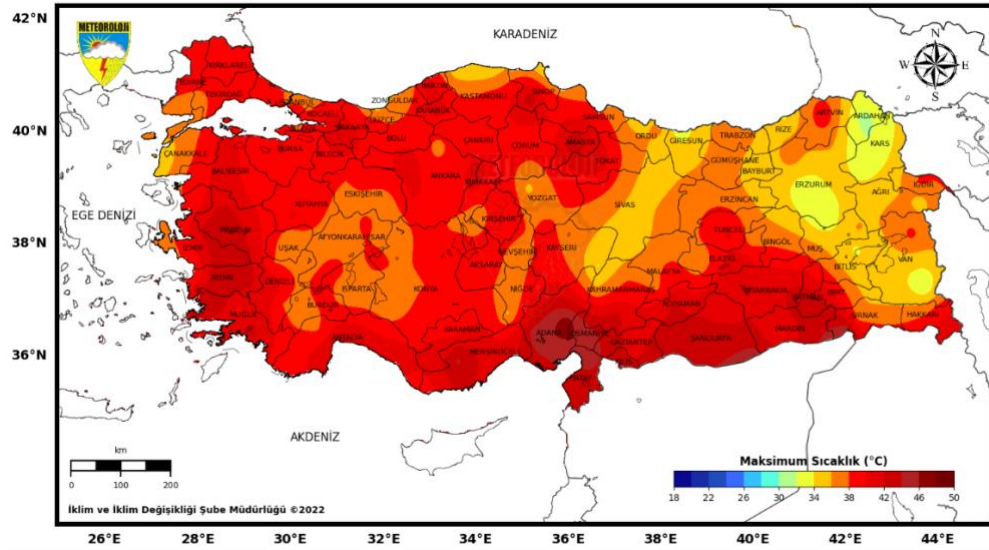


Figure 1. Long-term maximum September temperature distribution in Turkey (MGM, 2022).

The conditioned specimens were then compacted with 75 Marshall hammer blows on each side, as specified in Table 1. Then, sizes of the specimens were measured three times and noted following the Marshall mix design procedure (ASTM D6926). Bulk specific gravities (G_{mb}) of the compacted specimens were determined based on ASTM D2726. Thereafter, the specimens were placed in a water-bath with a temperature of 22°C for about an hour to ensure that the specimens were stabilized at this temperature. The specimens were then immediately tested for Marshall stability and flow based on ASTM D6926. Maximum theoretical specific gravities (G_{mm}) of the specimens were also determined so that their air void values could be calculated based on Equation 2.

$$V_a = (1 - G_{mb}/G_{mm}) \times 100 \quad (2)$$

Where

V_a : air void (%) of the compacted specimens

G_{mb} : Bulk specific gravities of the compacted specimens

G_{mm} : Maximum theoretical specific gravities of the compacted specimens

3. Results and Discussion

3.1. Binder Content and Particle Size Distribution of the Extracted Aggregate in RAP Material

In Turkey, the Highway Technical Specification (KGM, 2013) states that the asphalt pavements must have three stabilized asphalt concrete layers (an asphalt wearing course, and below it, another

layer (named binder course), followed by an asphalt stabilized base layer). Although all of these three layers are composed of asphalt concrete, design and performance requirements of each layer differ.

As a result of the binder extraction test, binder content of the RAP specimen was found to be 4.35%. This binder content was found to be within the limits specified by Turkish highway specification for all three asphalt concrete layers. Table 2 shows the particle size distribution of the extracted aggregate in RAP material along with the specification limits for all three stabilized asphalt concrete layers. As shown in Table 2, extracted aggregate in the RAP materials has a particle size distribution mostly similar to the one in binder course.

Table 2. Particle size distribution of the extracted aggregate in RAP material and specification limits.

Sieve size (mm)	Percent passing	Specification Limits (Percent passing) (KGM, 2013)			
		Wearing Course	Binder Course	Stabilized Base (Type A)	Stabilized Base (Type B)
25	100.0	100	100	72-100	80-100
19	93.6	100	80-100	60-90	70-90
12.5	70.6	88-100	58-80	50-78	61-81
9.5	61.8	72-90	48-70	43-70	55-75
4.75	44.7	42-52	30-52	30-55	42-62
2	25.9	25-35	20-40	18-42	30-47
0.425	8.8	10-20	8-22	6-21	15-26
0.18	5.1	7-14	5-14	2-13	7-18
0.075	2.6	3-8	2-8	0-7	1-8

3.2. Marshall stability, Flow and Air Content Test Results

Figure 2 shows Marshall stability, flow and air content test results of the test specimens conditioned at 22°C, 40°C and 45°C for three hours. A total of nine specimens were tested as three sets. As can be seen in Figure 2, as conditioning temperatures of the compacted test specimens increased, their Marshall stability test results increased but their flow and air content test results mostly decreased. This relationship between mixing or conditioning temperatures of the compacted specimens and their Marshall stability and flow test results were also observed in some other studies (Balık et al., 2019). As specified in Table 1, compacted specimens must have a minimum 250 kgf. of Marshall stability value to be used as a CPM. As can be seen in Figure 2, Marshall stability values of all three sets of specimens were well above this limit. Moreover, as specified in Table 1, the compacted specimens must have a maximum 8% of air content value to be used as a CPM. As can be seen in Figure 2, all test specimens except for only one conditioned at 22°C met the air content criterion. As stated earlier, as conditioning temperature increased, air content results decreased; the specimens conditioned at 22°C mostly showed the highest air content results. Furthermore, as specified in Table 1, the compacted specimens must have a flow value of 2-5 mm. to be used as a

CPM. As can be seen in Figure 2, all test specimens except for only one conditioned at 22°C met the flow criterion.

Based on the Marshall stability, flow and air content test results shown in this study, it could be concluded that 100% RAP could be used as a CPM especially above 22°C. If it is needed to be used at around 22°C, it must be ensured that it is well compacted so that its air content is below 8% for a durable and comparably long-lasting cold patching application.

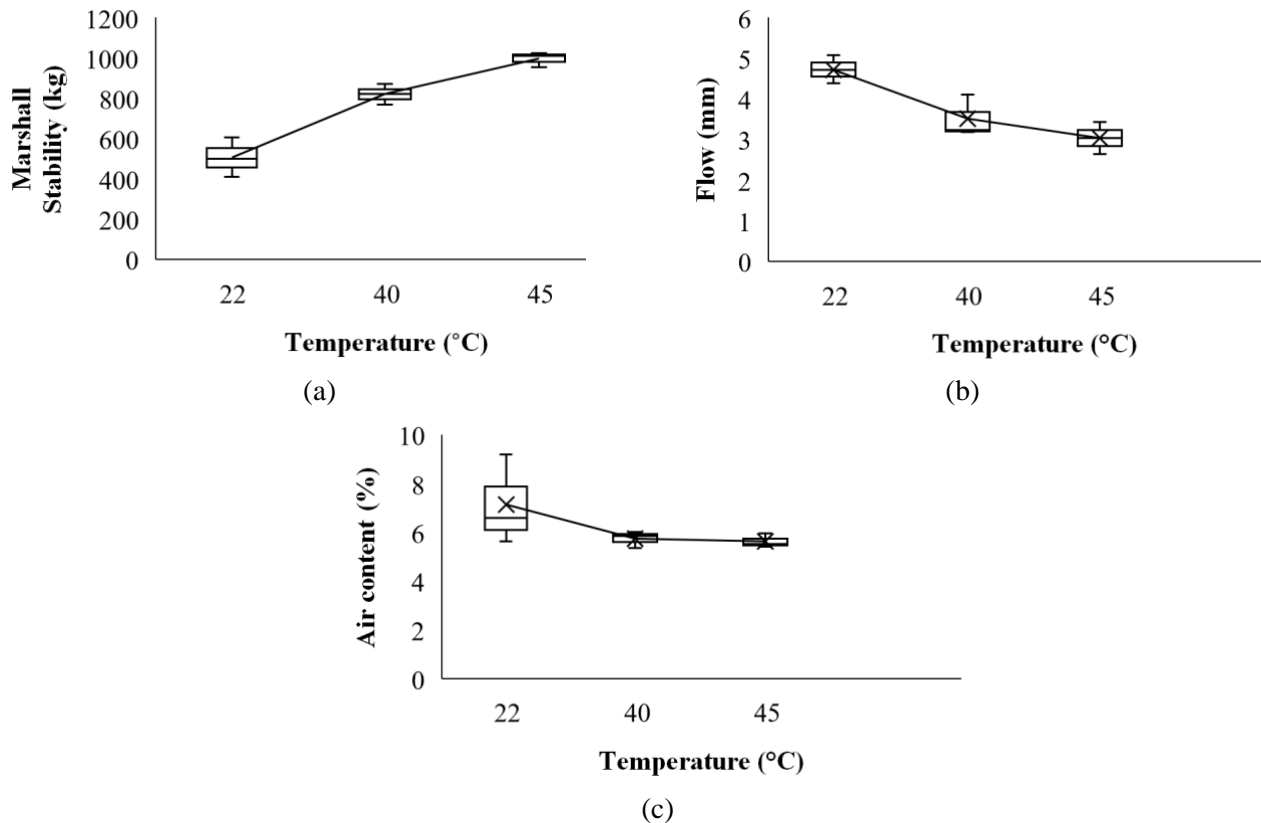


Figure 2. (a) Marshall stability, (b) flow and (c) air content results.

4. Summary and Recommendations

This study experimentally investigated the usability of 100% RAP as CPMs. As part of this study, first, the RAP material has been characterized to determine its binder content and particle size distribution of the extracted aggregate. As a result of the binder extraction test, binder content of the RAP specimen was found to be 4.35%. This binder content was found to be within the limits specified by Turkish highway specification for all three asphalt concrete layers. Moreover, extracted aggregate in the RAP materials was found to have a particle size distribution mostly similar to the one in binder course.

Then, three sets of RAP specimens (each set has three specimens) were prepared. These specimens were conditioned at 22°C, 40°C and 45°C for three hours. Then, the specimens were compacted with 75 Marshall hammer blows. The compacted specimens were then tested for their Marshall stability, and flow at 22°C. Air contents of the test specimens were also determined. It was observed that as conditioning temperatures of the compacted test specimens increased, their Marshall stability test results increased but their flow and air content test results mostly decreased. Marshall stability test results of all three sets of specimens were well above the specification limits. Moreover, all test specimens except for only one conditioned at 22°C met the air content criterion. Furthermore, all test specimens except for only one conditioned at 22°C met the flow criterion.

Based on the test results shown in this study, it could be concluded that 100% RAP could be used as a CPM especially above 22°C. If it is needed to be used at around 22°C, it must be ensured that it is well compacted so that its air content is below 8% for a durable and comparably long-lasting cold patching application.

Acknowledgements

The author would like to thank Aybüke Dadak, an undergraduate student at Department of Civil Engineering of Adana Alparslan Türkeş Science and Technology University, for her help in conducting the experiments.

Statement of Conflicts of Interest

There is no conflict of interest between the authors.

Statement of Research and Publication Ethics

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

References

- Al-Shujairi, A. O., Al-Taie, A. J., & Al-Mosawe, H. M. (2021, June). Review on applications of RAP in civil engineering. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 1105, No. 1, p. 012092). IOP Publishing.
- ASTM C136/C136M-19, "Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates," ASTM International, West Conshohocken, PA, (United States), 2019.
- ASTM D2172/D2172 M-17, "Standard test methods for quantitative extraction of bitumen from bituminous paving mixtures," ASTM International, West Conshohocken, PA. (United States), 2017.
- ASTM D2726-88, "Standard test method for bulk specific gravity and density of non-absorptive compacted bituminous mixtures," ASTM International, West Conshohocken, PA. (United States), 2014.

- ASTM D6926-20. (2020). Standard Practice for Preparation of Asphalt Mixture Specimens Using Marshall Apparatus.
- Balık, G., Yılmaz, M., Kök, B. V., & Alataş, T. (2019). Effects of Mixing Temperature on the Mechanical Properties of Hot Mix Asphalt. *Teknik Dergi*, 30(4), 9221-9241.
- Biswas, S., Hashemian, L., Hasanuzzaman, M., & Bayat, A. (2016). A study on pothole repair in Canada through questionnaire survey and laboratory evaluation of patching materials. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 43(5), 443-450. <https://doi.org/10.1139/cjce-2015-0553>.
- Biswas, S., Hashemian, L., & Bayat, A. (2018). Investigation of pothole severity and maintenance methods in Canada through questionnaire survey. *Journal of cold regions engineering*, 32(2), 04018002. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CR.1943-5495.0000161](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CR.1943-5495.0000161).
- Chen, J. S., Ho, H. C., Liao, M. C., & Wang, T. Y. (2016). Engineering properties of asphalt concrete patching mixtures. *Journal of Testing and Evaluation*, 44(1), 534-542. <https://doi.org/10.1520/JTE20140441>.
- Dash, S. S., Chandrappa, A. K., & Sahoo, U. C. (2022). Design and performance of cold mix asphalt—A review. *Construction and Building Materials*, 315, 125687.
- Dong, Q., Huang, B., & Zhao, S. (2014). Field and laboratory evaluation of winter season pavement pothole patching materials. *International Journal of Pavement Engineering*, 15(4), 279-289. <https://doi.org/10.1080/10298436.2013.814772>.
- Dughaiishi, H. A., Lawati, J. A., Bilema, M., Babalghaith, A. M., Mashaan, N. S., Yusoff, N. I. M., & Milad, A. (2022). Encouraging Sustainable Use of RAP Materials for Pavement Construction in Oman: A Review. *Recycling*, 7(3), 35.
- Giani, M. I., Dotelli, G., Brandini, N., & Zampori, L. (2015). Comparative life cycle assessment of asphalt pavements using reclaimed asphalt, warm mix technology and cold in-place recycling. *Resources, Conservation and Recycling*, 104, 224-238.
- Han, S., Liu, M., Shang, W., Qi, X., Zhang, Z., & Dong, S. (2019). Timely and durable polymer modified patching materials for pothole repairs in low temperature and wet conditions. *Applied Sciences*, 9(9), 1949.
- Jain, S., & Singh, B. (2021). Cold mix asphalt: An overview. *Journal of Cleaner Production*, 280, 124378.
- KGM, "Highway Technical Specification," Ankara (Turkey), 2013
- Kwon, H., Lee, A. S., Lee, J. H., Park, N. K., Kim, G. D., Cho, B., ... & Yu, S. (2017). Characterization of liquid state sulfur polymer/epoxy blend as asphalt pavement materials. *Journal of industrial and engineering chemistry*, 53, 386-391.
- Liu, T., Hu, G., & Gu, Y. (2013). Influence of Cold Patch Asphalt Mixture Gradation on Pavement Performance. In *ICTE 2013: Safety, Speediness, Intelligence, Low-Carbon, Innovation* (pp. 1405-1410).
- MGM, "Turkish State Meteorological Service". <https://mgm.gov.tr/eng/> (Date Accessed: 22 December 2022).
- Nazzal, M. D., Mogawer, W., Austerman, A., Qtaish, L. A., & Kaya, S. (2015). Multi-scale evaluation of the effect of rejuvenators on the performance of high RAP content mixtures. *Construction and Building Materials*, 101, 50-56.
- Pakes, A., Edil, T., Sanger, M., Olley, R., & Klink, T. (2018). Environmental benefits of cold-in-place recycling. *Transportation Research Record*, 2672(24), 11-19.
- Plati, C., & Cliatt, B. (2018). A sustainability perspective for unbound reclaimed asphalt pavement (RAP) as a pavement base material. *Sustainability*, 11(1), 78.
- Rinkal, D., Zala, L. B., & Amin, A. A. (2021). Reclaimed Asphalt Pavement (RAP)—A Review. *International Research Journal of Modernization in Engineering Technology and Science*, 3, 3076-3084.
- Soleimanbeigi, A., & Edil, T. B. (2015). Compressibility of recycled materials for use as highway embankment fill. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 141(5), 04015011.
- Turk, J., Pranjić, A. M., Mladenović, A., Cotič, Z., & Jurjavčič, P. (2016). Environmental comparison of two alternative road pavement rehabilitation techniques: Cold-in-place-recycling versus traditional reconstruction. *Journal of Cleaner Production*, 121, 45-55.
- Wang, T., Dra, Y. A. S. S., Cai, X., Cheng, Z., Zhang, D., Lin, Y., & Yu, H. (2022). Advanced cold patching materials (CPMs) for asphalt pavement pothole rehabilitation: State of the art. *Journal of Cleaner Production*, 133001. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.133001>.
- Yu, H., Leng, Z., Zhou, Z., Shih, K., Xiao, F., & Gao, Z. (2017). Optimization of preparation procedure of liquid warm mix additive modified asphalt rubber. *Journal of cleaner production*, 141, 336-345.

Prediction for the Anomalous ZZZ and $ZZ\gamma$ Couplings via two Z-boson Production at the CLIC

Emre GÜRKANLI^{1*} 

Abstract

The non-Abelian nature of the Standard Model (SM) entails the existence of the gauge bosons' self-interactions. The gauge bosons' self-interactions are important to test the SM and see the new physics effects. These effects can be analyzed in the effective theory approach which is the main aim of this study. We examine the ZZZ and $ZZ\gamma$ anomalous neutral triple gauge couplings (aNTGC) via the process $e^-e^+ \rightarrow ZZ$ with both unpolarized and polarized electron beam with the $\sqrt{s} = 3$ TeV at CLIC. In the final state, semi-leptonic decay of Z-bosons ($Z \rightarrow jj$, $Z \rightarrow \nu_l \bar{\nu}_l$) are considered. We focused on CP -violating $\frac{c_{BB}}{\Lambda^4}$, $\frac{c_{BW}}{\Lambda^4}$, $\frac{c_{WW}}{\Lambda^4}$ and CP -conserving $\frac{c_{\bar{B}W}}{\Lambda^4}$ couplings. The sensitivities are obtained at 95% Confidence Level with luminosities of $\mathcal{L}_{int} = 5 \text{ ab}^{-1}$, $\mathcal{L}_{int} = 1 \text{ ab}^{-1}$ and $\mathcal{L}_{int} = 4 \text{ ab}^{-1}$ for unpolarized, 80% and -80% polarized electron beams, respectively. Obtained sensitivities on anomalous couplings are 3-20 times stringent than the current experimental limits and comparable with the related phenomenological studies in the literature.

Keywords: Electroweak Interaction, Anomalous Triple Gauge Boson Couplings, Beyond Standard Model.

CLICte iki Z-Bozonu Üretimi Aracılığıyla Anormal ZZZ ve $ZZ\gamma$ Bağlaşımlarının Tahmini

Öz

Standart Modelin abelyen olmayan doğası ayar bozonlarının kendileriyle öz etkileşmelerinin varlığını gerektirir. Bu etkileşmeler Standart Modeli test etmek ve yeni fizik etkilerini görmek için önemlidir. Bu etkileri efektif teori kapsamında analiz etmek bu çalışmanın ana motivasyon kaynağını oluşturmaktadır. Bu çalışmada CLIC çarpıştırıcısında $\sqrt{s} = 3$ TeV de polarize ve polarize olmayan elektron için $e^-e^+ \rightarrow ZZ$ süreci aracılığıyla ZZZ ve $ZZ\gamma$ anormal yüksüz üçlü ayar bozonu bağlaşımları incelenmiştir. Son durumda Z-bosonunun yarı-leptonik bozunumu ($Z \rightarrow jj$, $Z \rightarrow \nu_l \bar{\nu}_l$) dikkate alınmıştır. Burada CP ihlal eden $\frac{c_{BB}}{\Lambda^4}$, $\frac{c_{BW}}{\Lambda^4}$, $\frac{c_{WW}}{\Lambda^4}$ ve CP koruyan $\frac{c_{\bar{B}W}}{\Lambda^4}$ bağlaşımlarına odaklanılmıştır. Duyarlılıklar 95% güvenilirlik seviyesinde, sırasıyla polarize olmayan, 80% ve -80% polarize elektron için $\mathcal{L}_{int} = 5 \text{ ab}^{-1}$, $\mathcal{L}_{int} = 1 \text{ ab}^{-1}$ ve $\mathcal{L}_{int} = 4 \text{ ab}^{-1}$ ışınlık değerleri kullanılarak hesaplanmıştır. Anormal bağlaşımlar için elde edilen duyarlılıklar deneysel limitlerden 3-20 kat daha sınırlayıcı iken literatürdeki ilgili fenomenolojik çalışmalarla karşılaştırılabilir seviyededir.

Anahtar Kelimeler: Elektrozayıf Etkileşmeler, Anormal Üçlü ayar bozonu bağlaşımları, Standart Model Ötesi.

¹ Sinop University, Department of Physics, 57000, Sinop, TÜRKİYE, egurkanli@sinop.edu.tr

¹<https://orcid.org/0000-0002-9543-1086>

1. Introduction

The non-Abelian character of the Standard Model indicates the gauge bosons' self-interactions like triple and quartic gauge boson couplings. These interactions are important to test the validity of the Standard Model. In the Standard Model; ZZV , $ZV\gamma$ and WWV ($V = \gamma, Z$) are defined (Baur et al., 2000). Z -boson has no electrical charge and does not interact with photon. Because of that SM does not include $Z\gamma\gamma$, $ZZ\gamma$ and ZZZ vertices at the tree-level. Therefore, an Effective Field Theory (EFT) is useful to investigate the contributions of new physics effects. In this work, we focus on the dim-8 operators defining the aNTGC. For doing this, we used the effective Lagrangian of the NTGC that includes SM interactions and new physics effects coming from dim-8 operators that are running by dim-8 anomalous couplings can be given as (Degrande, 2014). On the other hand, there are several phenomenological studies in the literature on e^-e^+ and pp colliders to examine the aNTGCs (Choudhury et al., 2000, Atağ et al., 2004, Ots et al., 2004, Ots et al., 2006, Gutierrez-Rodriguez et al., 2009, Ananthanarayan et al., 2012, Ananthanarayan et al., 2014, Rahaman et al., 2016, Rahaman et al., 2017, Ellis et al., 2020, Fu et al., 2021, Ellis et al., 2021, Yang et al., 2022, Baur et al., 1993, Senol et al., 2018, Rahaman et al., 2019, Senol et al., 2019, Senol et al., 2020, Yilmaz et al., 2020, Yilmaz, 2021, Hernandez-Juarez et al., 2021, Biekötter et al., 2021).

$$\mathcal{L}^{NTGC} = \mathcal{L}_{SM} + \sum_i \frac{C_i}{\Lambda^4} (\mathcal{O}_i + \mathcal{O}_i^\dagger) \quad (1)$$

Here, the dim-8 couplings are normalized to dim-4 by Λ new physics scale. On the other hand, \mathcal{O}_i describes the operators given below.

$$\mathcal{O}_{\bar{B}W} = iH^\dagger \tilde{B}_{\sigma\rho} W^{\sigma\mu} \{D_\mu D^\rho\} H, \quad (2)$$

$$\mathcal{O}_{BW} = iH^\dagger B_{\sigma\rho} W^{\sigma\mu} \{D_\mu D^\rho\} H, \quad (3)$$

$$\mathcal{O}_{WW} = iH^\dagger W_{\sigma\rho} W^{\sigma\mu} \{D_\mu D^\rho\} H, \quad (4)$$

$$\mathcal{O}_{BB} = iH^\dagger B_{\sigma\rho} B^{\sigma\mu} \{D_\mu D^\rho\} H, \quad (5)$$

where

$$B_{\sigma\nu} = (\partial_\sigma B_\nu - \partial_\nu B_\sigma) \quad (6)$$

$$W_{\mu\nu} = \sigma^i (\partial_\mu W_\nu^i - \partial_\nu W_\mu^i + g\epsilon_{ijk} W_\mu^j W_\nu^k) \quad (7)$$

With $\langle \sigma^i \sigma^j \rangle = \frac{\delta^{ij}}{2}$ and

$$D_\mu = \partial_\mu - \frac{ig'}{2} B_\mu Y - ig_w W_\mu^i \sigma^i \tag{8}$$

In the above equations, $B_{\mu\nu}$, $W_{\mu\nu}$ and D_μ are the field strength tensor and the covariant derivative, respectively.

