



GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ DERGİSİ

Gümüşhane University Journal of Science

GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ YAYINI

PUBLISHED BY GÜMÜŞHANE UNIVERSITY

ISSN 2146 - 538X

CİLT/VOLUME: 12

SAYI/NUMBER : 1

YIL/YEAR : 2022

$$\text{Arf}(q) = \sum_{i=1}^n q^{(a_i) q(b_i)} \in \mathbb{Z}_2$$

$a_i, b_i \quad i = 1, 2, 3, \dots, n.$



EBSCO



ULAKBİM TR DİZİN



Gümüşhane University Journal of Science
Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi
Published by Gümüşhane University
Cilt/Volume: 12 Sayı/Issue: 1 Yıl/Year: 2022
Üç ayda bir yayımlanır/ *Published four times a year*
ISSN 2146-538X

Sahibi / Owner

Prof. Dr. Halil İbrahim ZEYBEK
Gümüşhane Üniversitesi Adına
On the behalf of Gümüşhane University

Sorumlu Yazı İşleri Müdürü / Editor in Chief

Dr. Öğr. Üyesi Hasan Tahsin BOSTANCI

Baş Editör / Executive Editor

Doç. Dr. Serhat DAĞ

Editörler / Editors

Prof. Dr. Ferkan SİPAHİ
Prof. Dr. Mehmet MERDAN
Prof. Dr. Salim Serkan NAS
Prof. Dr. Necati ÇELİK
Prof. Dr. Bahri BAYRAM
Prof. Dr. Hüseyin DEMİR
Prof. Dr. Fatih DÖNER
Doç. Dr. Enver AKARYALI
Doç. Dr. Selçuk ALEMDAĞ
Doç. Dr. Melih OKCU

Doç Dr. Ebru Emine ŞÜKÜROĞLU
Doç. Dr. İbrahim TURAN
Dr. Öğr. Üyesi. Bülent AKAR
Dr. Öğr. Üyesi Onur ARAZ
Dr. Öğr. Üyesi Lale CONA
Dr. Öğr. Üyesi Recep ÇAKMAK
Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Ali GÜCER
Öğr. Gör. Salih TÜRK

Dergi Sekreteryası / Secretary

Arş. Gör. Şener ALİYAZICIOĞLU
Arş. Gör. İlker ERKAN
Arş. Gör. Halil İbrahim YÜKSEK

Yayın Türü / Publication Type

Yaygın süreli ve hakemli/ Common term and refereed

Yayın Tarihi / Publication Date

15 / 01 / 2022

Hakemli bir dergi olan Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi üç ayda bir çevrimiçi olarak yayımlanmaktadır. Akademik usullere uygun atıf yapmak suretiyle dergide yapılan çalışmalardan yararlanılabilir. Bu dergide yayımlanan çalışmaların bütün sorumluluğu yazarlara aittir.



Gümüşhane University Journal of Science
Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi

Published by Gümüşhane University

Cilt/Volume: 12 Sayı/Issue: 1 Yıl/Year: 2022

Üç ayda bir yayımlanır/ Published four times a year

ISSN 2146-538X

Yayın Danışma Kurulu / Editorial Advisory Board

- Prof. Dr. Jose Francisco Gomez Aguilar-Cenidet
Prof. Dr. Vecihi AKSAKAL-Bayburt Üniversitesi
Prof. Dr. İsmail Hakkı ALTAŞ-Karadeniz Teknik Üni.
Prof. Dr. Gökhan APAYDIN- Karadeniz Teknik Üniversitesi
Prof. Dr. Zafer ASLAN-Balıkesir Üniversitesi
Prof. Dr. Charyyar Ashryalyev-Gümüşhane Üniversitesi
Prof. Dr. Fetullah ARIK-Selçuk Üniversitesi
Prof. Dr. Mehmet ARSLAN-Karadeniz Teknik Üniversitesi
Prof. Dr. Abdon ATANGANA-Free State University
Prof. Dr. Hasan BALTAŞ-Recep Tayyip Erdoğan Üni.
Prof. Dr. Bilge BAHAR-Gümüşhane Üniversitesi
Prof. Dr. Bahri BAYRAM-Gümüşhane Üniversitesi
Prof. Dr. Fikri BULUT-Karadeniz Teknik Üniversitesi
Prof. Dr. Kamil COŞKUNÇELEBİ-Karadeniz Teknik Üni
Prof. Dr. Çetin CÖMERT- Karadeniz Teknik Üniversitesi
Prof. Dr. Günay ÇAKIR-Gümüşhane Üniversitesi
Prof. Dr. Tufan ÇAKIR-Gümüşhane Üniversitesi
Prof. Dr. Özlem ÇAVDAR-Gümüşhane Üniversitesi
Prof. Dr. Necati ÇELİK-Gümüşhane Üniversitesi-
Prof. Dr. Adem DOĞANGÜN-Uludağ Üniversitesi
Prof. Dr. Abdurrahman DOKUZ-Gümüşhane Üniversitesi
Prof. Dr. Çiğdem SAYDAM EKER-Gümüşhane Üniversitesi
Prof. Dr. Murat EKİNCİ-Karadeniz Teknik Üniversitesi
Prof. Dr. Abdelhai ELAZZOUI-Sidi Mohamed Ben Abdellah U.
Prof. Dr. Dr. Yener ERDOĞAN-Harran Üniversitesi
Prof. Dr. Yener EYÜBOĞLU-Karadeniz Teknik Üniversitesi
Prof. Dr. Ertan GÖKALP-Karadeniz Teknik Üniversitesi
Prof. Dr. Candan GÖKÇEÖĞLU-Hacettepe Üniversitesi
Prof. Dr. Levent GÜMÜŞEL-Karadeniz Teknik Üniversitesi
Prof. Dr. Oğuz GÜNGÖR-Karadeniz Teknik Üniversitesi
Prof. Dr. Zülfü GÜROCAK-Fırat Üniversitesi
Prof. Dr. Zakia HAMMOUCH-Moulay Ismail University
Prof. Dr. Cahit HELVACI-Dokuz Eylül Üniversitesi
Prof. Dr. Muazzez ÇELİK KARAKAYA-Selçuk Üniversitesi
Prof. Dr. Necati KARAKAYA-Selçuk Üni.
Prof. Dr. Hakan KARSLI-Karadeniz Teknik Üniversitesi
Prof. Dr. Elif Çelenk KAYA-Gümüşhane Üniversitesi
Prof. Dr. Abdullah KAYGUSUZ-Gümüşhane Üniversitesi
Prof. Dr. Cemal KÖSE-Karadeniz Teknik Üniversitesi
Prof. Dr. Birgül KURAL-Karadeniz Teknik Üniversitesi
Prof. Dr. Murat KÜÇÜK-Karadeniz Teknik Üniversitesi
Prof. Dr. Tayfur KÜÇÜKÖMEROĞLU -Karadeniz Teknik Üni.
Prof. Dr. Ramazan LİVAOĞLU-Uludağ Üniversitesi
Prof. Dr. Nafiz MADEN-Gümüşhane Üniversitesi
Prof. Dr. Halim MUTLU-Ankara Üniversitesi
Prof. Dr. Salim Serkan NAS-Gümüşhane Üniversitesi
Prof. Dr. Kolade M. OWOLABI-Federal Uni. of Technology
Prof. Dr. Sultan ÖZTÜRK-Karadeniz Teknik Üniversitesi
Prof. Dr. Serkan ÖZTÜRK-Gümüşhane Üniversitesi
Prof. Dr. Sunil PROHIT- Rajasthan Technical University
Prof. Dr. Abedallah RABABAH-Jordan Uni. Sci. and Tech.
Prof. Dr. M. Burhan SADIKLAR-Karadeniz Teknik Üni.
Prof. Dr. S. Beyza Ö. SARIKAYA-Gümüşhane Üniversitesi
Prof. Dr. Müdahir ÖZGÜL-Atatürk Üniversitesi
Prof. Dr. İsmet SEZER-Gümüşhane Üniversitesi
Prof. Dr. Zehra ŞAHİN- Karadeniz Teknik Üni.
Prof. Dr. Selim ŞEN-Gümüşhane Üniversitesi
Prof. Dr. Ahmet TUTUŞ-Kahramanmaraş Sütçü İmam Üni.
Prof. Dr. Coşkun ÜLSER-Ondokuz Mayıs Üniversitesi
Prof. Dr. Mualla YALÇINKAYA-Karadeniz Teknik Üni.
Prof. Dr. Şükrü YETGİN-Gümüşhane Üniversitesi
Prof. Dr. Keewook YI-Korea Basic Science Institute
Prof. Dr. Ali Osman YILMAZ Karadeniz Teknik Üniversitesi
Prof. Dr. Yong WANG- University of Manchester
Prof. Dr. Emel ABDİOĞLU YAZAR-Karadeniz Teknik Üni.
Prof. Dr. Özcan YİĞİT-Çanakkale 18Mart Üniversitesi
Prof. Dr. Halil YOLCU-Gümüşhane Üniversitesi
Doç. Dr. Enver AKARYALI-Gümüşhane Üniversitesi
Doç. Dr. Hazan ALKAN AKINCI Artvin Çoruh Üni.
Doç. Dr. Cemalettin BALTACI-Gümüşhane Üniversitesi
Doç. Dr. Mehmet BAŞOĞLU-Gümüşhane Üniversitesi
Doç. Dr. Zafer ÇAKIR-Alaaddin Keykubat Üniversitesi
Doç. Dr. Mustafa ÇULLU-Gümüşhane Üniversitesi
Doç. Dr. Afşin Ahmet KAYA-Gümüşhane Üniversitesi
Doç. Dr. Ayberk KAYA- Recep Tayyip Erdoğan Üni.
Doç. Dr. Emine TANIR KAYIKÇI- Karadeniz Teknik Üni.
Doç. Dr. Selami KESLER-Pamukkale Üniversitesi
Doç. Dr. Mustafa KUMRAL-İstanbul Teknik Üni
Doç. Dr. Emre ÖZKOP-Karadeniz Teknik Üniversitesi
Doç. Dr. Uğur ŞİMŞEK-Iğdır Üniversitesi
Doç. Dr. Yener TOP-Gümüşhane Üniversitesi
Doç. Dr. Ayhan TOZLUOĞLU-Düzce Üniversitesi
Doç. Dr. Osman ÜÇÜNCÜ-Gümüşhane Üniversitesi
Doç. Dr. Alaaddin VURAL-Gümüşhane Üniversitesi
Doç. Dr. Hilal YILDIZ-Neveşehir Hacı Bektaş Veli Üni.
Doç. Dr. Sefa YALVAÇ-Gümüşhane Üniversitesi
Doç. Dr. Cem YÜCEL-Gümüşhane Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Eda Feyza AKYÜREK-Gümüşhane Üni.
Dr. Öğr. Üyesi Yusuf AŞIK-Gümüşhane Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Hacı Alim BARAN-Batman Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi İbrahim ÇAVUŞOĞLU-Gümüşhane Üni.
Dr. Öğr. Üyesi Kemal ÇELİK-Gümüşhane Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi İbrahim DÜZGÜN-Gümüşhane Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Muhammet M. KAHRAMAN-İstanbul Teknik Üni.
Dr. Öğr. Üyesi Selim KAYA-Gümüşhane Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Nurçin KÜÇÜK KENT-Gümüşhane Üni.
Dr. Öğr. Üyesi Kemal KUVVET- Recep Tayyip Erdoğan Üni
Dr. Öğr. Üyesi Abdurrahman LERMİ-N. Ömer Halisdemir Üni.
Dr. Öğr. Üyesi Yasin OĞUZ-Gümüşhane Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Zuhul OKCU-Atatürk Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Abdulveli SİRAT-Gümüşhane Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Birol ŞAHİN- Recep Tayyip Erdoğan Üni
Dr. Öğr. Üyesi Mustafa Nuri URAL-Gümüşhane Üniversitesi
Dr. İlyas KHAN- Majmaah University
Dr. Rizwan Ul HAQ-Bahria University
Dr. Chokka RAVICHANDRAN-Bharathiar University

İÇİNDEKİLER / CONTENTS

Araştırma Makalesi / Research Article

Cansu DİNÇTÜRK Sebahat AÇIKSÖZ	Kent gelişiminde sürdürülebilirliği yakalama kaygısı: Bartın örneği <i>Concern for sustainability in urban development strategies: case of Bartın</i>	1
Faraz AFŞHARİ Doğan ÇİLOĞLU Mehmet Akif CEVİZ Murat CEYLAN	Effects of secondary fluid flow rate on cooling performance of vapor compression systems <i>Buhar sıkıştırılmış sistemlerin soğutma performansı üzerinde ikinci akışkanın kütleli debisinin etkileri</i>	12
Sedat ÜNLÜ	Polimer matrisli elyaf takviyeli kompozit otomobil şasesi vakum infüzyon yöntemi ile imalatı ve mekanik özelliklerinin incelenmesi <i>Manufacture of polymer matrix fiber reinforced composite car chassis by vacuum infusion method and examination of its mechanical properties</i>	23
Fevzi KELEN Tarık AYDOĞMUŞ Mehmet GAVGALI	Tek eksenli sıcak presleme tekniği ile imal edilen magnezyum matrisli kompozit malzemelerin korozyon davranışlarının incelenmesi <i>Investigation of corrosion behavior of magnesium matrix composite materials produced via uniaxial hot pressing technique</i>	34
Filiz UÇAN TÜRKMEN Muhammed Mustafa GEZER Merve PAKSOY Fatma Rumeysa ATÇI Rabia ALMAS	Çikolata ile zenginleştirilmiş portakal sularının bazı kalite parametrelerinin incelenmesi <i>Investigation of some quality parameters of orange juices enriched with chocolate</i>	42
Serkan GÜLER	Harmonic response analysis of an impeller of a gas turbine engine which modelled by using high entropy alloy materials <i>Yüksek entropi alaşım malzemeler ile modellenen bir gaz türbini çarkının harmonik tepki analizi</i>	54
Mehmet Ali TEMİZ	Sisymbrium altissimum yapraklarının fenolik bileşen, antioksidan kapasite ve antidiyabetik özelliklerinin tespiti <i>Determination of phenolic component, antioxidant capacity, and antidiabetic properties of Sisymbrium altissimum leaves</i>	68
Mehmet YAZAR Mithat YANIKÖREN	Spur gear design, manufacturing and noise analysis according to rolling method using complex numbers <i>Kompleks sayılar kullanılarak yuvarlanma yöntemine göre düz dişli tasarımı, imalatı ve gürültü analizi</i>	78
Uğur Can BOZ Cengiz TEPE İdris SANCAKTAR	EMG işareti ile FPGA tabanlı mod denetimli protez kol kontrolü <i>FPGA based mod-controlled prosthetic arm control with EMG signal</i>	90
İlyas GENEL Yaşar GENEL	Yabani kuşburnu ağacı talaşının sodyum hidroksit impregnasyonu ile elde edilen aktif karbon kullanılarak kinolin sarısı boyar maddesinin sulu çözeltilerden giderimi <i>Removal of quinoline yellow dyestuff from aqueous solutions using activated carbon obtained by sodium hydroxide impregnation of wild rosehip wood sawdust</i>	101
Şenol GÜRSOY Büşra CENGİZ	Investigation of the effects of different central steel brace type on nodal point connection detail and building behaviour <i>Farklı merkezi çelik çapraz tipinin düğüm noktası birleşim detayına ve bina davranışına etkilerinin incelenmesi</i>	119
Eda Feyza AKYÜREK	Al₂O₃-MWCNT/saf su hibrit nanoakışkanının ısı iletkenlik ve viskozite değerlerinin belirlenmesi <i>Determination of thermal conductivity and viscosity values of Al₂O₃-MWCNT/pure water hybrid nanofluid</i>	134

Seyda ÖZBEKTAŞ Bilal SUNGUR Bahattin TOPALOĞLU	Numerical investigation of the effect of flow circulation pattern and velocity on the performance of water-cooled heat sink <i>Akış yönü ve hızının su soğutmalı ısı alıcısı performansına etkisinin nümerik incelenmesi</i>	151
Sinan TURGUT Ö. Faruk DURSUN Mahmut AYDOĞDU	Farklı tasarımlara sahip venturilerin havalandırma performanslarının incelenmesi <i>Investigation of aeration performance in venturies with different desings</i>	164
İlhan Volkan ÖNER	A numerical investigation of velocity and temperature distribution on a heat sink with hexagonal fins facing at different angles in a rectangular duct <i>Dikdörtgen Kesitli Bir Kanal İçerisinde Farklı Açılara Sahip Altıgen Kanatçıklı Yüzeylerde Hız ve Sıcaklık Dağılımının Nümerik Olarak İncelenmesi</i>	176
Samet KAYA Esin KÖKSAL BABACAN	Tobit modeline bayesci yaklaşım ve winBUGS ile uygulama <i>Bayesian approach to tobit model and application with winBUGS</i>	187
Zafer BEKIRYAZICI Saim HASIMOĞLU	Comparison of a random model of Hand-Foot-Mouth Disease model with Gaussian and Laplacian parameters <i>Bir rastgele El-Ayak-Ağız Hastalığı modelinin Normal ve Laplace dağılımına sahip parametrelerle karşılaştırılması</i>	200
Yüksel ÖZKAN Banu SARER YÜREKLİ Aslı SUNER	Diyabet tanısının tahminlenmesinde denetimli makine öğrenme algoritmalarının performans karşılaştırması <i>Performance evaluation of supervised machine learning algorithms for predicting diabetes mellitus</i>	211
Ayça AKTAŞ KARAÇELİK Volkan ÇAKIR Hüseyin BAŞ Zekeriya BIYIKLIOĞLU	Carbonic anhydrase inhibition and antioxidant activity of the axially naphthoxazin group substituted silicon phthalocyanines <i>Eksenel olarak naftoksazin grubu süstitüe edilmiş silisyum ftalosiyanınların karbonik anhidraz inhibisyonu ve antioksidan aktivitesi</i>	227
Mehmet Akif GÜNEN	Sentinel-2 görüntüleri kullanılarak su yüzey alanlarının belirlenmesinde sınıflandırıcıların performanslarının incelenmesi <i>Investigation of the performance of classifiers in the extraction of water body areas using Sentinel-2 images</i>	235
Kemal ÇELİK	Gayrimenkul değerlemede geleneksel yöntemler <i>Traditional methods in in real estate valuation</i>	246
Özlem ÖZTEKİN OKAN Özgür CANPOLAT	Ağın (Elâzığ) çevresinde Alt Miyosen yaşlı kırıntılı ve karbonatlı birimlerden beslenen yeraltı sularının hidrojeokimyasal karakteristikleri <i>The hydrogeochemical characteristics of groundwaters recharging from the Lower Miocene clastic and carbonate units around Ağın (Elâzığ)</i>	260
Zehra Tuğba MURATHAN Mehmet ARSLAN Nurcan ERBİL	Uzun elma genotipinin antioksidan ve antibakteriyel aktivitesi ile mutajenik etki değeri üzerine yetiştiricilik bölgesinin etkisi <i>Effect of growing region on antioxidant and antibacterial activity and mutagenic effect of Uzun apple genotype</i>	275
Mehmet KAN Murat KORU Osman İPEK	Basınçlı döküm prosesinde iki farklı soğutma kanallı kalıpların döküm-kalıp arayüzey ısı transfer katsayısının nümerik olarak incelenmesi <i>Numerical investigation of casting-mold interfacial heat transfer coefficient of molds with two different cooling channels in pressure casting process</i>	283
Oscar ZANNOU Burak İPEKÇİ İlkay KOCA Halil İbrahim ODABAŞ	Assessing ursolic acid contents of some commonly consumed herbs grown in Turkey <i>Türkiye 'de yetişen ve yaygın olarak tüketilen bazı bitkilerin ursolik asit içeriklerinin belirlenmesi</i>	301
Kadir ÖZBEK Ömer ÖZYURT	Bina soğutma kapasitesine etki eden parametrelerin yanıt yüzey yöntemi (YYY) kullanılarak incelenmesi <i>Investigation of the parameters affecting the building cooling capacity using the response surface method (RSM)</i>	309
Fatih ŞENASLAN Ayhan ÇELİK Muharrem TAŞDEMİR	Production of high-transparent MgO films by radio-frequency sputtering method <i>Yüksek geçirgen MgO filmlerin radyo frekansı saçırma yöntemiyle üretimi</i>	320

Pelin KASAP Fikretcan GÜÇ	Veri zarflama analizi ile sağlık alanında bir performans değerlendirmesi <i>A performance assessment in the field of health with data envelopment analysis</i>	327
Filiz BARBAROS	Batı Karadeniz Havzası yağış değişkenliklerinin entropi tabanlı bir yaklaşımla değerlendirilmesi <i>Evaluation of precipitation variability in the Western Black Sea Basin with an entropy-based approach</i>	344
Ahmet Numan ÖZAKIN Faruk YEŞİLDAL	Çarpan jetle ısı transferinde geometrik parametrelerin sayısal optimizasyonu: Yanıt yüzey yöntemi <i>Numerical optimization of geometric parameters in impinging jet heat transfer: Response surface methodology</i>	357
Enes FİLİZ	Türkiye Covid-19 günlük hasta sayısındaki değişimin sınıflandırılmasına yönelik tahmininin destek vektör makineleri ve k-en yakın komşu algoritmaları ile gerçekleştirilmesi <i>Classification in the change of estimated number of Covid-19 daily cases by using support vector machine and k-nearest neighbor algorithm</i>	370
Ali KARAKUŞ	Exterior modüller üzerinde ters türevler hakkında bir not <i>A note about anti-derivations on the Exterior modules</i>	380

Kent gelişiminde sürdürülebilirliği yakalama kaygısı: Bartın örneği

Concern for sustainability in urban development strategies: case of Bartın

Cansu DİNÇTÜRK^{*1,a}, Sebahat AÇIKSÖZ^{1,b}

¹ Bartın Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Peyzaj Mimarlığı Bölümü, 74100, Bartın

• Geliş tarihi / Received: 09.03.2021

• Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 02.09.2021

• Kabul tarihi / Accepted: 18.09.2021

Öz

Kentsel gelişim süreçlerinin kentte yarattığı baskının azaltılması, hizmetlerin her bireye eşit olarak sunulması ve doğal kaynakların sürdürülebilirliğinin sağlanmasında kent gelişim stratejilerinin (KGS) önemi büyüktür. Bu araştırma kapsamında ilk olarak, Bartın İli Stratejik Planı (2020-2024) ile kent gelişiminde ele alınması gereken temalar karşılaştırılarak analiz edilmiştir. Bir diğer analiz aşamasında ise; kentsel planlama ve yönetime ilişkin ölçütlere ve stratejik hedeflerin “Bütünleşik Kentsel Gelişme Stratejisi ve Eylem Planı- KENTGES, 2010-2023” ile uyumunun belirlenmesine ilişkin, ilişki matrisleri oluşturulmuştur. Matrislerde yer alan veriler; uyumlu, dolaylı uyumlu ve tam uyumlu şeklinde sınıflandırıldıktan sonra, dolaylı uyumlu olarak ilişkilendirilen maddeler ve nedenleri de kısaca özetlenmiştir. Elde edilen karşılaştırmalar sonucunda, Bartın’ın kentsel gelişim stratejilerinin eksik yönleri belirlenmiş ve sürdürülebilir kent gelişiminin sağlanmasına yönelik önerilere yer verilmiştir.

Anahtar kelimeler: Bartın, İlişki matrisi, Kent gelişim stratejileri, KGS, Sürdürülebilir kent gelişimi

Abstract

City development strategies (CDS) are of great importance in reducing the pressure created by urban development processes in the city, providing services equally to each individual and ensuring the sustainability of natural resources. Within the scope of this research, firstly, Bartın Province Strategic Plan (2020-2024) was analyzed by comparing themes that should be addressed in urban development. In another analysis phase, relationship matrices were created to determine the harmony of the criteria and strategic goals of urban planning and management with the "Integrated Urban Development Strategy and Action Plan - KENTGES, 2010-2023". Data in matrices; after classifying them as compatible, indirect compatible and full compatible, the items associated with indirect compatible and their reasons are briefly summarized. As a result of the comparisons obtained, the deficiencies of Bartın's urban development strategies were determined and suggestions for ensuring sustainable urban development were given.

Keywords: Bartın, Relationship matrix, City development strategies, CDS, Sustainable city development

^{*a} Cansu DİNÇTÜRK; cansuyuce1994@gmail.com, Tel: +90 (546) 941 7366, orcid.org/ 0000-0002-5427-773X

^b orcid.org/000-0002-2673-9236

1. Giriş

1.1. Introduction

1972 yılından itibaren Birleşmiş Milletler (BM) İnsan ve Çevre Konferansı'nda gündeme gelen, Rio Zirvesi, Gündem 21, Habitat II ve Johannesburg Zirvesi gibi uluslararası toplantılarda gerçekleştirilen uygulama ve hedefler kentsel planlama alanına da etki etmiştir. Bu kapsamda “sürdürülebilir kentler oluşturulması düşüncesi” 21. yüzyılda kent planlama disiplininin temel hedeflerinden biri olarak ele alınmaya başlanmıştır. Geliştirilen sürdürülebilir hedefler dahilinde; doğal kaynakların korunması, çevre kirliliğinin önlenmesi, kaynakların etkin/verimli bir şekilde kullanılması, arazinin yatay değil dikey olarak değerlendirilmesi ve kentsel hareketliliğin en aza indirgenmesi vb. amaçlanmaktadır (Karakurt Tosun, 2013).

Kent çeperindeki büyümeler, kentsel alan ve tarım alanları arasında çatışmalar yaşanmasına neden olmaktadır. Kentsel ve kırsal alanlardaki ayrımlara meydan okunmasında doğa temelli değerlerin önemi büyüktür. Bu bağlamda yapılan bir çalışmada (Nilsson vd., 2020) Avrupa'nın 6 kenti incelenmiş ve sürdürülebilir/ doğa dostu kent gelişimine ilişkin aşağıdaki stratejiler oluşturulmuştur:

- Kentsel sınırdaki konut üzerindeki baskının azaltılması,
- Kentsel sınırdaki tarımın güçlendirilmesi,
- Turizm ve rekreasyonun bölgesel kalkınma ile sürdürülebilir bir şekilde entegre edilmesi,
- Kentsel sınırdaki yüksek değerli doğa alanlarının korunması.

Günümüz koşullarında sermaye, kültür ve yenilik merkezi olan, milyonlarca insana ev sahipliği yapan kent yerleşimleri aynı zamanda enerji tüketimi ve çevre kirliliği gibi olumsuz durumlara da neden olmaktadır. Günümüzde sürekli genişleme ve yayılma durumunda olan kentsel yerleşimler, doğal kaynak tüketimi ve arazi kullanımı bakımından “sürdürülemez” bir durumdadır (Sat vd., 2017).

Kentte yaşanan ani nüfus artışları, konut ihtiyacını artırmış ve bu bağlamda kent yerleşimlerinin hızlı bir şekilde dışa doğru yayılmasına neden olmuştur. Bu kontrolsüz ve plansız gelişme tarım alanları, meralar ve orman alanları gibi önemli ekolojik noktalar üzerinde baskı oluşturmuştur. Büyümesi artık kontrol edilemez bir duruma gelen kentsel alanlarda kent yönetimi sorunları ortaya çıkmaya başlamıştır. Kent yönetiminde kontrolün

sağlanmasında uzun ömürlü planlama stratejilerinin oluşturulması önemli bir unsurdur (Vural vd., 2019). Bu bağlamda Parnell & Robinson (2016)'ya göre; kentsel sorunlara bir çözüm niteliği taşıyan, kent gelişiminin doğru bir şekilde gerçekleştirilmesinin amaçlandığı Kent Gelişim Stratejisi (KGS) önemli bir yaklaşımdır. Bu yaklaşımda, mevcut kentsel fırsat ve ekonomik sorunlara yanıt verilmesini amaçlayan stratejiler yer almaktadır (Rasoolimanesh vd., 2011). BM-HABİTAT (2005)'e göre KGS; şehirlerde adil büyüme amacıyla geliştirilmiş, sürdürülebilir bir eylem planıdır. Bu eylem planında; katılım yoluyla toplulukların yaşam kalitelerinin iyileştirilmesi, çevre koşullarının iyileştirilmesi ve yoksulluğun azaltılmasına yönelik stratejiler yer almaktadır. Kalkınmada katılımcı planlamanın gerekçeleri; toplu sorumluluk duygusunun güçlendirilmesi, yerel kaynakların seferber edilmesi, toplumun ihtiyaçlarını karşılayan projelere yer verilmesi, adil kaynak dağılımının teşvik edilmesi ve şeffaflık ile hesap verilebilirliği artırması şeklinde özetlenebilir (UN Habitat, 2005). Sürdürülebilir kalkınma/ekonomi/ çevre konularında gelişim ve ilerleme gösterilmesinde ulusal veya uluslararası ölçekteki eylem planlarının önemi büyüktür (KENTGES, 2020).

Türkiye hızlı kentleşme sürecinin yaşandığı ülkelerden birisidir (Özbilen & Gülersoy, 2016). Ülkemizde kentleşme hareketi ile başlayan şehirlerin fiziksel yapılarında meydana gelen değişimler birçok sorunun çıkış noktasını oluşturmaktadır. Çakır (2011)'e göre kentte yaşanan mimari değişimler, konut sayılarındaki artış ve buna bağlı olarak yeşil alan miktarının azalması gibi sorunlar fiziksel olarak gözle görülebilen durumlardır (Güven, 2017). Türkiye'de yaşanan fiziksel sorunlardan biri olan konut problemi, kentleşmenin başlangıcı olarak kabul edilen 1950'li yıllarda kentsel mekânda etkisini göstermeye başlamıştır. Bu etki; ekonomik, sosyal, mekânsal sorunlara neden olmuş ve beraberinde gecekonduların alanları ve çarpık kent morfolojisinin gelişmesine neden olmuştur (Ören & Yüksel, 2013). Ertürk (2011)'e göre sözü edilen gecekondular, kentin fiziki yapısıyla ilgili gibi gözükse de aslında kişilerin ekonomisi, eğitimi, gelir durumu gibi olgularla ilişkili kentsel sorunlardandır (Güven, 2017). Ülkemizde nüfusun artan oranlarda büyük şehirlerde yoğunlaştığı görülmektedir. Bu durum büyük şehirlerde; işsizlik, güvenlik sorunları, hizmet yetersizlikleri ve cinsiyet eşitliğinin sağlanamaması gibi birçok sorunun yaşanmasına neden olmaktadır. Bu bağlamda ülkemizde, kentsel yerleşmelerin mekânsal şartlarının iyileştirilmesi, ekonomi/

toplumsal yapının güçlendirilmesi ve mekânsal planlama sisteminin tekrar gözden geçirilmesine duyulan gereksinim artmaktadır. Bu bağlamda geliştirilen “Kentsel Gelişme Stratejisi ve Eylem Planı (KENTGES)” sözü edilen gereksinimlerin karşılanmasına yönelik bir çözüm önerisidir (Güler & Turan, 2013). Türkiye’nin kentleşme, imar ve mekânsal planlamaya ilişkin sorunlarından yola çıkılarak hazırlanmış “Kentleşme Şûrası Önerileri” (2009) isimli rapor (KENTGES, 2020) KENTGES için önemli bir altlıktır. KENTGES eylem planı 2010-2023 yıllarını kapsayan, kentleşme, yerleşme ve mekânsal planlamaya ilişkili değerlerin benimsendiği bir düşünce ekseninde, ulusal ölçekte referans belgesi özelliği taşıyan stratejik bir dokümandır. Bu stratejik dokümanda, kentleşmenin yapısal sorunlarının giderilmesi, sağlık ve yaşam kalitesinin artırılması, kentsel gelişmenin sağlanmasına ilişkin ilke ve eylemler yer almaktadır. KENTGES’in temel stratejileri; mekânsal planlama sisteminin yeniden yapılandırılması, mekân ve yaşam kalitelerinin artırılması, ekonomik ve toplumsal durumun iyileştirilmesi olarak belirtilmiştir (KENTGES, 2020).

Araştırmada, Bartın ilinin kent gelişim stratejilerinin, güncel dokümanlar aracılığıyla değerlendirilmesi/olumlu-olumsuz yönlerinin ölçülmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda, Rasolimanis vd., 2012, Wong vd., 2016, KENTGES, 2020 dokümanları ile Bartın Stratejik Planı (2020-2024) arasında kıyaslamalar gerçekleştirilerek, geliştirilen matrisler aracılığıyla uyum düzeylerine ilişkin değerlendirmelerde bulunulmuştur.

2. Materyal ve yöntem

2.1. Material and method

Araştırma kapsamında öncelikle araştırmanın amacı belirlenmiş, alana ilişkin tespitlerde bulunulduktan sonra; konuya ve stratejik dokümanlara ilişkin araştırmalar gerçekleştirilmiştir. Elde edilen dokümanlar arasında kıyaslamalar gerçekleştirildikten sonra ise çeşitli değerlendirmelerde bulunulmuştur. En son aşamada; Bartın kentine ilişkin kentsel planlama sistemi/ mekân- yaşam kalitesi/ ekonomik- toplumsal yapıya ilişkin etkili olacağı düşünülen öneriler geliştirilmiştir.

Bu araştırmada, Bartın ilinin kent gelişim stratejilerinin, güncel doküman ve belgeler aracılığıyla değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Kent gelişim stratejileri ve Bartın Belediyesi’ne ait dokümanlara ilişkin taramalar gerçekleştirildikten sonra, dokümanlar arasında kıyaslama yapılması amacıyla matrisler oluşturulmuştur. Kıyaslama yapılan dokümanlar ve nedenleri Tablo 1’de yer almaktadır. Matrislerin uyum dereceleri ve nedenleri ise aşağıdaki gibidir:

- “Uyumlu” olarak nitelendirilen konulara stratejik planda yer verilmiştir.
- “Dolaylı uyumlu” olarak nitelendirilen başlıkların birbirleriyle ilişkilendirilme nedenleri Tablo 2 ve 3’te yer almaktadır.
- Karşılaştırma yapılan iki konu arasında ilişki saptanamayan başlıklar ise “Uyumsuz” olarak nitelendirilmiştir.

Tablo 2 ve 3’te yer alan “kaynaklar” konu kapsamı ve bağlamı nedeniyle savunulan düşünce ile uyum sağlamakta olduğundan, seçilerek ilişkilendirme gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda, verilere ilişkin taramalar gerçekleştirilmiş olup en ilişkilendirilebilir kaynak referans alınmıştır.

Tablo 1. Kıyaslama yapılan dokümanlar ve nedenleri.

Table 1. Compared documents and reasons

1.Doküman	2.Doküman	Kıyaslanma Nedeni
Rasolimanis vd., 2012		Kent gelişiminde ele alınması gereken beş ana tema üzerinden içerik analizi
Wong vd., 2016	Bartın Stratejik Planı, 2020 (2020-2024)	Kentsel planlama ve yönetime ilişkin ölçütlere uyumun belirlenmesi
KENTGES, 2020 (2010-2023)		Stratejik hedeflerin KENTGES ile uyumunun tespit edilmesi

Tablo 2. Sürdürülebilir kent gelişimine ilişkin dolaylı ilişkiler ve nedenleri.**Table 2.** Indirect relationships and reasons for sustainable urban development

Dolaylı İlişki	Kaynak	İlişkilendirme Nedeni
Konut koşulları/ ulaşım hizmetleri	(Gür & Erbil, 2018)	Konuta erişim, yaşam standartlarını iyileştiren bir unsur olarak ele alınmıştır.
Kentsel hizmetler/ çalışma koşulları	(Kömürcü & Avşar Negiz, 2016)	Hizmetlerin iyileştirilmesinde, çalışma ve yaşam koşullarının önemi vurgulanmıştır.
Yeterli erişim/ çalışma koşulları	(Akbulut, 2016)	Erişilebilirlik, kent hayatının kolaylaştırıcı unsurlarından biri olarak ele alınmıştır.
Açık-yeşil alanlar/ yeterli erişim	(Önder & Polat, 2012)	Açık-yeşil alanlara etkin erişimin önem ve gerekliliğine değinilmiştir.
Açık-yeşil alanlar/ hava kalitesi ve atık yönetimi	(Gül & Küçük, 2001)	Açık-yeşil alanların sürdürülebilir koruma/ kullanımı savunulmuştur.
Atık sistemi/ biyoçeşitlilik	(Demirayak, 2002)	Atıkların etkin bir şekilde yönetilememesinin biyoçeşitliliğe etkilerine değinilmiştir.
Engelli bireyler/ konut erişimi	(Demirkan, 2015)	Özel gereksinimi olan bireylerin, çeşitli bina ve kullanımlara erişimi bir gereklilik olarak belirtilmiştir
Kültürel miras/ biyoçeşitlilik teşviki	(Öksüz Kuşcuoğlu & Taş, 2017)	Doğal dengenin bozulması, kültürel mirası tehdit eden bir unsur olarak ele alınmıştır.

Tablo 3. KENTGES dokümanında dolaylı ilişki kurulan başlıklar ve nedenleri -2.**Table 3.** The titles that are indirectly related in the KENTGES document and their reasons -2.

Dolaylı ilişki	Kaynak	İlişkilendirme Nedeni
Sürdürülebilir kent formu/ ulaşım	(Baş, 2018)	Sürdürülebilir kent formunun, kent içi erişimi desteklediği belirtilmiştir.
Sürdürülebilir kent formu/ açık-yeşil alanlar	(Karataş & Kılıç, 2017)	Sürdürülebilir kentlerde açık- yeşil alanların kilit rol üstlendikleri ifade edilmiştir.
Sürdürülebilir kent formu/ kültürel miras	(Can, 2014)	Sürdürülebilir gelişimde, kültürel/ doğal değerlerin önemi vurgulanmıştır.
Sürdürülebilir kent formu/ atık sistemi	(Ulubaş & Kocabaş, 2016)	Kentsel sürdürülebilirliğin sağlanmasında atık yönetiminin önemine değinilmiştir.
Altyapı hizmetleri/ kültürel miras	(Çakmak & Yılmaz, 2017)	Kültürel miras yönetiminde alt yapıya ilişkin uygulamaların önemine değinilmiştir.
Açık- yeşil alan sistemi/ altyapı hizmetleri	(Yücesu vd., 2017)	Ulaşım akslarının, açık- yeşil alan bütünlüğünün sağlanmasında büyük önem taşıdığı ifade edilmiştir.
Doğal- kültürel değerler/ atık sistemi	(TEMA, 2020)	Doğal ve kültürel sürdürülebilirliğin sağlanmasında atık yönetiminin önemli olduğu ifade edilmiştir.

3. Bulgular ve tartışma

3. Results and discussion

3.1. KGS temalarının analizi

3.1. Analysis of KGS themes

Şehirler İttifakı (*Cities Alliance*) (2020) verilerine göre; Asya Kalkınma Bankası (*Asian Development Bank- ADB*), Japon Kalkınma Bankası (*Japan Bank for International Cooperation- JBIC*) ve Dünya Bankası (*World Bank- WB*) kuruluşları tarafından 2005 yılında gerçekleştirilen çalışmada KGS’de ele alınması gereken temalar (çevresel sürdürülebilirlik, geçim kaynakları, finansal kaynaklar, yönetim) vurgulanmıştır ([Rasoolimanesht vd., 2012](#)). Bu temalara ilişkin başlıklar Bartın İli Stratejik Planı (2020-2024)’nda incelenerek aşağıdaki şekilde özetlenmiştir:

Çevresel sürdürülebilirliğe yönelik:

- Kent silüetinin korunmasına ilişkin uygulamaların artırılması ve yeşil alanların çoğaltılmasına ilişkin çalışmaların gerçekleştirilmesi,
- İnsan odaklı, adil ve erişilebilir bir kent formunun oluşturulması,
- Doğal afetlere hazırlıklı bir kent planının oluşturulması,
- Çevreye duyarlı ulaşım sistemlerinin (bisiklet ve yaya ulaşımı) desteklenmesi ve yoğunluğun azaltılması,
- Atıkların çevreci yöntemlerle, ekonomik yarar sağlayacak şekilde dönüştürülmesi,
- Altyapı çalışmalarının gerçekleştirilmesi ve temiz hava kalitesinin devamlılığının sağlanması.

Geçim kaynaklarına yönelik:

- İstihdamın artırılmasına ilişkin politikalar geliştirilmesi,
- Yerel ürünlerin markalaştırılması ve ekonomiye katkıda bulunulmasına ilişkin faaliyetler gerçekleştirilmesi,
- İl sınırındaki tarımsal faaliyet ve rekâbetlerin desteklenmesi,
- Mesleki eğitim ve beceri kazandırma etkinliklerine yer verilerek, istihdam olanaklarının artırılması.

Finansal kaynaklara yönelik

- Bütçe disiplininin sağlanması, ek kaynaklarla bütçe gelirlerinin artırılması ve Toplumsal Cinsiyete Duyarlı Bütçeleme (TCBD) uygulamalarına yer verilmesi,
- Kaynakların etkin bir şekilde yönetilmesiyle, risklere karşı korunması,

- Bartın’da yaşayan birey ve ekonomik aktörlere destek sunularak kent ekonomisine katkıda bulunulması.

Yönetişime yönelik

- Halkın karar alma süreçlerine aktif katılımının sağlanması,
- E-belediye uygulamalarının kapsamının genişletilmesi.

3.2. Sürdürülebilir kent gelişimine ilişkin matrisler

3.2. Matrices for sustainable urban development

Plan içeriği kavrandıktan sonra, Bartın İli Stratejik Planı’nın Wong vd. tarafından geliştirilen “sürdürülebilir kentsel planlama ve yönetim için değerlendirme ölçütlerine” ([Wong vd., 2006](#)) uyumluluğunun tespit edilmesi için, Özel Mazlum ve Yalçın Ercoşkun’dan yararlanılarak ilişki matrisleri geliştirilmiştir ([Özel Mazlum & Yalçın Ercoşkun, 2019](#)). İlişki matrisi Şekil 1’de yer almaktadır.

- “Konut koşullarına ilişkin” gerçekleştirilen kıyaslamada; çalışma koşulları ve kültürel mirasa dair ilişkilendirilebilir bir madde bulunmadığı görülmüştür. Fakat, kent gelişimi kapsamında gerçekleştirilen uygulamalar ve açık- yeşil alanların sayı/ konumları ile ilgili hedeflerden dolayı “uyumlu” olarak belirlenmiştir.
- “Kentsel hizmetlere ilişkin” gerçekleştirilen kıyaslamada, hizmetlerin söz konusu başlıkların çoğunu kapsadığı ancak, çalışma koşullarının iyileştirilmesine ilişkin bir etkinliğin olmadığı saptanmıştır.
- “Yeterli erişim başlığına ilişkin” gerçekleştirilen analizde, kent gelişimi ve entegre bir ulaşım sisteminden bahsedilmiş fakat, kültürel miras alanlarına erişimden bahsedilmemiştir.
- “Sağlık ve eğitim tesisleri konusunda” ise, kent gelişiminde sayı ve niceliklerinin artırılacağından bahsedilmiş fakat, ilgili alanlara ulaşımaya yönelik bir bilgiye rastlanmamıştır.
- “Ekonomik büyüme ve istihdam olanaklarının artırılması hususunda” ise, çeşitli kurum ve kuruluşlar vasıtasıyla eğitim ve iş olanaklarının artırılacağına değinilmiştir. Fakat, kültürel miras alanlarının ekonomik büyümeye katkı sunmasına ilişkin faaliyet ve uygulamalara yer verilmemiştir.
- “Düşük tüketim maliyetleri ile ilgili olarak” sadece atık sistemi ve su tasarrufuna ilişkin etkinliklere yer verilmiştir. Bu etkinliklerin çeşitlendirilmesi gerektiği düşünülmektedir.
- “Adil konut erişimi konusunda” ise, konut alanlarındaki park sayısının artırılmasına ve etkin/ ulaşılabilir bir atık sistemine ilişkin hedeflere yer verilmiştir.

Uyum Matrisi		Bartın İli Stratejik Planı (2020- 2024)						
		Çalışma koşulları	Kent gelişimi	Ulaşım sistemi	Açık-yeşil alanlar	Kültürel miras	Atık sistemi	Engelli bireyler
Wong vd., (2006)								
Fiziksel	Konut koşulları	+	+	+	+	+	+	+
	Kentsel hizmetler	+	+	+	+	+	+	+
	Yeterli erişim olanakları	+	+	+	+	+	+	+
	Sağlık ve eğitim tesisleri	+	+	+	+	+	+	+
Ekonomik	Ekonomik büyümenin sağlanması	+	+	+	+	+	+	+
	İstihdam olanakları	+	+	+	+	+	+	+
	Düşük tüketim maliyetleri	+	+	+	+	+	+	+
Sosyal	Adil konut erişimi	+	+	+	+	+	+	+
	Kültürel değer/çeşitlilik	+	+	+	+	+	+	+
Çevresel	Enerji tüketiminin verimliliği	+	+	+	+	+	+	+
	Temiz su kaynakları	+	+	+	+	+	+	+
	Hava kalitesinin iyileştirilmesi	+	+	+	+	+	+	+
	Etkin atık yönetimi	+	+	+	+	+	+	+
	Biyçeşitliliğin teşviki	+	+	+	+	+	+	+
	Çevre koruma bilinci	+	+	+	+	+	+	+

Uyumlu
 Dolaylı uyumlu
 Uyumsuz

Şekil 1. Stratejik planın sürdürülebilirlik ölçütleri ile uyumu (Wong vd., 2006 ve Özel Mazlum & Yalçınır Ercoskun, 2019’den yararlanılarak geliştirilmiştir)

Figure 1. Compliance of the strategic plan with the sustainability criteria

- “Kültürel değer ve çeşitlilik kapsamında”, kentsel gelişim sürecinde kültürel değerlerin korunması ana yaklaşım olarak ele alınmış ve açık-yeşil alanların korunmasının önemine değinilmiştir.
- “Verimli enerji tüketimi konusunda” ise, atık dönüşüm uygulamalarından ve doğa dostu ulaşımın gerekliliğinden bahsedilmiştir. Kent genelinde her bireyin temiz su kaynaklarına erişim hakkı olduğuna değinilmiştir.
- “Hava kalitesinin iyileştirilmesi/ korunması” ana hedeflerden biri olarak ele alınmış ve bu bağlamda, doğa dostu ulaşımın desteklenmesi ve yaygınlaştırılmasına ilişkin stratejilere yer verilmiştir.
- “Biyçeşitliliğin teşvikine ilişkin” olarak, tam uyum sağlayan bir madde olmadığı saptanmıştır. Bu bağlamda, kent gelişiminde “kültürel miras alanlarına ilişkin biyoçeşitliliğin korunması ve

sürdürülebilirliğinin sağlanması”nın ana stratejilerden biri olarak ele alınması gerektiği düşünülmektedir. kıyaslamalarda; koruma yaklaşımı kentin kalkınmasında temel bir değer olarak ele alınmış ve kültürel yayınların basılmasından bahsedilmiştir ancak, koruma konusunda farkındalığın artırılmasına yönelik etkinliklere yer verilmemiştir.

3.3. KENTGES ile uyumun belirlenmesine ilişkin matrisler

3.3. Matrices for determining compliance with KENTGES

Stratejik planın (Bartın Belediyesi, 2019), KENTGES (2010-2023) (KENTGES, 2020) dokümanına uyumunun tespit edilebilmesi amacıyla gerçekleştirilen uyum matrisi Şekil 2’te yer almaktadır.

Uyum Matrisi		Bartın İli Stratejik Planı (2020-2024)						
		Çalışma koşullar	Kent gelişim	Ulaşım	Açık-yeşil alanlar	Kültürel miras	Atık sistemi	Engelli bireyler
KENTGES (2010-2023)								
Planlama Sistemi	Etkin izleme/ denetleme	++++						
	Kapasite güçlendirme							
	Ar-Ge çalışmaları	++++	++++	++++	++++	++++	++++	++++
Mekân ve Yaşam Kalitesi	Sürdürülebilir makroform	++++						++++
	Konut ve arsa sunumu	++++	++++	++++	++++	++++	++++	++++
	Sürdürülebilir kentsel ulaşım	++++			++++	++++	++++	++++
	Donatı/hizmetlerin dağılımı	++++		++++		++++	++++	
	Açık- yeşil alan sistemi	++++				++++	++++	++++
	Doğal-kültürel değerler	++++		++++	++++			++++
	Mekân güvenliği	++++	++++	++++	++++	++++	++++	++++
Ekonomik/Toplumsal Yapı	Kırsal yerleşimlerin güçlendirilmesi	++++	++++	++++	++++	++++	++++	++++
	Toplumsal dayanışma/bütünleşme	++++		++++	++++	++++	++++	
	Dezavantajlı kesim					++++	++++	
	Katılımcı yaklaşım	++++		++++	++++	++++	++++	++++

Uyumlu
 Dolaylı uyumlu
 Uyumsuz

Şekil 2. Stratejik planın KENTGES ile Uyumu (Wong vd., 2006 ve Özel Mazlum & Yalçiner Ercoşkun, 2019'dan yararlanılarak geliştirilmiştir).

Figure 2. Harmonization of the strategic plan with KENTGES

- “Çevre koruma bilincine ilişkin” gerçekleştirilen kıyaslamalarda; koruma yaklaşımı kentin kalkınmasında temel bir değer olarak ele alınmış ve kültürel yayınların basılmasından bahsedilmiştir ancak, koruma konusunda farkındalığın artırılmasına yönelik etkinliklere yer verilmemiştir.
- Stratejik planda, planlama sistemine ilişkin “etkin izleme ve denetlemenin” önemine değinilmiş ve “etkin kaynak kullanımı ve vatandaş memnuniyeti temelli” izleme/ denetlemelerin gerçekleştirilmesine ve bu bağlamda Strateji Geliştirme Kurulu tarafından toplantılar gerçekleştirileceği ifade edilmiştir.
- “Kapasite güçlendirmeye ilişkin”, kurumsal kapasitenin geliştirilmesi, kaynak verimliliği, paylaşım merkezlerinin ve gelir kaynaklarının

geliştirilmesinden bahsedilmiştir. Bu bağlamda, söz konusu her madde ile ilişki saptanmıştır.

- “Ar-Ge çalışmalarına ilişkin”, idare bünyesinde bir ekibin bulunduğu bahsedilmiş ancak, faaliyetler ve stratejilere yer verilmediği belirlenmiştir. Bu bağlamda söz konusu başlıklarla ilişkilendirme gerçekleştirilememiştir.
- “Sürdürülebilir makroform konusunda” ise; kentin sağlıklı, planlı ve kültürel değerlerin önemsendiği bir şekilde geliştirilmesinden bahsedilmiştir. Böylece, kent gelişimiyle sürdürülebilirlik ilişkisi kurulmuştur.
- Planda “konut ve arsa sunumuna ilişkin” bir stratejiye yer verilmediği belirlenmiştir. Bu kapsamda, konut ve arsa sunumuna yönelik sürdürülebilirlik ve yaşam kalitesini yükseltecek etkinlikler gerçekleştirilmesi gerektiği düşünülmektedir.

- “Sürdürülebilir kentsel ulaşım başlığında” ise; sürdürülebilir kent gelişimi ve doğa dostu ulaşımın önemine değinilmiştir. Ancak; açık- yeşil alanlar ve kültürel miras alanları gibi kamusal alanlara entegre bir kentsel ulaşım sisteminden söz edilmediğinden bu maddelerle ilişki kurulamamıştır.
- “Donatıların/hizmetlerin dağılımına ilişkin”, kent genelinde sosyal/ kültürel donatıların artırılmasına ve dengeli bir şekilde dağılımına değinilmiştir. Kültürel miras ve ulaşım gibi konulara yönelik bir ayırım olmadığından ilişkilendirme gerçekleştirilememiştir.
- Kent gelişiminde “doğal- kültürel değerlerin korunması” ana hedef olarak ele alınmıştır. Bu bağlamda, kültürel miras alanları ile uyumlu bir eşleşme saptanmıştır.
- Stratejik planda “mekân güvenliğinin artırılmasına ilişkin” faaliyetlere yer verilmediği görülmüştür. Kamusal mekândan kaynaklı güvenlik sorunları, kadınların kent hayatında aktif bir şekilde yer alabilmelerinde önemli bir engeldir (Açıksöz, 2017). Bu bağlamda cinsiyet eşitsizliğine maruz kalınan kentsel yerleşimlerde güvenlik, önemli bir konu olarak plan/ politika/ stratejilere yansıtılmalıdır.
- Stratejik planın bir diğer eksik yönünün ise “kırsal yerleşimlerin güçlendirilmesine ilişkin” herhangi bir faaliyete yer verilmemesi olduğu düşünülmektedir. Bu bağlamda, belediye sınırı içinde yer alan kırsal peyzaj alanlarının sürdürülebilirliğine ilişkin stratejiler geliştirilmesi gerektiği düşünülmektedir.
- Engelli dostu belediyecilik anlayışının temel değer olarak ele alındığı planda “dezavantajlı kesimin yaşam kalitesinin iyileştirilmesine ilişkin”; kent gelişimi, ulaşım, parklar gibi kamusal konularda stratejiler geliştirilmiştir. Bu bağlamda, söz konusu başlıklara uyum saptanmıştır.
- “Katılımcı yaklaşıma ilişkin”, katılımcılık kent gelişiminin temel değeri olarak ifade edilmiş ve e-belediye uygulamalarından söz edilmiştir.

4. Tartışma ve sonuçlar

4. Discussion and conclusions

Şehirler İttifakı (*Cities Alliance*)’na göre başarılı şehirlerde gerçekleştirilen uygulamalar; geçim kaynaklarının iyileştirilmesi, çevre kalitesi/ hizmet sunumu/ enerji verimliliğinin sağlanması, mekânsal form ve altyapı çözümleri sunulması, mali kaynaklara yönelik düzenlemeler ve yönetim anlayışının benimsenmesine ilişkin uygulamalar olarak belirtilmiştir (Cities Alliance, 2020). Bartın kentinin gelişiminin söz konusu KGS doğrultusunda yönlendirilmesi için uygulamalara

aktif ve tam anlamıyla yer verilmesinin önemi büyüktür.

Sürdürülebilir kent gelişiminin sağlanmasında kapsamlı çevre politikalarının rolü büyüktür. Mutlu (2006)’ya göre çevre politikalarında başarının sağlanmasında gerekli koşullar; yönetim maliyetlerinin düşürülmesi, ekonomik etkinlikler gerçekleştirilmesi, politikaların benimsenmesi, uygulamaların işlerliğine güvenilmesi, dinamik bir yapıda olması ve politik süreçlere uyumlu olması olarak belirtilmiştir (Toprak, 2006). Söz konusu başarı koşullarının Bartın kentine ilişkin stratejik dokümanlara uyarlanmasıyla beraber sürdürülebilirlik anlamında önemli adımlar atılacağı düşünülmektedir.

Stratejik planda “Adil/ Kullanışlı Mekânsal Biçim” başlığı altında yer alan, gerçekleşmesi hedeflenen eylemlerden biri “ailelere yönelik mekânların yaygınlaştırılması” olarak ifade edilmiştir. Çağdaş/ adil bir kent gelişiminde, sosyal dışlanmayı destekleyen her türlü uygulamadan uzak durulması ve kadın-erkek eşitliği konusu dikkate alınarak politikalar geliştirilmesi/ düzenlemeler yapılması gerektiği düşünülmektedir.

Bu çalışma kapsamında, Bartın iline ilişkin 2020-2024 yıllarını kapsayan strateji belgesinin sürdürülebilir kentsel planlama/ yönetim ölçütlerine uyumluluğu ve KENTGES belgesine uyumluluğu sorgulanmıştır. Bu iki dokümanın kıyaslanmasıyla eksiklerden yola çıkılarak hazırlanan, planda yer verilen maddelere ek olarak Bartın kentinin “sürdürülebilir” gelişimde etkili olacağı düşünülen önerilere yer verilmiştir. Söz konusu öneriler aşağıda yer almaktadır:

Planlama sistemi

- Kentsel saçaklanmanın en aza indirgenmesine yönelik planlama çalışmalarının gerçekleştirilmesi,
- Planlama faaliyetlerine “biyoçeşitliliğin korunması” düşüncesinin yön vermesi ve habitat alanlarının korunması/ izlenmesi,
- Kent planlamasında “tüketim maliyetlerinin düşürülmesi” düşüncesinin ana hedeflerden biri olması ve bu kapsamda, akıllı kentlerde uygulanan, sürdürülebilirliği destekleyen projelerden yararlanılması.

Mekân ve yaşam kalitesi

- Kentsel gelişimin doğru ve sürdürülebilir bir şekilde gerçekleştirilebilmesi için Ar-Ge çalışmalarına gereken önemin gösterilmesi ve çalışmaların desteklenmesi,

- Sürdürülebilir kentsel ulaşımın sağlanmasında, açık-yeşil alanlar ve tarihi alanlar ile bağlantı kurulması,
- Kültürel miras alanlarının kullanımlarının artırılmasında, ulaşım kolaylıklarının sağlanması,
- Kentsel yerleşimin mekân kalitesinin artırılması hususunda, konut koşullarının iyileştirilmesi,
- Sağlık ve eğitim tesislerinin sayı ve niteliklerinin yanında erişilebilirliklerinin de iyileştirilmesi.

Ekonomik/ toplumsal yapı

- Engelli dostu belediye hizmetlerinin kapsamı/ işlerliğine dair bilgi verilmesi ve engelli dostu çözümlerinin artırılması,
- Engelli dostu belediye hizmetlerinde olduğu gibi aktif yaşlanmaya ilişkin ve kadın dostu kentsel hizmetler konusunda plan ve politikaların gerçekleştirilmesi,
- Kültürel miras alanlarının korunması ve ulusal/uluslararası turizm kapsamında değerlendirilerek kentin tanıtılmasını ve kente ekonomik katkı sunmasını sağlayacak etkinliklerin gerçekleştirilmesi,
- Koruma bilincinin aşılmasına ilişkin kültürel etkinlikler ve eğitimlerin gerçekleştirilmesi.

Gerçekleştirilen araştırma ile oluşturulan matrisler yardımıyla Bartın kentinin güncel strateji dokümanında kent gelişim stratejileri ve sürdürülebilirlik konusundaki eksiklikler belirlenmiştir. KGS'ye ilişkin plan ve politikaların oluşturulması, uygulanması ve izlenmesi sürecinde; bu eksikliklerin giderilmesinde yerel yönetimlerde istihdam edilen ilgili meslek disiplinlerinin yanı sıra Peyzaj Mimarı sayılarının da artırılması gerektiği düşünülmektedir. Ayrıca, doğal ve kültürel kaynakların sürdürülebilirliği, akıllı kent gelişim stratejileri ile ilişkili güncel yaklaşımlardan yararlanılmasının önemi vurgulanmaktadır. Gelecekte yapılacak çalışmalarda, akıllı/ sürdürülebilir kent gelişim stratejilerinin ve eylem planının oluşturulmasına yönelik araştırmalara yer verilmesinin bu konudaki literatüre katkı sunacağı düşünülmektedir.

Teşekkür

Acknowledgement

Makalenin incelenmesinde göstermiş oldukları sabır ve anlayıştan dolayı, ilgili editör ve hakemlere teşekkür edilmektedir.

Yazar katkısı

Author contribution

Araştırmacılar arasında Açıksöz; makalenin düzenlenmesi, ilerleyişinin denetlenmesi, ilgili tabloların/bulguların ve sonuç kısmının değerlendirilmesi hususunda (%50 oranında) katkı sunmuştur. Dinçtürk ise, makale fikrinin oluşturulması, literatür verilerin elde edilmesi, bulgular ve sonuç kısmının şekillendirilmesine yönelik (%50 oranında) katkı sunmuştur.

Etik beyanı

Declaration of ethical code

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

Çıkar çatışması beyanı

Conflicts of interest

Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Kaynaklar

References

- Açıksöz, S. (2017). Toplumsal cinsiyet eşit(siz)liğinin dış mekâna yansımaları: Toplumsal cinsiyete duyarlı bütçeleme. Çelikyay, S. (Ed), *Toplumsal Cinsiyet ve Kent mekân Sempozyumu Bildiriler Kitabı* (s. 114-138.). Ankara.
- Akbulut, F. (2016). Kentsel ulaşım hizmetlerinin planlanması ve yönetiminde sürdürülebilir politika önerileri. *Kastamonu Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 11(1), 336-355.
- Bartın Belediyesi (2020). *Stratejik plan (2020- 2024)*. <https://bartin.bel.tr/dosyalar/2019/10/B.Belediye> -.
- Baş, H. (2018). Sürdürülebilir kent formu: yayılmaya karşı kompaktlaşma. *Türkiye Kentsel Morfoloji Araştırma Ağı II. Kentsel Morfoloji Sempozyumu: “Değişkent” Değişen Kent*, (ss. 105-115). İstanbul.
- Can, A. (2014). Yerel yönetimler ve kültür politikaları bağlamında İstanbul’da kentsel koruma sorunlarına sürdürülebilir çözüm önerileri. *Marmara Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 5, 55-81.

- Cities Alliance (2020, 12 Aralık). <https://www.citiesalliance.org/resources/knowledge/cities-alliance-knowledge/guide-city-development-strategies-improving-urban>.
- Çakmak, T., & Yılmaz, B. (2017). Bellek kurumlarında dijitalleştirme ve dijital koruma: Türkiye’deki uygulamaların analizi. *Bilgi Dünyası*, 18(1), 49–91. <https://doi.org/10.15612/BD.2017.580>
- Demirayak, F. (2002). Biyolojik çeşitlilik-doğa koruma ve sürdürülebilir kalkınma. *TÜBİTAK VIZYON 2023 Projesi Çevre ve Sürdürülebilir Kalkınma Paneli* (ss. 1-30). Ankara.
- Demirkan, H. (2015). Mekânlarda erişilebilirlik, kullanılabilirlik ve yaşanabilirlik. *Dosya* 36(3), 1–5.
- Gül, A., & Küçük, V. (2001). Kentsel açık-yeşil alanlar ve Isparta kenti örneğinde irdelenmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 2, 27–48.
- Güler, M., & Turan, A. (2013). Türkiye’de sürdürülebilir kentsel gelişme stratejileri: KENTGES eylem planı (2010-2023) örneği. *International Conference on Eurasian Economies 2013* (pp 255-260).
- Gür, M., & Erbil, Y. (2018). Konut ve konut çevresine ilişkin kullanıcı memnuniyeti araştırması: Bursa/Yıldırım. *International Journal of Social Humanities Sciences Research (JSHSR)*, 5(30), 4135–4148.
- Güven, A. (2017). Kentsel sorunların çözümünde kent yönetimi ve paydaşlarının rolü. *Uluslararası Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 10(52), 1048–1062.
- Karakurt Tosun, E. (2013). Sürdürülebilir kentsel gelişim sürecinde kompakt kent modelinin analizi. *Yönetim ve Ekonomi*, 20(1), 31–46.
- Karataş, A., & Kılıç, S. (2017). Sürdürülebilir kentsel gelişme ve yeşil alanlar. *Journal of Political Sciences*, 26(2), 53–78. <https://doi.org/10.26650/siyasal.2017.26.2.0003>
- KENTGES (2020). *Bütünleşik kentsel gelişme stratejisi ve eylem planı (2010-2023)*. https://webdosya.csb.gov.tr/db/kentges/editordosya/kentges_tr.pdf
- Kömürcü, B., & Avşar Negiz, N. (2016). Kentsel bir sorun alanı olarak sokakta çalışan- çalıştırılan çocuklar: (Isparta örneği). *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 21(3), 971–994.
- Nilsson, K., Hasta Nielsen, T., Aalbers, C., Bell, S., Boitier, B., Chery, JP., Fertner, C., Groschowski, M., Haase, D., Loibl, W., Pauleit, S., Pintar, M., Piorr, A., Ravetz, J., Ristimäki, M., Rounsevell, M., Tosics, I., Westerink, J., & Zasada, I. (2014). Strategies for sustainable urban development and urban rural linkages. *Avrupa Mekansal Gelişim Dergisi*, 1-26.
- Öksüz Kuşçuoğlu, G., & Taş, M. (2017). Sürdürülebilir kültürel miras yönetimi. *Yalvaç Akademi Dergisi*, 2(1), 58–67.
- Önder, S., & Polat, A. T. (2012). Kentsel açık-yeşil alanların kent yaşamındaki yeri ve önemi. *Kentsel Peyzaj Alanlarının Oluşumu ve Bakım Esasları Semineri* (ss. 73–96). Konya.
- Ören, K., & Yüksel, H. (2013). Türkiye’de konut sorunu ve temel dinamikleri. *Süleyman Demirel Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 2(18),47–84.
- Özbilen, N., & Gülersoy, N. Z. (2016). Kentsel gelişim ve dönüşüm planlanması sürecinde gayrimenkul mülkiyet haklarının değerlendirilmesi: imar hakları transferi plan uygulama aracı. *Planlama*, 26(3), 172–180. <https://doi.org/10.14744/planlama.2016.22932>
- Özel Mazlum, Z., & Yalçın Ercoşkun, Ö. (2019). Kentsel dönüşüm strateji belgelerinde sürdürülebilirlik değerlendirmesi: Kilis örneği. *Dirençlilik Dergisi*, 3(2), 183–200. <https://doi.org/10.32569/resilience.598083>
- Rasoolimanesh, S. M., Badarulzaman, N., & Jaafar, M. (2011). Achievement to sustainable urban development using City Development Strategies (CDS): A comparison between Cities Alliance and the World Bank definitions. *Journal of Sustainable Development*, 4(5), 151–166.
- Rasoolimanesh, S. M., Badarulzaman, N., & Jaafar, M. (2012). City Development Strategies (CDS) and sustainable urbanization in developing World. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 36, 623–631. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.03.068>.
- Sat, N. A., Güler Üçer, Z. A., Varol, C., & Yenigül, S.B. (2017). Sürdürülebilir kentler için çok merkezli gelişme: Ankara metropoliten kenti için bir değerlendirme. *Ankara Araştırmaları Dergisi*, 5(1), 98–107. <https://doi.org/10.5505/jas.2017.05025>
- TEMA (2020, 26 Aralık). <https://www.tema.org.tr/basin-odasi/basin-bultenleri/tema-vakfindan-yerel-yonetimlere-cagiri>.
- Toprak, D. (2006). Sürdürülebilir kalkınma çerçevesinde çevre politikaları ve mali araçlar. *Süleyman Demirel Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 2(4), 146–169.

- Ulubaş, A., & Kocabaş, A. (2016). Sürdürülebilir kentsel koruma yaklaşımı bağlamında Eyüp tarihi dokusunun irdelenmesi. *IV. Çevre-Tasarım Kongresi* (ss. 73-84). Kayseri.
- UN HABİTAT (2005). *Lake Victoria Region City Development Strategies (CDS): for Improved Urban Environment and Poverty Reduction. Second Generation CDS Cities Induction Workshop Report*.
https://mirror.unhabitat.org/downloads/docs/3589_53577_kampala_wkshp_rpt.pdf
- Vural, H., Meral, A., & Doğan, S. (2019). Kentsel gelişim ve yeşil alan planlama sürecinin katılımcı SWOT analizi yöntemi ile değerlendirilmesi: Bingöl kenti. *İdealkent*, 10(28), 1069-1096.
<https://doi.org/10.31198/idealkent.607383>
- Wong, S. W., Tang, B., & Horen, B. V. (2006). Strategic urban management in China: A case study of Guangzhou development district. *Habitat International*, 30(3), 645-667.
<https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2005.04.001>
- Yücesu, Ö., Korkut, A., & Kiper, T. (2017). Kırklareli kent merkezinin açık ve yeşil alanlarının analizi ve bir sistem önerisi. *ARTIUM*, 5(2), 22-37.

Effects of secondary fluid flow rate on cooling performance of vapor compression systems

Buhar sıkıştırırmalı sistemlerin soğutma performansı üzerinde ikinci akışkanın kütlelesel debisinin etkileri

Faraz AFSHARI^{1,a}, Doğan ÇİLOĞLU^{2,b}, Mehmet Akif CEVİZ^{1,a}, Murat CEYLAN^{*1,d}

¹ Erzurum Technical University, Faculty of Engineering and Architecture, Department of Mechanical Engineering, Erzurum

² Atatürk University, Technical Vocational School of Higher Education, Erzurum

• Geliş tarihi / Received: 08.03.2021

• Düzeltilek geliş tarihi / Received in revised form: 07.10.2021

• Kabul tarihi / Accepted: 18.10.2021

Abstract

The vapor compression cooling devices operate on the same principle as heat pumps. In these types of machines thermal energy is transferred from the cold environment to the warmer side using provided power by the compressor. In this study, the effect of air flow rate on the cooling performance of vapor compression cooling devices has been investigated by simulating a designed system in AVL CRUISE™ M program. The simulated model is air-to-air cooling machine and refrigerant R134a was used as circulated gas inside the system. COP value of the system has been calculated in different working conditions and obtained results have been fully discussed. Accordingly, enthalpy variation in every element of the heat pump has been calculated in different working conditions and discussed on P-h diagram. This study presents a simulation method that is a practical solution method in the field of heat pumps, cooling machines and refrigerators which can be considered before installing device in order to have a proper prediction of the system performance.

Keywords: AVL CRUISE™ M, Cooling performance, COP, Vapor compression system

Öz

Buhar sıkıştırırmalı soğutma cihazları ısı pompalarıyla benzer prensipte çalışır. Bu tür makinelerde kompresör tarafından tüketilen gücün kullanılmasıyla soğuk ortamdan sıcak olana ısı enerji transferi gerçekleştirilir. Bu çalışmada, AVL CRUISE™ M programında tasarlanan bir sistemin simülasyonu yapılarak hava akış hızının buhar sıkıştırırmalı soğutma cihazının soğutma performansına etkisi incelenmiştir. Simülasyonu yapılan model havadan havaya soğutma makinesidir ve sistem içinde sirküle edilen gaz olarak soğutucu akışkan R134a kullanılmıştır. Sistemin COP değeri farklı çalışma koşullarında hesaplanmış ve elde edilen sonuçlar tümüyle tartışılmıştır. Bu doğrultuda, ısı pompasının her elemanındaki entalpi değişimi farklı çalışma koşullarında hesaplanmış ve P-h diyagramı üzerinde ele alınmıştır. Bu çalışma, sistem performansının doğru bir şekilde tahmin edilebilmesi için cihaz kurulumundan önce dikkate alınabilecek ısı pompaları, soğutma makineleri ve buzdolapları alanında pratik çözüm yöntemi olan bir simülasyon yöntemi sunmaktadır.

Anahtar kelimeler: AVL CRUISE™ M, Soğutma performansı, COP, Buhar sıkıştırırmalı sistem

^{*d} Murat CEYLAN; murat.ceylan@erzurum.edu.tr; Tel: (0535) 833 20 44; orcid.org/0000-0002-4958-0697

^a orcid.org/0000-0001-9192-5604

^b orcid.org/0000-0002-7570-9271

^c orcid.org/0000-0001-6268-571X

1. Introduction

1. Giriş

The design, environmental pollution and its impacts on ozone layer depletion, global warming, climate change, and etc. as well as shortage of energy sources are primary significant issues that need to be investigated by researchers (Zheng et al., 2016). Heating, ventilation and air conditioning systems (HVAC) are a basic necessity in providing human thermal comfort. Energy consumed by HVAC systems accounts for almost half of total building energy consumption in developed countries and is expected to exceed 30% of global electricity demand by 2050 (Yang et al., 2019). Thus, HVAC systems have attracted great attention recently for their high efficiency, energy-saving, and environmental friendliness. Due to the continuous increase in energy demand, costs and related environmental problems, the energy-saving of these systems is a very important issue. The performance of a HVAC system depends on the adaptation of many energy equipment such as the tubing, compressor, and isolation components and the factors such as icing problem that cause the thermal resistance on the heat transfer surfaces. On the other hand, the fin spacing of the heat exchanger, air and refrigerant temperature, air relative humidity (RH) and air velocity are parameters that affect the efficiency of the system. Many studies have been carried out to optimize HVAC system performance and thus increase the COP. Examples of these studies include electric heater defrosting (Bansal et al., 2010; Knabben et al., 2011) energy storage defrosting (Joppolo et al., 2012; Zhongbao Liu et al., 2017; Tan et al., 2015; D. Wang et al., 2012), and bypass cycle defrosting (Zhongbao Liu et al., 2018), hydrophobic fin coatings (Zhongliang Liu et al., 2006; F. Wang et al., 2015; S. W. Wang & Liu, 2005), solid desiccant (Tang et al., 2016; Z. Wang et al., 2014) and so on. Schneider, (1978) proposed a new non-freezing air source heat pump water heater system coupled to an extra heat exchanger covered by a solid desiccant with an energy storage device. In their experiments, they found a 7.25% to 46.3% increase in the mean COP of the system compared to hot gas bypass defrost and electrical resistance heating, respectively. On the other hand, the effect of air velocity on possible icing on the evaporator is unclear. Schneider, (1978) reported that the frost growth was independent of the Reynolds number (Re) and thus the air velocity. O'Neal and Tree, (1984) reported that at Reynolds numbers below the critical Reynolds number (about 15,900 for flow on a parallel-plate heat exchanger), the effect of air velocity on icing growth is significant, and

otherwise, it is not significant. Lee et al., (2013) used a circular tube heat exchanger and found an increase in frost growth rate relative to air velocity, but not for air velocities greater than 0.97 m/s. In contrast to these researchers, Yan et al., (2003) reported higher frost growth at lower air velocities. Although a substantial amount of fundamental research has been done on frost under various operating conditions and geometries, the effect of air velocity on frost growth rate remains uncertain.

In this context, heat pumps and cooling devices have a notable role due to their importance in the effective heating and cooling in residential and industrial applications (Gaigalis et al., 2016). Moreover, heat pumps and cooling devices are employed in different industrial fields including food industry and drying (Ozyurt et al., 2004), air conditioning systems (Afshari et al., 2020; Yumrutaş & Ünsal, 2012), drying of textiles (Ameen & Bari, 2004) and etc. In general, vapor compression cycles can be compared in the terms of efficiency and performance using coefficient of performance or COP, which is a ratio of the useful cooling in refrigerators or heating in heat pumps to the work consumed by a compressor (Afshari et al., 2016).

In the literature heat pump systems have been evaluated in the terms of performance, energy and exergy efficiency considering overall system and its elements separately. The influence of the charge amount in vapor compression systems on the COP, power consumption and efficiency was investigated under different working conditions in order to achieve an optimal charge amount of the cooling refrigerant (Shen et al., 2009). Refrigerants replacing in a heat pump system can affect the performance deeply in terms of coefficient of performance. Karagoz et al., (2004) investigated refrigerant change and used the low ODP and low GWP gases in the same system. In addition, refrigerant mixtures were produced and various mass fractions and refrigerant types were examined. Piscaglia et al., (2016) conducted an experimental study to analyze seasonal performance of vertical borehole ground source heat pump device. The established experimental system was operated and its impact on the sedimentary heat reservoir was surveyed during four years.

Carrilho et al., (2017) studied the effects of icing on the external surface of the evaporators in refrigeration cycles. They discussed the ice layer formation over evaporator surface as heat exchanger for several values of air flow rate,

temperature and relative humidity. Their evaluation on the icing thermal resistance demonstrated the importance of air conditions and heat exchanger configurations.

Nada et al., (2015) designed a test rig to study the fresh water production rate and cooling performance under different air flow rates, air inlet temperature, specific humidity and evaporator saturation temperature. According to their experimental results, an improvement on the fresh water production rate and the refrigeration capacity can be obtained with increasing air specific humidity and air mass flow rate.

Ramadan et al., (2015) concluded a study on the heat recovery concept in HVAC applications working on refrigeration cycles. They focused on the waste energy of the condenser hot air to preheat the domestic water. They have changed the water and air flow rates, and the results showed that the water can be heated depending on the mass flow rates and cooling loads of the HVAC system. According to their modeling results as the air flow rate decreases, the system efficiency increases.

This theoretical simulation study, devoted to a detailed attempt to evaluate the effects of flow rate of secondary fluid on the performance of vapor compression system. Energy based calculations have been performed to find out COP value of the heat pump under different working conditions. The literature research gap is the missing of P-h cycle motion of heat pump systems under different flow rates of secondary fluid, which is presented and discussed in this work. In addition, obtained results have been compared with the literature in terms of

performance and COP value. There is a good agreement between research available in the literature with this present study.

2. Simulation method

2. Simülasyon yöntemi

The simulation method has been carried out using AVL CRUISE™ M program as a model-based system, which is a vehicle simulation platform. With the help of this program, high-quality, real-time capable subsystem models of the engine, powertrain, 1-dimensional fluid flow, after-treatment, electrical and control system domains can be seamlessly integrated.

In the CRUISE™ M program, it is also possible to perform modeling studies that support the simulation of refrigerant circuits such as air conditioning systems. In this study, the system model was created by using the basic cooling system elements in CRUISE™ M. It should be stated that, CRUISE™ is a flexible simulation solution that supports a wide range of applications and has a very high accuracy. By using a numeric solver and the ability to run real time applications, this simulation tool is very fast and accurate. In addition, this method can accurately and reliably predict the energy management of a designed energy system to evaluate operation efficiency and performance. In Figure 1, the schematic diagram of the simulation is presented including the components of the relevant system. This model shows a basic single-stage air conditioning circuit designed to include a sub-cooler. The circulating refrigerant is R134a.

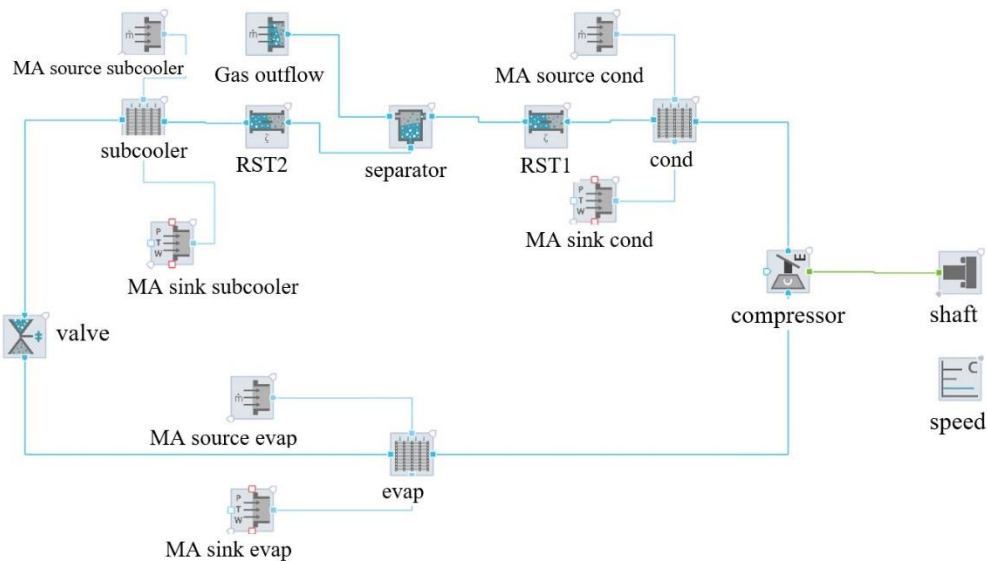


Figure 1. Schematic diagram of the basic single-stage air conditioning circuit
Şekil 1. Temel tek kademeli iklimlendirme devresi şematik diyagramı

In the model, there are four main components including evaporator, compressor, condenser and expansion valve. Evaporator is a multi-port extruded tubes heat exchanger used to simulate the heat transfer between moist air and refrigerant as well as the pressure-drop phenomena through the heat exchanger of a user-defined geometry. The heat exchanger is 60×305.5×199 mm in size and has 7 cells per path produced from aluminum-based material. Similarly, the heat exchanger model for the condenser is 17.5×340×530 mm in size and 5 cells per path. The compressor is a component used to simulate gas compression in the vapor compression cycle. Geometric volume and relative stroke are 1.5e-4 m³ and 0.616547, respectively. The isentropic and volumetric efficiency of the compressor is 0.7.