At the lowest order, dim-8 operators have the effect of $\frac{v^2 \hat{s}}{\Lambda^4}$ while the dim-6 operators have zero. On the other hand, dim-6 operators have induced an effect of $\frac{\alpha \hat{s}}{4\pi \Lambda^2}$ at the one-loop which is negligible compared with the effects coming from dim-8 operators that are $\Lambda \leq \sqrt{\frac{4\pi \hat{s}}{\alpha}}$ (Degrande, 2014). Here, v is the expectation value in the vacuum. The effective Lagrangian for the aNTGC including the both dim-6 and dim-8 operators studied in the literature is given in the following equation (Gounaris et al., 2000).

$$\begin{aligned} \mathcal{L}_{aNTGC}^{dim-6,8} = & \frac{e}{m_Z^2} - [f_4^\gamma (\partial_\mu F^{\mu\beta}) + f_4^Z (\partial_\mu Z^{\mu\beta})] Z_\alpha (\partial^\alpha Z_\beta) + [f_5^\gamma (\partial^\sigma F_{\sigma\mu}) + \\ & f_5^Z (\partial^\sigma Z_{\sigma\mu})] \tilde{Z}^{\mu\beta} Z_\beta - [h_1^\gamma (\partial^\sigma F_{\sigma\mu}) + h_1^Z (\partial^\sigma Z_{\sigma\mu})] Z_\beta F^{\mu\beta} - [h_3^\gamma (\partial_\sigma F^{\sigma\rho}) + \\ & h_3^Z (\partial_\sigma F^{\sigma\rho})] Z^\alpha \tilde{F}_{\rho\alpha} - \left\{ \frac{h_2^\gamma}{m_Z^2} [\partial_\alpha \partial_\beta \partial^\rho F_{\rho\mu}] + \frac{h_2^Z}{m_Z^2} [\partial_\alpha \partial_\beta (\square + m_Z^2) Z_\mu] \right\} Z^\alpha F^{\mu\beta} + \left\{ \frac{h_4^\gamma}{2m_Z^2} [\square \partial^\sigma F^{\rho\alpha}] + \right. \\ & \left. \frac{h_4^Z}{2m_Z^2} [(\square + m_Z^2) \partial^\sigma Z^{\rho\alpha}] \right\} Z_\sigma \tilde{F}_{\rho\alpha} \end{aligned} \tag{9}$$

Here, f_4^V, h_1^V, h_2^V are the CP -violating and f_5^V, h_3^V, h_4^V are the CP -conserving couplings ($V = \gamma, Z$) that all are zero at the lowest order. In above Lagrangian only h_2^V and h_4^V couplings are related to dim-8. On the other hand, the couplings given in Eqs. (2-5) are related with the couplings in Eq.(9) when considering the $SU(2)_L \times U(1)_Y$ gauge invariance (Rahaman, 2020). The CP -conserving couplings with the two on-shell Z -bosons and an off-shell γ or Z -boson are given by (Degrande, 2014).

$$f_5^Z = 0, \tag{10}$$

$$f_5^\gamma = \frac{v^2 m_Z^2}{4c_\omega s_w} \frac{c_{\tilde{B}W}}{\Lambda^4} \tag{11}$$

Besides, the CP -violating anomalous couplings are given as follows.

$$f_4^Z = \frac{v^2 m_Z^2 \left(c_\omega^2 \frac{C_{WW}}{\Lambda^4} + 2c_\omega s_\omega \frac{C_{BW}}{\Lambda^4} + 4s_\omega^2 \frac{C_{BB}}{\Lambda^4} \right)}{2c_\omega s_\omega} \quad (12)$$

$$f_4^\gamma = - \frac{v^2 m_Z^2 \left(-c_\omega s_\omega \frac{C_{WW}}{\Lambda^4} + \frac{C_{BW}}{\Lambda^4} (c_\omega^2 - s_\omega^2) + 2c_\omega s_\omega \frac{C_{BW}}{\Lambda^4} + 4s_\omega^2 \frac{C_{BB}}{\Lambda^4} \right)}{2c_\omega s_\omega} \quad (13)$$

The CP -conserving couplings with an on-shell Z -boson and γ in addition to an off-shell γ or Z -boson are given in the following equations (Degrande, 2014).

$$h_3^Z = \frac{v^2 m_Z^2}{4c_\omega s_\omega} \frac{C_{\bar{B}W}}{\Lambda^4} \quad (14)$$

$$h_3^\gamma = h_4^\gamma = h_4^Z = 0, \quad (15)$$

Finally, the CP -violating couplings are given as follows.

$$h_1^Z = - \frac{v^2 m_Z^2 \left(-c_\omega s_\omega \frac{C_{WW}}{\Lambda^4} + \frac{C_{BW}}{\Lambda^4} (c_\omega^2 - s_\omega^2) + 4c_\omega s_\omega \frac{C_{BB}}{\Lambda^4} \right)}{4c_\omega s_\omega} \quad (16)$$

$$h_2^Z = h_2^\gamma = 0 \quad (17)$$

$$h_1^\gamma = - \frac{v^2 m_Z^2 \left(s_\omega^2 \frac{C_{WW}}{\Lambda^4} - 2c_\omega s_\omega \frac{C_{BW}}{\Lambda^4} + 4c_\omega^2 \frac{C_{BB}}{\Lambda^4} \right)}{4c_\omega s_\omega} \quad (18)$$

The best limits on dim-8 $\frac{C_{\bar{B}W}}{\Lambda^4}$, $\frac{C_{WW}}{\Lambda^4}$, $\frac{C_{BW}}{\Lambda^4}$ and $\frac{C_{BB}}{\Lambda^4}$ anomalous couplings are determined for the process $pp \rightarrow Z\gamma \rightarrow \nu\nu\gamma$ at $\sqrt{s} = 13$ TeV at the LHC with 95% Confidence Level (C.L.) which are given in Eqs. (19-22) (Aaboud et al., 2018).

$$-1.1 \text{ TeV}^{-4} < \frac{C_{\bar{B}W}}{\Lambda^4} < 1.1 \text{ TeV}^{-4} \quad (19)$$

$$-2.3 \text{ TeV}^{-4} < \frac{C_{WW}}{\Lambda^4} < 2.3 \text{ TeV}^{-4} \quad (20)$$

$$-0.65 \text{ TeV}^{-4} < \frac{C_{BW}}{\Lambda^4} < 0.64 \text{ TeV}^{-4} \quad (21)$$

$$-0.24 \text{ TeV}^{-4} < \frac{C_{BB}}{\Lambda^4} < 0.24 \text{ TeV}^{-4} \quad (22)$$

Apart from this, many phenomenological studies have been performed to obtain the CP -violating $\frac{C_{WW}}{\Lambda^4}$, $\frac{C_{BW}}{\Lambda^4}$, $\frac{C_{BB}}{\Lambda^4}$ and CP -conserving $\frac{C_{\bar{B}W}}{\Lambda^4}$ couplings (Choudhury et al., 2000, Atağ et al., 2004, Ots et al., 2004, Ots et al., 2006, Gutierrez-Rodriguez et al., 2009, Ananthanarayan et al., 2012, Ananthanarayan et al., 2014, Rahaman et al., 2016, Rahaman et al., 2017, Ellis et al., 2020, Fu et al., 2021, Ellis et al., 2021, Yang et al., 2022, Baur et al., 1993, Senol et al., 2018, Rahaman et al., 2019, Senol et al., 2019, Senol et al., 2020, Yilmaz et al., 2020, Yilmaz, 2021, Hernandez-Juarez et al., 2021, Biekötter et al., 2021).

2. Materials and Methods

2.1 Cross-sections and Events

A cut base analysis is handled in this study. We examined the process $e^-e^+ \rightarrow ZZ \rightarrow jj\nu_i\bar{\nu}_i$ in the stage-3 scenerio of the CLIC. Using FeynRules (Alloul et al., 2014) package with dim-8 effective Lagrangians, the ZZZ and $ZZ\gamma$ aNTGC are imported to the MadGraph5_aMC@NLO (Alwall et al., 2011, Alwall et al., 2014). We give the related Feynman diagrams in Fig.1.

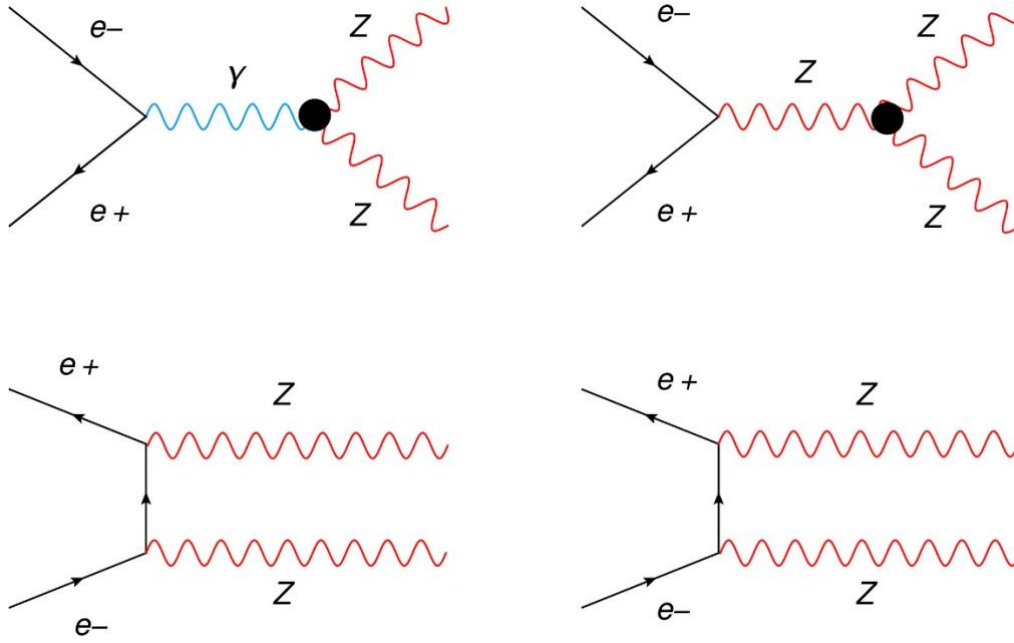


Figure 1. Schematic diagrams for the process $e^-e^+ \rightarrow ZZ$ including the anomalous contribution of ZZZ and $ZZ\gamma$ vertices and the SM.

As the first step we produced the signals and relevant SM background events at tree-level by importing dim-8 anomalous $\frac{C_{\bar{B}W}}{\Lambda^4}$, $\frac{C_{WW}}{\Lambda^4}$, $\frac{C_{BW}}{\Lambda^4}$ and $\frac{C_{BB}}{\Lambda^4}$ couplings implemented UFO model file into MadGraph5_aMC@NLO with cut-0 case to determine the optimal cuts. The analysis is presented at parton-level without taking into account any detector response. Here, Cut-0 refers to the default cut set of the MadGraph5_aMC@NLO to keep down the infrared divergence and singularities. In Figs. 2-4, we have given the missing energy transverse, p_T^j and η^j plots of the signals and related SM background for the Cut-0 case.

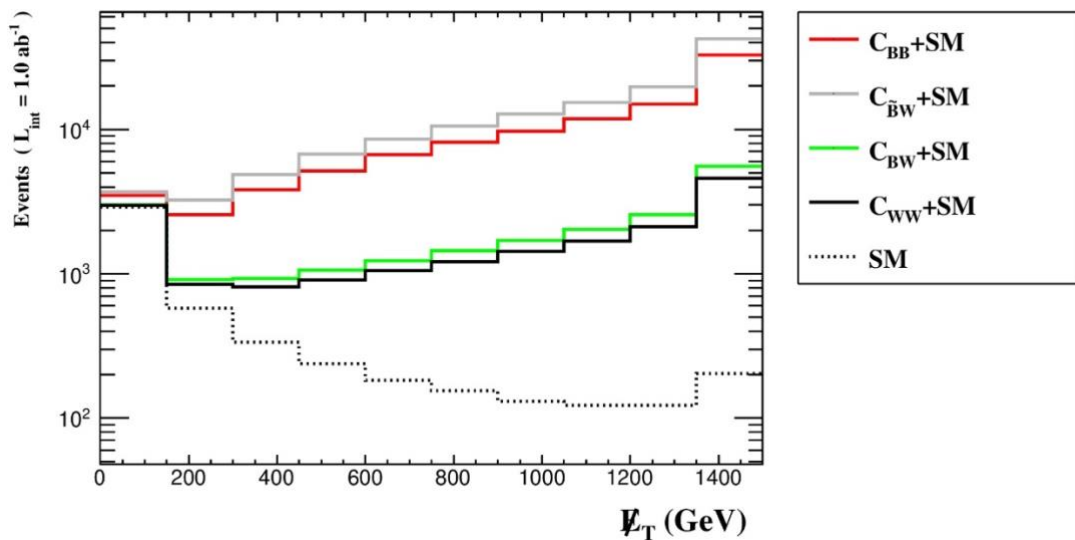


Figure 2. The number of events as a function of MET for the $e^-e^+ \rightarrow ZZ \rightarrow jj\nu_i\bar{\nu}_l$ signal and relevant SM background with $P_e = 0\%$. Each coupling has been taken the value of 1 TeV^{-4} .

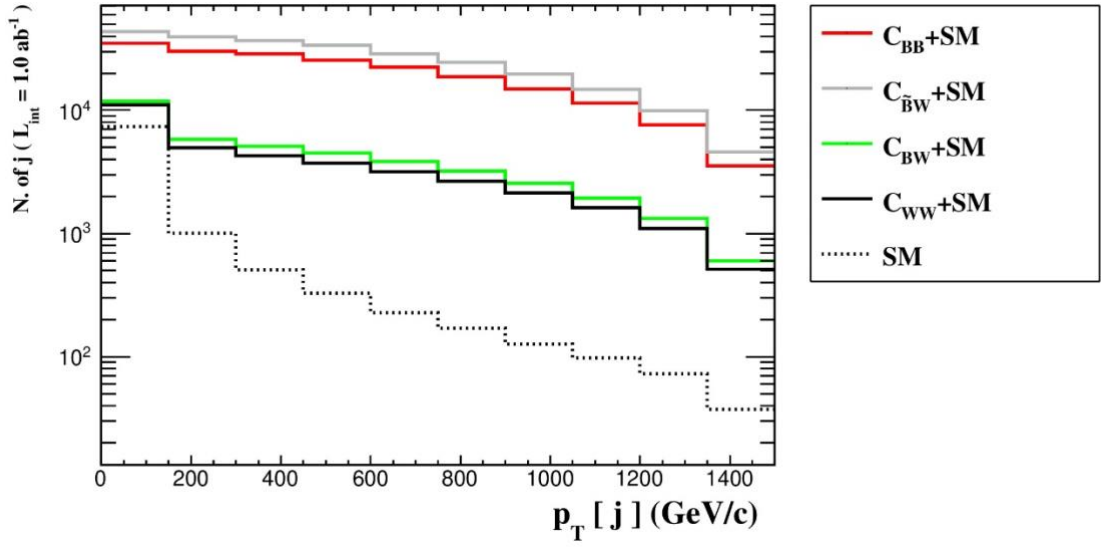


Figure 3. The number of events as a function of p_T^j for the $e^-e^+ \rightarrow ZZ \rightarrow jj\nu_l\bar{\nu}_l$ signal and relevant SM background with $P_e = 0\%$. Each coupling has been taken the value of 1 TeV^{-4} .

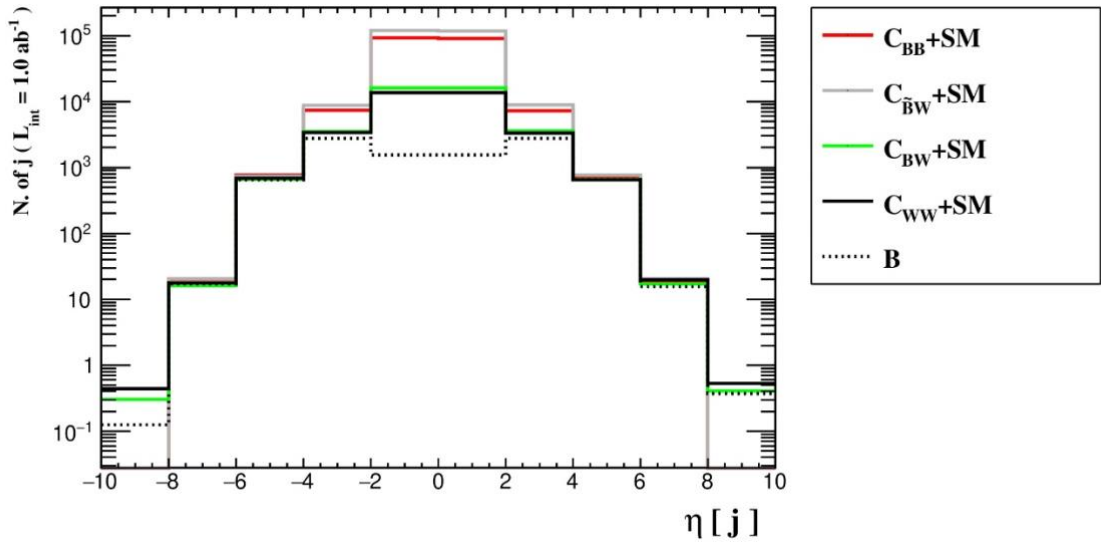


Figure 4. The number of events as a function of η^j for the $e^-e^+ \rightarrow ZZ \rightarrow jj\nu_l\bar{\nu}_l$ signal and relevant SM background with $P_e = 0\%$. Each coupling has been taken the value of 1 TeV^{-4} .

In the second step we determined the optimal kinematic cuts using those figures. Doing this, we have taken the separating value of the signals and background for every objects and composed the optimized cuts given in Table I.

Table 1. Selected cuts for the $e^-e^+ \rightarrow ZZ \rightarrow jj\nu_l\bar{\nu}_l$ signal.

	$\frac{C_{\bar{B}W}}{\Lambda^4}, \frac{C_{WW}}{\Lambda^4}, \frac{C_{BW}}{\Lambda^4}, \frac{C_{BB}}{\Lambda^4}$
Cut-1	$ \eta^j < 2.5, p_T^j > 100 \text{ GeV}$
Cut-2	$MET > 200 \text{ GeV}$
Cut-3	$\Delta R(j, j) > 0.4$
Cut-4	$80 < M_{jj} < 100 \text{ GeV}$

For Cut-I, we applied $|\eta^j| < 2.5$ and $p_T^j > 100 \text{ GeV}$ as seen in Figs. 3-4. In the second base $MET > 200 \text{ GeV}$ is applied to separate signals and background more clearly which is easy to see in Fig.2. For Cut-3, we applied the angular separations $\Delta R = ((\Delta\phi)^2 + (\Delta\eta)^2)^{\frac{1}{2}}$ for final state jets as $\Delta R(j, j) > 0.4$. We also applied invariant-mass cut to final state jets $80 < M_{jj} < 100 \text{ GeV}$ closest to the mass of Z which is tagged Cut-4. In Table-II we have given the events for signals and SM background after applying selected cuts step-by-step. On the other hand we used polarized beam options for electron due to the CLIC experiment program in our calculations to increase the signals and reduce the unwanted background effects (Gurkanli et al., 2021, Franceschini, 2020, Roloff et al., 2018, Weber, 2020, Spor et al., 2021).

Table 2. Events for the process $e^-e^+ \rightarrow ZZ \rightarrow jj\nu_l\bar{\nu}_l$, the SM and relevant backgrounds with applied cuts. All couplings are taken 1 TeV^4 .

	$\frac{C_{BB}}{\Lambda^4}$	$\frac{C_{\bar{B}W}}{\Lambda^4}$	$\frac{C_{BW}}{\Lambda^4}$	$\frac{C_{WW}}{\Lambda^4}$	SM
Cut-0	99250	128100	20420	17650	4976
Cut-1	95482	124089	17333	14592	2035
Cut-2	94946	123435	17056	14326	1817
Cut-3	14580	18735	3224	2802	975
Cut-4	13539	17425	2995	2605	905

3. Findings and Discussion

3.1 Sensitivities on ANTGC

The sensitivities on aNTGCs $\frac{C_{\bar{B}W}}{\Lambda^4}, \frac{C_{WW}}{\Lambda^4}, \frac{C_{BW}}{\Lambda^4}$ and $\frac{C_{BB}}{\Lambda^4}$ are obtained with χ^2 method at the 95% Confidence Level. It is defined with the following equation.

$$\chi^2 = \left(\frac{\sigma_{Tot}(\frac{C}{\Lambda^4}) - \sigma_{SM}}{\sigma_{SM} \sqrt{(\delta_{st})^2 + (\delta_{sys})^2}} \right)^2 \quad (23)$$

Here, δ_{st} is the statistical error which is defined by $\delta_{st} = \frac{1}{\sqrt{N_{SM}}}$. On the other hand, N_{SM} is the number of events related to the SM which is given by the following equation.

$$N_{SM} = \mathcal{L} \times \sigma_{SM}. \quad (24)$$

In Eq. 23 $\sigma_{Tot} \left(\frac{C}{\Lambda^4} \right)$ refer to the cross-section of the signal $e^-e^+ \rightarrow ZZ \rightarrow jj\nu_l\bar{\nu}_l$ with the contribution of ZZZ and ZZ γ aNTGC while the σ_{SM} is the SM cross-section of the related process. While obtaining the sensitivities, we also take into account the systematic uncertainties δ_{sys} which may arise from related backgrounds, lepton identification and jet-photon misidentification (Khoraiuli, 2009, Senol et al., 2022). In this context, we have given the sensitivities under the systematic uncertainty values of $\delta_{sys} = 0\%$, 3% and 5% . The sensitivities on aNTGCs $\frac{C_{\bar{B}W}}{\Lambda^4}$, $\frac{C_{WW}}{\Lambda^4}$, $\frac{C_{BW}}{\Lambda^4}$ and $\frac{C_{BB}}{\Lambda^4}$ for the process $e^-e^+ \rightarrow ZZ \rightarrow jj\nu_l\bar{\nu}_l$ at $\sqrt{s} = 3$ TeV with unpolarized and polarized electron beams and under various systematic uncertainties are given in Table III.

Table 3. Bounds on $\frac{C_{\bar{B}W}}{\Lambda^4}$, $\frac{C_{WW}}{\Lambda^4}$, $\frac{C_{BW}}{\Lambda^4}$ and $\frac{C_{BB}}{\Lambda^4}$ via $e^-e^+ \rightarrow ZZ \rightarrow jj\nu_l\bar{\nu}_l$ process.