One of the factors that determines how much heat the cooler can absorb in the cooling circuits is sub-cooling. Sub-cooling is a process that takes place inside the condenser shortly before refrigerant passes through the evaporator. The main purpose of subcooling is to lower the temperature of the refrigerant to any temperature below its saturation temperature. In this regard, an extra heat exchanger which is 17.5-50-530 mm in size has been added between condenser and expansion valve in order to add the sub-cooling process. In the valve component of the program, mass flow rate is calculated in dependency of pressure drop using Bernoulli equation. The effective flow area of the valve is 4.08545e-7 m². In the model, there is a separator component used to separate the coolant at the inlet port into a liquid and a gas phase. Additionally, there are two resistor components in the model simulating a pressure drop by the usage of a quadratic correlation. The pressure drops in the RST1 component between the condenser and the separator components and RST2 component between the separator and sub-cooler components have been defined as 0.025 bar. In this study, the system has been operated under different air flow rates including 0.1, 0.15 and 0.2 kg/s to evaluate performance of the unite in different working conditions.

2.1. Calculations

2.1. Hesaplamalar

In this section, equations and formula used in the calculations are presented. In the air to air cooling systems, the heat transfer rate in the evaporator and condenser can be obtained from the air temperature change in the inlet and outlet sections as:

$$\dot{Q}_{evap} = [\dot{m}_a c_{p,a} (T_{a,in} - T_{a,out})]_{evap} \quad (1)$$

$$\dot{Q}_{cond} = [\dot{m}_a c_{p,a} (T_{a,in} - T_{a,out})]_{cond} \quad (2)$$

On the other hand, enthalpy changes in the evaporator and condenser can be used to evaluate heat transfer rate as:

$$\dot{Q}_{cond} = \dot{m}_r h_2 - \dot{m}_r h_3 \quad (3)$$

$$\dot{Q}_{evap} = \dot{m}_r h_1 - \dot{m}_r h_4 \quad (4)$$

Having the power consumption of the compressor and the heat transfer rate in the evaporator coefficient of performance (COPL) of the cooling device can be expressed as:

$$COP_L = \frac{\dot{Q}_{evap}}{\dot{W}_{comp}} \quad (5)$$

3. The simulation results and discussions

3. Simülasyon sonuçları ve tartışma

The defined cooling unite has been operated under different working conditions and obtained results have been presented on diagrams in order to evaluate efficiency of the system. As a first step, and with the aim of survey uncertainty of the simulation, heat transfer rate in condenser was calculated by using enthalpy variation of refrigerant and temperature change of the air as second fluid in different air flow rate in the condenser. In fact, heat transfer amount from the refrigerant should be equal to that of received by flowing air. In Fig. 2, obtained results show that a good agreement can be achieved by comparing results between two fluids.

The compressor can be defined as the main element of the system which is employed to provide the required energy to circulate refrigerant in the circuit. Pressure and temperature of the refrigerant are increased during compression process. In Fig. 3, compressor inlet and outlet pressures have been presented with respect to the applied air flow rate. In the experiment's outlet pressure is approximately 6 times the inlet pressure. From the figure it can be seen that, with an increase in air flow rate pressure values increase in both inlet and outlet side due to receiving higher energy values in the evaporator.

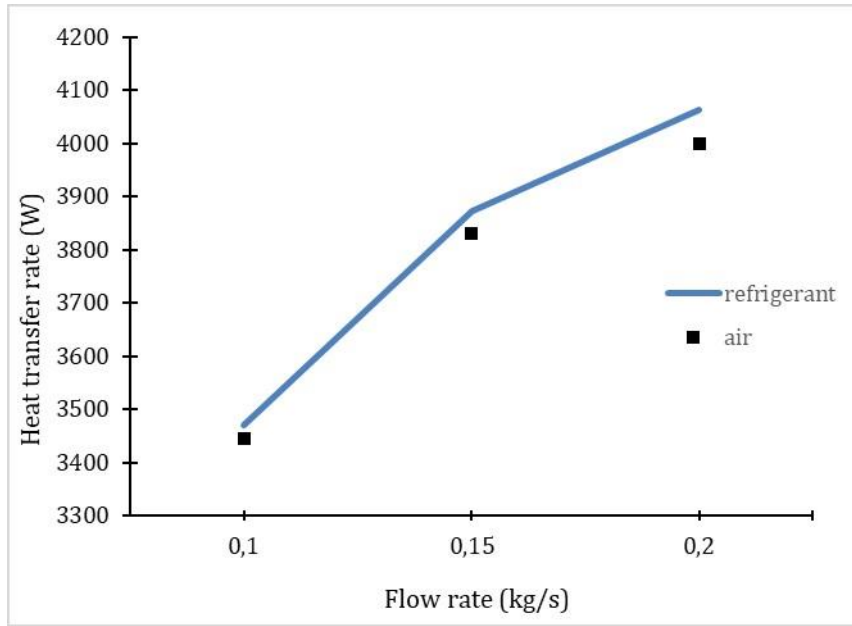


Figure 2. Heat transfer rate in condenser versus air flow rate
Şekil 2. Havanın kütleli debisine göre birim zamandaki ısı transferi

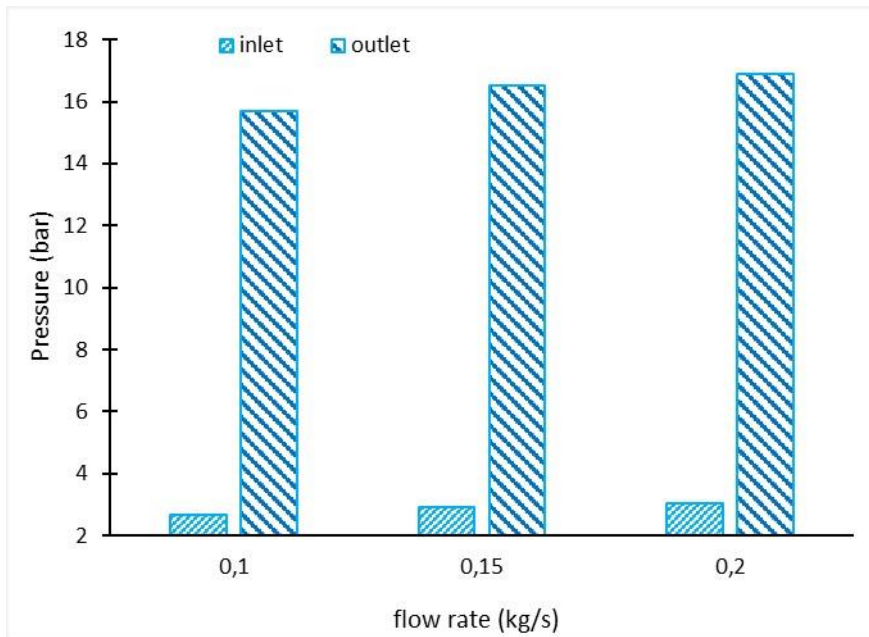


Figure 3. Compressor inlet and outlet pressures with respect to the air flow rate
Şekil 3. Havanın kütleli debisine göre kompresör giriş ve çıkış basınçları

In Fig. 4, compressor inlet and outlet temperatures have been presented with respect to the different air flow rate in the evaporator. Temperature rises significantly as a symbol of energy at the compressor outlet. At low air flow rates (0.1 kg/s)

the temperature drops even below zero. In general, with an increase in the air flow rate, the temperature of the compressor increases gradually as shown in the figure.

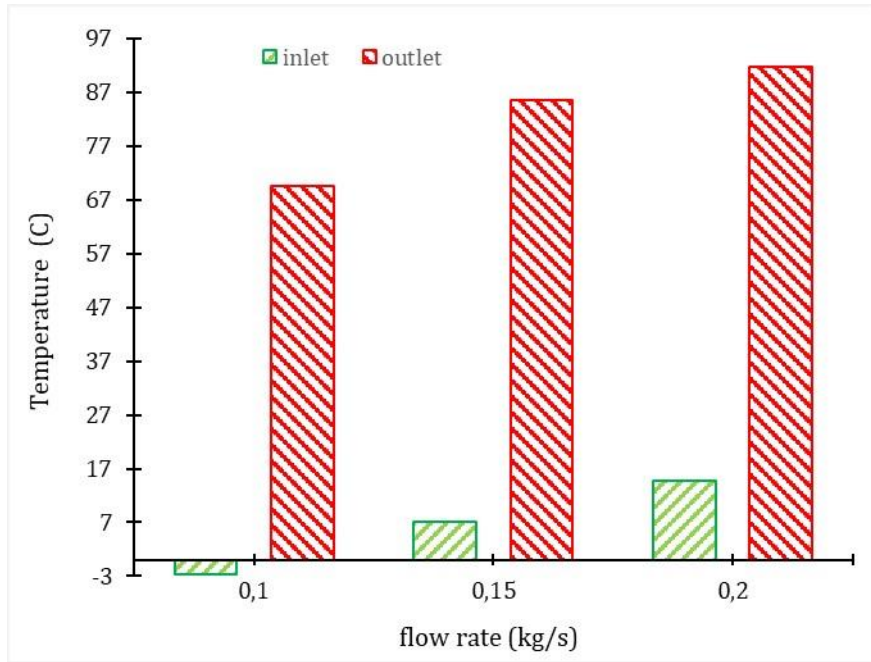


Figure 4. Compressor inlet and outlet temperatures with respect to the air flow rate
Şekil 4. Havanın kütleli debisine göre kompresör giriş ve çıkış sıcaklıkları

As one of the main factors in evaluating system performance, COP variations are presented in fig. 5. It can be stated that, COP value varies as a function of secondary fluid flow, which is air in this

study. In the figure, it can be seen that the amount of COP increases significantly as the air flow increases. With increasing air flow from 0.1 kg/s to 0.2 kg/s the amount of COP increased by about 6%.

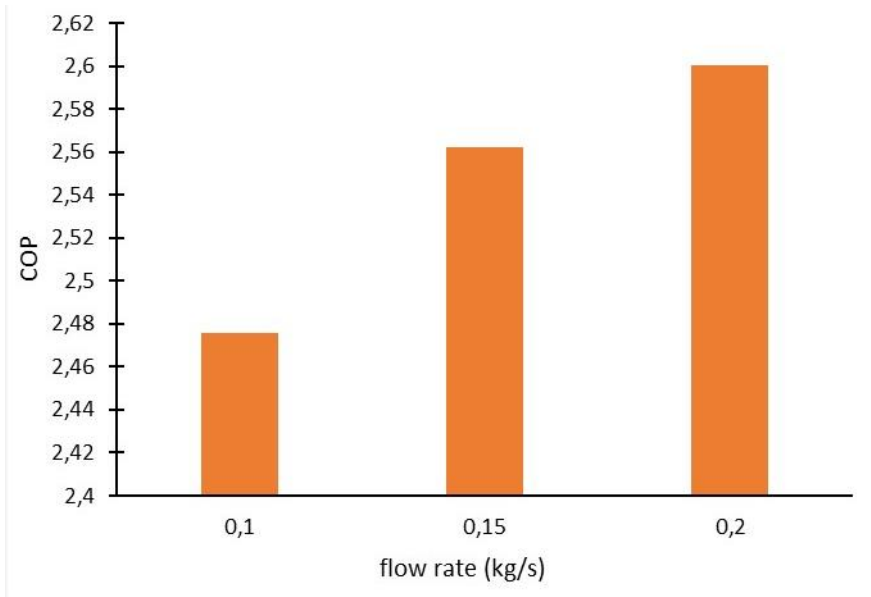


Figure 5. COP variations with respect to the air flow rate
Şekil 5. Havanın kütleli debisine göre COP değişimleri

In the vapor compression cycles, any change in the operating conditions can cause a change in the P-h diagram. A change in the energy provided in the evaporator or compressor can move the cycle up or down in the related P-h diagram. In Fig. 6, vapor compression cycles have been presented on p-h diagram to show how any change in air flow rate

changes the cycle. In the figure, cases one, two and three represented 0.1 kg/s, 0.15 kg/s and 0.2 kg/s air flow rates respectively. From the figure it is clear that, as the amount of energy supplied to the evaporator increases by applying higher amount of air flow, the cycle is transferred to higher levels, where the amount of energy is also high.

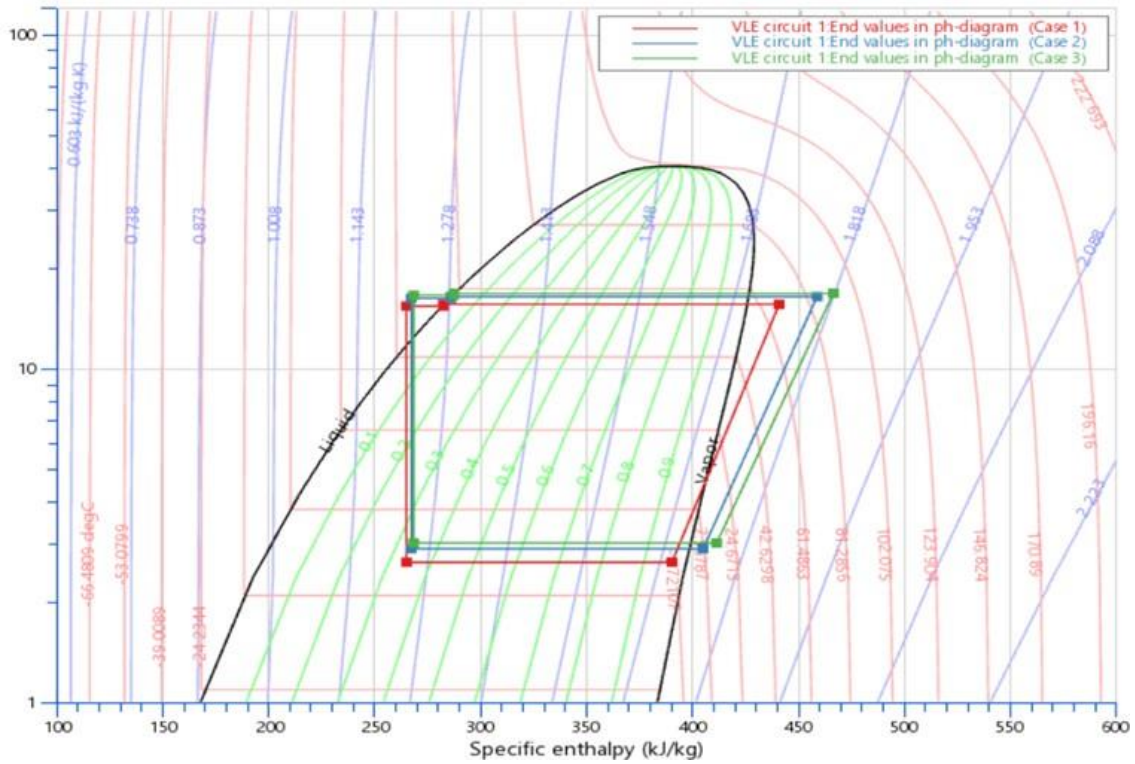


Figure 6. Vapor compression cycles for all experiments in the P-h diagram (case one 0.1 kg/s, case two 0,15 kg/s and case three 0.2 kg/s air flow rates)

Şekil 6. P-h diyagramında tüm deneyler için buhar sıkıştırma çevrimleri (hava debileri birinci durumda 0.1 kg/s, ikinci durumda 0.15 kg/s ve üçüncü durumda 0.2 kg/s)

In Fig. 7, air temperature difference in evaporator versus air flow rate is presented. It can be stated that, as air velocity increases, the passing air has less time to cool down inside the evaporator and as a result the temperature change is not happening efficiently. Maximum change in the air

temperature was recorded as 20.5 °C, when air flow rate is 0.1 kg/s. In Table 1. a literature review has been carried out and the obtained results in the present study have been compared with the literature.

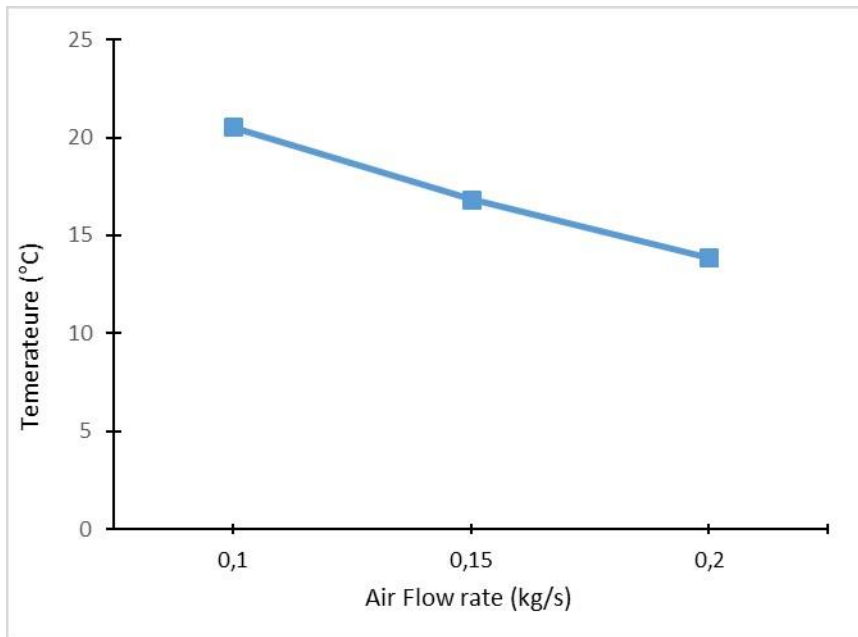


Figure 7. Air temperature difference in evaporator versus air flow rate

Şekil 7. Havanın kütleli debisine göre evaporatördeki hava sıcaklığı farkı

Table 1. A comparison of the results obtained in the present study with the literature**Tablo 1.** Çalışmada elde edilen sonuçlar ile literatür sonuçlarının karşılaştırılması

Reference	Refrigerant	Type of study	Type of analysis	COP	Location	Results
Biaou et al., (2008)	-	Simulation-Theoretical	Energy	3-6	Canada	Various methods for supplying domestic hot water were examined in different climates and alternatives such as a regular electric hot water tank; ground source heat pump with electric backup; thermal solar collectors; a heat pump water heater coupled to a space conditioning Heat pump were compared in terms of efficiency and performance.
Bilgen et al., (2002)	R410A	Experimental + Simulation (Theoretical)	Energy– Exergy	3.8-7.4	Japan	Simulation of a domestic heat pump was performed by using experimental data. It was observed that COP value varies from 3.8 to 7.40. The exergy analysis was also performed and exergy efficiency results were between 0.25 to 0.37.
Al-Nadawi, (2021)	R22, R407C, R404A and R-134A	Experimental	Energy– Exergy	1.6 (Max)	Iraq	A vapor compression chiller device was operated by using different refrigerants as working fluids. Experiments were conducted at various water and ambient temperatures to specify the factors which cause the energy deterioration. It was observed that the total irreversibility increases with increasing water mass flow rate and ambient temperature.
Afshari et al., (2019)	R407C	Experimental	Energy– Exergy	0.2 (COP _L)	Turkey	A heat pump device was converted to a cooling system and very low COP was obtained. It was shown that, evaporator working condition has a notable impact on COP value and refrigerator operate with a low performance.
Liu et al., (2013)	-	Experimental	Energy	2.5-4.5	USA	It was reported that, COP of the heat pump is appropriate to use in the space heating and hot water supply, which can be proposed to provide significant energy savings in hot water supply and space heating.
This study	R134a	Simulation-Theoretical	Energy	2.4–2.6	Turkey	Simulation method was carried out to analyze performance of a heat pump in different working conditions. Effect of flow rate of the secondary fluid on COP value was studied.

4. Conclusions

4. Sonuçlar

In this study, a simulation method was performed to evaluate the performance of an air-to air heat pump. In this regard, the simulated system was operated in different working conditions by changing the air flow rate in evaporator side. The finding of this study can be summarized as follows, Heat transfer in condenser was calculated, and then heat transfer rate variation with air flow was evaluated.

The difference between temperature and pressure at the inlet and outlet of the compressor was

analyzed and the trend of changes in the mentioned parameters showed that pressure and temperature increase with increasing air flow.

Performance results revealed that, COP value of the heat pump increases about 6% when evaporator air flow rate increases from 0.1 kg/s to 0.2 kg/s.

The working cycle in P-h diagram moves to upper side when air flow rate increases, accordingly it can be stated that, working pressure of the overall system increases with an increase in air flow rate.

The relationship between air temperature and air flow velocity was analyzed and a downward trend in air temperature with the air velocity was observed.

Nomenclature

Terminoloji

$C_{p,a}$	Specific heat capacity (J kg ⁻¹ K ⁻¹)
COP	Coefficient of performance
h	Enthalpy (kJ kg ⁻¹)
\dot{m}	Flow rate (kg s ⁻¹)
P	Pressure (kPa)
Refrig.	Refrigerant
T	Temperature (°C)
Q	Heat transfer rate (W)
\dot{W}	Compressor power (W)

Subscripts

Altsimgeler

a	Air
act	Actual
comp	Compressor
cond	Condenser
evap	Evaporator
r	Refrigerant
sys	System

Author contribution

Yazar katkısı

Concept/Design: FA, DÇ, MAC, MC; Data Collection and/or Processing: FA, DÇ, MAC; Data analysis and interpretation: FA, DÇ, MAC; Literature Search: FA, DÇ, MAC, MC; Drafting manuscript: DÇ, MAC, MC; Critical revision of manuscript: FA, DÇ, MAC, MC

Declaration of ethical code

Etik beyanı

The authors declare that all of the rules stated to be followed within the scope of the “Higher Education Institutions Scientific Research and Publication Ethics Directive” were followed, and none of the actions specified under the title of “Actions Contrary to Scientific Research and Publication Ethics” have been taken.

Conflicts of interest

Çıkar çatışması beyanı

The authors declare that they have no conflict of interest.

References

Kaynaklar

Afshari, F., Comakli, O., Adiguzel, N., & Karagoz, S. (2016). Optimal charge amount for different

refrigerants in air-to-water heat pumps. *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Mechanical Engineering*, 40(4), 325–335. <https://doi.org/10.1007/s40997-016-0028-2>

Afshari, F., Karagoz, S., Comakli, O., & Zavaragh, H. G. (2019). Thermodynamic analysis of a system converted from heat pump to refrigeration device. *Heat and Mass Transfer*, 55(2), 281–291. <https://doi.org/10.1007/s00231-018-2412-5>

Afshari, F., Sahin, B., Khanlari, A., & Manay, E. (2020). Experimental optimization and investigation of compressor cooling fan in an air-to-water heat pump. *Heat Transfer Research*, 51(4). <https://doi.org/10.1615/HeatTransRes.2019030709>

Al-Nadawi, A. K. (2021). Irreversibility analysis of R407C, R404A, and R134A as alternatives of R22 in vapor compression chiller under cycling conditions. *International Journal of Thermodynamics*, 24(1), 24–29. <http://doi.org/10.5541/ijot.797614>

Ameen, A., & Bari, S. (2004). Investigation into the effectiveness of heat pump assisted clothes dryer for humid tropics. *Energy Conversion and Management*, 45(9–10), 1397–1405. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2003.09.001>

Bansal, P., Fothergill, D., & Fernandes, R. (2010). Thermal analysis of the defrost cycle in a domestic freezer. *International Journal of Refrigeration*, 33(3), 589–599. <http://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2009.11.012>

Biaou, A. L., & Bernier, M. A. (2008). Achieving total domestic hot water production with renewable energy. *Building and Environment*, 43(4), 651–660. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2006.06.032>

Bilgen, E., & Takahashi, H. (2002). Exergy analysis and experimental study of heat pump systems. *Exergy, an International Journal*, 2(4), 259–265. [https://doi.org/10.1016/S1164-0235\(02\)00083-3](https://doi.org/10.1016/S1164-0235(02)00083-3)

Carrilho, D. G., Silva, P. D., Pires, L. C., Gaspar, P. D., & Nunes, J. (2017). Quantification of the thermal resistance variation in evaporators surface due to ice formation. *Energy Procedia*, 142, 4151–4156. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.12.339>

Gaigalis, V., Skema, R., Marcinauskas, K., & Korsakiene, I. (2016). A review on heat pumps implementation in Lithuania in compliance with the National Energy Strategy and EU policy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 53, 841–858. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.09.029>

- Joppolo, C. M., Molinaroli, L., De Antonellis, S., & Merlo, U. (2012). Experimental analysis of frost formation with the presence of an electric field on fin and tube evaporator. *International Journal of Refrigeration*, 35(2), 468–474. <https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2011.10.017>
- Karagoz, S., Yilmaz, M., Comakli, O., & Ozyurt, O. (2004). R134a and various mixtures of R22/R134a as an alternative to R22 in vapour compression heat pumps. *Energy Conversion and Management*, 45(2), 181–196. [http://doi.org/10.1016/S0196-8904\(03\)00144-4](http://doi.org/10.1016/S0196-8904(03)00144-4)
- Knabben, F. T., Hermes, C. J. L., & Melo, C. (2011). In-situ study of frosting and defrosting processes in tube-fin evaporators of household refrigerating appliances. *International Journal of Refrigeration*, 34(8), 2031–2041. <http://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2011.07.006>
- Lee, S. H., Lee, M., Yoon, W. J., & Kim, Y. (2013). Frost growth characteristics of spirally-coiled circular fin-tube heat exchangers under frosting conditions. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 64, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2013.04.018>
- Liu, X., Ni, L., Lau, S. K., & Li, H. (2013). Performance analysis of a multi-functional heat pump system in heating mode. *Applied Thermal Engineering*, 51(1-2), 698–710. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2012.08.043>
- Liu, Zhongbao, Li, A., Wang, Q., Chi, Y., & Zhang, L. (2017). Experimental study on a new type of thermal storage defrosting system for frost-free household refrigerators. *Applied Thermal Engineering*, 118, 256–265. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2017.02.077>
- Liu, Zhongbao, Zhao, F., Zhang, L., Zhang, R., Yuan, M., & Chi, Y. (2018). Performance of bypass cycle defrosting system using compressor casing thermal storage for air-cooled household refrigerators. *Applied Thermal Engineering*, 130, 1215–1223. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2017.11.077>
- Liu, Zhongliang, Wang, H., Zhang, X., Meng, S., & Ma, C. (2006). An experimental study on minimizing frost deposition on a cold surface under natural convection conditions by use of a novel anti-frosting paint. Part I. Anti-frosting performance and comparison with the uncoated metallic surface. *International Journal of Refrigeration*, 29(2), 229–236. <https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2005.05.018>
- Nada, S. A., Elattar, H. F., & Fouda, A. (2015). Experimental study for hybrid humidification–dehumidification water desalination and air conditioning system. *Desalination*, 363, 112–125. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2015.01.032>
- ONeal, D. L., & Tree, D. R. (1984). Measurement of frost growth and density in a parallel plate geometry. *Ashrae Transactions*, 90(2), 278–290.
- Ozyurt, O., Comakli, O., Yilmaz, M., & Karsh, S. (2004). Heat pump use in milk pasteurization: an energy analysis. *International Journal of Energy Research*, 28(9), 833–846. <https://doi.org/10.1002/er.999>
- Piscaglia, F., Blasi, A., Del Moro, S., Polonara, F., Arteconi, A., Zanarelli, L., & Renzulli, A. (2016). Monitoring of a vertical borehole ground-coupled heat pump system: A case study from a marly-limestone heat reservoir (Urbino, Central Italy). *Geothermics*, 62, 61–69. <https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2016.02.008>
- Ramadan, M., El Rab, M. G., & Khaled, M. (2015). Parametric analysis of air–water heat recovery concept applied to HVAC systems: Effect of mass flow rates. *Case Studies in Thermal Engineering*, 6, 61–68. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2015.06.001>
- Schneider, H. W. (1978). Equation of the growth rate of frost forming on cooled surfaces. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 21(8), 1019–1024. [https://doi.org/10.1016/0017-9310\(78\)90098-4](https://doi.org/10.1016/0017-9310(78)90098-4)
- Shen, B., Braun, J. E., & Groll, E. A. (2009). Improved methodologies for simulating unitary air conditioners at off-design conditions. *International Journal of Refrigeration*, 32(7), 1837–1849. <https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2009.06.009>
- Tan, H., Xu, G., Tao, T., Sun, X., & Yao, W. (2015). Experimental investigation on the defrosting performance of a finned-tube evaporator using intermittent ultrasonic vibration. *Applied Energy*, 158, 220–232. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.08.072>
- Tang, J., Gong, G., Su, H., Wu, F., & Herman, C. (2016). Performance evaluation of a novel method of frost prevention and retardation for air source heat pumps using the orthogonal experiment design method. *Applied Energy*, 169, 696–708. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.02.042>
- Wang, D., Tao, T., Xu, G., Luo, A., & Kang, S. (2012). Experimental study on frosting suppression for a finned-tube evaporator using ultrasonic vibration. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 36, 1–11.

- <https://doi.org/10.1016/j.expthermflusci.2011.03.002>
- Wang, F., Liang, C.-H., Yang, M.-T., & Zhang, X.-S. (2015). Preliminary study of a novel defrosting method for air source heat pumps based on superhydrophobic fin. *Applied Thermal Engineering*, *90*, 136–144. <http://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2015.07.003>
- Wang, S. W., & Liu, Z. Y. (2005). A new method for preventing HP from frosting. *Renewable Energy*, *30*(5), 753–761. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2003.07.001>
- Wang, Z., Zheng, Y., Wang, F., Wang, X., Lin, Z., Li, J., & Huan, C. (2014). Experimental analysis on a novel frost-free air-source heat pump water heater system. *Applied Thermal Engineering*, *70*(1), 808–816. <http://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2014.05.038>
- Yan, W.-M., Li, H.-Y., Wu, Y.-J., Lin, J.-Y., & Chang, W.-R. (2003). Performance of finned tube heat exchangers operating under frosting conditions. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, *46*(5), 871–877. [http://doi.org/10.1016/S0017-9310\(02\)00346-0](http://doi.org/10.1016/S0017-9310(02)00346-0)
- Yang, Y., Cui, G., & Lan, C. Q. (2019). Developments in evaporative cooling and enhanced evaporative cooling-A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *113*, 109230. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.06.037>
- Yumrutaş, R., & Ünsal, M. (2012). Energy analysis and modeling of a solar assisted house heating system with a heat pump and an underground energy storage tank. *Solar Energy*, *86*(3), 983–993. <http://doi.org/10.1016/j.solener.2012.01.008>
- Zheng, Z., Xu, Y., Dong, J., Zhang, L., & Wang, L. (2016). Design and experimental testing of a ground source heat pump system based on energy-saving solar collector. *Journal of Energy Engineering*, *142*(3), 4015022. [http://doi.org/10.1061/\(ASCE\)EY.1943-7897.0000288](http://doi.org/10.1061/(ASCE)EY.1943-7897.0000288)

Polimer matrisli elyaf takviyeli kompozit otomobil şasesi vakum infüzyon yöntemi ile imalatı ve mekanik özelliklerinin incelemesi

Manufacture of polymer matrix fiber reinforced composite car chassis by vacuum infusion method and examination of its mechanical properties

Sedat ÜNLÜ*^{1,a}

¹ Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü /Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Esentepe/Sakarya

• Geliş tarihi / Received: 03.01.2021

• Düzeltilek geliş tarihi / Received in revised form: 01.10.2021

• Kabul tarihi / Accepted: 18.10.2021

Öz

Teknolojinin gelişimi beraberinde sanayinin temel girdisi olan malzeme biliminde de gelişmelerin hızlanmasını sağlamış, ileri teknolojik malzeme türleri ve bunların üretim yöntemlerini çeşitlendirmiştir. Özellikle havacılık ve otomotiv sektörlerinde hafif, yüksek mukavemetli ve korozyona dayanımlı ileri teknolojik malzemeler önem taşımakta ve yapısal malzeme olarak kompozit malzemelerin kullanımı artmaktadır. Bu çalışmada; Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi SUBÜ TETRA Elektromobil takımının ürettiği iki kişilik elektrikli otomobil şasesini karbon fiber ve vinilester epoksi reçine kullanılarak vakum infüzyon yöntemi ile imal etmek için farklı parametrelerde numune hazırlanarak mekanik özellikleri incelenmiş ve 1070 N/mm² basma mukavemetine sahip numunenin parametreleri kullanılarak şase imalatı yapılmıştır. Dolgu olarak poliüretan 70 dansite köpük kullanılmıştır. Üretim esnasında reçinenin viskozitesi 200-300 cps aralığında tutulmuştur. Vakum ortamı tek kademeli yağlı vakum makinası ile negatif 760 mm hg basınç altında sağlanmıştır. İmal edilen şase toplam 9.5 kg ağırlığındadır. Toplamda 140 kg (şoför hariç) ağırlığa sahip olan araç 300 km yol almış ve saatte 60-90 km hızlarda seyir etmiştir. Yapılan yarışlar sonrasında şase üzerinde yapılan tahribatsız muayenelerde batarya bağlantısının düzgün yapılmaması sebebi ile tekrarlı yük altında kalan bölgede görülen şekil değişikliği haricinde şasede deformasyon tespit edilmemiştir.

Anahtar kelimeler: İleri teknolojik malzemeler, Karbon fiber, Kompozit, Otomobil, Reçine, Vakum infüzyon, Viskozite, Yüksek mukavemet

Abstract

Along with the development of technology, it has accelerated developments in materials science, which is the main input of industry, and diversified the types of advanced technological materials and their production methods. Especially in the aerospace and automotive sectors, advanced technological materials with light weight, high strength and corrosion resistance are important and the use of composite materials as structural materials is increasing. In this study Sakarya University of Applied Sciences SUBU produced by the team Elektromobil TETRA two-seater electric car chassis manufactured by vacuum infusion carbon fiber and vinyl ester epoxy resin prepared by using different parameters to the method in the sample were examined and the mechanical properties of 1070 N/mm² to manufacture the chassis by using the parameters of the sample with compressive strength have been made. Polyurethane 70 density foam was used as filling. During production, the viscosity of the resin was kept in the range of 200-300 cps. The vacuum environment is provided under negative 760 mm hg pressure with a single-stage oil vacuum machine. The manufactured chassis weighs a total of 9.5 kg. A total weight of 140 kg (excluding the driver), the vehicle traveled 300 km and traveled at speeds of 60-90 km per hour. During non-destructive inspections of the chassis after the races, no deformation of the chassis was detected, except for the change in shape observed in the area under repeated load due to the fact that the battery connection was not made properly.

Keywords: Advanced technological materials, Carbon fiber, Composite, Automobile, Resin, Vacuum infusion, Viscosity, High strength

*a Sedat ÜNLÜ; unlusedat54@gmail.com; Tel: (0544) 643 54 29; orcid.org//0000-0003-1510-629X

1. Giriş

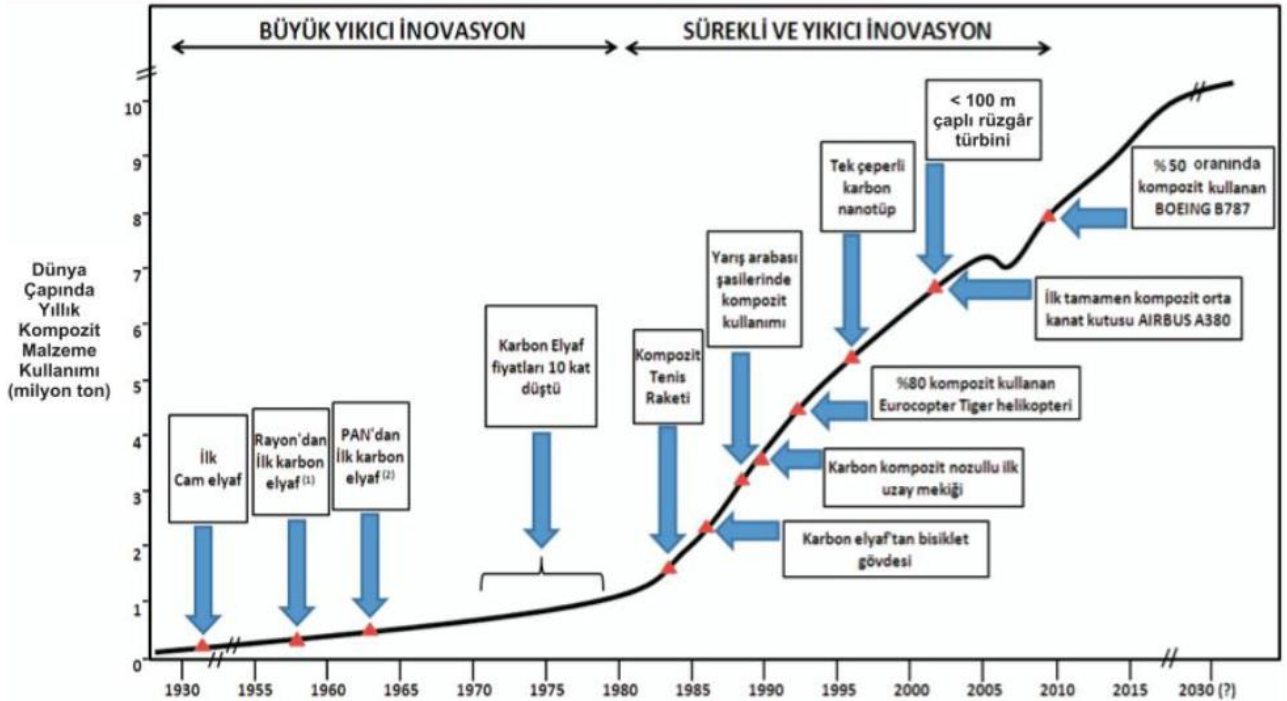
1. Introduction

Ulaşım araçların da ağırlık azalması daha az yakıt veya enerji tüketimi ve bunun sonucu olarak içten yanmalı motorlarda daha düşük egzoz emisyonlarına elektrikli araçlarda ise menzile artışına yol açtığı için hafif yapıya sahip araç tasarımları ve buna bağlı olarak malzeme seçimleri olduğu görülmüştür (Şekil 1).

Elektrikli araçların menzili henüz tatmin edici değildir. Enerji depolama sınırlamasından dolayı elektrikli araç sık sık şarj etmeye yol açar. Aracın ağırlığı aracın menzili sınırlayan anahtar etkenlerden biri olduğu için aracın ağırlık azalması elektrikli araçlarda batarya kapasitesini arttırmak için potansiyel konulardan biridir (Ölmez, 2018). Hafif malzemeler kullanılarak aracın ağırlığını azaltma daha iyi performans sağlar ve aynı zamanda daha uzun mesafeler seyahate olanak sağlar. Herhangi bir araç için hafif malzemeler kullanılırken, onlar elektrikli araçlar için özellikle önemlidir (Carpenter, 2008). Yukarıdaki nedenlerden dolayı, birçok girişim otomotiv parçalarının ağır metal malzemeler yerine hafif

malzemeler ile yer değiştirmeye başlamıştır. Hafif malzemeleri magnezyum, alüminyum, gelişmiş yüksek dayanımlı çelikler, titanyum ve de cam ve karbon fiberle takviye edilmiş polimer matrisli kompozitleri içerir (Öz, 2014).

Kompozit malzemeler genellikle matris ve takviye denilen iki farklı fazdan oluşmaktadır. Matrix fazı malzemenin genel hacmini oluştururken takviye olarak kullanılan faz ise malzemenin üzerindeki gerilimi alır. Bu iki bileşenden takviye elemanı olarak kullanılan ürün kompozit malzemenin tokluğunu, mukavemet ve darbelere karşı dayanımını artırmak gibi mekanik özellikleri iyileştirirken diğer bileşen olan matris elemanı ise deformasyona geçişte oluşabilecek çatlak oluşumunu ve ilerlemelerini önleyici görev üstlenmekte ve kompozit malzemenin kopmasını veya kırılmasının önüne geçmektedir. İçerisine karıştığı kompozit malzemenin çoğunluğunu oluşturan matris bir görevi de takviye elemanı olarak kullanılan malzemeleri yük altında bir arada tutabilmek ve uygulanan yükü homojen bir şekilde parçanın tamamına dağıtmaktır. Kompozit malzemelerde birleşimi meydana çıkartan yapılar tepkime sırasında çözünmezler, kimyasal olarak inert davranış sergilerler.



Şekil 1. Kompozit sektörünün yıllara göre gelişimi

Figure 1. The development of the composite sector over the years

Balıkoğlu vd., (2016) yılında yaptığı çalışmada elyaf olarak 300 gr/mm² cam elyaf, matris fazı olarak vinilester reçine kullanarak sandviç

kompozitlerin mekanik davranışları üzerine araştırma yapmışlardır. Dolgu malzemesine açılan farklı çap ve mesafe değerlerinin, eğilme ve basma

davranışlarına etkisini araştırmıştır. Eğilme yükü altında, delik içeren numunelerde, reçine dolan delikler çivi gibi davranarak tabakaları dolgu malzemesine bağlamış ve dayanım değerlerinin yükselmesini sağlamıştır. Reçine olukları içeren kompozit parça, takviyeli malzeme gibi davranarak rijitliğin artmasına neden olduğunu tespit etmiştir. PVC kor içeren sandviç kompozitlerin yük taşıma kapasitesi %34 kesik-oluklu PVC içeren sandviç kompozitler de ise %100 üzerinde yük taşıma kabiliyetleri artmıştır (Balıkoğlu vd., 2016). Elektrikli Araç Uygulamaları İçin Hafif Kompozit Şase Tasarımı ve Geliştirilmesi adlı çalışmada tek yönlü 300 g/m² karbon fiber kumaş ve epoksi, polimer matrisli kompozit malzeme üretmek için kullanmıştır. Vakum infüzyon tekniği ile numunelerini üretmişlerdir. Maksimum yer değiştirme sürücü ve yolcu kabinin zemininde gözlemlenmiştir (Özarslan vd., 2018).

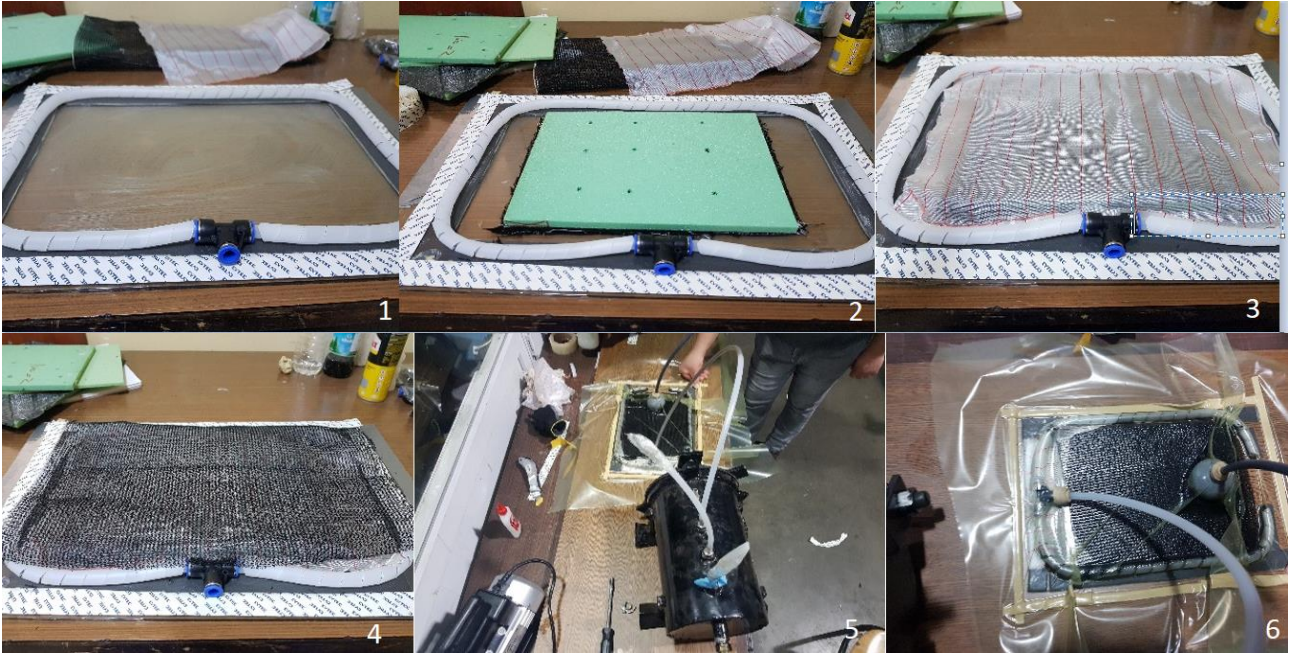
Fan vd., (2007) kıvrımlı dokuma sandviç paneller imal ederek üzerinde çalışmalar yapmışlardır. 200 gr/mm² karbon fiberi 3 boyutlu dokuma metodu yüzey-göbek ayrılma direncini arttırdığını ve mekanik testler yapılarak hasar modları ve hasar davranışları belirlemişlerdir. İzotropik olmayan bir yapıya sahip olarak imal edilen paneller farklı yönlerde üç nokta eğme testleri ile basma testleri yapılmıştır. Test sonuçlarına bakıldığında üç nokta eğme testlerinde yüzey-göbek ayrılması gözlemlenmemiştir. Göbek yapısı sinüs dalgasına benzer yapıya sahip olduğundan basma testinde yapışma yüzeyleri arası kayma dayanımının düşük çıktığı gözlemlenmiştir. Fan ve arkadaşları trapez geometrisindeki göbek yapısının kayma dayanımının daha yüksek çıkacağını ön görmüşlerdir (Fan vd., 2007).

2. Vakum infüzyon yöntemi ile parça üretimi

2. Production of parts by vacuum infusion method

Deneysel çalışmalar için hazırlanan numuneler ve nihai ürün imalatı için vakum infüzyon yöntemi tercih edildi. Elyaf olarak CX400 45°-45° biaxial twil karbon fiber, matris malzemesi olarak Polives 702 vinilester reçine, dolgu malzemesine ihtiyaç duyulan numunelerde ve nihai üründe AIREX 70 dansite (yeşil köpük) kullanıldı (Şekil 2/2). Üretim sürecinin ilk aşaması olan laminasyon planı olarak kalıp, karbon fiber, gerekli ise dolgu malzemesi, karbon fiber, soyma kumaşı, akış filesi ve vakum naylonu olarak belirlendi (Şekil 2/3). Üretilecek numune ölçüleri belirlendikten sonra elyaf malzemesi kesildi ve katı/sıvı kalıp ayırıcı

uygulanmış ve kurumuş kalıp yüzeyine birimci ve ikinci yüzey dokuları çapraz olacak şekilde elyaf dikişleri bozulmadan yerleştirildi. Dolgu malzemesi üzerine reçine olukları diye adlandırılan reçine akışına yol verecek ve dolgu malzemesine reçinenin işlemesi için ilgili kanallar açıldı. Bu işlemi tamamlanan dolgu parçası elyaf malzemesi üzerine konuldu ve üzerine altta yer alan elyafa çapraz olacak şekilde karbon fiber yerleştirildi. Numune ölçülerinde kesilen soyma kumaşı numune üzerine yerleştirildi ve reçine akış yönüne paralel reçine akış filesi kullanıldı. İlgili laminasyon planında yer alan bu işlem adımları tamamlandıktan sonra kalıp etrafına vakum işlemi için spiral hortum döşendi (Tablo 1). Spiral hortumun dışına sızdırmazlık sağlaması amacı ile çift taraflı vakum bantı yapıştırıldı (Şekil 2/4). Bunun üzerine ise vakum torbası yapıştırıldı. Bu işlem sırasında vakum naylonu bol bırakılarak basınç altındayken fazla gerilme kaynaklı kaçak oluşumunun önüne geçilmesi amaçlandı. Vakum çıkışı yapılan bölgenin ters simetrisinde reçine girişi için reçine giriş rekoru koyuldu ve vakum torbası kapatıldı. Vakum işlemi sırasında pompanın negatif 760 mm hg basınç oluşturulması sağlandı. Kaçak kontrolü vakum pompası üzerinde yazan değer ve iletme yolu ile kontrol edildi var olan kaçaklar giderildikten sonra reçine girişi numune parçaya yapıldı (Şekil 2/5). Vakum hattında reçine yürümesi olana kadar parçanın tamamının ıslanması beklendi. Parça %100 ıslandıktan sonra reçine giriş hattı kapatıldı ve sonra vakum hattı kapatıldı. Tekrar kaçak kontrolü yapılarak basıncın devam etmesi sağlandı. Parça üzerinden kürlenme reaksiyonu sıcaklık yolu ile takip edildi ve bu şekilde yirmi dört saat bu şekilde oda sıcaklığında parçanın kürlenmesi beklendikten sonra numune parça kalıptan çıkarıldı. Vakum infüzyon yöntemi ile imalat sürecinde en önemli parametrelerden birisi reçinenin viskozitesidir. Bu sebep ile bu çalışmada Polives 702 (viskozite: 220 cp) kullanıldı. Vakum işlemine başlamadan önce farklı oranlarda karışım yapılarak reçine kürlenme süresine bakıldı ve reçine karışım oranları reçine ağırlığının ‰ 5-8 hızlandırıcı ‰3-5 sertleştirici olarak belirlendi. Numune çalışmalarında viskozite ölçümü yapılmayıp viskozite kontrol altında tutulmasa da şase imalatı sırasında ortam sıcaklığı oda sıcaklığında sabitlenmiş ve reçine viskozitesi 200-300 cps aralığında olduğu kontrol edilerek bu aralıkta olması sağlandı.



Şekil 2. Vakum infüzyon yöntemi ile numune üretim aşamaları (1: Kalıp ayırıcı uygulanmış yüzey 2: Alt tabaka ve dolgu malzemesi uygulanışı 3: Üst tabaka ve ayırma kumaşı uygulanışı 4: Akış filesi uygulanışı 5: Vakum sisteminin kurulması 6: Vakum altında parçanın ıslatılması)

Figure 2. Stages of sample production by vacuum infusion method (1: Mold seperator applied surface 2: Bottom layer and filler application 3: Top layer and application of seperator fabric 4: Application of flow mesh 5: Installation of vacuum system 6: Piece wetting under vacuum)

Tablo 1. 3 nokta eğme testi için hazırlanan numune özellikleri

Table 1. Characteristics of the sample prepared for the 3-point bending test

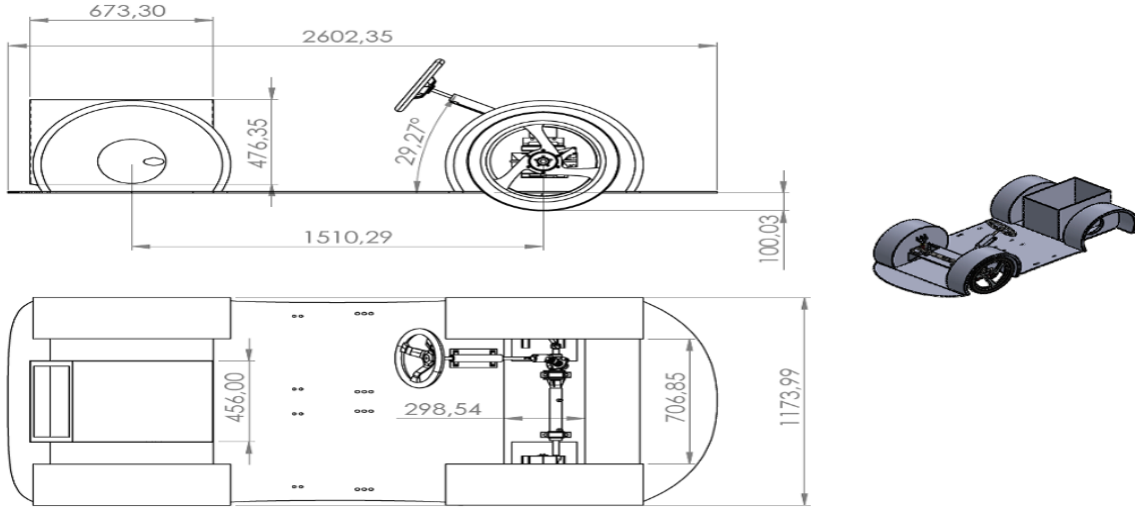
Numune No	Dolgu Malzemesi (mm)	Takviye Elemanı (mm)	Matris Elemanı
1	270x190x10 köpük	270x190x1 Ölçülerinde 4 adet karbon fiber	450 gr Vinlister epoksi reçine
2	270x190x(10+5) köpük	270x190x1 Ölçülerinde 4 adet karbon fiber	550 gr Vinlister epoksi reçine
3	270x190x(5+5) köpük	270x190x1 Ölçülerinde 4 adet karbon fiber	550 gr Vinlister epoksi reçine
4	270x190x5 köpük	270x190x1 Ölçülerinde 4 adet karbon fiber	425 gr Vinlister epoksi reçine

3. Sonlu elemanlar analiz ve modelleme

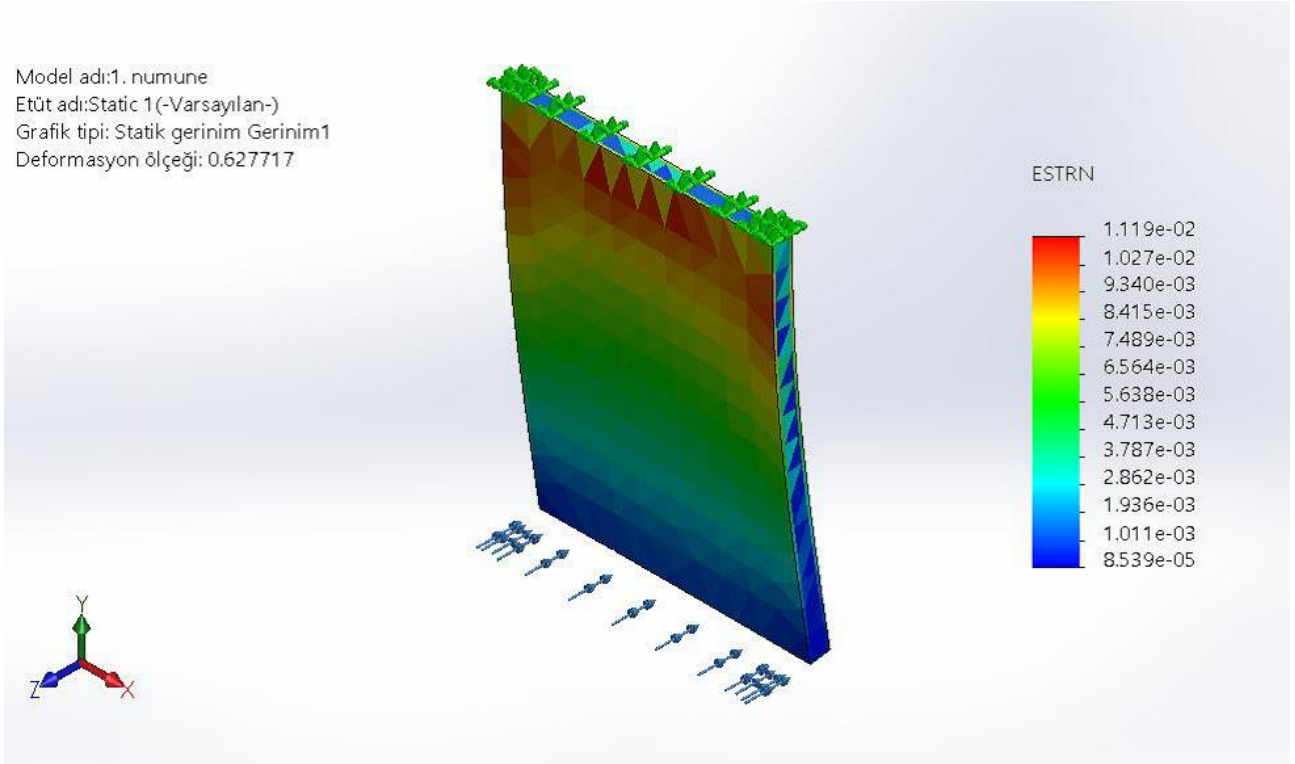
3. Finite element analysis and modeling

Şase ve araç tasarımı SolidWorks ve Catia V5 tasarım programları kullanılarak Tübitak Yarış

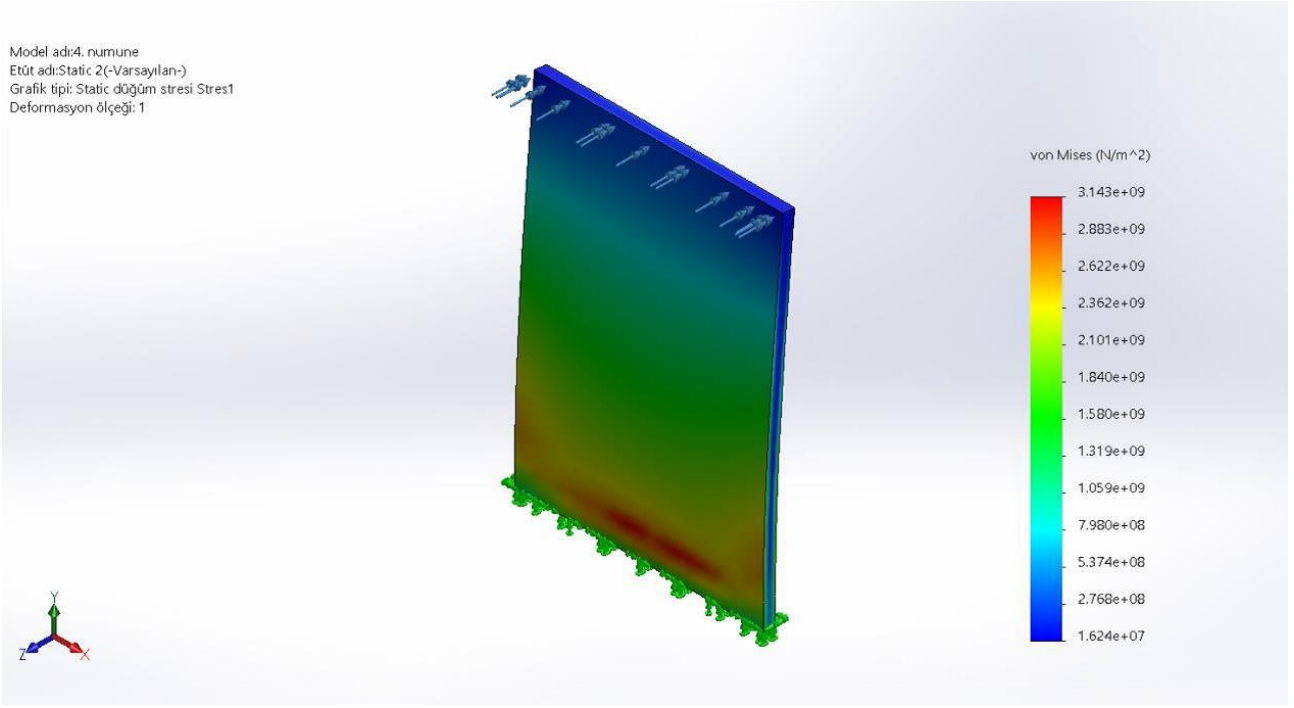
kurallarına uygun olarak 3 boyutlu tasarlandı (Şekil 3 ve 6). Hava akış analizleri, burulma ve eğilme analizleri ve termal analizler Flow Design, ANSYS ve SolidWorks programları kullanılarak yapıldı (Şekil 4 ve 5).



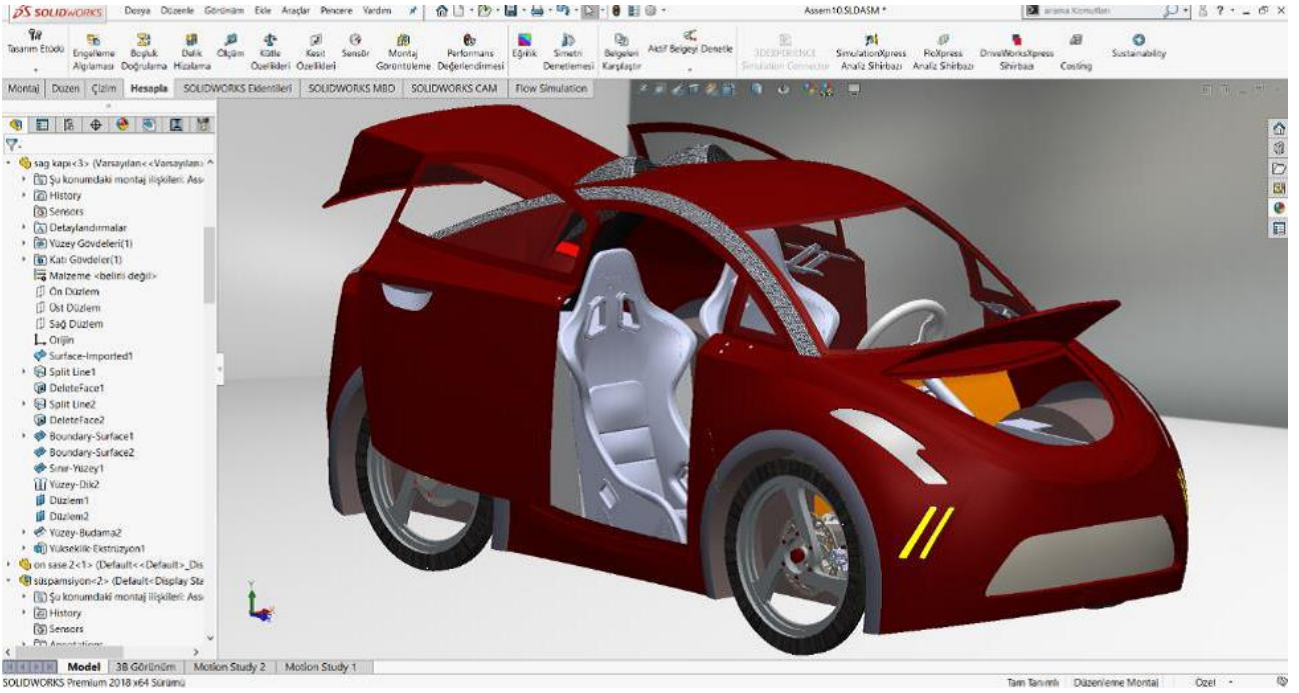
Şekil 3. Şase tasarımı ve teknik ölçüler
Figure 3. Chassis design and technical dimensions



Şekil 4. Etüt Sonuçları (Tek kat karbon fiber 70 dansite dolgu)
Figure 4. Survey Results (Single layer carbon fiber 70 density filler)



Şekil 5. Etüt sonuçları (2 kat karbon fiber 70 dansite dolgu)
Figure 5. Survey results (2 layers of carbon fiber 70 density filler)

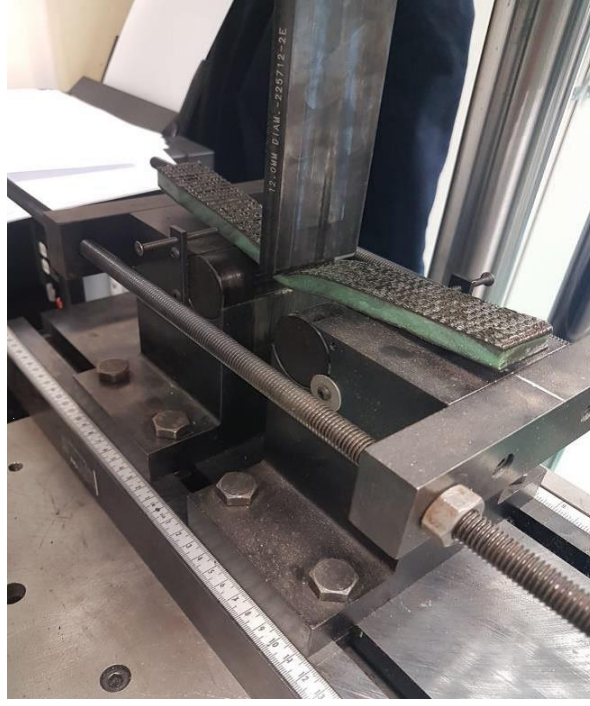


Şekil 6. Etüt sonuçları (2 kat karbon fiber 70 dansite dolgu)
Figure 6. Composite chassis applied in vehicle design

4. Bulgular ve tartışma 4. Results and discussion

Mekanik testler için imal edilen numuneler belirlenen standartta (ASTM C393/C393M-11) uygun olarak üç nokta eğme testine tabi tutuldu.

İlgili test için mesnetler arası mesafe 200 mm olarak belirlendi. (Şekil 7) İlgili test İNSTRON hidrolik çekme-basma cihazında 6 mm/dak yükleme hızıyla gerçekleştirildi. Deplasman değerleri potansiyometrik cetvel ile numune alt, orta noktasından alınmıştır.



Şekil 7. Eğme testi uygulaması

Figure 7. Application of bending test

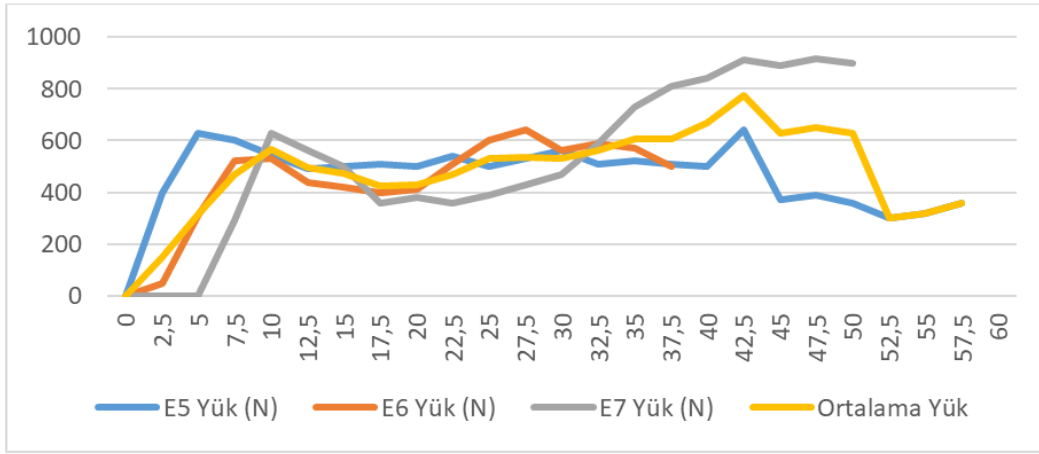
1 numaralı numunenin testleri İNSTRON 300DX markalı eğme ve basma cihazında yapıldıktan sonra çıktıları alınıp raporlandı. Sonrasında ise deney sonuçları (Tablo 2) Excel programında

grafik haline getirildi. (Şekil 8) Grafikteki dalgalanma dolgu malzemesine reçinenin tam anlamıyla nüfuz etmediği ve malzemenin sünek davrandığının göstergesi olarak düşünülmektedir.

Tablo 2. 1. Numune test sonuçları

Table 2. Test results of 1st sample

Uzama (mm)	E5 Yük (N)	E6 Yük (N)	E7 Yük (N)	Ortalama yük
0	0	0	0	0
2.5	400	50	0	150
5	630	310	0	313.33
7.5	600	520	290	470
10	545	530	630	568.33
12.5	490	440	560	496.66
15	500	420	500	473.33
17.5	510	400	360	423.33
20	500	410	380	430
22.5	540	510	360	470
25	500	600	390	530
27.5	530	640	430	533.33
30	560	560	470	530
32.5	510	590	590	563.33
35	520	570	730	606.66
37.5	510	500	810	606.66
40	500		840	670
42.5	640		910	775



Şekil 8. Birinci numune verileri

Figure 8. First sample data

1. Numunenin test sonuçları kullanılarak maksimum eğilme miktarı 12400 Nmm, şekil değiştirme miktarı 0.7470, eğilme mukavemeti 73.136 N/mm² ortalama kuvvet 775 N olarak aşağıdaki denklemlerde hesaplanmıştır

Max. Eğilme Miktarı

$$F.L/4 = 775.64/4 = 12400 \text{ Nmm} \quad (1)$$

Şekil Değiştirme Miktarı

$$6.y.d/l^2 = 6 \times 42.5 \times 12/64^2 = 0.7470 \quad (2)$$

Eğilme Mukavemeti

$$\sigma_e = 12400/3.14.12^3/32 = 73.136 \text{ N/mm}^2 \quad (3)$$

Elastik Modülü

$$\varepsilon = \sigma_e/e = 73.136/0.7470 = 97.90 \text{ N/mm}^2 \quad (4)$$

Ortalama F= 775N

ASTM C393 L=64mm y=42.5

Eğilme Hızı=10dk/mm

Mandren çapı= 12mm

2 ve 3 numaralı numunede çift katman köpük kullanıldığı ve köpüklere açılan reçine akış delik merkezleri denk gelmediği için tabakalar arası reçine nüfuziyeti olmamış dolayısıyla sünek ve sert olmayan bir sonuç elde edildi. Bu yüzden numuneler teste tabi tutulmadı. Şekil 9 'da 3 numaralı numuneden kesilen bir parçadan iç kısım görseline yer verilmiştir. Reçinenin açılan reçine oluşu dışında iki parça arasına işlemediği tespit edilmiştir.



Şekil 9. Üç numaralı numune iki dolgu tabakası birleşim görüntüsü

Figure 9. Sample number three is a combination image of two filler layers

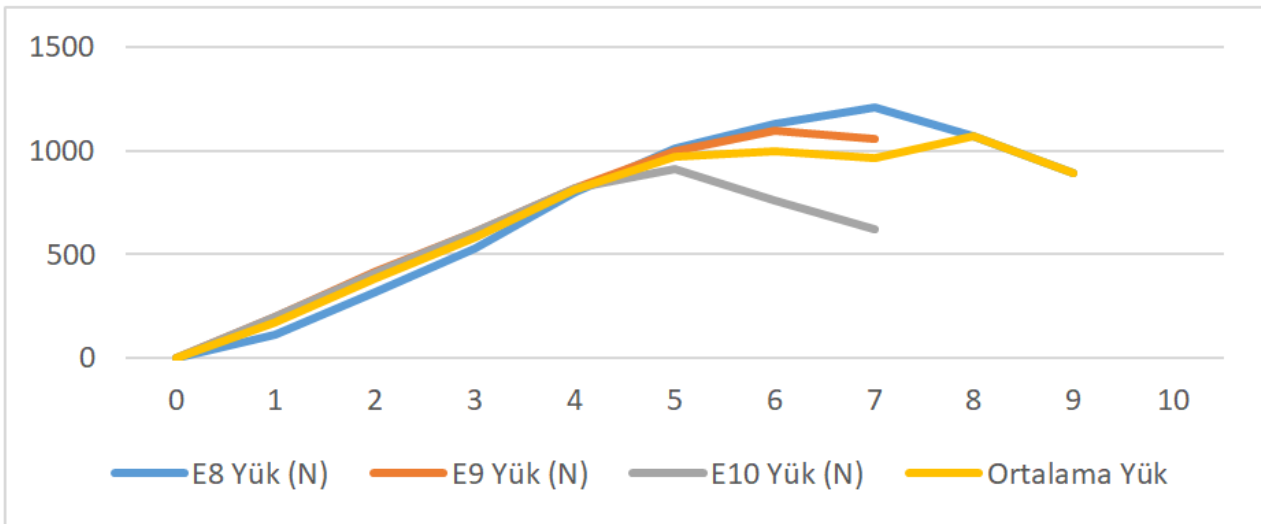
4 numaralı numenin sonuçları alınıp Excel programında alınan test sonuçları düzenlenip grafik haline getirildikten sonra asıl istenilen sonuçlara ulaşılmıştır. 4 numaralı numunenin eğme deneyi test sonuçları Tablo 3'te gösterilmektedir. Şekil 10'da verilen 4. Numuneye ait grafikte

dalgalanma olmaması malzemenin sünek olmadığı ve dolgu malzemesine reçinenin nüfuz ettiği düşünülmektedir. Test sonrası yapılan görsel muayenede matris malzemesinin dolgu malzemesine işlediği ve istenilen sonuca 4 numaralı parçada ulaşıldığı tespit edilmiştir.

Tablo 3. 4. Numune test sonuçları

Table 3. Test results of 4th sample

Uzama (mm)	E8 Yük (N)	E9 Yük (N)	E10 Yük (N)	Ortalama Yük (N)
0	0	0	0	0
1	110	200	200	170
2	315	420	410	381.66
3	530	610	610	583.33
4	800	820	820	813.33
5	1010	1000	910	973.33
6	1130	1100	760	996.66
7	1210	1060	620	963.33
8	1070			1070
9	890			890



Şekil 10. Dördüncü numune test sonuçları

Figure 10. Fourth sample test results

4. numune test sonuçları kullanılarak maksimum eğilme miktarı 24075 Nmm şekil değiştirme miktarı 0.071 eğilme mukavemeti 142.985 N/mm² elastik modülü 1999.778 N/mm² ortalama kuvvet 1070 N olarak aşağıdaki denklemlerde hesaplanmıştır.

Max. Eğilme Miktarı

$$F.L/4 = 1070 \times 90 / 4 = 24075 \text{ Nmm} \quad (5)$$

Şekil Değiştirme Miktarı

$$6.y.d/l^2 = 6 \times 8 \times 12 / 90^2 = 0.071 \quad (6)$$

Eğilme Mukavemeti

$$\sigma_e = 24075 / 3.14.12^3 / 32 = 142.985 \text{ N/mm}^2 \quad (7)$$

Elastik Modülü

$$\varepsilon = \sigma_{e/e} = 142.985 / 0.072 = 1999.778 \text{ N/mm}^2 \quad (8)$$

Ortalama F= 1070N

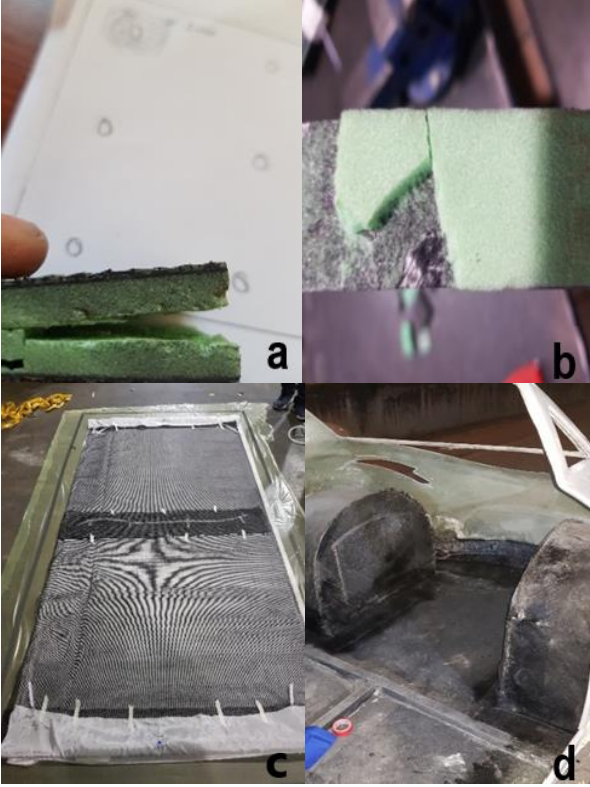
ASTM C393 L=90mm y=8

Eğilme Hızı=6dk/mm

Mandren çapı= 12mm

Şase üretimi öncesi üretilip ve mekanik özelliklerini incelenen 4 farklı numunenin her birinin içi kesilerek iç yapısı incelenmiş ve görüntü alınmıştır. 1. ve 4. numunelerde dolgu malzemesine açılan delik çevresinde bir (1) cm çapında reçine nüfuziyeti gözlemlenmiştir. Karbon ile dolgu malzemesi arasında yüzeysel bir yapışma,

dolgu malzemesine açılan delik dışında reçineyi yüzeysel emdiği fark edilmiştir (Şekil 11/b). Çift katlı dolgu malzemesi kullanılan numunelerinde (2. ve 3. numune) iki dolgu malzemesi arasında açılan delik dışında hiçbir yerde yapışma gözlemlenmemiştir (Şekil 11/a).



Şekil 11. Kesilen numunelerden içyapı görüntüleri ve (a-b) şase imalat aşamaları (c-d)

Figure 11. Internal structure images from the cut samples and (a-b) chassis manufacturing stages (c-d)

Fatih ve arkadaşlarının 2015 yılında yaptığı çalışmada edinilen sonuca paralel bir sonuç bu çalışmada da elde edilmiştir. Reçine akışı için açılan akış olukları tekrarlı yükler altında kırılmalara sebebiyet verdiği imal edilen şase üzerinde gözlemlenmiştir. Fan ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada karşılaştıkları yüzey ve göbek yapışkanlığı problemini vakum infüzyon sırasında oluşan kaçakları ve vakum ortamını stabil basınç altında tutarak bu çalışmada aşılmıştır.

4. numune parametreleri baz alınarak 9.5 kg ağırlığında şase imalatı tamamlanmış olup kabuk ile monokok bir şekilde epoksi yapıştırıcı ve perçinleme yöntemi ile bağlantısı yapılmıştır. (Şekil 11) 140 kg toplam ağırlığa ulaşan araç Tübitak Efficiency Challenge 2019 yarışlarında 60 km yol alarak bir önceki yarışa göre enerji tüketimini 70 kWh azaltarak 58 kWh ile Türkiye 7.si olmuştur. 2020 yarışlarında ise bu enerji

tüketimini kompozit jant ilavesi ile 49 kWh 'a düşürmüş ve Türkiye 3.sü olmuştur.



Şekil 12. Kompozit şaseye sahip iki kişilik RE-VOLT

Figure 12. Two-seater RE-VOLT with composite chassis

5. Sonuç ve öneriler

5. Conclusion and suggestions

Bu çalışmada Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi elektromobil takımının Tübitak Alternatif Enerjili Araçlar 2019 yarışları için tasarladığı RE-VOLT adlı aracın (Şekil 12) kompozit şase imalatı karakterizasyonu için çeşitli numuneler alınmıştır.

İmalat yöntemi olarak seçilen vakum infüzyon yöntemi numune imalatında elde edilen mekanik değerler, homojen matris dağılımı ve dolgu malzemesi ile elyaf ara yüzey yapışma direnci göz önünde bulundurularak doğru seçim olduğu sonucuna varılmıştır. Vakum ortamı oluşturmak için yapılan torbalama yönteminde yaşanan kaçakların önüne vakum bantı değişimi ile geçilmiştir.

Dolgu malzemesinde reçine akışını sağlamak için açılan reçine kanalları tekrarlı yükler altında kırılmaya sebebiyet verdiği aracın yol testlerinde tespit edilmiş olup reçine akışı için açılan kanallar yerine reçine olukları kullanılabilir.

2018-2019-2020 yıllarında yapılan yarışmalarda Al şase ve kompozit şase, aynı sürtünme

katsayısına sahip ve aynı tasarım ile imal edilen araçlarda Al şase kullanıldığında (toplam araç ağırlığı 240 kg) 1 km’de ortalama 55 Wh enerji tüketimine sahipken bu değer kompozit şase ile (toplam araç ağırlığı 155 kg) 30 Wh değerlerinde ölçülmüştür. Bu verilerden yararlanılarak araç ağırlığı ile enerji tüketiminin doğru orantılı olduğu ve kompozit malzemelerin otomobil teknolojisindeki yeri ve önemini açıklamaktadır.

Yazar katkısı

Author contribution

Bu çalışmanın bilgisayar ortamında modellenmesi ve analiz çalışmaları, literatür araştırması, numune ve şase imalatı mekanik testleri tarafımda yapılmış ve bu adımları barındıran her süreçte görev alınmıştır.

Etik beyanı

Declaration of ethical code

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

Çıkar çatışma beyanı

Conflicts of interest

Bu çalışmada çıkar çatışması olmadığını beyan ederim.

Kaynaklar

References

- Asiedu, Y., & Gu, P. (1998). Product life cycle cost analysis: state of the art review. *International Journal of Production Research*, 36(4), 883–908. <https://doi.org/10.1080/002075498193444>.
- Balıkoğlu, F., Demircioğlu, T., Yıldız, M., & Arslan, N. (2016). Oluklu PVC köpük içeren denizel sandviç kompozitlerin darbe test performansları.

Balikesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 18(2), 104-115.

- Carpenter, J. A. (2008). *Challenges and Opportunities for Automotive Composites*, SPE Automotive Composites Conference and Exposition, Troy, MI, USA, CD Rom Proceedings.
- Carruth, M. (2011). *Design optimization case study: car structures*. University of Cambridge, Birleşik Krallık.
- Dil, T. (2016). *Polimer matrisli kompozitler de sarım açısının mekanik özelliklere etkisi* [Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü].
- Doku, M. (2009). *Karbon fiber esaslı polimerik matrisli kompozitlerin üretimi ve karakterizasyonu* [Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü].
- Fan, H.L., Meng, F.H., & Yang, W. (2007). Sandwich panels with kagome lattice cores reinforced by carbon fibers. *Composite Structures*, 81, 533-539. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2006.09.011>.
- Hull, D., & Clyne, W. (1996). *An Introduction to Composite Materials* (2nd ed.) Cambridge University Press.
- Ölmez, S. (2018). *Otomotiv endüstrisinde kullanılan polimer matrisli kompozit malzemeler* [Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü].
- Öz, S. (2014). *Farklı karbon tekstilleriyle ve reçinelerle oluşturulan karbon kompozitlerin karakterizasyonu* [Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü].
- Özarslan, H., Yavuz, H., & Darıcık, F. (2018). Elektrikli araç uygulamaları için hafif kompozit şase tasarımı ve geliştirilmesi. *Çanakkale Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 36(7), 9-16.
- Yılmaz, U., & Evcı, C. (2015). Havacılık ve savunma sektöründe kompozit malzemelerin geleceği. *Savunma Bilimleri Dergisi*, 14(2), 78-109.

Tek eksenli sıcak presleme tekniği ile imal edilen magnezyum matrisli kompozit malzemelerin korozyon davranışlarının incelenmesi

Investigation of corrosion behavior of magnesium matrix composite materials produced via uniaxial hot pressing technique

Fevzi KELEN^{*1,a}, Tarık AYDOĞMUŞ^{2,b}, Mehmet GAVGALI^{3,c}

¹ Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Van Meslek Yüksekokulu, Motorlu Araçlar ve Ulaştırma Teknolojileri Bölümü, 65080, Van

² Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 65080, Van

³Necmettin Erbakan Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 42090, Konya

• Geliş tarihi / Received: 10.03.2021

• Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 07.10.2021

• Kabul tarihi / Accepted: 18.10.2021

Öz

Mevcut çalışmada, tek eksenli sıcak presleme tekniği ile üretilen %5-%25 hacimsel oranlarda TiNi içeren magnezyum matrisli kompozit malzemelerin korozyon deneyleri potansiyodinamik polarizasyon (PDS) testleri ile %3.5 NaCl çözeltisi içerisinde gerçekleştirilmiştir. Kompozit numunelerin korozyon potansiyeli (E_{cor}) ve korozyon akım yoğunluğu (i_{corr}) değerleri Tafel ekstrapolasyonu metodu ile belirlenmiştir. Metalografik incelemeler mikroyapıda gözlemlenen değişimlerin elektrokimyasal değerler ile tutarlı olduğunu göstermiştir. Potansiyodinamik polarizasyon analizlerinde güçlendirici içeriğine bağlı olarak korozyon potansiyeli değerlerinin yanı sıra korozyon akım yoğunluğu değerlerinde önemli oranlarda arttığı saptanmıştır. Korozyon sonrası morfolojik incelemelerde numune yüzeylerinde çukurcuk korozyonu ile birlikte kurtçuk korozyonu da gözlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Hafif alaşım ve kompozitler, Korozyon, Magnezyum ve alaşımları, Otomotiv malzemeleri, Sıcak presleme, TiNi

Abstract

In the present study, corrosion tests of magnesium matrix composite materials containing 5-25% by volume TiNi produced by uniaxial hot pressing technique were carried out with potentiodynamic polarization (PDS) tests in 3.5% NaCl solution. Corrosion potential (E_{cor}) and corrosion current density (i_{corr}) values of composite specimens were specified by the use of the Tafel extrapolation method. Metallographic examinations have shown that the observed changes in microstructure are consistent with electrochemical values. In potentiodynamic polarization analysis, corrosion potential values alongside corrosion current density values, depending on the reinforcement content, were significantly found to increase. In post-corrosion morphological investigations, filiform corrosion was observed besides pitting corrosion on the sample surfaces.

Keywords: Lightweight alloys and composites, Corrosion, Magnesium and its alloys, Automotive materials, Hot pressing, TiNi

^{*a} Fevzi KELEN; fkelen@yyu.edu.tr; Tel: (0432) 225 17 01; orcid.org/ 0000-0003-3900-4503

^b orcid.org/ 0000-00020928-5095

^c orcid.org/ 0000-0002-1581-2605

1. Giriş

1. Introduction

Düşük yoğunluk, yüksek özgül mukavemet, kolay geri kazanım, mükemmel sönümlenme kapasitesi ve iyi dökülebilirlik gibi üstün özelliklerinden dolayı magnezyum ve alaşımları iletişim, spor, tıp ve ulaşım gibi pek çok farklı alanda kullanılmaktadır. Bilhassa düşük ağırlığın kritik bir parametre olduğu havacılık ve otomotiv gibi ulaşım sektörleri için önemli bir potansiyel oluşturmaktadır. Nitekim otomotiv endüstrisinde direksiyon sistemi bileşenleri, debriyaj muhafazası, radyatör, sunroof çerçevesi, pedallar, tekerlek jantları vb. birçok uygulaması bulunmaktadır (Gaines et al., 1996; Fink, 2003; Dobrzański et al., 2008; Luo, 2013; Kelen, 2014; 2018). Fakat bu malzemelerin başlıca tüketimlerinin otomobil ağırlığının önemli bir kısmını meydana getiren silindir bloğu, silindir kapağı, transmisyon ve diferansiyel kutusu gibi güç aktarma organları aksamalarının olacağı öngörülmektedir. Zira bu komponentlerdeki kullanımları araç ağırlığında önemli bir hafifleme sağlayarak hem yakıt sarfiyatı hem de yanma sonucu açığa çıkan egzoz emisyonlarını minimize edilebilir. Taşıt ağırlığında %10'luk hafifleme yakıt verimliliğinde %8'lik iyileşme, toplam ağırlıkta 1 kg'lık hafifleme ise karbondioksit üretiminde 20 kg'lık düşüş meydana getirmektedir. Ayrıca araç ağırlığındaki düşüş, yakıt etkinliği ve düşük emisyon oluşumunun yanı sıra ivmelenme, frenleme ve manevra kabiliyetlerini de geliştirmektedir. Dolayısıyla magnezyum ve alaşımlarının sadece güç aktarma organları parçaları değil aynı zamanda iç donanım, araç ön alanı, şasi ve karoseri gibi diğer temel sistem ve bileşenlerdeki uygulama sayılarının artırılmasında büyük önem arz etmektedir. Ne yazık ki zayıf korozyon dirençleri gerek bu alanlardaki kullanımlarını kısıtlamakta gerekse de endüstride demir ve alüminyuma göre daha az tercih edilmelerine neden olmaktadır. Bu bağlamda iyi korozyon dayanımına sahip magnezyum esaslı malzemelerin geliştirilmesi otomotiv endüstrisinin başlıca beklentisi olmuştur. Zira otomobillerde geleneksel malzemelerin yerine magnezyum ve alaşımlarının kullanılması ile yakıt ekonomisini iyileştirmenin yanı sıra insan sağlığı ve çevre kalitesi açısından son derece tehlike unsurları ihtiva eden egzoz emisyonlarının asgari düzeye indirgenmeside amaçlanmıştır. Magnezyumun düşük korozyon mukavemeti oksijensiz ortamlarda dahi korozyon oluşumuna yol açan yüksek elektronegatif potansiyeli ve metal yüzeyinde teşekkül eden oksit ya da hidroksit tabakanın birçok sulu veya nemli ortamda kararlı bir yapı sergilememesinden kaynaklanmaktadır (Eliezer et

al., 1998; Friedrich and Schumann, 2001; Mordike & Ebert, 2001; Song & StJohn, 2005; Ghassemieh, 2011; Joost & Krajewski, 2017; Esmaily et al., 2017; Kelen, 2021). Magnezyum ve alaşımlarının yapısal ve fonksiyonel özellikleri şekil bellek etkisi, süperelastisite, mükemmel süneklik, yüksek mukavemet ve tokluk, iyi yorulma dayanımı ve yüksek korozyon direnci gibi üstün özelliklere sahip TiNi intermetalik bileşikler ile iyileştirilmeye çalışılmış olmasına karşın bunların korozyon davranışı üzerindeki etkisine pek değinilmemiştir (Hodgson et al., 1990; Mizuuchi et al., 2004; Otsuka & Ren, 2005; Esen, 2012; Aydogmus, 2015; Kelen vd., 2018). Özellikle magnezyum matrisli kompozitlerin zayıf korozyon dayanımını geliştirmede yapılan çalışmalar son derece kısıtlıdır (Kelen vd., 2019). Mevcut çalışmada, TiNi şekil bellekli alaşımlar ile hacimsel olarak farklı oranlarda takviye edilen magnezyum matrisli kompozit malzemelerin korozyon davranışlarının incelenmesi amaçlanmıştır.

2. Materyal ve metot

2. Material and method

Tek eksenli sıcak presleme tekniği ile imal edilen magnezyum matrisli kompozit malzemeler TiNi şekil bellekli alaşımlar ile %5, %10, %15, %20 ve %25 hacimsel oranlarda takviye edilmiştir. Matris tozlar, Magnezyum ve Metal Tozları End.ve Tic. A. Ş. (Türkiye), takviye tozlar ise AP&CAAdvanced Powders and Coatings Inc. (Kanada), temin edilmiştir. Tablo 1'de kimyasal bileşimleri, geometrik yapıları ve imalat yöntemleri verilen tozlardan magnezyumun saflığı üretici firma tarafından minimum %99 olarak belirtilirken alaşım tozların ise imalatçı şirket aracılığıyla sağlanan sertifikalı kimyasal analizler sonucu saptanmıştır. Magnezyum ve TiNi mikro partikül tozlar yukarıda ifade edilen miktarlarda seramik bir kap içerisinde 10 dk boyunca karıştırılmış, akabinde Ø80/40X50 mm ebatlarındaki silindirik grafit kalıplarda, 600°C sıcaklıkta, 50 MPa basınçta 1 saat süre ile inert gaz atmosferinde sinterlenmiştir. Elektrokimyasal analizlerde kullanılmak üzere kompozit malzemelerden tel erozyon vasıtasıyla 5x5x10 mm³ boyutlarında numuneler elde edilmiştir. Metalografik hazırlama işlemlerinden sonra numuneler etil alkol içerisinde 5 dk ultrasonik temizlemeye tabi tutulmuştur. %3.5 NaCl çözeltisinde (Baboian, 2005), PCI14/750 potansiyostat/galvanostat test cihazı kullanılarak gerçekleştirilen korozyon deneylerinde referans elektrot (RE) olarak doygun gümüş/gümüş klorür (Ag/AgCl), karşıt elektrot (CE) olarak platin (Pt) ve çalışma elektrodu (WE) olarak da yüzey alanı

0,25 cm² olan numuneler kullanılmıştır. Potansiyodinamik polarizasyon (PDS) analizleri öncesi, elektrotlar açık devre potansiyellerinde kararlılığa ulaşana kadar bekletilmiş sonrasında eğriler, -2V ile 1V arasında katodikten anodik yöne

doğru 0.5 mV/sn tarama hızında elde edilmiştir. Elektrokimyasal impedans spektroskopisi (EIS) analizleri ise 100000 Hz'den 0.01 Hz'e kadar olan frekans aralıklarında tarama yapılarak oluşturulmuştur.

Tablo 1. Kompozit numunelerin üretiminde kullanılan matris ve takviye tozların özellikleri

Table 1. Properties of matrix and reinforcement powders used in the production of composite samples

Matris ve Takviye Tozlar	Kimyasal Bileşim (%)				Toz Boyutu (µm)	Geometrik Şekil	İmalat Yöntemi
	Mg	Ti	Ni	Diğer			
Mg *	99			Kalan	100-300	Yuvarlak ve Düzensiz	Mekanik
TiNi **		49.2	50.8		0-45	Küresel	Atomizasyon

*, % Ağırlık, **, % Atomik

3. Bulgular ve tartışma

3. Results and discussion

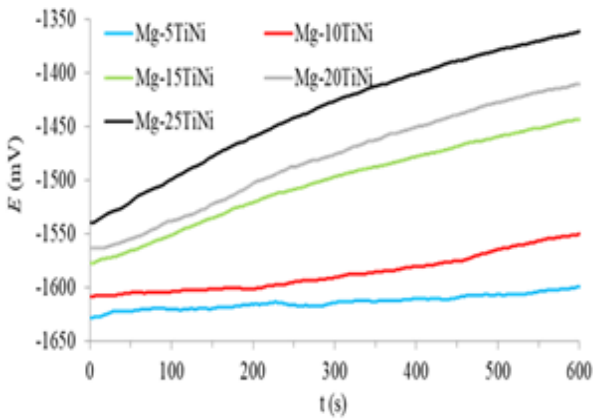
Magnezyum matrisli kompozit malzemelerin açık devre potansiyel (OCP) değişimleri ve potansiyodinamik polarizasyon (PDS) eğrileri sırasıyla Şekil 1a ve b'de verilmiştir. Bu analizlerden elde edilen önemli bazı korozyon parametreleri ise Tablo 2'de sunulmuştur. Kompozit malzemelerin açık devre potansiyel değişimlerinde artan takviye oranı ile birlikte potansiyelin daha soy değerler aldığı gözlenmiştir. Bu soylasma davranışı numune yüzeylerinde teşekkül eden kalın oksit tabakasından kaynaklanmaktadır.

Potansiyodinamik polarizasyon eğrilerinde ise artan takviye miktarı ile beraber hem korozyon potansiyeli (E_{cor}), hem de korozyon akım yoğunluğu (i_{cor}) değerlerinin arttığı saptanmıştır. Standart elektrot potansiyeli -2.37 V civarında olan magnezyumun sodyum klorür çözeltisi içerisindeki korozyon potansiyeli değişmektedir. Deneysel çalışmalarda elektrolitte çözünmüş % NaCl miktarına bağlı olarak bu değer -1.5 ile -1.7 V civarında olduğu belirtilmiştir (Song & Atrens, 1999). Mevcut çalışmada tüm numunelerin korozyon potansiyellerinin -1.3 ile -1.5 V arasında değiştiği tespit edilmiştir. Potansiyel değerlerinde gözlemlenen bu değişim, kompozitlerin matris yapısına, içerdiği takviye miktarına ve sinterleme sıcaklığına atfedilmiştir. Üretilen malzemelerin potansiyodinamik polarizasyon eğrilerinde çukurcuk potansiyelinin (E_{pit}), net bir biçimde gözlenmemesi bu değerlerin korozyon potansiyeli (E_{cor}) değerlerine çok yakın olmasından kaynaklanmaktadır. Zira solüsyondaki çözünmüş oksijenin indirgenme tepkimesi korozyon reaksiyonunu bastırmakta bu durum çukurcuk

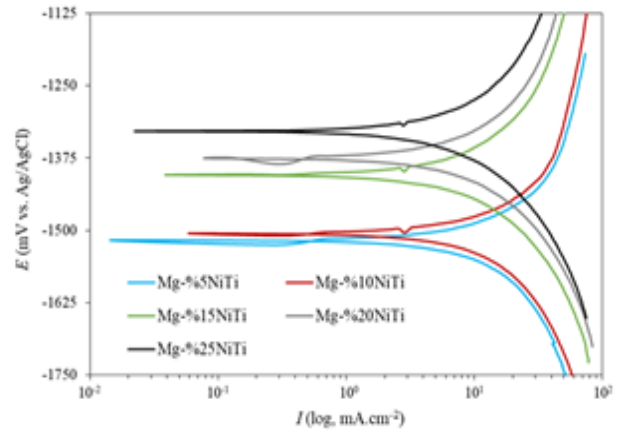
potansiyelinin gözlenmemesine sebep olmaktadır. Deneysel çalışmalarda numuneler yoğun çözeltilere daldırıldıktan hemen sonra çukurcukların oluşmaya başladığı ve karşıt elektrotta H₂ gaz çıkışı gözlenmiştir. Ancak katodik bölgede akım yoğunluğunun ve numune yüzeyinde korozyon ürünü oluşumunun yüksek olması çözünme mekanizmasının genel korozyon şeklinde ilerlediğini göstermektedir. Magnezyum yüzeyinde teşekkül eden oksit film tabakası suda çözünebilir olması ve hegzagonal kristal yapı ile arasındaki geometrik uyumsuzluktan dolayı birçok kez koruyucu özellik sergilememektedir. Bu durum takviye tozların bulunduğu bölgelerde oksit film yapısında süreksizlikler meydana getirerek pasif tabakada kırılma ve ayrılmalara yol açan bası gerilmelerine neden olabilir. Ayrıca ortamdaki klor iyonları pasif tabakaya nüfus ederek asidik yapıdaki magnezyum tuzlarını oluşturup, numunelerin hasara uğramasını hızlandırabilir (Ferrando, 1989; Hillis, 2006). Nitekim Şekil 2'de verilen makro ölçekteki yüzey görüntüleri bu açıklamaları doğrular niteliktedir. Literatürde sulu çözeltilerde magnezyum yüzeyinde teşekkül eden pasif film morfolojisinin MgO ve Mg(OH)₂'den meydana gelen tabakalı bir yapı olduğu ifade edilmektedir. Genel olarak MgO, Mg(OH)₂'den daha kararlı bir yapıya sahiptir (Song & Atrens, 1999). Kompozit malzemelerde artan takviye oranı ile birlikte korozyon hızının da artması numune içeriğinde azalan matris oranından kaynaklandığı düşünülmektedir. Zira bununla birlikte pasif tabakada oluşan MgO miktarı da azalmaktadır. Mevcut çalışmada artan takviye oranı ile birlikte her ne kadar korozyon hızının arttığı saptansada bu artışın çalışılan tüm oranlarda tam yoğunluğa ulaşılmış olması nedeni ile sınırlı olduğu gözlenmiştir. Bir önceki çalışmada (Kelen vd.,

2019) düşük sinterleme sıcaklığı (420°C) sonucu mikroyapıda meydana gelen gözeneklerin koruyucu pasif tabakayı zayıflatarak numunelerde korozyon direncinin önemli oranda düşmesine yol açtığı belirlenmiştir. Elektrolitteki klor iyonu konsrasyonu bu gözenekli yapılarda artarak oksit tabakanın hasara uğramasına ve korozyon dayanımının düşmesine neden olmaktadır (Kelen vd., 2019). Tam yoğunluğa ulaşılmamış kompozitlerde %5 ile %25 takviye içeren numunelerde korozyon potansiyeli -1.550 V ile -1.410 V arasında değişir iken bu değerler gözenek içermeyen kompozitlerde -1.525 V ile -1.329V arasındadır (Tablo 2). Dolayısıyla sinterleme sıcaklığının mevcut çalışmada bir öncekine nazaran 420°C sıcaklıktan 600°C'ye çıkarılması, kompozit malzemelerin korozyon hızının önemli oranda düşmesini ve korozyon direncinin iyileşmesini sağlamıştır. Yapılan morfolojik analizlerde tüm numunelerde çukurcuk korozyonu izine rastlanılmıştır (Şekil 3a). Ayrıca kompozitlerde kurtçuk (filiform) korozyonu da saptanmıştır. Kurtçukların dar ve yarı silindirik iplikcikler şeklinde çukurdan dışarı doğru uzandığı tespit edilmiştir (Şekil 3c). Deneysel çalışmalarda magnezyum esaslı malzemelerin klorlu çözeltilere maruz kalmaları halinde çukurcuk korozyonu

biçiminde hasara uğradıkları belirtilmektedir (Ghali et al., 2004; Lindström et al., 2004; Kelen vd., 2019). Kompozit malzemelerde korozyonun genel olarak matris takviye ara yüzeyinde ilerlediği ve takviye materyalinin korozyona uğramadığı gözlenmiştir. Magnezyuma göre daha soy karakterdeki takviye elemanlarının korozyona uğramaması yüzeyinde oluşan ince TiO₂ tabakasından kaynaklanmaktadır. Matris fazın yoğun olarak hasara uğraması sonucu takviye tozların yapı içerisinde koparak ayrıldığı tespit edilmiştir (Şekil 3d). Ayrıca artan güçlendirici oranlarında takviye fazının tercihli olarak belli bölgelerde topraklandığı saptanmıştır. Bu durum lokal katot oranını artırmakta ve küçük anot/büyük katot olarak adlandırılan korozyon türüne yol açmaktadır. Çukurcukların iç bölgelere doğru hızla ilerlemesine neden olan bu mekanizma takviye elemanlarının yapı içerisinde ayrılma sürecini hızlandırmaktadır. Önceki çalışmada, düşük sinterleme sıcaklığı neticesinde oluşan poroziteler gerek takviye tozların matris fazdan ayrılma sürecinin daha etkin olmasına gerekse de yüzeyde süreksizliklere neden olarak pasif tabakada yarılmalara yol açtığı gözlenmiştir (Kelen vd., 2019).



(a)



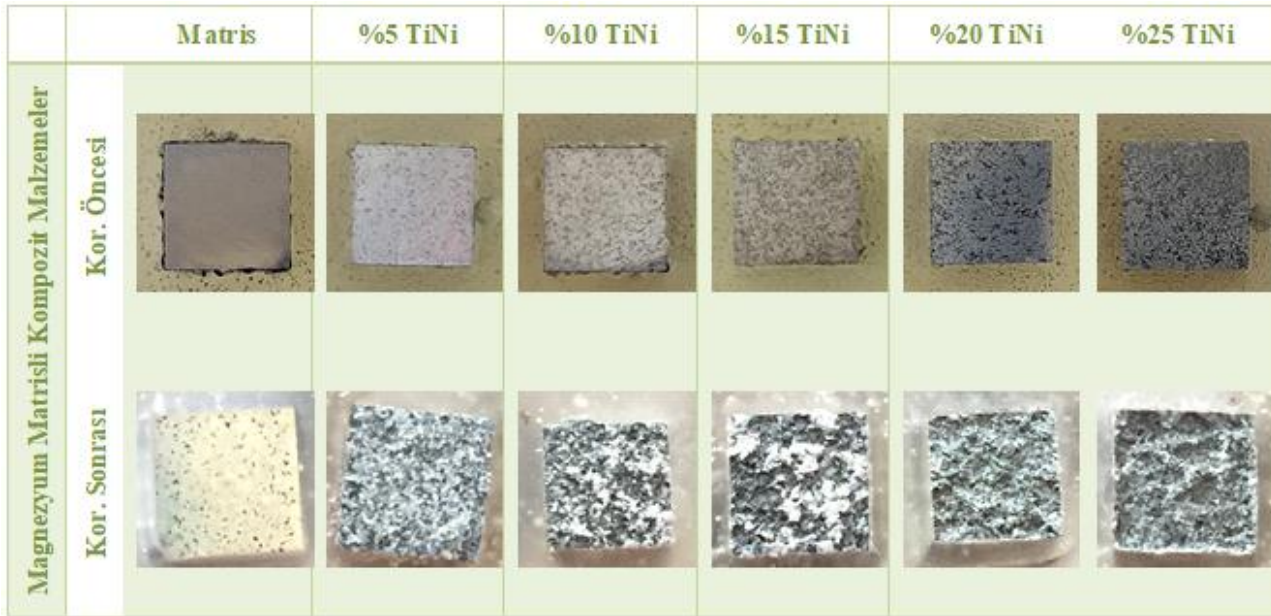
(b)

Şekil 1. Kompozit malzemelerin açık devre potansiyel (OCP) ve potansiyodinamik polarizasyon (PDS) eğrileri (a) OCP, (b) PDS

Figure 1. Open circuit potential (OCP) and potentiodynamic polarization (PDS) curves of composite materials (a) OCP, (b) PDS

Tablo 2. Kompozit malzemelerin polarizasyon analizlerinden elde edilen önemli bazı korozyon parametreleri
Table 2. Corrosion parameters obtained from polarization analyzes of composite materials

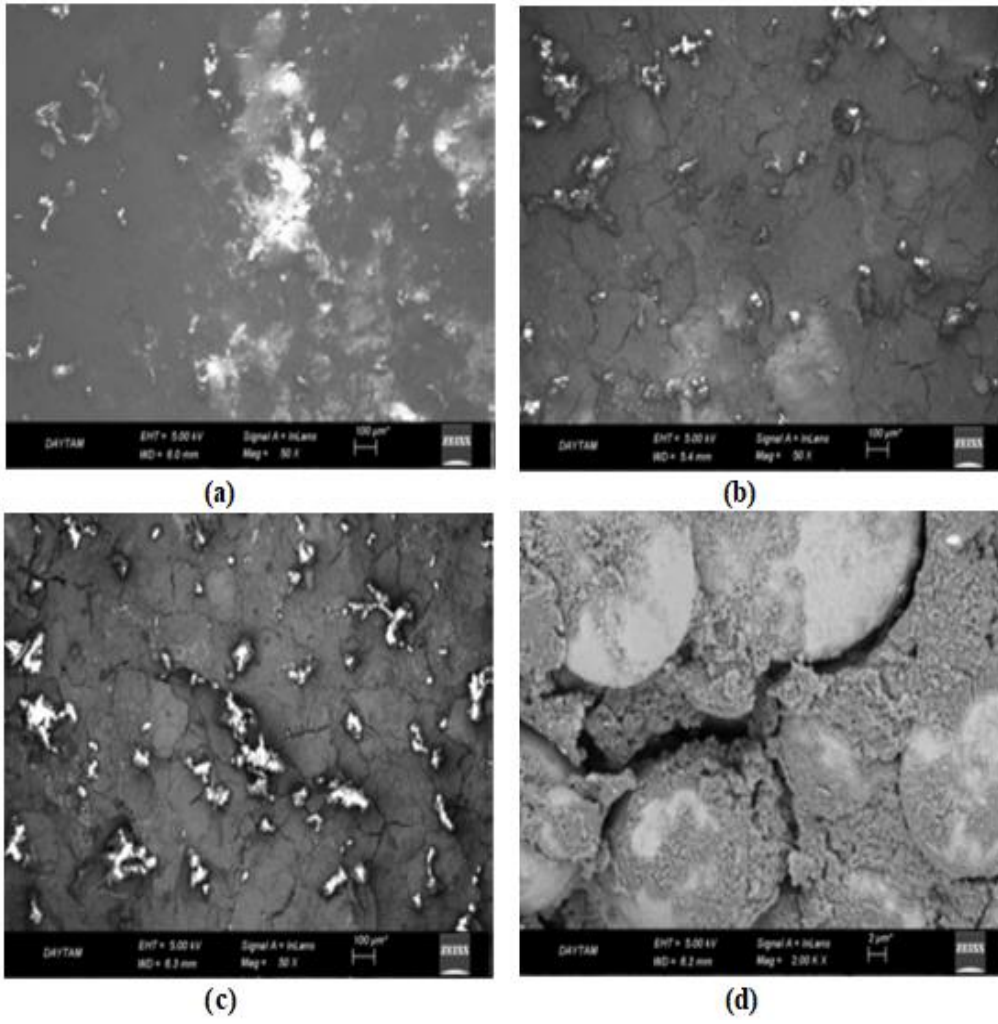
Matris Faz	Takviye oranı (%)	E_{ocp} (mV)	E_{corr} (mV)	I_{corr} (mA/cm ²)	Beta (mV/dec.)	A	Beta C (mV/dec.)	Korozyon Hızı (mpy) x10 ³
Magnezyum	5	-1550	-1525	12.60	212		287	12.60
	10	-1548	-1509	15.10	329		299	15.10
	15	-1429	-1404	17.15	401		477	16.84
	20	-1385	-1403	20.20	691		484	20.20
	25	-1353	-1329	24.10	983		518	23.84



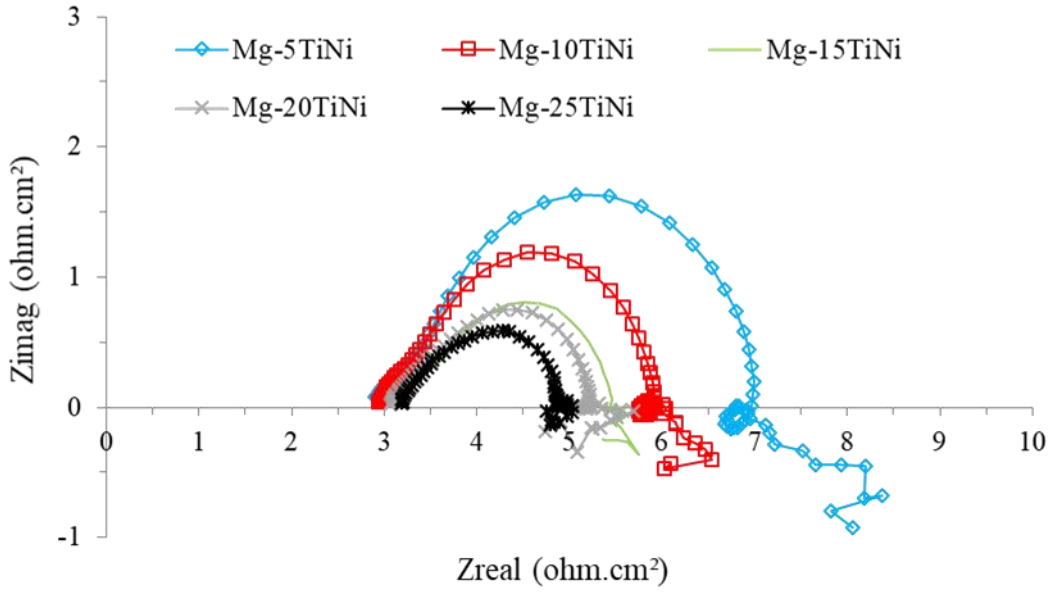
Şekil 2. Magnezyum matrisli kompozit malzemelerin korozyon öncesi ve sonrası makroskobik görüntüleri
Figure 2. Macroscopic images of magnesium matrix composite materials before and after corrosion

Şekil 4'te kompozit malzemelerin elektrokimyasal impedans spektroskopisi (EIS) analizleri sonrası elde edilen Nyquist eğrileri verilmiştir. Bu grafiklerden yüksek frekanstan ortak frekans bölgesine bir kapasitif yarı dairenin teşekkülü ve düşük frekans bölgesinde bir indüktif döngünün varlığı görülmektedir. Numunelerde artan güçlendirici miktarı ile birlikte meydana gelen bu dairenin yarıçapı önemli mertebede azalmaktadır. Bu kapasitif davranış yüzeyde oluşan oksit film direncinin düşmesinden kaynaklanmaktadır. Pasif film direncinin azalması oksit tabakanın oldukça kalın, gözenekli, gevrek ve dayanıksız olduğuna işaret etmektedir. Üretilen kompozit malzemelerin motor bloğu, silindir kapağı, transmisyon kutusu ve diferansiyel kutusu gibi güç aktarma organları bileşenleri imalatında kullanılmak üzere geliştirilmesi ve bunların servis şartlarında klorlu

çözeltilere maruz kalmalarından dolayı testler yoğun %3.5 NaCl çözeltisi içerisinde gerçekleştirilmiştir (Baboian, 2005). Diğer bir ifade ile deneysel çalışmalarda ASTM tarafından otomotiv endüstrisi için belirlenen test çözeltileri standartları, dikkate alınarak yüksek dirençli çözeltiler tercih edilmiştir. Analizlerin ilk aşamasında meydana gelen çok yüksek reel empedanstan da anlaşılan bu yüksek direnç numune/çözelti ara yüzeyinde faradik proseslerin, difüzyonun deney sırasında da sürdüğünü göstermektedir. Kapasitif dirençteki düşüş numunelerin zayıf korozyon mukavemetinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Düşük frekanslarda gözlemlenen indüktif döngü ise ağırlık kaybı sonucu meydana gelmekte ve zamanla yüzeye Cl⁻ iyonu emiliminin arttığını göstermektedir.



Şekil 3. Kompozit malzemelerin SEM görüntüleri a) %5TiNi, b) %15TiNi ve c-d) % 25TiNi
 Figure 3. SEM images of composite materials a) 5%TiNi, b) 15%TiNi and c-d) 25%TiNi



Şekil 4. Kompozit malzemelerin elektrokimyasal empedans spektroskopisi (EIS) eğrileri
 Figure 4. Electrochemical impedance spectroscopy (EIS) curves of composite materials

4. Sonuçlar

4. Conclusions

Otomobil güç aktarma organları bileşenleri imalatında kullanılmak üzere geliştiren kompozit malzemelerin gerçekleştirilen korozyon deneylerinde numunelerin açık devre potansiyel değişimlerinin zamanla arttığı tespit edilmiştir. Potansiyodinamik polarizasyon analizlerinde ise artan takviye miktarı ile birlikte kompozit malzemelerin korozyon potansiyeli (E_{cor}), değerlerinin yanı sıra korozyon akım yoğunluğu (i_{corr}) değerlerinin de arttığı saptanmıştır. Morfolojik analizlerde kompozit malzemelerde çukurcuk korozyonu gözlenmiştir. Ayrıca kurtçuk korozyonu türüne de rastlanılmıştır. Kurtçukların dar ve yarı silindirik iplikcikler şeklinde çukurdan dışarı doğru uzandığı saptanmıştır. Matris fazın yüksek elektronegatif potansiyeli ve yüksek agresif çözelti oksit tabakada hasarlar oluşturarak numuneleri çukurcuk korozyonuna karşı duyarlı hale getirdiği belirlenmiştir. Kompozit malzemelerde matris-takviye arasında sınır teşkil eden ara yüzeylerin ve soy karakterdeki TiNi takviye fazının çukurcuk (pitting) morfolojisi üzerinde önemli etkiye sahip olduğu gözlenmiştir. Kompozit numunelerin potansiyel değerlerinin matris yapısı, takviye miktarı ve sinterleme sıcaklığına bağlı olarak değiştiği tespit edilmiştir.

Teşekkür

Acknowledgement

Bu çalışmayı finansal olarak destekleyen Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu'na (Proje No: 215M808) ve Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi Başkanlığı'na (Proje No: 2015-FBE-D275), teşekkürlerimizi sunarız. Ayrıca saf magnezyum tozların temin edildiği, Magnezyum ve Metal Tozları Endüstri ve Ticaret Anonim Şirketine teşekkür ederiz.

Yazar katkısı

Author contribution

Yazarların çalışmadaki katkı oranları eşittir.

Etik beyanı

Declaration of ethical code

Bu makalenin yazarları, mevcut çalışmada kullanılan materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel izin gerektirmediğini beyan etmektedir.

Çıkar çatışması beyanı

Conflicts of interest

Mevcut çalışma kapsamında herhangi bir kurum veya kişi ile çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Kaynaklar

References

- Aydogmus, T. (2015). Processing of interpenetrating Mg–TiNi composites by spark plasma sintering. *Materials Science and Engineering: A*, 624, 261-270. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2014.11.092>
- Baboian, R. (2005). Automotive, Baboian R. (Ed.), Corrosion Tests and Standards: Application and Interpretation-Second Edition (pp. 673-687.). West Conshohocken; U.S.A: ASTM. https://www.astm.org/DIGITAL_LIBRARY/MNL/PAGES/MNL11004M.htm
- Dobrzański, L. A. Tański, T, Čížek, L., & Domagała, J. (2008). Mechanical properties and wear resistance of magnesium casting alloys. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, 31(1), 83-90.
- Eliezer, D. Aghion, E., & Froes, F. S. (1998). Magnesium science, technology and applications. *Advanced Performance Materials*, 5(3), 201-212.
- Esen, Z. (2012). The effect of processing routes on the structure and properties of magnesium–TiNi composites. *Materials Science and Engineering: A*, 558, 632-640.
- Esmaily, M., Svensson, J. E., Fajardo, S., Birbilis, N., Frankel, G. S., Virtanen, S., Arrabal, R., Thomas, S., & Johansson, L. G. (2017). Fundamentals and advances in magnesium alloy corrosion. *Progress in Materials Science*, 89, 92-193. <https://doi.org/10.1016/j.pmatsci.2017.04.011>
- Ferrando, W. A. (1989). Review of corrosion and corrosion control of magnesium alloys and composites. *Journal of Materials Engineering*, 11(4), 299-313.
- Fink, R. (2003). Die casting magnesium, Kainer, K. U. (Ed.), Magnesium Alloys and Technology (pp. 23-44.). Germany WILEY-VCH Verlag.
- Friedrich, H., & Schumann, S. (2001). Research for a “new age of magnesium” in the automotive industry. *Journal of Materials Processing Technology*, 117(3), 276-281. [https://doi.org/10.1016/S0924-0136\(01\)00780-4](https://doi.org/10.1016/S0924-0136(01)00780-4)
- Gaines, L. Cuenca, R. Wu, S., & Stodolsky, F. Argonne National Lab., Washington, DC. (1996). *Potential automotive uses of Wrought Magnesium Alloys*. United States. Erişim adresi

<https://doi.org/10.2172/425305-03-Ocak-2021.pdf>

duyarlılıkları. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 8(3), 914-920.

- Ghali, E. Dietzel, W., & Kainer, K.U. (2004). General and localized corrosion of magnesium alloys: a critical review. *Journal of Materials Engineering And Performance*, 13(1), 7-23. <https://doi.org/10.1361/10599490417533>
- Ghassemieh, E. (2011). Materials in automotive application, state of the art and prospects. *New trends and Developments in Automotive Industry*, 20, 364-394. <https://doi.org/10.5772/13286>
- Hillis, J. (2006). Corrosion. Friedrich, H. E. Mordike, B. L. (Ed.), *Magnesium technology* (pp. 469-498). Berlin; Germany: Springer-Verlag.
- Joost, W.J., & Krajewski, P. E. (2017). Towards magnesium alloys for high-volume automotive applications. *Scripta Materialia*, 128, 107-112. <https://doi.org/10.1016/j.scriptamat.2016.07.035>
- Kelen, F. (2014). Motorlu taşıt emisyonlarının insan sağlığı ve çevre üzerine etkileri. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 19(1-2), 80-87.
- Kelen, F. (2018). *TiNi ile takviye edilmiş Mg/AZ91 matrisli kompozitlerin üretimi ve karakterizasyonu* [Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü].
- Kelen, F. Gavgalı, M., & Aydogmus, T. (2018). Microstructure and mechanical properties of a novel TiNi particulate reinforced AZ91 metal matrix composite. *Materials Letters*, 233, 12-15. <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2018.08.121>
- Kelen, F. Aydoğmuş, T. Gavgalı, M., & Dikici, B. (2019). Toz metalürjisi yöntemi ile üretilmiş magnezyum matrisli kompozitlerin korozyon duyarlılıkları. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 8(3), 914-920.
- Kelen, F. (2021). Magnezyum ve alaşımlarının otomotiv endüstrisindeki önemi ve uygulamaları. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 11(1), 548-562. <https://doi.org/10.21597/jist.789612>.
- Lindström, R. Johansson, L. G. Thompson, G. E. Skeldon, P., & Svensson, J. E. (2004). Corrosion of magnesium in humid air. *Corrosion Science*, 46(5), 1141-1158. <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2003.09.010>
- Luo, A. A. (2013). Applications: aerospace, automotive and other structural applications of magnesium. *Fundamentals of Magnesium Alloy Metallurgy*, 266-316.
- Mizuuchi, K. Inoue, K. Hamada, K. Sugioka, M. Itami, M. Fukusumi, M., & Kawahara, M. (2004). Processing of TiNi SMA fiber reinforced AZ31 Mg alloy matrix composite by pulsed current hot pressing. *Materials Science and Engineering: A*, 367(1-2), 343-349.
- Mordike, B. L., & Ebert, T. (2001). Magnesium: properties—applications—potential. *Materials Science and Engineering: A*, 302(1), 37-45.
- Otsuka, K., & Ren, X. (2005). Physical metallurgy of Ti–Ni-based shape memory alloys. *Progress in Materials Science*, 50(5), 511-678. <https://doi.org/10.1016/j.pmatsci.2004.10.001>
- Song, G. L., & Atrens, A. (1999). Corrosion mechanisms of magnesium alloys. *Advanced Engineering Materials*, 1(1), 11-33.
- Song, G., & StJohn, D.H. (2005). Corrosion of magnesium alloys in commercial engine coolants. *Materials and Corrosion*, 56(1), 15-23. <https://doi.org/10.1002/maco.200403803>

Çikolata ile zenginleştirilmiş portakal sularının bazı kalite parametrelerinin incelenmesi

Investigation of some quality parameters of orange juices enriched with chocolate

Filiz UÇAN TÜRKMEN^{*1,a}, Muhammed Mustafa GEZER^{2,b}, Merve PAKSOY^{1,c},
Fatma Rumeysa ATÇI^{1,d}, Rabia ALMAS^{1,e}

¹ Kilis 7 Aralık Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, 79000, Kilis, Türkiye

• Geliş tarihi / Received: 29.04.2021

• Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 03.10.2021

• Kabul tarihi / Accepted: 26.10.2021

Öz

Bu çalışmada pastörize edilmiş portakal sularına farklı oranlarda (%1, %2.5 ve %5) eritilmiş çikolata ilave edilerek çikolatalı portakal suyu üretilmiştir. Bu çalışmanın amacı, iki besin grubunu bir araya getirerek besleyici ve lezzetli bir ürün elde etmektir. Bu iki besin grubunun birleşimi ile fenolik ve antioksidan içeriği yüksek, farklı bir aromaya ve hoş bir tada sahip yeni bir ürün elde edilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, 75°C 120 sn pastörizasyon koşullarında ısıl işleme tabi tutulan ve %2.5 çikolata içeren pastörize portakal suyunda yaklaşık % 4'lük kalıntı pektin metil esteraz (PME) aktivitesi tespit edilmiştir. En yüksek pH (4.13), suda çözünür kuru madde (SÇKM) (13.20 °B), HMF (92.18 mg/L) ve viskozite (2.50 cP) değerleri %5 oranında eritilmiş çikolata ilave edilen portakal sularında tespit edilmiştir. En yüksek fenolik madde miktarı (2728.5 mg/L), flavonoid madde miktarı (35.58 mg/L) ve askorbik asit değerleri de (84.42g/mL) yine %5 çikolata içeren pastörize portakal suyunda ölçülmüştür. Çikolatalı portakal suyu örnekleri arasında antioksidan aktivitesi en yüksek örnek %84.37 değeri ile %5 oranında çikolata içeren portakal suyu olmuştur. L*değeri en yüksek olan ham portakal suyu (11.43) iken; +a* değeri en yüksek %5 çikolata eklenmiş pastörize portakal suyu (16.63); +b* değeri en fazla %1 çikolata içeren pastörize portakal suyu (30.85); Hue değeri en yüksek pastörize portakal suyu (88.99); Kroma değeri en yüksek %2.5 çikolata içeren pastörize portakal suyu (33.14); en yüksek esmerleşme indeksi değeri %2.5 çikolata içeren pastörize portakal suyu (0.636 (abs.)) olarak tespit edilmiştir. Çikolata ilave edilen portakal suları arasındaki duyu analizi bakımından en çok %5 çikolata eklenmiş pastörize portakal suyu (3.58) beğenilmiştir.

Anahtar kelimeler: Antioksidan aktivite, Çikolata, Duyusal, Fenolik, Portakal, PME

Abstract

In this study, chocolate orange juice was produced by adding melted chocolate at different rates (1%, 2.5% and 5%) to pasteurized orange juice. The aim of this study is to combine two food groups to obtain a nutritious and delicious product. It is aimed to obtain a new product with a high phenolic and antioxidant content, a different aroma and a pleasant taste with the combination of these two food groups. For this purpose, approximately 4% residual pectin methyl esterase (PME) activity was determined in pasteurized orange juice containing 2.5% chocolate and subjected to heat treatment at "75°C 120 sec" pasteurization conditions. The highest pH (4.13), water soluble solids (WSS) (13.20 °B), HMF (92.18 mg/L) and viscosity (2.50 cP) values were determined in orange juices with 5% melted chocolate added. The highest phenolic content (2728.5 mg/L), flavonoid content (35.58 mg/L) and ascorbic acid values (84.42 g/mL) were also found in pasteurized orange juice containing 5% chocolate. Among the chocolate orange juice samples, the sample with the highest antioxidant activity was the orange juice containing 5% chocolate with a value of 84.37%. L value is the brightest in untreated orange juice (11.43); + a * value is the highest in pasteurized orange juice (16.63) containing 5% chocolate; + b * value is the highest in the pasteurized orange juice (30.85) containing up to 1% chocolate (30.85); Hue value is the highest in pasteurized orange juice (88.99); pasteurized orange juice containing 2.5% chocolate has the highest chromium content (33.14); The highest browning index value was found in the pasteurized orange juice (0.636 (abs.)) containing 2.5% chocolate. Pasteurized orange juice (3.58) containing 5% chocolate is the most preferred among the samples of chocolate containing orange juices.*

Keywords: Antioxidant activity, Chocolate, Sensory, Phenolic, Orange, PME

*a Filiz UÇAN TÜRKMEN; ucanfiliz@gmail.com, Tel: (0(348) 814 26 66/1812, orcid.org/0000-0002-3653-9433

^b orcid.org/0000-0003-2588-8774

^c orcid.org/, 0000-0001-9949-8985

^d orcid.org/0000-0003-3870-9579

^e orcid.org/0000-0002-8236-9869

1. Giriş

1. Introduction

Turunçgiller ılıman iklimime sahip olan birçok ülkede yetiştiriciliği yapılan ve anavatanlarının Hindistan, Çin ve Güneydoğu Asya olduğu bilinen meyve ağaçları türleridir. Turunçgiller portakal, limon, mandarin ve altıntop gibi yetiştiriciliği yaygın ve ekonomik değere sahip türleri içermekte iken bunların yanı sıra az bilinen bergamot, ağaç kavunu ve şadok türlerini de içermektedirler. Askorbik asit değerleri yüksek olup insan sağlığı açısından önemli yararları olan turunçgiller, meyveleri gıda olarak sofralık taze tüketimi ya da meyve suyu, reçel ve marmelat olarak değerlendirilen ayrıca kozmetik ve tıp sektörlerinde de hammadde olarak kullanılan bitki türleridir (Akgün, 2006). *Citrus sinensis* (L.) Osbeck olarak bilinen portakal, turunçgiller içindeki önemli türlerden birisidir (Cemeroğlu, 2004; Hasdemir, 2007).

Turunçgillerin fenolik bileşikler, karotenoidler ve C vitamini gibi birçok sağlığa yararlı bileşikleri buldukları ve bunların yanı sıra yüksek oranda besin ögesi içerdikleri bilinir. Bu söz konusu bileşikler antioksidan kapasiteye sahip oldukları için vücutta serbest radikallerin yol açtığı oksidatif zarara karşı hücreleri korurlar. C vitamininin ise beslenme için temel bir bileşen olduğu ve antioksidan kapasitesinin yüksekliği nedeniyle birçok gıda ürününde katkı maddesi olarak kullanıldığı da bilinmektedir (Burdurlu vd., 2006; Dhuique-Mayer vd., 2007; Polydera vd., 2004; Xu vd., 2007).

Çikolata; kakao yağı, şeker ve çikolata tipine göre kakao kütlesi ve/veya toz kakao, süt ve/veya süt tozu ve çeşni maddeleri, ayrıca gıda katkı maddeleri yönetmeliğinde izin verilen katkı maddelerinin de ilavesi ile teknolojiye uygun şekilde hazırlanıp kalıplanarak elde edilen bir mamuldür (Anonim, 1990). Çikolatanın tarihteki ilk izlerinin İ.Ö. 1500'li yıllara dayanmaktadır. Olmekler (Meksika Körfezi'nde bulunan Yucatan Yarımadası'nda yaşayan halk) kakao tohumlarını öğütmüş ve daha sonra baharat, mısır unu ve su ekleyerek karıştırmış ve sonuçta bu ürünü "kakawa" olarak adlandırdıkları bir enerji içeceği olarak tasarlamışlardır. Çikolatanın daha sonraki izleri Aztekler döneminde başlamış; Aztekler, kakaoya ilahi bir anlam yüklemiş; kendilerine tanrılar tarafından verilmiş bir hediye olduğuna inanmış ve kakao ağacına "Tanrıların Yemeği" denilen "Theobroma Cacao" ismini vermişlerdir. Aztekler'in "chocolatl" dedikleri içecek ise çikolatayı seçkin tabakanın popüler içeceğine dönüştürmüştür (Coe & Coe, 1996). Çikolatanın

potansiyel olarak uyarıcı, gevşetici ve anti-depresan özellikleriyle birlikte neşe ve zevk ile alakasının olduğu bilinmektedir. Gevşetici ve ağrı kesici etkisini beyinde endorfin salgısını artırmasıyla gerçekleştirir. Kanser ve kalp hastalıkları risklerini azalttığı, tabii bir enerji kaynağı olmasıyla birlikte acı hissi ile gerginliği aza indirmede faydalıdır (Anonim, 2010; Thamke, 2009). Aynı zamanda çikolatanın içeriğinde bulunan polifenollerin damar deformasyonunu önlediği, astıma neden olan lipoksigenaz üretimini bloke ettiği ve bağışıklık sistemini güçlendirdiği yönünde literatürde bilgiler mevcuttur (Kargin & Güneş, 2017).

Portakalın C vitamini açısından güçlü bir antioksidan olmasının yanı sıra çikolatanın da antioksidan özelliği ve kalp-damar rahatsızlıkları üzerine olumlu faydaları bulunduğu yıllardan beri bilinmektedir. Bu çalışmanın amacı, iki besin grubunu (çikolata ve portakal suyu) bir araya getirerek besleyici ve lezzetli bir ürün elde etmektir. Bu iki besin grubunun birleşimi ile fenolik ve antioksidan içeriği yüksek, farklı bir aromaya ve hoş bir tada sahip yeni bir ürün elde edilmesi amaçlanmıştır.

2. Materyal ve metot

2. Material and method

2.1. Materyal

2.1. Material

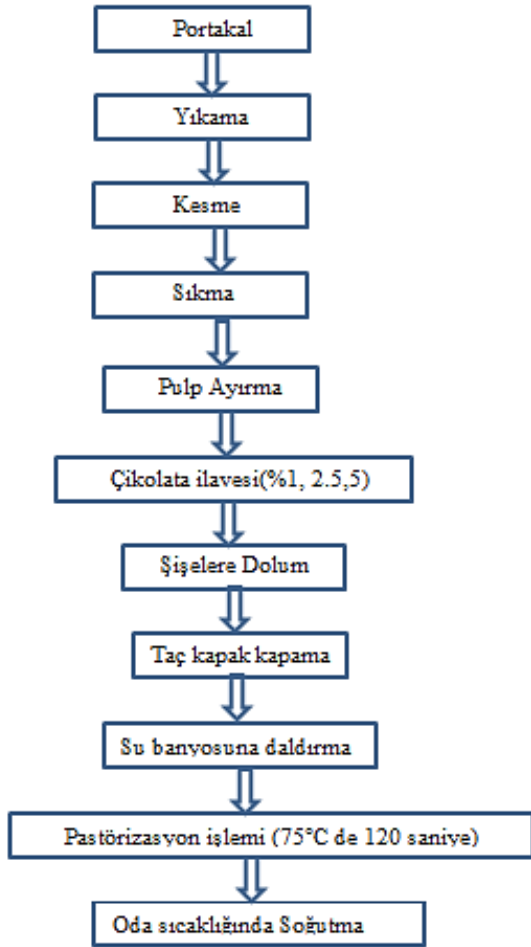
Bu çalışmada, Kilis'te bulunan semt pazarından temin edilen *Citrus sinensis* bitkisine ait portakal meyvesi kullanılmıştır. Temin işlemini takiben meyveler Kilis 7 Aralık Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümü Gıda İşleme Laboratuvarında +4°C 'de muhafaza edilmiş ve hemen portakal suyu üretimine geçilmiştir.

2.2. Metot

2.2. Method

Portakal suyu üretimi Şekil 1'de verilen akış diyagramına uyularak yapılmıştır. Şekil 1'den anlaşılacağı üzere öncelikle portakallar yıkama işlemine tabi tutulmuş; orta eksene dik şekilde ikiye bölünen portakallar el tipi paslanmaz çelik portakal sıkacağı aracılığıyla sıkılmıştır. Elde edilen portakal suları 1 mm paslanmaz çelik eleklerden geçirilerek pulp ayırma işlemi yapılmıştır. Portakal suyuna % 1, 2,5 ve 5 düzeyinde sütlü çikolata (Buono, BİM, Türkiye) eklenmiştir. Elde edilen örneklerin kısaltmalarında; HPS: ham portakal suyunu, PPS: pastörize portakal suyunu ve ÇPS ise çikolatalı

portakal suyunu ifade etmektedir. Çikolata portakal suyuna eklenmeden önce benmari usulü ile eritilmiş ve direkt olarak meyve suyuna eklenmiştir. 200 ml'lik kahverengi cam şişelere 175'er ml dolumu yapılan portakal suları; taç-kapak kapama aletiyle (yarı otomatik el tipi) kapatılmıştır. Pektin metil esteraz (PME) enziminin inaktivasyonuna dayanan deneylerle belirlenen sıcaklık ve süre parametrelerine göre pastörizasyon işlemi uygulanmış ve pastörizasyon normu olarak 75°C 120 sn uygun bulunmuştur. Laboratuvar tipi çalkalamalı su banyosunda (Mommert Marka Wisd, Wisebath Model) pastörizasyon işlemi uygulanmış ve çalışma 3 tekerrürlü olarak gerçekleştirilmiştir.



Şekil 1. Pastörize çikolatalı portakal suyu üretim akış şeması

Figure 1. Production flow chart of pasteurized chocolate orange juice

Pastörize portakal suları oda sıcaklığına kadar musluk suyu ile soğutulmuş; aşağıdaki analizler uygulanmıştır:

2.3. Analizler

2.3. Analysis

2.3.1. Meyve suyu veriminin belirlenmesi

2.3.1. Determination of juice yield

Kullanılan meyve suyu ağırlığının meyve ağırlığına bölünmesi ile gerekli hesaplama yapılmıştır (Cemeroğlu, 1992).

2.3.2. pH tayini

2.3.2. pH determination

pH analizinde cam elektrotlu WTW marka pH-metre (Weilheim, Germany) kullanılmış ve ölçümler oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir (Cemeroğlu, 1992).

2.3.3. Titrasyon asitliği (TA) tayini

2.3.3. Titration acidity (TA) determination

5 ml portakal suyu alınarak 0.1 N NaOH çözeltisi ile pH 8.1' e kadar titre edilmiş ve sonuçlar g/100 mL olarak hesaplanmıştır (Sánchez-Moreno vd., 2003).

2.3.4. Suda çözünür kuru madde miktarı (SÇKM)

2.3.4. Amount of water-soluble dry matter (SSCM)

SÇKM miktarı masa tipi Abbe refraktometresi (J.P. SELECTA, S.A) ile 20°C' de ölçülmüş ve sonuçlar Briks olarak ifade edilmiştir (Sánchez-Moreno vd., 2003).

2.3.5. Pektin metil esteraz (PME) kalıntı aktivite tayini

2.3.5. Pectin methyl esterase (PME) residual activity determination

10 mL portakal suyu örneği bir behere aktararak üzerine 30°C'ye getirilmiş pektin çözeltisinden (0.1M NaCl ve %1 pektin içeren) 20 mL eklenmiştir. Hemen ardından pH metre elektrotu daldırılmış ve 2N'lik NaOH çözeltisiyle pH 7'ye ulaşılmış; 0.05 N NaOH kullanılarak pH 7.7' ye ayarlanmış; pH 7.7 olduğunda 0.1 mL 0.05 N NaOH ilave edilmiş; kronometre çalıştırılarak pH tekrar 7.7' ye geldiğinde kronometre durdurulmuş ve geçen zaman kayıt altına alınmıştır. Aşağıda yer alan formül (1) yardımıyla PME aktivitesi hesaplanmıştır (Kimball, 1991).

$$\% \text{ Kalıntı PME Aktivitesi} = A_t / A_0 \times 100 \quad (1)$$

A_t : İşlem Sonrası PME Aktivitesi

A_0 :Başlangıç PME Aktivitesi

2.3.6. Su aktivitesi

2.3.6. Water activity

Su aktivitesi ölçümü için kalibrasyonu daha önceden yapılmış ölçüm cihazı (Novasina-Labtouch-aW) kullanılmıştır.

2.3.7. Renk analizi

2.3.7. Color analysis

Renk (CIE L*, a*, b*) analizi, el tipi renk cihazı (HunterLabminiscan EZ, ABD) ile belirlenmiştir. 50 mL örnek küvete alınarak analiz edilmiştir. Sonuçlar CIELAB rengine göre verilmiştir. Bu sistemde, L* açıklık/koyuluk (0: siyah, 100: beyaz), a* kırmızı / yeşil değerini ((+): kırmızı, (-): yeşil) ve b* sarı / mavi değerini ((+): sarı; (-): mavi) vermektedir. Buna ek olarak, Hue ve kroma değerleri aşağıdaki formüller (2, 3) baz alınarak kullanılmıştır.

$$\text{Hue}^* = \arctan(b^*/a^*) \quad (2)$$

$$C^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2} \quad (3)$$

2.3.8. HMF analizi

2.3.8. HMF analysis

5-hidroksimetilfurfural (HMF) içeriği, kırmızı renkli bir kompleks oluşturan, barbitürik asit, p-toluidin ve HMF arasındaki kolorimetrik reaksiyona dayalı olarak [Cemeroğlu \(2007\)](#) tarafından geliştirilmiş prosedür izlenerek HMF miktarı tespit edilmiştir.

2.3.9. Toplam fenolik madde miktarı tayini

2.3.9. Determination of total phenolic substance content

Örneklerin toplam fenolik içeriği spektrofotometrik yöntem kullanılarak ölçülmüştür ([Uçan Türkmen vd., 2018](#)). Örneklerin 0.5mL' si 2.5mL %10 Folin-Ciocalteu reaktifi ve 2.5mL %7.5 NaHCO₃ ile karıştırılmıştır. Reaksiyon karışımları 45°C'deki su banyosu içerisinde 45 dakika inkübe edilmiştir. Daha sonra örneklerin absorbansı, 765 nm'de spektrofotometre cihazında (Biochrom, Libra S60, B, İngiltere) ölçülmüştür. Farklı konsantrasyonlarda gallik asit çözeltisi kullanılarak standart bir eğri hazırlanmıştır. Örneklerdeki fenolik içeriği ölçülen absorbansa göre gallik asit eşdeğeri (GAE) (mg/L) olarak ifade edilmiştir.

2.3.10. Toplam flavonoid madde miktarı tayini

2.3.10. Determination of total flavonoid substance content

Örneklerin toplam flavonoid içeriği, alüminyum klorür kolorimetrik yöntemi (standart olarak kateşol) ile belirlenmiştir. Örneklerin 1 ml'si seyreltilerek (1:10), 0.3 ml %5 NaNO₂ ile karıştırılmıştır. Elde edilen karışım bir vorteks ile karıştırıldıktan sonra 5 dakika boyunca inkübe edilmiştir. Daha sonra 0.6 mL %10 AlCl₃.6H₂O solüsyonu ilave edilmiş ve inkübe edildikten sonra (5 dakika) elde edilen reaksiyon karışımı 2 mL 1 M NaOH solüsyonu ilave edilerek damıtılmış su ile 10 mL'ye getirilmiştir. Karışımın absorbansı UV-VIS spektrofotometre (Biochrom, Libra S60, B, İngiltere) ile 510 nm'de ölçülmüştür. Toplam flavonoid içeriği bir kalibrasyon eğrisinden hesaplanarak sonuçlar kateşol eşdeğeri (mg/L) olarak ifade edilmiştir ([Uçan Türkmen vd., 2018](#)).

2.3.11. Toplam karotenoid madde miktarı tayini

2.3.11. Determination of the total amount of carotenoid substance

Portakal sularının toplam karotenoid miktarları için [Lee vd., \(2001\)](#)'nin daha önce belirtmiş oldukları yöntem laboratuvarımız koşullarına uygun hale getirilerek kullanılmıştır. Bunun için 5 mL portakal suyu teflon bir tüpe aktarılarak üzerine 10 ml ekstraksiyon çözeltisi (hekzan: aseton: metanol/50:25:25, % 0.1 BHT içeren) ilave edilmiştir. Bu işlemi takiben bir karıştırma işlemi uygulandıktan hemen sonra santrifüjleme işlemine (4000 rpm, 10 dk, 4°C) geçilmiştir. Santrifüjleme sonrası vakit kaybetmeden 450 nm'de absorbans ölçümü alınmış ve toplam karotenoid madde miktarı β-karoten cinsinden aşağıdaki formüle göre (4) ifade edilmiştir.

$$\text{Toplam karotenoid (mg/100 mL)} = \text{Absorbans} \times \text{SF} / E^{1/2} \times 1000 \quad (4)$$

SF: Seyreltme faktörü

E^{1/2} = Ekstinksiyon katsayısı (2505)

2.3.12. Askorbik asit tayini

2.3.12. Determination of ascorbic acid

Örneklerdeki askorbik asit miktarları spektrofotometre (Biochrom, Libra S60, B, İngiltere) ile test edilmiştir. Renk reaktifi olarak 2,6-diklorofenol-indofenol kullanılmış ve absorbans ölçümleri 518 nm'de yapılmıştır. Örneklerdeki askorbik asit içeriği, L askorbik asit ile hazırlanan standart bir eğri ile karşılaştırılarak hesaplanmıştır ([Uçan Türkmen vd., 2018](#)).

2.3.13. Antioksidan aktivite tayini*2.3.13. Determination of antioxidant activity*

Numunelerin antioksidan kapasitesi, kararlı DPPH (2,2-difenil 1-pikrilhidrazil) bileşiği ile tespit edilmiştir. Bu deney, pembe kararlı bir bileşik olan DPPH radikalinin yıkımı sonucu, renkteki azalmanın spektrofotometrik (Biochrom, Libra S60, B, İngiltere) olarak ölçülmesine dayanmaktadır. 100 µL numune alınıp, üzerine 3.9 µL DPPH (metanolde 0.025 g/L) çözeltisi eklenir. Karışımlar karanlıkta, oda sıcaklığında 120 dakika inkübe edilmiştir. Daha sonra kalan DPPH miktarı, 515 nm’de ölçülerek belirlenmiştir. Test numunelerinde, DPPH'nin inhibisyonu “% İnhibisyon=(A_{kontrol}-A_{örnek}) / A_{kontrol}*100” formülüne göre hesaplanmıştır (Uçan Türkmen vd., 2018).

2.3.14. Viskozite analizi*2.3.14. Determination of viscosity*

Portakal sularının viskozite değeri Fungilab Expert viscometer (Model 1, Sant feliu de Llobregat, Barcelona) kullanılarak 100 rpm’de L4 spindle ile belirlenip cP olarak ifade edilmiştir.

2.3.15. Esmerleşme indeksi*2.3.15. Browning index*

5 mL örnek alınarak üzerine 5 mL etil alkol (%95) eklenerek karıştırılmış ve sonra santrifüjlenmiştir (4000 rpm, 10 dakika, 40°C). Süpernatant 0.45 µm steril filtreden geçirilerek spektrofotometrede (Biochrom, Terazi S60, B, İngiltere) 420 nm’de etil

alkole karşı okunmuş ve değerler (ABS) olarak ifade edilmiştir (Meydav vd., 1977).

2.3.16. Duyusal analiz*2.3.16. Sensory Analysis*

Grafik skalası metodu aracılığıyla 13 kişilik panelist grubu baz alınarak genel izlenim, tat ve lezzet, koku, renk, bulanıklık özelliklerinin yer aldığı duyusal form kullanılarak duyusal analiz değerlendirilmesi gerçekleştirilmiştir (Altuğ, 1993; Watts vd., 1989).

2.3.17. İstatistiksel analiz*2.3.17. Statistical analysis*

Elde edilen veriler tesadüf parselleri deneme desenine göre SPSS (23.0) istatistik paket programı kullanılarak test edilmiştir. Varyans analizi sonucunda özelliklerin ortalaması Duncan çoklu karşılaştırma testine göre test edilmiştir (Bek & Efe, 1988).

3. Bulgular ve tartışma*3. Findings and discussion***3.1. Portakalın meyve özellikleri***3.1. Fruit characteristics of orange*

Tablo 1’de çalışmamızda kullandığımız portakal meyvesinin genel özellikleri bulunmaktadır. 10 adet portakal seçilerek portakalların kg ağırlığı 2.09 kg, kabuk ağırlığı 1.407 kg, elde edilen meyve suyu miktarı (kg) cinsinden 0.694 kg, meyve suyu miktarı litre cinsinden 670 mL ortalama meyve suyu verimi ise %33 düzeyinde belirlenmiştir.

Tablo 1. Portakal meyvesinin genel özellikleri*Table 1. General characteristics of orange fruit*

Özellikler	Değerler
Kg ağırlığı	2.09 kg
Kabuk ağırlığı (kg)	1.407 kg
Meyve suyu miktarı (kg)	0.694 kg
Meyve suyu miktarı (ℓ)	670 mL
Meyve suyu verimi (%)	%33

3.2. Pastörizasyon sıcaklığı ve süresinin seçiminde kalıntı pektin metil esteraz (PME) aktivitesi*3.2. Residual pectin methyl esterase (PME) activity in selection of pasteurization temperature and time*

Farklı uygulama sıcaklıkları ve süreleri kullanılarak elde edilen pastörize portakal sularında PME aktivitesinin % 4’e düşürülmesi

amaçlanmıştır (Tablo 2). Bu amaçla, 75 °C sıcaklıkta 90 ile 120 saniye, 80 °C sıcaklıkta 40 ile 50 saniye, 85 °C sıcaklıkta 15 ile 55 saniye ve 90 °C’de 10, 15, 60, 120 ve 300 saniye pastörizasyon işlemleri uygulanarak ön denemeler gerçekleştirilmiş; elde edilen kalıntı PME aktivitesi değerleri baz alınarak 75°C 120 sn pastörizasyon normu için yaklaşık % 4’lük kalıntı PME aktivitesi belirlenmiştir. Ürün kalitesinde kaçınılmaz

kayıplara yol açacağı için PME aktivitesi daha fazla düşürülmemiş ve % 4'lük kalıntı aktivitesi uygun bulunmuştur. Polydera vd., (2005) PME'nin % 95'inin pastörizasyon koşullarında aktivitesini

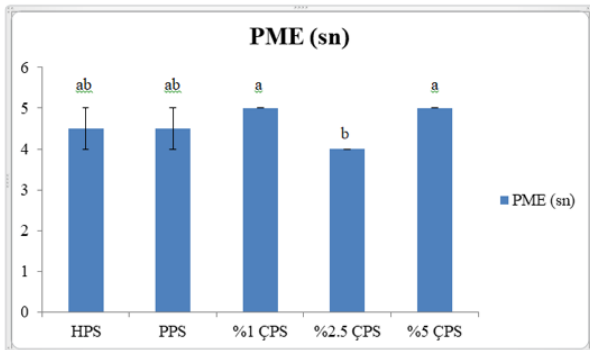
kaybettiğini; kalan % 5 aktivitenin de uzun süre depolamayı takiben bulanıklık kaybına yol açan ısı direnci daha yüksek olan izoenzimden meydana gelebileceğini vurgulamışlardır.

Tablo 2. Pastörizasyon işleminin portakal sularının kalıntı PME aktivitesi üzerine etkisi
Table 2. Effect of pasteurization on residual PME activity of orange juices

Sıcaklık (°C)	Uygulanan Süre(s)	Kalıntı PME Aktivitesi (%)
75	90 saniye	5.5±0.71
75	120 saniye	5.00±0.00
80	40 saniye	5.5±0.71
80	50 saniye	4.5±0.71
85	55 saniye	5.5±0.71
85	15 saniye	4.5±0.71
90	10 saniye	4.00±0.00
90	15 saniye	4.5±0.71
90	60 saniye	4.5±0.71
90	120 saniye	5.00±0.00
90	300 saniye	6.00±0.00

Turunçgillerde PME aktivitesi çok yüksek olup bu enzim metoksil gruplarını ayırarak, pektinin esterleşme derecesini düşürmekte ve ortamdaki Ca⁺² iyonu ile birleşip stabilitesini yitirmektedir. Zamanla turunçgil sularında serumun ayrılmasıyla tortu oluştuğu, konsantrde ise jelleşme görüldüğü bilinmektedir. Söz konusu üretimlerde, PME'nin inaktivasyonu gerçekleştirilerek bu enzimin yol açabileceği istenmeyen olaylar sınırlandırılmalıdır. Meyve suyu üretimlerinde son üründe daima PME kalıntısı bulunmakta (% 4'lük kalıntı aktivite) ve kalıntı PME aktivitenin tespiti ise özellikle ürünün stabilitesiyle ilgili elzem veriler tespit etmektedir (Cemeroğlu, 2007).

Şekil 2'de görüldüğü gibi en fazla %1 ve %5 çikolata içeren pastörize portakal sularında kalıntı PME aktivitesi 5 sn olarak tespit edilmiştir.



Şekil 2. Portakal suyu örneklerinin kalıntı PME aktivitesi

Figure 2. Residual PME activity of orange juice samples

En az kalıntı PME aktivitesi ise %2.5 çikolata içeren pastörize portakal suyunda kalıntı PME aktivitenin 4 sn olduğu sonucuna varılmıştır (p>0.05).

3.3. Portakal suyu örneklerinin fizikokimyasal özellikleri

3.3. Physicochemical properties of orange juice samples

Portakal suyu örneklerinin fizikokimyasal özelliklerine ait değerler Şekil 3'de verilmiştir. En yüksek pH değeri %5'lik ÇPS'de 4.13, en düşük pH değeri ise %1'lik ÇPS'de 3.90 olarak belirlenmiştir. Ham portakal suyuna ısıl işlem uygulandıkça pH değerinde (3.96) artış gözlenmiştir. En yüksek pH değeri en yüksek konsantrasyonda çikolata içeren örnekte (%5'lik ÇPS'de) bulunmuştur. Çikolatanın pH değeri genellikle 7'den büyük olduğu için ürün bazik bir karaktere sahiptir ve bu bazik maddenin portakal suyuna ilavesi ile pH değerinde artışlar muhtemeldir. Bu durum ise eklenen çikolata miktarının artması ile portakal suyunda pH artışlarının olabileceğinin bir işareti olarak değerlendirilebilir (p>0.05).

Li-Ying vd., (2008) portakal suyunun fizikokimyasal özellikleri üzerine yaptıkları çalışmada, 7 portakal çeşidinin pH değerlerinin 3.81 ile 4.31 aralığında olduğunu bildirmişlerdir.

Tablo 3'de görüldüğü gibi ham portakal suyunda SÇKM değeri 12.40°B; pastörize portakal suyunda ise 12.55°B olarak bulunmuştur. En yüksek SÇKM değeri %5 çikolata içeren pastörize portakal

suyunda 13.20°B olarak tespit edilmiştir. Ham ve pastörize portakal sularını kıyasladığımızda pastörizasyon uygulanınca briks değerinin arttığı

gözlemlenmiştir. Çikolata içeren portakal sularında ise çikolata miktarı arttıkça briks değerinin de artış gösterdiği tespit edilmiştir ($p<0.05$).

Tablo 3. Portakal suyu örneklerinin fizikokimyasal özellikleri
Table 3. Physicochemical properties of orange juice samples

Örnekler	pH	SÇKM % Briks	Titrasyon asitliği (g/100 mL)	Su Aktivitesi (a_w)	HMF (mg/L)	Viskozite (cP)
HPS	3.91±0.00 ^d	12.40±0.00 ^b	0.72±0.0 ^b	0.990±0.0 ^a	21.22±0.90 ^d	2.10±0.10 ^c
PPS	3.96±0.00 ^b	12.55±0.35 ^b	0.76±0.02 ^b	0.990±0.0 ^a	21.71±0.32 ^d	2.10±0.10 ^c
%1 ÇPS	3.90±0.00 ^d	11.40±0.10 ^c	0.83±0.03 ^a	0.985±0.0 ^c	50.63±0.08 ^c	2.30±0.00 ^b
%2.5 ÇPS	3.94±0.00 ^c	12.60±0.20 ^b	0.83±0.03 ^a	0.987±0.0 ^b	76.14±0.81 ^b	2.30±0.00 ^b
%5 ÇPS	4.13±0.00 ^a	13.20±0.11 ^a	0.75±0.05 ^b	0.988±0.0 ^b	92.18±8.10 ^a	2.50±0.00 ^a

Valensiya portakalları kullanılarak ekstraksiyonu gerçekleştirilen meyve sularının briksi 12.28° olarak tespit edilmiştir (Farnworth vd., 2001). Selli vd., (2004) Kozan Yerlisi portakal suyu üzerine yapmış oldukları bir çalışmada SÇKM değerini % 12.00 olarak belirlemişlerdir. Işık (2008) aynı çeşitte bu değeri % 11.17-11.83 arasında rapor etmiştir.

Ham portakal suyunda titrasyon asitliği değeri 0.72 g/100mL; pastörizasyon uygulanan portakal suyunda ise artarak 0.76 g/100mL bulunmuştur. En yüksek asitlik derecesi % 2.5 ve % 1'lik çikolata içeren pastörize portakal sularında 0.83 g/100mL iken en düşük asitlik derecesi hiçbir işlem uygulanmamış olan ham portakal suyunda 0.72 g/100mL olarak belirlenmiştir (Tablo 3). %5 çikolata içeren portakal suyunda ise asitlik derecesi 0.75 g/100mL olarak bulunmuştur ($p<0.05$).

Selli vd., (2004) Kozan Yerlisi portakal suyu üzerine yapmış oldukları bir çalışmada titrasyon asitliği değerini 0.93 g/mL olarak belirlemişlerdir. Işık (2008) Kozan Yerlisi çeşidinden elde ettiği meyve suyu çalışmasında ise bu değeri 1.64±0.18 g/100mL olarak rapor etmiştir.

Ham portakal suyunda ve pastörize portakal suyunda en yüksek su aktivitesi (a_w) değerleri (0.990) tespit edilmiştir. En düşük su aktivitesi ise %1 çikolata içeren pastörize portakal suyunda 0.985 olarak belirlenmiştir (Tablo 3). Elde edilen değerler çikolata ilavesinin su aktivitesini düşürdüğünü göstermektedir ($p<0.05$). Çikolata ilavesi ile ortamdaki serbest su miktarını azaltmakta ve bu durum ise üretilen ürünün daha düşük su aktivitesine sahip olmasına neden olmaktadır.

Furanik aldehitlerin kontrolü, gıdalarda esmerleşmenin, tağşişin, ısının, uygun olmayan depolamanın ve duyuşsal özelliklerin değerlendirilmesinde önemlidir. Asitlerle katalizlenen şekerlerin hidrolizinin temel parçalanma ürünü 5- (hidroksimetil)-2-furaldehitdir (HMF) (Esteve vd., 2005). HMF'nin oluşumu depolama süresi ve sıcaklık ile doğru orantılıdır (Mertoğlu, 2015).

Tablo 3'de görüldüğü gibi en düşük HMF değerleri ham (21.22 mg/L) ve pastörize portakal sularında (21.71 mg/L); en yüksek HMF değeri ise %5 çikolata içeren pastörize portakal suyunda (92.18 mg/L) tespit edilmiştir ($p<0.05$). HMF'nin asitli ortamda hegzozun parçalanması ile yada maillard reaksiyonu esnasında bir ara ürün olarak ortaya çıkmaktadır. Maillard reaksiyonları ise sıcaklık, pH ve su aktivitesi gibi değerlerden etkilenmektedir. HMF değerlerinde meydana gelen artışlar belirtilen durumlar ile açıklanabilir.

Işık (2008), tarafından yapılan çalışmada Kozan Yerli çeşidinde HMF değerinin 85°C'de pastörize edilenlerde kontrol grubuna göre önemli derecede fazla olduğu belirlenmiştir. Ağçam (2011), kontrol ve vurgulu elektrik alan tekniği ile işlenen portakal suyu örneklerinde HMF tespit edememiş ancak ısıl pastörizasyonla işlenen örneklerde ise HMF tespit etmiş olup bu değerlerin ısıl norm şiddetiyle arttığını bildirmiştir.