P_e		0%	-80%	80%
		$\mathcal{L}_{int} = 5 \text{ ab}^{-1}$	$\mathcal{L}_{int} = 4 \text{ ab}^{-1}$	$\mathcal{L}_{int} = 1 \text{ ab}^{-1}$
$\frac{C_{BB}}{\Lambda^4}$	$\delta_{sys} = 0\%$	$[-6.71; 6.74] \times 10^{-2}$	$[-1.02; 1.04] \times 10^{-1}$	$[-7.66; 7.95] \times 10^{-2}$
	$\delta_{sys} = 3\%$	$[-7.72; 7.75] \times 10^{-2}$	$[-1.17; 1.19] \times 10^{-1}$	$[-7.88; 8.17] \times 10^{-2}$
	$\delta_{sys} = 5\%$	$[-8.89; 8.93] \times 10^{-2}$	$[-1.35; 1.37] \times 10^{-1}$	$[-8.23; 8.52] \times 10^{-2}$
$\frac{C_{\bar{B}W}}{\Lambda^4}$	$\delta_{sys} = 0\%$	$[-5.77; 6.03] \times 10^{-2}$	$[-0.53; 0.80] \times 10^{-1}$	$[-0.79; 0.88] \times 10^{-1}$
	$\delta_{sys} = 3\%$	$[-6.65; 6.91] \times 10^{-2}$	$[-0.62; 0.89] \times 10^{-1}$	$[-0.81; 0.91] \times 10^{-1}$
	$\delta_{sys} = 5\%$	$[-7.68; 7.95] \times 10^{-2}$	$[-0.73; 0.99] \times 10^{-1}$	$[-0.85; 0.94] \times 10^{-1}$
$\frac{C_{BW}}{\Lambda^4}$	$\delta_{sys} = 0\%$	$[-1.66; 1.66] \times 10^{-1}$	$[-4.11; 4.10] \times 10^{-1}$	$[-1.75; 1.74] \times 10^{-1}$
	$\delta_{sys} = 3\%$	$[-1.91; 1.91] \times 10^{-1}$	$[-4.70; 4.69] \times 10^{-1}$	$[-1.80; 1.80] \times 10^{-1}$
	$\delta_{sys} = 5\%$	$[-2.20; 2.20] \times 10^{-1}$	$[-5.40; 5.39] \times 10^{-1}$	$[-1.87; 1.87] \times 10^{-1}$
$\frac{C_{WW}}{\Lambda^4}$	$\delta_{sys} = 0\%$	$[-1.83; 1.84] \times 10^{-1}$	$[-1.49; 1.53] \times 10^{-1}$	$[-5.77; 5.78] \times 10^{-1}$
	$\delta_{sys} = 3\%$	$[-2.10; 2.11] \times 10^{-1}$	$[-1.71; 1.75] \times 10^{-1}$	$[-5.93; 5.94] \times 10^{-1}$
	$\delta_{sys} = 5\%$	$[-2.42; 2.43] \times 10^{-1}$	$[-1.97; 2.00] \times 10^{-1}$	$[-6.19; 6.20] \times 10^{-1}$

The best sensitivities on aNTGCs are obtained as expected under $\delta_{sys} = 0\%$ systematic uncertainties which are given in Eqs. 25-28.

$$\frac{C_{BB}}{\Lambda^4} = [-6.71; 6.74] \times 10^{-2} \text{ TeV}^{-4} \quad (25)$$

$$\frac{C_{\bar{B}W}}{\Lambda^4} = [-5.77; 6.03] \times 10^{-2} \text{ TeV}^{-4} \quad (26)$$

$$\frac{C_{BW}}{\Lambda^4} = [-1.66; 1.66] \times 10^{-1} \text{ TeV}^{-4} \quad (27)$$

$$\frac{C_{WW}}{\Lambda^4} = [-1.49; 1.53] \times 10^{-1} \text{ TeV}^{-4} \tag{28}$$

We have given the figures of production cross-section in terms of $\frac{C_{\bar{B}W}}{\Lambda^4}$, $\frac{C_{WW}}{\Lambda^4}$, $\frac{C_{BW}}{\Lambda^4}$ and $\frac{C_{BB}}{\Lambda^4}$ couplings for different electron polarizations in Figs. 5-7.

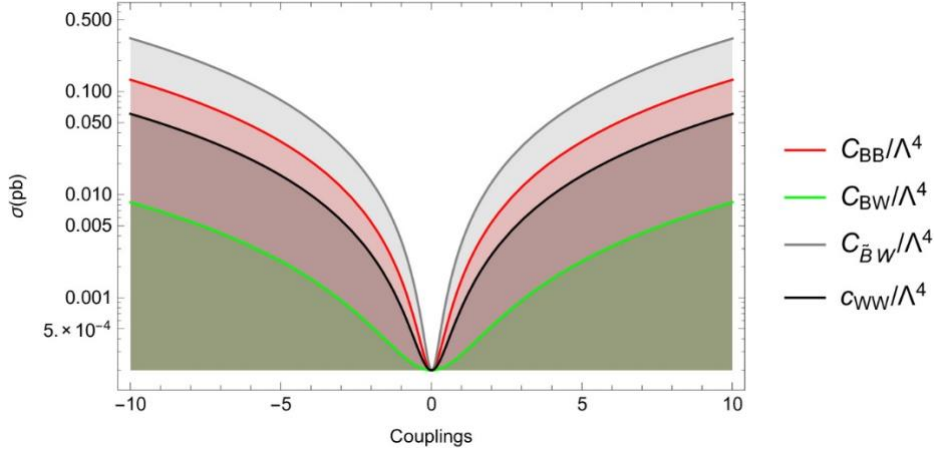


Figure 5. Cross-section of $e^-e^+ \rightarrow ZZ \rightarrow jj\nu_l\bar{\nu}_l$ process in terms of the anomalous $\frac{C_{\bar{B}W}}{\Lambda^4}$, $\frac{C_{WW}}{\Lambda^4}$, $\frac{C_{BW}}{\Lambda^4}$, $\frac{C_{BB}}{\Lambda^4}$ couplings at the $\sqrt{s} = 3 \text{ TeV}$ and $P_{e^-} = -80\%$.

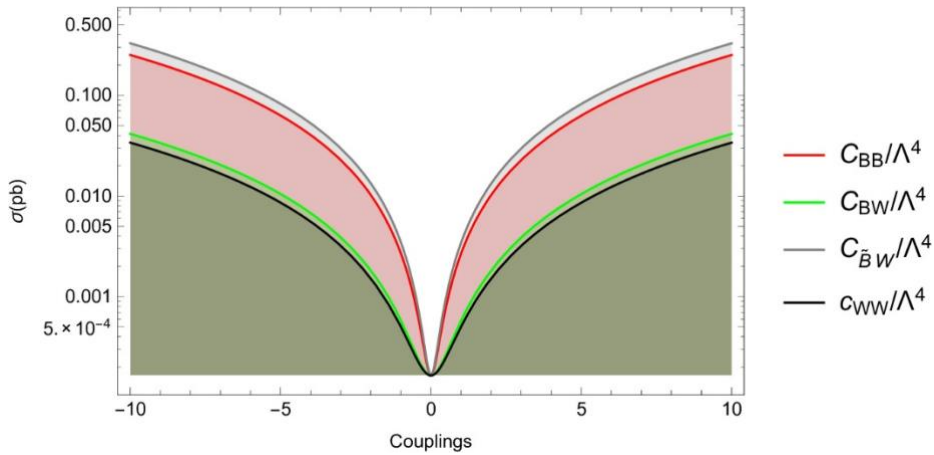


Figure 6. Same as Fig.5 but for unpolarized beams $P_{e^-} = 0\%$.

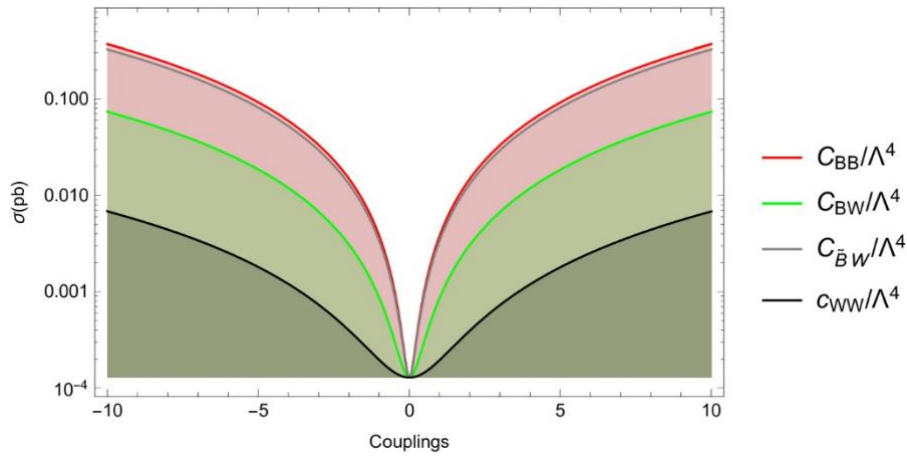


Figure 7. Same as Fig.5 but for unpolarized beams $P_{e^-} = 80\%$.

We also have given barcharts in the Figs. 8-11 to compare our results with latest experimental limits given in the Eqs. 19-22. As seen in those figures, our result improved the boundaries by a factor of 3-20 times. Also, the sensitivities they are comparable with the related phenomenological results in the literature.

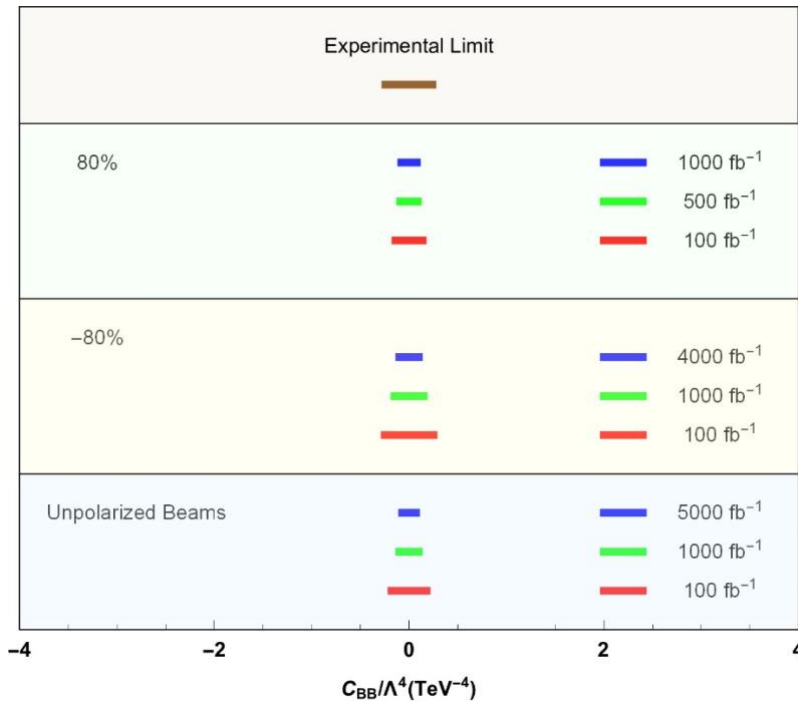


Figure 8. Comparison of the current experimental limits and sensitivities on the anomalous $\frac{C_{BB}}{\Lambda^4}$ coupling for the luminosities of $\mathcal{L}_{int} = 5000, 4000, 1000, 500, 100 \text{ fb}^{-1}$ and $\sqrt{s} = 3 \text{ TeV}$.

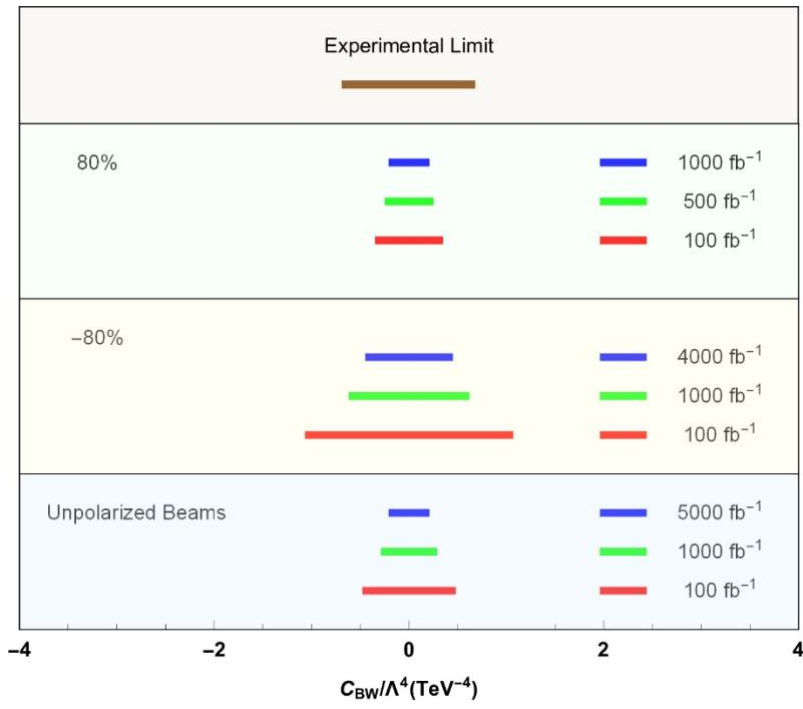


Figure 9. Same as Fig.8 but for the anomalous $\frac{C_{BW}}{\Lambda^4}$ coupling.

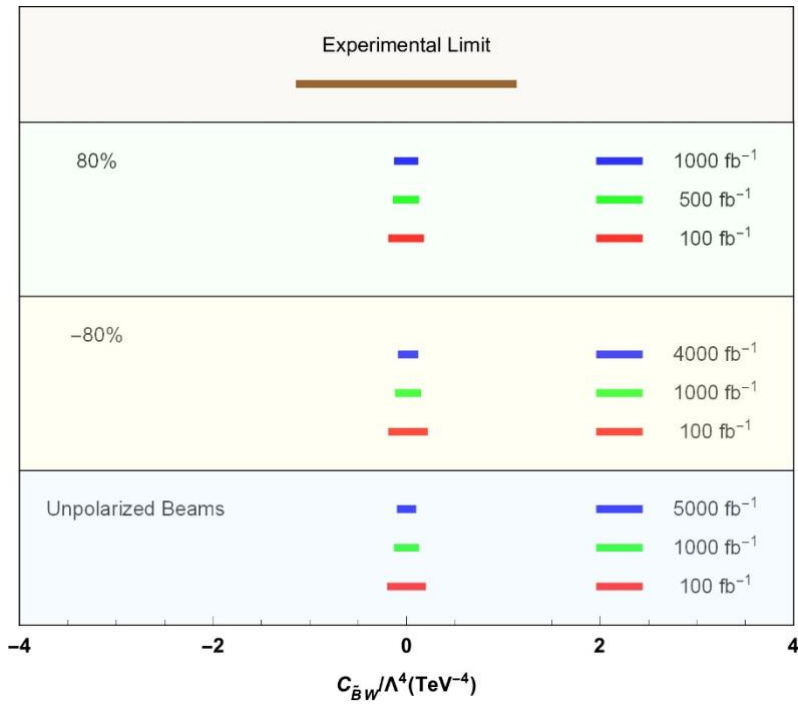


Figure 10. Same as Fig.8 but for the anomalous $\frac{C_{\bar{B}W}}{\Lambda^4}$ coupling.

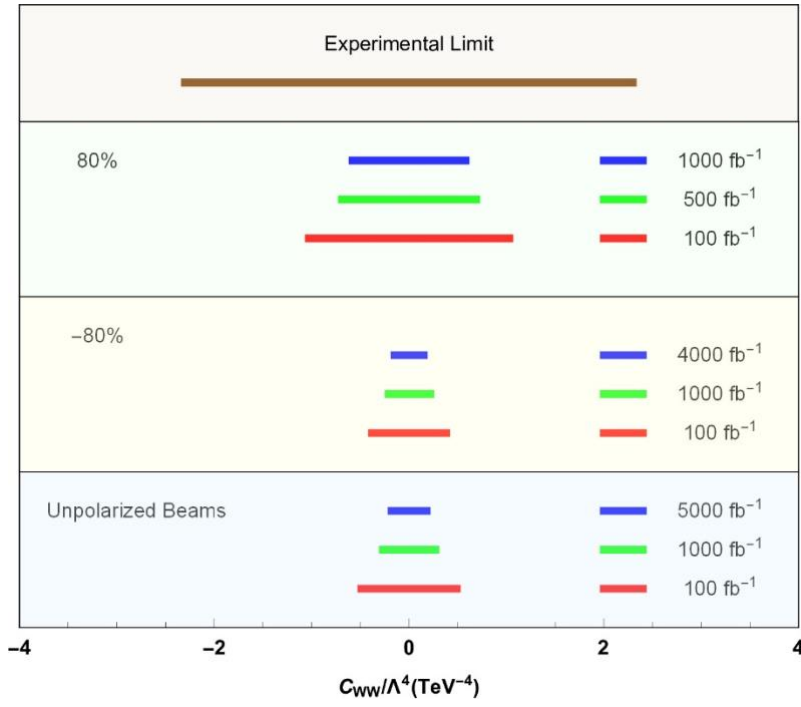


Figure 11. Same as Fig.8 but for the anomalous $\frac{C_{WW}}{\Lambda^4}$ coupling.

4. Conclusions and Recommendations

In the study, we perform the $e^-e^+ \rightarrow ZZ$ process for the decay of $Z \rightarrow jj$, $Z \rightarrow \nu_l \bar{\nu}_l$ to probe the ZZZ and $ZZ\gamma$ aNTGC. We performed the calculations for both unpolarized and polarized electron beams at CLIC with a CoM energy of $\sqrt{s} = 3$ TeV. A cut-based analysis is carried out to separate the signals and related SM background. While doing this, we composed a cut-flow chart to show the effects of selected cuts on the generated events step-by-step. Finally, we obtained the sensitivities of $\frac{C_{BW}}{\Lambda^4}$, $\frac{C_{WW}}{\Lambda^4}$, $\frac{C_{BW}}{\Lambda^4}$ and $\frac{C_{BB}}{\Lambda^4}$ couplings at 95% Confidence Level for unpolarized, 80% and -80% polarized electron beams with the luminosities of $\mathcal{L}_{int} = 5 \text{ ab}^{-1}$, $\mathcal{L}_{int} = 1 \text{ ab}^{-1}$ and $\mathcal{L}_{int} = 4 \text{ ab}^{-1}$, respectively. Also, we give our results under systematic uncertainties of 0%, 3% and 5%. Our sensitivities improve the latest experimental results by a factor of 3-20 times and are comparable with the related phenomenological studies in the literature.

Statement of Research and Publication Ethics

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

References

- Aaboud, M., et al., (2018). Measurement of the $Z\gamma \rightarrow \nu\bar{\nu}\gamma$ production cross section in pp collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV with the ATLAS detector and limits on anomalous triple gauge-boson couplings. *JHEP*, 12, 010.
- Alloul, A., Christensen, N.D., Degrande, C., Duhr, C., Fuks B., (2014). FeynRules 2.0- A complete toolbox for tree-level phenomenology. *Comput. Phys. Commun.*, 185, 2250.
- Alwall, J., Frederix, R., Frixione, S., Hirschi, V., Maltoni, F., Mattelaer, O., Shao, H. -S., Stelzer, T., Torielli, P., Zaro, M., (2014). The automated computation of tree-level and next-to-leading order differential cross sections, and their matching to parton shower simulations. *JHEP*, 07, 079.
- Alwall, J., Herquet, M., Maltoni, F., Mattelaer, O., Stelzer, T., (2011). MadGraph 5: going beyond. *JHEP*, 06, 128.
- Ananthanarayan, B., Garg, K.S., Patra, M., Rindani, S.D., (2012). Isolating CP -violating γZZ coupling in $e^+e^- \rightarrow \gamma Z$ with transverse beam polarizations. *Physical Review D*, 85, 034006.
- Ananthanarayan, B., Lahiri, J., Patra, M., Rindani, S.D., (2014). New physics in $e^+e^- \rightarrow \gamma Z$ at the ILC with polarized beams: explorations beyond conventional anomalous triple gauge boson couplings. *JHEP*, 08, 124.
- Atağ, S., Şahin, İ., (2004). $ZZ\gamma$ and $Z\gamma\gamma$ couplings at linear e^+e^- collider energies with the effects of Z polarization and initial state radiation. *Physical Review D*, 70, 053014.
- Baur, U., Berger, E.L., (1993). Probing the weak-boson sector in $Z\gamma$ production at hadron colliders. *Physical Review D*, 47, 4889.
- Baur, U., Rainwater D., (2000). Probing neutral gauge boson self-interactions in ZZ production at hadron colliders. *Physical Review D*, 62, 113011.
- Biekötter, A., Gregg, P., Krauss, F., Schönherr, M., (2021). Constraining CP violating operators in charged and neutral triple gauge couplings. *Physics Letters B*, 817, 136311.
- Choudhury D., Rindani S.D., (1994). Test of CP -violating neutral gauge boson vertices in $e^-e^+ \rightarrow \gamma Z$. *Physics Letters B*, 335, 198-204.
- Degrande C., (2014). A basis of dimension-eight operators for anomalous neutral triple gauge boson interactions. *JHEP*, 02, 101.
- Ellis, J., Ge, S.F., He, H.J., Xiao, R.Q., (2020). Probing the scale of new physics in the $ZZ\gamma$ coupling at e^+e^- colliders. *Chinese Physics C*, 44, 063106.
- Ellis, J., He, H.J., Xiao, R.Q., (2021). Probing new physics in dimension-8 neutral gauge couplings at e^+e^- colliders. *Science China Physics, Mechanics & Astronomy*, 64, 221062.
- Franceschini, R., (2020). Beyond the Standard Model physics at CLIC. *International Journal of Modern Physics A*, 35, 2041015.
- Fu, Q., Yang, J.C., Yue, C.X., Guo, Y.C., (2021). The study of neutral triple gauge couplings in the process $e^+e^- \rightarrow \gamma Z$ including unitarity bounds. *Nucl. Phys. B*, 972, 115543.
- Gounaris, G.J., Layssac, J., Renard, F.M., (2000). Signatures of the anomalous $Z\gamma$ and ZZ production at lepton and hadron colliders. *Physical Review D*, 61, 073013.
- Gurkanli, E., Ari, V., Koksall, M., Gutierrez-Rodriguez, A., Hernandez-Ruiz, M.A., (2021). Study of the projected sensitivity on the anomalous quartic gauge couplings via $Z\gamma\gamma$ production at the CLIC. *arXiv:2112.03948[hep-ph]*.
- Gutierrez-Rodriguez, A., Hernandez-Ruiz, M.A., Perez, M.A., (2009). Probing the $ZZ\gamma$ and $Z\gamma\gamma$ couplings through the process $e^+e^- \rightarrow \nu\bar{\nu}\gamma$. *Physical Review D*, 80, 017301.
- Hernandez-Juarez, A.I., Moyotl, A., Tavares-Velasco, G., (2021). Contribution to ZZV^* ($V = \gamma, Z, Z'$) couplings from CP violating flavor changing couplings. *European Physical Journal C*, 81, 304.
- Khoriauli, G., (2009). Study of systematic uncertainties of single top production at ATLAS. *Il Nuovo Cimento B*, 123, 1327-1330.
- Ots, I., Uibo, H., Liivat, H., Loide, R. -K., Saar., (2004). Possible anomalous $ZZ\gamma$ and $Z\gamma\gamma$ couplings and Z boson spin orientation in $e^+e^- \rightarrow Z\gamma$. *Nucl. Phys. B*, 702, 346-356.
- Ots, I., Uibo, H., Liivat, H., Loide, R. -K., Saar., (2006). Possible anomalous $ZZ\gamma$ and $Z\gamma\gamma$ couplings and Z boson spin orientation in $e^+e^- \rightarrow Z\gamma$: The role of transverse polarization. *Nucl. Phys. B*, 740, 212-221.
- Rahaman, R., (2020). Study of anomalous gauge boson self-couplings and the role of spin-1 polarizations. PhD Thesis, Indian institute of science education and research, India.
- Rahaman, R., Singh, R.K., (2016). On polarization parameters of spin-1 particles and anomalous couplings in

$$e^+e^- \rightarrow \frac{ZZ}{Z\gamma}. \textit{European Physical Journal C}, 76, 539.$$

- Rahaman, R., Singh, R.K., (2017). On the choice of the beam polarization in $e^+e^- \rightarrow \frac{ZZ}{Z\gamma}$ and anomalous triple gauge-boson couplings. *European Physical Journal C*, 77, 521.
- Rahaman, R., Singh, R.K., (2019). Anomalous triple gauge boson couplings in ZZ production at the LHC and the role of Z boson polarizations. *Nucl. Phys. B*, 948, 114754.
- Roloff, P., Franceschini, R., Schnoor, U., Wulzer, A., (2018). The compact linear e^+e^- collider (CLIC): Physics potential. *arXiv:1812.07986[hep-ex]*.
- Senol, A., Denizli, H., Yilmaz, A., Turk Cakir, I., Cakir, O., (2019). Study on anomalous neutral triple-gauge boson couplings from dimension-eight operators at the HL-LHC. *Acta Physica Polonica B*, 50, 1597.
- Senol, A., Denizli, H., Yilmaz, A., Turk Cakir, I., Cakir, O., (2020). The projections on ZZ γ and Z $\gamma\gamma$ couplings via $\nu\bar{\nu}\gamma$ production in HL-LHC and HE-LHC. *Physics Letters B*, 802, 135255
- Senol, A., Denizli, H., Yilmaz, A., Turk Cakir, I., Oyulmaz, K.Y., Karadeniz, O., Cakir, O., (2018). Probing the effects of dimension-eight operators describing anomalous neutral triple gauge boson interactions at FCC-hh. *Nucl. Phys. B*, 935, 365-376.
- Senol, A., Spor, S., Gurkanli, E., Cetinkaya, V., Denizli, H., Koksall, M., (2022). Model-independent study on the anomalous ZZ γ and Z $\gamma\gamma$ couplings at the future muon collider. *European Physical Journal Plus*, 137,1354.
- Spor, S., Koksall, M., (2021). Search for the anomalous WW γ couplings through the process $e^-e^+ \rightarrow \nu_e\bar{\nu}_e\gamma$ at ILC with unpolarized and polarized beams. *Physics Letters B*, 820, 136533.
- Weber, M., (2020). All-hadronic HHZ production at 3 TeV CLIC. *arXiv:2008.05198[hep-ex]*.
- Yang, J.C., Yue, C.X., Guo, Y.C., Cai, L.H., (2022). Using a nested anomaly detection machine learning algorithm to study the neutral triple gauge couplings at an e^+e^- collider. *Nucl. Phys. B*, 977, 115735
- Yilmaz, A., (2021). Search for the limits on anomalous neutral triple gauge couplings via ZZ production in the $\ell\ell\nu\nu$ channel at FCC-hh. *Nucl. Phys. B*, 969, 115471.
- Yilmaz, A., Senol, A., Denizli, H., Turk Cakir, I., Cakir, O., (2020). Sensitivity on anomalous neutral triple gauge couplings via ZZ production at FCC-hh. *European Physical Journal C*, 80, 173.

Türk İnşaat Sektöründe Şantiye Şeflerinin Liderlik Tipleri ile Çalışanların Motivasyonu Arasındaki İlişkinin Bir Veri Madenciliği Yöntemiyle Belirlenmesi

Abdullah Emre KELEŞ^{1*} , Emel LAPTALI ORAL² 

Öz

Günümüze kadar, liderlik kavramını inceleyen farklı disiplinlerde sayıca fazla akademik araştırma yapılmıştır. Benzer şekilde, çalışan motivasyonu da çeşitli dallardaki araştırmacılarca dikkat çekilen ve ele alınan bir başlıktır. Bu iki araştırma konusu arasındaki ilişkinin belirlenebilmesi bu çalışmanın temel çıkış noktasıdır. Bu kapsamda bu araştırmada, Türkiye’de inşaat işlerinde görev alan şantiye şeflerinin liderlik tipleriyle, bu şeflerle birlikte çalışan diğer personellerin motivasyonları arasındaki ilişki incelenmiştir. Araştırmanın başlangıcında, ölçme aracı olarak literatür araştırması sonucunda kullanımının uygun olduğu saptanan lisanslı anket ölçeği Multiple Leadership Questionnaire (MLQ), şantiye şefleri ve çalışanlarına çift taraflı olarak uygulanmıştır. Veri madenciliği analizleri öncesi, SPSS paket programında güvenilirlik analizi yapılmıştır. Devamında, veri madenciliği çalışmalarının WEKA yazılımı üzerinde iki farklı sınıf etiketi için analizi sonucu elde edilen birliktelik kuralları sunulmuştur. Çalışmada, veri yığınlarının analizinde çeşitli disiplinlerdeki araştırmacılarca yaygın kabul gören veri madenciliği metodlarıyla “Türk İnşaat Sektöründeki Liderlik-Motivasyon İlişkisi”ne özgü bulgular ortaya konmuştur. Bahsedilen sonuçlar arasında; iş yapılan bölge, çalışma pozisyonu, iş tecrübesi, eğitim durumu gibi niteliklere göre çalışanların motivasyon düzeylerinin değişebildiği saptanmıştır. Böylece, hangi liderlik tipinin uygulanması sonucu hangi çalışma ekibinin motivasyonunun “düşük”, “orta” ve “yüksek” olacağı tespit edilmiş ve özgün sonuçlar ortaya konulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Liderlik, Çalışan Motivasyonu, WEKA, Apriori Algoritması, Birliktelik Kuralları.

Determination of the Relationship between the Leadership Type of Construction Site Supervisors and Employee Motivation in Turkish Construction Industry by Using a Data Mining Method

Abstract

There are several academic studies on leadership in different disciplines from past to present. Similarly, employee motivation is also a topic that has attracted attention has been studied by researchers in various disciplines. Determining the relationship between these two research topics is the main starting point of this study. In this context, this study examines the relationship between the leadership types of construction site supervisors working in the Turkish construction industry and the motivation of other employees working with them. First of all, the licensed questionnaire scale Multiple Leadership Questionnaire (MLQ), which was found to be appropriate for use as a measurement tool as a result of the literature research, was applied to the construction site supervisors and their employees bilaterally. In the study, before proceeding to data mining analysis, reliability analysis was performed in SPSS package program. After this test, data mining studies were analyzed for two different class labels on WEKA software and the association rules obtained was presented. The study concluded, original results on the "Leadership-Motivation Relationship in the Turkish Construction Industry" were obtained with data mining methods and software, which have been frequently used by researchers in different disciplines in the analysis of data masses, especially in recent years. Considering the study results, it was found that the motivation levels of employees may vary according to qualifications such as the region of work, working position, work experience, and education level. Thus, as a result of the application of which leadership type, the motivation of which work team will be "low", "medium" and "high" has been determined and original results have been put forward.

Keywords: Leadership, Employee motivation, WEKA, Apriori Algorithm, Association rules.

¹Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Adana, Türkiye, akeles@atu.edu.tr

²Çukurova Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Adana, Türkiye, eoral@cu.edu.tr

¹ <https://orcid.org/0000-0002-5472-2450> ² <https://orcid.org/0000-0002-7477-7993>

1. Giriş

Liderlik kavramını farklı disiplinlerde pek çok araştırmacı ele almış, dolayısıyla bu hususta farklı tanımlamalar ortaya atılmıştır. Bu çalışmalar genel hatlarıyla incelendiğinde kavram çoğu araştırmada, süreç ve özellikler açılarından parçalanarak vurgulanmıştır. Süreç açısından tanımlara bakıldığında liderler; diğer üyelerin faaliyetlerini amaçlara uygun yönlendirerek organize eden kişi/kişiler olarak tanımlanırken; özellik açısından ise, örgüt üyelerini yine bu amaçlar doğrultusunda pozitif katkı yaparak etkisi altına alabilecek yetileri bulunanlar şeklinde tanımlandığı görülmektedir (Özkalp ve Kirel, 2004). Bahsi geçen bu çalışmalarda tanımlamalar sıralanan şu üç kavram üzerine odaklanmaktadır: Çalışanlar; liderlerin bu bireyler üzerindeki etkisi; hedefler ve çevresel (dış) etkiler. Tüm bunlar bir arada düşünüldüğünde liderliğin, bu kavramlarla iki taraflı bir ilişkide bulunduğu belirtilebilir. Bu konuda çalışmış pek çok araştırmacı, yöneticilerin problemlere mevcut sistemin iç dinamiklerini kullanarak çözüm üretme yolunu seçtiğini, liderlerin ise kendisini köklü değişiklikler yapabilme pozisyonunda gördüğünü ifade etmektedir. Örgütte gerçekleşen ilgili değişim sürecinde (yöneticilikten liderliğe geçişte) yönetici konumundakiler, faydalanılan diğer kaynaklarla birlikte motivasyon faktörlerini de etkin bir biçimde kullanırsa, hedefe ulaşan örgütsel gelişimi gerçekleştirebilir denilmektedir (Keleş, 2016).

Literatür araştırıldığında, Türkiye’de inşaat sektöründe sistemli liderlik yaklaşımı konusunda yeterli araştırma bulunmadığı, inşaat sahalarında liderlik tiplerinin uygulanması sonucu çalışan motivasyonunun hangi yönde değişeceği çalışma alanında nitelik ve nicelik bakımından detaylı bir araştırmanın olmadığı saptanmıştır. Ayrıca, inşaat sektöründe çalışan motivasyonunun, dolayısıyla iş verimliliğinin nasıl artırılacağı konusunda boşlukların olduğu belirlenmiştir. Bu ifade edilenler ışığında bu araştırmanın temel hedefi, literatürde eksikliği göze çarpan “Şantiye şeflerinin liderlik yaklaşımları ile onların ast mertebesinde bulunan çalışanlarının motivasyonu” ilişkisinin istatistiksel analiz (veri madenciliği) yapılarak inşaat sektörünün paydaşlarına sunulmasıdır.

Çalışan motivasyonunun devamında da örgütsel bağlılığın yüksek seviyelerde olması, otomasyonun halen diğer sektörler nazaran düşük kaldığı ve insan kaynağının ön planda tutulduğu inşaat işletmelerinin verimliliği üzerinde önemli unsurlar arasında olduğu söylenebilir. Bu bağlamda, inşaat saha çalışanlarını işe motive edecek, aynı zamanda işletmeye olan örgütsel bağlılıklarını pekiştirecek bunlara ek çalışan özelliklerine uygun liderlik tiplerinin saptanması inşaat sektöründe üretim yapan işletmeler açısından da kritiktir. Bu aşamanın bir sonraki adımı, liderlerin bu çıktılarına uygun yönetim tarzı geliştirmesidir. Ancak çalışanların hangi araçlarla motivasyonunun yükselebileceği tespit edilemezse, buna uygun bir liderlik tarzının sahada uygulanmasından doğal olarak söz edilemez.

Bu çalışma sonucunda, sektörde üretim yapan inşaat işletmelerine, çalışan profillerine uygun liderlik tarzlarının saptanmasının önemi ulaştırılarak liderler konumunda çalışanların ilgili gruba, o grubunun beklentilerine uygun ve motivasyonlarını yükseltecek liderlik özellikleri ile davranmaları esastır. Bahsedilen somut amaca varıldığında, inşaat şirketlerinde liderler, çalışmanın bulgular bölümünde sunulan kurallar uyarınca yönettiği çalışanlarının beklentilerine uygun liderlik tarzını uygulayabilecektir. Bu akademik dayanağı bulunan motivasyon araçları da öncelikle çalışanların, ardından da işletmenin verimliliğini arttırmayı sağlayabilecektir. Böylece liderlere, sadece bir liderlik tarzının benimsenip uygulanmasından çok, farklı özelliklere ve beklentilere sahip çalışma gruplarına, farklı liderlik yaklaşımları uygulaması gerekliliği bir anlamda sunulmuş olacaktır (Keleş, 2016).

Konuyla ilgili literatür incelendiğinde, farklı disiplinlerde araştırmacıların çalışmalarına rastlanmaktadır. Sağlık sektöründeki bir araştırmada, çalışanların iş sahalarında daha çok serbestlik talebinin olduğu, liderleri ile daha sık etkileşim kurmayı beklediği ve lider olarak dönüşümcü liderleri benimsedikleri ortaya çıkmıştır (Brooks, 2009). Sağlık sektöründe yapılan bir diğer çalışmada, liderlik özellikleri dikkate alınarak yöneticilerin liderlik özelliklerinin çalışanların motivasyonu üzerindeki etkisi saptanmıştır. Araştırma ile yöneticilerin liderlik özelliklerinin çalışanların motivasyonunu etkilediği sonucuna varılmıştır (Koçak ve Özüdoğru, 2012). Literatürde rastlanan başka bir araştırmada; işletmelerin ölçülebilir başarısını etkileyen önemli parametrelerden ikisinin “yöneticilerin liderlik yaklaşımları” ve “çalışanların motivasyonu” olduğu vurgulanmıştır. Araştırma sonucunda, dönüşümcü liderlik ile motivasyon arasında pozitif, etkileşimci liderlik ile motivasyon arasında ise negatif bir korelasyon olduğu sunulmuştur. (Uluköy vd., 2014). Diğer bir çalışmada, okul müdürlerinin liderliği ile öğretmenlerin motivasyonları arasındaki ilişki incelenmiştir. 405 öğretmenden alınan verilerin analizi sonucunda, okul müdürlerinin liderlik uygulamaları ile öğretmenlerin motivasyonları arasında pozitif yönlü ancak düşük düzeyde bir ilişki bulunduğu SPSS aracılığıyla saptanmıştır (Ugar, 2019). Konuyla ilgili bir makalede ise, liderlerin motivasyonunun ve liderlik tarzının stratejik düzeyde sürdürülebilirlik çabalarının benimsenmesiyle nasıl ilişkili olduğu incelenmiştir. Norveçli 352 üretici firmadan yapısal eşitlik modeli ile elde edilen bulgular; entelektüel liderliğin liderlerin sürdürülebilirlik konusundaki kişisel motivasyonları ile firmalarının sürdürülebilirlik stratejileri arasındaki ilişkiye kısmen aracılık ettiğini göstermiştir (Eide vd., 2020). Literatürdeki güncel araştırmalardan bir diğeri ise, çeşitli liderlik tarzları ve yenilik kavramı arasındaki ilişkiyi tartışan çeşitli yayınları gözden geçirerek, liderliğin kurumsal inovasyondaki rolünü araştırmıştır. Çeşitli liderlik tarzlarının; örgüt ortamını, çalışanların ve liderlerin davranışlarını ve bilgi paylaşımı gibi diğer örgütsel değişkenleri etkileyerek, örgütsel inovasyon üzerinde olumlu etki yaptığı belirlenmiştir (Alblooshi vd., 2021). Konuyla ilgili bir diğer makale, dönüşümsel ve etkileşimsel liderlik ile çalışan motivasyonu arasındaki ilişkinin çalışanın cinsiyetine ve cinsiyete dayalı özelliklerine bağlı olup olmadığını incelemiştir. Danimarkalı 1294 öğretmenin verileri alınarak

yapılan analiz, kadın öğretmenlerin erkek meslektaşlarına kıyasla ortalama açıdan daha toplumsal bir karakter yapısına sahip olduklarını göstermektedir. Ayrıca sonuçlar arasında, erkek öğretmenlerin kadınlara nazaran, daha fazla maddi ödül algıladıkça daha fazla motive olduğu da bulunmaktadır (Fjendbo, 2021).

Bu çalışmada, şantiye şeflerinin liderlik tarzlarıyla, çalışanların liderliği algılamaları belirlenerek veri madenciliği analizlerine geçilmiştir.

Çalışmanın ilgili literatüre özgün katkısı ise, aşağıda sunulmaktadır:

- Bu araştırma, Türk inşaat sektöründe liderlik tipleri-çalışan motivasyonu ilişkisinin belirlenmesi alanında, bir veri madenciliği yöntemi kullanılarak yapılan ilk çalışmadır. Bu açıdan bu çalışmanın sonuçları özgündür.
- Türkiye'nin tüm coğrafi bölgelerinde 20 farklı şehirde, 307'si çalışan ve 217'si de bu çalışanlarla görev yapan lider konumundaki şantiye şefi/saha mühendisi/mimar olmak üzere toplam 524 anket çift yönlü olarak uygulanmıştır. Bu veriler de bu çalışmanın, inşaat sektöründe liderlik tipi-çalışan motivasyonu alanında günümüze kadar yapılmış olan en kapsamlı araştırma olduğunu göstermektedir.
- Çalışmada elde edilen sonuçlar ile inşaat sektöründe uygulamanın sorumlusu olan şantiye şeflerine, hangi çalışma ekiplerine hangi liderlik tipinin belirleyici özellikleriyle yaklaşırsa, motivasyonlarını yükseltebileceğinin somut şekilde verilmesinin, çalışanların bağlılıklarını olumlu yönde etkileyerek tüm sektöre yarar sağlayacağı düşünülmektedir. Bu durum da, inşaat sektöründe bu husustaki rastgele davranışlar yerine sistemli çalışmalarını doğuracak ve mali, sosyolojik ve fizyolojik çeşitli kayıpların önüne geçilebilecektir.
- Bu araştırmanın inşaat sektöründe pek çok farklı alandaki veri yığınlarının veri madenciliği metotları yardımıyla analizine kapı aralayabileceği de, yazarlarca düşünülmektedir. Nitekim çalışmanın yazarlarından biri, liderlik konusu ile ilgili, bu çalışmanın veri setinden bağımsız olarak farklı veri setleri ve veri madenciliği metotları kullanarak iki farklı çalışma yapmıştır (Kaya Keleş vd., 2021), (Gorecki vd., 2022). Yazarın bu çalışmalarında, doktora tez çalışması esnasında literatürdeki inşaat sektöründe liderlik konusundaki eksikliği tespit edip, buradan ilham alarak farklı veri setlerine çeşitli analiz yöntemleri uygulayarak özgün sonuçlar elde ettiği söylenebilir.

Çalışmada takip edilen adımlar sırası ile; problemin tanımlanması, literatürün değerlendirilmesi, uygulanacak metodun seçilmesi, anketlerin oluşturulması ve uygulanması, verilerin elde edilmesi ile sonuçların değerlendirilmesi ve önerilerin sunulması şeklinde özetlenebilir.

Bu çalışmanın sınırlılığı ise, araştırmanın yalnızca Türkiye'yi kapsamı olarak ifade edilebilir. Bu açıdan, bu çalışma sonuçlarının tüm sektörün çıktısı olarak düşünülmesi doğru olmayacaktır.

Ancak daha önceden belirtildiği üzere bu araştırma bu konuda ilgili analiz yöntemiyle yapılan ilk çalışma konumunda olduğu için, bundan sonra farklı boyutlar da göz önünde bulundurularak çalışmalar yapılabilir.

2. Materyal ve Metot

Çalışmada, son yıllarda farklı disiplinlerde yapılan çalışmalarda kullanılan “Çok Faktörlü Liderlik Ölçeği”, (MLQ- Multifactor Leadership Questionnaire), tercih edilmiştir (Bass ve Avolio, 2006). Bu çerçevede yalnızca lisanslı kullanımı mümkün olan bu ölçekten çalışmada yararlanabilmek amacıyla, anketin resmi sağlayıcısı ile iletişim kurulmuş ve kullanım hakkı elde edilmiştir.

Söz konusu anket soruları, şantiyelerde yönetici konumunda görev alan proje müdürü, şantiye şefi, saha mühendisi gibi çalışanlara ve bu kişilerin birlikte çalıştıkları tekniker, teknisyen, usta, işçi gibi çalışanlarına yönelik tasarlanmıştır. Bu bağlamda 45 soruluk ana anket, bu çalışmanın amaçları doğrultusunda ve anketin değerlendirme ölçütlerine dikkat edilerek 35 soruya indirilmiştir. Anketlerin revizyonu kapsamında ayrıca, “Lider” ve “Çalışan” anketlerinin ikisine de 9’ar adet demografik özellikler ile ilgili, 6’şar adet de çalışan motivasyonunun tespitiyle ilgili ölçüm yapılabilecek soru ilave edilmiştir. Bu düzenlemelerle anketler uygulamaya konulmuş ve çift taraflı elde edilen veriler analiz edilmiştir. Şekil 1, bu sistematığı şematize etmektedir.



Şekil 1. Anket çalışmalarının sistematığı (Keleş, 2016).

Şekil 1’de “Aktif haldeki anket sorularını içeren” ibaresi ile kast edilen, yönetici konumundakilere uygulanan “lider anketi”nde yer alan etken dilbilgisi yapısı ile katılımcılara

yöneltilen sorulardır. “Pasif halde anket sorularını içeren” cümlesi ile vurgulanan ise, çalışanlara uygulanan “çalışan anketi”nde yer alan edilgen dilbilgisi yapısı ile katılımcılara yöneltilen sorulardır. Örneğin lider anketinin katılımcılarca puanlanan 2 nolu ifadesi “Sorunlar ciddi boyutlara ulaşmıyca kadar müdahale etmem, beklerim” iken, bu cümle çalışan anketinde “Şefim sorunlar ciddi boyutlara ulaşmıyca kadar müdahale etmez, bekler” şeklindedir.

Liderlik tarzı ile ilgili verilerin tespiti amacıyla, şantiyelerde şantiye şefi konumunda görev alanlara ve onların yönetiminde çalışanlara anketler uygulanmıştır. Anket ölçeği, çoktan seçmeli (her soruda= 0: hiçbir zaman, 1: nadiren, 2: orta derecede, 3: sıkça, 4: çok sık) seçeneklerine sahip 5’li Likert yapısındadır. MLQ’da; dönüşümcü, etkileşimci ve pasif/kaçınan liderliklerin boyutlarını ifade eden dokuz alt faktör bulunmaktadır. 45 soruluk MLQ anket soruları değerlendirme ölçütleri gözetilerek ve ölçütlerden eşit miktarlarda soru çıkartılarak çalışmanın amacına doğrultusunda 35 soruya düşürülmüştür. Anketlerin ilk kısımlarına ise kişisel özelliklerin tespiti için 9 adet demografik özellik sorusu ve çalışan motivasyonunun belirlenebilmesi amacıyla 6 adet motivasyon sorusu eklenmiştir. İlave edilen bu son kısım, çalışan motivasyonunun belirlenmesinde yardımcı olmuştur. Bu çerçevede çalışma kapsamında Türkiye genelinde her biri toplam 50’şer soru içeren 524 anket yüz yüze şekilde uygulanmıştır. Anket çıktılarıyla belirlenen ve bu araştırmanın da liderlik tipleri olarak ele aldığı üç liderlik tarzı aşağıda özetlenmiştir.