Viskozite turunçgil suları için önemli bir kalite parametresi olarak kabul edilmektedir. Meyve suyu yoğunluğu ve pulp miktarı viskoziteyi göstermektedir. Bulanıklık kaybı, pektinin metil gruplarını ayıran, kalsiyum pektat çökeltilerinin oluşmasına ve berrak bir görünüme neden olan

endojen bir enzim olan pektin metil esteraz aktivitesine bağlıdır (Parish, 1998).

En yüksek viskozite değeri %5 çikolata içeren pastörize portakal suyunda 2.50 cP olarak ölçülmüştür (Tablo 3). En düşük değerlerin ise ham ve pastörize portakal sularında 2.10 cP olduğu tespit edilmiştir ($p<0.05$). Çikolatada bulunan yağın miktarı ile viskozite arasındaki ilişkiden dolayı bu artış ve azalışların meydana gelmesi olasıdır.

3.4. Portakal suyu örneklerinin biyoaktif bileşikler üzerine etkisi

3.4. Effect of orange juice samples on bioactive compounds

Portakal suyu örneklerine ait fenolik madde miktarı değerleri Tablo 4’de verilmiştir. Çalışmada, pastörize portakal suyunda fenolik madde miktarının azaldığı gözlenirken, çikolata eklenen pastörize portakal sularında ise fenolik madde

miktarlarının arttığı gözlemlenmiştir. Portakal sularında en düşük fenolik madde miktarı pastörize portakal suyunda 897.6 mg/L olarak bulunmuştur. En yüksek fenolik madde miktarı ise % 5 çikolata içeren pastörize portakal suyunda 2728.5 mg/L olarak belirlenmiştir. Genel olarak bakıldığında çikolata miktarının fenolik madde miktarını arttırdığı gözlemlenmiştir ($p<0.05$).

Yapılan bir çalışmada, portakalda toplam fenolik içerik 112.29 ± 4.50 mg GAE /100 g tespit edilmiştir (Chun vd., 2005). Başka bir çalışmada portakal suyunun toplam fenolik içeriğinin $684.2\pm1.0-634.6\pm0.9$ mg kafeik asit eşdeğeri/l olduğu belirlenmiştir (Klimczak vd., 2007). Bu çalışmada, en yüksek flavonoid miktarı %5 çikolata eklenmiş pastörize portakal suyunda (35.58 mg/L) tespit edilmiştir (Tablo 4). En düşük değer ise ham portakal suyunda (7.67 mg/L) bulunmuştur. Isıl işlem uygulanıp çikolata ilavesi yapıldıkça toplam flavonoid miktarının arttığı gözlemlenmiştir ($p<0.05$).

Tablo 4. Portakal suyu örneklerinin biyoaktif bileşikler üzerine etkisi
Table 4. Effect of orange juice samples on bioactive compounds

Örnekler	Toplam fenolik (mg/L)	Toplam flavonoid (mg/L)	Toplam karotenoid (mg/L)	Antioksidan aktivite (%)	Askorbik asit (mg/L)
HPS	960.5±67.5 ^c	7.67±0.14 ^d	19.07±1.86 ^a	85.18±0.20 ^a	29.23±3.56 ^c
PPS	897.6±31.0 ^c	9.58±0.05 ^d	18.57±2.71 ^a	84.76±0.67 ^a	26.28±1.06 ^c
%1 ÇPS	2226.8±72.2 ^b	14.27±2.01 ^c	17.81±0.82 ^a	68.47±1.95 ^c	59.04±19.85 ^b
%2.5 ÇPS	2127.1±65.5 ^b	17.64±1.81 ^b	10.61±2.09 ^b	77.72±0.91 ^b	48.46±0.58 ^b
%5 ÇPS	2728.5±201.6 ^a	35.58±2.97 ^a	9.09±1.45 ^b	84.37±2.02 ^a	84.42±2.59 ^a

Üretim aşamalarındaki (sütunlarda) farklı küçük harfler ile gösterilen örnekler arasındaki farklılıklar 0.05 düzeyinde önemlidir.

En yüksek karotenoid miktarı ham portakal suyunda (19.07 mg/L) iken en düşük karotenoid miktarı % 5 çikolata ilave edilmiş pastörize portakal suyunda (9.09 mg/L) bulunmuştur. Pastörizasyon işleminin ve çikolata ilavesinin karotenoid miktarını düşürdüğü tespit edilmiştir (Tablo 4.) ($p<0.05$). Gama ve Sylos (2007) pastörizasyon ve konsantrasyon işleminin Valensiya portakal suyunun karotenoidleri üzerine olan etkisini araştırmışlardır. Taze Valensiya portakal suyunun toplam karotenoid değerini 12.00 ± 0.67 mg/L olarak tespit etmişken, ısıl pastörizasyon ve konsantre edilen portakal suyunda bu değerleri sırası ile 10.40 ± 6.90 ve 9.90 ± 5.30 mg/L olarak belirlemişlerdir.

Askorbik asit miktarları ham portakal suyunda 29.23 mg/L, pastörize portakal suyunda 26.28 mg/L, %1 çikolata ilave edilmiş pastörize portakal suyunda 59,04 mg/L, %2.5 çikolata eklenmiş

pastörize portakal suyunda 48.6 mg/L ve %5 çikolata eklenmiş pastörize portakal suyunda 84.42 mg/L olarak tespit edilmiştir (Tablo 4.). En yüksek askorbik asit değeri %5 çikolata içeren pastörize portakal suyunda, en düşük askorbik asit değeri ise pastörize portakal suyunda bulunmuştur. Pastörizasyon işlemi askorbik asit değerini düşürürken çikolata ilavesi askorbik asit değerini arttırmıştır ($p<0.05$). Farnworth vd., (2001), Valensiya portakal sularını kullandıkları çalışmada pastörize edilmemiş ve -18°C 'de dondurulmuş portakal sularının askorbik asit içeriğini 54.2 mg/100 mL, pastörize edilmiş ve -18°C 'de dondurulmuş portakal sularının askorbik asit içeriğini 53.7 mg/100 mL ve pastörize edilmiş ve 1°C 'de depolanmış portakal sularının askorbik asit içeriğini 49.6 mg/100mL olarak tespit etmişlerdir. Askorbik asit konsantrasyonunun hem yöntemin farklılığından hem de depolama süresinden etkilendiğini bildirmişlerdir. Pastörize edilmiş ve

1°C’de depolanmış portakal suyunun diğer portakal sularına kıyasla daha az askorbik asit içerdiği ve bütün portakal sularında depolama süresi arttıkça askorbik asidin önemli derecede azaldığı sonucuna varmışlardır.

Portakal suyunun antioksidan etkiye sahip olan askorbik asit, karotenoid ve fenolik bileşenleri önemli düzeyde yapısında bulundurmasından ötürü antioksidan aktivite değerinin yüksek çıkması beklenen bir durumdur (Ağçam, 2011). En yüksek antioksidan değeri ham portakal suyunda %85.17; en düşük değer ise %1 çikolata eklenmiş pastörize portakal suyunda %68.47 olarak elde edilmiştir (Tablo 4.)(p<0.05). Çikolatalı portakal suyu örnekleri arasında antioksidan aktivitesi en yüksek örnek %84.37 değeri ile %5’lik çikolata içeren portakal suyu olmuştur.

Bir çalışmada, ısıtılma tabii tutulmamış portakal sularında antioksidan aktivite % 49.1 iken ısıtılma ile antioksidan aktivitenin % 43.2 olduğu tespit edilmiştir (Scalzo vd., 2004). Gıdanın yapısı ve bileşimi, uygulanan ısıtılma işleminin türü ve sıcaklık derecesi fenolik bileşenlerin miktarında artışa neden olabilmektedir (Sakac vd., 2011).

3.5. Portakal suyu örneklerinin renk değerleri

3.5. Color values of orange juice samples

Gıdaların rengi, tüketicinin satın alma davranışını etkileyen ve gıdanın kabul edilebilirliğinde dikkate değer etki yaratan temel kalite faktörlerinden biridir. Çünkü tüketici önce rengi algılamakta ve daha sonra renk yardımı ile lezzet ve aroma gibi diğer kalite kriterleri için bir ön fikir oluşturmaktadır. Renk, aynı zamanda taze gıdaların doğal olgunlaşma, depolama veya proses sırasındaki değişikliklerin bir göstergesidir (Ağçam, 2011). Portakal sularında tipik renk, genellikle karotenoidlerden ve bazı türlerde (kan portakalı) karotenoidler ile antosiyaninlerin

karışımından kaynaklanmaktadır. Isıl işleme maruz kalma süresine göre rengin değiştiği bilinmektedir. Enzimatik olmayan esmerleşme reaksiyonlarının göstergesi olan L* değeri parlaklığı ifade eder (Mahieddine vd., 2011). Basit bir ifade ile renk esmerleşmesi reaksiyonu sonucu L* (aydınlık) değeri azalmakta, a* (kırmızılık) değeri artmakta ve b* (sarılık) değeri ise azalmaktadır (Mertoğlu, 2015).

L* değeri en parlak olan ham portakal suyu (11.43) iken parlaklığı en düşük olan %1 çikolata içeren pastörize portakal suyu olarak belirlenmiştir (18.12) (p>0.05). +a* en yüksek (kırmızılık) %5 çikolata eklenmiş pastörize portakal suyunda (16.63) bulunurken -a* değeri en fazla (yeşillik) pastörize portakal suyunda (0.38) olarak tespit edilmiştir (p<0.05). +b* (sarılık) değeri en fazla %1 çikolata içeren pastörize portakal suyunda (30.85) iken -b* değeri (mavilik) değeri ham portakal suyunda (19.55) bulunmuştur (p>0.05). Hue değeri en yüksek pastörize portakal suyunda (88.99) iken en düşük %5 çikolata içeren pastörize portakal suyunda (59.64) olarak bulunmuştur (p<0.05). Kroma değeri en yüksek % 2.5 çikolata içeren pastörize portakal suyunda (33.14) çıkarken en düşük değer ise ham portakal suyunda (19.57) olarak tespit edilmiştir (Tablo 5.). (p>0.05).

Işık (2008), portakal suyu renginin kırmızılığını ifade eden a* değerlerinde sıcaklık artışı ile birlikte pozitif yönde değişim gerçekleştiğini bildirmiştir. Lee vd., (2003), pastörize portakal sularında L* değerinde 40.22±0.16’ dan 41.22±0.81’e küçük bir artış olduğunu bildirmişlerdir. Isıl işlemle sonra, b* değerlerinin (17.62±0.35) bütün örneklerde yavaş yavaş pozitif yönde, a* değerlerinin -1.75±0.07’ den -2.64±0.15 (p<0.05)’ ye bir parça negatif yönde değiştiğini belirlemişlerdir. Lee vd., (2003), taze portakal suyu örneğinde Hue değerini 95.66° ve ısıtılma pastörizasyon maruz kalan örnekte ise 97.51° tespit etmiştir.

Tablo 5. Portakal suyu örneklerinin renk değerleri

Table 5. Color values of orange juice samples

Örnekler	L*	a*	b*	Hue	Kroma	Esmerleşme İndeksi(abs.)
HPS	11.43±0.14 ^a	0.91±0.08 ^c	19.55±0.23 ^a	87.34±0.20 ^a	19.57±0.23 ^b	0.270±0.044 ^b
PPS	17.89±5.61 ^a	0.38±0.46 ^c	30.38±9.40 ^a	88.99±1.43 ^a	30.39±9.39 ^{ab}	0.236±0.035 ^b
%1 ÇPS	18.12±5.87 ^a	7.53±5.74 ^b	30.85±9.89 ^a	78.07±8.09 ^b	31.91±10.77 ^a	0.583±0.048 ^a
%2.5 ÇPS	17.79±0.75 ^a	13.19±0.40 ^a	30.40±1.24 ^a	66.51±1.48 ^c	33.14±0.98 ^a	0.636±0.116 ^a
%5 ÇPS	16.60±0.15 ^a	16.63±0.18 ^a	28.38±0.19 ^a	59.64±0.45 ^d	32.89±0.07 ^a	0.617±0.037 ^a

Üretim aşamalarındaki (sütunlarda) farklı küçük harfler ile gösterilen örnekler arasındaki farklılıklar 0.05 düzeyinde önemlidir.

En yüksek esmerleşme indeksi değeri %2.5 çikolata içeren pastörize portakal suyunda 0.636 (abs.); en düşük değer ise pastörize portakal suyunda 0.236 (abs.) olarak bulunmuştur (Tablo 5.)(p<0.05).

3.6. Portakal suyu örneklerinin duyusal analiz değerleri

3.6. Sensory analysis values of orange juice samples

Portakal suyu örneklerine ait duyusal analiz sonuçları Tablo 6'da gösterildiği gibidir.

Tablo 6. Portakal suyu örneklerinin duyusal değerleri

Table 6. Sensory values of orange juice samples

Örnekler	Renk	Bulanıklık	Tat ve Lezzet	Koku	Genel İzlenim
HPS	4.15±0.90 ^a	4.15±0.69 ^a	3.92±0.95 ^a	4.23±0.83 ^a	4.15±0.69 ^a
PPS	4,00±1.04 ^a	4.30±0.89 ^a	3.80±1.03 ^a	3.80±1.05 ^a	3.90±0.84 ^a
%1 ÇPS	3.31±1.11 ^a	3.35±1.25 ^a	3.46±1.05 ^a	3.46±1.39 ^a	3.54±0.88 ^a
%2.5 ÇPS	3.38±1.19 ^a	3.08±1.12 ^a	3.46±1.13 ^a	3.38±1.45 ^a	3.54±1.13 ^a
%5 ÇPS	3.31±1.09 ^a	3.31±1.32 ^a	3.58±1.35 ^a	3.62±1.39 ^a	3.58±1.15 ^a

Üretim aşamalarındaki (sütunlarda) farklı küçük harfler ile gösterilen örnekler arasındaki farklılıklar 0.05 düzeyinde önemlidir.

Yapılan çalışmada renk olarak en çok beğenilen örnek ham portakal suyu (4.15) olmuştur ($p>0.05$). Çikolata eklenen pastörize portakal sularında renk olarak en çok %2.5'lik ÇPS (3.38) beğenilmiştir. Bulanıklık portakal suyunda istenilen bir özelliktir. Bulanıklık özelliği en çok beğeni alan pastörize portakal suyu (4.15) iken, en az beğeni alan portakal suyu örneği ise %2.5'lik ÇPS (3.08) örneği olmuştur ($p>0.05$). Tat ve lezzet değerleri bakımından en çok beğenilen HPS örneği 3.92 puan almıştır. Çikolata ilavesi içeren portakal sularında ise en çok %5'lik ÇPS örneğinin beğenildiği (3.58) sonucuna varılmıştır ($p>0.05$). Koku değerleri bakımından en çok ham portakal suyu örneğinin beğenildiği (4.23) tespit edilmiştir. Çikolata ilavesi içeren portakal suları arasında ise en çok %5'lik ÇPS'nin beğenildiği (3.62) sonucuna varılmıştır ($p>0.05$). Genel izlenim olarak baktığımızda en çok ham portakal suyunun beğenilmiş olduğu (4.15) tespit edilmiştir. Çikolata ilave edilen portakal suları arasında en çok %5 çikolata eklenmiş pastörize portakal suyu (3.58) beğenilmiştir. %1'lik ve %2.5'lük ÇPS'lerde aynı oranda beğenildiği sonucuna varılmıştır ($p>0.05$).

4. Sonuçlar

4. Results

Bu çalışmada, meyve olarak C vitamini, fenolik madde ve antioksidan aktivite yönünden zengin içeriğe sahip olan portakal ile mutluluk hormonu salgılayan ve insanlar tarafından çokça tercih edilen çikolata bir araya getirilerek, faydalı iki üründen yeni bir ürün elde edilmiştir. Literatürde bu yeni ürün ile ilgili herhangi bir çalışma bulunmamıştır. Bu ilk verilerin yeni çalışmaların yapılmasını teşvik edeceği düşünülmektedir. En yüksek fenolik madde miktarı (2728.5 mg/L), flavonoid madde miktarı (35.58 mg/L) ve askorbik asit değerleri de (84.42g/mL) yine %5 çikolata

içeren pastörize portakal suyunda ölçülmüştür. Çikolatalı portakal suyu örnekleri arasında antioksidan aktivitesi en yüksek örnek %84.37 değeri ile %5 oranında çikolata içeren portakal suyu olmuştur. Çikolata ilave edilen portakal suları arasındaki duyusal analiz bakımından en çok %5 çikolata eklenmiş pastörize portakal suyu (3.58) beğenilmiştir. Bu iki bileşimden ürettiğimiz çikolatalı portakal suyunun hem lezzet açısından hem de yüksek antioksidan içeriğinden dolayı sağlığa yararı açısından faydalı olacağı düşünüldüğü için bu ürünün günlük diyetlerde alınması tavsiye edilmektedir. Ayrıca çikolatalı portakal suyunun meyve suyu sanayiinde üretiminin yapılması hem tüketici hem de üretici açısından yarar sağlayacaktır.

Teşekkür

Acknowledgement

Bu çalışmada emeği geçen değerli arkadaşlarımız **Aliye ERDEM**'i saygı ve rahmetle anıyoruz. Ayrıca bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde laboratuvar olanaklarından faydalandığımız Kilis 7 Aralık Üniversitesi'ne teşekkür ederiz. Ayrıca makalenin inceleme ve değerlendirme aşamasında yapmış oldukları katkılardan dolayı editör ve hakem/hakemlere teşekkür ederiz.

Yazar katkısı

Author contribution

Birinci yazar makalenin konusunun seçiminde, konunun şekillenmesinde, yapılacak analizlerin neler olması gerektiğine karar vererek makaleyi kurgulamış, hesaplamalar ve istatistiksel analizleri yürütmüştür. Diğer yazarlar ise laboratuvarında yapılan analizler ile makale yazımına eşit oranda katkı sağlamışlardır.

Etik beyanı*Declaration of ethical code*

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

Çıkar çatışması beyanı*Conflicts of interest*

Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Kaynaklar*References*

- Ağçam, E. (2011). *Vurgulu elektrik alan ve ısıtma işlem uygulamalarının portakal suyunun özellikleri ve raf ömrü üzerine etkisi* [Yüksek Lisans Tezi, Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü].
- Anonim, (1990). *Çikolata TS 7800*. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Anonim, (2010). Her derde deva, sağlıklı lezzet: Çikolata. (2018, 26 Kasım) <http://www.nestle.com.tr/Beslenme.aspx?id=1>
- Akgün, C. (2006). Turunçgil Sektör Profili. Dış Ticaret Şubesi Uygulama Servisi. Ankara.
- Altuğ, T. (1993). *Duyusal Test Teknikleri*. Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Ders Kitapları Yayın No: 28.
- Bek, Y., & Efe, E. (1988). *Araştırma ve Deneme Metotları-I*. Ç.Ü. Ziraat Fakültesi Ders Kitabı. No: 71, Ç.Ü. Ziraat Fakültesi Ofset ve Teksir Atölyesi.
- Burdurlu, H.S., Koca, N., & Karadeniz, F. (2006). Degradation of vitamin c in citrus juice concentrates during storage. *Journal of Food Engineering*, 74, 211-216. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.03.026>.
- Cemeroğlu, B. (2004) *Meyve ve Sebze İşleme Teknolojisi 1.Cilt*. Kültür ve Turizm Bakanlığı Yayınları.
- Cemeroğlu, B. (1992). *Meyve ve sebze işleme endüstrisinde temel analiz metodları*. Biltav Yayıncılık.
- Cemeroğlu, B. (2007). *Gıda Analizleri*. Gıda Teknolojisi Derneği Yayınları, No:34.
- Chun, O.K., Kim, D., Smith, N., Schroeder, D., Han, J.T., & Lee, C.Y. (2005). Daily consumption of phenolics and total antioxidant capacity from fruit and vegetables in the American diet. *Journal of Agricultural Food Chemistry*, 85, 1715–1724. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2176>.
- Coe, S.D., & Coe, M. (1996). *The true history of chocolate*. Thames&Hudson.
- Dhuique-Mayer, C., Caris-Veyrat, C., Tbatou, M., Amiot, M.J., Carail, M., & Dornier, M. (2007). Thermal degradation of antioxidant micronutrients in citrus juice: kinetics and newly formed compounds. *Journal of Agricultural Food Chemistry*, 55, 4209–4216. <https://doi.org/10.1021/jf0700529>.
- Esteve, M.J., Frigola, A., Rodrigo, C. & Rodrigo, D. (2005). Effect of storage period under variable conditions on the chemical and physical composition and colour of spanish refrigerated orange juices. *Food and Chemical Toxicology*, 43, 1413-142. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2005.03.016>.
- Farnworth, E.R., Lagaceaa, M., Couture, R., Yaylayan V., & Stewart, B. (2001). Thermal processing, storage conditions, and the composition and physical properties of orange juice. *Food Research International*, 34, 25-30. [https://doi.org/10.1016/S0963-9969\(00\)00124-1](https://doi.org/10.1016/S0963-9969(00)00124-1).
- Gama, J. J. T., & Sylos, C. M. (2007). Effect of thermal pasteurization and concentration on carotenoid composition of brazilian valencia orange juice. *Food Chemistry*, 100, 1686–1690. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.01.062>.
- Hasdemir, M. (2007). *Turunçgiller*. Tarımsal Ekonomi Araştırma Enstitüsü. T.E.A.E.-Bakış, Sayı: 9, Nüsha.
- Işık, Ö. (2008). *Pastörizasyon sıcaklığının kozan yerlisi ve hamlin portakallarından üretilen meyve sularının kalitesi üzerine etkisi* [Yüksek lisans Tezi, Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü].
- Kargın, D. ve Güneş, F.E. (2017). Çikolatanın kardiyovasküler sistem üzerine etkileri. *Gümüşhane Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi*, 6(4):234-246.
- Kimball, D. A. (1991). *Citrus processing quality control and technology*. An AVI Book, Published by Von Nostrand Reinhold Newyork.
- Klimczak, I., Malecka, M., Szlachta, M., & Gliszczynska-Świgło, A. (2007). Effect of storage on the content of polyphenols, vitamin c and the antioxidant activity of orange juices. *Journal of Food Composition and Analysis*, 20,

- 313–322.
<https://doi.org/10.1016/j.jfca.2006.02.012>.
- Lee, H. S., & Castle, W. S. (2001). Seasonal changes of carotenoid pigments and color in hamlin, earlygold, and budd blood orange juices. *Journal of Agricultural Food Chemistry*, 49, 877-88. <https://doi.org/10.1021/jf000654r>.
- Lee, H. S., & Kim, J. G. (2003). Effects of debittering on red grapefruit juice concentrate. *Food Chemistry*, 82, 177–180. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(02\)00280-7](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(02)00280-7).
- Li-Ying, N., Ji-Hong, W., Xiao-Jun, L., Fang, C., Zheng-Fu, W., Guanghua, Z., & Xiasong, H. (2008). Physicochemical characteristics of orange juice samples from seven cultivars. *Agricultural Sciences in China*, 7(1), 41-47. [https://doi.org/10.1016/S1671-2927\(08\)60020-6](https://doi.org/10.1016/S1671-2927(08)60020-6).
- Mahieddine, B., Faouzi, S. M., Hedjer, S., Moussa, H., Aissa, B., & Mahmoud, S. (2011). Heat treatment effect on the technological quality of processed tomato paste. *Canadian Journal on Chemical Engineering and Technology*, 2(3), 27-40.
- Meydav, S., Saguy, I., & Kopelman, J. I. (1977). Browning determination in citrus products. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 25(3), 602–604. <https://doi.org/10.1021/jf60211a030>.
- Mertoğlu, T. Ş. (2015). *Portakal suyunun bileşimi ve hmf oluşum kinetiği üzerine ısıl işlem ve depolamanın etkileri* [Yüksek Lisans Tezi Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü].
- Parish, M. E. (1998). Orange juice quality after treatment by thermal pasteurization or isostatic high pressure. *Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie*, 31, 439-442. [https://doi.org/10.1016/s0023-6438\(02\)00087-7](https://doi.org/10.1016/s0023-6438(02)00087-7).
- Polydera, A. C., Stoforos, N. G., & Taoukis, P. S. (2004). The effect of storage on the antioxidant activity of reconstituted orange juice which had been pasteurized by high pressure or heat. *International Journal of Food Science and Technology*, 39, 783–791. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2004.00844.x>.
- Polydera, A. C., Stoforos, N. G., & Taoukis, P. S. (2005). Quality degradation kinetics of pasteurised and high pressure processed fresh navel orange juice. Nutritional Parameters and Shelf Life. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 6, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2004.10.004>.
- Sánchez-Moreno, C., Plaza, L., De Ancos, B., & Cano, M. P. (2003). Quantitative bioactive compounds assessment and their relative contribution to the antioxidant capacity of commercial orange juices. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 83, 430–439. <https://doi.org/10.1002/jsfa.1392>.
- Sakac, M., Torbica, A., Sedej, I., & Hadnadev, M. (2011). Influence of breadmaking on antioxidant capacity of gluten free breads based on rice and buckwheat flours. *Food Research International*, 44, 2806-2813. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.06.026>.
- Scalzo, R. L., Iannocari, T., Summa, C., Morelli, R., & Rapisarda, P. (2004). Effect of thermal treatments on antioxidant and antiradical activity of blood orange juice. *Food Chemistry*, 85, 41–47. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2003.05.005>.
- Selli, S., Cabaroğlu, T., & Canbaş, A. (2004). Volatile flavour components of orange juice obtained from the cv. Kozan of Turkey. *Journal of Food Composition and Analysis*, 17, 789-796. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2003.10.005>.
- Thamke, I., Dürschmid K., & Rohm, H. (2009). Sensory description of dark chocolates by consumers. *LWT - Food Science and Technology*, 42, 534–539. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2008.07.006>.
- Uçan Türkmen, F., & Mercimek Takci, H.A. (2018). Ultraviolet-c and ultraviolet-b lights effect on black carrot (*Daucus carota* ssp. *sativus*) juice. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 12(2), 1038-1046. <https://doi.org/10.1007/s11694-018-9719-2>.
- Xu, G., Ye, X., Chen, J., & Liu, D. (2007). Effect of heat treatment on the phenolic compounds and antioxidant capacity of citrus peel extract. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55, 330-335. <https://doi.org/10.1021/jf062517l>.
- Watts, B. M., Ylimaki, G. L., Jeffery, L. E., & Elias, L. G. (1989). *Basic sensory methods for food evaluation*. The International Development Research Centre.

Harmonic response analysis of an impeller of a gas turbine engine which modelled by using high entropy alloy materials

Yüksek entropi alaşımlı malzemeler ile modellenen bir gaz türbini çarkının harmonik tepki analizi

Serkan GÜLER*^{1,a}

¹ Iskenderun Technical University, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Department of Mechanical Engineering, 31200, Hatay, Turkey

• Geliş tarihi / Received: 02.03.2021

• Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 22.10.2021

• Kabul tarihi / Accepted: 27.10.2021

Abstract

One of the problems in a gas turbine's impeller design is to predict the frequency-stress response caused by the harmonic force resulted from the unbalanced mass. To avoid from impeller's flaws that may occur, designers must essentially determine the stress conditions of machinery parts under high-speed rotations. The present research explores, for the first time, the effects of modelling with high entropy alloy materials for an impeller of a gas turbine engine on harmonic responses. In order to conduct harmonic analysis, a finite element model established for an impeller of gas turbine engine by using commercial Ansys finite element package. In the finite element model, the impeller and its shaft modelled by using solid elements and beam elements, respectively. The influence of materials having different high entropy alloys on stress responses is examined for an impeller of a gas turbine engine. The results show that the highest stress exists in AlCoCrFeNi high entropy alloy material for along the sweep frequency range. In addition, the highest stress-percentage ratio is in CoCrFeNi high entropy alloy material for first resonance frequencies. Also, computations illustrate the minimum stress-percentage ratio is in AlCoCrFeMo0.1Ni high entropy alloy material for first resonance frequencies. Another finding is that the maximum percentage ratio is in CoCrFeNi high entropy alloy material for second resonance frequencies. Furthermore, the lowest percentage ratio is detected in AlCoCrFeMo0.1Ni high entropy alloy material for second resonance frequencies.

Keywords: Finite element method, Harmonic analysis, High entropy alloys, Vibration

Öz

Bir gaz türbininin çark tasarımındaki sorunlardan biride dengesiz kütlede meydana gelen harmonik kuvvetin sebep olduğu frekans-gerilme cevabını tahmin etmektir. Oluşabilecek çark kusurlarından kaçınmak için tasarımcılar temel olarak makine parçalarının yüksek hız altındaki gerilme şartlarını belirlemelidirler. Bu araştırma, bir gaz türbini motorunun çarkı için yüksek entropi alaşımlı malzemelerle modellemenin harmonik tepkiler üzerindeki etkilerini ilk kez incelemektedir. Harmonik analizleri gerçekleştirmek için ticari Ansys sonlu eleman paketi kullanılarak bir gaz türbini motorunun bir çarkı için bir sonlu eleman modeli oluşturulmuştur. Sonlu eleman modelinde çark ve shaft sırasıyla katı ve giriş sonlu elemanları kullanılarak modellenmiştir. Bir gaz türbini motorunun çarkı için farklı yüksek entropi alaşımlarına sahip malzemelerin stres tepkileri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Sonuçlar en yüksek gerilimin, tarama frekansı aralığı boyunca AlCoCrFeNi yüksek entropi alaşımlı malzemede mevcut olduğunu göstermektedir. Ek olarak birinci rezonans frekansları için en yüksek gerilim-yüzde oranı CoCrFeNi yüksek entropi alaşımlı malzemededir. Ayrıca hesaplamalar birinci rezonans frekansları için minimum gerilim-yüzde oranının AlCoCrFeMo0.1Ni yüksek entropili alaşım malzemedede olduğunu göstermektedir. Diğer bir bulgu ise ikinci rezonans frekansları için maksimum yüzde oranının CoCrFeNi yüksek entropili alaşımlı malzemedede olmasıdır. Ayrıca ikinci rezonans frekansları için en düşük yüzde oranı AlCoCrFeMo0.1Ni yüksek entropi alaşımlı malzemedede tespit edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Sonlu eleman yöntemi, Harmonik analiz, Yüksek entropili alaşımlar, Titreşim

*a Serkan GÜLER; serkan.guler@iste.edu.tr, Tel: (0326) 613 56 00, orcid.org /0000-0002-1552-3432

1. Introduction

1. Giriş

Humans always have been created new materials throughout the ages by mixing alloying elements. There is a growing body of literature that recognizes the importance of high entropy alloys (Miracle & Senkov, 2017; George et al., 2019). High entropy alloy materials provide high fracture toughness, outstanding strength, and thermal capabilities (George et al., 2019). One of the applications of high entropy alloy material is an impeller of a gas turbine (Fujieda et al., 2018). The impeller is a chief component in a gas turbine system and acts a key role in increasing the pressure and flow of fluid (Vance et al., 2010). An impeller can be exposed to dynamic loads resulting in catastrophic damages. During the design phase, preliminary estimating the frequency responses of any engineering structure is crucial to prevent undesirable damages such as crack and fatigue etc. The finite element method is an accurate method for the estimation of dynamic responses for quite different kinds of engineering structures (Rao, 2010). Within this in mind, the present study is concerned with the influences of designing with high entropy alloy materials for an impeller of a gas turbine engine on harmonic responses. Therefore, the literature review is summarized in two sections. The first part is regarding high entropy alloy materials and the second is devoted to impeller dynamics.

There are numerous studies that have documented high entropy alloys materials. Most of them are related to microstructures, mechanical properties, potential applications, and future applications (Miracle & Senkov, 2017; George et al., 2019; Koželj et al., 2014; Youssef et al., 2014; Ye et al., 2016). Also, several studies are reported on the design of high entropy alloys materials (Erdoğan & Zeytin, 2019; Conway, 2018; Gondhalekar, 2019; Gludovatz et al., 2014). Besides these, George et al. (2020) published a comprehensive review article on mechanical properties and deformation mechanism of high entropy alloy materials. Another article, Geanta et al. (2018) investigated the dynamic impact performance of AlCrFeCoNi, Al_{0.8}CrFeCoNi, AlCrFeCoNi_{1.4}, AlCrFeCoNi_{1.8} high entropy alloy materials by experimentally and numerically. Also, Gludovatz et al., (2014) examined the low-temperature fracture behavior of CrMnFeCoNi high entropy alloy material. Furthermore, an inclusive material properties database of high entropy alloy materials can be found in (Gorsse et al., 2018).

A considerable amount of literature has been published on dynamics of rotating machines, gas turbines and rotordynamics (Vance et al., 2010; Bishop, 1959; Gunter, 1966; Vance & Laudadio, 1984; Vance & French, 1986; Ertas, 2005; Schomerus, 2007; Rao, 2011; Kumar, 2011; Gülen, 2019). Finite element analysis is used extensively to simulate rotating machinery (Rao, 2010; Kumar, 2011). Fernandes et al., (2016) presented a finite element model for performing a 3-D static fracture analysis of a gas turbine compressor blade in ANSYS software. Viridi et al., (2017) designed and analyzed an impeller in Catia and ANSYS, respectively. Oghenejoro et al., (2018) carried out modal analysis of a gas turbine blade which modelled with both IN738 and U500 nickel-based alloy materials in ANSYS package. Mudau and Field (2018) conducted rotordynamics analysis of a turbine-generator shaft-line in ANSYS finite element environment.

This study considers the influences of modelling with high entropy alloy materials for an impeller of a gas turbine engine on harmonic responses. To perform harmonic analysis, a finite element model of the impeller has been created by using solid and beam elements in Ansys finite element package. The effects of modelling with different high entropy alloy materials on stress responses are studied.

2. The finite element modelling of an impeller

2. Bir çarkın sonlu eleman modeli

In this present study, harmonic analyses of an impeller modelled with different high entropy materials carried out to determine frequency responses. The finite element method is the most extensively used technique for solving engineering problems. Therefore, to accomplish frequency responses, a finite element model of the considered impeller was established. In this article, the ANSYS Workbench finite element platform was used to create a finite element model of an impeller with its shaft. The impeller was meshed with solid finite elements and the shaft is with beam finite elements. The shaft was constrained from both ends with bearing elements. The impeller and shaft rotate together as a single part. The front-view, section-view and the dimensions for the impeller are shown in Figure 1. The base and hub diameters of the impeller are 152.4 mm and 17.46 mm; the exit-width and height of the impeller are 7.62 mm and 81.28 mm, respectively. The shaft length is 381.28 mm. Figure 2 displays the 3D view of the impeller.

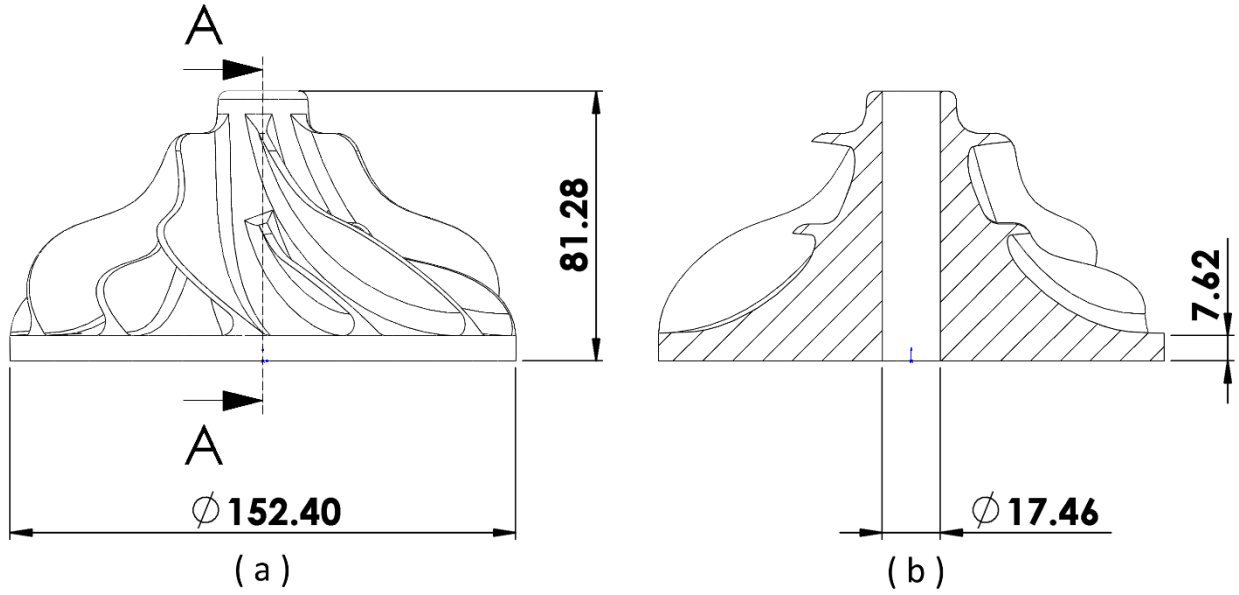


Figure 1. (a) front view and (b) A-A section view of the impeller in 2D with its essential dimensions.
Şekil 1. (a) ön görünüş ve (b) Çarkın ana boyutlarıyla birlikte 2 boyutlu A-A kesit görünüşü.

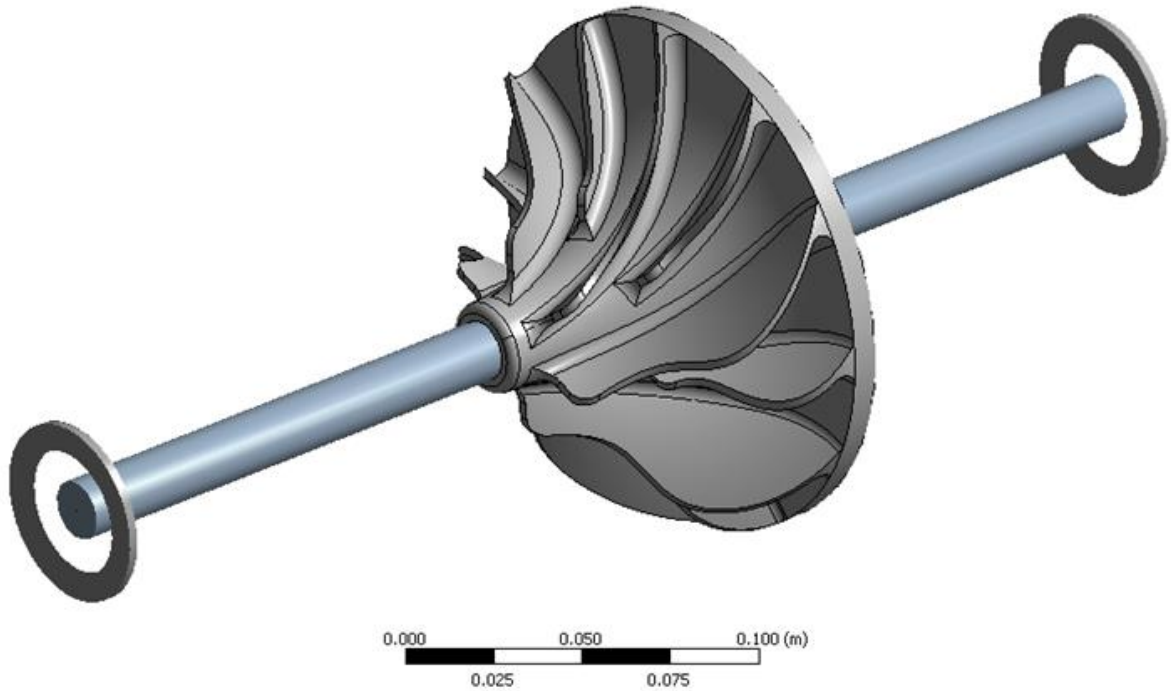


Figure 2. 3-dimensional view of the impeller.
Şekil 2. Çarkın 3-boyutlu görünüşü.

The impeller was meshed (see Figure 3) with SOLID187 which is well suited to model irregular meshes and the number of mesh is 6624.

Additionally, the shaft was meshed with 38 number of the BEAM188 elements which are based on Timoshenko beam theory.

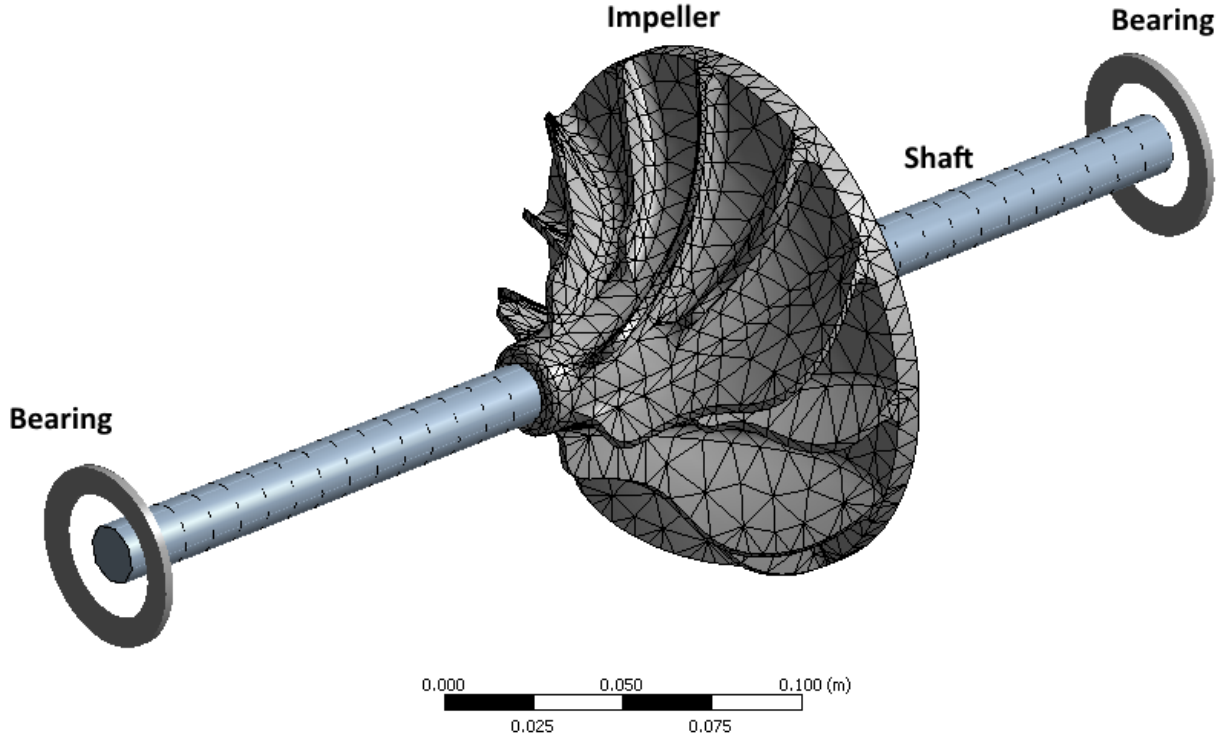


Figure 3. Finite element model of the impeller and its shaft.
Şekil 3. Çark ve milinin sonlu eleman modeli.

Bearings locations were defined both ends of the shaft and then stiffness and damping coefficients of bearings were specified by using COMBI214 element. The schematic representation of this element can be seen in Figure 4. The specified bearing properties are given in Table 1.

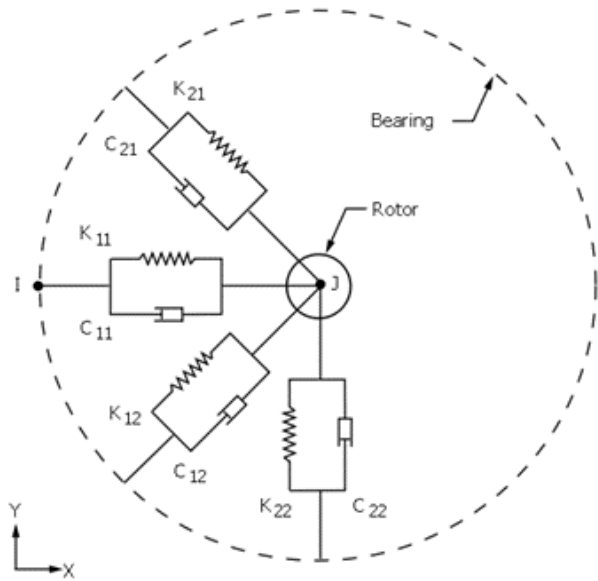


Figure 4. Schematic representation of COMBI214 element (ANSYS Release 12.1, 2010).
Şekil 4. COMBI214 elementinin şematik gösterimi (ANSYS Release 12.1, 2010).

Table 1. Properties of bearings
Tablo 1. Rulmanların özellikleri

Bearing Properties	Value
K_{11}	100000
K_{22}	100000
K_{12}	1000000
K_{21}	1000000
C_{11}	800
C_{22}	800
C_{12}	0
C_{21}	0

Where, K_{ij} ($i=1,2$ $j=1,2$ [Nm^{-1}]) and C_{ij} ($i=1,2$ $j=1,2$ [Nsm^{-1}]) denote stiffness coefficients and damping coefficients, respectively.

3. Harmonic analysis

3. Harmonik analiz

Harmonic analysis is an effective method to determine the steady-state response of engineering structures to loads that vary harmonically with time. Considerable theoretical knowledge of harmonic finite element analysis can be found in (Thompson et al., 2017; ANSYS Release 12.1, 2010). Therefore, the method is widely used to ascertain whether or not engineering designs will overwhelm resonance, fatigue, and other

detrimental effects of forced vibrations. In this study, it is assumed that the harmonic force is encountered due to unbalanced mass on the impeller. The rotational velocity (ω) and unbalanced mass are represented in the model that is shown in Figure 5. The responses of the system

under rotating unbalance are simulated by defining with different high entropy alloy materials. Ten different high entropy alloy materials selected from (Gorsse et al., 2018). The material properties of high entropy materials which specified in the finite element models are presented in Table 2.

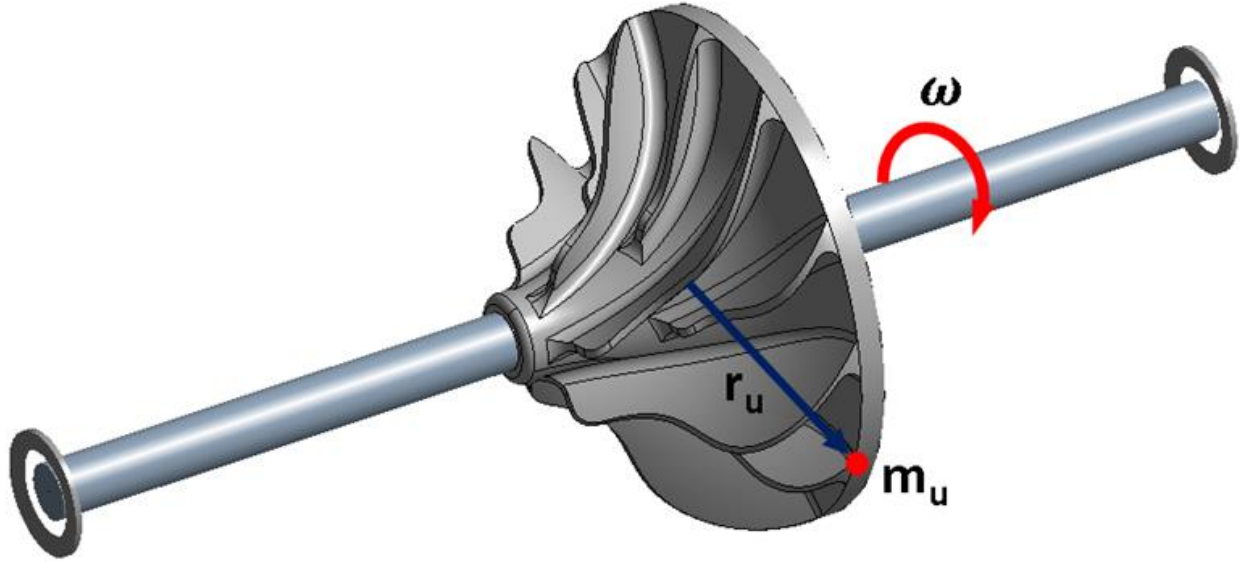


Figure 5. Unbalanced mass definition for harmonic analysis.
Şekil 5. Harmonik analiz için dengesiz kütle tanımı.

Table 2. Properties of high entropy alloy materials (Gorsse et al., 2018)

Tablo 2. Yüksek entropi alaşımlı malzemelerin özellikleri (Gorsse et al., 2018)

High Entropy Alloy Material	ρ [gr/cm ³]	σ_y [MPa]	E [GPa]
CoFeNi	8.5	211	207
CoCrFeNi	8.2	148	225
AlCoCrFeNi	6.7	1251	194
AlC0.1CoCrFeNi	6.7	957	213
AlC0.2CoCrFeNi	6.8	906	151
AlC0.3CoCrFeNi	6.8	867	137
AlC0.4CoCrFeNi	6.8	1056	156
AlC0.5CoCrFeNi	6.8	1060	181
AlCoCrFeMo0.1Ni	6.8	1804	196
AlCrFeNiMo0.5	6.8	1749	205

Here, ρ , σ_y and E denote density, yield strength and modulus of elasticity, respectively.

The rotating unbalanced force has been calculated by using Equation 1.

$$F_r = m_u r_u \omega^2 \quad (1)$$

Here, m_u [kg], r_u [m], ω [rad/s] and F_r [kg · m] represents unbalanced mass, location of unbalanced mass, shaft rotating speed and rotating unbalanced force, respectively. In this study, m_u and r_u are taken as 0.5 kg and 0.762 m, respectively. The harmonic response analyses were performed in the frequency sweep of 0 to 1500 Hz by 5 Hz interval for ten finite element models established with ten different high entropy alloy materials.

4. Results and discussions

4. Bulgular ve tartışma

The harmonic response results are presented by using the constructed finite element model for an impeller. In order to calculate the results, the Harmonic Response Module of ANSYS Workbench finite element software was used. This module only can perform linear harmonic response analysis. In general, materials of engineering structures may undergo plastic deformation and yield before becoming fracture under the dynamic loadings. Therefore, in the design stage, predicting the elastic limits and preventing yielding are crucial issues. Von-Mises stress calculations have widely used to ascertain the yield point. However, the Harmonic Response Module does not provide Von-Mises stress versus frequency. Therefore,

Von-Mises stresses versus the specified frequency sweep can be calculated using the normal and shear stresses computed in the harmonic analyses. These stresses are average values over the impeller. Thus,

Von-Mises stresses have been calculated by using Equation 2 (Christensen, 2013) for each of the conducted harmonic analyses.

$$\sigma_{vm} = \sqrt{\frac{1}{2} [(\sigma_{xx} - \sigma_{yy})^2 + (\sigma_{yy} - \sigma_{zz})^2 + (\sigma_{zz} - \sigma_{xx})^2] + 3(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2)} \quad (2)$$

The frequency response results are plotted Von-Mises stresses versus frequency in the following figures (Figures 6-15). The stress and frequency units are megapascal and rpm in the figures, respectively. Yield strength limits of each high entropy alloys materials have been denoted by the

red dashed line. The safety zone has been represented by green color for the impeller in Figures 6-15. Also, the Von-Mises stress values corresponding to the resonance frequencies have been given in square brackets.

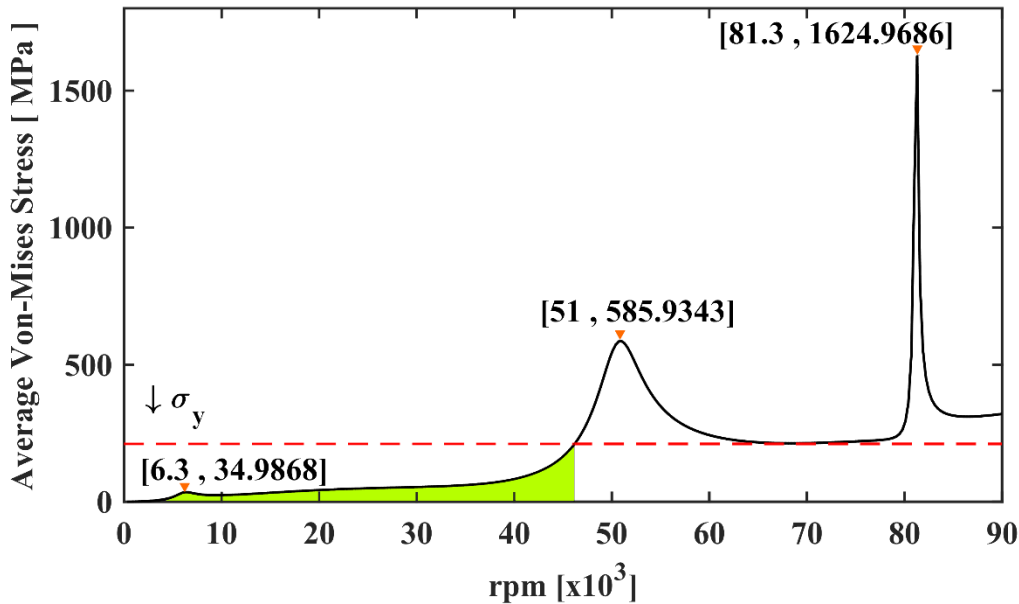


Figure 6. Shaft speed versus average Von-Mises Stress for CoFeNi.
Şekil 6. CoFeNi için shaft hızına karşılık gelen ortalama Von-Mises Gerilmesi.

As it can be seen from Figure 6, the first resonance frequency and the stress corresponding to it are 6300 rpm and 34.9868 MPa for CoFeNi high entropy alloy material, respectively. Another finding is that the material is reliable up to the

frequency 46180 rpm that is why the impeller does not undergo plastic deformation. In other words, when the speed of the shaft is equal to or higher than 46200 rpm the stresses are higher than the yield strength.

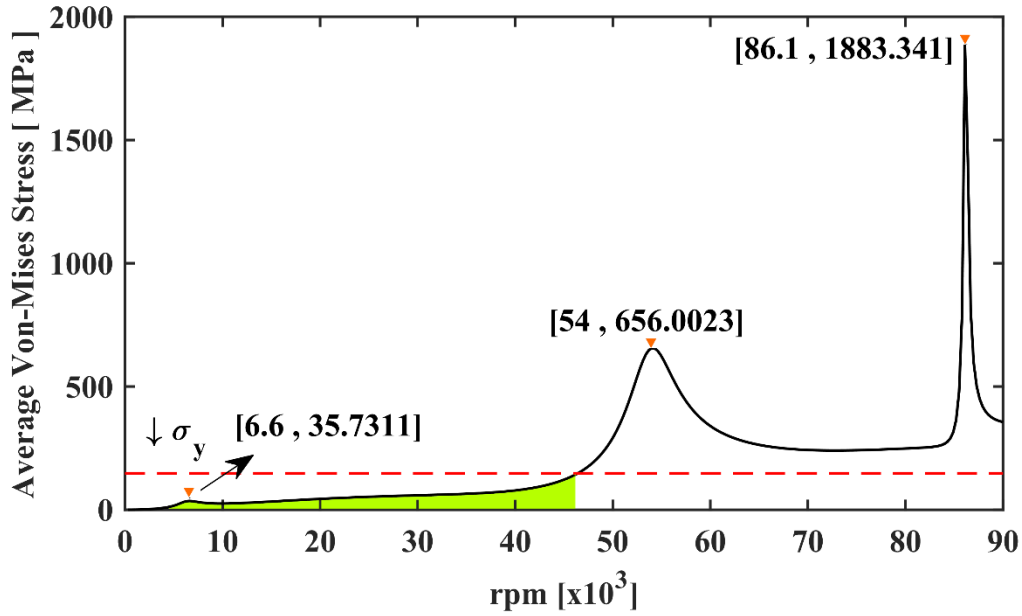


Figure 7. Shaft speed vs average Von-Mises Stress for CoCrFeNi.

Şekil 7. CoCrFeNi için şaft hızına karşılık gelen ortalama Von-Mises Gerilmesi.

According to the results from Figure 7, the first resonance frequency and the stress matching it are 6600 rpm and 35.7311 MPa for CoCrFeNi high entropy alloy material, respectively. As it can be inferred from the Figure 7, the impeller does not

subject to plastic deformation up to the frequency 46420 rpm. In the figure, it can be seen that when the rotational speed is greater than 46420 rpm the stresses go up over the yield strength of CoCrFeNi high entropy alloy material.

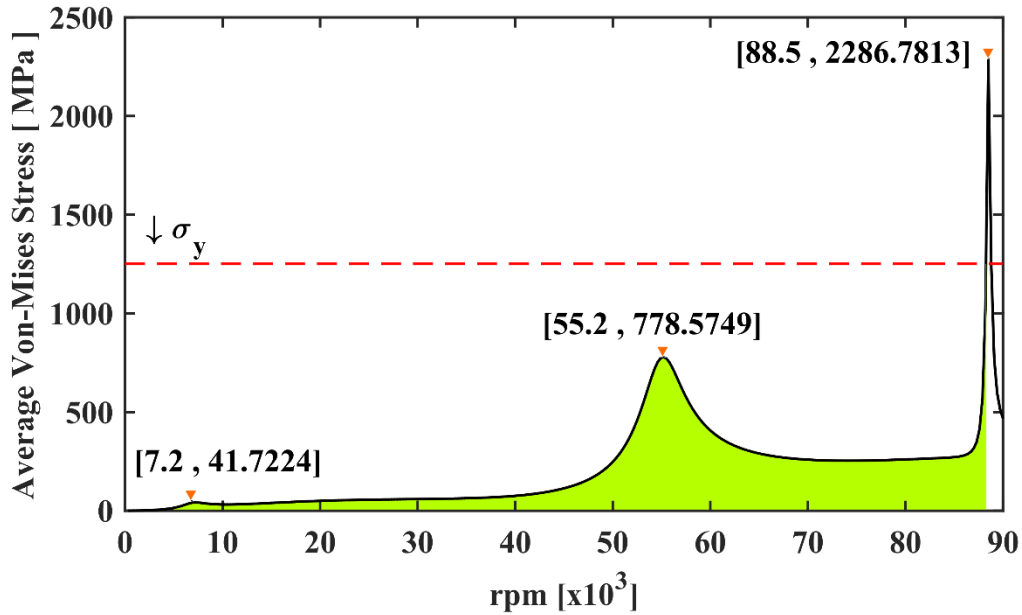


Figure 8. Shaft speed vs average Von-Mises Stress for AlCoCrFeNi.

Şekil 8. AlCoCrFeNi için şaft hızına karşılık gelen ortalama Von-Mises Gerilmesi.

As shown in Figure 8, the first resonance frequency and the stress corresponding to it are 7200 rpm and 41.7224 MPa for AlCoCrFeNi high entropy alloy material, respectively. From the figure above we can see that, the impeller does not undergo plastic

deformation up to the frequency 88250 rpm. On the other hand, when the rotational speed is higher than 88250 rpm the stresses rise over the yield strength of AlCoCrFeNi high entropy alloy material.

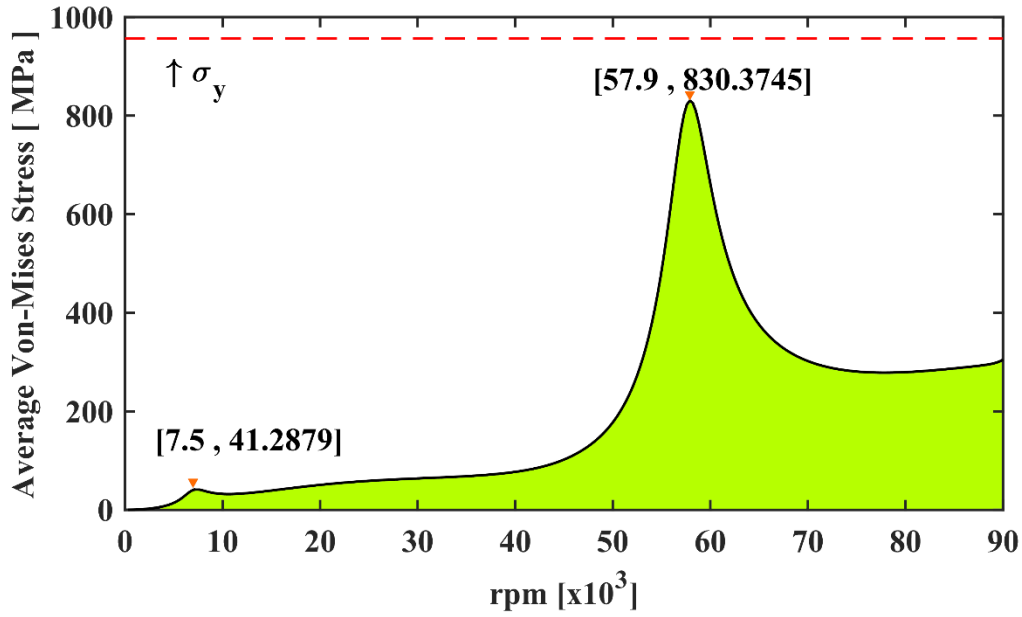


Figure 9. Shaft speed vs average Von-Mises Stress for AlCo_{0.1}CoCrFeNi
Şekil 9. AlCo_{0.1}CoCrFeNi için şaft hızına karşılık gelen ortalama Von-Mises Gerilmesi

As it can be seen from Figure 9, the first resonance frequency and the stress corresponding to it are 7500 rpm and 41.2879 MPa for AlCo_{0.1}CoCrFeNi high entropy alloy material, respectively. As shown in Figure 9, the impeller does not subject to plastic deformation up to the frequency 90000 rpm

because all stress results are under the yield strength of AlCo_{0.1}CoCrFeNi high entropy alloy material. Another finding is that the impeller is reliable in the frequency sweep of 0 to 1500 Hz (90000 rpm).

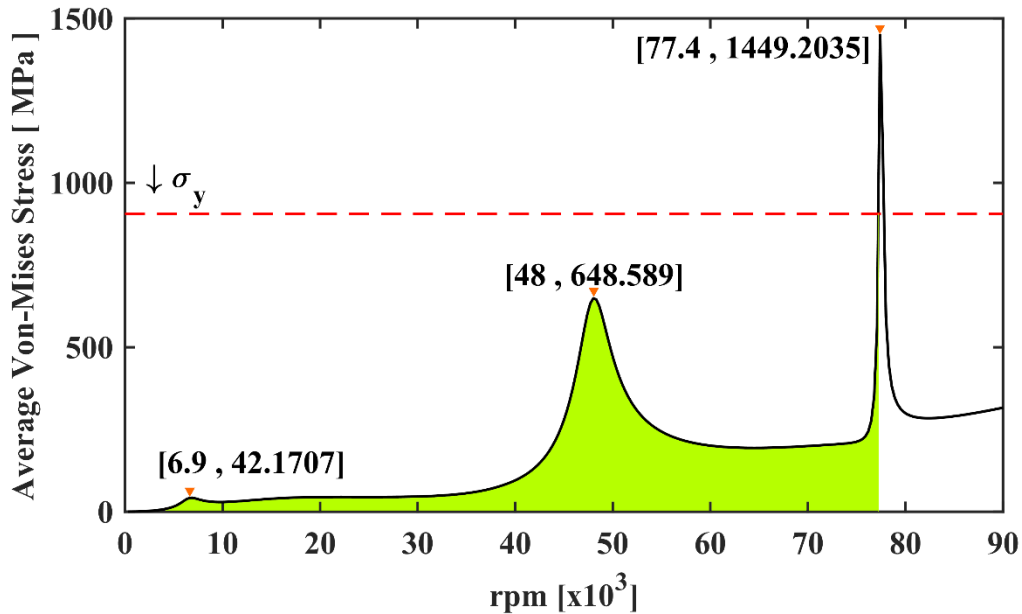


Figure 10. Shaft speed vs average Von-Mises Stress for AlCo_{0.2}CoCrFeNi
Şekil 10. AlCo_{0.2}CoCrFeNi için şaft hızına karşılık gelen ortalama Von-Mises Gerilmesi

The Figure 10 illustrates that the first resonance frequency and the stress corresponding to it are 6900 rpm and 42.1707 MPa for AlCo_{0.2}CoCrFeNi high entropy alloy material, respectively. As shown in Figure 10, the impeller does not subject to plastic

deformation up to the frequency 77210 rpm. Also, it can be concluded that when the rotational speed is higher than 77210 rpm the stresses arise over the yield strength of AlCo_{0.2}CoCrFeNi high entropy alloy material.

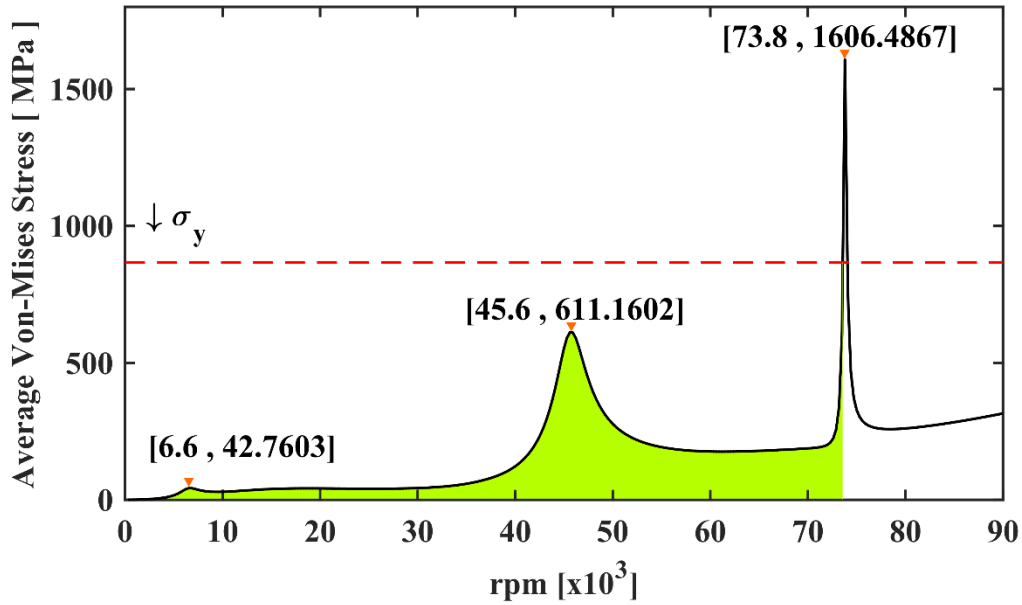


Figure 11. Shaft speed vs average Von-Mises Stress for AlCo0.3CoCrFeNi

Şekil 11. AlCo0.3CoCrFeNi için şaft hızına karşılık gelen ortalama Von-Mises Gerilmesi

The frequency response graph in Figure 11 shows that the first resonance frequency and the stress corresponding to it are 6600 rpm and 42.7603 MPa for AlCo0.3CoCrFeNi high entropy alloy material, respectively. From the figure above we can see that

the impeller does not undergo plastic deformation up to the frequency of 73580 rpm. Also, it can be seen that when the rotational speed is higher than 73580 rpm the stresses rise over the yield strength of AlCo0.3CoCrFeNi high entropy alloy material.

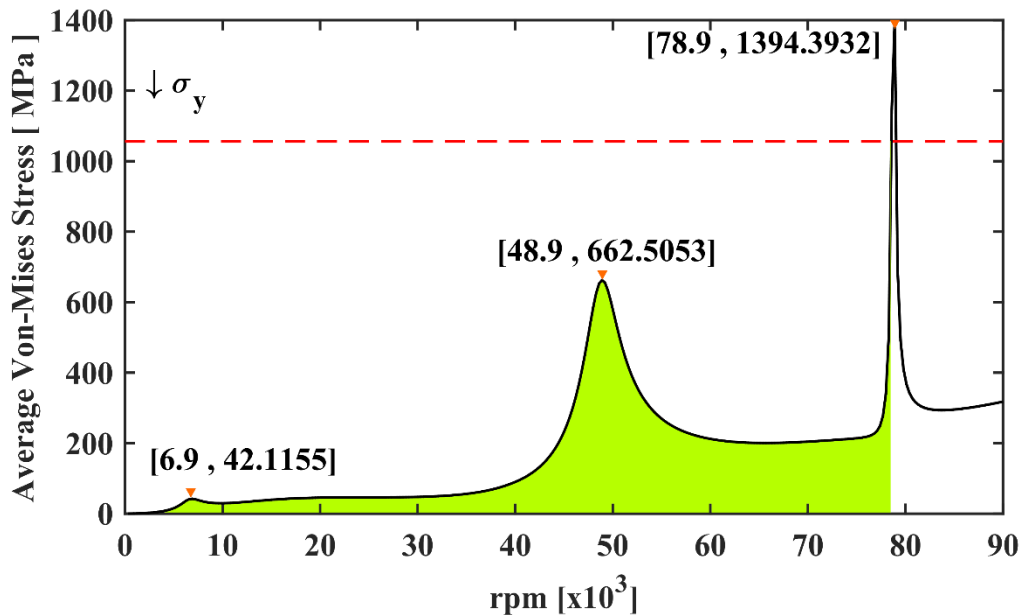


Figure 12. Shaft speed vs average Von-Mises Stress for AlCo0.4CoCrFeNi

Şekil 12. AlCo0.4CoCrFeNi için şaft hızına karşılık gelen ortalama Von-Mises Gerilmesi

The frequency response results in Figure 12 depicts that the first resonance frequency and the stress corresponding to it are 6900 rpm and 42.115 MPa for AlCo0.4CoCrFeNi high entropy alloy material, respectively. As seen from the figure, the impeller does not meet with the plastic deformation up to the

frequency 78560 rpm. Besides these, it can be inferred that when the rotational speed is higher than 78560 rpm the stresses arise over the yield strength of AlCo0.4CoCrFeNi high entropy alloy material.

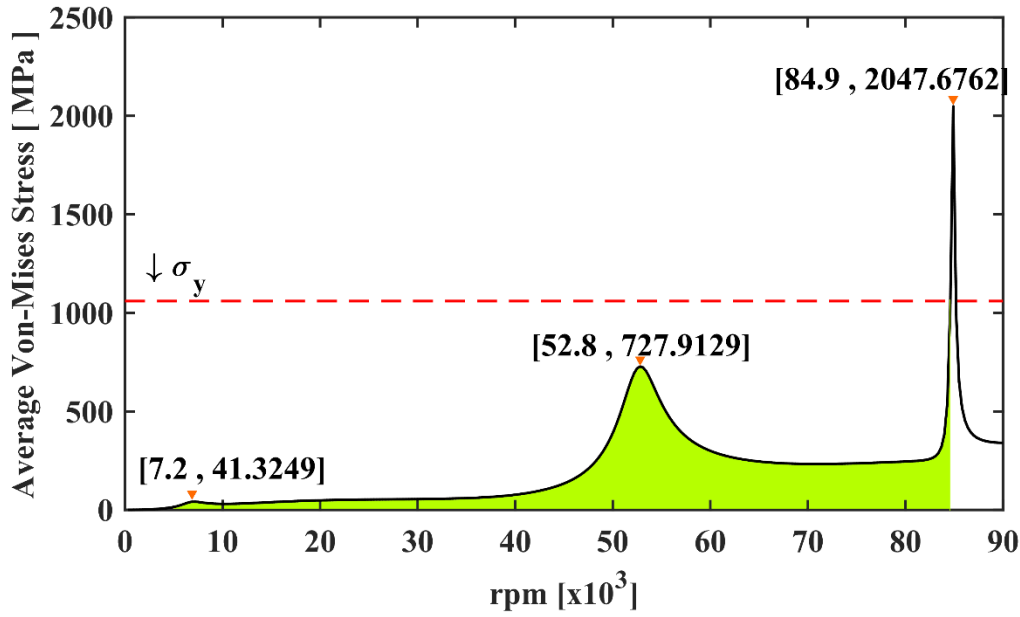


Figure 13. Shaft speed vs average Von-Mises Stress for AlCoCrFeNi
Şekil 13. AlCoCrFeNi için şaft hızına karşılık gelen ortalama Von-Mises Gerilmesi

The results in Figure 13 display that the first resonance frequency and the stress corresponding to it are 7200 rpm and 41.3249 MPa for AlCoCrFeNi high entropy alloy material, respectively. As it can be seen from the figure, the impeller does not encounter the plastic deformation

up to the frequency 84600 rpm. Also, it can be concluded that when the rotational speed is higher than 84600 rpm the stresses go up over the yield strength of AlCoCrFeNi high entropy alloy material.

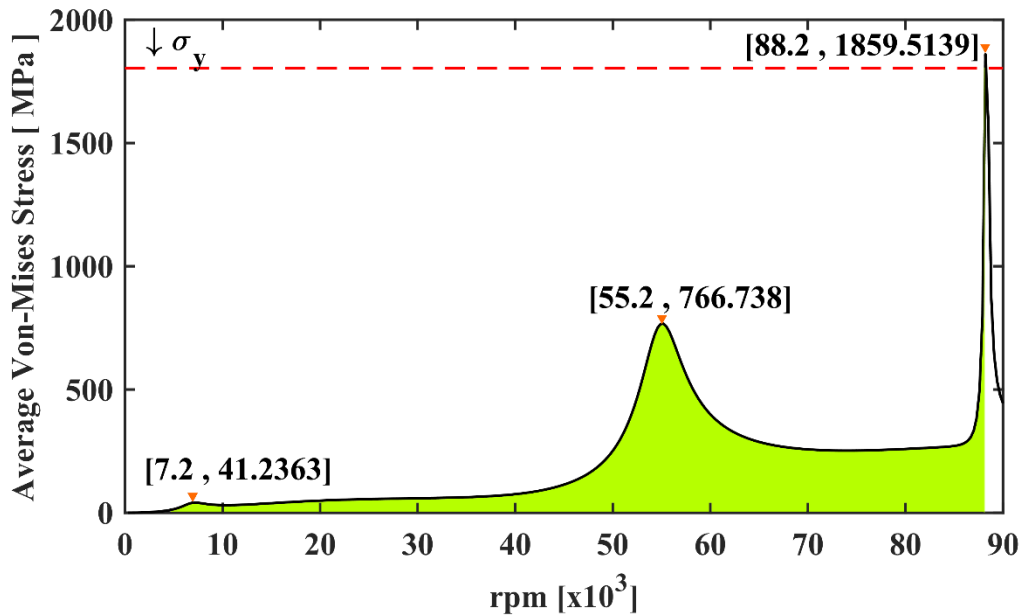


Figure 14. Shaft speed vs average Von-Mises Stress for AlCoCrFeMo0.1Ni
Şekil 14. AlCoCrFeMo0.1Ni için şaft hızına karşılık gelen ortalama Von-Mises Gerilmesi

As shown in Figure 14, the first resonance frequency and the stress corresponding to it are 7200 rpm and 41.2363 MPa for AlCoCrFeMo0.1Ni high entropy alloy material, respectively. From the figure above we can see that, the impeller does not

undergo plastic deformation up to the frequency 88190 rpm. On the other hand, when the rotational speed is higher than 88190 rpm the stresses go up over the yield strength of AlCoCrFeMo0.1Ni high entropy alloy material.

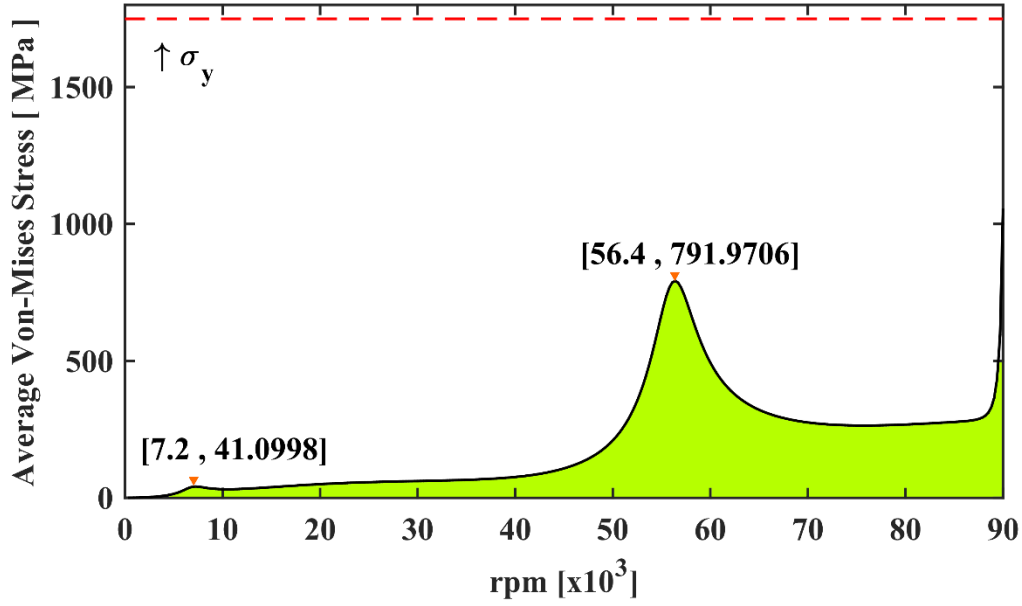


Figure 15. Shaft speed vs average Von-Mises Stress for AlCrFeNiMo0.5

Şekil 15. AlCrFeNiMo0.5 için şaft hızına karşılık gelen ortalama Von-Mises Gerilmesi

As it can be seen from Figure 15, the first resonance frequency and the stress corresponding to it are 7200 rpm and 41.0998 MPa for AlCrFeNiMo0.5 high entropy alloy material, respectively. As shown in Figure 15, the impeller does not subject to plastic deformation up to the frequency 90000 rpm because all stress results are under the yield strength of AlCrFeNiMo0.5 high entropy alloy material. Another finding is that the impeller is reliable in the frequency sweep of 0 to 1500 Hz (90000 rpm).

Considering all the Figures from 6 to 15 (Figure 6-15) where the stress responses are given, it can be seen that stress responses of the second resonant frequency are greater than the stress responses of the first resonant frequency. This is because stress results are to be related to an unbalanced force that

is proportional to the square of the speed of the rotating shaft. The second resonant frequency which creates a greater unbalance force is greater than the first resonant frequency, accordingly, the stress values also increase.