2.1. Etkileşimci – Dönüşümcü - Pasif / Kaçınan Liderlik Tarzları

Literatürde işlemsel liderlik ismiyle de anılan etkileşimci tarzda liderler, yönettiklerinin amaç birliği çerçevesindeki ödevlerini etkili biçimde yapması sonucunda ulaşabilecekleri faydalara dikkat çekerler (Ardichvili, 2001). Dolayısıyla, bu liderlerin altında bulunanlar, beklentileri karşıladıklarında ya da karşılamadıklarında ödüllendireceklerinin ya da cezalandırılacaklarının bilincinde işlerini sürdürmektedir (Hartog vd., 2005). Dönüşümcü liderlikte, problem çözme ön plandadır. Bu liderler, karşılaşılan sorunları etkili şekilde çözerek astlarına güven verirler. Aynı zamanda liderler, örgüt hedeflerinin hangi açılardan önem arz ettiğini de çalışanlarına vurgulamaktadır. Çalışanlar bu sayede, ortak hedef çerçevesinde liderle özdeşleşmekte ve bu amaçlara ulaşmak kolaylaşmaktadır (Demir ve Okan, 2008). Bir başka açıdan bakılırsa dönüşümcü liderler, örgütte değişimi başlatan kişilerdir. Son olarak pasif/kaçınan liderlik tarzı ise, sıklıkla başvurulması önerilmeyen ve çalışanlarda lidere karşı güvensizlik yaratması muhtemel liderlik özelliklerini bünyesinde barındıran tarzı ifade eder. Bu liderlik; karar vermede çekingen davranan, sorumluluktan kaçınan, çekingen davranışlar sergileyen ve çalışanları üzerinde etkisi sınırlı olan liderlere ait özellikleri içeren şekilde de düşünülebilir.

2.2. SPSS Paket Programı ile Güvenilirlik Analizi Yapılması

Güvenilirlik analizi, anketlerdeki araçların güvenilirliğini değerlendirmek ve elde edilen veriler uyarınca yorumlar yapmak amacıyla kullanılmaktadır. Araştırmada SPSS paket programı yardımıyla anket verilerinin güvenilirliğini ölçmek amacıyla “Cronbach Alfa Katsayısı” hesaplanmıştır. Ölçekteki “k” adet sorunun varyanslarının toplamının genel varyansa oranlanması ile tespit edilen ve “0” ile “1” arasında değerler alan alfa katsayısı kısaca, bir standart sapma ortalamasıdır. Bir diğer deyişle, ölçeklerdeki “k” adet sorunun homojen bir bütün oluşturup oluşturmadığını araştıran bir katsayıdır.

2.3. Veri Madenciliği Çalışmaları

Bu bölümde öncelikle, motivasyon verilerinin hazırlanması çalışması yapılmıştır. Uygulanan anketlerin nümerik verileri ilk olarak normalize edilerek 0-1 aralığına yayılmış, devamında üç motivasyon grubu elde etme amacıyla “düşük”, “orta ve “yüksek” olmak üzere kategorize edilmiştir. Bu üç grup oluşturulurken, ilgili anket sorularına katılımcıların verdikleri yanıtlar ön planda tutulmuştur. Özetle, bahsedilen gruplama rastgele değil, cevapların eğilimine göre oluşturulmuştur.

Çalışmada ilgili niteliklerin bir arada görülme sıklıklarının tespit edilebilmesi amacıyla tercih edilen birliktelik kural analizi, koşulu bulunan olasılık eksenli değerlendirmelerle, diğer değerlerin ilişkisini ortaya koymaktadır. Oldukça hızlı hesaplama işlemi ile sonuç alınabilmesi ve hacimce büyük veri gruplarına kolaylıkla uygulanabilmesi veri madenciliğinde bu analiz yöntemini, her geçen gün daha popüler hale getirmektedir (Koyuncuğil ve Özgülbaş, 2009).

Özellikle son yıllarda hemen hemen her disiplinde sıklıkla kullanılan ve bu çalışmada da ele alınan Apriori Algoritması, 1994 yılında iki araştırmacı tarafından kullanıma sunulmuştur (Agrawal ve Srikant, 1994). Bu algoritmaya, analizde kullanılan veri setinin bünyesindeki eğilimin tespiti amacıyla başvurulmaktadır. Algoritma, veri kümesinde yer alan bir öğenin belirlenerek, bu öğenin diğerleriyle karşılaştırılmasını ve dolayısıyla aralarındaki ilişkisel boyutun ortaya konulmasını amaçlayan bir yapıdadır (Liang vd., 2010). Bu algoritma ile ortaya çıkarılan her kural için, destek ve güven değerleri bir diğer deyişle kriterleri bulunmaktadır. Destek değeri, algoritmaya girilen öğeler arasında elde edilen birlikteliğin frekansını gösterirken güven değeri ise belirlenen birlikteliklerin doğruluğunu yani güven durumunu ifade etmektedir (Kaya vd., 2013; Keleş ve Kaya, 2014). Destek ve güven değerlerinin hesaplama formülasyonu aşağıda sunulmaktadır. Bu çalışmada söz konusu formüller kullanılarak, hesaplamalar ilgili algoritma vasıtasıyla yapılmıştır (Eşitlik 1 ve 2).

$$destek(A \rightarrow B) = \frac{\text{sayı}(A, B)}{N} \quad (1)$$

$$güven(A \rightarrow B) = \frac{\text{sayı}(A, B)}{\text{sayı}(A)} \quad (2)$$

2.3.1. Waikato Environment for Knowledge Analysis (WEKA) Yazılımı

Java'da geliştirilmiş açık kaynak kodlu bir program olan WEKA programı (Garner, 1995) ile önişleme, sınıflandırma, kümeleme, birliktelik kural madenciliği, öznitelik seçimi ve görselleştirme gibi işlemler çalıştırılarak veri setleriyle yapılabilir (Kaya ve Özel, 2014).

Programı çalıştırmak için gereken dosya formatı .arff'dır (Attribute Relationship File Format). İlgili formattan kısaca bahsetmek gerekirse, WEKA programına özgü tasarlanan bir yapıda olduğu söylenebilir. Dosya yapısı, @relation, @data şeklinde hazırlanmalıdır.

Tüm bu anlatılanlar çerçevesinde ilgili anketlerle elde edilen veriler, birliktelik kurallarını oluşturabilmek adına kategorik olarak .arff dosya formatında hazırlanmıştır. Şekil 2, bu bağlamda oluşturulan ve çalışmada kullanılan formatın özetini ifade etmektedir.

Kategorik Arff Dosyası
@relation calisan_vm
@attribute cinsiyet {1,2}
@attribute yas {1,2,3,4}
@attribute egitim {1,2,3,4,5}
@attribute tecrube {1,2,3,4}
@attribute bolge {1,2,3,4,5,6,7}
@attribute calisma_suresi {1,2,3,4}
@attribute pozisyon {1,2,3,4,5,6}
@attribute altyapi {0,1}
@attribute ustyapi {0,1}
@attribute tesisat {0,1}
@attribute ucret {1,2,3,4}
@attribute motivasyon {dusuk,orta,yuksek}
@attribute liderlik_tipi {D,E,P}
@data
1,3,2,4,6,1,1,0,1,0,2,dusuk,D
1,2,2,2,6,2,1,0,1,0,2,dusuk,D
1,2,4,4,6,2,1,0,1,0,1,dusuk,D
1,3,2,4,6,2,1,0,1,0,3,dusuk,D
1,3,2,4,6,1,3,0,1,0,3,orta,E
1,3,3,4,6,1,2,0,1,0,1,orta,E

Şekil 2. Çalışma verilerinin .arff dosya formatı.

Bu ön hazırlık aşamalarından sonra, anket verileri uyarınca liderlik tipleri sınıflandırılmıştır. Ardından, motivasyon düzeyleri belirlenip devamında, Apriori algoritmasında kullanılacak

çalışmanın hedefine uygun olan sınıf/sınıflar belirlenmiştir. Son olarak, sınıf etiketi çalışan motivasyon düzeyi olacak şekilde WEKA programına veriler girilip birliktelik kurallarının elde edilmesi sağlanmış ve sunulmuştur. Öznitelik seçimi ise, kullanılacak en tutarlı ve ilgili özellikleri ayırma işlemi olarak tanımlanabilir. Bu teknikler, gerekliliği bulunmayan özellikleri ortadan kaldırarak öznitelik kümesini en alakalı sonuçlara indirgeyerek girdi değişkenlerinin sayısını azaltmak için kullanılmaktadır (Kanbak ve Kaya Keleş, 2022). Bu çalışmada da öznitelik seçimi bu amaçla yapılmıştır. Çalışmanın ana metodolojisi bu çerçevede özetlenebilir.

3. Bulgular ve Tartışma

Bu kısımda öncelikle, SPSS paket programı ile elde edilen güvenilirlik analizi sonuçlarına yer verilmiştir. İki farklı liderlik anketi uygulandığı için bahsedilen iki anketin de güvenilirlik analizi yapılmıştır. “Lider Anket Formu”ndaki sorular esas alınarak yapılan analiz sonucu Cronbach Alfa katsayısı 0.912; “Çalışan Anket Formu”ndaki sorular uyarınca yapılan analiz sonucu ise 0.930 olarak elde edilmiştir. Bu iki sonuç da, 0.800 ile 1.000 arasında olduğu için, anketlerin güvenilirliği oldukça yüksektir denilebilir (Özdamar, 2004).

Lider anketi verilerine göre, anketi dolduran 217 liderden 128’i (%58,99 oranla) kendi liderlik tarzını dönüşümcü, 83’ü (%38,25 oranla) etkileşimci, 6’sı ise (%2,76 oranla) pasif/kaçınan olarak tanımlamıştır. Bunun yanı sıra 307 çalışan anketinin verileri göz önünde bulundurulduğu zaman, çalışanların 163’ü (%53,10 oranla) liderlerini dönüşümcü, 109’u (%35,50 oranla) etkileşimci ve 35’i ise (%11,4 oranla) pasif/kaçınan liderlik tarzında görmektedir. Lider ve çalışan anketleri ile elde edilen bu sonuçlar Tablo 1. ve Tablo 2.’de sunulmaktadır.

Tablo 1. Lider anketinin sonuçlarına göre şantiye şeflerinin liderlik tarzları hakkındaki algıları.

Coğrafi Bölgeler	Dönüşümcü Lider	Etkileşimci Lider	Pasif/Kaçınan Lider	Uygulanan Anket
(Marmara)	17	7	0	24
(Ege)	14	9	0	23
(Akdeniz)	40	31	3	74
(İç Anadolu)	24	4	1	29
(Karadeniz)	11	10	0	21
(G.Doğu Anadolu)	7	15	1	23
(Doğu Anadolu)	15	7	1	23
Toplam Anket	128	83	6	217
Yüzdesel Oran	58,99	38,25	2,76	100

Tablo 2. Çalışan anketinin sonuçlarına göre şantiye çalışanlarının şantiye şeflerinin liderlik tarzları hakkındaki algıları.

Coğrafi Bölge	Dönüşümcü Lider	Etkileşimci Lider	Pasif/Kaçınan Lider	Uygulanan Anket
(Marmara)	19	9	4	32
(Ege)	15	13	11	39
(Akdeniz)	35	33	13	81
(İç Anadolu)	27	21	2	50
(Karadeniz)	24	8	0	32
(G.Doğu Anadolu)	20	14	1	35
(Doğu Anadolu)	23	11	4	38
Toplam Anket	163	109	35	307
Yüzdesel Oran	53,10	35,50	11, 40	100

Tablo 1 ve 2 verilen tablo verileri yüzdesel olarak incelendiğinde, şantiye şefi ve çalışanların liderlerin yönetim tarzlarını algılamalarında, dönüşümcü ile etkileşimci liderlik tipinin bulgularında anlamlı bir farklılık tespit edilmezken, pasif/kaçınan liderlik tipinde dikkat çeken bir farklılık bulunmaktadır. Bu bulgu, anketlerin çift taraflı yani hem lider konumundaki şantiye şeflerine, hem de onların yönetiminde çalışanlara uygulanmasının faydası olarak değerlendirilebilir.

Çalışma kapsamında kullanılan program olan WEKA verileri doğrulama aşamasını, ilgili algoritma içerisindeki “confidence”, bir başka isimle “güven değeri” ile hesaplamaktadır. Veriler uyarınca elde edilen güven değeri 1.00 değerine yaklaştıkça, ortaya çıkan birliktelik kuralının güçlendiği kabul edilmektedir. Bu kapsamda her iki gruba da uygulanan anketlerle elde edilen verilerle, bu çalışmanın ana bulgusu olan “Çalışanların demografik özellikleri ve liderlik tarzı algısı göz önünde bulundurularak şantiye şeflerinin liderlik tarzı algısının çalışan motivasyonuna etkisinin belirlenmesi” aşamaları bu bölümde sunulmaktadır.

“Demografik Özelliklere İlişkin Sorular” ile anket formlarıyla tespit edilen liderlik algıları çalışan nitelikleri kısmını oluştururken, çalışanların motivasyonu bölümü ise, tüm nitelikler etrafında belirlenen sınıf etiketini ifade etmektedir. Çalışan motivasyonunu belirlemek için kullanılan nitelikler Şekil 3.’te sunulmaktadır. Kısacası, ilgili çizelgede görülen ve anketlerden elde edilen 13 nitelik çerçevesinde, çalışanların motivasyonlarının düzeyleri belirlenmiştir.

Nitelik No	Nitelik
1	cinsiyet
2	yas
3	egitim
4	tecrube
5	bolge
6	calisma_suresi
7	pozisyon
8	altyapi
9	ustyapi
10	tesisat
11	ucret
12	lideregore_liderlik_tipi
13	calisanagore_liderlik_tipi
Sınıf	calisan_motivasyonu

Şekil 3. Çalışan motivasyonunu belirlemek için kullanılan nitelikler (her iki anket verileri uyarınca)

Şekil 3'te verilen niteliklerin tamamı WEKA'ya girilip, çalışan motivasyonu değerlerinin sınıf etiketi olarak belirlendiği durumda ortaya çıkan birliktelik kuralları Tablo 3.'te; çalışan motivasyonunun “yüksek”, “orta” ve “düşük” olduğu durumlara göre verilmektedir. Analiz sonucunda elde edilen 15 kural ilgili tabloda sunulmuş ve tartışılmıştır. Söz edilen 15 kuralın seçiminde, “yüksek”, “orta” ve “düşük” olarak bulunan sonuçların 5'er kuralı verilmektedir.

Tablo 3. Anket formlarındaki tüm niteliklerin “çalışan motivasyonu”na etkisinin analiz bulguları

Kural No	Kullanılan Nitelikler	BİRLİKTELİK KURALI		Güven Değeri
		==>	Çalışan Motivasyonu Sınıfı	
1	bolge=4; ucret=2 pozisyon=1; ucret=2;	==>	motivasyon=yuksek	conf:(1.00)
2	lideregore_liderlik_tipi=D; calisanagore_liderlik_tipi=E egitim=2; calisma_suresi=2;	==>	motivasyon=yuksek	conf:(1.00)
3	ucret=2; lideregore_liderlik_tipi=D tecrube=4; ucret=2;	==>	motivasyon=yuksek	conf:(1.00)
4	lideregore_liderlik_tipi=D; calisanagore_liderlik_tipi=E bolge=4; calisma_suresi=2;	==>	motivasyon=yuksek	conf:(1.00)
5	ucret=2; calisanagore_liderlik_tipi=D	==>	motivasyon=yuksek	conf:(1.00)
6	bolge=5; pozisyon=6; calisanagore_liderlik_tipi=D tecrube=4; bolge=3;	==>	motivasyon=orta	conf:(1.00)
7	pozisyon=1; lideregore_liderlik_tipi=E; calisanagore_liderlik_tipi=E egitim=2; ucret=3;	==>	motivasyon=orta	conf:(1.00)
8	lideregore_liderlik_tipi=D; calisanagore_liderlik_tipi=E egitim=2; calisma_suresi=1	==>	motivasyon=orta	conf:(0.90)
9	ucret=3; calisanagore_liderlik_tipi=E	==>	motivasyon=orta	conf:(0.89)

10	bolge=3; pozisyon=1; calisanagore_liderlik_tipi=D	==>	motivasyon=orta	conf:(0.88)
11	tecrube=4; ucret=3; calisanagore_liderlik_tipi=P	==>	motivasyon=dusuk	conf:(1.00)
12	egitim=2; tecrube=4; calisanagore_liderlik_tipi=P	==>	motivasyon=dusuk	conf:(1.00)
13	calisma_suresi=2; ucret=1 lideregore_liderlik_tipi=E; calisanagore_liderlik_tipi=E	==>	motivasyon=dusuk	conf:(1.00)
14	bolge=6; calisma_suresi=2; calisanagore_liderlik_tipi=D	==>	motivasyon=dusuk	conf:(0.92)
15	tecrube=4; pozisyon=1; calisanagore_liderlik_tipi=P	==>	motivasyon=dusuk	conf:(0.90)

Anketlerdeki niteliklerin tamamının çalışan motivasyonuna yansımalarının ortaya çıkarılması ile bulunan çalışan motivasyonunu “yüksek”, “orta” ve “düşük” olarak belirleyen kurallar genel hatlarıyla bu bölümde sunulmaktadır. Çalışanların motivasyonunun “yüksek” çıktığı birliktelik kurallarının özetle; çalışanların anketlerin 4.bölgesi olan İç Anadolu Bölgesi’nde şantiyelerde görev yapan, haftalık ücret alan, ortaokul ve üzeri mezuniyeti bulunan, mesleğinde 5-10 yıl arasında tecrübesi bulunan ve liderlik algısının çalışanlara göre genellikle etkileşimci olduğu birlikteliklerde olduğu saptanmıştır. Çalışan motivasyonu sonucunun “orta” olduğu kuralların özetle; çalışanın anketlerin 3.bölgesi olan Akdeniz ve 5.bölge olan Karadeniz Bölgeleri’nde şantiyelerde görev yapan, ilkokul diploması bulunan, aylık ücret alan, mesleğinde 10 yıldan fazla tecrübesi bulunan ve şantiye şefiyle birlikte 5 yıldan az süredir çalışanlarda olduğu bulunmuştur. Ayrıca, çalışan motivasyonu sonucunun “düşük” olduğu kuralların ise özetle; çalışanın anketlerin 3.bölgesi olan Akdeniz, 6.bölgesi olan Güneydoğu Anadolu ve 7.bölgesi olan Doğu Anadolu Bölgeleri’nde şantiyelerde görev yapan, ilkokul eğitim seviyesinde bulunan, şantiye şefiyle birlikte 5 yıldan az süredir çalışan ve liderlik algısının çalışanlara göre pasif/kaçınan olduğu kurallarda ortaya çıktığı tespit edilmiştir (Keleş, 2016).

Tablo 3’teki kurallar spesifik olarak incelendiğinde ise örneğin ilk kuralda; İç Anadolu Bölgesi’nde ücret alma yöntemi haftalık olan çalışanların istisnasız tamamının motivasyonunun yüksek olduğu saptanmıştır (“bölge=4; ücret=2 => motivasyon= yüksek” kuralı sebebiyle). Bu kuralda, güven değeri olan “confidence” 1.00 olarak tespit edildiğinden, bu iki niteliğe sahip olan anket katılımcılarının hepsinin yüksek motivasyonlu olduğu sonucu ortaya çıkmaktadır. Benzer şekilde 9.kural ele alındığında; ortaokul mezunu, ilgili işyerinde bir yıldan az süredir çalışan, ücretini aylık olarak alan ve yöneticisinin liderlik tarzını etkileşimci olarak algılayan çalışanların motivasyonunun orta olduğu belirlenmiştir (egitim=2; çalışma süresi=1; ücret=3; çalışana göre liderlik tipi=E kuralı sebebiyle). Bu kuralın güven değeri 0.89’dur. Bir diğer bulgunun tartışılması adına 15.kural ele alınırsa, mesleki tecrübesi 10 yıldan fazla olan, şantiye sahasında aktif görev alan ve yöneticisinin liderlik tarzını pasif/kaçınan olarak algılayan çalışanların %90 güven aralığında

motivasyonunun düşük olduğu tespit edilmiştir (tecrübe=4; pozisyon=1; çalışana göre liderlik tipi=P kuralı sebebiyle). Tablo 3'te sunulan diğer tüm kurallar da bu çerçevede yorumlanabilir.

Tartışma bölümünün sonunda yazarlarca belirtilmektedir ki bu araştırmada; Apriori algoritmasının liderlik-motivasyon ilişkisinin belirlenmesi hususunda kullanılmasıyla, şantiye şefi konumundaki yöneticilerin liderlik tarzlarının şantiyelerde çalışan diğer kişilerin motivasyonu üzerindeki yansımalarının tespiti yapılmıştır. Böylece, bu konuda sektör paydaşlarınca ilerleyen dönemlerde yararlanılabilecek en optimum kurallar oluşturulmuş ve sunulmuştur. Bu sayede, Türk inşaat sektörü açısından özgün sonuçlar elde edilmiştir. Bu çalışmanın literatüre özgün katkısı, bu satırlarla tekrar tartışılmakta ve vurgulanmaktadır.

4. Sonuçlar ve Öneriler

İnşaat sektöründe “liderlik yaklaşımları-çalışan motivasyonu” arasındaki ilişkilerin belirlenmesinin amaçlandığı bu çalışma, Türkiye genelinde 217 şantiye şefi ile 307 çalışana uygulanan liderlik ve motivasyon konulu anket yardımıyla önemli bulgular elde edilmesini sağlamıştır. Bu bölümde öncelikle çalışmanın sonuçları maddeler halinde açıklanarak sunulduktan sonra, Türk inşaat sektörüne öneriler ayrı bir alt başlıkta verilmiştir.

4.1. Sonuçlar

Çalışma ile elde edilen özgün sonuçlar aşağıda satır başlarıyla özetlenmiştir:

- Her iki gruptaki anket formlarının analizi sonucu elde edilen bulgular incelendiğinde, liderlerin ve çalışanlarının, şantiye şefinin liderlik tiplerini algılamalarında dönüştürücü ile etkileşimci liderlik tipinde anlamlı bir farklılık tespit edilmezken, pasif/kaçınan liderlik tipinde bir ayrışma görülmektedir. Şantiye şeflerinin oldukça küçük bir bölümü uyguladığı liderlik tarzını “kaçınan lider” olarak tanımlarken, çalışanlarının sayıca daha fazla bölümünün şeflerini bu liderlik tipinin davranışlarıyla betimlemesi dikkat çekici bir sonuçtur. Bu duruma, liderlerin yani şantiye şeflerinin kendi liderlik tarzlarını ölçen sorularda olumsuzluk ibaresi içeren sorularda düşük skorlama refleksiyle hareket etmelerinin neden olabildiği düşünülebilir.
- Veri madenciliği analizi ile elde edilen bulgular incelendiğinde, Türk inşaat sahalarında işin yapıldığı coğrafi bölge ile çalışanların motivasyonu ekseninde doğrudan bir birliktelik bulunduğu ifade edilebilir. Çünkü bu kısımdaki kuralların genelinde, çalışılan coğrafi bölge niteliği kurallara dahil olmuştur. Bu durum da, yukarıda söz edilenleri yani coğrafi bölgenin çalışan motivasyonu üzerinde etkisi olduğu gerçeğini ortaya

çıkarmaktadır. Ancak doğal olarak, çalışılan bölge niteliğinin diğer niteliklerden bağımsız olarak tek başına çalışan motivasyonunu belirleyici olabileceği algısına düşülmemelidir. Bölge değişkenin, diğer nitelikler ile beraber çalışan motivasyonu üzerinde etkili olduğu saptanmıştır.

- Çalışmanın ana bulgularının yer aldığı Tablo 3'teki bazı kurallarda güven değerinin 1.00 olarak ortaya çıkması, çalışan motivasyonu sınıf etiketine göre oluşan söz konusu kuralların tamamında o satırdaki tüm niteliklerin birlikte bulunduğu anlamındadır. Yani bu konuda bir istisna bulunmadığı anlamı ortaya çıkmaktadır. Bulgular bölümünde de belirtildiği üzere, çalışanlar İç Anadolu Bölgesi'nde görev yapıyor ve haftalık ücret alıyorsa bu çalışanların motivasyonu yüksek olarak tespit edilmiştir. Bu kesin yargıya, bu kuralın güven değerinin 1.00 olmasından ulaşılmıştır. Bir başka deyişle ilgili bölgede, haftalık ücret aldığını anket formunda beyan eden tüm çalışanların anketlere verdikleri cevaplar analiz edildiğinde, hepsinin motivasyonunun yüksek olduğu sonucu elde edilmiştir. Analiz sonucunda elde edilen bu kural; çalışmada kullanılan veri setine kapsamında kesin olarak yorumlanmıştır.
- Bu çerçevede, bu çalışma bulgularının özellikle güven değeri yüksek olanların inşaat sektörü işletmelerine sunulmasının sektör açısından yararlı olabileceği de, bu çalışmanın bir başka önemli sonucu olarak ifade edilebilir. Özellikle bölge bazlı sonuçların ilgili bölge paydaşlarına iletilmesinin, sektörde "liderlik-motivasyon" kaynaklı sorunların giderilebilmesinde yardımcı rol oynayabileceği de yazarlarca bu bölümde vurgulanmaktadır.
- Çalışmanın bir diğer önemli sonucu, çalışanların beklentilerinin; çalışılan bölge, eğitim durumu, çalışma pozisyonu, iş tecrübesi gibi faktörler etrafında farklılıklar gösterebileceğini ortaya koymasıdır. Bu açıdan, inşaat işletmelerinin çalışanlarında yüksek motivasyon sağlayabilmek için hangi liderlik tip ya da tiplerini uygulayacakları firma/kurum özelinde değerlendirilmesi gereken bir durumdur. Çalışma liderlik görevi üstlenen yöneticilere yol gösterici nitelikte olup, değişken stratejiler içerebilir.

4.2. Öneriler

Çalışmanın bu bölümünde ise, inşaat sektörü paydaşlarına elde edilen sonuçlar uyarınca öneriler sunulmaktadır.

- Çalışmanın sonuç bölümünde bahsedildiği üzere, inşaat sektöründe yönetici konumunda bulunanların bu çalışma ile sunulan bulguları ele alarak, işletmelerinde

çalışanların beklentilerine uygun, çalışanların motivasyonunu yükseltebilecek liderlik tarzlarının ilkelerine uygun davranmaları hem sektörün hem de şirketlerinin faydasına olacaktır. Ayrıca inşaat şirketlerinin bu çalışmayı işletmeleri içinde yapmaları neticesinde, şantiyelerinde çalışanların motivasyonlarının orta özellikle de düşük olmasına sebebiyet verecek kurullarla uyumlu yönetim şekillerinden kaçınmaları mümkün olabilecektir.

- Çalışmanın spesifik sonuçları arasında yer alan; çalışanlara göre liderin liderlik tarzının pasif/kaçınan olarak tespit edildiği durumlarda, çalışan motivasyonu genellikle düşük değerde çıkmıştır. Bu kurullarda daha önce de açıklandığı üzere diğer niteliklerin de etkisi bulunmakla birlikte inşaat çalışanlarının, kaçınan liderlik tarzı ile yönetilmeyi istemediği açıktır. Şantiyelerin lideri konumundaki şantiye şeflerinin “sorumluluktan kaçmama, hızlı karar verme, sorunları ertelememe, problem ortaya çıktığında sahiplenme, etkili yöneticilik refleksi gösterme” gibi davranışlar sergilemelerinin çalışan motivasyonuna pozitif etki yapacağı düşünülmektedir. O halde sektörde çalışan şantiye şeflerinin, pasif/kaçınan liderliğin alt bileşenlerine ilişkin ölçütleri bilerek, bunlardan kaçınmaları, çalışanlarının motivasyonunun düşük olmasını engellemeye katkı sunabilecektir. Bu öneri, çalışmanın en önemli ve somut tavsiyeleri arasındadır.
- Yazarlarca, bu araştırma ile elde edilen çalışan motivasyonunu yükseltebilecek sonuçların inşaat sektörünün ilgili paydaşlarına ulaştırılmasının önemli olduğu düşünülmektedir.
- Son olarak, veri madenciliği uygulamaları ile veri setleri içinden anlamlı bilgilere ulaşıp bunların kullanılmasının inşaat sektörünün tamamına yarar sağlayacağı söylenebilir. Sonraki araştırmalarda veri madenciliği yöntemlerinin sadece bu çalışmanın konusu ile sınırlı kalmayıp, inşaat sektöründe hacim ve sayı bakımından çokça veri elde edilebilen alanlarında (geoteknik, ulaştırma, mekanik, hidrolik gibi) yapılacak araştırmalarda kullanılabileceği belirtilmektedir.

Teşekkür

Bu çalışma Çukurova Üniversitesi Araştırma Projeleri Birimi tarafından desteklenmiştir. Proje No: FDK-2015-3533.

Bu çalışma, birinci yazarın ikinci yazar danışmanlığında hazırladığı doktora tezinden üretilmiştir.

Yazarların Katkısı

Tüm yazarlar bu çalışmaya eşit katkıda bulunmuştur.

Çıkar Çatışması Beyanı

Bu çalışmada, yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar

- Agrawal, R., Srikant, R., (1994, Eylül). Fast algorithms for mining association rules in large databases. *Proceedings of the 20th International Conference on Very Large Databases (VLDB)*: 487-499.
- Alblooshi, M., Shamsuzzaman, M., Haridy, S., (2021). The relationship between leadership styles and organisational innovation : A systematic literature review and narrative synthesis. *European Journal of Innovation Management*, 24 (2): 338-370.
- Ardichvili, A., (2001). Leadership styles and work-related values of managers and employees of manufacturing enterprises in post-communist countries. *Human Resource Development Quarterly*, 12(4): 363-383.
- Bass, B.,M., Avolio, B.,J., (2006). MLQ for Researchers. <https://www.mindgarden.com/16-multifactor-leadership-questionnaire>. (Erişim Tarihi: 07 Şubat 2015).
- Brooks, R., (2009). Motivation and Leadership Styles among Medical Personnel Located in Washington DC Metropolitan Military Medical Centers. *Degree Doctor of Management in Organizational Leadership*, University of Phoenix, USA, Arizona.
- Demir, H., Okan, T., (2008). Etkileşimsel ve dönüşümsel liderlik: Bir ölçek geliştirme denemesi, *İstanbul İktisadi Enstitüsü Dergisi*, 61: 72-90.
- Eide, A. E., Saether, E. A., Aspelund, A., (2020). An investigation of leaders' motivation, intellectual leadership, and sustainability strategy in relation to Norwegian manufacturers' performance. *Journal of Cleaner Production*, 254.
- Fjendbo, T. H. (2021). Leading Employees of Different Genders: The importance of gender for the leadership-motivation relationship. *Review of Public Personnel Administration*, 41(4): 651-673.
- Garner, S., R., (1995). Weka: The Waikato Environment for Knowledge Analysis. *Proc New Zealand Computer Science Research Students Conference*, 57-64.
- Górecki J., Bojarowicz E., Bizon-Górecka J., Zaman U., Keleş, A. E. (2022). Leadership models in era of new technological challenges in construction projects. *Plos One*. 17(12).
- Hartog D., Deanne N., Muijen V., Jaap J., Koopman, P., L., (1997). Transactional Versus Transformational Leadership: An Analysis of MLQ. *Journal of Occupational and Organizational Psychology*, 70: 19-34.
- Kanbak, D. F., Kaya Keleş, M. (2022). Öznitelik seçici olarak balina optimizasyon algoritması kullanarak türkçe metinlerde siber zorbalığın tespiti. *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi*. 12(2): 676-690.
- Kaya M., Keleş, A. E., Laptalı O., E., (2013). Construction crew productivity prediction by using data mining methods, *Proceedings of the 4th World Conference on Learning, Teaching and Educational Leadership, Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 141: 1249-1253.
- Kaya, M., Özel, S. A., (2014). Açık kaynak kodlu veri madenciliği yazılımlarının karşılaştırılması, *Akademik Bilişim Konferansları Bildiriler Kitapçığı*: 47-53.
- Kaya Keleş, M., Kılıç Ü., Keleş, A. E. (2021). Proposed artificial bee colony algorithm as feature selector to predict the leadership perception of site managers. *The Computer Journal*. 64(3): 408-417.

- Keleş, A., E., Kaya, M., (2014). Duvar inşa edilmesinde verimliliği etkileyen faktörlerin apriori veri madenciliği yöntemi kullanılarak analizi. *Akademik Bilişim Konferansları*, AB 2014.
- Keleş, A. E., (2016). *İnşaat Projelerinde Şantiye Şeflerinin Liderliği Ve Çalışan Motivasyonu İlişkisinin Veri Madenciliği İle Belirlenmesi*. Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Koçak, R. D., Özudoğru, H. (2012). Yöneticilerin liderlik özelliklerinin çalışanların motivasyonu ve performansı üzerindeki etkileri: Kamu ve özel hastanelerinde bir uygulama. *Gazi Üniversitesi Ticaret ve Turizm Eğitim Fakültesi Dergisi*, 1: 76-88.
- Koyuncugil, A., S., Özgülbaş N., (2009). Veri madenciliği: Tıp ve sağlık hizmetlerinde kullanımı ve uygulamaları. *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, 2 (2).
- Liang, X., Xue, C., Huang, M. (2010). Improved apriori algorithm for mining association rules of many diseases. In: Cai, Z., Tong, H., Kang, Z., Liu, Y. (eds) *Computational Intelligence and Intelligent Systems. ISICA 2010. Communications in Computer and Information Science*, 107. Springer. Berlin, Heidelberg.
- Özdamar, K., (2004). *Paket Programlar ile İstatistiksel Veri Analizi*, 4. Baskı, Kaan Yayınevi: Eskişehir.
- Özkalp, E., Kirel Ç. (2004). *Örgütsel Davranış*, 2. Baskı, Anadolu Üniversitesi Yayınları, Eskişehir.
- Ugar Y., (2019). *Okul Müdürlerinin Liderlik Uygulamaları İle Öğretmenlerin Motivasyonu Arasındaki İlişki*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- Uluköy, M., Kılıç R., Bozkaya E., (2014). Hiyerarşik yapısı yüksek olan kurumlarda liderlik yaklaşımlarının çalışanların motivasyonu üzerine etkisi. *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 19(1): 191-206.

Giresun Pazarlarında Satışa Sunulan Peynir Örneklerinden *Enterococcus faecalis* izolasyonu, Moleküler Tanımlanması ve Antibiyotik Duyarlılıklarının Araştırılması

Tuğba CEBECİ* 

Öz

Enterokoklar, gıda kontaminasyonundan sorumlu, mevcut virülansları ve çoklu ilaca dirençleri nedeniyle hastane ortamında salgın bir tehdit oluşturabilen fırsatçı patojenlerdir. Bu çalışma, pazarlarda satılan tulum peyniri örneklerindeki *Enterococcus faecalis* (*E. faecalis*) kontaminasyonunu ve elde edilen izolatların 17 farklı antibiyotiğe karşı dirençliliklerini araştırmak amacıyla gerçekleştirilmiştir. Giresun İli, 8 sahil ilçesinde kurulan pazarlardan temin edilen toplam 50 adet tulum peynir örneği materyal olarak kullanılmıştır. Yapılan analiz sonuçlarına göre; 50 adet tulum peyniri örneğinin 15 (%30) tanesinin *E. faecalis* ile kontamine olduğu belirlenmiştir. PCR ile doğrulanan 15 *E. faecalis* izolatının, 6(%40)'sının tetrasiklin'e, 4(%26.6)'ünün rifampin'e, 4(%26.6)'ünün teikoplanin'ine, 3(%20)'ünün siprofloksasin'e, 3(%20)'ünün kloramfenikol'e, 2(%13.3)'sinin eritromisin'e, 2(%13.3)'sinin levofloksasin'e ve 2(%13.3)'sinin fosfomisin'e karşı dirençli olduğu belirlenmiştir. *E. faecalis* izolatlarında vankomisin direnci %93.3 olarak tespit edilmiştir. İzole edilen suşlarda yüksek düzey streptomisin direnci ve yüksek düzey gentamisin direnci saptanmamıştır. Elde edilen veriler sonucunda, peynir örneklerinde bu patojenin saptanması, halk sağlığını ciddi anlamda etkileyen potansiyel risk faktörü olarak karşımıza çıkmaktadır. Çiftlikten sofraya kadar gelen süreçte; ürünlerin işlenmesi, tüketilmesi ve satışı sırasında gerekli hijyen tedbirlerinin alınması önerilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Tulum peyniri, *Enterococcus faecalis*, MALDI-TOF MS, antibiyotik duyarlılığı, gıda hijyeni, halk sağlığı.

Isolation, Molecular Identification and Antibiotic Sensitivity of *Enterococcus faecalis* from Cheese Samples Sold in Giresun Public Markets

Abstract

Enterococci are opportunistic pathogens responsible for food contamination that can pose an epidemic threat in the hospital setting due to their current virulence and multidrug resistance. This study was carried out to investigate the contamination *E. faecalis* in the samples of tulum cheese sold in the public markets and antibiotic resistance to 17 different antibiotics of the obtained isolates. A total of 50 tulum cheese samples were used as a material obtained from public markets 8 coastal districts of Giresun province. According to the results of the analysis; 15 out of 50 tulum cheese samples (30%) were found contaminated with *E. faecalis*. Two isolates against (13.3%) fosfomycin, 2 isolates against (13.3%) levofloxacin, 2 isolates against (13.3%) erythromycin, 4 isolates against (26.6%) teicoplanin, 4 isolates against (26.6%) rifampin and 6 isolates against (40%) tetracycline resistance was confirmed by PCR in 15 *E. faecalis* isolates. Vancomycin resistance was found to be 93.3% in *E. faecalis* isolates. None of the strains showed resistance to high level streptomycin and high level gentamicin. As a result of the detection of this pathogen in cheese samples, there is a potential risk factor that seriously affects public health. From farm to table, it is recommended to take necessary hygiene measures during processing, consumption, and sale of the products.

Keywords: Tulum cheese, *Enterococcus faecalis*, MALDI-TOF MS, PCR, antibiotic sensitivity

¹Giresun Üniversitesi, Espiye MYO, Tıbbi Hizmetler ve Teknikler Bölümü, Espiye, Giresun, tuğba.cebeci@giresun.edu.tr

¹<https://orcid.org/0000-0001-8960-0587>

1. Giriş

Tulum peyniri, Türkiye'nin en popüler yarı sert peynirlerinden biridir. Köy halkı tarafından geleneksel yöntemlerle çiğ süttten üretilmekte ve halk pazarlarında pazarlanmaktadır (Colak ve ark., 2007). Peynirler, tüketim için güvenli olarak nitelendirilse de, ciddi semptomlar ve yüksek ölüm oranı ile ilişkili gıda kaynaklı salgınlara neden olduğu görülmektedir (Kousta ve ark., 2010).

Hayvanların ve insanların gastrointestinal (GI) sistemi, genellikle enterokoklar da dahil olmak üzere çeşitli bakterileri barındırır. Enterokoklar, kommensal mikroorganizmalardır, ancak son 20 yılda antimikrobiyal direncin kazanılması nedeniyle hastane kaynaklı önemli patojenler haline gelmiştir (Výrostková ve ark., 2021; Jahansepas ve ark., 2022). Gıdada enterokok oluşumu, zayıf üretim uygulamalarının ve ürün kontaminasyonunun bir göstergesidir (Hussein ve ark., 2020). *E. faecalis* ve *E. faecium* türlerinin suşları fermente peynirde en baskın türler olarak kabul edilmiş ve en sık insan ve hayvan enfeksiyonları ile ilişkilendirilmiştir (Mrkonjic Fuka ve ark., 2017). *E. faecalis*, peynir yapım sürecine ya doğrudan süt yoluyla, su kirletici olarak ya da peynir üretim ve işleme ekipmanı yoluyla girer (Giraffa, 2003; Del Rio ve ark., 2021).

Et ve süt ürünleri gibi gıdalardan izole edilen enterokoklarda antibiyotik direnci oldukça yaygındır. Ayrıca enterokokların klinik pratikte kullanılan antibiyotiklere direnci giderek artmaktadır. Enterokoklarda, antimikrobiyal direnç, gen transfer sistemleri tarafından kazanılır veya içsel olarak bulunur. Vankomisin direnci konjugasyon yoluyla aktarılabilir olarak tanımlanmıştır. Enterokok enfeksiyonlarının tedavisi zordur çünkü doğası gereği antimikrobiyal dirençli *Enterococcus*, yüksek düzeyde aminoglikozit direnç genleri edinmiştir. Antimikrobiyal dirençli hayvansal kökenli enterokokların ortaya çıkışı, bu bakterilerin insanlara bulaşması açısından önemli bir risk oluşturmaktadır (Şanlıbaba ve Şentürk, 2018; Elmalı ve Can, 2018; Özdemir ve Tuncer, 2020; Soni ve ark. 2022).

E. faecalis, gıda güvenliği ve halk sağlığı için bir risk olarak bilinir. Hayvansal gıda ürünlerinden biri olan peynir, *E. faecalis* rezervuarı olabilir ve bunların insanlara yayılmasında ve iletilmesinde önemli bir rol oynayabilir. Giresun iline özgü tulum peyniri örneklerindeki *E. faecalis* prevalansı ve antimikrobiyal yatkınlığı hakkındaki çalışmaların yetersizliği nedeniyle bu çalışmada, *E. faecalis* türünün peynirlerdeki dağılımı ve antibiyotiklere karşı duyarlılıklarının araştırılması amaçlanmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Örnek Toplanması

Araştırmada, Mayıs 2019- Mayıs 2020 yılları arasında Giresun sahil şeridinde yer alan Tirebolu (5 örnek), Keşap(5 örnek), Eynesil (3 örnek), Piraziz (5 örnek), Bulancak (10 örnek), Görele (7 örnek), Espiye (10 örnek) ve Merkez (5 örnek) ilçelerine ait olan halk pazarlarından 50 adet tulum peyniri örneği toplanarak steril poşetler içerisine alınmıştır. Tüm numuneler mikrobiyolojik analizler için 2 saat içerisinde soğuk zincir altında Giresun Üniversitesi Espiye Meslek Yüksekokulu Laboratuvarına taşınmıştır. Örnekler laboratuvara getirilerek aynı gün içerisinde analizlere başlanmıştır.

2.2. *E. faecalis* izolasyonu

Araştırmada toplanan tulum peyniri örnekleri 25 g'lık örnekler halinde, steril şişelere hazırlanmış 225'şer ml %0.1 pepton su besiyerlerine ilave edildikten sonra homojenizatörde 2 dakika homojenize edilmiştir. Homojenizasyon işleminden sonra peptonlu su örneklerinden 10⁵'e kadar desimal dilüsyonlar hazırlanmıştır. Hazırlanan her bir dilüsyondan 0,1'er ml alınarak Chromocult Enterococci Agar'a (Merck, Darmstadt, Germany) inokulasyonları yapılmıştır ve inokule edilen petri kutuları 37°C'de 24-48 saat inkübe edilmiştir. İnkübasyon süresi sonunda oluşan tipik kırmızı, küçük ve yuvarlak koloniler şüpheli olarak değerlendirilmiştir. Şüpheli koloniler saflaştırma için Brain Heart Infusion Agar'a (BHIA; Neogen, Lansing, MI, USA) ekilerek, 30°C'de 24 saatlik inkübasyonu takiben koloniler morfolojik olarak ve gram boyama yapılarak saflıkları kontrol edilmiştir (Abouelnaga ve ark., 2016).

2.3. Şüpheli izolatların Matris aracılı lazer dezorpsiyon iyonizasyon uçuş zamanı kütle spektrometresi (MALDI-TOF MS) ile tanımlanması

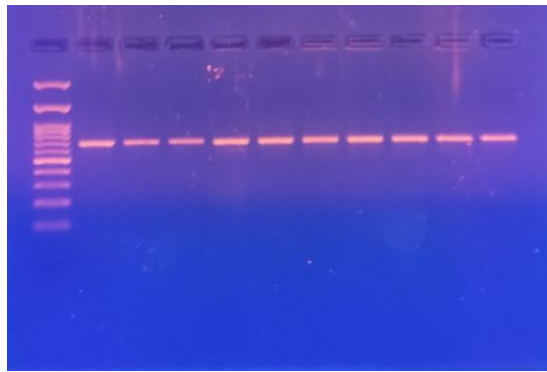
Elde edilen şüpheli izolatların Blood Agar Base'e kültürleri alınmıştır ve 37°C'de 24 saat inkübe edilerek, besiyerinde üreyen şüpheli tipik kolonilerden steril öze ucu ile bir ya da iki koloni olacak şekilde cihaza ait olan slaytlar üzerindeki kuyucuklara sürülmüştür. Bu işlemi takiben kuyucuklara 1 µl matris solüsyonu (% 50 asetonitril ve% 2.5 trifloroasetik asit içinde doymuş-siyano-4-hidroksisinnamik asit çözeltisi) (VITEK MS-CHCA, bioMérieux, Marcy l'Etoile, France) pipetlenmiş ve kuruyana kadar oda koşullarında 1-2 dk bekletilmiştir. Slayt kasete yerleştirilerek VITEK MALDI-TOF MS'e yüklenmiştir (Moon ve ark., 2013).

2.4. DNA izolasyonu

Enterococcus izolatlarının genomik DNA'ları, bir öze dolusu ekim yapılmış bir gecelik Brain Heart Infusion (Neogen Corporation, Acumedia, Lansing, MI) kültüründen ekstrakte edilmiş ve lizis tamponuna (%0.25 SDS ve 0.05M NaOH) aktarılmıştır. Süspansiyon 95-100 °C'de 5 dakika inkübe edilmiş ve 5 dakika 13.000 rpm'de santrifüjlenmiştir. Daha sonra 180 µL Tris-HCl 10 mM (pH=8.5) eklenmiş ve süspansiyon 7 dakika 13.000 rpm'de santrifüjlenmiştir. Süpernatant temiz eppendorfa aktarılmış ve kullanılıncaya kadar -20 °C'de saklanmıştır (Russo ve ark., 2018).