To make clear the frequency response results; the bar charts are plotted for all the different high entropy alloy materials. Here the results are given with the following non-dimensional percentage-stress ratio (see Equation 3), ξ , denoting Von-Misses stress to yielding strength ratio.

$$\xi = 100 \times \frac{\sigma_{vm}}{\sigma_y} \quad (3)$$

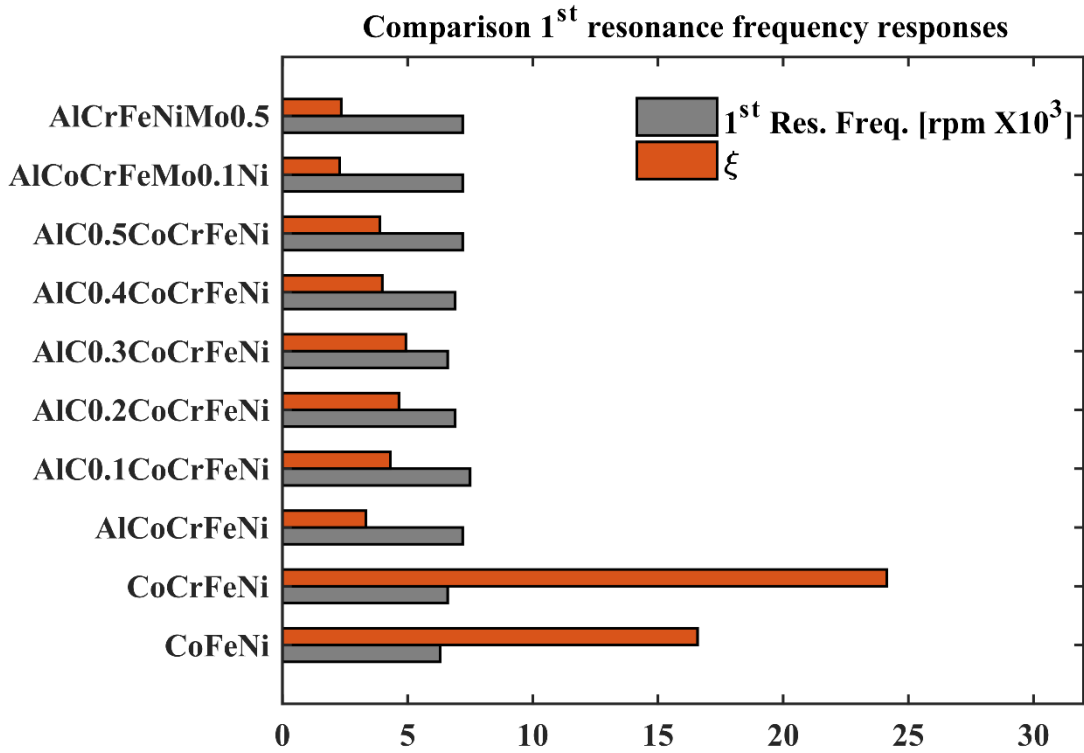


Figure 16. Comparison 1st resonance frequency responses.
Şekil 16. 1. rezonans frekans cevaplarının karşılaştırılması.

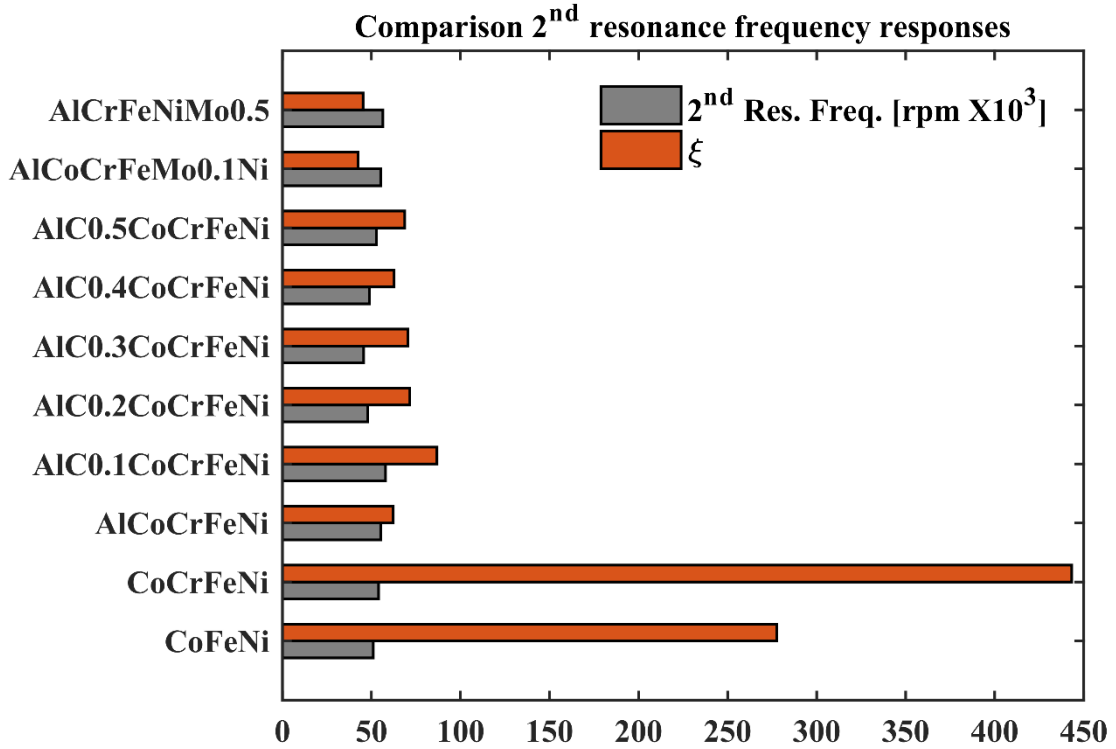


Figure 17. Comparison 2nd resonance frequency responses.
Şekil 17. 2. rezonans frekans cevaplarının karşılaştırılması.

From Figure 16, it can be seen that by far the greatest stress-percentage ratio ($\xi = 24.14$) value in first resonance frequencies is for CoCrFeNi high entropy alloy material. Also, it can be seen that by far the lowest stress-percentage ratio ($\xi=2.29$)

value in first resonance frequencies is for AlCoCrFeMo0.1Ni high entropy alloy material.

The results in Figure 17 displays that by far the greatest stress-percentage ratio ($\xi = 443.20$) value

in second resonance frequencies is for CoCrFeNi high entropy alloy material. On the other hand, it can be seen that by far the lowest stress-percentage ratio ($\xi=42.50$) value in second resonance frequencies is for AlCoCrFeMo0.1Ni high entropy alloy material.

5. Conclusion

5. Sonuç

This study aims to inspect how harmonic responses of an impeller of a gas turbine engine when are modelled with high entropy alloy materials are influenced. Therefore, the finite element model of the impeller is created primarily for harmonic response analysis that gives the steady-state response corresponding to time-harmonic loads. Then Von-Mises stress responses versus to frequencies are calculated by using the normal and shear stresses computed in the harmonic analyses.

The results show that by far the greatest percentage ratio, $\xi = 24.14$, is in CoCrFeNi high entropy alloy material for first resonance frequencies. On the other hand, calculations present that by far the lowest percentage ratio is, ($\xi = 2.29$), in AlCoCrFeMo0.1Ni high entropy alloy material for first resonance frequencies. Another finding is that by far the greatest percentage ratio is, $\xi = 443.20$, in CoCrFeNi high entropy alloy material for second resonance frequencies. Furthermore, the lowest percentage ratio is observed ($\xi = 42.50$) in AlCoCrFeMo0.1Ni high entropy alloy material for second resonance frequencies. Moreover, when compared Von Mises stresses obtained in the analyses, we can see that the greatest Von-Mises stress is, (2286.7813 MPa), for AlCoCrFeNi high entropy alloy material.

Author contribution

Yazar katkısı

Serkan Guler: Conceptualization, Methodology, Resources, Software, Investigation, Validation, Writing - original draft, Writing - review & editing.

Declaration of ethical code

Etik beyanı

The author of this article, declares that the material and the methods used in this study do not require ethical committee approval and/or special legal permission.

Conflicts of interest

Çıkar çatışması beyanı

The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.

Kaynaklar

References

- Bishop, R. E. D. (1959). The vibration of rotating shafts, *Journal Mechanical Engineering Science* 1(1). https://doi.org/10.1243/JMES_JOUR_1959_001_024_02
- Christensen, R. M., (2013). *The theory of materials failure*. Croydon- London, Oxford University Press.
- Conway, P. L. J. (2018). *Structure and stability of new types of lightweight high entropy and compositionally complex alloys* [Ph. D. thesis, The University of New South Wales School of Materials Science and Engineering].
- Efe-Ononeme, O. E., Ikpe, A. E., & Arievie, G. O. (2018). Modal analysis of conventional gas turbine blade materials (Udimet 500 and in 738) for industrial applications. *Journal of Engineering Technology and Applied Sciences*, 3(2), 119-133. <https://doi.org/10.30931/jetas.452857>
- Erdoğan, A., & Zeytin, S. (2019). High entropy alloys: principles and alloy design. *Omer Halisdemir University Journal of Engineering Sciences*, 8(2), 1160-1178. <https://doi.org/10.28948/ngumuh.517876>
- Ertas, B. H. (2005). *Rotordynamic force coefficients of pocket damper seals* [Ph.D. thesis, Texas A&M University].
- Fernandes, R., El-Borgi, S., Ahmed, K., Friswell, M. I., & Jamia, N. (2016). Static fracture and modal analysis simulation of a gas turbine compressor blade and bladed disk system. *Advanced Modeling and Simulation in Engineering Sciences*, 3(30), 1-23. <https://doi.org/10.1186/s40323-016-0083-7>
- Fujieda, T., Kuwabara, K., Hirota, M., Aota K., Kato, T., Chiba, A., Koizumi, Y., & Yamanaka, K. (2018). *High entropy alloy member, method for producing alloy member, and product using alloy member*. European patent EP 3392359A1. <https://data.epo.org/publication-server/rest/v1.0/publication-dates/20181024/patents/EP3392359NWA1/document.pdf> (Visited on December. 18, 2020).

- Geantă, V., Voiculescu, I., Ștefănoiu, R., Chereches, T., Zecheru, T., Matache, L., & Rotariu, A. (2018). Dynamic impact behaviour of high entropy alloys used in the military domain, *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, 374, 012041. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/374/1/012041>
- George, E. P., Curtin, W. A., & Tasan, C. C. (2020). High entropy alloys: A focused review of mechanical properties and deformation mechanisms. *Acta Materialia*, 188, 435–474. <https://doi.org/10.1016/j.actamat.2019.12.015>
- George, E.P., Raabe D., & Ritchie R.O. (2019). High entropy alloys. *Nature Reviews Materials*, 4, 515-534. <https://doi.org/10.1038/s41578-019-0121-4>
- Gludovatz, B., Hohenwarter, A., Catoor, D., Chang, E. H., George, E. P., & Ritchie, R. O. (2014). A fracture-resistant high-entropy alloy for cryogenic applications. *Science*, 345(6201), 1153–1158. <https://doi.org/10.1126/science.1254581>
- Gondhalekar, A. A. (2019). *Design and Development of Light Weight High Entropy Alloys* [Master thesis, Jönköping School of Engineering].
- Gorsse, S., Nguyen, M.H., Senkov, O.N., & Miracle, D.B. (2018). Database on the mechanical properties of high entropy alloys and complex concentrated alloys. *Data in Brief*, 21, 2664–2678. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2018.11.111>
- Gunter, E. J. Jr. (1966). *Dynamic stability of rotor-bearing systems*. NASA SP-113, Washington, D.C.
- Gülen, S. C. (2019). *Gas turbines for electric power generation*. New York, Cambridge University Press.
- Koželj, P., Vrtnik, S., Jelen, A., Jazbec, S., Jagličić, Z., Maiti, S., Feuerbacher, M., Steurer, W., & Dolinšek, J. (2014). Discovery of a superconducting high-entropy alloy. *Physical Review Letters*, 113, 107001-1-107001-5. <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.113.107001>
- Kumar, M. S. (2011). Rotor dynamic analysis using ANSYS. *IUTAM Symposium on emerging trends in rotor dynamics, IUTAM bookseries*, 1011, Springer. https://doi.org/10.1007/978-94-007-0020-8_14
- Miracle, D. B. & Senkov, O. N. (2017). A critical review of high entropy alloys and related concept. *Acta Materialia*, 122, 448-511. <https://doi.org/10.1016/j.actamat.2016.08.081>
- Mudau T., & Field, R. M. (2018). Rotordynamic analysis of the AM600 turbine-generator shaftline. *Energies*, 11(12), 3411. <https://doi.org/10.3390/en11123411>
- Rao, J. S. (2011). Rotor Dynamics Methods. In: *History of Rotating Machinery Dynamics, History of Mechanism and Machine Science*, 20. Springer.
- Rao, S. S. (2010). *The Finite Element Method in Engineering* (5th Edition). Oxford: BH Elsevier.
- Schomerus, A. (2007). *Investigation of LabView as a tool for rotordynamic measurements and diagnostics*, Turbomachinery Research Consortium Report TRC-RD-1-07, Texas A&M University.
- Theory Reference for the Mechanical APDL and Mechanical Applications, ANSYS Release12.1. (2010, March 10) http://www1.ansys.com/customer/content/documentation/121/ans_thry.pdf.
- Thompson, M. K., & Thompson, J.M. (2017). *ANSYS Mechanical APDL for Finite Element Analysis*. BH Elsevier, Oxford: BH Elsevier.
- Vance J. M., & Laudadio, F. J. (1984). Experimental measurement of Alford's force in axial flow turbomachinery, *ASME Journal of Engineering for Gas Turbines and Power*, 106(3), 585–590. <https://doi.org/10.1115/1.3239610>
- Vance, J. M., & French, R. S. (1986). Measurement of torsional vibration in rotating machinery, *Journal of Mechanisms, Transmissions, and Automation in Design*, 108(4), 565–577. <https://doi.org/10.1115/1.3258771>
- Vance, J., Zeidan, F., & Murphy, B. (2010). *Machinery Dynamics and Rotordynamics*. John Wiley & Sons.
- Virdi, P. S., Khan, M. S., Pereira, N., Suresh, K.V., & D'Silva, R. S. (2017). Design and fabrication of major components of turbojet engine, *Energy and Power*, 7(5), 130-135. doi:10.5923/j.ep.20170705.02
- Ye, Y.F., Wang, Q., Lu, J., Liu, C.T., & Yang, Y. (2016). High-entropy alloy: challenges and prospects. *Materials Today*, 19(6), 349-362. <https://doi.org/10.1016/j.mattod.2015.11.026>
- Youssef, K. M., Zaddach, A. J., Niu, C., Irving, D. L., & Koch, C. C. (2014). A novel low-density, high-hardness, high-entropy alloy with close-packed single-phase nanocrystalline structures. *Materials Research Letters*, 3(2), 95–99. <https://doi.org/10.1080/21663831.2014.985855>

Sisymbrium altissimum yapraklarının fenolik bileşen, antioksidan kapasite ve antidiyabetik özelliklerinin tespiti

Determination of phenolic component, antioxidant capacity, and antidiabetic properties of Sisymbrium altissimum leaves

Mehmet Ali TEMİZ*^{1,a}

¹Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Tıbbi ve Aromatik Bitkiler Programı, 70100, Karaman

• Geliş tarihi / Received: 10.05.2021

• Düzeltılarak geliş tarihi / Received in revised form: 18.10.2021

• Kabul tarihi / Accepted: 27.10.2021

Öz

Diabetes Mellitus (Şeker hastalığı), yüksek kan glukozu (hiperglisemi) ile karakterize edilen ve tüm dünyada en çok muzdarip olunan hastalıklar arasındadır. Hiperglisemi oksidatif stresin oluşum mekanizmalarını tetikleyerek pek çok hastalığın patogenezinde rol oynar. Fitoterapi bu hastalıklar ile başa çıkmada alternatif yollardan biridir. Tıbbi, aromatik ve yabani yenilebilir bitkiler içerdikleri fitokimyasallar sayesinde nutrasötik olarak çeşitli hastalıklara karşı koruyucu etki göstermelerinin yanı sıra besleyici ve diyetetik özelliklere sahiptirler. *Sisymbrium* türleri yabani yenilebilir bitkiler arasında olup geleneksel olarak çeşitli hastalıkların tedavisinde kullanılmaktadır. Bu çalışmada, *Sisymbrium altissimum* yapraklarının fenolik bileşiminin yanı sıra antioksidan kapasitesinin ve antidiyabetik özelliklerinin araştırılması amaçlanmıştır. Bu maksatla *S. altissimum* yaprak ekstraktında (SAE) yüksek performanslı sıvı kromatografisi (HPLC) ile fenolik bileşen tespiti yapıldı. Ayrıca, antioksidan kapasitesini belirlemek amacıyla toplam fenolik ve toplam flavonoid madde tayini ile 2,2-difenil-1-pikrilhidrazil (DPPH) ve 2,2'-Azino-bis (3-etilbenzotiazolin-6-sülfonik asit) (ABTS) serbest radikal temizleme aktivite analizleri gerçekleştirildi. Yaprakların antidiyabetik etkisi, α -amilaz ve α -glukozidaz inhibisyon aktivite tayini ile ölçüldü. Elde edilen sonuçlarda, SAE'nin önemli düzeyde antioksidan aktivite gösterdiği belirlendi. Yapraklarda en çok bulunan fenolik bileşenin rutin olduğu ayrıca, kuersetin ve protokateşuik asidin ise yapraklardaki diğer baskın fenolik bileşenler olduğu saptandı. Diğer taraftan yaprakların α -amilaz ve α -glukozidaz inhibisyon aktivitelerinin akarboz ile karşılaştırıldığında daha düşük olduğu tespit edildi. Sonuç olarak, *S. altissimum*'un önemli fenolik bileşen içeriğiyle antioksidan durumu güçlendirebileceği ve ayrıca kısmi α -amilaz ve α -glukozidaz inhibisyon aktiviteleri sayesinde nutrasötik olarak yemek sonrası hiperglisemiyi önleyebileceği sonucuna varılabilir.

Anahtar kelimeler: Antioksidan aktivite, α -amilaz, α -glukozidaz, Fenolik bileşik, *Sisymbrium altissimum*

Abstract

Diabetes Mellitus is characterized by high blood glucose (hyperglycemia) and is among the most suffering diseases all over the world. Hyperglycemia plays a role in the pathogenesis of many diseases by triggering the mechanisms of oxidative stress. Phytotherapy is one of the alternative ways to cope with these diseases. Medicinal, aromatic and wild edible plants have nutraceutically protective effects against various diseases as well as nutritional and dietetic value due to the phytochemicals. Sisymbrium species are among the wild edible plants and traditionally used to treatment of various diseases. In this study, it was aimed to investigate the phenolic components of Sisymbrium altissimum leaves as well as their antioxidant capacity and antidiabetic properties. For this purpose, phenolic component was determined in S. altissimum leaf extract (SAE) by high performance liquid chromatography (HPLC). In addition, total phenolic and total flavonoid content measurement, 2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) and 2,2-azino-bis- (3-ethylbenzothiazoline-6-sulphonic acid) (ABTS) free radical scavenging activity analyzes were performed to determine the antioxidant capacity. The antidiabetic effect of the leaves was measured by α -amylase and α -glucosidase inhibition activity assay. In the results obtained, it was determined that SAE showed a significant antioxidant activity. It was determined that the most abundant phenolic component in leaves was rutin, also quercetin and protocatechuic acid were the other dominant phenolic components in leaves. On the other hand, it was found that the α -amylase and α -glucosidase inhibition activities of the leaves were lower compared to acarbose. As a result, it can be concluded that S. altissimum can strengthen the antioxidant status with its important phenolic compounds and also prevent nutraceutically postprandial hyperglycemia due to its partial α -amylase and α -glucosidase inhibition activities.

Keywords: Antioxidant activity, α -amylase, α -glucosidase, Phenolic compound, *Sisymbrium altissimum*

*a Mehmet Ali TEMİZ; matemiz@kmu.edu.tr, Tel: (0338) 226 20 00, orcid.org/0000-0002-4680-3023

1. Giriş

1. Introduction

Diabetes Mellitus, pankreas tarafından yeterince insülin üretilmemesi ve/veya üretilen insülinin etkili bir şekilde kullanılmaması sonucu ortaya çıkan yüksek kan glukozu (hiperglisemi) ile karakterize edilen heterojenik bir metabolik bozukluktur (Ferrier, 2017). Dünya genelinde 2016 yılında tahmini olarak 1.6 milyon insan diyabetten dolayı hayatını kaybetmiştir (WHO, 2020). Hiperglisemi; kardiyovasküler hastalıklar, yüksek tansiyon, nöropati, nefropati, retinopati, ayak hasarı ve cilt problemleri gibi başlıca diyabetik komplikasyonların oluşumunu tetiklemektedir (WHO, 2016). Hipergliseminin neden olduğu enzimatik olmayan glikozilasyon ve glukoz oto-oksidasyonu gibi diyabetin sebep olduğu metabolik anormallikleri, sürekli serbest radikal üretimine yol açarak oksidatif strese neden olmaktadır. Artan serbest radikal üretimi, polioliol yolu, protein kinaz C gibi bazı ana yolların aktivasyonuna, gelişmiş glikasyon son ürünlerinin oluşumunda artışa ve heksozsamin yolağının aşırı aktivitesine neden olmaktadır. Aynı zamanda bu yollar, tekrar serbest radikallerin üretimine yol açarak komplikasyonların patogenezinde rol oynamaktadır (Zhang vd., 2020). Bu nedenle yüksek kan şekerini düşürmek, diyabetik komplikasyon riskini azaltmak için oldukça önem arz etmektedir.

Hiperglisemiyi azaltmak amacıyla çeşitli farmasötikler geliştirilmiş olmasına rağmen, hastaların çoğunda gaz, şişkinlik, kramp ve diyare gibi gastrointestinal sistem rahatsızlıkları yan etki olarak görülmektedir. Terapötik bitkisel yaklaşımlar, geleneksel olarak diyabet ve çeşitli rahatsızlıklarda kapsamlı etkiler göstermekte olup şifalı bitkilerin kullanımı diyabet için tamamlayıcı bir tedavi olarak tercih edilmektedir (Ríos vd., 2015). Bu bakımdan diyabet tedavisi ve yönetiminde nutrasötik olarak tıbbi bitkilerin uygun dozlarda ve bilinçli kullanımları yan etki bakımında daha avantajlı olabilmektedir. Tıbbi bitkiler, çeşitli hastalıklara karşı koruyucu etki gösteren fenolik asitler ve flavonoidler gibi bazı biyoaktif fitokimyasal bileşiklere sahiptir. Ayrıca tıbbi ve yabani yenilebilir bitkiler, antioksidan kapasitenin artırılarak hem serbest radikallerin azaltılmasına hem de polioliol yolu, protein kinaz C ve heksozsamin yollarının aktivasyonunun engellenmesine yardımcı olabilecek doğal çareler sunabilir (Ayepola vd., 2014; Milella vd., 2014). Ayrıca bu bitkiler, önemli ölçüde kompleks karbohidratlar, mineral tuzlar, vitaminler ve polifenolik bileşikleri içermelerinden dolayı

besleyici ve diyetetik değere sahip önemli besin kaynaklarıdır (Sekeroğlu vd., 2006; Temiz, 2021a).

Uzun meyveli bülbül otu veya uzun hardal otu olarak bilinen *Sisymbrium altissimum* Linnaeus, Brassicaceae ailesine ait yabani yenilebilir bir bitkidir. Bu bitki Kuzey Amerika, Asya, Avrupa, Kuzey Afrika ve Doğu Avustralya kıtalarında yayılış gösteren kozmopolit bir türdür (Mutlu ve Karakuş, 2015). *S. altissimum* genç yapraklarının bazı pasta çeşitlerine katılarak veya çiğ ya da pişmiş olarak tüketilebildiği rapor edilmektedir (Kargioğlu vd., 2010; Şenkardes & Tuzlacı, 2016). Yoğun baharatlı yapısından dolayı *Sisymbrium* türlerinin kökleri yemeklerde çeşni olarak kullanılmaktadır. Yapraklar vasabi sosu yapılacak kadar baharatlıdır, ancak daha çok salatalara karıştırılarak çiğ olarak tüketilmektedir (Christopher, 2017). Toprak üstü kısımlarının ve yapraklarının da haşlanıp soğan ve sumak ile pişirilerek tüketildiği belirtilmiştir (Yeşil & İnal, 2019). *S. altissimum* çiçek ve yapraklarının geleneksel olarak kanama durdurucu, ateş için tonik ve anti-skorbut olarak kullanıldığı bildirilmiştir (Mehrnia vd., 2021). Ek olarak bazı çalışmalarda, *Sisymbrium*'un diğer türleri hakkında da çeşitli farmakolojik etkiler rapor edilmiştir. *S. irio*'un halk hekimliğinde iltihap ve romatizma tedavisinde kullanılmasının yanı sıra öksürüğü kesmek, karaciğer ve dalağı detoksifiye etmek, şişlikleri azaltmak ve yaraları temizlemek amacıyla da kullanıldığı bildirilmiştir (Hawash vd., 2019; Nengroo & Rauf, 2019). Oldukça keskin bir tadı olan *S. officinale* bitkisinin tamamı, genellikle boğaz ağrısının, soğuk algınlığı ve astımın tedavisinde, ayrıca balgam söktürücü olarak kullanılmaktadır. Bu tedavi etkisinden dolayı ayrıca "şarkıcının bitkisi (singer's plant)" olarak tanımlanmaktadır (Rahman vd., 2018). Aynı çalışmada, *S. orientale* tohumlarının balgam söktürücü, ateş için tonik ve bronşit tedavisinde kullanıldığı ifade edilmiştir. Bu tohumların ayrıca dizanteri, bağırsak kurdunu düşürme ve suçüçüğü tedavisinde de kullanıldığı belirtilmiştir. Bütün haldeki bitki ise dekoksasyon yapılarak idrar söktürücü olarak, bağırsak kurdunu düşürme ve ağrısız ülserlerin tedavisinde kullanılmaktadır (Rahman vd., 2018). *S. erysimoides*'e ait tüm bitki kısımlarının bronşiti tedavi etme ve iltihabı önleyici etkiye sahip olduğu rapor edilmiştir (Rahman vd., 2018).

Yapılan literatür taramasında, *S. altissimum*'a ait bugüne kadar antioksidan ve antidiyabetik özelliklerini belirlemeye yönelik herhangi bir araştırmaya rastlanılmamış olup, *S. altissimum* ile ilgili çok sınırlı deneysel çalışma bildirilmiştir.

Hem *S. altissimum* hem de *Sisymbrium*'un farklı türlerinin geleneksel olarak tüketiminin yaygın olduğu ve çok çeşitli etnofarmakolojik özellikleri olduğu literatürde belirtilmiştir. Bu etkiler arasında *S. altissimum* bitkisinin antidiyabetik ve antioksidan özelliklerinin olabileceği varsayımıyla bu çalışma planlanmıştır. Bu çalışma da *S. altissimum* yaprak ekstraktının polifenolik profili, antidiyabetik etkisi ve antioksidan kapasitesini ortaya koymak ve bu sayede etnofarmakolojik değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

2. Materyal ve metod

2. Material and method

2.1. Kimyasallar

2.1. Chemicals

Gallik asit (27645, saflık \geq %99), protokateşuik asit (37580, saflık \geq %97), kateşin (C1251, saflık \geq %98), klorojenik asit (C3878, saflık \geq %95), kaffeik asit (C0625, saflık \geq 98), şiringik asit (S6881, saflık \geq %95), kuersetin (Q4951, saflık \geq %95), *p*-kumarik asit (C9008, saflık \geq %98), ferulik asit (128708, saflık \geq %99), rutin (R5143, saflık \geq %94), *o*-kumarik asit (H22809, saflık \geq %97), alüminyum klorid (294713, saflık \geq %99.99), DPPH (D9132), ABTS (10102946001), α -amilaz (A3176), α -glukozidaz (G5003), dinitrosalisilik asit (D0550) ve 4-nitrofenil α -D-glukopiranosid (487506) Sigma (St. Louis, MO, ABD) firmasından temin edilmiştir. Etanol, metanol, asetik asit ve asetonitril Merck (Darmstadt, Almanya) firmasından temin edilmiştir. Akarboz (Glucobay®, Türkiye) yerel bir eczaneden temin edilmiştir. Çalışmada kullanılan diğer tüm kimyasallar ve reaktifler HPLC ve/veya analitik saflıktadır.

2.2. Bitki materyali ve ekstraksiyon

2.2. Plant material and extraction

Sisymbrium altissimum bitkisi 2020 yılının Mayıs ayında Karaman iline bağlı Pınarbaşı mevkiinden toplanmıştır. Daha sonra bitkiler hemen laboratuvara getirilerek yabancı maddelerden uzaklaştırıldı ve bitki bir uzman tarafından teşhis edilerek bir örneği Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu bitkisel üretim laboratuvarına konuldu. Bitkiler ortalama 18°C ve %41 nem seviyesinde açık havada ve gölgede yaklaşık 4 gün'de kurutuldu. Kurutulmuş yapraklar laboratuvar mikseriyle parçalandı ve manyetik karıştırıcı (WiseStir MSH-20D) ile sürekli karıştırılarak 3 saat boyunca 50°C'de %80 etanol ile iki kez ekstrakte edildi (Temiz, 2021a; Temiz, 2021b). Süre

sonunda ekstrakt cendere bezi ile süzülükten sonra, 22 μ m PTFE ile filtre edildi. *S. altissimum* ekstraktı (SAE) sonraki analizlere kadar amber şişelerde -20°C'de muhafaza edildi.

2.3. Fenolik profil analizi

2.3. Phenolic profile analysis

Örneklerin fenolik profilleri, HPLC sistemi (Agilent Technologies 1260 Infinity, ABD) kullanılarak daha önce açıklandığı gibi (Temiz, 2021b) belirlendi. Fenolik bileşiklerin tespiti, 25°C'de gradient çözücü sistemi aracılığıyla bir Inertsil ODS-3 C18 (250 x 4.6 mm, 5 μ m) kolon kullanılarak yapıldı. Elüsyon, su/asetik asit (98:2 v/v) (A) ve asetonitril/su/asetik asit (50:49.5:0.5 v/v/v) (B) mobil fazlar kullanılarak gerçekleştirildi. Gradient programı 0. dakika %85 A, 30. dakika %80 A, 60. dakika %55 A olacak şekilde ayarlandı. Diyot dizisi detektörü (DAD) 254, 280 ve 320 nm dalga boylarına ayarlanarak kayıt yapıldı. Her bir bileşiğin tanımlanması, alıkonma sürelerine ve harici standartlarla karşılaştırılarak spektral eşleşmeye dayandırıldı.

2.4. Toplam fenolik ve toplam flavonoid madde tayini

2.4. Determination of total phenolic and total flavonoid content

SAE'deki toplam fenolik madde miktarı, standart olarak gallik asit kullanılarak modifiye Folin-Ciocalteu reaktif yöntemi (Singleton vd., 1999) ile belirlendi. Toplam fenolik madde miktarı, mg gallik asit eşdeğeri 100 g⁻¹ kuru madde (mg GAE/100 g km) olarak hesaplandı. Örneklerin toplam flavonoid madde miktarı, standart olarak kuersetin kullanılarak AlCl₃ yöntemi (Zhishen vd., 1999) ile ölçüldü. Sonuçlar mg kuersetin eşdeğeri 100 g⁻¹ kuru madde (mg QE/100 g km) olarak hesaplandı.

2.5. DPPH radikal temizleme aktivitesi

2.5. DPPH radical scavenging activity

DPPH radikal temizleme aktivitesi, Pyo vd. (2004) tarafından belirtilen yöntemde bazı modifikasyonlar yapılarak gerçekleştirildi. Kısaca, 100 μ L farklı konsantrasyonlarda seyreltilmiş SAE (1-50 mg/mL) ve 3.90 mL metanolik DPPH' (6x10⁻⁵ M) çözeltisi farklı ependorf tüpler içinde karıştırıldı ve vortekslendi. Tüpler karanlıkta ve oda sıcaklığında 60 dakika boyunca inkübe edildi. Daha sonra 517 nm'de (Shimadzu UV-3600, Kyoto, Japonya) metanole karşı absorbansları ölçüldü. Örneklerin DPPH radikal temizleme aktivitesi, troloks (0.01-0.5 mg/mL) standart

grafğine göre hesaplanıp ifade edildi. Ayrıca radikallerin %50'sini inhibe etmek için gereken ekstraktın (mg/mL) konsantrasyonu olan SC₅₀ değeri de ifade edildi.

2.6. ABTS radikal temizleme aktivitesi

2.6. ABTS radical scavenging activity

ABTS (7 mM), karanlıkta ve oda sıcaklığında ABTS radikal katyonu (ABTS^{•+}) oluşturmak için potasyum persülfat (2.45 mM) içinde 12-16 saat süre boyunca inkübe edildi. Süre sonunda analiz için ABTS^{•+} distile su ile seyreltilerek 734 nm dalga boyunda 0.70±0.02 absorbans elde edilerek kullanıma hazır hale getirildi (Re vd., 1999). Analiz kısaca, 20 µL farklı konsantrasyonlarda seyreltilmiş SAE (1-50 mg/mL) ve 1980 µL ABTS^{•+} çözeltisi farklı tüplere eklendi ve vorteksledi. Daha sonra tüpler 6 dakika boyunca oda sıcaklığında ve karanlıkta bırakıldı. Süre sonunda absorbanlar 734 nm dalga boyunda ölçüldü. Ekstraktın ABTS^{•+} inhibe etme kabiliyeti troloks (0.01-0.5 mg/mL) standardına göre grafik oluşturularak hesaplanıp ifade edildi. Ayrıca radikallerin %50'sini inhibe etmek için gereken ekstraktın (mg/mL) konsantrasyonu olan SC₅₀ değeri de ifade edildi.

2.7. α-amilaz ve α-glukozidaz inhibisyon aktivite tayini

2.7. Determination of α-amylase and α-glucosidase inhibition activity

SAE'nin α-amilaz inhibisyon aktivitesi, Kim vd., (2005) tarafından bildirilen yöntemde küçük modifikasyonlar yapılarak belirlendi. Fosfat tamponu içinde (0.02 M, pH=6.9) toplam 250 µL α-amilaz (0.05 U/mL), farklı konsantrasyonlarda seyreltilmiş (1-50 mg/mL) 200 µL ekstrakt ile farklı tüplerde karıştırıldı ve 37°C'de 10 dakika inkübe edildi. Daha sonra substrat olarak nişasta çözeltisinden (%1) 250 µL ilave edilerek 37°C'de 15 dakika inkübe edildi. Reaksiyon 500 µL %1 dinitrosalisilik asit ile durdurulduktan sonra, tüpler kaynar su içinde 10 dakika bekletildi. Tüpler soğutulduktan sonra karışım 5 mL distile su ile seyreltildi. Karışımın absorbans 540 nm dalga boyunda ölçüldü. Aynı işlemler standart madde olarak kullanılan akarboz içinde tekrarlandı. Ekstraktın α-amilaz inhibisyon aktivitesi grafiksel olarak hesaplanıp mg/mL cinsinden IC₅₀ olarak ifade edildi.

α-glukozidaz inhibisyon aktivitesinin belirlenmesinde, fosfat tamponu (0.1 M, pH=6.8) içindeki 60 µL 1 U/mL α-glukozidaz, 120 µL farklı konsantrasyonlarda seyreltilmiş SAE (1-50

mg/mL) ile farklı tüplerde karıştırıldı ve 37°C'de 10 dakika inkübe edildi. Daha sonra 120 µL 4-nitrofenil α-D-glukopiranosid (5 mM) substrat olarak eklendi ve tüpler 15 dakika 37°C'de tutuldu. Reaksiyon, 300 µL Na₂CO₃ (0.1 M) ilave edilerek sonlandırıldı ve absorban, 405 nm dalga boyunda kaydedildi (Kim vd., 2005). Aynı işlemler standart madde olarak kullanılan akarboz içinde tekrarlandı. Ekstraktın α-glukozidaz inhibisyon aktivitesi, grafiksel olarak hesaplanıp mg/mL cinsinden IC₅₀ olarak ifade edildi. Çalışmadaki tüm ölçümler aynı koşullarda ve aynı gün üç paralel ile yapıldı.

3. Bulgular ve tartışma

3. Results and discussion

3.1. S. altissimum ekstraktının fenolik profili

3.1. Phenolic profile of S. altissimum extract

S. altissimum yaprak ekstraktında bulunan fenolik bileşenlerin miktarı Tablo 1'de, HPLC kromatogramı ise Şekil 1b'de sunulmuştur. Rutin, SAE'de en çok bulunan fenolik bileşen olarak tespit edildi. Ayrıca kuersetin ve protokateşuik asit ise diğer baskın fenolik bileşikler olarak belirlendi. Al-Taie vd., (2018) tarafından *Sisymbrium officinale* yapraklarında p-kumarik asit ve protokateşuik asidin, *Sisymbrium irio* yapraklarında sinamik asit, gentisik asit, p-kumarik asit ve protokateşuik asidin, *Sisymbrium septulatum* yapraklarında ise p-kumarik asit, sinamik asit, protokateşuik asidin en fazla bulunan fenolik bileşikler olduğu rapor edilmiştir. S. officinale toprak üstü kısımlarının diklorometan fraksiyonunda ferulik asidin en çok bulunan fenolik bileşen olduğu belirtilmiştir (Amodeo vd., 2019). Aynı çalışmada, etil asetat fraksiyonunda yüksek performans ince tabaka kromatografisi ile klorojenik asit tanımlanmıştır (Amodeo vd., 2019). Başka bir çalışmada, S. irio toprak üstü kısımlarından apigenin, luteolin-7-O-glukozit ve kamferol (Al-Jaber, 2011), tüm bitkiden de apigenin ve naringenin (Al-Qudah & Abu Zarga, 2009) fenolik bileşikleri izole edilmiştir. Bu sonuçlarda, *Sisymbrium* türleriyle daha önce yapılan çalışmaların S. altissimum yaprağında bulunan fenolik bileşiklerle benzer olduğuna ancak saptanan fenolik bileşenlerin oran ve çeşit olarak farklılık gösterebileceği belirlenmiştir. Fenolik bileşikler benzer bitki cinslerinde ve/veya türlerinde bile farklı oran ve çeşitte bulunabilir. Bunun sebebi bitkinin iklimsel faktörler, su, güneş ışığı, rakım, toprak özellikleri gibi büyüme koşullarına ve/veya vejetasyon periyodu gibi pek çok faktöre bağlı olarak farklı oran ve miktarlarda fenolik bileşiklerin biyosentezine bağlıdır (Chepel vd., 2020). Ayrıca bitkiler farklı büyüme

evrelerinde çeşitli fenolik bileşikleri üretebilir ve bunları farklı amaçlar için bitkinin diğer kısımlarında biriktirebilirler (Feduraev vd., 2019). Kullanılan çözücü polaritesinden dolayı da ekstrakte edilen fenolik bileşen çeşitleri ve miktarları bu farklılığa yol açmış olabilir (Temiz & Temur, 2017). Diğer taraftan Şekil 1b’de tespit edilen 37-40. dakikalar arasında (37.707, 38.681 ve 39.300 dk.) gelen tanımlanamayan piklerin muhtemelen başka fenolik bileşikler ve/veya glukosinolatlara ait olabileceği düşünülmektedir.

Glukosinolatlar da tıpkı fenolik bileşikler gibi polar moleküllerdir ve fenoliklerin ekstraksiyonu ile birlikte ekstrakta bulunabilirler. Brassicaceae ailesi glukosinolatlar bakımından zengin bir içeriğe sahiptir (Borgonovo vd., 2019). *S. officinale* yaprak ve çiçeklerinden sinigrin, izopropil izotiyosiyanat ve 2-bütül izotiyosiyanat izole edilmiştir (Borgonovo vd., 2019). Bainard vd., (2009)’de *S. loeselii* kök ve sürgün ekstraktlarında başlıca iki glukosinolat olan izopropil ve sec-bütül glukosinolatları tespit etmişlerdir.

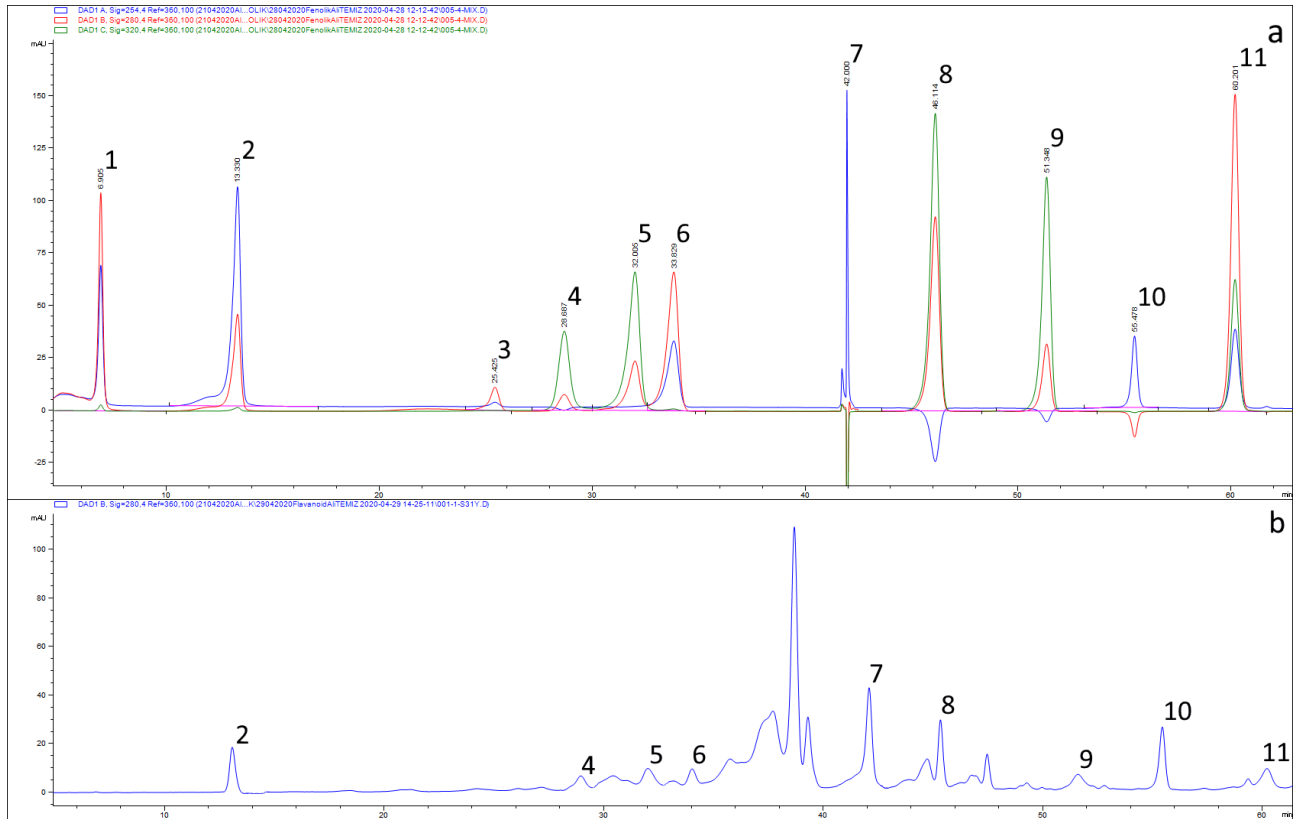
Tablo 1. *Sisymbrium altissimum* yaprak ekstraktının fenolik bileşim miktarı (mg/kg km)

Table 1. The amount of phenolics compounds of *Sisymbrium altissimum* leaf extract

Örnek	GA	PCA	Cath	ChA	CA	SyA	Que	pCou	FA	Ru	oCou
SAE	n.d	245.8±1.2	n.d	104.6±0.7	55.6±0.2	33.04±0.2	348.6±1.8	74.29±0.2	48.3±0.1	366.1±1.4	66.2±0.4

GA: gallik asit, PCA: protokateşuik asit, Cath: kateşin, ChA: klorojenik asit, CA: kafeik asit, SyA: şiringik asit, Que: kuersetin, pCou: p-kumarik asit, FA: ferulik asit, Ru: rutin, oCou: o-kumarik asit, n.d: tespit edilemedi, SAE: *Sisymbrium altissimum* yaprak ekstraktı, veriler ortalama ± standart sapmayı ifade eder, n=3

GA: gallic acid, PCA: protocatechuic acid, Cath: catechin, ChA: chlorogenic acid, CA: caffeic acid, SyA: syringic acid, Que: quercetin, pCou: p-coumaric acid, FA: ferulic acid, Ru: rutin, oCou: o-coumaric acid, n.d: not determined, SAE: *Sisymbrium altissimum* leaf extract, data shows mean ± standard deviation, n=3



Şekil 1. Standartların 254, 280 ve 320 nm dalga boylarının çakıştırılmış HPLC kromatogramları (a) ve *Sisymbrium altissimum* yaprak ekstraktının 280 nm dalga boyunda HPLC kromatogramı (b). 1: gallik asit, 2: protokateşuik asit, 3: kateşin, 4: klorojenik asit, 5: kafeik asit, 6: şiringik asit, 7: kuersetin, 8: p-kumarik asit, 9: ferulik asit, 10: rutin, 11: o-kumarik asit.

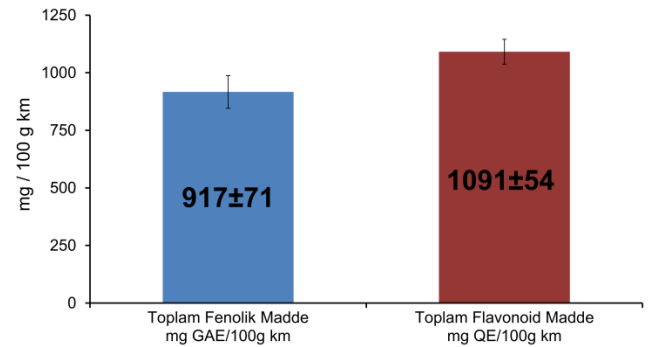
Figure 1. HPLC chromatograms of: the standards mixture overlay of all wavelengths (254, 280, and 320 nm)(a) and *Sisymbrium altissimum* leaf extract at 280 nm wavelength (b). 1: gallic acid, 2: protocatechuic acid, 3: catechin, 4: chlorogenic acid, 5: caffeic acid, 6: syringic acid, 7: quercetin, 8: p-coumaric acid, 9: ferulic acid, 10: rutin, 11: o-coumaric acid.

3.2. *S. altissimum* ekstraktının toplam fenolik ve flavonoid madde miktarı

3.2. The amount of total phenolics and flavonoid content of *S. altissimum* extract

Fenolik maddeler; antioksidan, antidiyabetik, antimikrobiyal, antihiperlipidemik, antikarsinojenik gibi çok çeşitli farmakolojik etkilere sahiptirler. Bu etkiler genellikle fenolik bileşiklerin fonksiyonel yan gruplarında bulunan –OH grupları sayesinde elektron ve hidrojen transferine dayanmaktadır (Ghasemzadeh & Ghasemzadeh, 2011). SAE'ye ait toplam fenolik madde ve toplam flavonoid madde miktarları Şekil 2'de gösterilmiştir. Mevcut çalışmada, SAE'nin toplam fenolik madde miktarı 917 ± 71 mg GAE/100 g km ve toplam flavonoid madde miktarı ise 1091 ± 54 mg QE/100 g km olarak tespit edilmiştir. Daha önce yapılan bir çalışmada *S. officinale* toprak üstü kısımlarının metanolik maserasyon ekstraktında toplam fenolik madde ve toplam flavonoid madde sonuçları sırasıyla 8.1 ± 0.1 mg klorojenik asit eşdeğeri (KAE)/g km ve 0.50 ± 0.01 mg QE/g km olarak belirlenmiştir (Amodeo vd., 2019). Bir diğer çalışmada *S. officinale* toprak üstü kısımların sulu ekstraktının toplam fenolik madde miktarları $28.1 \mu\text{g}$ KAE/mg km ve toplam flavonoid madde miktarı da $0.12 \mu\text{g}$ QE/mg km olarak bulunmuştur (Di Sotto vd., 2016). Ayrıca aynı çalışmada *S. officinale* toprak üstü kısımlarının sulu ekstraktlarından hazırlanan etil asetat ve bütanol fraksiyonlarının toplam fenolik madde miktarları sırasıyla 724 ve $164 \mu\text{g}$ KAE/mg km; toplam flavonoid madde miktarı ise 3.10 ve $3.70 \mu\text{g}$ QE/mg km olarak tespit edilmiştir (Di Sotto vd., 2016). Başka bir *Sisymbrium* türü olan *S. irio* parankima hücre kültürü üzerinde yapılan bir çalışmada Murashige ve Skoog besi yeri ortamında yetiştirilen kallusların metanolik ekstraktlarının toplam fenolik madde miktarı 0.11 mg GAE/g km ve toplam flavonoid madde miktarı 0.13 mg Rutin eşdeğeri/g km olarak rapor edilmiştir (Amin vd., 2009). Mevcut çalışmadaki toplam fenolik madde miktarı literatür ile uyumlu hatta bazı çalışma sonuçlarına göre yüksek olmakla birlikte, toplam flavonoid madde miktarı literatüre göre dikkat çekici şekilde daha yüksek bulunmuştur. Bu durumun sebebinin tür farklılığının yanı sıra yaprakla birlikte kullanılan gövde kısmında daha az flavonoid olabileceğinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Diğer taraftan Hailu vd. (2021) yakın zamanda yaptıkları bir çalışmada, *S. irio* tohumlarını *n*-hekzan, kloroform, etil asetat ve metanol ile arka arkaya ekstrakte etmişlerdir. *S. irio* ekstraktlarında toplam fenolik madde içeriği 7.8 ile $55.3 \mu\text{g}$ GAE/mg kuru ekstrakt arasında olduğu rapor edilmiştir. Ayrıca *S.*

irio ekstraktlarında toplam flavonoid madde içeriğinin de 8.958 ile $13.266 \mu\text{g}$ QE/mg kuru ekstrakt arasında olduğu belirtilmiştir. Elde ettikleri sonuçlara göre toplam fenolik ve flavonoid madde içeriğinin en yüksek metanolik ekstrakta olduğu ifade edilmiştir (Hailu vd., 2021). Her ne kadar bitki türleri farklı olsa da benzer cinsler arasında mevcut çalışmaya göre çok farklı toplam fenolik ve toplam flavonoid madde sonuçları elde edilmiştir. Bunun nedeni, belirtilen çalışmalarda tercih edilen çözücü seçimi, ekstraksiyon işlem ve süreçleri, konsantrasyon işlemleri, fraksiyonlama işlemleri, tercih edilen eşdeğer fenolik bileşik, ve/veya kullanılan bitki kısmının farklı olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 2. *Sisymbrium altissimum* yaprak ekstraktının toplam fenolik madde ve toplam flavonoid madde miktarı. GAE: gallik asit eşdeğeri, QE: kuersetin eşdeğeri, veriler ortalama \pm standart sapmayı ifade eder, $n=3$

Figure 2. The amount of total phenolics and flavonoid content of *S. altissimum* leaf extract. GAE: gallic acid equivalent, QE: quercetin equivalent, data shows mean \pm standard deviation, $n=3$

3.3. *S. altissimum* ekstraktının serbest radikal temizleme aktivitesi

3.3. Free radical scavenging activity of *S. altissimum*

DPPH ve ABTS antioksidan tayin yöntemleri, antioksidan kapasite analizlerinde hem lipofilik hem de hidrofilik antioksidanların hidrojen veya elektron transferi ile serbest radikalleri temizleme kabiliyetini hızlı bir şekilde değerlendirmek amacıyla yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu analizler, polifenollerin lipid peroksil radikalleri ile nispi antioksidan ve koruyucu aktivitelerin tespitinde iyi sonuçlar vermektedir (Niki, 2010). SAE'nin DPPH yönteminde IC_{50} değeri 80.21 ± 3.62 mg TE/g ekstrakt olarak; ABTS yönteminde ise IC_{50} değeri 94.52 ± 2.46 mg TE/g ekstrakt olarak bulunmuştur (Tablo 2). Aynı zamanda SAE'nin SC_{50} değeri de DPPH için

22.45±1.46 mg/mL ekstrakt, ABTS için 25.11±1.24 mg/mL ekstrakt olarak tespit edilmiştir (Tablo 2). Temel olarak, daha düşük IC₅₀ değeri, daha yüksek inhibisyon aktivitesini ifade eder. Hazırlanmış olan ekstrakt birbirinin katı olan farklı konsanstrasyonlarda dilüe edilmiştir. Bu dilüsyonlar 1-50 mg/mL olacak şekilde ayarlanmıştır. Bu aralıkların seçilme sebebi; analizlerde hesaplanan sonuçların sıfırdan küçük, 100'den büyük olmamasını sağlamaktır. Bu aralıklardaki dilüsyonlar ile çalışılarak yarı maksimum inhibitör konsantrasyonu olan IC₅₀ ve SC₅₀ değerleri hesaplanmıştır. Yakın zamanda yapılan bir çalışmada, *S. officinale* toprak üstü kısımlarının metanolik ekstraktının DPPH IC₅₀ değeri 143 µg/mL olarak belirlenmiştir (Amodeo vd., 2019). Başka bir çalışmada, *S. irio* toprak üstü kısımlarının etanolik ekstraktının DPPH inhibisyon değeri 10 mg/mL konsantrasyonda

%55.7 olarak tespit edilmiştir (El-Meligy vd., 2017). Bir diğer çalışmada ise Hailu vd. (2021), *S. irio* tohumlarının farklı çözücü ekstraktlarının DPPH aktivitesinin 1 mg/mL konsantrasyonda %22.3 ile %79.9 arasında olduğunu rapor etmişlerdir. Aynı çalışmada ABTS aktivitesinin %43 ile %94.3 aralığına sahip olduğu ifade edilmiştir (Hailu vd., 2021). Diğer taraftan *S. irio* tohumunun 200 µg/mL petrol eteri ekstraktının DPPH inhibisyon aktivitesinin (%82) BHT (%87) ile karşılaştırıldığında birbirlerine çok yakın değerlere sahip olduğu belirlenmiştir (Nengroo & Rauf, 2019). Mevcut çalışma literatür ile karşılaştırıldığında antioksidan kapasite tayinlerinde, radikal temizleme aktiviteleri arasında çok farklı sonuçların olduğu görülmüştür. Bu farkların muhtemelen tercih edilen çözücü, bitki kısmı, analiz metodu ve sonuçların ifade edilme birimine göre değiştiği düşünülmektedir.

Tablo 2. *Sisymbrium altissimum* yaprak ekstraktının DPPH ve ABTS IC₅₀ ve SC₅₀ değerleri

Table 2. The value of DPPH and ABTS IC₅₀ and SC₅₀ of *Sisymbrium altissimum* leaf extract

Örnek	DPPH (mg TE/g ekstrakt)	ABTS (mg TE/g ekstrakt)	DPPH (SC ₅₀ mg/mL)	ABTS (SC ₅₀ mg/mL)
SAE	80.21±3.62	94.52±2.46	22.45±1.46	25.11±1.24
Troloks			0.23±0.004	0.21±0.003

TE: troloks eşdeğeri, SAE: *Sisymbrium altissimum* yaprak ekstraktı, veriler ortalama ± standart sapmayı ifade eder, n=3

TE: trolox equivalent, SAE: *Sisymbrium altissimum* leaf extract, data shows mean ± standard deviation, n=3

3.4. *S. altissimum* ekstraktının α-amilaz ve α-glukozidaz inhibisyon aktivitesi

3.4. α-amylase and α-glucosidase inhibition activity of *S. altissimum* extract

Diyabet tedavilerinde yemek sonrası kan glukoz düzeyinin azaltılması, genellikle diğer tedavi yöntemleriyle kombine olarak tercih edilmektedir. Bu amaç doğrultusunda akarboz gibi ticari ilaçlar nişasta ve glikojen gibi kompleks karbohidratların bağırsak yolunda hidrolizinin yavaşlatılması amacıyla enzimlerin inhibisyonunda kullanılmaktadır. Ancak hastalar genellikle bu gibi ilaçların çeşitli yan etkilerinden muzdariptirler. Bu şikâyetlerden dolayı ve ayrıca geleneksel tamamlayıcı bir tedavi olduğu düşüncesiyle tıbbi bitki temelli doğal farmasötiklere yönelmektedirler (Temiz, 2021a). Fenolik bileşikler doğal α-amilaz ve α-glukozidaz inhibitörü özellikleriyle karbohidrat sindirim süresini geciktirip/uzatarak glukoz emilim hızında azalmaya neden olurlar ve sonuç olarak yemek sonrası kan glukoz artışını azaltırlar. Mevcut çalışmada *S. altissimum* yaprak ekstraktının α-amilaz ve α-glukozidaz inhibisyon değerleri akarboz ile kıyaslandığında yaklaşık 7 kat daha az etkin bulunmuştur (Tablo 3). Daha önce *S. irio* yapraklarının hidrofilik ve lipofilik

fraksiyonlarının α-amilaz inhibisyon IC₅₀ değerleri sırasıyla, 180 ve 7.72 µg/mL olarak rapor edilmiştir (Hawash vd., 2019). Aynı çalışmada pozitif kontrol akarboz için 10 µg/mL değeri bulunmuştur. Fraksiyonlar arasındaki farkın ekstraksiyon verimlerinden kaynaklandığı söylenebilir. Literatür bulguları mevcut çalışmadaki SAE ile göreceli olarak karşılaştırıldığında, *S. irio* lipofilik fraksiyonun α-amilaz inhibisyon yeteneğinin daha etkili; hidrofilik fraksiyonun ise SAE'ye göre daha az etkili olduğu söylenebilir. Daha önce yapılan pek çok çalışmada fenolik bileşiklerin α-amilaz ve α-glukozidaz inhibisyon aktiviteleri arasında doğrudan bir ilişki olduğu gösterilmiştir. *In silico* yapılan bir çalışmada, fenolik bileşiklerin bu inhibisyon yeteneklerinin -OH gruplarının (H verici) varlığına dayandırılmış ve enzimin aktif bölgesine olan yüksek bağlanma afinitesi yoluyla olduğu ileri sürülmüştür (Abdelli vd., 2021). Bitkilerdeki fitokimyasallar çeşitli mekanizmalar yoluyla antidiyabetik etki gösterebilirler. Bunlar arasında sindirim enzimlerinin inhibisyonu, inkretin-insülin mimetik etki, β-hücrelerinden insülin salgılanmasının uyarılması, insülin duyarlılığının iyileştirilmesi, glukozun hücrelere alınımının ve biyoyararlanımının artırılması sayılabilir (Yang vd., 2015; Temiz & Temur, 2019;

Zhang vd., 2020; Temiz, 2021a). Diğer taraftan bu etki mekanizmaları tam olarak aydınlatılamamıştır. Bu mekanizmalar altında yatan nedenler hem *in vitro* hem de *in vivo* koşullarda karmaşık yollara sahiptir. Bu nedenle, bu çalışmalar antidiyabetik etki mekanizmalarının ileride yapılacak çalışmalarla aydınlatılmasına öncülük edebilir.

Tablo 3. *Sisymbrium altissimum* yaprak ekstraktının α -amilaz ve α -glukozidaz inhibisyon IC_{50} değeri

Table 3. α -amylase and α -glucosidase inhibition IC_{50} values of *Sisymbrium altissimum* leaf extract

Örnekler	α -amilaz (mg/mL)	α -glukozidaz (mg/mL)
SAE	2.84±0.01	4.46±0.10
Akarboz	0.40±0.02	0.61±0.01

SAE: *Sisymbrium altissimum* yaprak ekstraktı, veriler ortalama \pm standart sapmayı ifade eder, $n=3$

SAE: *Sisymbrium altissimum* leaf extract, data shows mean \pm standard deviation, $n=3$

4. Sonuçlar

4. Conclusions

Sisymbrium altissimum sahip olduğu fenolik bileşenler sayesinde iyi bir antioksidan özellik göstererek, kısmi antidiyabetik etkisi ile diyabet tedavisinde tamamlayıcı bir rol oynayabilir. Bu sayede oksidan/antioksidan dengenin korunmasında ve diyabet yönetiminde potansiyel etkinliğinin yanı sıra çeşitli rahatsızlıklar için yararlı çoklu etkiler sunabilir. Ayrıca diyabet tedavisi için geleneksel fitoterapötik yaklaşımların deneysel olarak araştırılması önemli yeni bilgiler sağlayarak ileride yapılacak olan diğer çalışmalara öncü olabilir.

Teşekkür

Acknowledgement

Makalenin inceleme ve değerlendirme aşamasında yapmış oldukları katkılardan dolayı editör ve hakem/hakemlere teşekkür ederiz.

Yazar katkısı

Author contribution

Bu çalışmanın dizaynı, laboratuvar çalışmaları, istatistiksel hesaplamaları ve makale yazımı M.A Temiz tarafından gerçekleştirilmiştir.

Etik beyanı

Declaration of ethical code

Bu makalenin yazarları, bu çalışmada kullanılan materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve / veya yasal-özel izin gerektirmediğini beyan etmektedir.

Çıkar çatışması beyanı

Conflicts of interest

Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Kaynaklar

References

- Abdelli, I., Benariba, N., Adjdir, S., Fekhikher, Z., Daoud, I., Terki, M., Benramdane, H. & Ghalem, S. (2021). In silico evaluation of phenolics compounds as inhibitors of α -amylase and α -glucosidase. *Journal of Biomolecular Structure and Dynamics*, 39(3), 816-822. <https://doi.org/10.1080/07391102.2020.1718553>
- Al-Jaber, N.A. (2011). Phytochemical and biological studies of *Sisymbrium irio* L. growing in Saudi Arabia. *Journal of Saudi Chemical Society*, 15, 345-350. <https://doi.org/10.1016/j.jscs.2011.04.010>
- Al-Taie, G.R.I., Al-Mashea, R.A., Saddon, N. & Al-Anbari, A.K. (2018). A comparative study of the phenolic compounds of some Brassicaceae taxa by high-performance liquid chromatography (HPLC) technique. *Tikrit Journal of Pure Science*, 23(2), 45-48. <https://doi.org/10.25130/tjps.23.2018.027>
- Al-Qudah, M.A. & Abu Zarga, M.H. (2009). Chemical constituents of *Sisymbrium irio* L. from Jordan. *Natural Product Research*, 24(5), 448-456. <https://doi.org/10.1080/14786410903388025>
- Amin, G.H., Al-Gendy, A.A., El-Ayouty, Y.M. & Abdel-Motteleb, A. (2009). Effect of *Spirulina platensis* extract on growth, phenolic compounds and antioxidant activities of *Sisymbrium irio* callus and cell suspension cultures. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 3(3), 2097-2110.
- Amodeo, V., Marrelli, M., Pontieri, V., Cassano, R., Trombino, S., Conforti, F. & Statti, G. (2019). *Chenopodium album* L. and *Sisymbrium officinale* (L.) Scop.: Phytochemical content and in vitro antioxidant and anti-inflammatory potential. *Plants*, 8, 505-519. <https://doi.org/10.3390/plants8110505>
- Ayepola, O.R., Brooks, N.L. & Oguntibeju, O.O. (2014). *Antioxidant-antidiabetic agents and*

- human health (Vol. 1). London: Intech Open. <https://doi.org/10.5772/57282>
- Bainard, L.D., Brown, P.D. & Upadhyaya, M.K. (2009). Inhibitory effect of tall hedge mustard (*Sisymbrium loeselii*) allelochemicals on rangeland plants and Arbuscular Mycorrhizal fungi. *Weed Science*, 57(4), 386-393. <https://doi.org/10.1614/WS-08-151.1>
- Borgonovo, G., Zimbaldi, N., Guarise, M., De Nisi, P., De Petrocellis, L., Moriello, A.S. & Bassoli, A. (2019). Isothiocyanates and glucosinolates from *Sisymbrium officinale* (L.) Scop. ("the Singers' Plant"): Isolation and in vitro assays on the somatosensory and pain receptor TRPA1 channel. *Molecules*, 24, 949-960. <https://doi.org/10.3390/molecules24050949>
- El-Meligy, R.M., Awaad, A.S., Soliman, G.A., Kenawy, S.A. & Alqasoumi, S.I. (2017). Prophylactic and curative anti-ulcerogenic activity and the possible mechanisms of action of some desert plants. *Saudi Pharmaceutical Journal*, 25, 387-396. <https://doi.org/10.1016/j.jsps.2016.10.008>
- Chepel, V., Lisun, V. & Skrypnik, L. (2020). Changes in the content of some groups of phenolic compounds and biological activity of extracts of various parts of heather (*Calluna vulgaris* (L.) Hull) at different growth stages. *Plants*, 9(926), 1-19. <https://doi.org/10.3390/plants9080926>
- Christopher, N. (2017). *Foraging Washington: Finding, Identifying, and Preparing Edible Wild Foods* (Vol. 1). Guilford: Falcon Guides.
- Di Sotto, A., Di Giacomo, S., Toniolo, C., Nicoletti, M. & Mazzanti, G. (2016). *Sisymbrium officinale* (L.) Scop. and its polyphenolic fractions inhibit the mutagenicity of tert-butylhydroperoxide in *Escherichia coli* WP2uvrAR strain. *Phytotherapy Research*, 30, 829-834. <https://doi.org/10.1002/ptr.5588>
- Feduraev, P., Chupakhina, G., Maslennikov, P., Tacenko, N. & Skrypnik, L. (2019). Variation in phenolic compounds content and antioxidant activity of different plant organs from *Rumex crispus* L. and *Rumex obtusifolius* L. at different growth stages. *Antioxidants*, 8(237), 1-15. <https://doi.org/10.3390/antiox8070237>
- Ferrier, D.R. (2017). *Lippincott Illustrated Reviews: Biochemistry* (7th ed.). China: Wolters Kluwer.
- Ghasemzadeh, A. & Ghasemzadeh, N. (2011). Flavonoids and phenolic acids: Role and biochemical activity in plants and human. *Journal of Medicinal Plants Research*, 5(31), 6697-6703. <https://doi.org/10.5897/JMPR11.1404>
- Hailu, T., Gupta, R.K. & Rani, A. (2021). Phytochemicals and antioxidant activity of *Sisymbrium irio* L. seeds. *Indian Journal of Traditional Knowledge*, 20(1), 26-32.
- Hawash, M., Jaradat, N., Elaraj, J., Hamdan, A., Lebdeh, S.A. & Halawa, T. (2019). Evaluation of the hypoglycemic effect of seven wild folkloric edible plants from Palestine. *Journal of Complementary and Integrative Medicine*, 17(1), 1-10. <https://doi.org/10.1515/jcim-2019-0032>
- Kargioğlu, M., Cenkci, S., Serteser, A., Konuk, M. & Vural, G. (2010). Traditional uses of wild plants in the middle aegean region of Turkey. *Human Ecology*, 38, 429-450. <https://doi.org/10.1007/s10745-010-9318-2>
- Kim, Y.M., Jeong, Y.K., Wang, V.W., Lee, Y. & Rhee, H.I. (2005). Inhibitory effect of pine extract on α -glucosidase activity and postprandial hyperglycemia. *Nutrition*, 21, 756-761. <https://doi.org/10.1016/j.nut.2004.10.014>
- Mehrnia, M., Akaberi, M., Amiri, M.S., Nadaf, M. & Emami, S.A. (2021). Ethnopharmacological studies of medicinal plants in central Zagros, Lorestan province, Iran. *Journal of Ethnopharmacology*, <https://doi.org/10.1016/j.jep.2021.114080>
- Milella, L., Bader, A., De Tommasi, N., Russo, D. & Braca, A. (2014). Antioxidant and free radical-scavenging activity of constituents from two *Scorzonera* species. *Food Chemistry*, 160, 298-304. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.03.097>
- Mutlu, B. & Karakuş, Ş. (2015). A new species of *Sisymbrium* (Brassicaceae) from Turkey: morphological and molecular evidence. *Turkish Journal of Botany*, 39, 325-333. <https://doi.org/10.3906/bot-1404-28>
- Nengroo, Z.R. & Rauf, A. (2019). Fatty acid composition and antioxidant activities of five medicinal plants from Kashmir. *Industrial Crops & Products*, 140, 111596. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.111596>
- Niki, E. (2010). Assessment of antioxidant capacity in vitro and in vivo. *Free Radical Biology & Medicine*, 49, 503-515. <https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2010.04.016>
- Pyo, Y.H., Lee, T.C., Logendra, L. & Rosen, R.T. (2004). Antioxidant activity and phenolic compounds of swiss chard (*Beta vulgaris* subspecies *cycla*) extracts. *Food Chemistry*, 85, 19-26. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(03\)00294-2](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(03)00294-2)

- Rahman, M., Khatun, A., Liu, L. & Barkla, B.J. (2018). Brassicaceae Mustards: Traditional and Agronomic Uses in Australia and New Zealand. *Molecules*, 23, 1-18. <https://doi.org/10.3390/molecules23010231>
- Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang M. & Rice-Evans, C. (1999). Antioxidant Activity Applying an Improved ABTS Radical Cation Decolorization Assay. *Free Radical Biology & Medicine*, 26, 1231-1237. [https://doi.org/10.1016/S0891-5849\(98\)00315-3](https://doi.org/10.1016/S0891-5849(98)00315-3)
- Ríos, J.L., Francini, F. & Schinella, G.T. (2015). Natural products for the treatment of type 2 diabetes mellitus. *Planta Medica*, 81, 975-994. <https://doi.org/10.1055/s-0035-1546131>
- Sekeroglu, N., Ozkutlu, F., Deveci, M., Dede, O. & Yilmaz, N. (2006). Evaluation of some wild plants aspect of their nutritional values used as vegetable in Eastern Black Sea region of Turkey. *Asian Journal of Plant Sciences*, 5(2), 185-189.
- Singleton, V.L., Orthofer, R. & Lamuela-Raventós, R.M. (1999). Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent, *Methods Enzymology*, 299, 152-178. [https://doi.org/10.1016/S0076-6879\(99\)99017-1](https://doi.org/10.1016/S0076-6879(99)99017-1)
- Şenkardeş, İ. & Tuzlacı, E. (2016). Wild edible plants of southern part of Nevşehir in Turkey. *Marmara Pharmaceutical Journal*, 20, 34-43.
- Temiz, M.A. (2021a). Antioxidant and antihyperglycemic activities of *Scorzonera cinerea* radical leaves in streptozocin-induced diabetic rats. *Acta Pharmaceutica*, 71(4), 603-617. <https://doi.org/10.2478/acph-2021-0045>
- Temiz, M.A. (2021b). Investigation of Phenolic composition, antioxidant capacity, and antidiabetic effect of *Ornithogalum lanceolatum* L.: An *in vitro* study. *International Journal of Secondary Metabolite*, 8(2), 91-100. <https://doi.org/10.21448/ijsm.861904>
- Temiz, M.A. & Temur, A. (2017). Effect of Solvent Variation on Polyphenolic Profile and Total Phenolic Content of Olive Leaf Extract. *Yuzuncu Yil University Journal of Agricultural Sciences*, 27(1): 43-50.
- Temiz, M.A. & Temur, A. (2019). The effect of olive leaf extract on digestive enzyme inhibition and insulin production in streptozotocin-induced diabetic rats. *Ankara Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, 66, 163-169. <https://doi.org/10.33988/auvfd.423491>
- WHO (World Health Organization) (2016). *Global report on diabetes*, Geneva: WHO press. Erişim adresi https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/204871/9789241565257_eng.pdf;jsessionid=38A1F1A6F019A1BB8C0A219810048AE2?sequence=1
- WHO (World Health Organization) (2020). *World health statistics 2020: monitoring health for the SDGs, sustainable development goals*, Geneva: WHO press. Erişim adresi <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/332070/9789240005105-eng.pdf>
- Yang, K., Hashemi, Z., Han, W., Jin, A., Yang, H., Ozga, J., Li, L. & Chan, C.B. (2015). Hydrolysis enhances bioavailability of proanthocyanidin-derived metabolites and improves β -cell function in glucose intolerant rats. *The Journal of Nutritional Biochemistry*, 26, 850-859. <https://doi.org/10.1016/j.jnutbio.2015.03.002>
- Yeşil, Y. & İnal, İ. (2019). Traditional knowledge of wild edible plants in Hasankeyf (Batman Province, Turkey). *Acta Societatis Botanicorum Poloniae*, 88(3), 3633-3655. <https://doi.org/10.5586/asbp.3633>
- Zhang, P., Li, T., Wu, X., Nice, E.C., Huang, C. & Zhang, Y. (2020). Oxidative stress and diabetes: antioxidative strategies. *Frontiers Medicine*, 14(5), 583-600. <https://doi.org/10.1007/s11684-019-0729-1>
- Zhishen, J., Mengcheng, T. & Jianming, W. (1999). The determination of flavonoid contents in mulberry and their scavenging effects on superoxide radicals. *Food Chemistry*, 64, 555-559. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(98\)00102-2](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(98)00102-2)

Spur gear design, manufacturing and noise analysis according to rolling method using complex numbers

Kompleks sayılar kullanılarak yuvarlanma yöntemine göre düz dişli tasarımı, imalatı ve gürültü analizi

Mehmet YAZAR^{*1,a}, Mithat YANIKÖREN^{2,b}

¹*Çanakkale Onsekiz Mart University, Çanakkale Vocational School of Technical Sciences, Machinery and Metal Technologies Department, 17020, Çanakkale*

²*Bilecik Şeyh Edebali University, Bilecik Vocational School of Technical Sciences, Control and Automation Technology Department, 11000, Bilecik*

• Geliş tarihi / Received: 05.01.2021

• Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 07.10.2021

• Kabul tarihi / Accepted: 27.10.2021

Abstract

In this study, a software has been improved for parametric drawing and modeling of spur gear using complex numbers in the CAD setting. AutoLISP programming language was used in software development. In the system, parameters such as module and number of teeth can be entered by the user and drawing or modeling of the gears in the CAD environment can be done automatically. This study provides the designer with fast and functional and more precise utility alternative for gear drawing and modeling. In addition, within the scope of the study, the same number of teeth and at the module spur gear were designed in the AutoCAD package program with the classical method. Spur gears, designed in AutoCAD program with the developed package program and classical method, were produced on the wire EDM machine by deriving cutting codes in the MasterCAM program. Noise analysis of the produced spur gear pairs has been made. It was determined that the spur gear pair, designed and produced with the package program developed within the scope of the study, operates approximately 8 dB less noise than the spur gear designed and produced with the classical method. It is possible to design and manufacture the gear in the desired profile by changing the cutter profile for non-standard thread shapes to provide the performance required for a tool and standard tool parameters. For further investigations, spur gears produced by round-ended cutters can be applied symmetrically and asymmetrically.

Keywords: AutoLISP, CAD, Complex numbers, Noise analysis, Spur gear

Öz

Bu çalışmada, CAD ortamında karmaşık sayılar kullanılarak düz dişlilerin parametrik çizimi ve modellemesi için bir yazılım geliştirilmiştir. Yazılım geliştirmede AutoLISP programlama dili kullanılmıştır. Sistemde modül ve diş sayısı gibi parametreler kullanıcı tarafından girilerek CAD ortamında dişlilerin çizimi veya modellemesi otomatik olarak yapılabilmektedir. Bu çalışma, tasarımcıya dişli çizimi ve modellemesi için hızlı, işlevsel ve daha kesin bir fayda alternatifi sağlamaktadır. Ayrıca çalışma kapsamında klasik yöntemle AutoCAD paket programında aynı sayıda diş ve modülde düz dişli tasarlanmıştır. Geliştirilen paket programı ve klasik yöntemle AutoCAD programında tasarlanan düz dişliler, MasterCAM programında kesme kodları türetilerek tel erozyon makinesinde üretilmiştir. Üretilen düz dişli çiftlerinin gürültü analizi yapılmıştır. Çalışma kapsamında geliştirilen paket program ile tasarlanan ve üretilen düz dişli çiftinin, klasik yöntemle tasarlanan ve üretilen düz dişliye göre yaklaşık 8 dB daha az gürültü çalıştığı tespit edilmiştir. Bir takım ve standart takım parametreleri için gerekli performansı sağlamak üzere standart dışı diş şekilleri için kesici profilini değiştirerek dişliyi istenen profilde tasarlamak ve üretmek mümkündür. Daha ileri araştırmalar için, yuvarlak uçlu kesicilerle üretilen düz dişliler simetrik ve asimetrik olarak uygulanabilir.

Anahtar kelimeler: AutoLISP, CAD, Kompleks sayılar, Gürültü analizi, Düz dişli

^{*a} Mehmet YAZAR; mehmetyazar@comu.edu.tr, Tel: (0286) 218 00 18, orcid.org/0000-0003-3999-3233

^b orcid.org/0000-0003-1075-313X

1. Introduction

1. Giriş

Since the beginning of the technology, one of the important machine elements is the gear. The designs of the first gears were mostly made using pins (Laczik et al., 2014).

Machine elements designed to transmit force and movement between different parts within a mechanism are gear wheels. The most important point in the gear design is that the tooth geometry is designed with minimum shear stresses in the contact area (Suslin & Pilla, 2017). To ensure the most efficient circular contact relationship between gear wheels, tooth geometry design is crucial (Kalpakjian & Schmid, 2006). Researchers have constantly investigated the effects of friction and wear to make a design under optimal operating conditions (Patil et al., 2019). Thanks to the technological developments of the last century, gear wheels have become the machine elements used in almost every machine, and therefore, the calculation of gear wheels are very common in machine manufacturing. For this purpose, it was tried to obtain fast and precise results by adapting the deficiencies encountered to computer environment. It is thought that this will contribute to the faster shaping of the manufacturing process and increase the production capacity. The computer, which is the greatest convenience of today's modern technology, has entered almost all fields. One of the most common areas is machine design. For this reason, computer aided design of machine elements has emerged in order to transfer the necessary data for the design and calculation of machine elements from theory to practice in the easiest way.

Developed in parallel with the rapid advances in computer technology, the software enables many engineering activities to be carried out easily in the computer environment. By simulating the manufacturing process, the effects of many parameters on the product can be examined before manufacturing. Thus, it is possible to make changes during design with minimum cost and time loss (Oladejo & Ogunsade, 2014). From the studies on spur gear design; on the purpose of create an ideal spur gear profile, an algorithm has been developed and the two-dimensional drawing of the spur gear is realized according to the module, number of teeth and grip angle entered into the developed algorithm (Reyes et al., 2008). In this way, no need for manual technical drawing studies has been provided to increase productivity and reduce costs (Nordiana et al., 2007).

Involute developed a computer aided kinematic model for the design of spur gears and developed an assistive approach to obtain the optimum dimensions of the gears and perform manufacturing, tensile and compression analysis (Karpal et al., 2002). The developed programs were compared with the results of a sample calculation with the calculation results obtained with commercial software and theoretical calculations. As a result, the values closest to the theoretical calculation results were obtained with the computer program developed in the studies (Krishna & Srinvas, 2012).

A computer program has been developed to minimize the possible calculation errors and time by facilitating the approximate design and finite element analysis of a complex process gear (Yiqiang et al., 2014). In this study, a software which works in AutoCAD environment is developed by using AutoLISP programming language. The developed software aims to simplify the drawing and modeling of gear wheels and gear pairs. Unlike the other studies in the literature, complex numbers were used instead of formulas used in the calculation of classical spur gear design. The complex numbers used are the two-dimensional drawing of the flat wheels according to the rolling method, as well as the three-dimensional solid modeling of the gear. In addition, the production of spur gear designed with the package program developed within the scope of working with the spur gear designed by classical methods was cut on the wire EDM machine and noise analysis was made.