2.5. İzolatların polimeraz zincir reaksiyonu (PCR) ile doğrulanması

MALDI-TOF MS yöntemi kullanılarak tanımlanan tüm *E. faecalis* izolatları, 16S rRNA 5'-AGCGCAGGCGGTTTCTTAA-3' ve 5'-CTCGTTGTACTTCCCATTGT-3' (678bp) (Chotinantakul ve ark., 2018) spesifik primeri kullanılarak PCR ile doğrulanmıştır. Virülans genleri için ise PCR karışımı, toplam 50 µl hacimde 10X PCR Buffer, 1,5 mM MgCl₂, 200 mM dNTP, 1,4U Taq-Polymerase, her primerden 0,2 mM ve 5 µl DNA olacak şekilde hazırlanmıştır. Gen amplifikasyonu ise 94°C'de 4 dakika ilk denatürasyon ve 35 siklus, 94°C'de 30 saniye denatürasyon, 56°C'de 30 saniye primer bağlanması, 72°C'de 1 dakika primer uzaması ve 72°C'de 10 dakika son uzama olacak şekilde programlanmıştır. Elde edilen ampliconlar elektroforez işlemi için % 1,5'lik agaroz içinde 80 volt akımda 50 dakika koşturulmuştur. Elektroforez sonunda genler UV transilluminatörde görüntülenmiştir.



Şekil 1. *E. faecalis* izolatlarının PCR görüntüsü

2.6. İzolatların antibiyotik duyarlılıklarının belirlenmesi

İzolatlarda antibiyotik duyarlılığını belirlemek için; penisilin (P, 10 units), ampicilin (AM, 10 µg), vankomisin (VA, 30 µg, 5 µg), teikoplanin (TEC, 30 µg), eritromisin (E, 15 µg), tetrasiklin (TE,

30 µg), siprofloksasin (CIP, 5 µg), rifampin (RD, 5 µg), kloramfenikol (C, 30 µg), linezolid (LNZ, 30 µg), imipenem (IPM, 10 µg), fosfomisin (FF, 200 µg), levofloksasin (LEV, 5 µg), nitrofrontoin (F, 300 µg), tigesiklin (TGC, 15 µg), streptomisin (S, 300 µg) ve gentamisin (CN, 120 µg) antibiyotik diskleri kullanılmıştır. *E. faecalis* izolatlarının 17 farklı antibiyotiğe dirençlilik/duyarlılık durumlarının belirlenmesinde Clinical and Laboratory Standards Institute (CLSI) tarafından önerilen standart disk diffüzyon tekniği kullanılmıştır. İnkübasyon sonrasında disklerin çevresinde oluşan inhibisyon bölgelerinin çapları ölçülmüştür ve CLSI (2022) ve EUCAST (2022)'de açıklanan zon bölge tablosuna göre değerlendirilmiştir. Kontrol suşu olarak *S. aureus* ATCC 25923 kullanılmıştır.



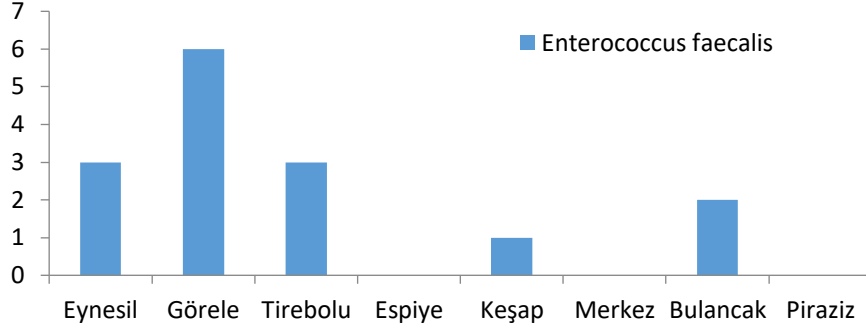
Şekil 2. *E. faecalis* antibiyogram görüntüsü

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. *E. faecalis* varlığı

Hem gıda hem de insan numunelerinden elde edilen enterokoklardaki virülans karakterlerinin benzerlikleri, hayvansal gıdaların alınmasının enterokok enfeksiyonlarında önemli bir kaynak olabileceğini düşündürmektedir. Geleneksel peynir çeşitlerinde başta *E. faecalis* ve *E. faecium* olmak üzere enterokokların dağılımı insan sağlığı açısından potansiyel risk oluşturmaktadır ve yakından takip edilmelidir (Kürekci ve ark., 2016; Jahansepas ve ark., 2020). Bu çalışmada, Giresun ilinde nüfusun büyük bir bölümü tarafından tüketilen tulum peyniri yoluyla *E. faecalis*'in potansiyel yayılımı değerlendirilmiştir. Bu çalışmada, tulum peyniri örneklerinden izole edilen toplam 15 (%30) *E. faecalis* izolatının, 6 tanesi Görele, 3 tanesi Eynesil, 3 tanesi Tirebolu, 2 tanesi Bulancak ve 1 tanesi Keşap ilçelerinde tespit edilmiştir. Türkiye (Sanlibaba ve Senturk, 2018) dahil Hırvatistan (Mrkonjic Fuka ve ark., 2017) ve İran (Jahansepas ve ark., 2022) gibi çeşitli ülkelerdeki çalışmalarda, tüketime sunulan peynir için *E. faecalis* kontaminasyonu insidansı %42.4–%83.3 olarak bildirilmiştir. *E.*

faecalis 'nin peynir prevalansına ilişkin mevcut veriler çeşitlidir. *E. faecalis*'in peynirdeki yaygınlık oranlarındaki farklılıklar, gıda işleme sırasında üretim, nakliye ve hijyen koşullarındaki farklılıkları yansıtabilir.



Şekil 3. *E. faecalis* varlığının ilçelere göre dağılımı

3.2. Antibiyotik duyarlılık sonuçları

Antibiyotiklere sürekli maruz kalma ve bunların sırasıyla profilaktik ajanlar veya büyüme destekleyicileri olarak insan ve veteriner ilaçlarında yoğun kullanımı, birden fazla farklı antibiyotik sınıfına dirençli enterokok suşlarının insidansında artışa neden olmuştur (Economou ve ark., 2016). Bu çalışmada, *E. faecalis* suşları, veterinerlik ve insan sağlığı açısından önemi olan 17 antibiyotiğe karşı duyarlılık açısından test edilmiştir. Bu çalışmada, yapılan antibiyotik dirençlilik testleri sonucunda peynirlerden elde edilen *E. faecalis* izolatlarının 6 tanesinin (%40) tetrasiklin'e, 4 tanesinin (%26.6) rifampin'e, 4 tanesinin (%26.6) teikoplanin'ine, 3 tanesinin (%20) siprofloksasin'e, 3 tanesinin (%20) kloramfenikol'e, 2 tanesinin (%13.3) eritromisin'e, 2 tanesinin (%13.3) levofloksasin'e ve 2 tanesinin (%13.3) fosfomisin'e dirençli oldukları, izolatların 12 tanesinin (%80) eritromisin'e, 12 tanesinin (%80) siprofloksasin'e, 11 tanesinin (%73.3) teikoplanin'ine, 3 tanesinin (%20) nitrofrontoin'e, 2 tanesinin (%13.3) rifampin'e, 1 tanesinin (%6.6) ampisilin'e ve 1 tanesinin (%6.6) tetrasiklin'e orta dirençli oldukları saptanmıştır. Araştırma sonuçlarına benzer şekilde Sanlibaba ve Senturk (2018), peynir izolatlarının rifampine, tetrasikline ve siprofloksasine karşı yüksek bir direnç yüzdesine sahip olduklarını bulmuşlardır. Ayrıca Vřrostková ve ark. (2021)'lerinin peynir izolatlarında, yüksek direnç yüzdesine sahip antibiyotikler arasında rifampin olduğunu bildirmişlerdir. Benzer konuda yapılan diğer bir çalışmada da, *E. faecalis* izolatlarının farklı antibiyotiklere karşı dirençliliklerinde farklılıklar bulduklarını belirtmişlerdir (Elmalı ve Can, 2018). Bu çalışmada değerlendirilen antibiyotiklere karşı fenotipik olarak değişik direnç seviyeleri tespit edilmiştir. Veriler arasındaki değişkenlikler, farklı coğrafi bölgeler arasında numune tipi, izolat sayısı ve izolatın genetik varyasyonundaki farklılıklar olabilir. Antibiyotik kullanımındaki farklılıklardan dolayı bu dalgalanmaların ülkeler arasında farklılık göstermesi beklenebilir.

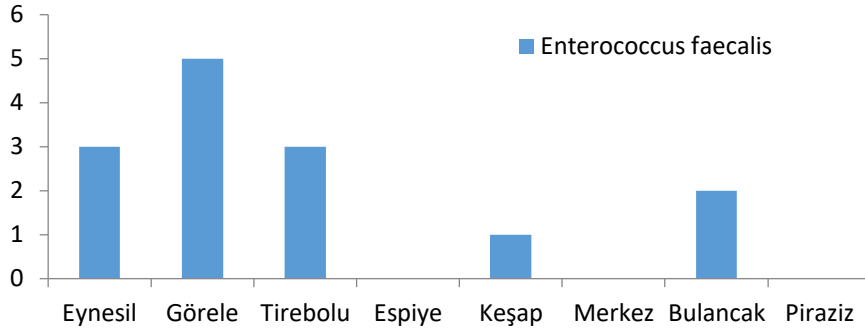
Tablo 1. Tulum peyniri örneklerinden izole edilen *E. faecalis* izolatlarının antibiyotik duyarlılıkları

Antibiyotikler	<i>E. faecalis</i> izolatları														
	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E11	E12	E13	E14	E15
VA	R	R	S	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
P	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
AM	S	S	S	S	S	I	S	S	S	S	S	S	S	S	S
TEC	R	R	I	R	I	I	R	I	I	I	I	I	I	I	I
E	I	S	I	I	I	I	I	I	I	I	R	I	I	I	R
TE	S	S	S	R	S	R	R	S	R	I	R	S	S	S	R
CIP	I	I	I	I	I	R	I	I	I	I	R	I	I	I	R
LEV	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	R	S	S	S	R
F	S	I	I	S	S	S	I	S	S	S	S	S	S	S	S
TGC	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
IPM	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
RD	S	I	S	S	S	I	R	R	R	S	S	S	S	S	R
FF	S	S	R	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	R	S
C	S	S	S	R	S	S	S	S	S	S	R	S	S	S	R
LNZ	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
YDS.	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
YDG	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S

VA; Vankomisin, P; Penisilin, AM; Ampisilin, TEC; Teikoplanin, E; Eritromisin, TE; Tetrasiklin, CIP; Siprofloksasin, LEV; Levofloksasin, F; Nitrofrontoin, TGC; Tigesiklin, IPM; İmipenem, RD; Rifampin, FF; Fosfomisin, C; Kloramfenikol, LNZ; Linezolid, YDS.; Yüksek Düzey Streptomisin, YDG; Yüksek düzey gentamisin.

3.3. Vankomisin dirençliliği

Vankomisine dirençli enterokok (VRE) enfeksiyonları, giderek yaygınlaşmakta ve tedavi edilmesi güçleşmekte olup, genellikle enfeksiyon kontrolü için muazzam zorluklar oluşturan uzun süreli hastane salgınları olarak ortaya çıkmaktadır (Rubinstein ve Keynan, 2013). Üretim ortamında ve/veya peynirlerde vankomisine dirençli mikroorganizmaların varlığı insanlar için ciddi bir sağlık riski oluşturabilir (Aragão ve ark., 2022). Bu çalışmada, yapılan antibiyotik dirençlilik testleri sonucunda peynirlerden elde edilen toplam 15 *E. faecalis* izolatının 14(%93.3)'ünün vankomisin'e dirençli oldukları bulunmuştur. Vankomisin dirençli 14 *E. faecalis* izolatının, 5 tanesi Görele, 3 tanesi Eynesil, 3 tanesi Tirebolu, 2 tanesi Bulancak ve 1 tanesi Keşap ilçelerinde tespit edilmiştir. Vankomisin'e karşı ülkemizde %80 direnç oranı bildirilmiştir (Yuksel ve ark. 2015; Ayhan ve ark., 2020). Bu oran dünya genelinde farklılıklar göstermekte olup Polonya'da %3.1 (Chajęcka-Wierzchowska ve ark., 2020), Mısır'da %72.2 (Sadek ve Koriem, 2022) ve Hindistan'da % 67.12 (Soni ve ark., 2022) olarak bildirilmiştir.



Şekil 4. Vankomisin dirençli *E. faecalis* izolatlarının ilçelere göre dağılımı

3.4. Yüksek düzey aminoglikozit dirençliliği

Yüksek düzey aminoglikozite dirençli (YDAD) enterokoklar ilk olarak 1980'lerde insanlarda rapor edilmiş ve dünya çapında çiğ süt veya süt ürünlerinde antimikrobiyal direnç profillerini araştıran çeşitli çalışmalarda tanımlanmıştır (Kang ve ark., 2021; Chajęcka-Wierzchowska ve ark., 2021; Palmeri ve ark., 2020). Bu çalışmada tulum peyniri örneklerinden elde edilen 15 *E. faecalis* izolatlarında yüksek düzey streptomisin ve yüksek düzey gentamisin direnci tespit edilmemiştir. Türkiye'de peynir örneklerinde YDG ve YDS direnç gösteren enterokok varlığını belirlemek üzerine yapılan çalışmalarda Aksaray ilinde tüketilen tulum peyniri örneklerinde YDS direnci gösteren *E. faecalis* oranı % 32 ve YDG direnci gösteren *E. faecalis* oranı % 8 olarak bulunmuştur (Ayhan ve ark., 2020). Şanlıbaba ve Şentürk (2018) gerçekleştirdikleri benzer bir çalışmada peynir örneklerinden izole ettikleri 125 *E. faecalis* izolatında %4 oranında YDG direnci tespit ettiklerini rapor etmişlerdir. Başka bir geleneksel İran peynirinde Jahansepas ve ark. (2019), 165 *E. faecalis* izolatında YDS ve YDG direnci tespit etmediklerini bildirmişlerdir. Gözlemlediğimiz YDAD prevalansı ve izole edilen YDAD enterokoklarının birincil kaynakları belirsiz olsa da, enterokokların farklı izolasyon kaynaklarında yapılan çalışmalarla birlikte, gıda hayvanlarında antibiyotik kullanımı ile insan bağırsağında antibiyotiğe dirençli bakterilerin varlığı arasında bir bağlantı olduğunu göstermiştir (Levy ve Marshall, 2004; Han ve ark., 2011; Ramos ve ark., 2020).

4. Sonuçlar ve Öneriler

Sonuç olarak; Giresun'da tüketime sunulan 50 peynir örneğinin %30'unun *E. faecalis* ile kontamine olması, açıkta satışa sunulan tulum peynirlerinin potansiyel sağlık tehlikesi oluşturabileceğini ortaya koymaktadır. Pazar ortamlarında bu bakterinin mevcudiyeti, diğer açıkta satılan ürünlere çapraz bulaşma olasılığı riskini taşımaktadır. Ayrıca *E. faecalis* izolatlarını tedavi

etmek için yaygın olarak kullanılan antibiyotiklere karşı dirençli olmaları endişe vericidir ve halk sağlığı için ciddi bir tehlike oluşturur. Antimikrobiyal dirençle birlikte artan bir tehdit daha mevcuttur. Direnç genlerinin enterokoklar tarafından edinilmesinin kolaylığı göz önüne alındığında, antibiyotiklerin terapötik ajanlar olarak ihtiyatlı kullanımı, antibiyotik direnç probleminin yönetiminde önemli bir araçtır. Farklı kaynaklardaki Enterokok yayılımı hakkındaki epidemiyolojik bilgileri izlemeye büyük ihtiyaç vardır. Bu nedenle, perakende pazarlarda *E. faecalis*'in peynirden kaynaklanan kontaminasyon ve kontaminasyonun farklı kaynaklardan izlenmesi, moleküler özelliklerinin sistematik bir değerlendirmesinin yapılması, antimikrobiyal ajanların kullanımının kontrol edilmesi ve ilaca çok dirençli suşların yayılmasını önlemek için proaktif önlemler alınmaları gerekmektedir.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar

- Abouelnaga, M., Lamas, A., Quintela-Baluja, M., Osman, M., Miranda, J. M., Cepeda, A., and Franco, C. M. (2016). Evaluation of the extent of spreading of virulence factors and antibiotic resistance in Enterococci isolated from fermented and unfermented foods. *Annals of Microbiology*, 66(2), 577-585.
- Aragão, B. B., Trajano, S. C., de Oliveira, R. P., da Conceição Carvalho, M., de Carvalho, R. G., Juliano, M. A., Junior, J. W. P., and Mota, R. A. (2022). Occurrence of emerging multiresistant pathogens in the production chain of artisanal goat coalho cheese in Brazil. *Comparative Immunology, Microbiology and Infectious Diseases*, 84, 101785.
- Ayhan, Ş., Kahve, H. İ., Aydın, F., and Ardiç, M. (2020). Antibiotic resistance and hemolytic activity in enterococci isolated from tulum cheese sold in Aksaray province. *Gıda*, 45(4), 689-698.
- Chajęcka-Wierzchowska, W., Zadernowska, A., and García-Solache, M. (2020). Ready-to-eat dairy products as a source of multidrug-resistant *Enterococcus* strains: Phenotypic and genotypic characteristics. *Journal of dairy science*, 103(5), 4068-4077.
- Chotinantakul, K., Chansiw, N., and Okada, S. (2018). Antimicrobial resistance of *Enterococcus* spp. isolated from Thai fermented pork in Chiang Rai Province, Thailand. *Journal of Global Antimicrobial Resistance*, 12, 143-148.
- Clinical and Laboratory Standard Institute (2022) Performance Standards for Antimicrobial Susceptibility Testing. 32th Informational Supplement CLSI supplement M100-A32. Wayne, PA: Clinical and Laboratory Standards Institute.
- Colak, H., Hampikyan, H., Bingol, E. B., and Ulusoy, B. (2007). Prevalence of *L. monocytogenes* and *Salmonella* spp. in tulum cheese. *Food Control*, 18(5), 576-579.
- Del Rio, B., Sánchez-Llana, E., Martínez, N., Fernández, M., Ladero, V., and Alvarez, M. A. (2021). Isolation and characterization of *Enterococcus faecalis*-infecting bacteriophages from different cheese types. *Frontiers in Microbiology*, 3409.
- Economou, V., Sakkas, H., Delis, G., and Gousia, P. (2016). Antibiotic resistance in *Enterococcus* spp. Friend or foe?. *Foodborne pathogens and antibiotic resistance*, 365-395.
- Elmalı, M., and Can, H. Y. (2018). The prevalence, vancomycin resistance and virulence gene profiles of *Enterococcus* species recovered from different foods of animal origin. *Veterinarski arhiv*, 88(1), 111-124.
- EUCAST (2022): The European Committee on Antimicrobial Susceptibility Testing. EUCAST supplement 2022: Breakpoint tables for interpretation of MICs and zone diameters, version 12.0, Växjö, Sweden.

- Giraffa, G. (2003). Functionality of enterococci in dairy products. *International journal of food microbiology*, 88(2-3), 215-222.
- Han, D., Unno, T., Jang, J., Lim, K., Lee, S. N., Ko, G., Sadowsky, M. J., and Hur, H. G. (2011). The occurrence of virulence traits among high-level aminoglycosides resistant *Enterococcus* isolates obtained from feces of humans, animals, and birds in South Korea. *International journal of food microbiology*, 144(3), 387-392.
- Hussein, W. E., Abdelhamid, A. G., Rocha-Mendoza, D., García-Cano, I., and Yousef, A. E. (2020). Assessment of safety and probiotic traits of *Enterococcus durans* OSY-EGY, isolated from Egyptian artisanal cheese, using comparative genomics and phenotypic analyses. *Frontiers in microbiology*, 11, 608314.
- Jahansepas, A., Sharifi, Y., Aghazadeh, M., and Ahangarzadeh Rezaee, M. (2020). Comparative analysis of *Enterococcus faecalis* and *Enterococcus faecium* strains isolated from clinical samples and traditional cheese types in the Northwest of Iran: Antimicrobial susceptibility and virulence traits. *Archives of microbiology*, 202, 765-772.
- Jahansepas, A., Aghazadeh, M., Rezaee, M. A., Heidarzadeh, S., Mardaneh, J., Mohammadzadeh, A., and Pouresmaeil, O. (2022). Prevalence, antibiotic resistance and virulence of *Enterococcus* spp. isolated from traditional cheese types. *Ethiopian Journal of Health Sciences*, 32(4), 799-808.
- Kang, H. J., Yoon, S., Kim, K., and Lee, Y. J. (2021). Characteristics of high-level aminoglycoside-resistant *Enterococcus faecalis* isolated from bulk tank milk in Korea. *Animals*, 11(6), 1724.
- Kousta, M., Mataragas, M., Skandamis, P., and Drosinos, E. H. (2010). Prevalence and sources of cheese contamination with pathogens at farm and processing levels. *Food control*, 21(6), 805-815.
- Kürekci, C., Önen, S. P., Yipel, M., Aslantaş, Ö., and Gündoğdu, A. (2016). Characterisation of phenotypic and genotypic antibiotic resistance profile of enterococci from cheeses in Turkey. *Korean Journal for Food Science of Animal Resources*, 36(3), 352.
- Levy, S. B., and Marshall, B. (2004). Antibacterial resistance worldwide: causes, challenges and responses. *Nature medicine*, 10(Suppl 12), S122-S129.
- Moon, H. W., Lee, S. H., Chung, H. S., Lee, M., and Lee, K. (2013). Performance of the Vitek MS matrix-assisted laser desorption ionization time-of-flight mass spectrometry system for identification of Gram-positive cocci routinely isolated in clinical microbiology laboratories. *Journal of medical microbiology*, 62(9), 1301-1306.
- Mrkonjic Fuka, M., Zgomba Maksimovic, A., Tanuwidjaja, I., Hulak, N., and Schloter, M. (2017). Characterization of enterococcal community isolated from an artisan Istrian raw milk cheese: Biotechnological and safety aspects. *Food Technology and Biotechnology*, 55(3), 368-380.
- Palmeri, M., Mancuso, I., Gaglio, R., Arcuri, L., Barreca, S., Barbaccia, P., and Scatassa, M. L. (2020). Identification and evaluation of antimicrobial resistance of enterococci isolated from raw ewes' and cows' milk collected in western Sicily: A preliminary investigation. *Italian Journal of Food Safety*, 9(4).
- Ramos, S., Silva, V., Dapkevicius, M. D. L. E., Igrejas, G., and Poeta, P. (2020). Enterococci, from harmless bacteria to a pathogen. *Microorganisms*, 8(8), 1118.
- Russo, N., Caggia, C., Pino, A., Coque, T. M., Arioli, S., and Randazzo, C. L. (2018). *Enterococcus* spp. in ragusano PDO and pecorino siciliano cheese types: a snapshot of their antibiotic resistance distribution. *Food and Chemical Toxicology*, 120, 277-286.
- Rubinstein, E., and Keynan, Y. (2013). Vancomycin-resistant enterococci. *Critical care clinics*, 29(4), 841-852.
- Sadek, O. A., and Koriem, A. M. (2022). Multidrug Resistance and Virulence Factors of Enterococci Isolated from Milk and Some Dairy Desserts. *Journal of food quality and hazards control*.
- Sanlibaba, P., and Senturk, E. (2018). Prevalence, characterization and antibiotic resistance of enterococci from traditional cheeses in Turkey. *International Journal of Food Properties*, 21(1), 1955-1963.
- Smith, D. L., Harris, A. D., Johnson, J. A., Silbergeld, E. K., and Morris Jr, J. G. (2002). Animal antibiotic use has an early but important impact on the emergence of antibiotic resistance in human commensal bacteria. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 99(9), 6434-6439.
- Soni, M. M., Anjaria, P. A., Bhavsar, P. P., Nayak, J. B., Chaudhary, J. H., and Brahmabhatt, M. N. (2022). Isolation and Molecular Detection of *Enterococcus faecalis* from Cow Milk of Anand City with Special Reference to Biofilm Production and Multiple Drug Resistance. *Indian Journal of Veterinary Sciences & Biotechnology*, 18(4), 6-9.
- Výrostková, J., Regecová, I., Dudriková, E., Marcinčák, S., Vargová, M., Kováčová, M., and Maľová, J. (2021). Antimicrobial resistance of *Enterococcus* spp. isolated from sheep and goat cheeses. *Foods*, 10(8), 1844.

Yuksel, F. N., Akcelik, N., and Akcelik, M. (2015). Incidence of antibiotic resistance and virulence determinants in *Enterococcus faecium* and *Enterococcus faecalis* strains, isolated from traditional cheeses in Turkey. *Molecular Genetics, Microbiology and Virology*, 30, 206-215.

KARADENİZ FEN BİLİMLERİ DERGİSİ

YAZIM KURALLARI

Özet kısmında çalışmanın yenilikleri ve temel bulguları vurgulanmalıdır. Türkçe ve İngilizce özet kısımları Times New Roman yazı tipi ile yazılmalıdır ve 10 punto büyüklüğü seçilmelidir. Özet kısmının yazımında tek satır aralığı seçilmelidir. Makale özetinin en fazla 200 kelime olmasına dikkat edilmelidir. Türkçe ve İngilizce özetlerin 1 (bir) sayfayı geçmemesi önerilmektedir. Anahtar kelime sayısı en az 3 en fazla 6 olmalıdır.

Makalenin sayfa yapısı A4 kağıt boyutuna ve tüm kenar boşlukları 2 cm olmalıdır. Hem Türkçe hem de İngilizce başlıklar makale konusuna uygun, amacı ve sonucu anlatan, kısa ve yalın olmalıdır. Makale başlığı koyu, ilk harfleri büyük ve ortalanarak 14 punto Times New Roman fontu ile yazılmalıdır. Türkçe makalelerde İngilizce başlık, İngilizce özetten önce verilmelidir. Yazar isimleri kısaltılmadan soy isimler büyük harfle başlığın altına yan yana ortalanarak yazılır. Adreslerde kısaltma kullanılmamalıdır. Farklı adreslere sahip yazarlar için rakamlı üst indis kullanılmalıdır. İsimler Times New Roman 12 punto, düz; adresler ise Times New Roman 10 punto, düz olmalıdır. İsimlerden önce Ünvan yazılmamalıdır. Ayrıca sorumlu yazarın e-posta adresi 10 punto Times New Roman fontunda Sorumlu Yazar kısmına yazılmalıdır.

Ana metin 12 punto yazı büyüklüğünde Times New Roman yazı tipi ile 1,5 satır aralığında ve her iki yana yaslı şekilde yazılmalıdır. Ana bölüm başlıkları numaralandırılmalı, kelimelerin ilk harfleri büyük olmalı ve **koyu (bold)** karakterde yazılmalıdır. Ana bölüm başlığından sonra 1,5 satır aralıklı bir satır boşluk bırakılarak metne geçilmelidir. Başlıkla üst metin arasında da bir satır boşluk bırakılmalıdır. Paragraflar 1 cm içeriden başlamalıdır. Paragraflar arasında boşluk bırakılmamalıdır.

Bu bölümde çalışmayla ilgili yeterli literatür taraması verilmeli, çalışmanın amaçları ve literatürdeki yeri vurgulanmalıdır. Detaylı literatür incelemesinden ve sonuçların özetinin verilmesinden kaçınılmalıdır.

Materyal ve Metot bölümünde çalışmada kullanılan materyal ve metotlar detaylı ve açık bir şekilde anlatılmalıdır.

Şekiller grafik, diyagram fotoğraf, resim, harita olabilir. Şekil yazısı şeklin alt kısmına yazılmalıdır. Hem şekil hem de şekil yazısı sayfaya ortalanmalıdır. Şekil yazılar okunaklı olmalıdır. Şekil ile üst metin arasında 1 satır boşluk bırakılmalıdır. Şekil yazısı ile alt metin arasında da 1 satır boşluk bırakılmalıdır. Şekil yazısı 11 punto ve tek satır aralıklı olarak yazılmalıdır. Şekil yazılarına atıfta bulunulmalıdır.

Tablolar açık çerçeveli tercih edilebilir. Tablo yazısı tablonun üst kısmına yazılmalıdır. Hem tablo hem de tablo yazısı sayfanın soluna hizalanmalıdır. Tablo yazısı ile üst metin arasında 1 satır boşluk bırakılmalıdır. Tablo ile alt metin arasında 1 satır boşluk bırakılmalıdır. Tablo yazıları tercihen

11 punto ile ya da 10 punto ile yazılmalıdır ve tek satır aralığı seçilmelidir. Tablo yazılarına atıfta bulunulmalıdır.

Denklem ekleme ihtiyacı duyulduğunda denklemler sırasıyla 1'den başlanarak numaralandırılmalıdır. Denklem paragraftan başlanarak yazılır. Denklem numarası sağ kenara yerleştirilmelidir. Denklem ile metin arasında üstten ve alttan bir satır boşluk bırakılır. Denklemler resim formatında olmamalıdır.

Bulgular ve Tartışma bölümünde çalışma sonucunda elde edilen bulgular verilmelidir. Elde edilen bulgular ile ilgili literatür çalışmaları yapılarak karşılaştırmalar yapılabilir.

Sonuçlar ve Öneriler bölümünde çalışmadan elde edilen sonuçlar verilmelidir. Okuyucular için öneriler ve görüşler belirtilebilir.

Teşekkür kısmında çalışmada yardımcıları ya da destekleri bulunan kişi veya kişilere ya da kurumlara teşekkür edilebilir.

Yazarların makaleye olan katkıları belirtilmelidir. (Örneğin: Tüm yazarlar çalışmaya eşit katkıda bulunmuştur.), (Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.), (Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.)

Kaynaklar 11 punto yazı büyüklüğünde Times New Roman yazı tipi ile tek satır aralığında yazılmalıdır. Kaynaklar yazar soyadına göre (alfabetik sıralama) dizini hazırlanmalıdır ve sayfanın sol kenar boşluğu hizasından başlanarak yazılmalıdır. Metin içindeki literatür açıklamaları soyadı ve tarih verilme suretiyle (Soyadı, 2017), (Soyadı ve Soyadı, 2017) şeklinde düzenlenmelidir. İki'den fazla yazar olması durumunda birinci yazardan sonra "ark." kısaltılması yapılmalıdır (Soyadı ve ark., 2017). Birden fazla kaynak belirtilmek istendiğinde bunlar noktalı virgül ile ayrılmalıdır (Soyadı, 2017; Soyadı ve Soyadı, 2017). Kaynaklar APA formatından esinlenerek hazırlanmıştır.

Periyodik yayınlar:

Soyadı, A., Soyadı, B. B. ve Soyadı, C., (2017). Yayınlanan Makalenin Adı. *Makalenin Yayınlandığı Dergi Adı*, 7(1), 1-12.

Kitaplar:

Soyadı, A. A., (2017). *Kitap adı*. Kitabın basıldığı yer: Yayınevi.

Sempozyum, Kongre, Bildiri:

Soyadı, A., Soyadı, B. B. ve Soyadı, C., (2017, Ay). Yayınlanan Bildirinin Adı. *Bildirinin Yayınlandığı Sempozyum, Kongre, Toplantı ya da Konferans Adı* (s. 1-12). Şehir: Varsa Üniversite veya Kuruluş.

Tez:

Soyadı, A. A., (2017). *Yüksek Lisans veya Doktora Tezinin Adı*. Yüksek Lisans Tezi, Giresun Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Giresun.

Diğer Kaynaklar:

Hallam, A. Duality in consumer theory [PDF document]. Retrieved from Lecture Notes Online Web site: <http://www.econ.iastate.edu/classes/econ501/Hallam/index.html>
URL-1: <http://www.giresun.edu.tr>, (Erişim Tarihi: 22 Mart 2017).

THE BLACK SEA JOURNAL OF SCIENCES

AUTHOR GUIDELINES

The abstract section should highlight the research in question's novelties and fundamental findings. Both the Turkish and English versions of the abstracts should be single spaced, and should be written in Times New Roman with a 10 pt font size. Abstracts should be no more than 200 words in length. Both versions of the abstract together should not exceed one (1) page in length. Number of keywords should be no less than 3, and no more than 6.

The page structure of the paper should be A4 size (210x297mm) and all margins should be 2 cm. Both Turkish and English titles should be appropriate for the topic of the paper, should describe the purpose of the paper and its conclusion and should be short and simple. The title of the paper should be in bold, with initials large and centered and 14 pt Times New Roman font. The Turkish title in the English papers should be given before the Turkish abstract. Author names are written side by side under the heading, without abbreviation (surnames in capital letters). Abbreviations should not be used in addresses. Numerical overhead indices should be used for authors with different addresses. Names of the authors should be Times New Roman 12 pt. and addresses should be Times New Roman 10 pt and flat. Appellations should not be written before names. In addition, the corresponding author's e-mail address should be written in 10 pt Times New Roman font in Corresponding Author.

The main text should be typed in Times New Roman font with a font size of 12 pt and lines spacing of 1.5. Main headings should be numbered and written in bold, and the initial letter of each word within the heading should be capitalized. A single 1.5-sized line spacing should be left underneath each main heading. A single line spacing should also be left between the heading and the text preceding it. Paragraphs should be indented by 1 cm. Spacing should not be left between paragraphs.

An adequate number of academic/scientific literature relating to the research in question, as well the overall aims of the research should be provided and emphasized within this section. Here, one should avoid detailed examining the literature as well as should avoid summarizing any results.

Materials and methodology used in the conducting of the research need to be described in detail in this section.

Figures can entail graphics, diagrams, photographs, illustrations, and/or maps. Figure descriptions should be written at the bottom of or below the figure(s), and should be legible. A single line space should be left between the figure and the text preceding it. Figure descriptions should be typed in a point-size of 11, as well as should be referenced.

Tables preferably should be open framed. Table descriptions should be written at the top of or above table. Both the table and the table description should be aligned on the left of the page. A single line space should be left between the table and the text preceding it. Table descriptions preferably should be single-spaced and written in either 11 or 10 pt. font, as well as should be referenced.

Equations—where needed—should be numbered from 1 and onwards. Equations are written starting with/following the paragraph. The equation number should be placed on the right edge. A single line spacing should be left between the equation and both the preceding as well as subsequent text. Equations should not be presented in the format of an image.

In Findings and Discussion Section, the results of as well as the findings obtained from the research in question are provided in this section. Here, one can compare and contrast the obtained findings with other relevant academic/scientific literature.

The conclusions of the results obtained from the research in question are given in this section. Here, one can provide readers with suggestions and personal comments.

Acknowledgements section is where one can acknowledge and thank the individuals and/or institutions who helped with and supported the author(s) with her/his/their research.

Contribution of the authors to the article should be indicated. (For example: All authors contributed equally to the study.), (There is no conflict of interest between the authors.), (The author declares that this study complies with Research and Publication Ethics.)

The references should be typed in Times New Roman font with a size of 11 pt font in single line spacing. Bibliographic resources should be arranged in alphabetical order according to the surname(s) of the author(s), and should be written starting from the left corner margin of the page. References to citations within the text should include the author's surname and the year of publication in parenthesis: (Surname, 2017), (Surname and Surname, 2017). In situations whereby a citation reference involves more than two authors, the abbreviation "et al." is to be written after the first author's surname: (Surname et al., 2017). In case of citing more than one resource, surnames and dates are to be separated using semicolons: (Surname, 2017; Surname and Surname, 2017). References should be prepared according to APA (American Psychological Association) Style format.

Periodicals:

Surname, A., Surname, B. B., and Surname, C., (2017). Title of the Published Paper. *Name of the Journal that the Paper is Featured/Published in*, 7(1), 1-12.

Books:

Surname, A. A., (2017). *Book title*. Location of where the book was published: Publisher.

Symposiums, Congresses, Presentations:

Surname, A., Surname, B. B., and Surname, C., (2017, Month). Title of the Published Presentation. *Name of the Symposium, Congress, Meeting or Conference that the Presentation was delivered at*. (pp. 1-12). City: University or Institution (If available).

Theses and Dissertations:

Surname, A. A., (2017). *Title of the Graduate or Doctoral Thesis/Dissertations*. Graduate Thesis, Giresun University, Institute of Natural Sciences, Giresun.

Other Resources:

Hallam, A. Duality in consumer theory [PDF document]. Retrieved from Lecture Notes Online Web site:
<http://www.econ.iastate.edu/classes/econ501/Hallam/index.html>

URL-1: <http://www.giresun.edu.tr>, (Date Accessed: 22 Mart 2017).

Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi (KFBD)

The Black Sea Journal of Sciences

Giresun Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Güre Kampüsü, GİRESUN
Telefon: 0 454 310 10 87-88 Faks: 0 454 310 10 89 E-posta: kfbd@giresun.edu.tr
ISSN: 2564-7377 (Online) <http://dergipark.gov.tr/kfbd>

TELİF HAKKI DEVİR SÖZLEŞMESİ

Makale Adı :

Makalenin yazarları :

Sorumlu Yazar;

Adı Soyadı :

Adresi :

T.C. Kimlik No :

E-posta :

Telefon :

Sunulan makalenin sorumlu yazarı tüm yazarlar adına aşağıdaki konuları taahhüt eder:

- Bu makale tarafım(ız)dan yapılmış özgün bir çalışmadır ve makalede intihal yapılmamıştır.
- Bu çalışma için yazar(lar) her türlü sorumluluğa ortakdır.
- Bu makale başka bir yerde yayınlanmamıştır ve yayınlanmak üzere sunulmamıştır.
- Yazar(lar) makaleyi görmüş ve onaylamıştır.
- Makalede bulunan materyaller, diğer şahısların telif haklarını ihlal etmemektedir.
- Makale etik kurallara uygundur ve belirtilen materyaller ve yöntemler kullanıldığında herhangi bir zarara ve yaralanmaya neden olmayacaktır.
- Telif hakkı ihlali durumunda tüm sorumluluk yazar(lar)a aittir.

Yazar(lar) makalenin telif hakkından feragat etmeyi kabul ederler. Makalenin telif hakkı Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi'ne devredilmiştir.

Makalenin tüm yazarlarından makale ile ilgili tüm mali hakları Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi'ne devretme hususunda yetki aldığımı ve bu nedenle doğabilecek tüm uyuşmazlıklardan sorumlu olacağımı taahhüt ederim.

Makaleye ait tüm materyaller, bilim ve yayın kurulunca bir yıl süreyle saklanacak ve daha sonra imha edilecektir. Bu belge sorumlu yazar tarafından ıslak imza ile imzalanmalıdır.

Sorumlu Yazar Adı Soyadı:

İmza / Tarih:

Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi (KFBD)

The Black Sea Journal of Sciences

Giresun University Institute of Natural Sciences Güre Campus, GİRESUN
Phone: 0 454 310 10 87-88 **Fax:** 0 454 310 10 89 **E-mail:** kfbd@giresun.edu.tr
ISSN: 2564-7377 (Online) <http://dergipark.gov.tr/kfbd>

AGREEMENT FOR THE TRANSFER OF COPYRIGHT

Title of Paper :

Authors' Names :

Corresponding Author;

Full Name :

Address :

Identity Number :

E-mail :

Telephone :

The corresponding author of the submitted manuscript undertakes on behalf of all authors for following issues:

- This manuscript is an original work done by us and is not plagiarized.
- The author(s) are responsible for all kinds of responsibilities for this study.
- This article has not been previously published and is not under consideration by another journal.
- The author(s) has seen and confirmed the article.
- The material contained in the article does not infringe the copyrights of other persons.
- The article is suitable for ethical rules. The use of the specified materials and methods will not cause any damage or injury.
- In the event of copyright infringement, all responsibility belongs to the author(s).

The authors agrees to disclaim the copyright of the article. The copyright of the manuscript has been transferred to The Black Sea Journal of Sciences.

I undertake to authorize from all authors of the article to transfer all financial rights related to the study to The Black Sea Journal of Sciences, and to be liable for all incidences arising from this.

All materials belonging to the study will be kept for one year at the time of the science and publishing committee and will be destroyed later. This document must be signed by the corresponding author with a wet signature.

Corresponding Author Full Name:

Signature / Date:

KARADENİZ FEN BİLİMLERİ DERGİSİ

Etik İlkeler ve Yayın Politikası

Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi Mart, Haziran, Eylül ve Aralık aylarında olmak üzere yılda dört kez yayımlanan hakemli akademik bir dergidir.

Gönderilecek eserlerde; alanında bir boşluğu dolduracak özgün bir araştırma makalesi olması şartı aranır.

Dergimizde hakemlerin ve yazarların birbirlerine karşı kimliklerinin gizli tutulduğu çift taraflı kör hakem sistemi kullanılır. Yazarlar ve hakemler, kimliklerinin gizli kalması için gayret göstermelidir. Bu amaçla sisteme dosya gönderen yazar, editör, hakem gibi kişilerin metin ve dosyaları sisteme yüklerken dikkat etmeleri gerekir.

Yayın Kurulu, dergiye gönderilen eserlerin öncelikle yayın ilkeleri ile dergi kapsamı, bilimsel içerik ve şekil açısından inceler. Ön incelemeden geçen eserler değerlendirilmesi amacıyla en az 2 hakeme gönderilir. Eserin dergiye kabul edilebilmesi için 2 hakemden de olumlu değerlendirme alması gerekir. Gerektiği durumlarda 3. hakemden de değerlendirme sürecine katkı sağlaması istenebilir. Son karar editöre aittir.

Yayımlanmak üzere gönderilen makaleler ayrıca intihal tespitinde kullanılan özel bir program aracılığıyla makalelerin daha önce yayımlanmamış olduğu ve intihal içermediği teyit edilir.

Kabul edilen eserin yayınlanma süreci, eserin alındığı tarihten itibaren 2-6 ay sürmektedir.

Dergiye makale gönderimi ücretsizdir. Yayına kabul edilen makaleden de hiçbir ücret talep edilmez.

Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi, hakemli ve açık erişim politikasını benimsemiş bir dergidir. Bu bağlamda, Budapeşte Açık Erişim Hareketine (BOAI) taraftır. BOAI'ye göre Açık Erişim, "hakem değerlendirmesinden geçmiş bilimsel literatürün, internet aracılığıyla; finansal, yasal ve teknik engeller olmaksızın, serbestçe erişilebilir, okunabilir, indirilebilir, kopyalanabilir, dağıtılabilir, basılabilir, taranabilir, tam metinlere bağlantı verilebilir, dizinlenebilir, yazılıma veri olarak aktarılabilir ve her türlü yasal amaç için kullanılabilir olması"dır.

Dergimize gönderilen akademik çalışmalardaki intihalleri tespit etmek amacıyla İntihal Tespit Programları kullanılır. Dergimize makale gönderen yazarlar etik ihlal yapmadıklarını beyan etmiş sayılırlar. İntihal yaptığı tespit edilen yazarların eserlerine dergimizde yer verilmez. Bu konuyla ilgili rapor yazara gönderilir.

Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi yazarlardan makale değerlendirme ve yayın süreci için herhangi bir ücret talep etmemektedir.

Bu dergi, iştirak eden kütüphanelerin dağıtılan arşivleme sistemi yaratması amaçlı, kütüphanelerin koruma ve restorasyon amaçlı kalıcı arşivler yaratmasına izin vermek için LOCKSS sistemi kullanmaktadır.

Bu dergide makalelerini yayımlayan yazarlar aşağıdaki şartları kabul etmiş bulunmaktadır:

Yazar makale telif hakkını elinde tutar ve ilk yayımlama hakkını dergiye verir. Makale, yazarının belirtilmesi ve ilk yayımının bu dergide yapılması koşuluyla diğerleri tarafından paylaşılmasına olanak veren Creative Commons Attribution lisansı altında lisanslanır.

Yazar, makalenin dergide yayımlanmış versiyonunun tam yetki vermeden dağıtımını (örneğin, kurumsal bir veri bankasına gönderilmesi ya da bir kitapta yayımlanması) için ayrı sözleşme düzenlemeleri yapabilir.

Yazarların makalelerini dergiye göndermeden önce ya da gönderi süreci devam ederken internet üzerinden (örneğin, kurumsal veri tabanında ya da kendi web sitelerinde) paylaşımları teşvik edilir; bu, hem verimli fikir alışverişlerine hem de makalenin daha erken ve daha çok atıf almasına yol açabilir (bakınız Açık Erişimin Etkisi).

THE BLACK SEA JOURNAL OF SCIENCES

Ethical Principles and Publication Policy

The Black Sea Journal of Sciences is a peer-reviewed academic journal that is published four times a year in March, June, September and December.

Prospective papers are expected to fill a gap in their respective field through innovative research.

Our journal employs a bilateral blind review system in which the personal identities of the reviewers and authors are kept confidential from one another, and whereby the parties involved are expected not to reveal themselves. With this objective in mind, parties submitting the file in question to the system such as the author, editor, and/or reviewer must handle the uploading of those files to the system with utmost care and attention.

The publishing team first examines (the) prospective papers in accordance with the criteria of the journal's scope, as well as for scientific content and format. After the pre-review step, the papers are forwarded to at least two reviewers for evaluation. In order for a paper to be accepted, it must receive positive evaluations from both reviewers. Papers can be requested to be reviewed again if needed and evaluation of a third reviewer should necessity warrant it. The final decision is made by the editor.

Papers that are to be submitted for publishing are first controlled using special detection software in order to verify that they have not been previously published elsewhere, as well as to ensure that they do not include any plagiarized content.

Publishing takes between 2 to 6 months from the acceptance date.

The publishing or evaluation of manuscripts are free of charge.

The Black Sea Journal of Sciences is an open access journal which means that all content is freely available without charge to the user or his/her institution. Users are allowed to read, download, copy, distribute, print, search, or link to the full texts of the articles in this journal without asking prior permission from the publisher or the author. This is in accordance with the BOAI definition of open access.

Academic research submitted to our journal is run through plagiarism detection software in order to check for any possible plagiarized content. Authors are expected as they declare that their work do not include any plagiarism. A report regarding this issue is sent to the authors.

The publishing or evaluation of manuscripts are free of charge.

This journal makes use of the LOCKSS system, which allows participating libraries to create a distributed digital archiving system, as well as allowing libraries to develop permanent archives for the purposes of protection and restoration.

An author's paper is entitled to copyright protection, and is to give her/his copyright to the journal upon its first initial publishing. One's paper is licensed under the Creative Commons Attribution License, which enables it to be shared by others via permission from the author as well according to the terms and conditions laid out by this journal upon (the paper's) first initial publishing.

The author is entitled to have a separate contract drawn up in which allows for her/his paper as it is published in our journal to be distributed without providing full authorisation (e.g., a paper's being sent to the databank of an institution, or for its being published in a book, etc.)

Authors are encouraged to share their share their papers via the internet either before they submit their work to our journal or as they wait through the submission process (e.g., to an institutional database or via their own personal websites, etc.). In doing so, this allows both for a fruitful exchange of ideas and feedback, as well as allows for the paper to be earlier as well as more widely referenced (see: The Effects of Open Access).