2. Materials and methods

2. Gereç ve yöntem

2.1. Parametric spur gear applications

2.1. Parametrik düz dişli uygulamaları

The parametric gear forming system has been developed to support the automatic 2D drawing and 3D modeling of gear types that are not included in the part libraries of contemporary CAD systems, minimizing the easy, fast and user interaction of gear and gear pairs in the CAD environment.

These basic and calculated dimensions were obtained with the help of the developed program and 2-D drawings and 3-D models of gear wheels and gear pairs discussed in the system were created in the CAD environment.

2.2. Geometry of involute gear

2.2. Evolvent dişli geometrisi

Involute tooth geometry is used in tooth profiles of flat, helical, bevel gear wheels. When the gear wheel is examined geometrically, it is seen that it consists of a tooth profile, concentric circle springs at the tooth head and base, involute curves on the tooth side surfaces and trochoid curves in the region that connects the tooth side surfaces to the bottom circle (Figure 1).

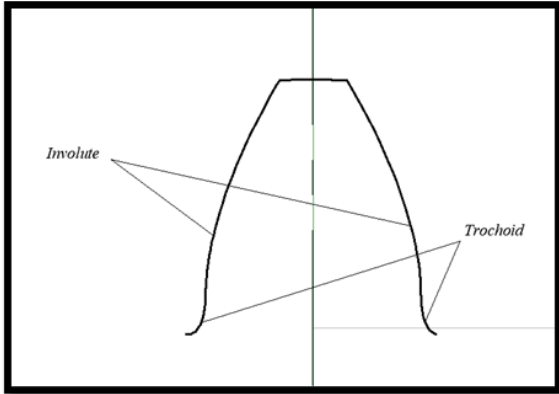


Figure 1. Involute gear geometry
Şekil 1. Evolvent dişli diş geometrisi

In this study, in order to obtain the involute gear profile, parametric expressions which determined the involute profile developed by Litvin and the tooth base profile in the trochoid form were used (Litvin & Fuentes, 2004). Involute geometry is shown in Figure 2.

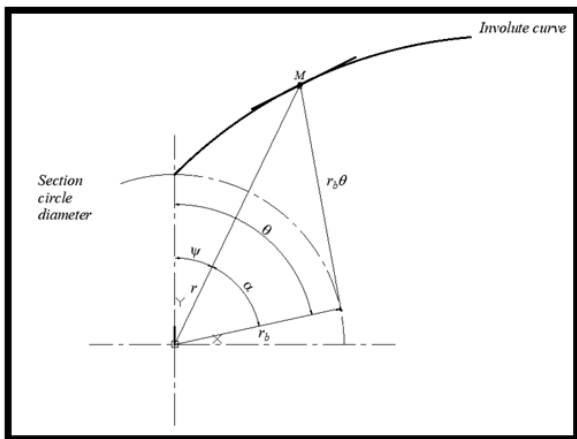


Figure 2. Generating involute profile
Şekil 2. Evolvent profilinin oluşumu

Involute angle ψ , when the grip angle α is assumed,

$$\psi = ev \cdot a = \tan \alpha - a \quad (1)$$

available as and the angle of rotation θ in the involute profile is expressed by the following equation.

$$\theta = \psi + a = \tan \alpha \quad (2)$$

The parametric expression $M(\theta, r_b)$, which gives the position of a point on the involute profile, is shown as the angle of rotation θ and the radius of the base circle r_b in the involute profile.

$$M(\theta, r_b) = \begin{cases} x(\theta) = r_b (\sin \theta - \theta \cos \theta) \\ y(\theta) = r_b (\cos \theta + \sin \theta) \end{cases} \quad (3)$$

$\theta_{\max} = \theta_{\alpha} + ev\theta_{\alpha}$ is in the range of $0 \leq \theta \leq \theta_{\max}$, the change interval of the rolling parameter. θ_{α} the rolling parameter in the tooth head circle is the value of the tooth radius, ra.

$$\theta_{\alpha} = \cos^{-1} \frac{r_b}{r_a} \quad (4)$$

is obtained from the equation. The geometry of the cutting tool that obtains the tooth profile shown in Figure 3 is shown in Figure 5. The position of the center of curvature of the rounded end of the tool, the module (m) the gripping angle (α), the profile shift factor (x_1) and the tool nose rounding radius (ρ), is expressed in the following equation.

$$\alpha = \frac{m(\pi - 5 \tan \alpha)}{4} - \frac{\rho(1 - \sin \alpha)}{\cos \alpha} \quad (5)$$

$$b = 1.25m - \rho - mx_1 \quad (6)$$

Depending on the tool geometry, the equations representing the tooth-bottom curve in the trochoid form shown in Figure 3, including the angle of rotation,

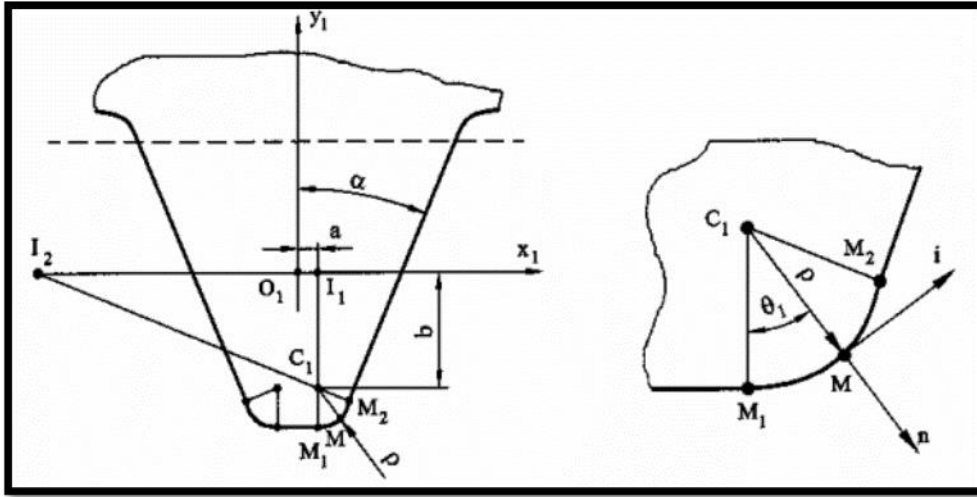


Figure 3. Cutting tool geometry and tool tip detail (Patil et al., 2019)
Şekil 3. Kesici takım geometrisi ve takım ucu detayı (Patil et al., 2019)

$$x_2 = \rho \sin(\theta_1 - \phi) + a \cos \phi - b \sin \phi + r(\sin \phi - \phi \cos \phi) \tag{7}$$

$$y_2 = \rho \cos(\theta_1 - \phi) - a \sin \phi - b \cos \phi + r(\cos \phi - \phi \sin \phi) \tag{8}$$

is expressed as. The tool tip spring parameter changes in the range $0 \leq \theta_1 \leq (\pi/2) - \alpha$ (5) and (6) using the expressions giving the position of the center of curvature of the rounded end of the tool obtained from the equations,

$$\phi = \frac{b \tan(\theta_1 - \alpha)}{r} \tag{9}$$

as. The obtained rotation angles are written in place of the equations (7) and (8), and the geometric location of the tooth base curve is found.

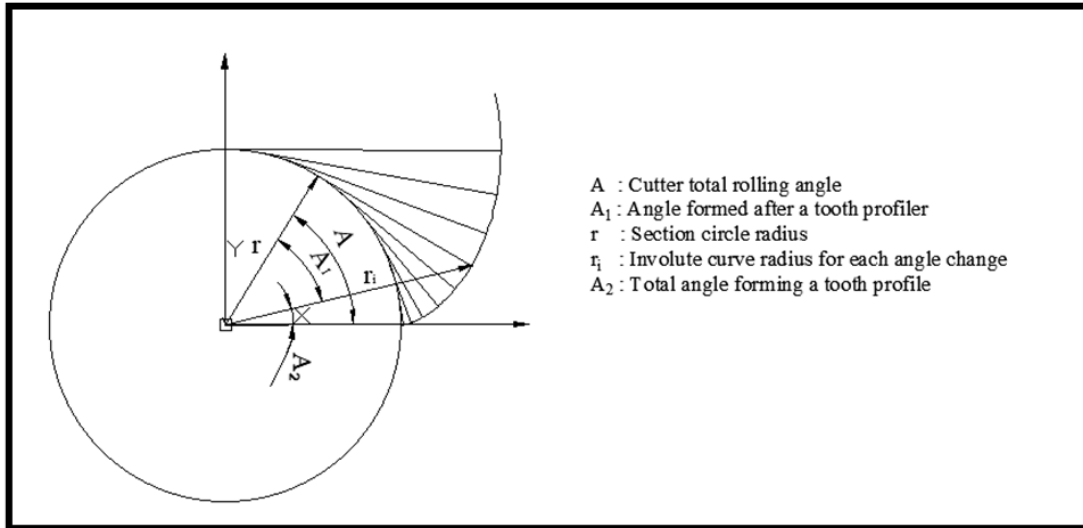


Figure 4. Obtaining the involute of the circle
Şekil 4. Dairenin evolventinin elde edilmesi

According to the rolling method, the involute of the circle must be obtained for gear design in AutoCAD environment (Figure 4). Using the following equations, the involute of the circle is obtained.

$$q = \frac{\pi dg}{360} \tag{10}$$

$$r_i = \sqrt{r^2 + q^2} \tag{11}$$

$$A_1 = \tan^{-1}(q/r) \quad (12)$$

$$A_2 = A - A_1 \quad (13)$$

$$X = \sin(A_2)r_i \quad (14)$$

$$Y_1 = \cos(A_2)r_i \quad (15)$$

$$Y = Y_1 - r \quad (16)$$

$$Involute = R\beta_j + I(R + xm)e^{(I\beta_j)} \quad (17)$$

Obtaining Circle Involute Using Complex Numbers; A package program was developed using the AutoLISP programming language to obtain the apartment's involute AutoCAD using the equation expressed in complex form 17. The two-dimensional drawing of the involute of an exemplary circle is shown in Figure 5 and Figure 6.

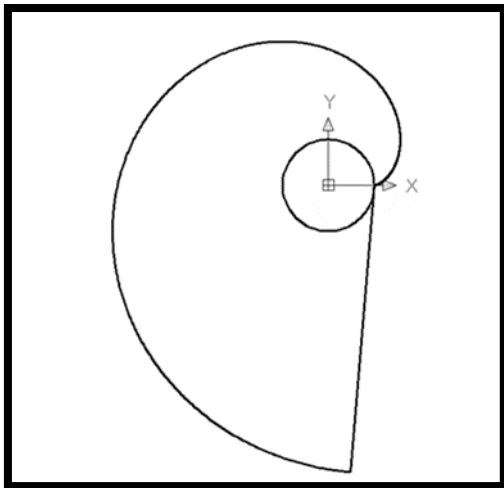


Figure 5. The unilateral involute of the circle
Şekil 5. Dairenin tek yönlü evolventi

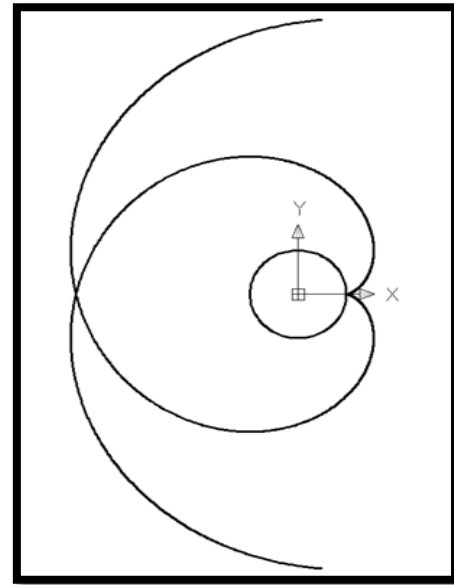


Figure 6. Double-sided involute of the circle
Şekil 6. Dairenin çift taraflı evolventi

Obtaining circular spur gear using complex numbers by rolling method; In order to obtain circular gear wheels by rolling method in AutoCAD environment, firstly the cutter profile was obtained by using the equations used to obtain the cutter profile (Figure 7) and the equations used in obtaining the involute of the circle were taken into consideration. The module program developed in AutoLISP programming environment was used to draw the desired number of teeth according to the rounding method and the gear wheel in the module by means of the complex equations formed. An example of a circular gear wheel with two number of teeth 22 and module 2 is performed in AutoCAD environment according to the rolling method with the help of module program developed using AutoLISP programming language is given in Figure 8-10. In addition, the 2D and 3D pictures of the spur gear designed in AutoCAD with the classical method are given in Figure 11-12.

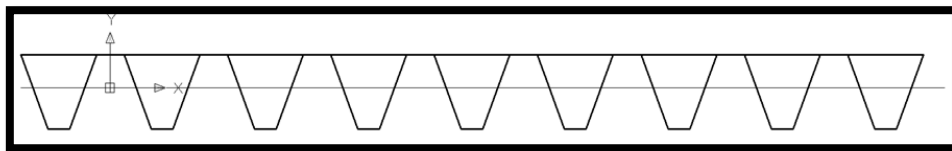


Figure 7. Obtaining the rack cutter profile in AutoCAD environment.
Şekil 7. AutoCAD ortamında kramayer kesicinin elde edilmesi

Lengths x_1 and x_2 of the oblique sidewalls of the rack cutter;

$$x_1 = -(h_1 + c)m \tan(\alpha) + \frac{m\pi}{4} \quad (18)$$

$$x_2 = -(h_2 + c)m \tan(\alpha) + \frac{m\pi}{4} \quad (19)$$

obtained with the equation.

The tooth height y_1 and y_2 distances of the rack cutter;

$$y_1 = h_1 m \quad (20)$$

$$y_2 = (h_2 + c)m \quad (21)$$

$$\Delta = \frac{m\pi}{2} \quad (22)$$

obtained with the equation.

x_1 and x_2 distances to the origin of the oblique cheeks of the rack cutter;

$$Q_0 = x_1 + Iy_1 - \Delta \quad (23)$$

$$Q_1 = x_2 - Iy_2 - \Delta \quad (24)$$

obtained with the equation.

The distances y_1 and y_2 from the perpendicular sidewalls of the rack cutter;

$$Q_2 = -x_2 - Iy_2 - \Delta \quad (25)$$

$$Q_3 = -x_1 + Iy_1 - \Delta \quad (26)$$

obtained with the equation.

Tooth profiles of spur gear according to rounding method;

$$h_{j,k} = Q_s + R\beta_j + I(R + xm)e^{(I\beta_j)} \quad (27)$$

obtained with the equation.

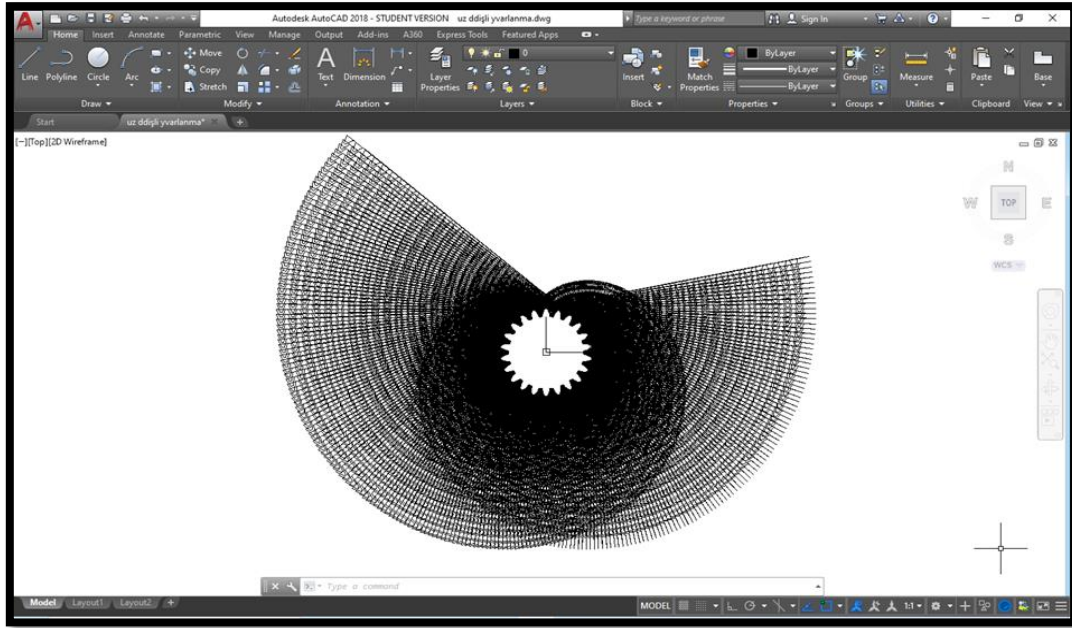


Figure 8. Design of spur gear in AutoCAD according to package programming rolling method developed within the scope of the study

Şekil 8. Çalışma kapsamında geliştirilen paket programlama yuvarlama yöntemine göre AutoCAD'de düz dişli tasarımı

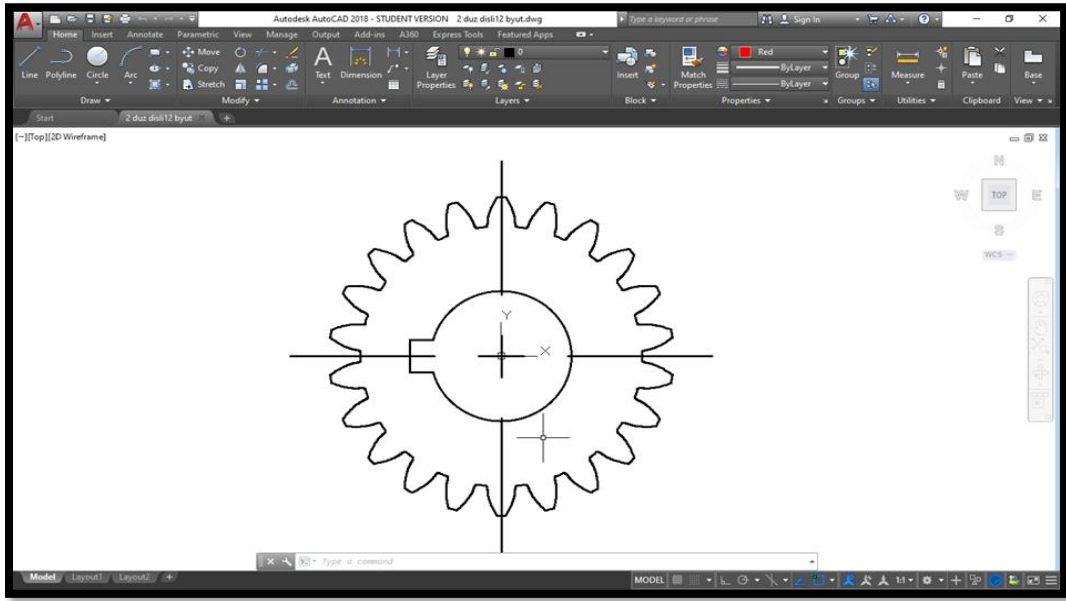


Figure 9. 2D spur gear designed in AutoCAD with the package program developed with AutoLISP programming language within the scope of the study.

Şekil 9. Çalışma kapsamında AutoLISP programlama dili ile geliştirilen paket program ile AutoCAD ortamında tasarlanan 2 boyutlu düz dişli.

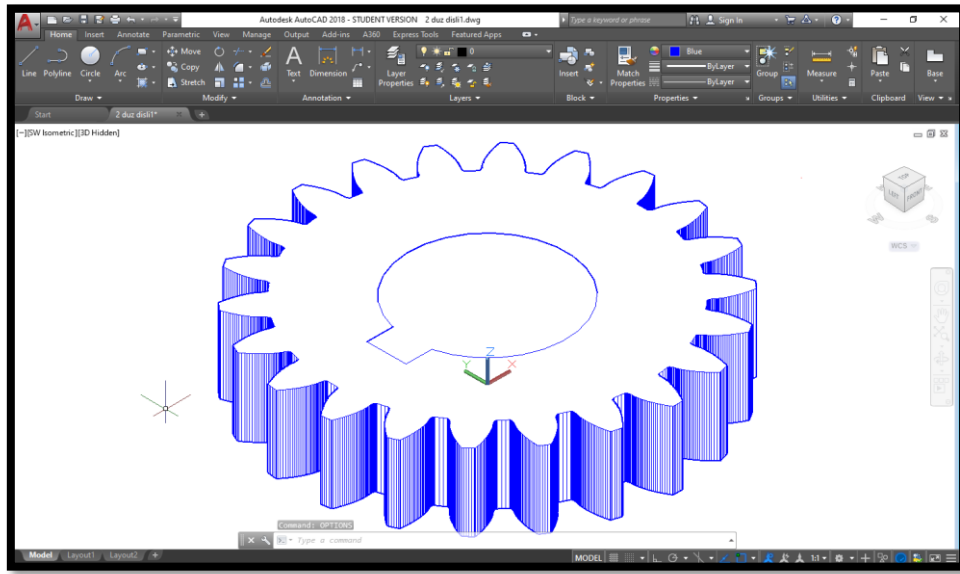


Figure 10. 3D spur gear designed in AutoCAD with the package program developed with AutoLISP programming language within the scope of the study.

Şekil 10. Çalışma kapsamında AutoLISP programlama dili ile geliştirilen paket program ile AutoCAD ortamında tasarlanan 3 boyutlu düz dişli.

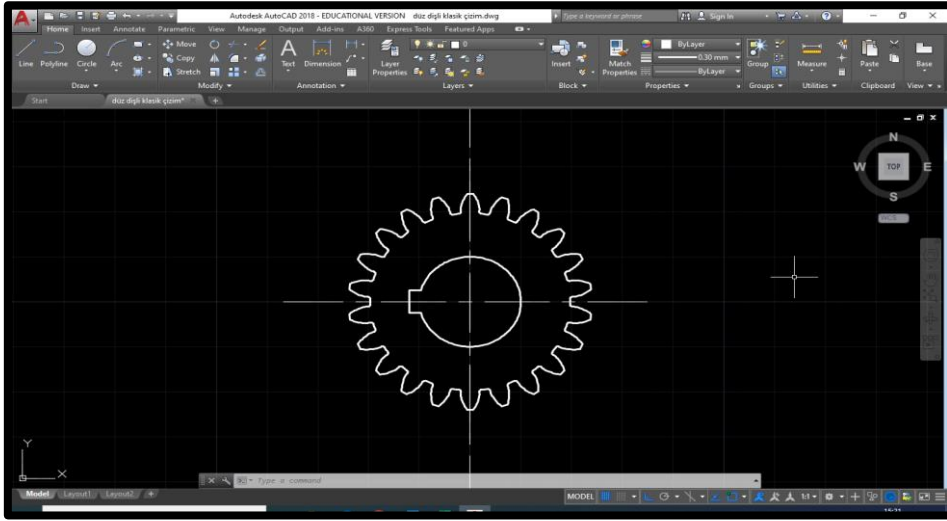


Figure 11. Spur gear designed in 2D with classical method in AutoCAD program.
Şekil 11. AutoCAD programında klasik yöntemle 2 boyutlu olarak tasarlanan düz dişli.

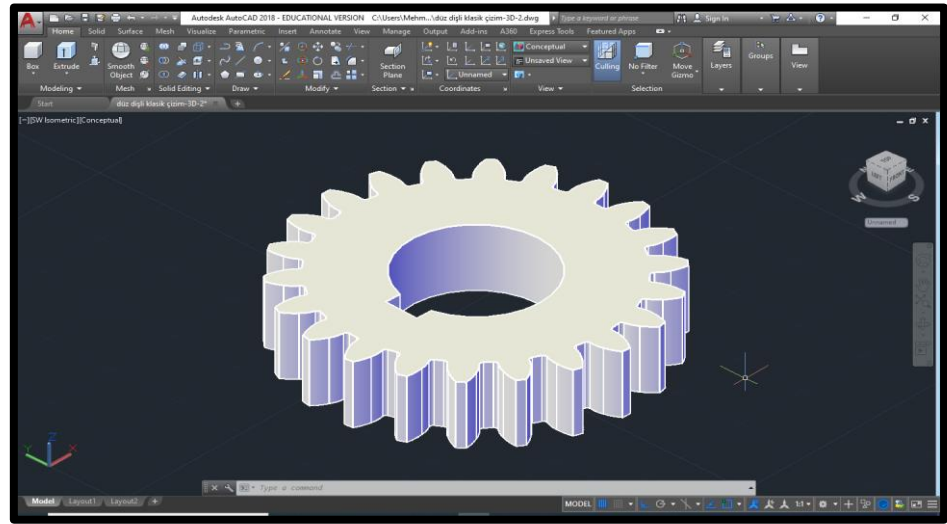


Figure 12. Spur gear designed in 3D with classical method in AutoCAD program
Şekil 12. AutoCAD programında klasik yöntemle 3 boyutlu olarak tasarlanan düz dişli

3. Results

3. Bulgular

3.1. Design and manufacture of spur gears and, test apparatus used in experiments

3.1. Düz dişlilerin ve deneylerde kullanılan test cihazının tasarımı ve imalatı

The 2D designs of the gears used in the experiments were made in separately AutoCAD environment both with the classical method and with the package program developed with the AutoLISP programming language within the scope of the study. The parameters of the designed spur gears are given in Table 1.

Table 1. Parameters that belong to spur gears cut for experimental studies

Tablo 1. Deneysel çalışmalar için kesilen düz dişlilere ait parametreler

Supur gear parameters	Value
Number of Teeth	22
Module	2
Shaft Angele	90 ⁰
Pressure Angle	20 ⁰
Addendum	2.000 mm
Dedendum	2.336 mm
Pitch Circle Diameter	44.000 mm
Face Width	10.000 mm
Clearance Factor of Depths	0.250

Table 2. AISI 1050 Chemical compositions (in weight %)

Tablo 2. AISI 1050 Kimyasal bileşimler (% ağırlık olarak)

	C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	Usage Areas
AISI 1040	0.51	0.20	0.75	0.20	0.05	0.20	Transmission pins, rails, sprockets, etc. They are used in manufacturing and can be induction furnace and flame-harden.

In order for the spur gear pairs to be convenient and reference in experimental studies, 20 mm diameter cylindrical holes with keyway of 6 mm width and 3.2 mm depth were designed in AutoCAD environment and processed in piece size on the wire EDM. Therefore, the axis exceeding through the rotation center of the spur gear wheels and the planes forming the cheeks of the spur gears are provided to be parallel. In addition, the roughness of the tooth surfaces of the gear wheels at the end of cutting was measured to determine the machining quality. The roughness measurement was made on a single tooth surface using the Mahr Perthometer M1 surface roughness measuring device on the gear wheel section circle and the surface roughness value was measured as 2.368 Ra (μ a).

On the purpose of specify the noise values of the produced spur gear pairs, the analysis apparatus was designed and produced according to its dimensions.

In the analysis apparatus, a grinded plate was placed on the flat stand and the rotating gear wheel shaft was ground on this plate and bedded with a double ball bearing. The rotated spur gear shaft is fixed on the ground plate by bearing double ball bearings. A ground flat table is mounted on four ball linear guides. A movable table was formed by mounting a spur gear shaft rotated on the table. The movable table is mounted on the plate with a spring on both sides. The performance of noise analysis is given in Figure 13.

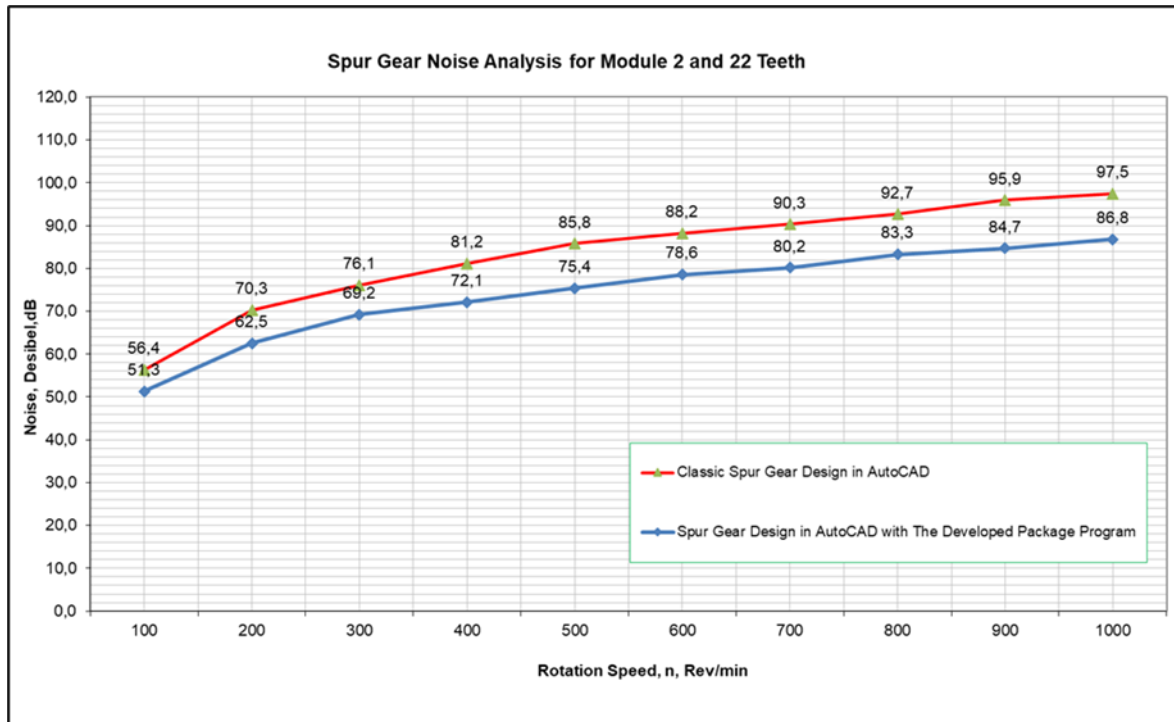


Figure 13. Noise graphic of spur gears

Şekil 13. Düz dişli gürültü grafiği

3.2. Noise analysis of spur gears

3.2. Düz dişli gürültü analizi

Increasing the rotational speed means increasing the peripheral speed of the gears. As the peripheral speed increases, the noise level of the mechanism

increases, and the abrasion increases. Therefore, if working at high speeds, the surface quality of the spur gears should be high. While performing the noise analysis of the gears in the noise analyzer, the speed of the gears was measured with a digital tachometer on the spur gear shaft. DT-2236 Digital

Photo / Contact Tachometer was used to measure the number of revolutions of gears. The measuring range of the tachometer is 0.5-100.000 rpm and the measurement accuracy is 0.05%. CASELLA CEL-231 Digital Sound Level Meter was used to measure the noise level. The measuring range of the appliance is 30-135 decibels (dB). The speed and noise measurements of the gears were made three times and the arithmetic mean of these three measurement results was taken. The noise values for each number of revolutions were determined. The graph showing the noise values obtained from the measurement results based on the number of revolutions is given in Figure 13. As can be seen from the examination of this graph, it has been observed that the noise value increases with the increase in the number of revolutions and the speed of the spur gears. Also, the noise level of the spur gear pair designed with the package program developed within the scope of the study was determination to be approximately 8 dB less than the spur gear pair designed with the classical method.

4. Discussion and conclusion

4. Tartışma ve sonuç

In literature, mostly homogeneous transformation matrix method is used for gear contact problems in order to solve rotation and rotation problems. In this study, a different approach is presented using complex numbers to design the profiles of gears and tooth profiles. This study demonstrates the applicability of the gear design process with this new method. Within the scope of the study, a software has been developed with AutoLISP programming language for computer aided design and solid modeling of spur gears. With the developed software, 2D drawings and 3D modeling of spur gear can be done automatically according to the input parameters entered by the user. This software can be used effectively to reduce the time spent on manual gear calculations and the transfer of gears to the CAD environment in both 2D and 3D and to eliminate calculation, drawing and modeling errors. The use of the program developed in this respect is thought to facilitate the 2D design, sizing, and 3D modeling of spur gear in the AutoCAD environment. Also, other spur gear pairs are designed with the classical method in the AutoCAD program. These designed spur gear pairs were produced in the wire EDM. The noise analysis of the produced spur gear pairs was made and the noise value of the spur gear design with the classical method was approximately 8 dB higher.

- The correct gear design depends on its ability to withstand high friction and high bending stresses at the bottom of the tooth. One of the biggest obstacles that designers face is that the gears are not designed to the required configuration as desired. For spur gears, geometry is boring and time consuming. With this study, instead of the standard approximate size design of spur gears, a package program has been developed with AutoLISP language for gear design at desired dimensions and standards in AutoCAD environment.
- The tooth surface of the spur gear is formed on the basis of the shaping principles of the tooth surfaces according to the involute method. Polar equations and complex numbers are availability to realize this involute method.
- It offers a design package program using special complex numbers to prepare spur gears for special configuration. The user can change design variables at any time to meet any constraints applied. The program is easy to use and can be developed in the design of other gears.
- One of the most important points in gear design is the stresses that occur at the contact points of the gears. These stresses can be reduced by the pointing of the contact surface of the toothed tooth profiles. The complex structure of the tooth profile and the complex manufacturing technology are difficult to design for the manufacture of gears with point contact. However, advances in gear manufacturing technologies have facilitated the production of such gears. These gears will provide better contact strength and vibration characteristics as they will provide point contact compared to gears manufactured with standard design. This study is thought to solve various gear contact problems.
- There are many methods for developing tooth profiles of gears. Most techniques use only the tooth profile with an approximate value. In this study, it is tried to find the desired real values.
- It is possible to design and manufacture the gear in the desired profile by changing the cutter profile for non-standard thread shapes to provide the performance required for a tool and standard tool parameters.

- Increasing the rotational speed means increasing the circumferential speed of spur gear wheels. With the increase in the peripheral speed, the sound level of the mechanism increases and the abrasion increases. Therefore, research based on surface quality, hardness and wear behavior of spur gear wheels operating at high speeds will be important.
- The material with the lowest sound propagation speed should be chosen as the body material. However, by not forgetting the criteria such as manufacturing method and processing, aluminum alloys can be used frequently as body materials as a material that is easy to cast, light and easily processed. AISI 1040 was used in this study. It will be appropriate to consider in different materials.
- In this study, the grip angle of the spur gear pairs is taken as 200. Choosing a small grip angle slightly increases the grip ratio. The small grip angle reduces the radial forces generated. This can make the mechanism work quieter. The effect of different grip angles will be a separate study.
- Even after a very sensitive project and assembly, a gap remains between the teeth. Since this gap is also necessary for lubrication and shape and displacements may occur during operation, the gap should be anticipated at the design stage.
- From the literature studies done, the factors affecting gear wheel tooth life are lubrication, temperature, speed, material, load, manufacturing precision, assembly precision, geometric dimensions of gears (module, number of teeth, tooth width, etc.), geometry of tooth profiles etc. determined as. Determining how long the life of the gears under which conditions can enable the determination of gear damage in advance and take necessary precautions in advance.
- While the spur gear designed with the package program developed within the scope of the study was designed, the rolling angle of the cutter on the spur gear part circle was set as 1 degree. When this angle value is decreased, it is predicted that the surface quality will increase, and the noise ratio will decrease.

Author contribution

Yazar katkısı

The authors' contribution rates in the study are equal.

Declaration of ethical code

Etik beyanı

The authors of this article declare that the materials and methods used in this study do not require ethical committee approval and/or legal-specific permission.

Conflicts of interest

Çıkar çatışması beyanı

The authors declare that there is no conflict of interest.

References

Kaynaklar

- Kalpakjian, S. & Schmid, S. R. (2006). *Manufacturing Engineering and Technology*, (5th ed.). Pearson Education Center
- Karpat, F., Çavdar, K. & Babalık, F. C. (2002). Bilgisayar yardımıyla düz, helisel, konik ve sonsuz vida dişli mekanizmalarının boyutlandırılması ve analizi. *Mühendis ve Makine Dergisi*, 510.
- Krishna, G. G. & Srinvas, K. (2012). Design of involute spur gears with asymmetric teeth and direct gear design. *International Journal of Engineering Research*, 1(6), 4.
- Laczik, B., Zentay, P. & Horváth, R. (2014). A new approach for designing gear profiles using closed complex equations. *Acta Polytechnica Hungarica*, 11(6), 159–172.
- Litvin, F. L. & Fuentes, A. (2004). *Gear Geometry and Applied Theory*. (2nd ed.). Cambridge: Cambridge University Press.
- Nordiana, J. O., Ogbeide, S. O., Ehigiamusoe, N. N. & Anyasi, F. I. (2007). Computer aided design of a spur gear. *Journal of Engineering and Applied Sciences*, 2(12), 1743-1747.
- Oladejo, K. A. & Ogunsade, A. A. (2014). Drafting of involute spur-gears in AutoCAD-VBA customized. *Advancement in Sciences and Technology Research*, 1(2), 18–26.
- Patil, S. S., Karuppanan, S. & Atanasovska, I. (2019). A short review on frictional contact stress distribution in involute gears. *Tribology in*

- Industry*, 41(2), 254-266.
<https://doi.org/10.24874/ti.2019.41.02.11>
- Reyes, O., Rebolledo, A. & Sanchez, G. (2008). Algorithm to describe the ideal spur gear profile. *Proceedings of the World Congress on Engineering*, 2(1), 978–988.
- Suslin, A. & Pilla, C. (2017). Study of Loading in Point-Involute Gears. *Procedia Engineering*, 176, 12–18.
<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.02.267>.
- Yiqiang, J., Li, H., Zhijun, S. & Huajun, X. (2014). Meshing features of involute arc teeth cylindrical gears. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*, 6(7), 2387- 2393.
- Zhao, X. & Vacca, A. (2017). Formulation and optimization of involute spur gear in external gear pump. *Mechanism and Machine Theory*, 117, 114–132.
<https://doi.org/10.1016/j.mechmachtheory.2017.06.020>.

EMG işareti ile FPGA tabanlı mod denetimli protez kol kontrolü

FPGA based mod-controlled prosthetic arm control with EMG signal

Uğur Can BOZ^{1,a}, Cengiz TEPE^{*1,b}, İdris SANCAKTAR^{1,c}

¹Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, 55139, Samsun

• Geliş tarihi / Received: 17.07.2021

• Düzeltilek geliş tarihi / Received in revised form: 21.10.2021

• Kabul tarihi / Accepted: 27.10.2021

Öz

Günümüzde elektromiyogram (EMG) işaretleri kas hastalıklarının tespiti, rehabilitasyon cihazları, protezler, ortezler ve insan hayatını kolaylaştırmak gibi birçok amaç ile kullanılmaktadır. Ancak gerçek zamanlı protez kol uygulamalarında, bu sistemlerin taşınabilir yapıda olması için hem kompakt bir yapıya sahip olması hem de güç tüketimi ve süre açısından optimum çözümler sunması gerekmektedir. Bu çalışmada, 2 kanallı EMG işaretleri kullanılarak Alanda Programlanabilir Kapı Dizisi (FPGA) tabanlı, gerçek zamanlı ve mod denetimli protez kol kontrolü gerçekleştirilmiştir. Ek bir sensöre ihtiyaç duymadan iki kasın birlikte kasılması ile farklı modlar arasında geçiş sağlanmıştır. FPGA kartı içerisinde EMG işaretinin ADC dönüşümü, 2 Hz alçak geçiren FIR süzgeç, eşikleme ve PWM işlemleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca her aşamada elde edilen veriler gerçek zamanlı olarak bilgisayar üzerinden izlenmesi sağlanmıştır. Çalışmanın sonucunda gerçekleştirilen protez kol hareketlerinde %98, mod değiştirme işleminin gerçekleştirilmesinde ise %99 doğruluk elde edilmiştir.

Anahtar kelimeler: EMG, FIR süzgeç, FPGA, Mod denetimi, Protez kol

Abstract

Nowadays, Electromyogram (EMG) signals are used for many purposes such as the detection of muscle diseases, rehabilitation devices, prostheses, orthoses and facilitating human life. However, in real-time prosthetic arm applications, these systems must have a compact structure and offer optimum solutions in terms of power consumption and time in order to be portable. In this study, Field Programmable Gate Array (FPGA) based, real-time and mode-controlled prosthetic arm control was performed using 2-channel EMG signals. By contracting two muscles together without the need for an additional sensor, switching between different modes is provided. ADC conversion of EMG signal, 2 Hz low pass FIR filter, thresholding and PWM operations are performed in the FPGA board. In addition, the data obtained at each stage was monitored in real-time on the computer. As a result of the study, 98% accuracy was achieved in the prosthetic arm movements and 99% in the mode change process.

Keywords: EMG, FIR filter, FPGA, Mode control, Prosthetic arm

^{*b} Cengiz TEPE; ctepe@omu.edu.tr, Tel: (0362) 312 19 19, orcid.org/0000-0003-4065-5207,

^a orcid.org/0000-0003-2460-6341

^c orcid.org/0000-0002-4790-0124

1. Giriş

1. Introduction

EMG işaretleri, kas kasılması sırasında üretilen fizyolojik işaretlerdir (Boschmann vd., 2015; Sudharsan vd., 2020). Bu işaretler, kasların üzerindeki cilt yüzeyinden elektrotlar yardımıyla elektrik potansiyelleri olarak okunabilirler (Boschmann vd., 2015; Thukral & Tyagi, 2015). EMG işaretleri yaşlı ve fiziksel engelli bireylere yardım amacıyla kullanılmasının yanında, ev ve ofis gibi ortamlarda insan hareketlerini desteklemek ve kolaylaştırmak amacıyla da kullanılabilir (Thukral & Tyagi, 2015). FPGA, yeniden yapılandırılabilir mantık blokları matrisi içeren ve ara bağlantılar yoluyla birbirine bağlanan dijital entegre devrelerdir (Chabchoub vd., 2015). FPGA paralel çalışabilmesinden ötürü, düşük saat frekanslarında ve gerçek zamanlı uygulamalarda kullanılabilir (Zhang vd., 2012). Ayrıca donanım tasarım dilleri (HDL) aracılığıyla birçok kez programlanabilmesi sayesinde gerçekleştirilen uygulamalarda esneklik sağlamaktadır (Zhang vd., 2012).

FPGA tabanlı EMG işaret kullanılarak yapılan birçok çalışma vardır. Bunlardan bazıları sinir iletim hız tespiti (Sudharsan vd. 2020), işaret analizi (Borbely vd., 2014; Chabchoub vd., 2015; Sundaram vd., 2016), kasılma yoğunluğuna göre kontrol işareti üretme (De Paula Felipe De Oliveira vd., 2014), protez kol kontrolü (Siddiq Ahmed vd., 2021; Tepe vd., 2020), protez parmak kontrolü (Ayvali vd., 2021) ve protez el kavrama kuvveti kontrolü (Prakash & Sharma, 2020; Wu vd., 2021) gibi çalışmalardır.

Literatürde FPGA kullanarak yapılan birçok protez kontrol çalışmaları vardır. Boschmann ve ark. 256 kanala kadar yüksek yoğunluklu elektromiyografi işaretlerinin (HD EMG) Zynq FPGA kartı üzerinde Doğrusal Diskriminant Analizi (LDA) ve zaman etki alanı (TD) özellikleri kullanarak sınıflandırılmasını sağlamıştır (Boschmann vd., 2015). Zhang ve ark. FPGA ve mikrodenetleyici kullanarak insan hareketlerini yürüyor, duruyor ve merdiven çıkıyor olmak üzere üç grupta sınıflandırmıştır (Zhang vd., 2012). Chen vd., 2016 3 kanallı EMG verileri, yongada sistem (System on Chip&SoC) mimarisi ve Naive Bayes

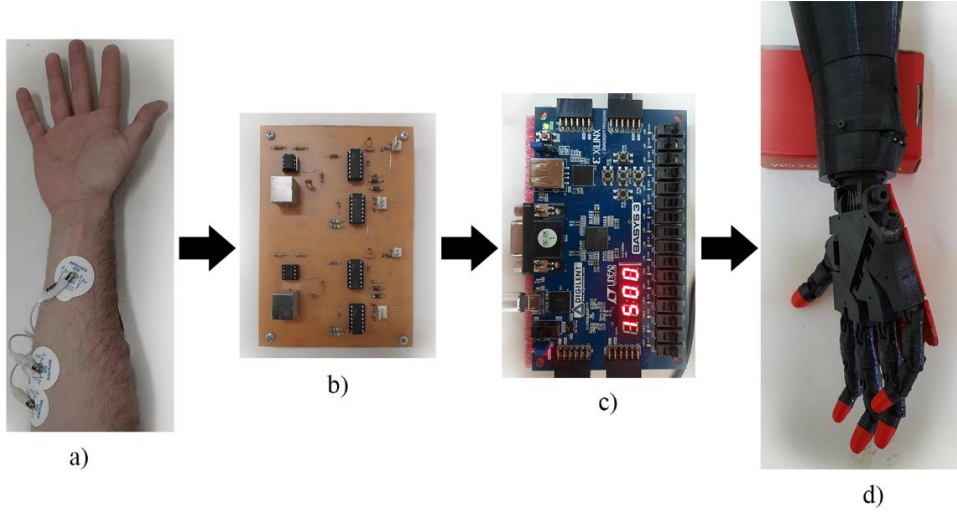
sınıflandırıcısı kullanılarak elde edilen veriler ile bağımsız olarak tasarlanmış kolun kontrolü sağlanmıştır. EMG işaretlerini bant geçiren süzgeç, yumuşatma ve eşikleme kullanarak robot kolu kontrol etmişlerdir (Caldwell vd., 2012).

Protez uygulamaları mümkün olduğu kadar kompakt bir yapıya ve düşük güç tüketimine sahip olmalıdır (Boschmann vd., 2015; Bu vd., 2004; Wöhrle vd., 2017). Ayrıca elde edilen veriler gerçek zamanlı olarak işlenebilme ve çeşitli sistemlerle iletişim halinde bulunma veya verileri kaydetme olanağı barındırmalıdır (Wöhrle vd., 2017). FPGA düşük güç tüketimi, boyut avantajı ve eş zamanlı çalışmasından ötürü protez kol uygulamaları için oldukça uygun bir seçimdir. Bu çalışmada FPGA geliştirme kartı üzerinde Anahtarlama Mod Yöntemi ve iki adet kas üzerinden elde edilen işaretler kullanılarak çok işlevli protez kol gerçek zamanlı kontrol edilmiştir. Elde edilen EMG işaretlerinin işlenmesi için 2 Hz alçak geçiren FIR süzgeç kullanılmış ve bu işaretlerin sınıflandırılmasında 4 farklı eşik değerinden yararlanılmıştır. Çalışmada tanımlanan modlar arasında geçişler elde edilen kontrol işaretleri ile harici bir sensor bilgisi kullanılmadan EMG işaretleri ile sağlanmıştır.

2. Materyal ve metod

2. Material and method

Bu çalışmada gerçekleştirilen sistemin genel yapısı Şekil 1'de gösterilmiştir. İki kanallı geri beslemeli yükselteç devresinden elde edilen işaretler FPGA ile 1 KHz örnekleme frekansı kullanılarak örneklenmiştir. EMG işareti frekans band aralığındaki yüksek frekans bileşenlerinden kaynaklı anlık olarak EMG işaretinin genliğinde değişimler oluşmaktadır. Bu değişimler stabil kontrol işaretinin oluşturulmasında bir engel teşkil etmektedir. Bundan dolayı, deneme yanılma yoluyla farklı frekanslarda alçak geçiren süzgeç kullanılarak en iyi sonucu veren 2 Hz kesim frekansı seçilmiştir. 2 Hz alçak geçiren süzgeç ile kontrol işaretlerinin oluşturulması sağlanmıştır. Elde edilen kontrol işaretleri kullanılarak protez kolun 6 farklı mod seçeneği ile kontrolü sağlanmıştır.



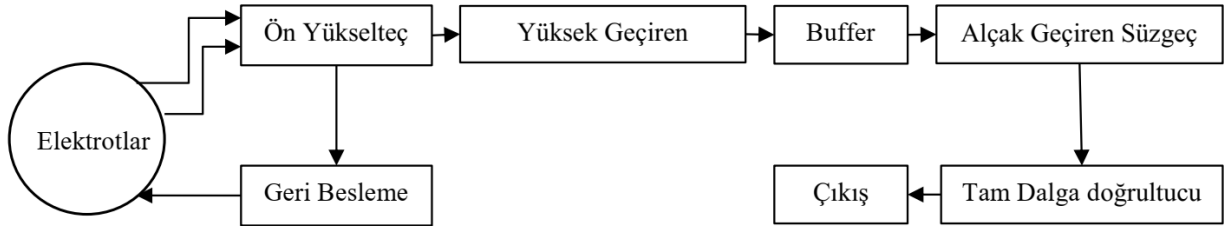
Şekil 1. Sistemin genel yapısı: a) Elektrot yerleşimi, b) İki kanallı geri beslemeli yükselteç devresi, c) FPGA, d) Protez kol

Figure 1. General structure of the system: a) Electrode placement, b) Two-channel feedback amplifier circuit, c) FPGA, d) Prosthetic arm

2.1. EMG veri alımı

2.1. EMG data acquisition

Bu çalışmada kullanılan iki kanallı geri beslemeli yükselteç devresinin blok şeması Şekil 2’de



Şekil 2. Tek kanallı geri beslemeli yükselteç devresi blok diyagramı

Figure 2. The block diagram of the single-channel feedback amplifier circuit

Elektrot yerleşimleri Şekil 3’de verilmiştir. Şekil 5’de gösterilen birinci kanal EMG işareti Şekil 3.a ekstansör digitorum ve ikinci kanal

verilmiştir. Bu yükselteç devresi ön yükselteç, yüksek geçiren, buffer, alçak geçiren süzgeç, tam dalga doğrultucu ve geri besleme bölümlerinden oluşmaktadır. EMG işareti 3000 kat yükselmiştir (Tepe & Eminoğlu, 2014).



a)



b)

Şekil 3. Elektrot yerleşimleri: a) Ekstansör digitorum, b) Fleksör kalpi ulnaris

Figure 3. Electrode placements: a) Extensor digitorum, b) Flexor carpi ulnaris

EMG işaretleri Şekil 4’te gösterilen el hareketleri kullanılarak elde edilmiştir. El açık konumu dinlenme konumudur. Yumruk

hareketi ile elde edilen işaretlerle, üçüncü ve dördüncü eşik değerleri kullanılarak mod değişikliği için kontrol işaretleri

üretilmektedir. El dışarı ve el içeri el hareketleri ile elde edilen işaretlerle ise birinci ve ikinci eşik değerleri kullanılarak protezin

bulunduğu mod içerisindeki hareketinin değiştirilmesi için kontrol işaretleri üretilmiştir.



Şekil 4. El hareketleri: a) El açık (dinlenme konumu), b) Yumruk Hareketi, c) El dışarı, d) El içeri
Figure 4. Hand movements: a) Hand open (resting position), b) Fist Movement, c) Hand out, d) Hand in

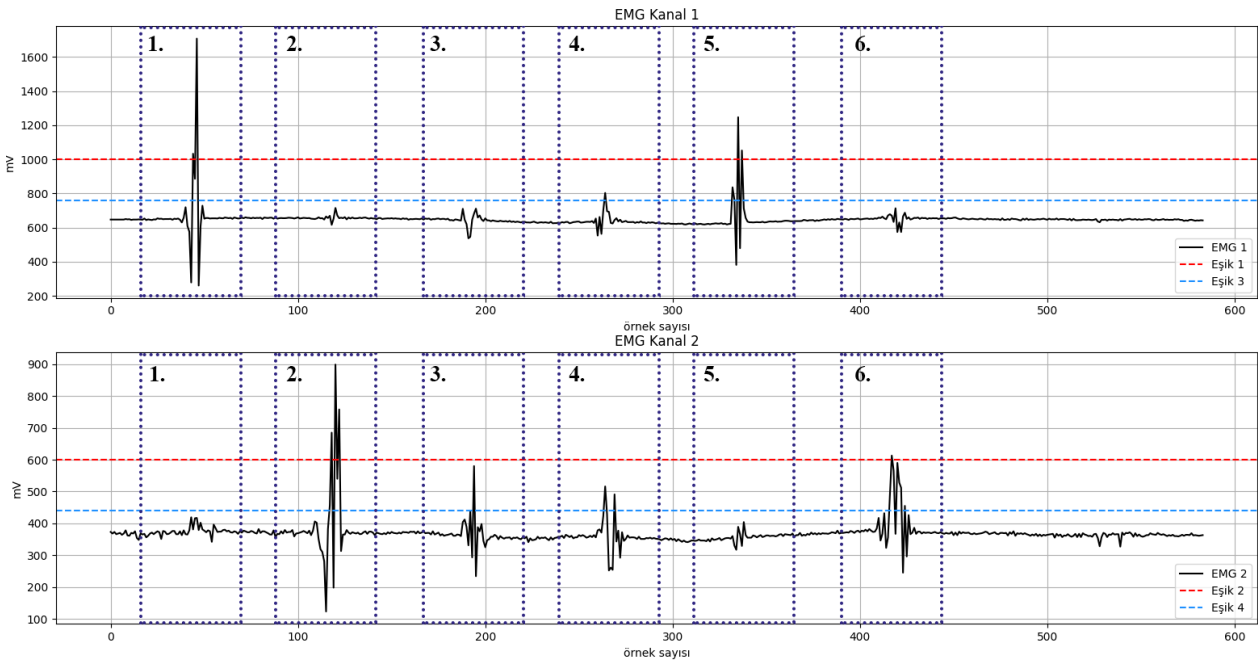
2.2. Eşikleme yöntemi

2.2. Thresholding method

Modlar arası geçişler iki kanaldan alınan EMG verilerinin eşiklenmesi sonucu elde edilen kontrol işaretleri ile sağlanmıştır. Ayrıca FPGA kartı üzerinde harici olarak mod değişikliği de gerçekleştirilebilmektedir.

Örneklenen EMG işaretlerinden kontrol işaretlerinin elde edilmesi aşamasında, öncelikle örneklenen işaretler 2 Hz FIR süzgeçten geçirilir ve ardından bu işaretler üzerinde eşikleme işlemi gerçekleştirilir. Eşikleme işlemi gerçekleştirilirken her bir kanal için mod kontrol ve protez kol kontrol işaretlerini elde etmek amacıyla iki farklı eşik değeri ele alınır. Eşik değerleri EMG işaretlerinin offset seviyesi ve elin hareketleri dikkate alınarak deneme yanılma ile bulunur.

Şekil 5'te, gerçekleştirilen çalışmada birinci ve ikinci kanaldan elde edilen EMG işaretlerinin, 2 Hz alçak geçiren FIR süzgeç çıkışındaki işaretleri gösterilmektedir. Bu işaretle birinci ve beşinci işaret el içeri hareketi, ikinci ve altıncı işaret el dışarı hareketi ve son olarak üçüncü ve dördüncü işaretler yumruk hareketi sonucunda elde edilmiştir. Bu durumlar dikkate alındığında el içeri hareketleri kullanılarak birinci eşik değeri, el dışarı hareketleri kullanılarak ikinci eşik değeri ve yumruk hareketleri kullanılarak üçüncü ve dördüncü eşik değerleri elde edilir. Ardından geliştirme kartı üzerinden deneme yanılma ile bu değerlerde iyileştirmeler gerçekleştirilir. Birinci kanal için ilk eşik değeri 1000 ve ikinci eşik değeri 760 olarak belirlenmiştir. İkinci kanal için bu değerler ilk ve ikinci eşik değeri olmak üzere sırayla 600 ve 440 olarak belirlenmiştir.



Şekil 5. İki kanallı EMG işareti
Figure 5. Two-channel EMG signal

2.3. FPGA kartı

2.3. FPGA board

Bu çalışmada Şekil 1.c’de gösterilen günümüzde geniş I/O birimine, FPGA geliştirmek için temel birimlere ve Vivado ücretsiz versiyon desteğine sahip olmasından ötürü yaygın olarak kullanılan bir geliştirme kartı kullanılmıştır (Digilent Inc, 2021).

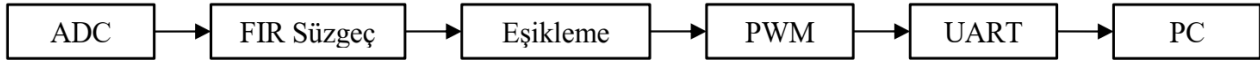
Kullanılan FPGA kartı chip üzerinde dahili ADC (Analog Digital Converter) modülüne sahiptir. Geliştirme kartının ADC referans gerilimi 1 voltur ve 12 bit çözünürlüğe sahiptir. Bu sayede 244 uV çözünürlük sağlayabilir. Ayrıca 1 MSPS (Mega Samples Per Second) örnekleme frekansı sayesinde çalışmalar için ayrıntılı veri kümeleri sağlayabilir.

2.4. FPGA mimari tasarımı

2.4. FPGA architecture design

FPGA eş zamanlı çalışabilmesi sayesinde elimizdeki donanım koşullarının el verdiği düzeyde paralel ya da seri olarak donanım

tasarımını mümkün kılmaktadır. Bu tasarım donanım dilleri aracılığıyla gerçekleştirilmektedir. Donanım dilleri kodlama ile bir donanım tasarımının gerçekleştirilmesini mümkün kılmaktadır. Gerçekleştirilen bu çalışmada yaygın olarak kullanılan donanım dillerinden bir tanesi olan VHDL kullanılmıştır. Çalışma da kullanılan iki ana eş zamanlı döngü Şekil 6’ de gösterilmiştir. İlk döngüde yükselteç devresinden alınan EMG işaretleri 1 KHz örnekleme frekansı ile örneklenir. Bu işaret 2 Hz alçak geçiren FIR süzgeçten geçirilerek Şekil 5’de gösterilen EMG1 ve EMG2 işaretleri elde edilir. Ardından bu işaretlerin 2 tanesi mod değişikliği ve iki tanesi protez hareketlerinin kontrolünü sağlamak için toplamda 4 farklı eşik değeri kullanarak kontrol işaretleri elde edilir. Tüm elde edilen EMG verileri UART protokolü kullanılarak bilgisayara gönderilmektedir. İkinci eş zamanlı döngüde ise güncellenen mod değerleri ve hareket işaretleri kullanılarak sonlu durum makineleri yardımıyla protez kontrol işaretleri üretilir.

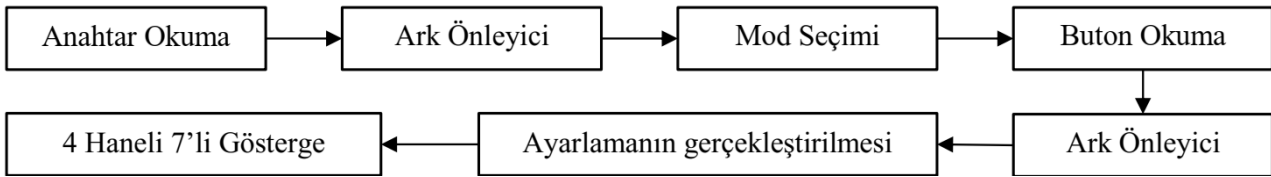


Şekil 6. EMG işaretlerinin FPGA içerisinde işlenmesi

Figure 6. The processing of the EMG signals with FPGA

Kullanım kolaylığı sağlaması amacıyla butonlar ve 7 segment üzerinde 9 farklı fonksiyona sahip menü oluşturulmuştur. Şekil 7’de gösterilen bu menü yardımıyla örnekleme sonucunda her bir kanal için elde edilen EMG genlik değerleri ve bunların süzgeç çıkışları 7 segment üzerinde gösterilebilmektedir (ikinci, üçüncü, dördüncü ve beşinci modlar). Altıncı,

yedinci, sekizinci ve dokuzuncu fonksiyonlar kullanılarak kontrol işaretlerinin oluşturulması amacıyla belirlenen 4 farklı eşik değeri görüntülenebilmekte ve ayarlanabilmektedir. Birinci fonksiyon ise protezin hareketleri için yapılandırılmış 6 farklı moddan hangisinde çalışmakta olduğunu göstermekte ve ayarlanmasını sağlamaktadır.



Şekil 7. Kullanıcı ekranı çalışma diyagramı

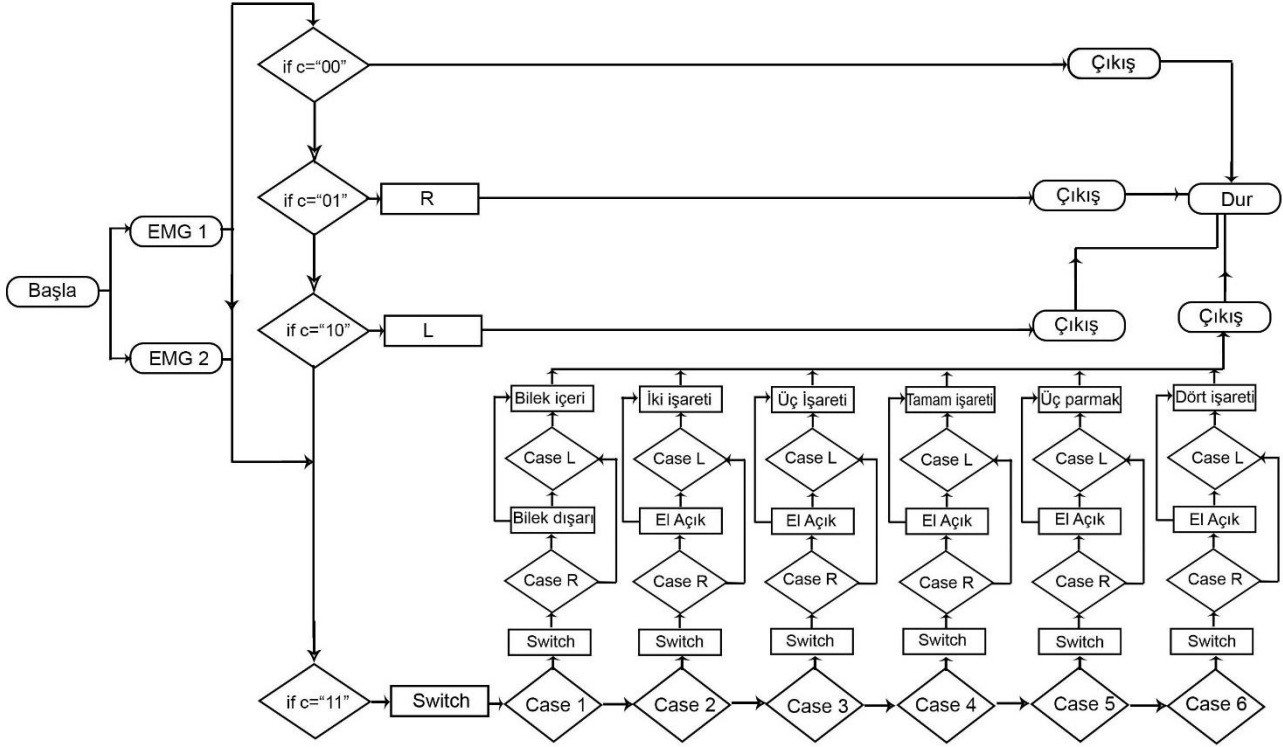
Figure 7. User screen working diagram

Gerçekleştirilen çalışma için genel akış diyagramı Şekil 8’da verilmiştir. Akış diyagramında gösterilen EMG1 birinci kanaldan alınan ve EMG2 ise ikinci kanaldan alınan EMG işaretlerini göstermektedir. Bu işaretlerden elde edilen kontrol işaretleri Şekil 5’te gösterilmiştir. 2 kanallı EMG işaretleri kullanılarak 4 farklı kontrol işareti elde

edilmiştir. Birinci durumda (el dinlenme hareketi, c = “00”), iki kontrol işaretinin 4 eşik değerinin de altında kaldığı durum gösterilmiş ve bu durumda sistem çıktısı güncellenmemiştir. İkinci durumda (el içeri hareketi, c = “01”) ise birinci kanalın genlik değeri birinci eşik değerini geçmesi ve ikinci kanalın hiçbir eşik değerini geçmemesi

durumu gösterilmiştir. Bu durumda protez hareketlerinin güncellenmesi için yön işareti R konumuna güncellenmiştir. Üçüncü durumda (el dışarı hareketi, c = "10") ikinci işaretin ikinci eşik değerini geçmesi ve ilk işaretin hiçbir eşik değerini geçmemesi durumu gösterilmiştir. Bu durumda yön işareti L olarak güncellenmiştir. Son durumda (yumruk hareketi, c = "11") iki işaretin üçüncü ve

dördüncü eşik değerlerini geçmesi durumu kontrol edilmiştir. Bu durumda mod değeri bir artırılmıştır. Bu işlemlerle eş zamanlı olarak, güncellenen 6 farklı mod değerleri ve her bir mod içerisindeki iki farklı (R, L) kontrol işaretinden yararlanarak 250 ms'lik periyotlarda protez kol için oluşturulan PWM işaretlerinin güncellenmesi sağlanmıştır.



Şekil 8. FPGA akış diyagramı

Figure 8. FPGA flowchart

2.5. FPGA ve RC servo motor bağlantısı

2.5. FPGA and RC servo motor connection

Çalışmada kullanılan protez kolda parmaklar için 5 ve bilek için 1 tane olmak üzere toplamda 6 tane RC servo motor kullanılmıştır. Bu RC servo motorlar için kullanıldığı duruma bağlı olarak farklı açı değerleri kullanıldığından farklı PWM işaretleri üretilmiştir. RC Servo motorların beslemesi ise harici olarak güç kaynağı üzerinden sağlanmıştır.

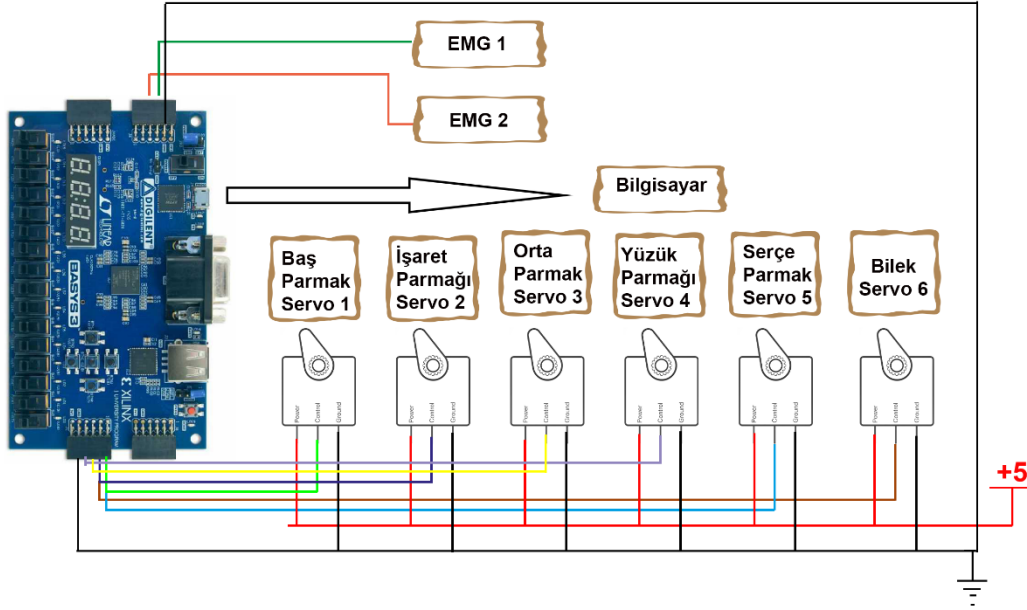
Kullanılan geliştirme kartı üzerinde birçok giriş/çıkış pini mevcuttur. Ancak bu kartta çevresel birim ya da modül olarak hazır bir PWM çıkışı mevcut değildir. Bu nedenle çıkış pinleri kullanılarak, PWM işaretleri oluşturulmuştur. Kullanılan RC servo motorların güncelleme değerlerinden dolayı oluşturulan bu işaretlerin güncelleme frekansları 4 Hz olarak ayarlanmıştır.

FPGA ve RC servo motor bağlantıları Şekil 9'da gösterilmiştir.

Kullanılan her bir RC servo motor için iki farklı PWM işareti oluşturulmuştur. RC servo motorların hareket açı değerleri Tablo 1'de verilmiştir. RC Servo motorların birinci açı değerleri ilk beş RC servo motor için 0 derece, altıncı RC servo motor için ise 10 derecedir. Her bir RC servo motorun ikinci açı değerleri ise birinci RC servo motordan altıncı RC servo motora kadar sırayla olmak üzere 100, 120, 120, 100, 100, 160'tır. Protez kol ile iki işareti gerçekleştirmek için, birinci ve ikinci RC servo motorlar 0, üçüncü RC servo motor 120, dördüncü ve beşinci RC servo motorlar 100 derece olarak ayarlanmıştır. Üç işareti için birinci ve beşinci RC servo motorlar 100 derece, ikinci, üçüncü ve dördüncü RC servo

motorlar 0 derece olarak ayarlanmıştır. El Açık (dinlenme konumu) için tüm RC servo motorlar 0 derece olarak ayarlanmıştır. Tamam işareti için birinci servo motor 0 derece, ikinci ve üçüncü RC servo motor 120 derece, dördüncü ve beşinci RC servo motorlar 100 derece olarak ayarlanmıştır. Üç parmak el hareketi için birinci, ikinci ve beşinci RC servo motorlar 0 derece, üçüncü RC servo motor 120 derece, dördüncü RC servo motor 100 derece

olarak ayarlanmıştır. Dört işareti için beşinci servo motor 100 derece, birinci, ikinci, üçüncü ve dördüncü RC servo motorlar 0 derece olarak ayarlanmıştır. Bilek içeri hareketi için altıncı RC servo motor 10 derece, bilek dışarı için ise 160 derece olarak ayarlanmıştır. Farklı modlar da bilek ve parmak durumları değiştirilebilir bu sayede tüm el hareketleri hem bilek içeride hem de bilek dışarıda iken gerçekleştirilebilir.



Şekil 9. RC Servo motor ve FPGA elektrik bağlantıları

Figure 9. RC Servo motor and FPGA electrical connections

Kullanılan her bir RC servo motor için iki farklı PWM işareti oluşturulmuştur. RC servo motorların hareket açı değerleri Tablo 1'de verilmiştir. RC Servo motorların birinci açı değerleri ilk beş RC servo motor için 0 derece, altıncı RC servo motor için ise 10 derecedir. Her bir RC servo motorun ikinci açı değerleri ise birinci RC servo motordan altıncı RC servoya kadar sırayla olmak üzere 100, 120, 120, 100, 100, 160'tır. Protez kol ile iki işareti gerçekleştirmek için, birinci ve ikinci RC servo motorlar 0, üçüncü RC servo motor 120, dördüncü ve beşinci RC servo motorlar 100 derece olarak ayarlanmıştır. Üç işareti için birinci ve beşinci RC servo motorlar 100 derece, ikinci, üçüncü ve dördüncü RC servo motorlar 0 derece olarak ayarlanmıştır. El Açık (dinlenme konumu) için tüm RC servo motorlar 0 derece olarak ayarlanmıştır. Tamam işareti için birinci servo motor 0 derece, ikinci ve üçüncü RC servo motor 120 derece, dördüncü ve beşinci RC servo motorlar 100

derece olarak ayarlanmıştır. Üç parmak el hareketi için birinci, ikinci ve beşinci RC servo motorlar 0 derece, üçüncü RC servo motor 120 derece, dördüncü RC servo motor 100 derece olarak ayarlanmıştır. Dört işareti için beşinci servo motor 100 derece, birinci, ikinci, üçüncü ve dördüncü RC servo motorlar 0 derece olarak ayarlanmıştır. Bilek içeri hareketi için altıncı RC servo motor 10 derece, bilek dışarı için ise 160 derece olarak ayarlanmıştır. Farklı modlar da bilek ve parmak durumları değiştirilebilir bu sayede tüm el hareketleri hem bilek içeride hem de bilek dışarıda iken gerçekleştirilebilir.

Uygulamada 6 farklı mod denetimi gerçekleştirilmiş ve bu sayede programın farklı döngülere girmesi sağlanmıştır. Tanımlanan modlarda programın el hareketlerine karşı üreteceği protez kol hareketleri Tablo 2'de gösterilmiştir. Burada, üst kısımda gösterilen yumruk hareketi ile modlar arası geçiş ve tablonun sol kısmında gösterilen el içeri ve el

dışarı hareketleri ile seçili modda tanımlı iki hareket arasında geçişler kontrol edilmiştir. Mod değiştirme işlemi yumruk hareketi

yapılarak değiştirilebileceği gibi butonlar ve 7 segment ile sunulan fonksiyonlar ile de değiştirilebilmektedir.




Tablo 1. RC servo motor açı aralık değerleri

Table 1. The angle range values of RC servo motors

Servo Motor	İki İşareti (°)	Üç İşareti (°)	El Açık (°)	Tamam İşareti (°)	Üç Parmak (°)	Dört İşareti (°)	Bilek dışarı (°)	Bilek İçeri (°)
Servo Motor 1	0	100	0	0	0	0	0;100	0;100
Servo Motor 2	0	0	0	120	0	0	0;120	0;120
Servo Motor 3	120	0	0	120	120	0	0;120	0;120
Servo Motor 4	100	0	0	100	100	0	0;100	0;100
Servo Motor 5	100	100	0	100	0	100	0;100	0;100
Servo Motor 6	10;160	10;160	10;160	10;160	10;160	10;160	10	160

Tablo 2. Protez kontrolü için gerekli el hareketleri

Table 2. The hand gestures required for controlling the prosthetic arm

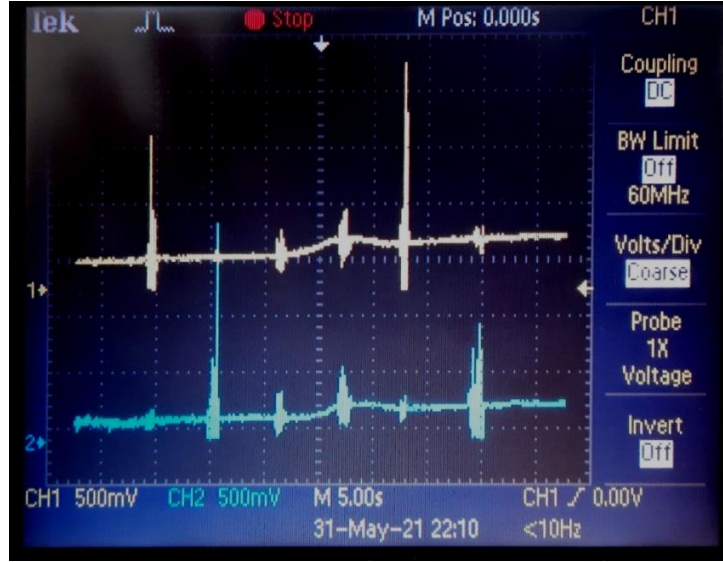
El Hareketleri						
	Mod 1	Mod 2	Mod 3	Mod 4	Mod 5	Mod 6
	El açık	El açık	El açık	El açık	El açık	Bilek içeri
	Dört İşareti	Üç parmak	Tamam işareti	Üç işareti	İki işareti	Bilek dışarı

3. Bulgular ve tartışma

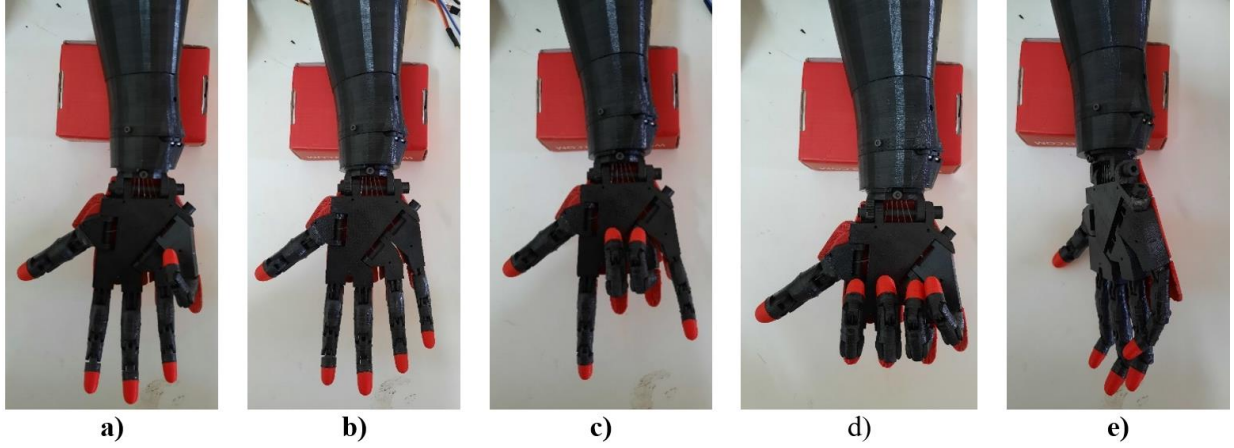
3. Results and discussion

Şekil 10'de iki kanallı geri beslemeli yükselteç devresinin çıkışında EMG işaretlerine ait osiloskop görüntüsü yer almaktadır. Şekilden EMG işaretlerinin başarılı bir şekilde yükseltildiği görülmektedir. Ayrıca Şekil 5'te bu işaretlerin FPGA ile örneklenmesi ve süzgeçlenmesi sonucunda bilgisayara gönderilen işaretler gösterilmektedir.

Bu işaretler kullanılarak protez kolun bilek içeri-dışarı hareketleri ve parmak hareketleri gerçekleştirilmiştir. Bazı protez el görüntüleri Şekil 11'de verilmiştir. Çalışma sonucunda sağlıklı bir katılımcı üzerinde gerçekleştirilen 100 denemede, el dışarı-içeri hareketleri ile elde edilen kontrol işaretlerinde %98 ve yumruk hareketi ile elde edilen mod değiştirme hareketinde %99 başarımla sağlanmıştır.



Şekil 10. İki kanallı EMG işaretinin osiloskop görüntüsü
Figure 10. Oscilloscope image of two-channel EMG signal



Şekil 11. Protez el görüntüleri: a) Dört işareti, b) El açık, c) Üç parmak işareti, d) Tamam işareti, e) Bilek dışarı

Figure 11. Prosthetic arm images: a) Four sign, b) Hand open sign, c) Three finger sign, d) OK sign, e) Wrist out sign

Tablo 3'te gerçekleştirilen uygulamaya ait kaynak kullanımları gösterilmektedir. Burada, toplam 20800 tane birleşik mantık kapıları (LUT), 41600 tane hafıza elemanı (FF), 90 tane sayısal işaret işleme birimi (DSP), 106 tane giriş-çıkış terminali (IO) ve 32 tane tampon bellek (BUFG) bulunmaktadır.

Mevcut kaynak tüketimi göz önüne alındığında uygulamanın büyütülmesi ve geliştirilmesi için kaynak kapasitesi uygun olduğu görülmektedir. Örneğin, FPGA'de toplam 90 adet DSP bulunmasına rağmen bu çalışmada sadece 51 tanesi kullanılmıştır.

Tablo 3. FPGA Kaynak kullanımı
Table 3. FPGA resource utilization

Kaynak	Kullanılan (adet)	Toplam (adet)	Kullanılan (%)
LUT	1316	20800	6.3
FF	1545	41600	3.7
DSP	51	90	56.7
IO	35	106	33.0
BUFG	4	32	12.5

Tablo 4'te bu çalışmanın literatürde gerçekleştirilmiş diğer çalışmalarla güç

tüketimi, gecikme ve doğruluk açısından karşılaştırılması verilmiştir.

Tablo 4. FPGA ile gerçekleştirilmiş protez kol çalışmaları
Table 4. Prosthetic arm studies performed with FPGA

Referans (kaynak)	Güç tüketimi (W)	Gecikme (ms)	Doğruluk (%)
(Zhang vd., 2012)	x	104	99.31
(Chen vd., 2016)	x	x	92
Bu çalışma	0.140	24	99

Literatürde gerçekleştirilmiş benzer çalışmalar vardır (Ayvalı vd., 2021; Borbely vd., 2014; De Paula Felipe De Oliveira vd., 2014; Prakash & Sharma, 2020; Siddiq Ahmed vd., 2021; Wu vd., 2021). Ancak bu çalışmalarda güç tüketimi, kontrol işareti gecikmesi veya doğruluk açısından veri paylaşımı yapılmamıştır. Ayrıca çok modlu kontrol yapısına sahip değildirler. Naive Bayes sınıflandırıcısına dayalı protez el kontrolü gerçekleştirilmiştir. Çalışmada chip kullanımı daha düşüktür ancak sınıflandırma için 3 kanallı EMG işareti kullanılmıştır (Chen vd., 2016). Bunun yanında bu çalışmaya göre daha düşük bir doğruluk elde edilmiştir. Zhang ve ark. FPGA ve mikrodenetleyici kullanarak protez ayak hareketlerini üç grupta sınıflandırmıştır (Zhang vd., 2012). Gerçekleştirilen çalışmanın doğruluk oranı bu çalışma ile aynıdır ancak 4 kat daha büyük gecikme süresine sahiptir. TEPE ve ark. gerçekleştirdiği çalışmada mod değiştirme için ivmeölçer sensör kullanmışlardır (Tepe vd., 2020). Ancak bu çalışmada mod değiştirmek için insan doğasına daha uygun olan ön koldaki iki kasın aynı anda kasılması kullanılmıştır.

4. Sonuçlar

4. Conclusions

Bu çalışmada, FPGA kartı ile 2 kanallı EMG işaretleri kullanılarak yeniden yapılandırılabilir gerçek zamanlı mod denetimli protez kol uygulaması gerçekleştirilmiştir. Ayrıca modlar arası geçiş harici bir sensör kullanılmadan insan doğasına daha uygun olan EMG işareti ile gerçekleştirilmiştir. Literatürdeki diğer çalışmalara göre daha kısa sürede protez kol kontrolü sağlanmıştır. Gerçekleştirilen bu çalışmada 24 ms gecikme süresi ve 0.140 W güç tüketimi ile protez kol kontrolü %98 ve mod geçiş kontrollü %99 doğruluk oranı elde edilmiştir. Bunlara ek olarak analogdan sayısala dönüştürme, sayısal süzgeç, eşikleme ve PWM işaretlerinin üretilmesi gibi birçok işlem tek chip üzerinde gerçekleştirilmiştir.

Gelecek çalışmalar da sistemin genel yapısı değiştirilmeden çok kanallı uygulamalar için

genişletilebilir. Ek olarak, uygulamanın kullanıldığı alana bağlı olarak daha düşük kaynak kullanımının istendiği durumlarda DFF yerine BRAM, daha düşük kontrol gecikmesi istenen uygulamalarda ise FIR süzgeç sıralı tasarım yerine eş zamanlı olarak gerçekleştirilebilir.

Yazar katkısı

Author contribution

Tüm yazarlar makalenin her aşamasında eşit oranda katkı sağlamışlardır.

Etik beyanı

Declaration of ethical code

Bu makalenin yazarları, bu çalışmada kullanılan materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel izin gerektirmediğini beyan etmektedir.

Çıkar çatışması beyanı

Conflicts of interest

Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Kaynaklar

References

- Ayvalı, M., Wickenkamp, I. & Ehrmann, A. (2021). Design, construction and tests of a low-cost myoelectric thumb. *Technologies*, 9(3), 63. <https://doi.org/10.3390/technologies9030063>
- Borbely, B. J., Kincses, Z., Voroshazi, Z., Nagy, Z. & Szolgay, P. (2014). A modular test platform for real-time measurement and analysis of EMG signals for improved prosthesis control. *International Workshop on Cellular Nanoscale Networks and their Applications*, 1-2. <https://doi.org/10.1109/CNNA.2014.6888643>
- Boschmann, A., Agne, A., Witschen, L., Thombansen, G., Kraus, F. & Platzner, M. (2015). FPGA-based acceleration of high density myoelectric signal processing. *2015 International Conference on Reconfigurable Computing and*

- FPGAs, 123, 77–89.
<https://doi.org/10.1016/j.jpdc.2018.07.004>
- Bu, N., Hamamoto, T., Tsuji, T. & Fukuda, O. (2004). FPGA implementation of a probabilistic neural network for a bioelectric human interface. *The 2004 47th Midwest Symposium on Circuits and Systems*, iii–29.
<https://doi.org/10.1109/MWSCAS.2004.1354283>
- Caldwell, P., Al-Bayat, R., Kellar, C. & Shin, I. (2012). Biomechanics: surface electromyography prosthesis control. *5th International Conference on BioMedical Engineering and Informatics (BMEI 2012)*, 786–789.
<https://doi.org/10.1109/BMEI.2012.6512954>
- Chabchoub, S., Mansouri, S. & Salah, R. B. (2015). Biomedical monitoring system using LabVIEW FPGA. *2015 World Congress on Information Technology and Computer Applications*, 1–5.
<https://doi.org/10.1109/WCITCA.2015.7367020>
- Chen, X., Ke, A., Ma, X. & He, J. (2016). SoC-based architecture for robotic prosthetics control using surface electromyography. *8th International Conference on Intelligent Human-Machine Systems and Cybernetics, I*, 134–37.
<https://doi.org/10.1109/IHMISC.2016.31>
- De Paula Felipe De Oliveira, J., Junior, E. A. & Roda, V. O. (2014). A reconfigurable control system using EMG. *2014 IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC) Proceedings*, 1318–1321.
<https://doi.org/10.1109/I2MTC.2014.6860959>
- Digilent Inc.: Basys 3 FPGA board reference manual power supplies. (2021, July 15).
<https://www.digilentinc.com>
- Prakash, A. & Sharma, S. (2020). A low-cost system to control prehension force of a custom-made myoelectric hand prosthesis. *Research on Biomedical Engineering*, 36(3), 237–47.
<https://doi.org/10.1007/s42600-020-00064-w>
- Siddiq Ahmed, S., Almusawi, A. R. J., Yilmaz, B. & Dogru, N. (2021). Design and multichannel electromyography system-based neural network control of a low-cost myoelectric prosthesis hand. *Mechanical Sciences*, 12(1), 69–83.
<https://doi.org/10.5194/ms-12-69-2021>
- Sudharsan, R. R., Deny, J., Muthukumar, E. & Selvi, S. C. (2020). Design, implementation, and estimation of MFCV for 4-different position of human body using FPGA. *Microelectronics Journal*, 105.
<https://doi.org/10.1016/j.mejo.2020.104890>
- Sundaram, K., Marichamy & Pradeepa. (2016). FPGA based filters for EEG pre-processing. *2016 2nd International Conference on Science Technology Engineering and Management (ICONSTEM) (ss. 572–576)*.
<https://doi.org/10.1109/ICONSTEM.2016.7560958>
- Tepe, C. & Eminoğlu, İ. (2014). Düşük maliyetli mayo-elektrik denetimli protez el projesi. *16. Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı (ss. 657–662)*. Kocaeli.
- Tepe, C., Erdim, M. & Eminoğlu, I. (2020). Myo bileklik ile gerçek zamanlı protez kol kontrolü. *European Journal of Science and Technology*, 184–93. <https://doi.org/10.31590/ejosat.779672>
- Thukral, R., Gulshan, M. & Tyagi, M. P. (2015). Hardware implementation to develop prosthetic hand-a review. *International Journal of Engineering Development and Research*, 3(3).
- Wöhrle, H., Tabie, M., Kim, S. K., Kirchner, F. & Kirchner, E. A. (2017). A hybrid FPGA-based system for EEG- and EMG-based online movement prediction. *Sensors (Switzerland)* 17(7). <https://doi.org/10.3390/s17071552>
- Wu, H., Dyson, M. & Nazarpour, K. (2021). Arduino-based myoelectric control: towards longitudinal study of prosthesis use. *Sensors (Switzerland)*, 21(3), 1–13. <https://doi.org/10.3390/s21030763>
- Zhang, X., Huang, H. & Yang, Q. (2012). Implementing an FPGA system for real-time intent recognition for prosthetic legs. *Proceedings - Design Automation Conference (ss. 169–175)*. New York: Association for Computing Machinery. <https://doi.org/10.1145/2228360.2228394>

Yabani kuşburnu ağacı talaşının sodyum hidroksit impregnasyonu ile elde edilen aktif karbon kullanılarak kinolin sarısı boyar maddesinin sulu çözeltilerden giderimi

Removal of quinoline yellow dyestuff from aqueous solutions using activated carbon obtained by sodium hydroxide impregnation of wild rosehip wood sawdust

İlyas GENEL^{*1,a}, Yaşar GENEL^{1,b}

¹Van Yüzyüncü Yıl Üniversitesi, Eğitim Fakültesi, Kimya Eğitimi Bölümü, 65100, Van

• Geliş tarihi / Received: 05.08.2021

• Düzeltilecek geliş tarihi / Received in revised form: 21.10.2021

• Kabul tarihi / Accepted: 27.10.2021

Öz

Bu çalışmada Van ili ve çevrelerinde yetişen yabani kuşburnu ağacından elde edilen talaşlar aktif karbon üretiminde kullanılmıştır. Aktif karbon üretiminde yabani kuşburnu ağaç talaşına (hammadde) NaOH (sodyum hidroksit) ile 1:1 oranında impregnasyon işlemi uygulanmış ve de azot gazı ortamında 800 °C piroliz edilmiştir. Üretilen aktif karbonun Langmuir yüzey alanı 1564.3621 m²/g olarak bulunmuştur. Elde edilen bu aktif karbonun gıda üretiminde de kullanımı olan ve katyonik bir boyarmadde olan kinolin sarısının sıcaklık, konsantrasyon ve doğal pH'sında (pH:6.02) adsorpsiyonu incelenmiştir. Üretilen aktif karbon tarafından maksimum kinolin sarısı adsorpsiyonu belirlenerek, Langmuir, Freundlich, Temkin ve D-R adsorpsiyon izoterm modellerine göre uyumu gözlenmiştir. R²=0.996 değerine sahip Langmuir adsorpsiyon izotermiyle uyumlu olduğu görülmüştür. Kinetik model olarak; yalancı birinci derece kinetik modeli, yalancı ikinci derece kinetik modeli, elovich ve interpartiküler kinetik modellerinin uyumluluğuna bakılmış ve adsorpsiyonun yalancı ikinci dereceden kinetik modeline uyumlu olduğu belirlenmiştir. Çalışmada konsantrasyon ölçümleri UV spektrofotometre ile yapılmıştır. Adsorpsiyon denge verilerinde adsorplanan en yüksek değer 245.6885 mg/g bulunmuştur. Üretilen aktif karbonun sulu çözeltilerden kinolin boyarmaddesinde gideriminde kullanılabilir niteliktedir.

Anahtar kelimeler: Adsorpsiyon, Aktif karbon, İmpregnasyon, Yabani kuşburnu ağacı

Abstract

In this study, wild rosehip tree shavings that can be grown in Van and its region were used in the production of activated carbon. In the production of activated carbon, wild rosehip wood sawdust (raw material) was impregnated with NaOH (sodium hydroxide) at a ratio of 1:1 and pyrolyzed at 800 °C in a nitrogen gas environment. The Langmuir surface area of the produced activated carbon was found to be 1564.3621 m²/g. The adsorption of quinoline yellow, a cationic dyestuff, which is also used in food production as an adsorbed substance, at temperature, concentration and natural pH (pH:6.02) was investigated. Maximum quinoline yellow adsorption was determined by the produced activated carbon and its compatibility was observed according to Langmuir, Freundlich, Temkin and D-R adsorption isotherm models. It was found to be compatible with the Langmuir adsorption isotherm with R²=0.996. As a kinetic model, The compatibility of the pseudo-first-order kinetic model, pseudo-second-order kinetic model, elovich and interparticular kinetic models was examined and it was determined that adsorption was compatible with the pseudo-second-order kinetic model. In the study, concentration measurements were made with UV spectrophotometer. The highest adsorbed value in the adsorption equilibrium data was found to be 245.6885 mg/g. It is thought that the produced activated carbon can be used for dye removal from aqueous solutions.

Keywords: Adsorption, Activated carbon, Impregnation, Wild rosehip tree

*a İlyas GENEL; ilyas_genel@hotmail.com, Tel: (0541) 827 67 45, orcid.org/0000-0001-7937-7086

^b orcid.org/0000-0002-0742-774X

1. Giriş

1. Introduction

Yaşam için vazgeçilmez bir öneme sahip olan suya birçok doğal ve yapay özellikli kimyasal maddeler karışmaktadır. Sularda kirliliğe yol açan kontrollü veya kontrolsüz olarak doğaya bırakılan bu kimyasal maddeler canlılarda birtakım hasarların oluşmasına neden olmaktadır. Özellikle canlıların DNA ve RNA gibi hücresel yönetim ve bilgi zincirlerinin moleküler yapısına etki ederek mutasyonlar oluşturmakta ve bu mutasyonlar da büyük oranda canlıda kanserleşmeye neden olmaktadır (Baytar vd., 2021). Bu kimyasallar kanserin yanı sıra birçok hastalığın da sebebidir. Bu hastalıklardan bazıları; kalp hastalıkları, erken yaşlanma, katarakt, kalıtsal ve gelişimsel doğum bozuklukları gibi hastalıklardır. Kimyasal maddelerin belirtilen bu hastalıkların ana sebepleri olduklarını destekleyen hipotezler gün geçtikçe artmaktadır (Şenel vd., 2012). Kimyasal maddeler genel olarak suda çözüldükten sonra canlı organizmalar içine alınmaktadır (Güner, 2012). Bu kimyasal maddelerden biri de boyar maddelerdir. Bazı boyar maddeler de kimyasal yapılarından kaynaklı olarak kanserojenik etkiye sahiptirler (Kimura vd., 1979). Bu boyar maddelerden birisi olan kinolin sarısı ruj, saç bakım ürünleri, kolonya üretimlerinde ve eczacılıkta kullanılmakla birlikte, deri yangısına neden olmaktadır. Avustralya, Amerika ve Norveç gibi ülkelerde bu maddenin gıda boyası olarak kullanımı yasaklanmıştır (Eşme, 2013). Bu boyar maddelerin bir bölümü tekstil atık sularıyla doğaya atılmaktadır. Boyar maddeler kimyasal yöntemlerle (oksidasyon, kimyasal floklaştırma ve çöktürme vb.) ve fiziksel yöntemlerle (membran filtrasyonu, iyon değişimi vb.) sulu çözeltilerden giderilmektedir (Kocac & Alkan, 2002). Kimyasal maddenin giderimi için fiziksel yöntemlerden bir tanesi de adsorpsiyondur (Genel vd., 2014). Kimyasal maddelerin adsorpsiyonunda doğal adsorbentler (zeolit, kül, atık çamur vb.) ve yapay adsorbentler (silika jel, aktif alümina vb.) kullanılmaktadır. Yapay adsorbentlerden biri de aktif karbondur (Gürten, 2008). Aktif karbon üretiminde hammadde ve kimyasal aktifleştirici maddeler üretilen aktif karbonun özelliklerine etki etmektedir. Bu nedenle aynı ham maddeden farklı aktifleştirici kimyasallar kullanılarak aktif karbon üretiminin yapılması sonucunda gözenek hacmi, yüzey alanı gibi farklı özellikte aktif karbonlar üretilmektedir (El Nemr vd., 2007). Aktif karbon çeşitli endüstrilerde gazların saflaştırılması ve arıtımında, gıda sanayinde saflaştırma işlemlerinde, su ve atık su arıtımında, sağlık sektöründe ve farklı birçok alanda kullanılmaktadır (Küçükgül, 2004).

Günümüzde covid-19 virüsü yayılma şekli de dikkat çekmektedir. Özellikle hapşırma ve öksürme sebebi ile oluşan damlacıkların içinde bulunan virüs kolay bir şekilde yayılmaktadır (İşsever vd., 2020). Bu nedenle virüsün yayılımının engellenmesinde T.C. Sağlık Bakanlığı maske kullanımını önermiştir. Covid-19 yayılmasının azaltılmasında aktif karbon kullanılarak üretilen maskeler de kullanılmaktadır. Bu açıdan da bakıldığında aktif karbon üretimi ve adsorpsiyonu önem kazanmaktadır.

Yapılan bu çalışmada yabancı kuşburnu ağacı talaşına kimyasal madde (NaOH) impregnasyonu, impregnasyon sonrası pirolizi ile yüzey alanı yüksek aktif karbon elde edilmesi ve elde edilen aktif karbonun gıda boyar maddesi olan kinolin sarısının adsorpsiyonu incelenmesi amaçlanmıştır.

2. Materyal ve metod

2. Material and method

2.1 Aktif karbon üretimi

2.1. Activated carbon production

2.1.1. Hammadde seçimi, kurutulması ve boyutlandırılması

2.1.1. Raw material selection, drying and sizing

Hammadde olarak Van ili ve çevresinde yetişen yabancı kuşburnu ağaçları kullanılmıştır. Daha önce kesilmiş ya da budanmış ağaç gövdeleri alınarak 3 ay boyunca direkt olarak güneş ışığı görmeyen bir ortamda kurutulmuştur. Ağaçlar motorlu testere yardımıyla 0.1 – 0.9 cm boyutlarında ve 1-3 mm kalınlığında talaşlar oluşturacak şekilde parçalanmıştır. Parçalanmış bu talaşlar 200 mesh ölçüsünde eleği olan öğütücüde (Şimşek Laboratör Marka HD-702 Model) öğütülerek kimyasal impregnasyon için hazır hale getirilmiştir.

2.1.2 Kimyasal impregnasyon

2.1.2 Chemical impregnation

200 mesh boyutundaki yabancı kuşburnu talaşından 30 g ve katı sodyum hidroksitten 30 g alınarak 100 ml'lik çözeltilerde karıştırılmış ve 48 saat impregnasyon için bekletilmiştir. Daha sonra 50 °C derecedeki etüvde 48 saat süreyle çözelti içindeki çözücü %90-%95 arasındaki oranda buharlaştırılmıştır.

2.1.3 Piroliz süreci

2.1.3 Pyrolysis process

İmpregnasyonu tamamlanan hammadde ve aktive

edici madde N₂ gazının 500cm³/dk hızla geçtiği reaktörün içine bırakılmış ve ardından fırına yerleştirilmiştir. Fırın 1saatte 800 °C ye çıkartılmış ve 1saat boyunca 800 °C 'de bekletilmiştir. Sonrasında azot ortamında soğumaya alınıp 25 °C getirilmiştir. Devamında azot gazının akışı kesilmiş ve oluşan ürün dışarı alınarak piroliz süreci tamamlanmıştır.

2.1.4 Kül giderimi, süzme-kurutma işlemi ve depolama

2.1.4 Ash removal, filtration-drying and storage

Oluşabilecek kül ve diğer bileşiklerin giderimi için aktif karbon 1M HCl çözeltisiyle ile 10 dk karıştırılmıştır. Aktif karbonun su geçirgenliğine göre ayarlanabilen 10 L'lik bir depoya sahip basit bir sistemle HCl varlığı tamamen son buluncaya kadar süzölmüştür. pH metre ile süzöntü pH'sı 7.00 olana kadar süzme işlemine devam edilmiştir. Süzme işlemi biten aktif karbon 50 °C'lik etüvde kurutmaya bırakılmıştır. Kurutma işleminden sonra kapalı kaplarda depolanmıştır.

2.2 Aktif karbonun karakterizasyonu

2.2 Characterization of activated carbon

Aktif karbonun yapısı hakkında bilgi edinmek için Elementel Analiz, BET analizi ve FT-IR analizi yapılmıştır. Elementel Analiz için Thermo Scientific Marka Flash 2000 Model cihazı, FT-IR analizi için Thermo Scientific Marka Nicoletti S10 FT-IR spektrofotometre cihazı kullanılmıştır. pH ölçümleri ise MeterLab Marka PHM210 Stadart pH Meter model cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Adsorpsiyon deneyleri Heidolph Marka Mr Hei-End Model ısıtıcı ayarlı tek gözlü manyetik karıştırıcı ile ve konsantrasyon ölçümleri ise Shimadzu Marka UV -1240 Model spektrofotometre ile yapılmıştır.

2.3 Adsorpsiyon deneyleri

2.3 Adsorption experiments

Boyar madde adsorpsiyonu için 1000 ppm'lik kinolin sarısı çözeltileri hazırlanmış, hazırlanan bu stok çözeltilerden 600 ppm, 400 ppm, 200 ppm, 100 ppm ve 50 ppm'lik çözeltiler hazırlanmıştır. Farklı konsantrasyonda hazırlanan çözeltilerin hacmi 250 ml olacak şekilde ayarlandı. Ardından 250ml'lik çözeltilerin her birine 0.1g'lık ağırlıkta aktif karbon (adsorban) eklenmiştir. Adsorpsiyon deneyleri sabit basınçta, 25 °C, 35 °C ve 45 °C sıcaklıklarda ve 200 rpm'lik sabit karıştırma hızında yapılmıştır.

2.3.1. Adsorpsiyon kinetik çalışmaları

2.3.1 Adsorption kinetic studies

Adsorpsiyon işleminin kinetiği çözeltilerden kinolin sarısının adsorpsiyon verileri ile belirlendi. Bu amaçla yalancı birinci dereceden kinetik model, yalancı ikinci dereceden kinetik model, Elovich kinetik model ve interpartiküler kinetik modelleri kullanılmıştır.

Yalancı birinci derece kinetik model

Adsorpsiyon süresini Lagergren (1898), basit bir kinetik model olan pseudo birinci derece kinetik model şeklinde ifade etmiştir. Bu durum denklem 1'de gösterilmiştir.

$$(dq_t/dt) = k_1 \cdot (q_e - q_t) \quad (1)$$

Burada k₁ (dak⁻¹) adsorpsiyonun birinci derece hız sabiti; q_e, dengede adsorplanan madde miktarı ve q_t, t süre sonunda adsorplanan madde miktarını ifade etmektedir. Buna göre t'ye karşı log (q_e-q_t) grafiği çizilerek incelemeler yapıldı.

Yalancı ikinci derece kinetik model

Adsorpsiyon prosesi için Ho ve Mckay (1999) tarafından geliştirilen denklem (2) şu şekildedir:

$$(d[S]_t/dt) = k_2 \cdot (d[S]_0 - d[S]_t) \quad (2)$$

Burada [S]₀, t = 0 başlangıç ve [S]_t, t zamanlarında adsorbantda bulunan aktif kısım sayısını göstermektedir. Adsorpsiyon kapasitesinin aktif bölge sayısı ile orantılı olduğu düşünüldüğünde eşitlik (3) şu hale gelir:

$$(dq_t/dt) = k_2 \cdot (q_e - q_t)^2 \quad (3)$$

Burada k₂ (g mg⁻¹ h⁻¹), pseudo ikinci derece adsorpsiyon hız sabiti; q_e, denge durumunda adsorplanan madde miktarı ve q_t, t süre sonunda adsorplanan madde miktarını ifade etmektedir. Eşitlik 3'ün yeniden düzenlenip, t = 0 anında q₀= 0 ve t = t anında q_t = q_t koşulları için integrali alınır, aşağıdaki eşitlik (4) elde edilir:

$$(t/q_t) = (1/k_2 \cdot q_e^2) + (t/q_e) \quad (4)$$

Denklemdaki k₂q_e² ifadesi başlangıç adsorpsiyon hızını göstermektedir (Ho & McKay, 1999).

Elovich Kinetik Model

$$q_t = \frac{1}{\beta} \ln(\alpha \cdot \beta) + \frac{1}{\beta} \ln t \quad (5)$$

q_t , t süresi sonunda adsorplanan madde miktarını ifade etmektedir. α , ilk adsorpsiyon hızıdır ($gg^{-1} dak^{-1}$) ve β , desorpsiyon sabiti (gg^{-1})'dir (Cagnon vd., 2011).

İnterpartiküler Difüzyon Kinetik Model

$$q_t = k_{id} t^{1/2} + C \quad (6)$$

Burada q_t , t süresi sonunda adsorplanan miktar; k_{id} , intrapartiküler difüzyon hız sabiti ($mg/gdak^{1/2}$), C ise kayma noktasıdır

Gözenekli bir adsorplayıcı madde için, en hızlı aşama yüzey adsorpsiyonunun gerçekleştiği ilk aşamadır. Sonraki aşama hızını belirleyen partikül içi difüzyonun olduğu basamaktır. En son aşama partikül içi difüzyon hızının azaldığı ve en yüksek adsorpsiyon değerine ulaşıldığı aşamadır (Gümüş & Gümüş, 2018).

2.3.2. Adsorsiyon izoterm çalışmaları

2.3.2 Adsorption isotherm studies

Freundlich izotermi

Bu tip izotermde, belli miktarda adsorban tarafından adsorplanan madde miktarı basınçla, derişimle hızla artmakta ve daha sonra katı yüzeyinin gaz molekülleri ile doymasıyla daha yavaş bir artış göstermektedir. Freundlich izotermi, suda ve atık suyun işlenmesinde kullanılan adsorbanların adsorpsiyon karakteristiklerini tanımlamak için sıkça kullanılmaktadır. Freundlich izotermi aşağıdaki şekilde (8) matematiksel olarak ifade edilebilmektedir:

$$q_e = K_F \cdot C_e^{1/n} \quad (7)$$

Burada, q_e , m kütlesinin adsorpladığı madde miktarı; C_e , adsorplanan maddenin derişimi; K_F , ve n adsorban ve adsorplanan madde ile sıcaklığa bağlı sabitlerdir (El-Khaiary, 2008).

Langmuir izotermi

Birçok hallerde ve özellikle bir kimyasal adsorpsiyonda, bir doymuşluğa varılmaktadır. x/m oranı, bütün katı yüzeyini kaplayan adsorplanmış gazın bir monomoleküler tabaka oluşmasına karşılık gelen bir sınır değeri gösterir. Freundlich izotermi bu durumu açıklayamamaktadır. Yüzeydeki kimyasal adsorplanmanın tek molekül tabaka halinde olması ve yüzeydeki dinamik denge hali göz önüne alınarak, Langmuir izotermi türetilmiştir. Gaz molekülleri katıyla elastik olarak çarpışmaz, bu yüzden tekrar gaz faza

dönmeden önce katı yüzeyi ile temas eder ve doğal adsorpsiyon gerçekleşir. Langmuir izotermi aşağıdaki formülde (8) gösterilmiştir.

$$q_e = q_m \cdot b \cdot C_e / (1 + b \cdot C_e) \quad (8)$$

Burada, q_e , m kütlesinin adsorpladığı madde miktarı, q_m , m kütlesinin adsorpladığı maksimum madde miktarı; C_e , adsorplanan maddenin derişimi; b, adsorban ve adsorplanan madde ile sıcaklığa bağlı sabittir (Langmuir, 1916).

Temkin izotermi

Temkin izotermi, adsorpsiyon enerjisindeki düşüşün üstel olmayıp, doğrusal olduğu varsayımı yapılarak türetilmiştir. Temkin izotermi aşağıdaki formüldeki gibi (9) ifade edilmiştir.

$$q_e = [R \cdot T / b_T] \cdot [\ln(A_T \cdot C_e)] \quad (9)$$

Burada, A_T , Temkin izoterm sabiti ($l/mmol$); b_T , Temkin izoterm sabiti; R, gaz sabiti ($J/mol K$) ve T, mutlak sıcaklık (K)'dir (Redlich & Peterson, 1959).

Dubinin-Radushkevich (D-R) izotermi

Dubinin-Radushkevich (D-R) izoterm modeli hem homojen hem heterojen yüzeylerdeki adsorpsiyon için kullanılan ve daha çok gözeneklerin adsorpsiyonunu açıklayan bir modeldir (Dubinin, 1947). D-R izoterm modelinin doğrusal olmayan denklemleri (10-12) aşağıdaki gibidir.

$$q_e = X_m \cdot e^{-K \cdot \varepsilon^2} \text{ (Lineer olmayan form)} \quad (10)$$

$$\varepsilon = RT \ln(1 + 1/C_e) \quad (7) \quad \ln q_e = \ln X_m - K \varepsilon^2 \text{ (Lineer)} \quad (11)$$

$$E = (2K)^{-1/2} \quad (12)$$

Burada, X_m , Dubinin-Radushkevich (D-R) sabitini ($mg g^{-1}$); K, adsorpsiyonun ortalama serbest enerjisi ile ilgili bir sabiti ($mol^2 kJ^{-2}$); ε , Polany potansiyelini, R, evrensel gaz sabitini ($Jmol^{-1} K^{-1}$) ve T, mutlak sıcaklığı (K) göstermektedir (Eren vd., 2020). Dubinin Radushkevich (D-R) izotermindeki E ($kJmol^{-1}$), adsorpsiyonun fiziksel veya kimyasal karakteristiği hakkında bilgi veren adsorpsiyon enerjisini göstermektedir (Altun & Parlayıcı, 2018).

3. Bulgular ve tartışma

3. Results and discussion

3.1. Elementel analiz sonuçları

3.1 Elemental analysis results

Tablo 1'e bakıldığında ham madde olarak kullanılan yabancı kuşburnu ağacı talaşında (A1-S) %41.5562 oranında karbon bulunması bu materyalin aktif karbon üretimi için uygun

olduğunun bir göstergesidir. Bu oran impregnasyon işlemi yapılmamış olan karbondaki %71.6577, impregnasyon işlemi görmüş karbondaki %75.7117 oranlarına ulaşmıştır. A1-S'deki H oranının %5.4066 olduğu karbonizasyondan sonra bu değerlerin, impregnasyon işlemi görmemiş ve görmüş karbonlarda sırasıyla %1.4913 ve %0.5654 olarak belirlenmiştir.

Tablo 1. Yabancı kuşburnu ağacı talaşı(A1-S), yabancı kuşburnu ağacı saf karbonun (A1-K) ve yabancı kuşburnu ağacı sodyum hidroksit ile impregnasyon sonucu oluşan karbonun (A1-2) azot, karbon, hidrojen ve sülfür oranları

Table 1. Nitrogen, carbon, hydrogen and sulfur ratios of wild rosehip sawdust (A1-S), wild rosehip pure carbon (A1-K), and wild rosehip tree carbon (A1-2) resulting from impregnation with sodium hydroxide

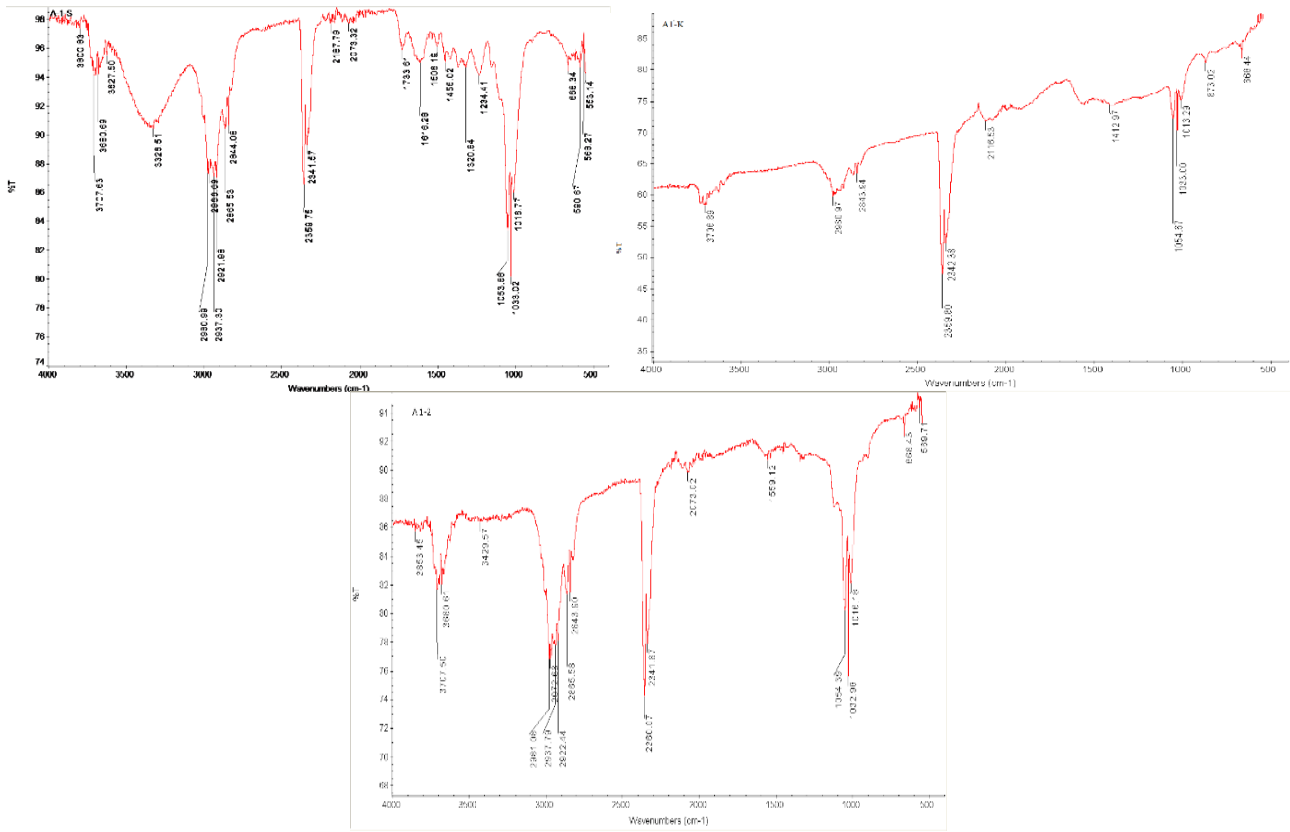
Hammadde/Aktif Karbon	Azot oranı	Karbon oranı	Hidrojen oranı	Sülfür oranı	Toplam
A1-S	0.6001	41.5562	5.4066	0	47.563
A1-K	1.2574	71.6577	1.4913	0	74.4063
A1-2	-	75.7117	0.5654	0	76.2771

3.2 FT-IR analizi

3.2 FT-IR analysis

Şekil ve Tablo 2'ye bakıldığında saf talaştan elde edilen saf karbon (A1-K) saf talaşa göre (A1-S) yüksek dalga boylarındaki bağların kırıldığı görülmektedir. 3707 cm⁻¹ suda bulunan hidroksil titreşimleri, yüksek dalga boyunda bulunan C-O titreşimleri, C≡C bağ titreşimleri, lignin ve hemiselülozda bulunan C=O ve eter fenol ve alkol gruplarındaki C-H titreşimleri ve C=C titreşimleri her 3 yapıda da bulunmaktadır. Saf talaşta bulunan fazla sayıdaki titreşimlerin saf karbondaki daha düşük dalga boylarında titreşimlere dönüştüğü tespit edilmiştir. Bununla birlikte A1-2 karbonunda ise bu titreşimlerin daha yüksek dalga boylu titreşimlere dönüştüğü belirlenmiştir. Saf talaşın

BET ve elementel analiz sonuçları birlikte değerlendirildiğinde, saf talaş çok sayıda bağ içeriyor olmasına rağmen gözenek yapısının ve yüzey alanının az olduğu görülmektedir. Bu durum ağacın yapısında bulunan, nötral çözücülerde ve suda çözünebilir veya su buharıyla uçucu duruma gelebilen ekstraktif maddelerin (tanenler, uçucu yağlar, reçineler v.b.) parçalanması ya da uzaklaşması ile açıklanabilir. İmpregnasyon işlemi görmeyen karbon gözeneklerinin tam oluşmadığı ya da çöktüğü muhtemeldir. İmpregnasyon sonucu oluşan aktif karbondaki ise düşük dalga boylarındaki bağlar kırılarak daha yüksek dalga boylarında bağlar oluşmuş ve gözenekli yapı böylelikle artmış olabilir.



Şekil 1. A1-S, A1-K, A1-2 FT-IR grafikleri
Figure 1. A1-S, A1-K, A1-2 FT-IR graphics

Tablo 2. Yabani kuşburnu ağacı talaşı (A1-S), yabani kuşburnu ağacı saf karbonu (A1-K), yabani kuşburnu ağacı sodyum hidrokisit ile impregnasyon sonucu oluşan karbon (A1-2) FT-IR analizlerinin literatür verileri.
Table 2. Wild rosehip wood chips (A1-S), wild rosehip tree pure carbon (A1-K), carbon (A1-2) formed as a result of impregnation with wild rosehip wood sodium hydroxide, literature data of FT-IR analyzes.

A1-S	A1-K	A1-2	Özellik	
3800		3853	OH gerilme (alkoller, asitler, H bağı) OH güçlü bağı	(Beşergil, 2015) (Shen vd.,2010)
3707	3706	3707	OH gerilme (alkoller, asitler, H bağı)	(Beşergil, 2015)
3680		3680	OH gerilme (alkoller, asitler, H bağı)	(Beşergil, 2015)
3627			OH gerilme (alkoller, asitler, H bağı)	(Beşergil, 2015)
3326		3429	C-H gerilme (alkan)	(Shen vd.,2010)
2980		2981	C-H ₂ gerilme (Asimetrik bağlar)	(Kholodkov vd., 2003; Shen vd.,2010)
		2972		
2966		2937	C-H ₂ gerilme (Asimetrik bağlar)	(Kholodkov vd., 2003; Shen vd.,2010)
2865		2865	C-H ₂ gerilme (Asimetrik bağlar)	(Kholodkov vd., 2003; Shen vd.,2010)
2937			C-H ₂ gerilme (Asimetrik bağlar)	(Kholodkov vd., 2003; Shen vd.,2010)
2844	2843	2843	C-H ₂ gerilme (Asimetrik bağlar)	(Kholodkov vd., 2003; Shen vd.,2010)
2359	2359	2360	C-O bağı	(Corazzari vd., 2015)
2341	2342	2341	C-O bağı	(Corazzari vd.,2015)
2187	2116		C≡N bağı	(Petibois vd., 2006)
2073	2073	2073	CO ₂ - CO bandı	(Balakrishnan & Schwank, 1992)
	1412		Simetrik antisimetrik C-H titreşimleri	(Al-Oweini & El-Rassy, 2009)
1616			Lignindeki aromatik halkalardaki C=O COO	(Ahmet & Sivrikaya, 2017)
		1559	(C=C aromatik, COO ⁻ içindeki (C=O), veya -C- NO ₂ içindeki (C-N) bağı	(Yuan vd., 2018)

Tablo 2 devamı.
Table 2 continuing.

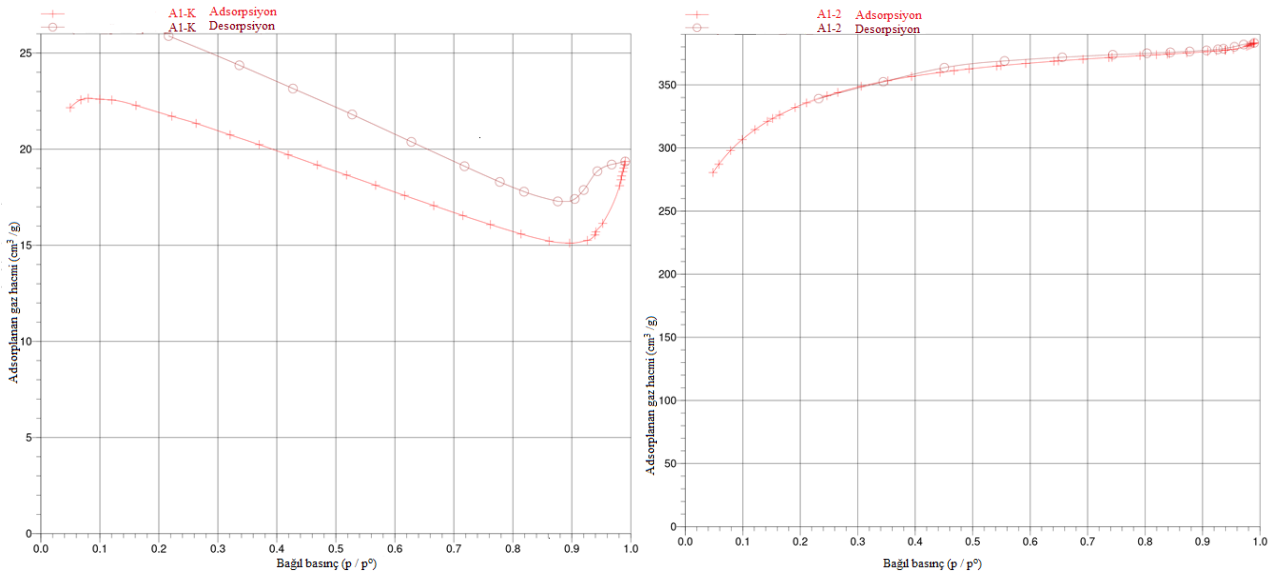
A1-S	A1-K	A1-2	Özellik	
1506			Ligninde aromatik iskelet titreşimi Lignindeki aromatik halkalardaki C=O COO	(Yilgor vd., 2013) (Kobayashi vd., 1984) (Ahmet & Sivrikaya, 2017)
1455			C-H bağı CH ₂ ksilen ve ligninde bozunma titreşimi	(Yilgor vd., 2013)
1320			Selülozda C-H titreşimi syringyl türevlerinin +C-O titreşimleri	(Yilgor vd., 2013)
1234			Selülozdaki CH ₂ Ksilendeki asetil ve karboksil ve lignindeki C=O titreşimleri	(Ahmet & Sivrikaya, 2017) (Yilgor vd., 2013)
1053	1054	1054	C-O primer alkol karboksilik asit –alkol-eter Lignin selüloz ve hemiselülozda C=O gerilmesi	(Peng vd.,2017) (Beşergil, 2015) (Ahmet & Sivrikaya, 2017)
1033	1033	1032	Karboksilik asit –alkol-eter Lignin selüloz ve hemiselülozda C=O gerilmesi	(Beşergil, 2015) (Ahmet & Sivrikaya, 2017)
	1013	1016	Eter, fenol, alkol gruplarında C-O ve HC-OH karşılıklı girişimleri	(Yilgor vd.,2013)
	873		Alken vinyldyne Hemiselüloz ve selülozun glikozidik bağları İzole edilmiş aromatik hidrojen atomuna ait titreşimler	(Yilgor vd., 2013) (Bağ & Tekin, 2019) (Chen vd., 2012)
668	668	668	Güçlü C=C alkan disibstitüe (cis)	(Beşergil, 2015)
590		577	C-C gerilmesi(lignin yanal bağlar C-Cl gerilmesi	(Liu vd., 2008) (Beşergil, 2015)
568				
553		559	C-C gerilmesi(lignin yanal bağlar C-Cl gerilmesi	(Liu vd., 2008) (Beşergil, 2015)

3.3 BET analizleri

3.3 Bet analysis

Şekil 2'ye bakıldığında A1-K karbonun herhangi bir izoterm tipine uymadığı, A1-2 aktif karbonunun ise Tip 1 izoterm tipine uyduğu görülmektedir. Tip

1 izotermine mikro gözenekli adsorbanlarda rastlanmaktadır. A1-K'nın bir izoterm tipine uymamasının nedeni basınç yükseldikçe zayıf gözenek yapısının çökmesidir. Basınçla çökmeyen gözeneklerin ise basınç artkça adsorplamaya devam ettiği düşünülmektedir.



Şekil 2. A1-K ve A1-2'nin azot adsorpsiyon-desorpsiyon izoterm grafikleri
Figure 2. Nitrogen adsorption-desorption isotherm graphs of A1-K and A1-2

Tablo 3'deki BET analizleri incelendiğinde impregnasyon işlemi gören A1-2 aktif karbonunda A1-K karbonuna göre BET yüzey alanının 14 kat, Langmuir yüzey alanının 15 kat, t-plot mikropor alanının 5 kat, mikropor hacminin 6 kat arttığı

görülmektedir (Tablo 2). A1-K karbonunda ortalama gözenek genişliği 517 Å boyutunda ve makro gözenekli bir yapıdayken, A1-2 aktif karbonunun 20 Å ortalama gözenek boyutunda ve mikro gözenekli bir yapıda olduğu görülmüştür.

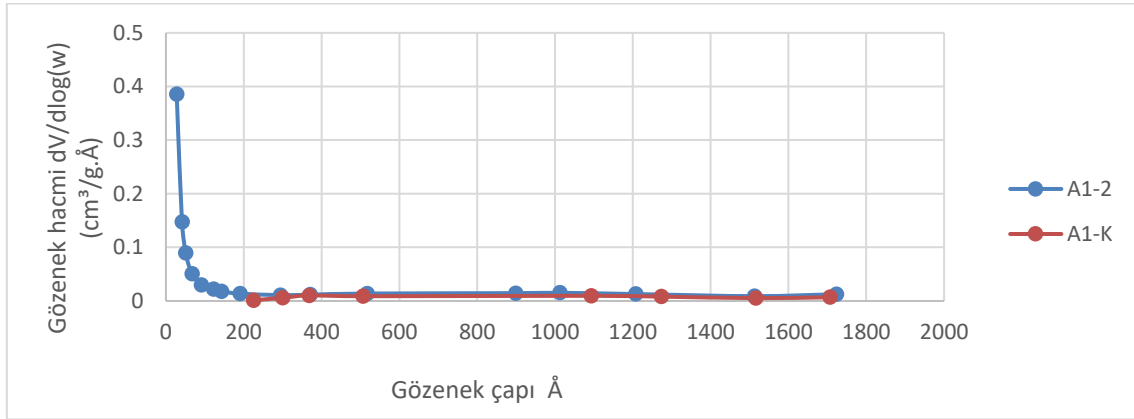
Tablo 3. Yabani kuşburnu ağacı saf karbonun (A1-K) ve sodyum hidroksit (NaOH) ile impregnasyonlu aktif karbonun (A1-2) BET analizleri

Table 3. BET analyzes of wild rosehip pure carbon (A1-K) and activated carbon impregnated with sodium hydroxide (NaOH) (A1-2)

	A1-K	A1-2
BET Yüzey alanı m ² /g	80.8185	1152.3049
Langmuir Yüzey Alanı m ² /g	97.9661	1564.3621
t-Plot Mikrogözenek Alanı m ² /g	90.5580	525.3522
t-Plot Mikrogözenek hacmi cm ³ /g	0.03845	0.24278
BJH Adsorpsiyon ortalama gözenek genişliği (4V/A) Å	517.937	20.5063

Şekil 3'de de görüldüğü üzere A1-K'da gözenek çapı 20 Å (2nm)'dan küçük olan mikro gözenekler bulunmamaktadır. A1-2'de ise mikro gözenek yapısının bulunduğu ve gözenek hacminin yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bunun yanı sıra A1-2'nin

mezo gözenek (20 Å ve 500 Å arası) ve makro gözenek (500 Å dan büyük) yapılarını da içerdiği ve gözenek hacimlerinin daha fazla olduğu görülmektedir.



Şekil 3. A1-K ve A1-2 gözenek dağılım grafiği

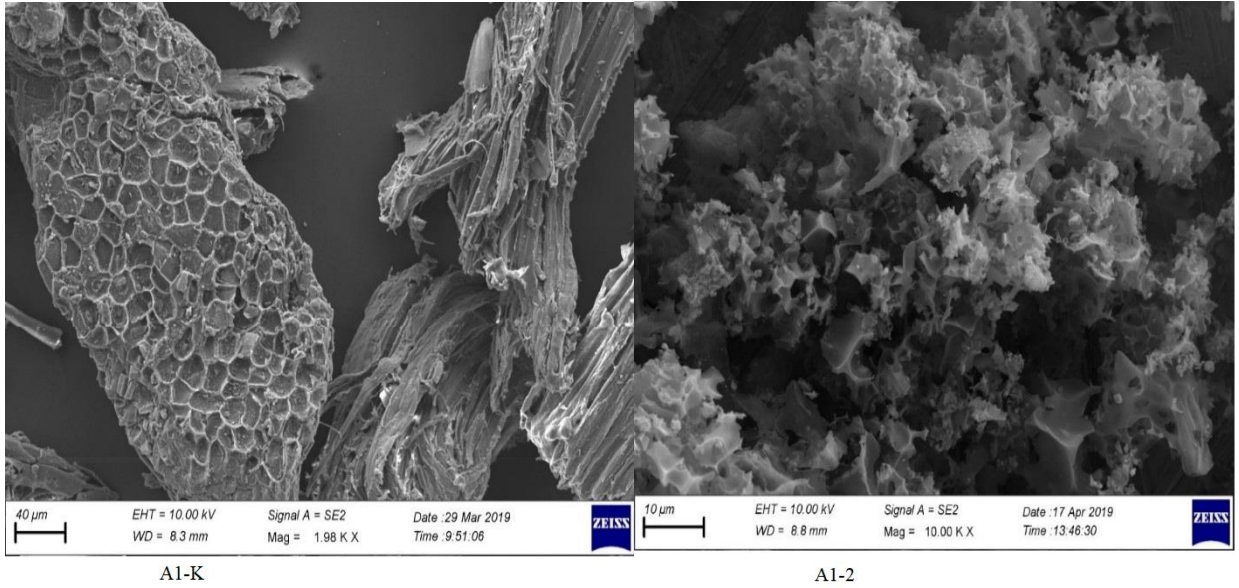
Figure 3. A1-K and A1-2 pore distribution graph

3.4.SEM Görüntüleri

3.4.SEM Images

Şekil 4'de A1-K ve A1-2 aktif karbonlarının SEM görüntülerine bakıldığında A1-K karbonunun

yüzey ve gözenek yapısının makro gözenek yapısında, A1-2 aktif karbon yapısında ise yüzeyde çok gözenekli bir yapının olduğu görülmektedir. Bu görüntüler BET analizindeki değerleri de destekler niteliktedir.



Şekil 4. Saf yabani kuşburnu ağacından elde edilen karbon (A1-K), yabani kuşburnu ağacı talaşının sodyum hidroksit ile impregnasyonundan elde edilen aktif karbonunun (A1-2) SEM görüntüleri.

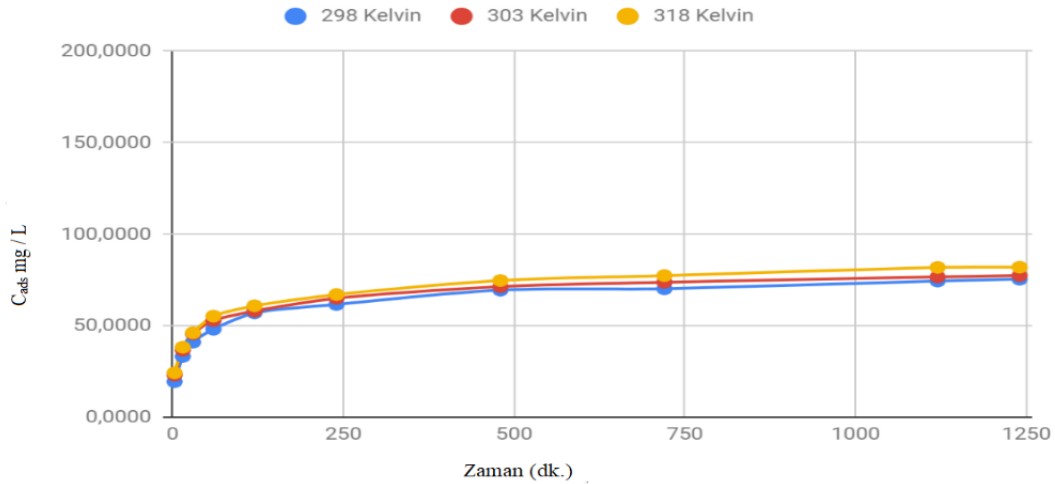
Figure 4. Carbon obtained from pure wild rosehip tree (A1-K), activated carbon image obtained from impregnation of wild rosehip tree sawdust with sodium hydroxide (A1-2).

3.5. Adsorpsiyon deneyleri

3.5. Adsorption experiments

Şekil 5’de A1-2 aktif karbonunda kinolin sarısı adsorpsiyonunda geçen süre içerisinde sıcaklık artışıyla adsorbe edilen madde miktarının arttığı görülmektedir. Adsorbent kütlesi başına adsorplanan madde miktarının sıcaklıkla artması, adsorpsiyonun endotermik olduğunu

göstermektedir. Sıcaklığa bağlı olarak adsorpsiyon veriminin artışının birçok nedeni bulunmaktadır. Bu nedenler arasında en önemlisi sıcaklık artışı ile beraber adsorbent partiküllerinin kinetik enerjilerinin de artmış olmasıdır. Adsorbent ve adsorplanan madde molekülleri aralarındaki çarpışmanın artması adsorbent yüzeyindeki adsorpsiyonu arttırmaktadır.



Şekil 5. A1-2 aktif karbonunun farklı sıcaklıklardaki (25 °C (298 K), 30 °C (303 K), 45 °C (318 K) kinolin sarısı adsorpsiyonunun zamana göre değişimi.

Figure 5. Adsorption of A1-2 activated carbon with quinoline yellow at 25°C (298 K), 30°C (303 K), and 45°C (318 K) time temperature concentration.

Farklı sıcaklıklardaki aynı konsantrasyon değerlerine karşılık gelen yüzde adsorpsiyon değerleri sıcaklığın yükselmesi ile artış göstermişken, aynı sıcaklıktaki farklı

konsantrasyon değerlerinde ise konsantrasyon değeri arttıkça % adsorpsiyon değerlerinin azalma gösterdiği Tablo 4’te görülmektedir.

Tablo 4. A1-2 aktif karbonunun kinolin sarısı ile adsorpsiyonu izoterm değerleri
Table 4. Isotherm values of A1-2 activated carbon adsorption with quinoline yellow

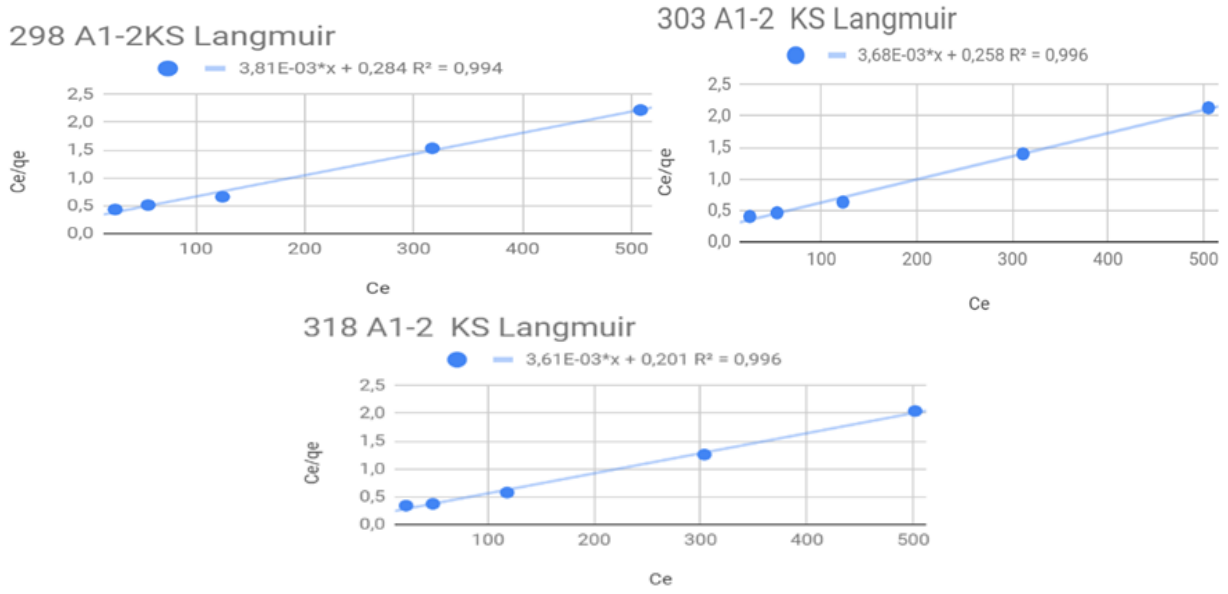
Sıcaklık Kelvin(K)	A1-2 KS Co (ppm)	Ce (ppm)	Cads (ppm)	% Ads.	qe (mg/g)
298	50	26.0034	23.9966	47.99	59.9915
	100	56.1986	43.8014	43.80	109.5035
	200	124.5548	75.4452	37.72	188.6130
	400	317.1846	82.8154	20.70	207.0385
	600	508.3634	91.6366	15.27	229.0915
303	50	25.1243	24.8757	49.75	62.1893
	100	53.6284	46.3716	46.37	115.9290
	200	122.5644	77.4356	38.72	193.5890
	400	311.0698	88.9302	22.23	222.3255
	600	505.1744	94.8256	15.80	237.0640
318	50	23.0346	26.9654	53.3	67.4135
	100	48.2436	51.7564	51.76	129.3910
	200	118.0344	81.9656	40.98	204.9140
	400	303.5428	96.4572	24.11	241.1430
	600	501.7246	98.2754	16.38	245.6885

Tablo 5'te görüldüğü gibi üç sıcaklıkta da regresyon katsayıları 0.87'in üzerindedir. En yüksek regresyon katsayısına sahip Langmuir İzoterminden elde edilen maksimum adsorpsiyon kapasiteleri, 25°C'de 262.2552mg/g ve 30°C'de 272.0450 mg/g, 45 °C'de 277.2757mg/ g olarak belirlenmiştir. Sıcaklık arttıkça adsorbent kütlesi başına adsorplanmış madde miktarının artması endotermik bir adsorpsiyon olduğunu göstermektedir. Regresyon sayısının 1'e çok yakın olmasının adsorpsiyonun tek tabakalı olarak meydana geldiğini, b değerine bakılarak bağlanma

enerjisinin sıcaklıkla arttığını, Freundlich izoterm sabitlerine göre 1/n değerlerinin 0.4347-0.4323-0.4046 olmasının adsorpsiyon izoterm eğrisinin hafifçe yükselen ve elverişli olduğunu, n değerine bakılarak iyi bir adsorpsiyon gerçekleştiğini, Temkin izotermi B verisine göre 56.9060-59.1743-59.1584 jmol⁻¹ olduğunu ve sıcaklık arttıkça adsorpsiyon enerjisinin arttığını, 45°C de ise çok az düşüş olduğunu göstermektedir. D-R izoterminde E değerine bakılarak adsorpsiyonun fiziksel bir adsorpsiyon olduğu söylenebilir. Adsorpsiyonlar ile ilgili izoterm grafikleri Şekil 5-8'de verilmiştir.

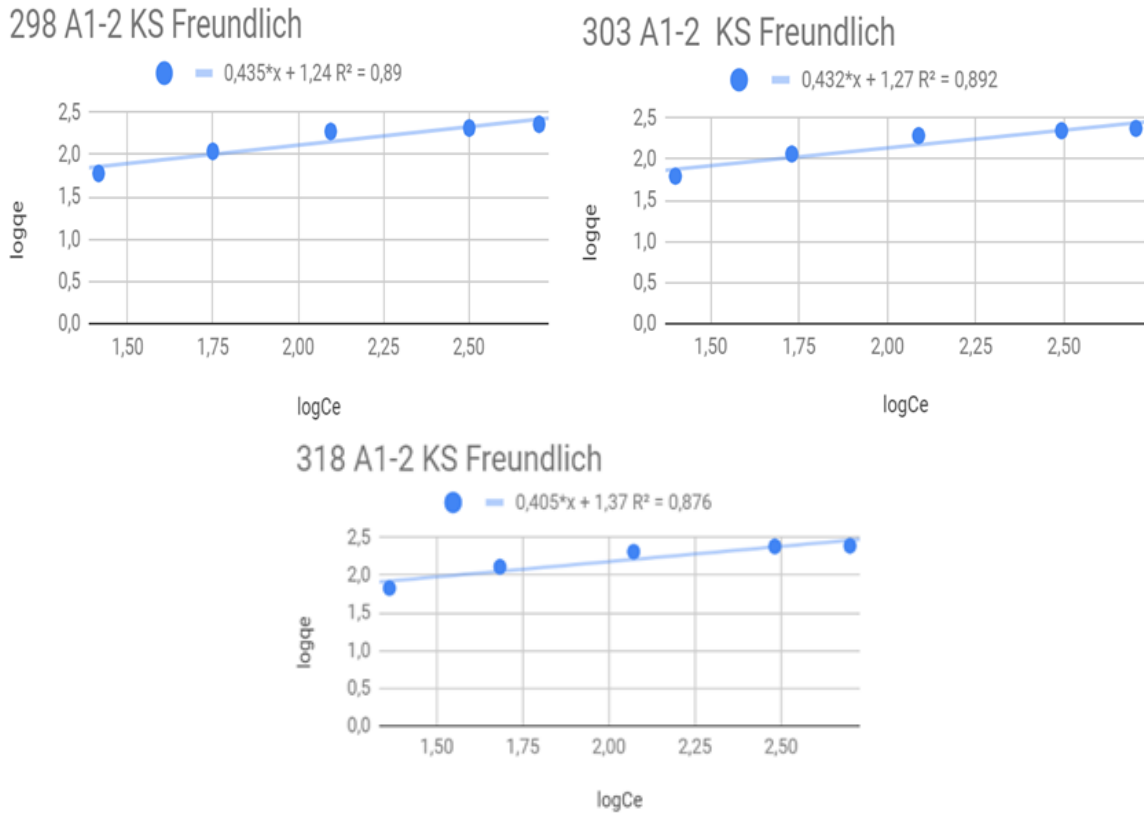
Tablo 5. A1-2 aktif karbonunun kinolin sarısı giderimi adsorpsiyon sabitleri
Table 5. Adsorption constants of quinoline yellow removal of A1-2 activated carbon

A1-2 kinolin sarısı				
T(K)	İzoterm sabitleri	298K	303K	318K
Langmuir	b	0.0134	0.0143	0.0180
	Q _m	262.2552	272.0450	277.2757
	R ²	0.9942	0.9960	0.9961
Freundlich	n	2.3004	2.3134	2.4717
	1/n	0.4347	0.4323	0.4046
	K _f	17.5287	18.7502	23.5241
	R ²	0.8898	0.8921	0.8761
Temkin	B(Jmol ⁻¹)	56.9060	59.1743	59.1584
	A _T (L g ⁻¹)	0.1315	0.1371	0.1756
	b _r	43.5398	41.8708	41.8821
	R ²	0.9451	0.9541	0.9455
D-R	X ¹ m(mgg ⁻¹)	16733813287.2776	10123663602.73	1488432736.7642
	K ¹ (mol ² J ²)	0.000002944	0.000002855	0.000002533
	R ²	0.9819	0.9891	0.9965
	E(Jmol ⁻¹ K ⁻¹)	0.002426	0.002389	0.002250



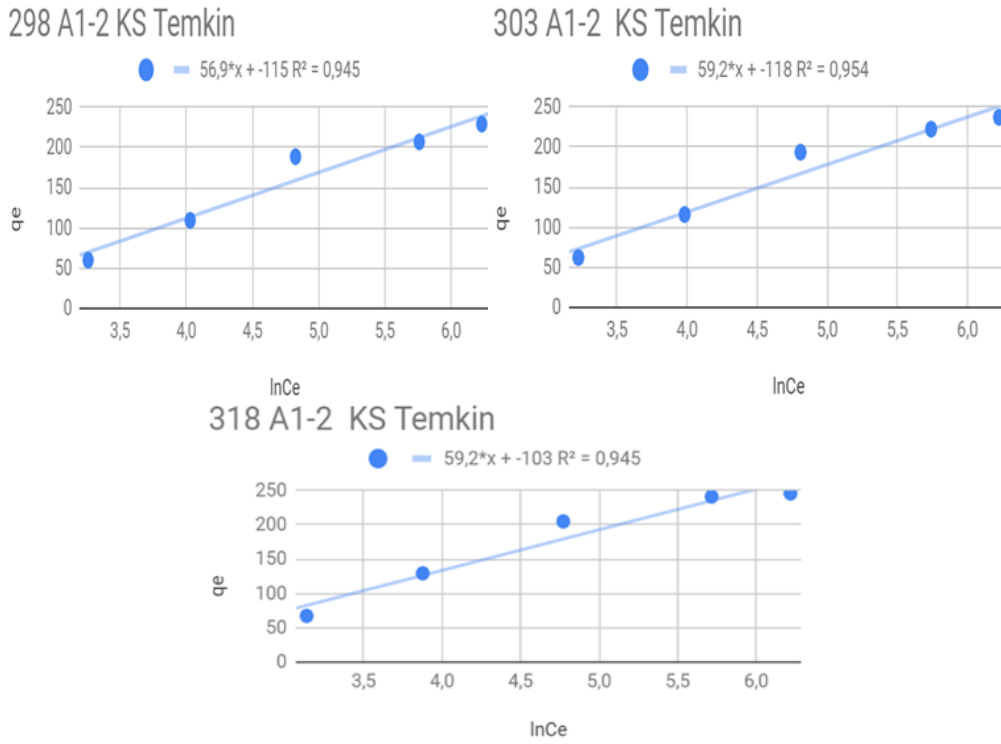
Şekil 6. A1-2 Aktif karbonunun kinolin sarısı giderimi adsorpsiyonu 25°C (298 K), 30°C (303 K) ve 45°C (318 K)'deki Langmuir izotermi (C_o= 50, 100, 200, 400, 600 ppm, V=0.25L adsorban miktarı= 1 g pH=6.02, karıştırma hızı=200 rpm)

Figure 6. The quinoline yellow removal adsorption of A1-2 Activated carbon Langmuir isotherms) at 25°C (298 K), 30°C (303 K), and 45°C (318 K) (C_o= 50, 100, 200, 400, 600 ppm, 600 ppm, V=0.25L amount of adsorbent=1g pH=6.02, mixing speed=200 rpm)



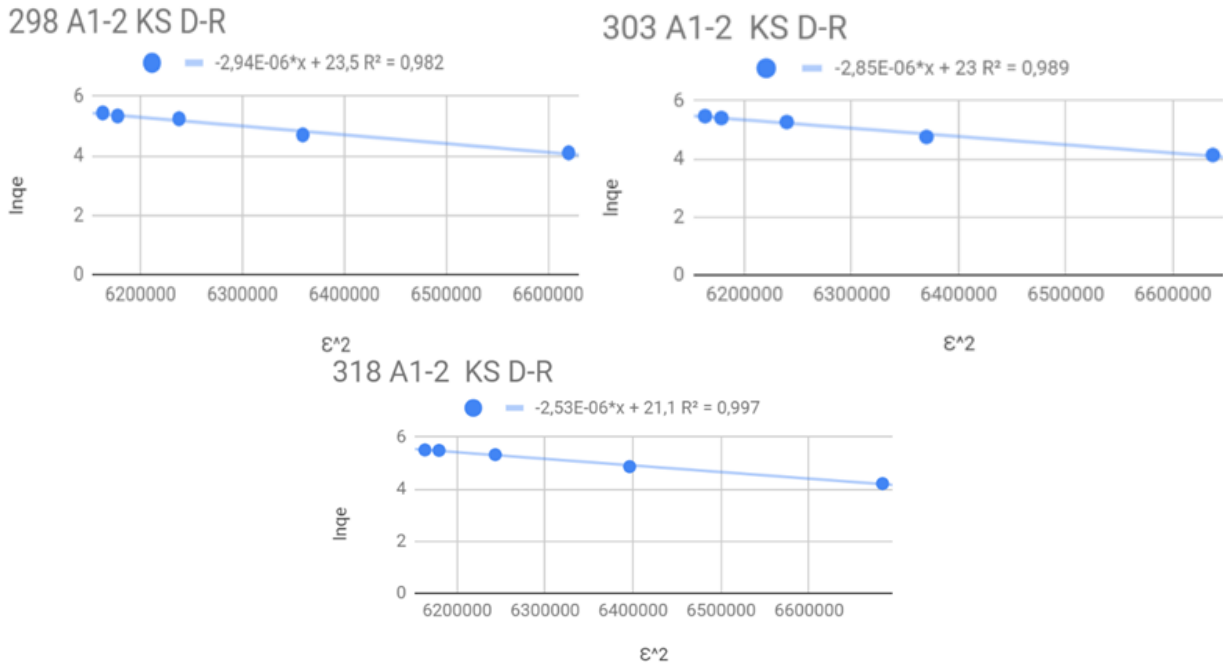
Şekil 7. A1-2 Aktif karbonunun kinolin sarısı giderimi adsorpsiyonu 25°C (298 K), 30°C (303 K) ve 45°C (318 K)'deki frendluich izotermi (C_o=50, 100, 200, 400, 600 ppm, V=0.25L adsorban miktarı= 1 g, pH=6.02, karıştırma hızı=200 rpm)

Figure 7. Quinoline yellow removal adsorption of A1-2 Activated carbon Frenlduich isotherms at 25°C (298 K), 30°C (303 K), and 45°C (318 K) (C_o=50, 100, 200, 400, 600 ppm, V=0.25L adsorbent amount= 1 g, pH=6.02, mixing speed=200 rpm)



Şekil 8. A1-2 Aktif karbonunun kinolin sarısı giderimi adsorpsiyonu 25°C (298 K), 30°C (303 K) ve 45°C (318 K)'deki temkin izotermi ($C_0= 50, 100, 200, 400, 600$ ppm, $V=0.25L$ adsorban miktarı= 1 g, $pH=6.02$ karıştırma hızı=200 rpm)

Figure 8. Quinoline yellow removal adsorption of A1-2 activated carbon Caution isotherms at 25°C (298 K), 30°C (303 K), and 45°C (318 K) ($C_0= 50, 100, 200, 400, 600$ ppm, $V=0.25L$ amount of adsorbent= 1 g, $pH=6.02$ mixing speed=200 rpm)



Şekil 9. A1-2 Aktif karbonunun kinolin sarısı giderimi adsorpsiyonu 25°C (298 K), 30°C (303 K) ve 45 °C (315 K)'deki D-R izotermi ($C_0= 50, 100, 200, 400, 600$ ppm, $V=0.25L$ adsorban miktarı= 1 g, $pH=6.02$, karıştırma hızı=200 rpm)

Figure 9. Quinoline yellow removal adsorption of A1-2 Activated carbon DR isotherms at 25°C (298 K), 30°C (303 K), and 45°C (315 K) ($C_0= 50, 100, 200, 400, 600$ ppm, $V=0.25L$ adsorbent amount= 1 g, $pH=6.02$, mixing speed=200 rpm)

Ayrıca A1-2 aktif karbonu ile kinolin sarısı adsorpsiyonunda izotermelere bakıldığı zaman üç sıcaklıkta da en uygun izotermin Langmuir izotermi olduğu görülmekle birlikte diğer izotermelerin de R^2 değerlerinin yüksek olduğu görülmektedir. Bu durum adsorpsiyona başka faktörlerinde etki ettiğini göstermektedir.

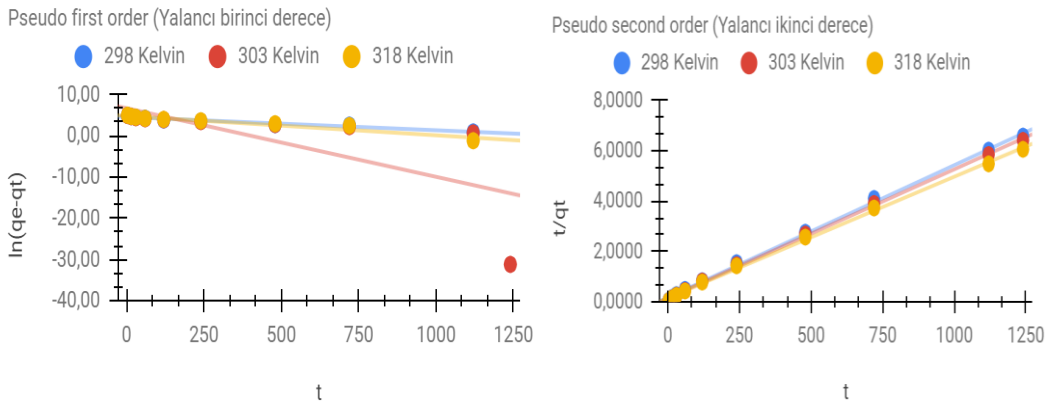
Çözeltide adsorpsiyon sırasında etkin olan mekanizma ve temas süresi ile bağlantılı olarak adsorplanan maddenin adsorbe olma hızını tanımlamak için adsorpsiyon kinetiği

belirlenmelidir (Amarasinghe ve Williams 2007). Tablo 6, Şekil 10 ve 11'de elde edilen verilere göre hesaplanan yalancı birinci derece, yalancı ikinci derece kinetik, elovich, intrapartiküler difüzyon modellerinde elde edilen korelasyon katsayıları (R^2) değerleri interpartiküler difüzyon modeli hariç %95'ten yüksektir. Bu kinetik modellerden yalancı ikinci derece kinetik model regresyon (kolarelasyon) sayısı en yüksek ve hesaplanan q_e (calc) değerleri ile deneysel olarak bulunan q_e (exp) değerleri en iyi uyumlu olan modeldir. Bu nedenle adsorpsiyon sistemi yalancı ikinci derece kinetik modele daha uyumludur.

Tablo 6. A1-2 Aktif karbonunun kinolin sarısı adsorpsiyonunda 25 °C, 30°C ve 45 °C'deki yalancı birinci derece (pseudo-first order), yalancı İkinci derece (pseudo-second order), elovich, intrapartiküler difüzyon (Intraparticle diffusion) kinetik model sabitleri ($C_0= 200\text{mg/L}$, $V=0.25\text{L}$, adsorban miktarı= 1 g, $\text{pH}=6,02$ karıştırma hızı=200 rpm).

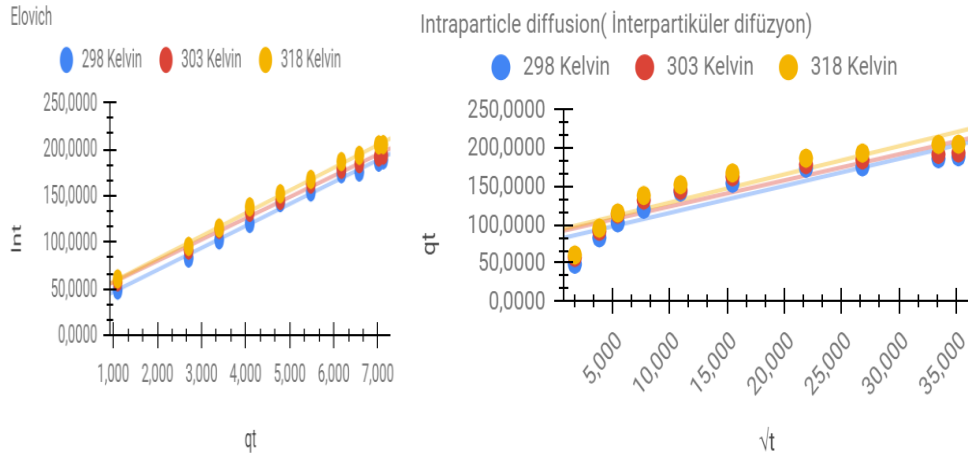
Table 6. Pseudo-first order, pseudo-second order, elovich, intraparticle diffusion kinetic model 25°C (298 K), 30°C (303 K), and 45°C (318 K) in quinoline yellow adsorption of A1-2 activated carbon constants ($C_0= 200\text{mg/L}$, $V=0.25\text{L}$, amount of adsorbent= 1 g, $\text{pH}=6.02$ stirring speed=200 rpm).

Kinetik model/sıcaklık		298 °K	303 °K	318 °K
Yalancı birinci derece	k_{1p}	0.003	0.017	0.005
	q_e, calc	93.008	793.425	121.017
	q_e, exp	188.613	193.589	204.914
	R^2	0.956	0.504	0.931
Yalancı ikinci derece	k_{2p}	0.00016	0.00017	0.00015
	q_e, calc	190.566	195.835	208.065
	q_e, exp	188.613	193.589	204.914
	R^2	0.999	0.999	0.998
Elovich	β	23.634	22.900	24.463
	α	0.112	0.193	0.159
	q_e, exp	188.613	193.589	204.914
	R^2	0.995	0.995	0.997
İnterpartiküler difüzyon	k_p	3.520	3.398	3.672
	R^2	0.838	0.833	0.854



Şekil 10. A1-2 Aktif karbonunun kinolin sarısı adsorpsiyonunda 25°C (298 K), 30°C (303 K) ve 45 °C (318 °K)'deki pseudo first order (yalancı birinci derece) kinetik, pseudo second order (yalancı ikinci derece) kinetik model grafikleri ($C_0= 200\text{mg/L}$, $V=0.25\text{L}$, adsorban miktarı= 1 g, $\text{pH}=6.02$, karıştırma hızı=200 rpm).

Figure 10. Pseudo first order kinetic, pseudo second order kinetic model in quinoline yellow adsorption of A1-2 activated carbon at 25°C (298 K), 30°C (303 K), and 45°C (318 K) graphics ($C_0= 200\text{mg/L}$, $V=0.25\text{L}$, amount of adsorbent= 1 g, $\text{pH}=6.02$, mixing speed=200 rpm)



Şekil 11. A1-2 Aktif karbonunun kinolin sarısı adsorpsiyonunda 25°C (298 K), 30°C (303 K) ve 45 °C (318 K)'deki elovich, intrepartiküler difüzyon kinetik model grafikleri ($C_0=200\text{mg/L}$, $V=0.25\text{L}$, adsorban miktarı= 1 g, $\text{pH}=6.02$, karıştırma hızı=200 rpm).

Figure 11. Elovich, intraparticular diffusion kinetic model graphs at 25°C (298 K), 30°C (303 K), and 45°C (315 K) ($C_0= 200\text{mg/L}$, $V=0.25\text{L}$, adsorbent amount= 1 g, $\text{pH}=6.02$, mixing speed=200 rpm).

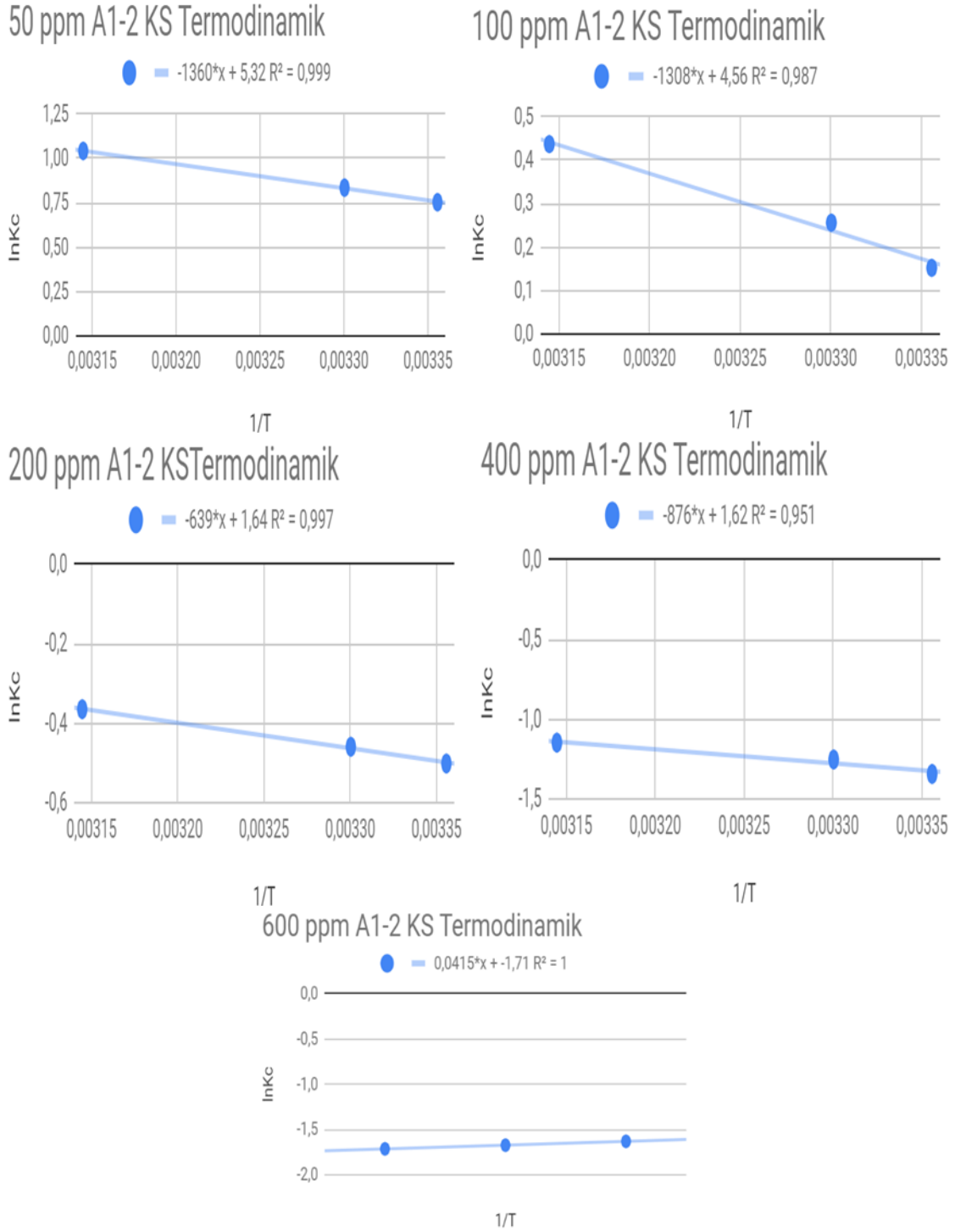
Tablo 7 ve Şekil 12'ye bakıldığında adsorpsiyonların hesaplanan entalpi (ΔH°) değişimleri pozitif işaretlidir. Bu adsorpsiyonların endotermik olduğunu ve sıcaklık arttıkça adsorpsiyon artacağını göstermektedir. Gibbs serbest enerji değişimi 50 ppm ve 100 ppm deki sıcaklıklarda (ΔG°)'ın negatif işaretli olması prosesin söz konusu sıcaklıklarda kendiliğinden olabileceğini ifade etmektedir. Fakat daha yüksek konsantrasyonlarda Gibbs serbest enerji değişimlerinin pozitif olması adsorpsiyonun kendiliğinden gerçekleşmeyeceğini adsorpsiyonun

devam edebilmesi için dışardan enerjiye ihtiyaç olduğu göstermektedir. Entropi (ΔS°) değerlerinin negatif olması, adsorbentte bazı yapısal değişiklikler sonucunda adsorbent-çözelti ara yüzündeki düzensizliğin, düşük konsantrasyonlarda yüksek olması adsorbent adsorbana olan ilgisinin yüksek olduğunu, konsantrasyon yükselmesi sonucu (ΔS°) değerlerinin düşmesi ise adsorbent adsorbana olan ilgisinin azaldığını göstermektedir. Aktif karbonun yüzey doygunluğuna ulaştığı söylenebilir.

Tablo 7. A1-2 Aktif karbonunun kinolin sarısı adsorpsiyonunda farklı konsantrasyon ve sıcaklıklarda termodinamik parametreler

Table 7. Thermodynamic parameters of A1-2 activated carbon in quinoline yellow adsorption at different concentrations and temperatures

A1-2 KS / C_0	T(K)	Kc	lnKc	ΔG° , J/mol	ΔH° , J/mol	ΔS° , J/mol.K
50 ppm	298	2.1243	0.7535	-1866.8283	11309.6054	44.2399
	303	2.3059	0.8355	-2070.0678		
	318	2.8359	1.0424	-2582.6678		
100 ppm	298	1.1646	0.1523	-377.4740	10878.1718	37.8816
	303	1.2921	0.2563	-634.9223		
	318	1.5482	0.4371	-1082.9528		
200 ppm	298	0.6057	-0.5013	1242.1563	5310.7989	13.6771
	303	0.6318	-0.4592	1137.7241		
	318	0.6944	-0.3647	903.5502		
400 ppm	298	0.2611	-1.3429	3327.1969	7284.4530	13.4243
	303	0.2859	-1.2522	3102.4609		
	318	0.3178	-1.1464	2840.4657		
600 ppm	298	0.1803	-1.7134	4245.1658	3056.1858	3.9188
	303	0.1877	-1.6729	4144.8162		
	318	0.1959	-1.6303	4039.3002		



Şekil 11. A1-2 Aktif karbonunun kinolin sarısı adsorpsiyonunda farklı konsantrasyon ve sıcaklıklarda termodinamik grafikleri

Figure 11. Thermodynamic graphs of A1-2 activated carbon in quinoline yellow adsorption at different concentrations and temperatures

Yapılan çalışmada pH denemeleri sırasında kinolin sarısı adsorpsiyonunda asidik ortamda gıda boyar maddesi olması, adsorbe olmadan asidik ortamda parçalanması ve bazik ortamda hidroksil iyonları ile etkileşimi sonucu spektrofotometre ölçümlerinde farklı sonuçlar vermektedir. Bu durum renk oluşumunda moleküldeki -COOH, -SO₃H, -OH, -NH₂, gibi gruplar, π- elektronlarının

delokalizasyonunu güçlendirmesi sonucu absorpsiyon bandları daha büyük dalga boyu olan bölgeye kayar ve renklilik kazanır. Örneğin: nitrobenzen-açık sarı, nitrofenol-sarı (Başer ve İnanıcı, 1990). Bu nedenle asidik ve bazik ortamdaki deneme sonuçlarında bulunan değerlerin doğruyu yansıtmadığı düşünülerek pH denemeleri yapılmamıştır. Bu çalışmada kimyasal

imregnasyon maddesi olarak sodyum hidroksit kullanılmıştır. Bunun yanı [Genel ve Genel \(2021\)](#) tarafından yapılan bir çalışmada yabancı kuşburnu talaşının aynı yöntem kullanılarak çinko klorür ile imregnasyonu ile aktif karbon elde edilmiş ve kinolin sarısı adsorpsiyonu incelenmiştir. Çinko klorürü imregnasyonu ile yapılan aktif karbonun bet yüzey alanı sodyum hidroksitle yapılan aktif karbon yüzey alanıyla yaklaşık olarak aynı, mikro gözenek yüzey alanı ise düşüktür. Ortalama gözenek çapı ise yüksektir. Bu farklılıklar molekül boyutları farklı adsorbe edilecek maddelerin sulu çözeltilerden gideriminde önem taşımaktadır.

4. Sonuçlar

Yapılan çalışmada; hammaddeye yapılan imregnasyon işlemiyle gözenek sayısı ve yüzey alanı yüksek aktif karbon üretilebileceği söylenebilir. Nitekim bu çalışmada, gözenek sayısı ve mikropor sayısı yükselmiş, BET yüzey alanı 1152,3049 m²/g, Langmuir yüzey alanı 1564.3621 m²/g ve gözenek genişliği 20,5 Å olan mezopor gözenekli bir aktif karbon elde edilmiştir. Adsorpsiyon deneylerinde kinolin sarısı adsorpsiyonunun Langmuir izotermine uyumlu olduğu görülmüştür. Termodinamik değerlere bakıldığında tek tabakalı ve fiziksel bir adsorpsiyonun gerçekleştiği söylenebilir. Kinetik model olarak R² değeri 0,99 olan yalancı ikinci dereceden kinetik modele uyumlu olduğu görülmüştür. Üretilen aktif karbonun kinolin sarısı adsorpsiyonunda 245.6885 mg/g adsorpsiyon kapasitesinin olduğu belirlenmiştir. Söz konusu aktif karbon sulu çözeltilerden boyarmadde uzaklaştırılmasında kullanılabilir. Ayrıca aynı hammadde ile farklı kimyasal imregnasyonu benzer ya da daha yüksek gözenekli yapıda aktif karbonlar üretilebilir. Bu aktif karbonların mikro gözenek sayısının fazla olması cerrahi maske yapımında ve adsorpsiyon işlemlerinde ve mikro ve mezo gözenek yapısı gerektiren birçok alanda kullanılabilir nitelik taşıdığını göstermektedir.

Yazar katkısı

Author contribution

Yazarlar bu çalışmaya eşit olarak katkı sağlamıştır.

Etik beyanı

Declaration of ethical code

Bu makalenin yazarları, bu çalışmada kullanılan materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve yasal-özel izin gerektirmediğini beyan etmektedir.

Çıkar çatışması beyanı

Conflicts of interest

Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Kaynaklar

References

- Ahmet, C. & Sivrikaya, H. (2017). Mantar tahribatına uğramış titrek kavak odununun FT-IR yöntemiyle kimyasal analizi. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 19 (1): 139-147. <https://doi.org/10.24011/barofd.299364>
- Al-Oweini, R. & El-Rassy, H. (2009). Synthesis and characterization by FTIR spectroscopy of silica aerogels prepared using several Si (OR) 4 and R'' Si (OR') 3 precursors, *Journal of Molecular Structure*, 919 (1-3), 140-145. <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2008.08.025>
- Altun, T. & Parlayıcı, Ş. (2018). Sepiolit-kitosan kompozitlerinin sentezi ve bu kompozit ile sulu çözeltilerden Cr (VI) adsorpsiyonunun incelenmesi, *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 6(2), 242-254. DOI: 10.15317/Scitech.2018.130
- Amarasinghe, B.M.W.P.K. & Williams, R.A. (2007). Tea waste as a low cost adsorbent for the removal of Cu and Pb from wastewater. *Chemical Engineering Journal*, 132(1-3), 299-309. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2007.01.016>
- Balakrishnan, K. & Schwank, J. (1992). FTIR study of bimetallic Pt-Sn/Al₂O₃ Catalysts, *Journal of Catalysis*, 138 (2), 491-499. [https://doi.org/10.1016/0021-9517\(92\)90301-W](https://doi.org/10.1016/0021-9517(92)90301-W)
- Bağ, Ö. & Tekin, K. (2019). Production and characterization of hydrothermal carbon from waste lignocellulosic Biomass, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 35 (2), 1063-1076. <https://doi.org/10.17341/gazimmfd.427448>
- Başer, İ. & İnanıcı, M. (1990). *Boyarmadde Kimyası*. (1. Baskı), İstanbul: Marmara Üniversitesi Yayınları
- Baytar, O., Ceyhan, A. A. & Şahin, Ö. (2021). Production of activated carbon from elaeagnus angustifolia seeds using H₃PO₄ activator and methylene blue and malachite green adsorption, *International Journal of Phytoremediation*, 23(7), 693-703. <https://doi.org/10.1080/15226514.2020.1849015>
- Beşergil, B. (2015). *Enstrümantal Analiz Temel İlkeler*. (1. Baskı).Ankara: Gazi Kitabevi.

- Cagnon, B., Chedeville, O., Cherrier, J. F., Caqueret, V. & Porte, C. (2011). Evolution of adsorption kinetics and isotherms of gallic acid on an activated carbon oxidized by ozone: comparison to the raw material. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 42(6), 996-1003. <https://doi.org/10.1016/j.jtice.2011.05.004>
- Chen, Y., Mastalerz, M. & Schimmelmann, A. (2012). Characterization of chemical functional groups in macerals across different coal ranks via micro-FTIR spectroscopy. *International Journal of Coal Geology*, 104, 22-33. <https://doi.org/10.1016/j.coal.2012.09.001>
- Corazzari, I., Nisticò, R., Turci, F., Faga, M. G., Franzoso, F., Tabasso, S. & Magnacca, G. (2015). Advanced physico-chemical characterization of chitosan by means of TGA coupled on-line with FTIR and GCMS: Thermal degradation and water adsorption capacity. *Polymer Degradation And Stability*, 112, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2014.12.006>
- Dubin, M. M. (1947). The equation of the characteristic curve of activated charcoal. *Doklady Akademii Nauk.*, 55, 327-329.
- El-Khaiary, M. I. (2008). Least-squares regression of adsorption equilibrium data: comparing the options. *Journal of Hazardous Materials*, 158(1), 73-87. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.01.052>
- El Nemr, A., El Sikaily, A., Khaled, A. & Abdelwahab, O. (2007). Removal of toxic chromium (VI) from aqueous solution by activated carbon using casuarina equisetifolia. *Chemistry and Ecology*, 23(2), 119-129. <https://doi.org/10.1080/02757540701197754>
- Eşme, A. (2013). *Sudan moleküllerinin ve metal komplekslerinin deneysel ve teorik olarak yapılarının incelenmesi*. Doktora tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- Eren, Z., Bozkurt, A.E. & Dönmez, Z. (2020). Investigation of the adsorption capacity of hopa thermal power plant fly ash, a fuel-oil sourced fly ash. *Journal of Environmental and Natural Studies*, 2, Issue 2, Pages, 69-87.
- Genel, Y., Ceylan, H. & Saltabaş, Ö. (2013). Heavy metal removal from aqueous solution by activated kaolin. *Fresenius Environmental Bulletin*, 22(10), 2888-2895.
- Genel, İ., & Genel, Y. (2021). Yabani kuşburnu ağacı talaşının çinko klorür ile impregnasyonu sonucu aktif karbon üretimi ve kinolin sarısı adsorpsiyonu. *Uluslararası Bilimsel Araştırmalar Kongresi*, 43. Ankara.
- Güner, U. (2014). *Toksikoloji*, Trakya Üniversitesi Fen Fakültesi, 2, 186-189.
- Gümüş, D., & Gümüş, F. (2018). Potasyum permanganat kaplı zeolit ve demir oksit kaplı zeolitle metil oranjin adsorpsiyon çalışmaları. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 21(1), 43-54.
- Gürten, İ. I. 2008. *Çay atığından adsorbent üretimi ve üretilen adsorbentin adsorpsiyon özelliklerinin incelenmesi*, Doktora tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Ho, Y. S. & McKay, G. (1999). Pseudo-second order model for sorption processes. *Process Biochemistry*, 34 (5), 451-465. [https://doi.org/10.1016/S0032-9592\(98\)00112-5](https://doi.org/10.1016/S0032-9592(98)00112-5)
- İşsever, H., İşsever, T. & Öztan, G. (2020). COVID-19 epidemiyolojisi. *Sağlık Bilimlerinde İleri Araştırmalar Dergisi*, 3(S1), 1-13. <https://doi.org/10.26650/JARHS2020-S1-0001>
- Kholodkov, I., Biederman, H., Slavinská, D., Choukourov, A. & Trchova, M. (2003). Plasma polymers prepared by RF sputtering of polyethylene. *Vacuum*, 70 (4), 505-509. [https://doi.org/10.1016/S0042-207X\(02\)00702-9](https://doi.org/10.1016/S0042-207X(02)00702-9)
- Kimura, T., Kodama, M. & Nagata, C. (1979). Nitroxide radicals generated from carcinogenic aminoazo dyes during their metabolism in vivo and in enzymatic system in vitro. *Biochemical Pharmacology*, 28(4), 557-560. [https://doi.org/10.1016/0006-2952\(79\)90254-5](https://doi.org/10.1016/0006-2952(79)90254-5)
- Kobayashi, H., Karasawa, H., Miyase, T. & Fukushima, S. (1984). Studies on the constituents of cistanche herba. III. isolation and structures of new phenylpropanoid glycosides. *Cistanosides a and b. Chemical and Pharmaceutical Bulletin*, 32 (8): 3009-3014. <https://doi.org/10.1248/cpb.32.3009>
- Kocaer, F. O. & Alkan, U. (2002). Boyarmadde içeren tekstil atıklarının arıtım alternatifleri. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 7, 47-55.
- Küçükgül, E. Y. (2004). Ticari aktif karbon üretimi ve özelliklerinin belirlenmesi. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 6 (3), 41-56.
- Langmuir, I. (1916). The constitution and fundamental properties of solids and liquids. Part I. Solids. *Journal of The American Chemical Society*, 38(11), 2221-2295.

- Lagergren, S. (1898). Zur theorie der sogenannten adsorption gelöster stoffe. *Kungliga Svenska Vetenskapsakademiens Handlingar* 24(4),1-9
- Liu, Q., Wang, S., Zheng, Y., Luo, Z. & Cen, K. (2008). Mechanism study of wood lignin pyrolysis by using TG–FTIR analysis. *Journal of Analytical And Applied Pyrolysis*, 82 (1), 170-177. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2008.03.007>
- Peng, W., Li, H., Liu, Y. & Song, S. (2017). A review on heavy metal ions adsorption from water by graphene oxide and its composites. *Journal of Molecular Liquids*, 230, 496-504. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2017.01.064>
- Petibois, C., Gionnet, K., Gonçalves, M., Perromat, A., Moenner, M. & Délérís, G. (2006). Analytical performances of FT-IR spectrometry and imaging for concentration measurements within biological fluids, cells, and tissues, *Analyst*, 131(5), 640-647. <https://doi.org/10.1039/b518076g>
- Redlich, O. J. D. L. & Peterson, D. L. (1959). A useful adsorption isotherm. *Journal of Physical Chemistry*, 63(6), 1024-1024.
- Shen, D. K., Gu, S., Luo, K. H., Wang, S. R. & Fang, M. X. (2010). The pyrolytic degradation of wood-derived lignin from pulping process. *Bioresource technology*, 101(15), 6136-6146. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.02.078>
- Şenel, Ü., Sur, H.İ. & Demirtaş, M. (2012). Tekstil endüstrisinde kullanılan bazı sentetik direkt boyarmaddelerin mutajenik etkisinin umu-testi ile araştırılması. *KSÜ Doğa Bilimleri Dergisi*, 15(1),13-19.
- Yilgor, N., Dogu, D., Moore, R., Terzi, E. & Kartal, S. N. (2013). Evaluation of fungal deterioration in liquidambar orientalis mill heartwood by FT-IR and light microscopy, *Bio Resources*, 8(2), 2805-2826.
- Yuan, Y., Cai, X., Tan, B., Zhou, S. & Xing, B. (2018). Molecular Insights into reversible redox sites in solid-phase humic substances as examined by electrochemical in situ FTIR and two-dimensional correlation spectroscopy, *Chemical Geology*, 494, 136-143. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2018.07.029>

Investigation of the effects of different central steel brace type on nodal point connection detail and building behaviour

Farklı merkezi çelik çapraz tipinin düğüm noktası birleşim detayına ve bina davranışına etkilerinin incelenmesi

Şenol GÜRİSOY^{*1,a}, Büşra CENGİZ^{2,b}

¹Karabük University, Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering, 78050, Karabük

²Karabük University, Graduate Education Institute, Department of Civil Engineering, 78050, Karabük

• Geliş tarihi / Received: 17.07.2021

• Düzeltilek geliş tarihi / Received in revised form: 21.10.2021

• Kabul tarihi / Accepted: 27.10.2021

Abstract

High strength and ductility properties of steel structures have been the reason for the preference against earthquake effects. However, it has observed that significant damages occurred in particularly the nodal point connection of the steel structures in the investigations made after the earthquakes. Therefore, it is very important to know the effect of different central steel brace and nodal point connection type on steel structure behavior. The main purpose of this study is to comparatively examine the effects on the behavior of steel structures of the different central braced types and nodal point connection detail. The findings obtained from structural analyses reveal that different central steel brace members contribute positively to the behavior of steel structures. This result shows that central steel braced that increase the performance of steel structures are very important. In Turkey, particularly in terms of the safety and performance of the steel structures to be constructed in earthquake zones is proposed to prefer steel structural systems with bidirectional central steel braces.

Keywords: Center steel braces, Design of steel structures, Sta-Steel, Steel structural systems

Öz

Çelik yapıların yüksek dayanım ve süneklik özellikleri deprem etkilerine karşı tercih edilme nedeni olmaktadır. Ancak depremler sonrasında yapılan incelemelerde çelik yapıların özellikle birleşim bölgelerinde önemli hasarların meydana geldiği gözlemlenmiştir. Bu nedenle farklı merkezi çelik çaprazların ve düğüm noktası birleşiminin türünün çelik yapı davranışına etkisini bilmek çok önemlidir. Bu çalışmanın temel amacı farklı merkezi çapraz tiplerinin ve düğüm noktası birleşim detayının çelik yapıların davranışlarına etkisini karşılaştırmalı olarak incelemektir. Yapısal çözümlerden elde edilen bulgular, farklı merkezi çelik çapraz elemanların çelik yapıların davranışlarına olumlu katkı sağladığını ortaya koymaktadır. Bu sonuç çelik yapıların performansını artıran merkezi çelik çaprazların oldukça önemli olduğunu göstermektedir. Türkiye’de özellikle deprem bölgelerinde inşa edilecek çelik yapıların emniyeti ve performansı bakımından iki yönlü merkezi çelik çaprazlara sahip çelik taşıyıcı sistemlerinin tercih edilmesi önerilmektedir.

Anahtar kelimeler: Merkezi çelik çaprazlar, Çelik yapıların tasarımı, Sta-Steel, Çelik taşıyıcı sistemler

*a Şenol GÜRİSOY; sgursoy@karabuk.edu.tr, Tel: (0370) 418 70 60, orcid.org/0000-0001-8133-0906

^b orcid.org/0000-0003-0899-8007

1. Introduction

1. Giriş

It is seen that the most common use of steel structures in Turkey is in industrial buildings. On the other hand, after the earthquakes that took place in recent years, the buildings have increased in the interest in the use of steel materials, too. This situation further increases the importance of constructing steel structures in accordance with the design and technique. Because the main feature expected from the structures built and/or to will be built in Turkey where almost all lands are at earthquakes hazard is that they are resistant to earthquakes. However, to minimize the structural damages resulting from earthquakes that will occur, it is necessary to correctly understand the earthquake behaviours of the structures in question and make appropriate designs. For this purpose, some researchers have investigated the behaviour of steel structural systems with different stiffness elements added to reduce the effects of especially earthquakes (Gönen, 1997; Tama, 2003; Ay et al., 2010; Kural & Zeybek, 2011; Özçelik, 2016; Yelgin & Bulut, 2016; Çavdar, 2017; Çavdar, 2019).

The selection and sizing of steel structural systems is related to the number of stories. Because as the number of stories increases, horizontal loads such as wind and earthquake acting on the structure to increase and these increasing loads are more effective than vertical loads. In cases where this horizontal load acting on the steel structure is more effective according to the vertical load, the importance of braced frame types more increases to meet the said horizontal loads. In the design of steel structures, frames with central steel braces can be used, as well as frames with external central steel braces, too. However, the easiest to design and most preferred especially in the construction of industrial structures are steel frames with central braces. But the ductility of central braced steel frames is lower than other types of frames (external central steel braced frames and moment-transferring steel frames). In addition, brittle fractures formed in the brace nodal point connections of the central braced frames are as the biggest problem. For this reason, the design of brace nodal point connections should be calculated according to the maximum force that can be transferred from the braces.

This article aims to determine the effects of the central steel brace types used in the design of steel structures in Turkey on the performance of the structure in question. For this purpose, by taking

the moment-transmitting frame as the reference model (model 1), the X, V, Λ and / diagonal braced structural models were created according to the conditions of the Turkish Building Earthquake Code (TBEC, 2019) and the Regulation on the Design, Calculation and Construction Principles of Steel Structures (ÇYTHYDE, 2018). Structural analyses of the central braced steel structure models selected as an example was made with the Sta-Steel program (Sta-Steel, 2019). Thus, some conclusions were presented by comparing the obtained findings.

2. Frames with central steel brace by Turkey building earthquake regulations

2. Türkiye bina deprem yönetmeliğine göre merkezi çelik çaprazlı çerçeveler

Steel braced frames are systems that can form a central or external center and can carry horizontal loads. Central Steel Braced Frames (CSBF) systems are formed by connecting the axes of columns, beams and cross members forming the nodal point by overlapping. In addition, CSBF systems can be designed in two ways: ductility level limited (DLL) and ductility level high (DLH). External Center Braced Steel Frames (ECBSF) systems are formed by connecting the cross members to the nodal points as an external center. However, ECBSF systems can only be designed as DLH.

In CSBF systems with DLH, even if some of the brace members exposed to pressure effects are twisted, dimensioning in such a way that significant strength loss does not occur in the structural system should be done. On the other hand, CSBF systems are damping the earthquake energy to a significant extent when the braces subjected to pressure effects reach the yield strength by buckling and the braces subjected to tensile effects reach the yielding state due to tensile effects. Therefore, CSBF systems show very good plastic behaviour. In addition, since the brace members in these systems meet all the horizontal loads, all plastic deformations are expected to occur in these elements, while columns, beams, and nodal points are required to remain in the elastic region (Türk, 2016). However, since they are designed to withstand large dynamic effects, their ductility is lower than that of moment-transmitting frames. In the Turkish Building Earthquake Code (TBEC), which came into force in 2019, CSBF systems are given in Figure 1.

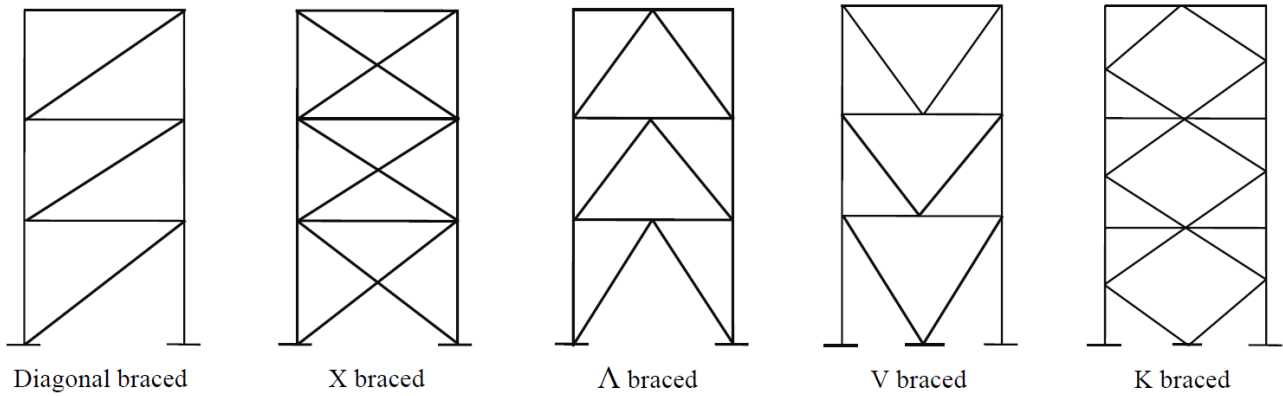


Figure 1. Types of CSBF according to Turkish Building Earthquake Code (TBEC, 2019)

Şekil 1. Türkiye bina deprem yönetmeliğine göre merkezi çelik çaprazlı çerçeve (CSBF) tipleri (TBEC, 2019)

3. Study method

3. Çalışma metodu

The numerical applications of this study, it consists of 8 steel building models, symmetrical in plan and with three spans having each span 6 m in both directions, and 5 stories with each storey 3 m high. The structural systems of the formed building models consist of 8 different models as moment-transmitting frame and CSBF (/, X, V and Λ). In addition, it is accepted that the selected building models are symmetrical in both directions to avoid additional section effects due to structural torsion (Cengiz, 2020).

All columns HE 300B, main beams IPE 270, intermediate beams in the y-direction IPE 240 and x-direction IPE 220 of each steel structure model (moment transmitting frame, X braced frame, V braced frame, Λ braced frame and / diagonal braced frames) were created with profiles. In structural analyses, nodal point connections have modelled as rigid before forming bolted connections. In addition, the structural analyses of the CSBF building models were carried out according to the ZB local soil class (Cengiz, 2020). Other features of the steel buildings models selected as examples are given Table 1.

Table 1. Other structural features of the steel buildings models

Tablo 1. Çelik bina modellerinin diğer yapısal özellikleri

Models	Frame type	All columns	Main beams	Intermediate beams x-direction	Intermediate beams y-direction	Brace profiles using in the outer axles	Explanation
model 1	Moment transmitting frame	HE 300B	IPE 270	IPE 220	IPE 240	-	see Figure 2a
model 2	Central X steel braced frame	HE 300B	IPE 270	IPE 220	IPE 240	R140x10 box	see Figure 2b
model 3	Central V steel braced frame	HE 300B	IPE 270	IPE 220	IPE 240	R140x10 box	see Figure 2c
model 4	Central Λ steel braced frame	HE 300B	IPE 270	IPE 220	IPE 240	R140x10 box	see Figure 2d
model 5	Central / steel braced frame (Λ formed on the corner columns)	HE 300B	IPE 270	IPE 220	IPE 240	R140x10 box	see Figure 2e
model 6	Central / steel braced frame (V formed on the corner columns)	HE 300B	IPE 270	IPE 220	IPE 240	R140x10 box	see Figure 2f
model 7	Central / steel braced frame (// formed on the corner columns)	HE 300B	IPE 270	IPE 220	IPE 240	R140x10 box	see Figure 2g
model 8	Central / steel braced frame (\\ formed on the corner columns)	HE 300B	IPE 270	IPE 220	IPE 240	R140x10 box	see Figure 2h

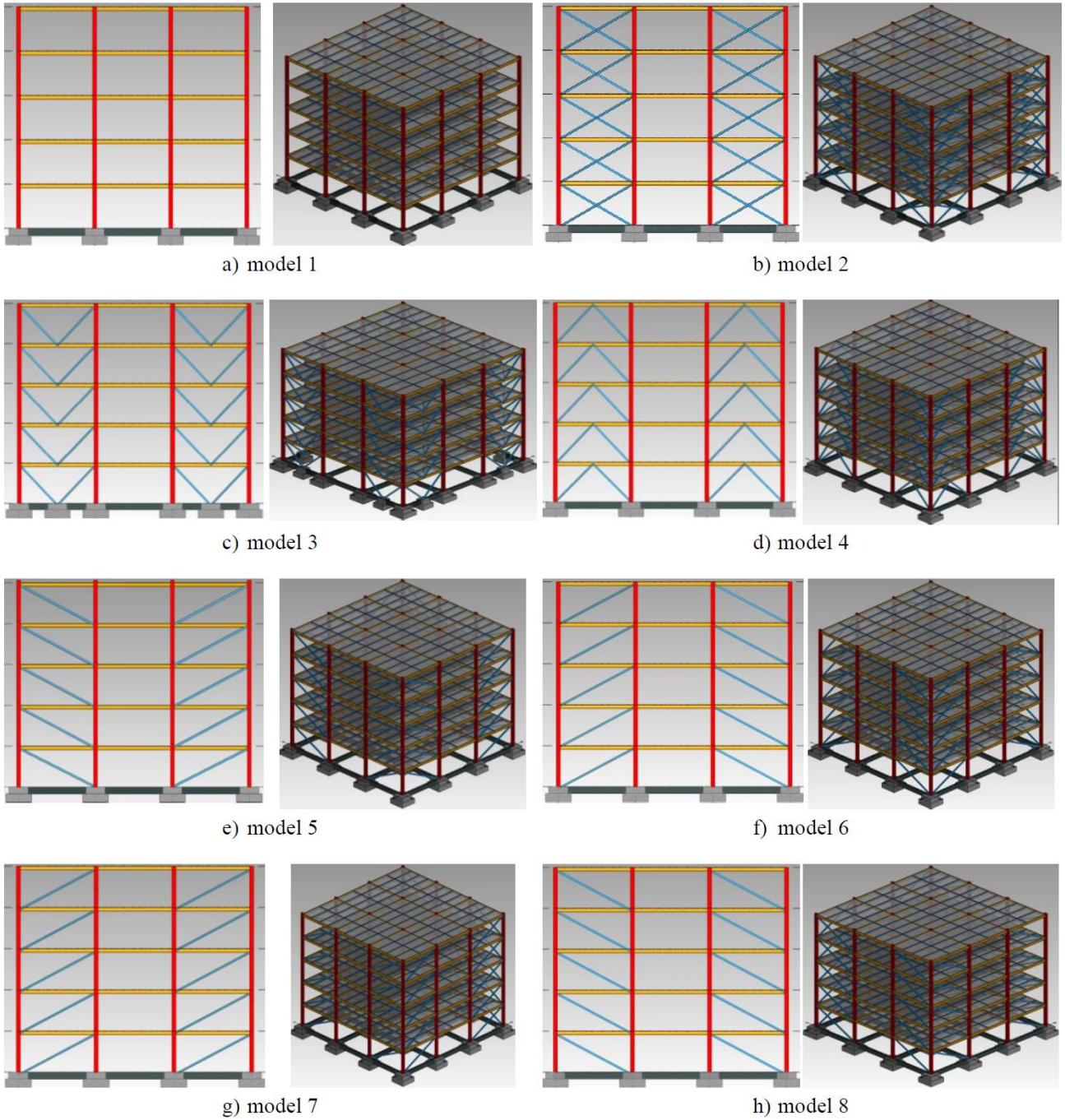


Figure 2. External axle section and 3D view of models
Şekil 2. Modellerin dış aks kesiti ve 3 boyutlu görünümü

The foundation view and dimensions of the steel building models considered in this study are shown in Figure 3. In addition, the semi-rigid nodal point details of the central steel braced frames are formed bolted and welded as shown in Figure 4. Plate

thicknesses seen in this figure are 20 mm and weld thicknesses are considered as 14 mm.

Here, it would be useful to point out that the rigid column-beam nodal points are welded and the weld thickness in these nodal points is 14mm.

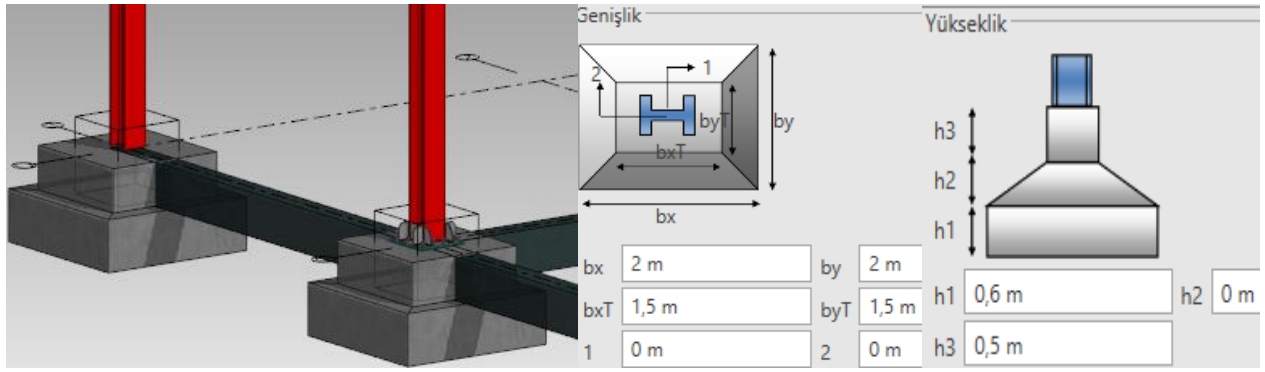


Figure 3. View and dimensions of the foundation system of steel building models

Şekil 3. Çelik bina modellerinin temel sisteminin görünümü ve boyutları

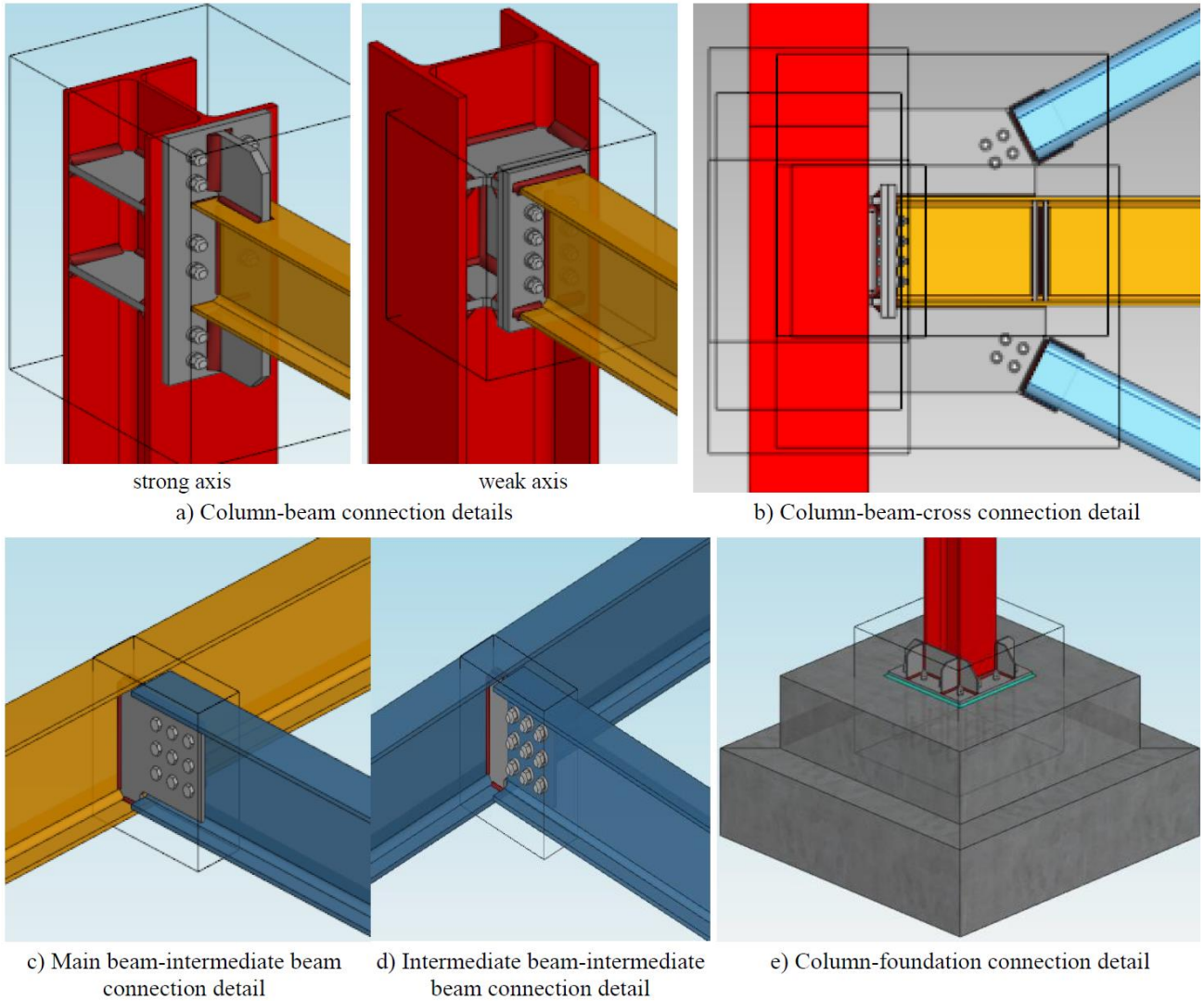


Figure 4. Details of nodal point created as bolted and welded of the considered frames

Şekil 4. Dikkate alınan çerçevelerin bulonlu ve kaynaklı olarak oluşturulan düğüm noktası birleşim detayları

3.1. Material properties of structural elements of steel building models

3.1. Çelik bina modellerinin yapısal elemanlarının malzeme özellikleri

European profiles were used for dimensioning the

structural elements. Accordingly, columns, beams and brace members have designed with S275 steel. Material properties related to S275 steel are given in Table 2. In addition, 8.8 bolt class has used in nodal point connections. The properties related to this bolt class are given in Table 3, too. Other

design parameters of the building models are also given in Table 4. The snow load given in Table 4 was selected according to the province of Kütahya

(TS EN 1991-1-3, 2007). In addition, TS 498 regulation was used in the calculation of the wind load affecting the building models (TS-498, 1997).

Table 2. Characteristic yield stress, F_y and tensile strength, F_u of S275 material

Tablo 2. S275 malzemesinin karakteristik akma gerilmesi, F_y ve çekme dayanımı, F_u

Steel class	Characteristic thickness, t (mm)			
	t ≤ 40 mm		40 mm ≤ t ≤ 80 mm	
	F_y (N/mm ²)	F_u (N/mm ²)	F_y (N/mm ²)	F_u (N/mm ²)
EN 10025-2 S275	275	430	255	410

Table 3. Characteristic yield stress and tensile strength of bolt class

Tablo 3. Bulon sınıfının karakteristik akma gerilmesi ve çekme dayanımı

Bolt class	Characteristic yield stress, F_{yb} (MPa)	Characteristic tensile strength, F_{ub} (MPa)
8.8	640	800

Table 4. Other design parameters of building models

Tablo 4. Bina modellerinin diğer tasarım parametreleri

Building importance coefficient (residence and workplace), I	1	
Structural system behaviour coefficients, (R_x ve R_y)	4	
Live load participation coefficient (residences and workplace)	0.30	
Longitude according to Turkey earthquake map	30.048	
Latitude according to Turkey earthquake map	39.386	
Short period map spectral acceleration coefficient (S_s)	0.8399	
Map spectral acceleration coefficient for 1s period (S_1)	0.2122	
Short period design spectral acceleration coefficient (S_{ds})	0.7559	
Design spectral acceleration coefficient for 1s period (S_{d1})	0.1698	
Earthquake ground motion level	DD2	
Earthquake design class	DTS1	
Strength excess coefficients (D_x ve D_y)	Moment transmitting frame	2.5
	Center braced frames	2
Foundation soil bearing capacity for ZB local soil class (kN/m ²)	700	
Foundation bedding coefficient for ZB local ground class (kN/m ³)	100000	
Equivalent earthquake load comparison coefficient (β)	0.80	
Earthquake eccentricity (e)	0.05	
Horizontal elastic design acceleration spectrum corner period, T_A (s)	0.04492	
Horizontal elastic design acceleration spectrum corner period, T_B (s)	0.22457	
Transition period to constant displacement in the spectrum of horizontal elastic design, T_L (s)	6	
Snow load (kN/m ²)	1.3	
Live load (kN/m ²)	2	
Wind load (kN/m ²)	up to 8 m high	0.5
	up to 20 m high	0.8

4. Discussion of findings obtained from structural analyses

4. Yapısal çözümlerden elde edilen bulguların tartışılması

In order to compare the behaviours of the central steel braced building models considered in this article, the critical nodal points and structural elements have been selected as in Figure 5.

The period and angular velocity values obtained from the structural analyses as rigid and semi-rigid

of nodal point connections according to the mode superposition method of the considered DLL central steel braced building models are given in Table 5. From this table, it is seen that the period values obtained from model 1 for the first three modes are larger than the central steel braced building models, in spite of that the angular velocity (ω) values are smaller than the central steel braced building models. On the other hand, in all building models, the period values obtained from the structural analyses carried out with the rigid assumption of the nodal point connections are

larger than those obtained from the structural analyses carried out with semi-rigid assumption of the nodal point connections. This situation reveals that the period values are significantly reduced in all building models created by using central steel brace members. These findings obtained from structural analyses show that the period values of all building models with increased lateral stiffness by using central steel brace members decrease.

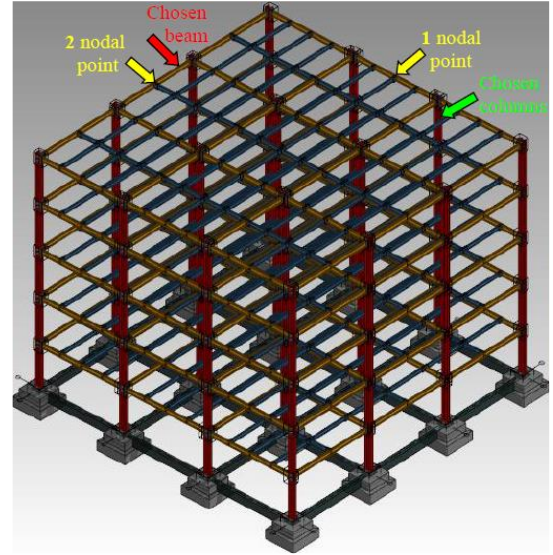


Figure 5. Selected nodal point and structural elements of steel building models

Şekil 5. Çelik bina modellerinin seçilen düğüm noktası ve yapısal elemanları

Table 5. Period and angular velocity values obtained from rigid and semi-rigid structural analyses of central steel braced building models

Tablo 5. Merkezi çelik çaprazlı bina modellerinin rijit ve yarı-rijit yapısal çözümlerinden elde edilen periyot ve açısal hız değerleri

Models	1. mod		2. mod		3. mod		
	T (s)	ω	T (s)	ω	T (s)	ω	
Model 1	rigid connection	0.7889	7.964	0.6708	9.367	0.5876	10.693
	semi-rigid connection	0.4755	13.214	0.3929	15.992	0.3790	16.578
Model 2	rigid connection	0.5329	11.791	0.5016	12.526	0.3132	20.061
	semi-rigid connection	0.4551	13.806	0.3762	16.702	0.3207	19.592
Model 3	rigid connection	0.5440	11.550	0.5097	12.327	0.3159	19.890
	semi-rigid connection	0.4581	13.716	0.3789	16.583	0.3218	19.525
Model 4	rigid connection	0.5393	11.651	0.5035	12.479	0.3121	20.132
	semi-rigid connection	0.4588	13.695	0.3783	16.609	0.3212	19.562
Model 5	rigid connection	0.5540	11.341	0.5168	12.158	0.3228	19.465
	semi-rigid connection	0.4565	13.764	0.3752	16.746	0.3269	19.221
Model 6	rigid connection	0.5559	11.303	0.520	12.083	0.3251	19.327
	semi-rigid connection	0.4639	13.544	0.3812	16.483	0.3257	19.291
Model 7	rigid connection	0.5544	11.333	0.5197	12.090	0.3249	19.339
	semi-rigid connection	0.4599	13.662	0.378	16.622	0.3259	19.280
Model 8	rigid connection	0.5551	11.319	0.5185	12.118	0.3236	19.417
	semi-rigid connection	0.4599	13.662	0.3779	16.627	0.3258	19.285

The maximum base shear force values obtained from the structural analyses with the mode superposition and equivalent earthquake load methods for the earthquake effect in the x and y directions with the assumptions of rigid and semi-rigid of nodal point connections with the Sta-Steel program of the building models are given in Table 6. From this table, it is seen that the base shear force values obtained by assuming rigid the nodal point connections are greater than the base shear force values obtained by assuming the semi-rigid. On the other hand, the base shear force values obtained by

the equivalent earthquake load method of the considered building models are greater than those obtained by the mode superposition method in both the x and y directions. In addition, the highest base shear force values according to the mode superposition and equivalent earthquake load methods from the structural analyses carried out by assuming rigid the nodal point connections in both the x and y directions are obtained from model 2. But, from the structural analyses performed by assuming that the nodal point connections are semi-rigid, it is seen that the largest base shear

force values according to the mode superposition method are obtained from model 4 and according

to the equivalent earthquake load method are obtained from model 2.

Table 6. Maximum base shear force values obtained from rigid and semi-rigid structural analyses for earthquake effect in x and y directions of building models

Tablo 6. Bina modellerinin x ve y doğrultularındaki deprem etkisi için rijit ve yarı-rijit yapısal çözümlerinden elde edilen maksimum taban kesme kuvveti değerleri

Models	Connection type	Maximum base shear force values (kN)			
		Earthquake effect in x direction		Earthquake effect in y direction	
		mode superposition method	equivalent earthquake load method	mode superposition method	equivalent earthquake load method
model 1	rigid	84.871	101.19	96.17	113.67
	semi-rigid	40.272	48.934	48.321	61.398
model 2	rigid	138.17	176.74	159.92	187.75
	semi-rigid	62.459	79.935	72.606	96.699
model 3	rigid	131.46	167.54	148.31	178.83
	semi-rigid	62.489	74.885	75.681	90.544
model 4	rigid	130.49	169.39	151.69	181.44
	semi-rigid	64.362	74.341	78.162	90.161
model 5	rigid	127.73	162.86	138.62	174.57
	semi-rigid	59.059	73.508	67.727	89.448
model 6	rigid	129.88	162.28	140.04	173.50
	semi-rigid	57.044	72.304	65.181	87.987
model 7	rigid	129.76	162.38	139.09	173.23
	semi-rigid	58.579	72.939	67.261	88.736
model 8	rigid	129.97	162.54	140.07	174.01
	semi-rigid	58.277	72.898	67.004	88.714

The values of overturning force, overturning moment, moment against overturning and safety coefficient obtained from structural analyses for earthquake effects in the x and y directions with the assumptions of the rigid and semi-rigid of nodal point connections of the building models considered are given in Table 7. From this table, it is seen that the overturning force, overturning moment and anti-overturning moment values obtained by assuming rigid of nodal point connections in the x and y directions are larger than those obtained by assuming semi-rigid of nodal point connections. In addition, it is seen that the largest overturning force and overturning moment values by assuming both rigid and semi-rigid in the x and y directions are obtained from model 2, by contrast with the anti-overturning moment is obtained from model 3.

The maximum displacement and rotational values at 1 and 2 nodes from the structural analyses carried out with the assumptions of rigid and semi-rigid

nodal point connections for the earthquake effect in the x and y directions of the DLL central steel braced building models are given in Table 8. From this table, the displacement values at 1 and 2 nodes obtained from model 1 from the structural analyses performed by assuming the nodal point connections as rigid are larger than the other building models considered. By contrast with, the displacement values at 1 and 2 nodes obtained from model 6 from the structural analyses performed by assuming semi-rigid of nodal point connections are larger than the other building models considered. In addition, the rotation values obtained from model 5 at 1 node for the earthquake effect in the x direction and from the model 6 at 2 nodes for the earthquake effect in the y direction are higher than the other building models. These findings reveal that the building models of the central steel braces significantly affect the displacement and rotational values.

Table 7. Overturning force, overturning moment, moment against overturning and safety coefficient values according to rigid and semi-rigid structural analyses for earthquake effect in x and y directions of building models

Table 7. Bina modellerinin x ve y doğrultularında deprem etkisi için rijit ve yarı-rijit yapısal çözümlere göre devrilme kuvveti, devrilme momenti, devrilmeye karşı moment ve güvenlik katsayısı değerleri

	Earthquake direction	Connection type	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4	Model 5	Model 6	Model 7	Model 8
Overturning force (kN)	X	rigid	139.98	336.27	316.91	321.7	284.79	286.79	284.95	286.42
		semi-rigid	60.135	152.69	142.05	145.13	130.83	130.2	131.57	129.74
	Y	rigid	170.5	339.04	320.36	320.39	304.72	308.32	303.2	307.3
		semi-rigid	71.202	163.49	145.52	146.77	145.62	145.2	144.15	143.4
Overturning moment (kNm)	X	rigid	1336.6	3371.1	3181.5	3199.4	2788	2845.9	2824.5	2835.3
		semi-rigid	607.88	1531	1448.5	1449.8	1303.4	1299.7	1309.1	1294
	Y	rigid	1659.9	3362.6	3185.2	3155.8	3023.9	3026.5	2982.2	3023.2
		semi-rigid	731.66	1640.1	1475.7	1462.3	1451.6	1455	1442.9	1439.5
Moment against overturning (kNm)	X	rigid	60734	62604	66113	61890	61672	61676	61326	61667
		semi-rigid	24297	25730	29452	25228	25058	25058	25059	25058
	Y	rigid	60739	62607	66122	61972	61678	61678	61532	61672
		semi-rigid	24297	25730	29453	25228	25059	25058	25058	25058
Factor of safety	X	rigid	45.44	18.571	20.78	19.344	22.12	21.671	21.712	21.75
		semi-rigid	39.97	16.805	20.332	17.401	19.226	19.279	19.142	19.365
	Y	rigid	36.592	18.618	20.759	19.637	20.397	20.379	20.633	20.4
		semi-rigid	33.208	15.688	19.959	17.253	17.262	17.223	17.367	17.408

Table 8. Displacement and rotation values at 1 and 2 nodal points obtained from rigid and semi-rigid structural analyses for earthquake effect in x and y directions of models

Table 8. Modellerin x ve y doğrultularındaki deprem etkisi için rijit ve yarı-rijit yapısal çözümlerinden elde edilen 1 ve 2 düğüm noktalarındaki yerdeğiştirme ve dönme değerleri

Models	Connection type	Earthquake effect in the x direction		Earthquake effect in the y direction	
		1 nodal point (18; 9; 15)		2 nodal point (9; 18; 15)	
		Displacement δ_x (cm)	Rotation θ_y (rad)	Displacement δ_x (cm)	Rotation θ_y (rad)
Model 1	rigid	1.164	0	1.042	0
	semi-rigid	0.792	0.00128	0.678	0.00149
Model 2	rigid	0.993	0	0.950	0
	semi-rigid	0.853	0.00233	0.772	-0.00219
Model 3	rigid	1.004	0	0.962	0
	semi-rigid	0.831	0.00237	0.721	-0.00204
Model 4	rigid	1.004	0	0.945	0
	semi-rigid	0.830	0.00226	0.718	-0.00195
Model 5	rigid	1.015	0	0.984	0
	semi-rigid	0.844	0.00254	0.771	-0.00233
Model 6	rigid	1.01	0	0.987	0
	semi-rigid	0.857	0.00252	0.787	-0.00236
Model 7	rigid	1.003	0	0.983	0
	semi-rigid	0.844	0.0025	0.769	-0.00231
Model 8	rigid	1.004	0	0.981	0
	semi-rigid	0.845	0.00251	0.773	-0.00232

The maximum deflection and displacement values of the beam selected from the structural analyses performed with rigid and semi-rigid assumptions of

the nodal point connections of the building models are given in Table 9.

Table 9. The maximum deflection and displacement values of the selected beam from the structural analyses with the rigid and semi-rigid acceptance of the nodal point combination of the building models
Tablo 9. Bina modellerinin düğüm noktası birleşimlerinin rijit ve yarı-rijit kabulüyle yapısal çözümlerinden seçilen kirişinin maksimum sehim ve yerdeğiştirme değerleri

Models	Connection type	Beam length L (mm)	Maximum deflection (mm)	Maximum displacement (mm)	Limit deflection ($L/300$)
Model 1	rigid	6000	1.1577	1.8958	20
	semi-rigid	5562	0.34035	0.47405	18.54
Model 2	rigid	6000	1.1495	1.8466	20
	semi-rigid	5562	0.31634	0.45269	18.54
Model 3	rigid	6000	1.0738	1.7802	20
	semi-rigid	5562	0.3076	0.4499	18.54
Model 4	rigid	6000	1.2324	1.8736	20
	semi-rigid	5562	0.41366	0.56269	18.54
Model 5	rigid	6000	1.1574	1.8873	20
	semi-rigid	5562	0.34557	0.48007	18.54
Model 6	rigid	6000	1.1035	1.7994	20
	semi-rigid	5562	0.31537	0.45034	18.54
Model 7	rigid	6000	1.1022	1.8216	20
	semi-rigid	5562	0.33417	0.47037	18.54
Model 8	rigid	6000	1.1365	1.8535	20
	semi-rigid	5562	0.33141	0.46712	18.54

From this table, it is seen that the maximum deflection and displacement values obtained by assuming the nodal point connections as rigid are greater than those obtained by assuming the semi-rigid nodal point connection. In addition, the largest deflection values with both rigid and semi-rigid assumptions are obtained from model 4, by contrast with the displacement values are obtained from model 1 with the assumption of rigid and model 4 with the assumption of semi-rigid.

The displacement distributions at the storey levels along the building height from the structural analyses with assumptions of the rigid and semi-rigid of the nodal point connections for earthquake effect in the x and y directions of the building models are given in Figure 6-9, respectively. From these figures, it is seen that the displacement distributions at the storey levels of the building models having central steel brace members are smaller than the displacement distributions obtained from model 1. In addition, the displacement distributions obtained by assuming that the nodal point connections are rigid are larger than the displacement distributions obtained by assuming that the nodal point connections are

semi-rigid. These findings prove that the displacement distribution values obtained by assuming that the nodal point connections of the building models with different central steel braces are both rigid and semi-rigid have decreased significantly compared to model 1 that the reference model. In other words, this situation reveals that these building models perform better than the reference model.

The variation of the earthquake load with the central steel brace ratio, from the structural analyses performed with rigid and semi-rigid assumptions of the nodal point connections of the building models is given in Figure 10. From this figure, it is seen that the earthquake load increases with the increase of the central steel brace ratio. In addition, the earthquake load values obtained by assuming that the nodal point connections are rigid are greater than the earthquake load values obtained by assuming that the nodal point connections are semi-rigid. This finding reveals how important the nodal point connections are in steel structures and that they significantly affect the earthquake load values.

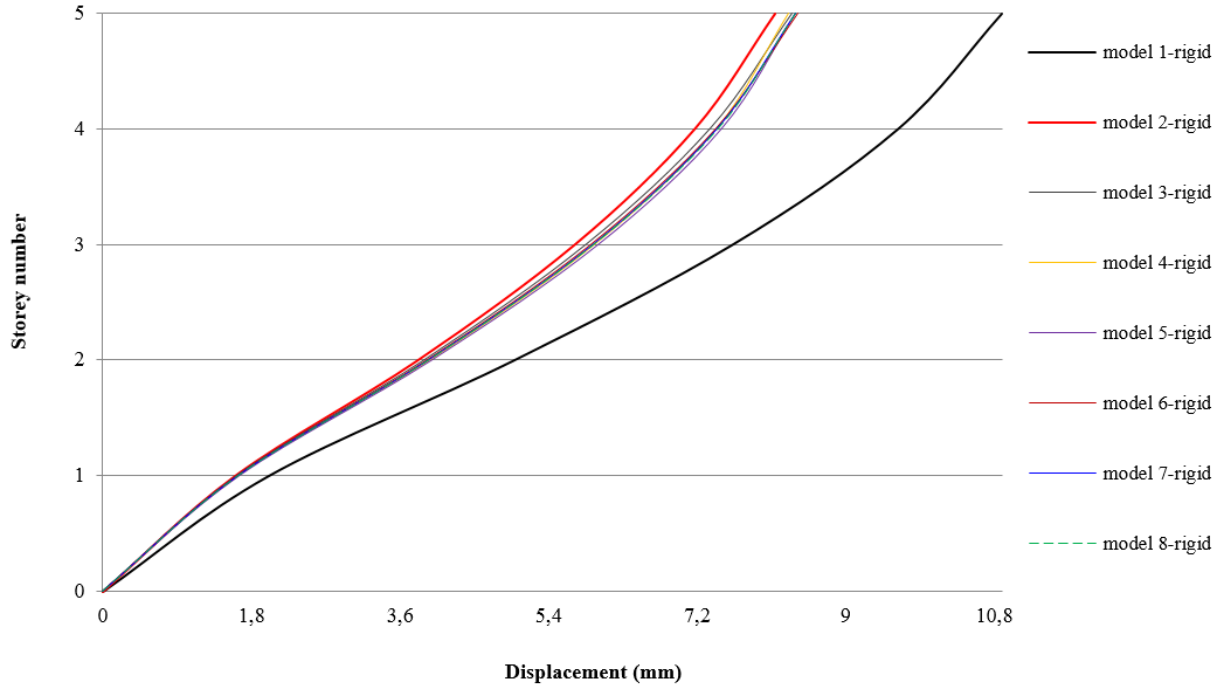


Figure 6. The displacement values at the storey levels of the column selected for the x-direction earthquake effect, assuming that the nodal point combination of the building models is rigid

Şekil 6. Bina modellerinin düğüm noktası birleşimlerinin rijit olduğu kabulüyle x doğrultusundaki deprem etkisi için seçilen kolonunun kat seviyelerindeki yerdeğiştirme değerleri

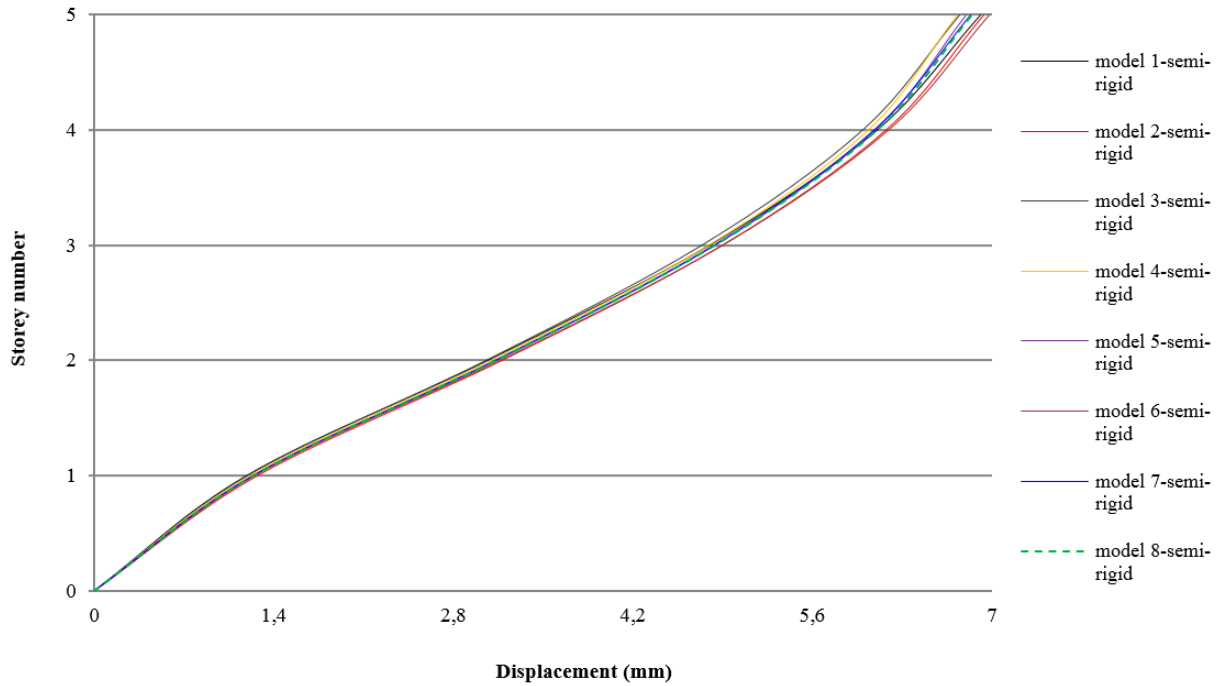


Figure 7. The displacement values at the storey levels of the column selected for the x-direction earthquake effect, assuming that the nodal point combination of the building models is semi-rigid

Şekil 7. Bina modellerinin düğüm noktası birleşimlerinin yarı-rijit olduğu kabulüyle x doğrultusundaki deprem etkisi için seçilen kolonunun kat seviyelerindeki yerdeğiştirme değerleri

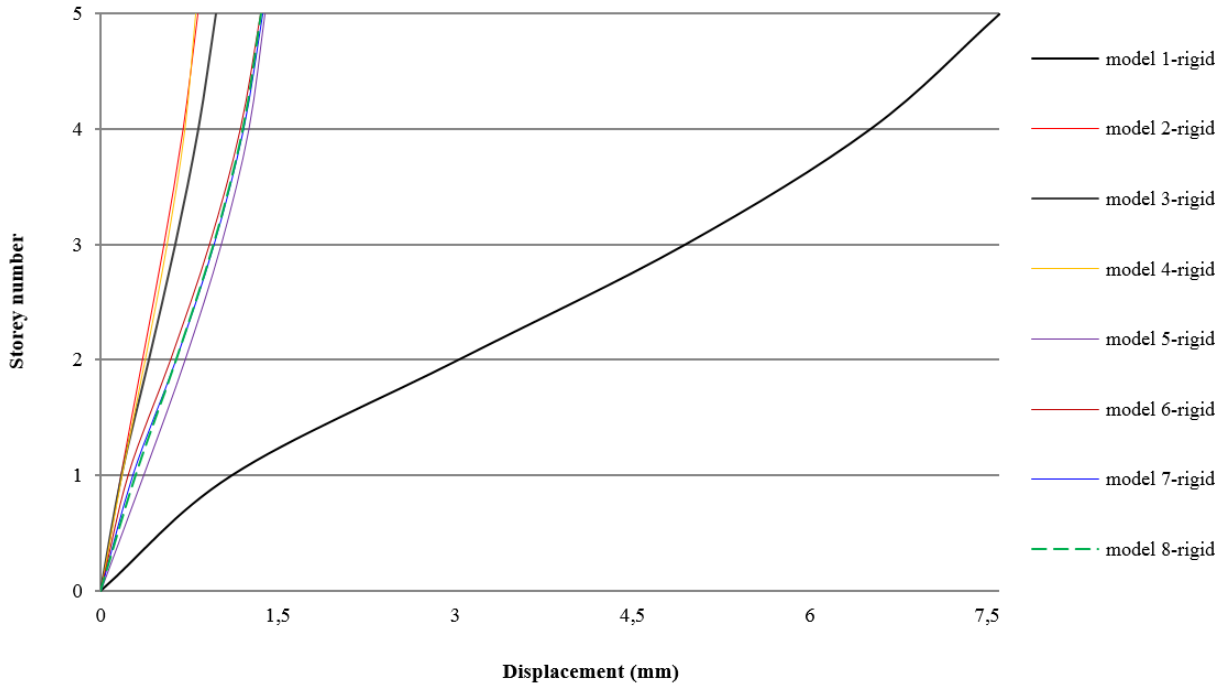


Figure 8. The displacement values at the storey levels of the column selected for the y-direction earthquake effect, assuming that the nodal point combination of the building models is rigid

Şekil 8. Bina modellerinin düğüm noktası birleşimlerinin rijit olduğu kabulüyle y doğrultusundaki deprem etkisi için seçilen kolonunun kat seviyelerindeki yerdeğiştirme değerleri

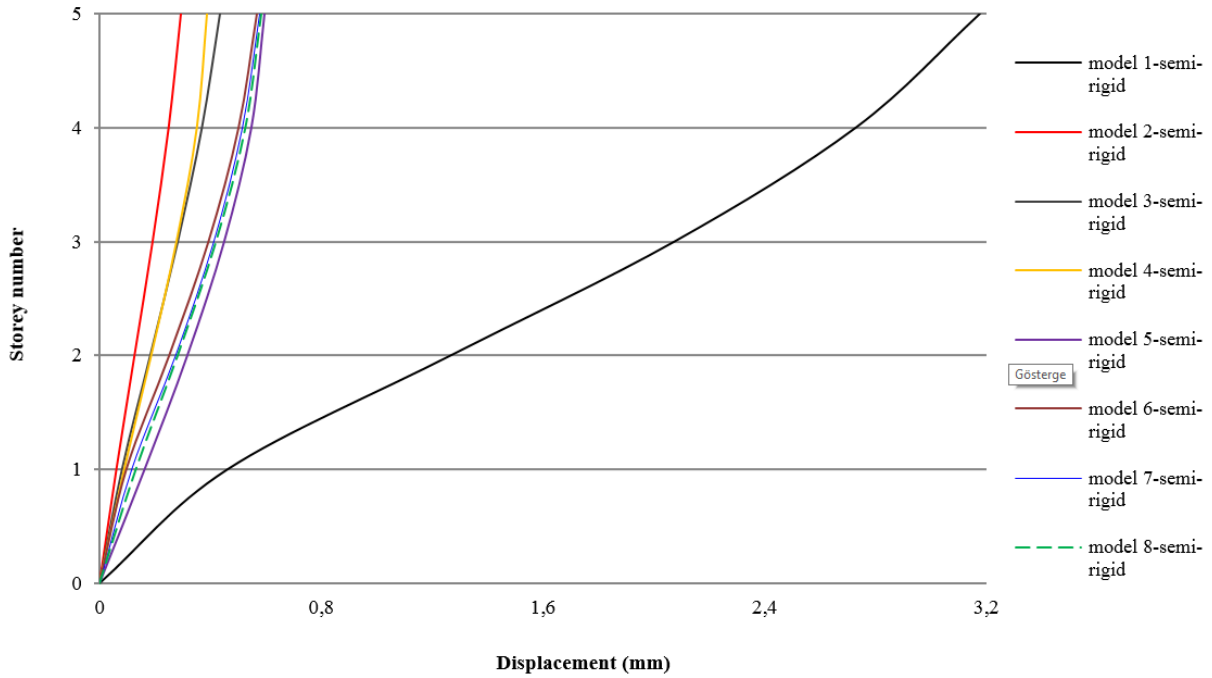


Figure 9. The displacement values at the storey levels of the column selected for the y-direction earthquake effect, assuming that the nodal point combination of the steel building is semi-rigid

Şekil 9. Bina modellerinin düğüm noktası birleşimlerinin yarı-rijit olduğu kabulüyle y doğrultusundaki deprem etkisi için seçilen kolonunun kat seviyelerindeki yerdeğiştirme değerleri

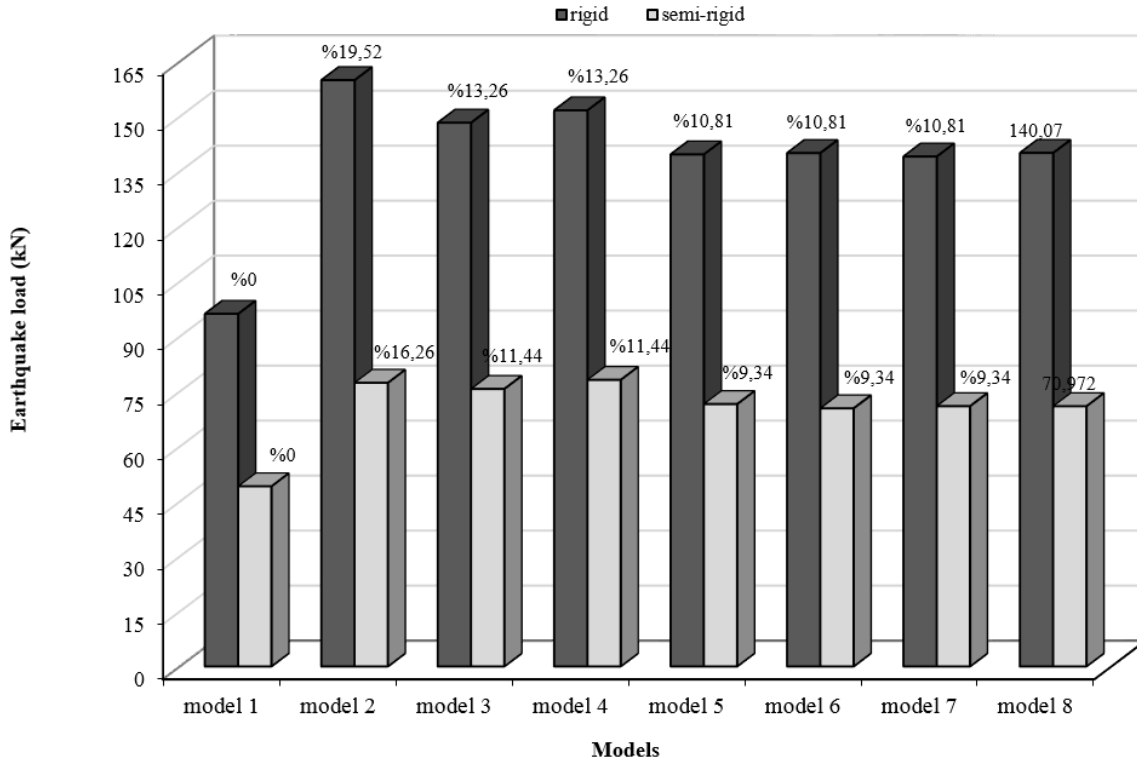


Figure 10. Earthquake load values of building models according to different central steel cross ratios, assuming that the nodal point combination is rigid and semi-rigid

Şekil 10. Düğüm noktası birleşimlerinin rijit ve yarı-rijit olduğu kabulleriyle farklı merkezi çelik çapraz oranlarına göre bina modellerinin deprem yükü değerleri

5. Conclusions and recommendations

5. Sonuçlar ve Öneriler

The main conclusions and recommendations from this study are summarized below.

- From the structural analyses, the period values obtained from model 1 for the first three modes are greater than the models with central steel braces. By contrast with, angular velocity values are obtained smaller than the central steel braced models. This result reveals that the central brace members, which increase the lateral stiffness of the models, decrease the period of the structure in question, thus making a positive contribution to the behaviour of the structure.
- In all building models, the period values obtained by assuming that rigid of nodal points are larger than those obtained by assuming that the nodal points are semi-rigid. This result reveals that nodal point details are very important in the design of steel structures.
- The base shear force values obtained by the equivalent earthquake load method in both the x and y directions of the building models are

greater than those obtained by the mode superposition method. Assuming that the nodal point connections of the building models are rigid, the maximum base shear force value obtained from model 2 by mode superposition and the equivalent earthquake load methods in the x-direction is 62.8% and 74.66% greater than model 1, respectively. In addition, the maximum base shear force value obtained from model 2 by mode superposition and the equivalent earthquake load methods in the y-direction is calculated larger 66.29% and 65.17% according to model 1, respectively. Assuming that the nodal points are semi-rigid, the maximum base shear force value obtained from model 4 by mode superposition method in x and y directions is 59.82% and 61.76% compared to model 1, respectively, and the maximum base shear force value obtained from model 2 by equivalent earthquake load method is 63.35% and 57.49% greater compared to model 1, respectively.

- As a result of the structural analyses, the base shear force values obtained by assuming that rigid of nodal points are greater than the base shear force values obtained by assuming that the nodal points are semi-rigid. This result reveals

that rigid nodal points will meet greater base shear force and transferring the moment.

- Findings obtained from the structural analyses; it is revealed that the building model with two-way central steel brace members behaves better than the taken into account other building models. This result shows that two-way central steel brace members significantly increase the performance of the structure.
- The overturning force, overturning moment and anti-overturning moment values obtained by assuming the nodal points as rigid are larger than those obtained by assuming the semi-rigid nodal points.
- Displacement distributions at storey levels in both x and y directions of different central steel braced building models are smaller than those of the moment-transmitting building model. This result reveals that different central steel brace members that increase the lateral stiffness of the structure increase the performance of the structure in question.
- The displacement distributions obtained at the story levels from the structural analyses performed by assuming that the nodal point connections are rigid in both the x and y directions are greater than the displacement distributions obtained by assuming that the nodal point connections are semi-rigid.
- As a result of the structural analyses carried out with the assumption that the nodal points are both rigid and semi-rigid, the earthquake load values increase with the increase in the central steel brace ratio. In addition, the earthquake load values obtained by assuming that the nodal points are rigid are greater than the earthquake load values obtained by assuming that the nodal points are semi-rigid. This result shows that nodal point connections affect earthquake load values, too.
- The largest displacement value of the selected nodal points (for 1 and 2 nodal points) from the structural analyses which is performed by assuming rigid of the nodal point connections of the building models is obtained from model 1. By contrast with, the largest displacement value from the structural analyses performed with the assumption of semi-rigid is obtained from model 6. This result shows that the central steel brace types significantly reduce the displacement values of the considered models

compared to the moment-transferring frame, except for model 6 in the semi-rigid joint.

- It is recommended to use two-way (X) central steel brace members in the design and construction of steel structures that will be built in Turkey when the findings of this study are examined.

Acknowledgments

Teşekkür / Katkı belirtme

The license of the Sta-Steel program used in this study was obtained by the Rectorate of Karabük University.

Author contribution

Yazar katkısı

This article is a part of Büşra CENGİZ's master's thesis the supervision of Prof. Dr. Şenol GÜRSOY

Declaration of ethical code

Etik beyanı

Authors of this article declare that materials and methods used in this study do not require ethical committee approval and/or legal-specific permission.

Conflict of interest

Çıkar çatışması beyanı

Authors declare that there is no conflict of interest.

Kaynaklar

References

- Ay, Z., Çelik, İ.D. & Kıymılı, N. A. (2010). Some assessments on seismic performance of braced steel frames. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 26(1), 7-17. (in Turkish)
- Cengiz, B. (2020). *An investigation of the effects of central steel bracing types on the joint connection detail and frame behavior*. MSc. Thesis, Karabük University Graduate Education Institute, Karabük. (in Turkish)
- Çavdar, Ö. (2017). Investigation of dynamic behavior of steel structures with different brace member, *Uluslararası Katılımlı 7. Çelik Yapılar Sempozyumu*, Gaziantep, 193-203.
- Çavdar, Ö. (2019). Determination of the Seismic Performance of Concentrically Braced Steel Structures, *International Journal of Science and Engineering Applications*, 8(12), 503-508. <https://dx.doi.org/10.7753/IJSEA0812.1002>

- ÇYTHYDE. (2018). *Regulation on the Design, Calculation and Construction Principles of Steel Structures*. Environment and Urban Ministry. Turkey. (in Turkish)
- Gönen, H. (1997). Controls of lateral displacements of multi-storey steel frames by diagonal elements. *Osmangazi Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Dergisi*, 10(1), 59-70. (in Turkish)
- Kural, M. E. & Zeybek, Ö. (2011). Second order analysis of multi storey steel structures that are formed by concentric steel braces. *İstanbul Commerce University Journal of Science*, 10(20), 1-14. (in Turkish)
- Özçelik, R. (2016). Buckling restrained braces. *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences*, 22(3), 160-170.
- Sta-Steel, (2019). Structural analysis for steel structure. ver.1.3.0.3. <https://www.sta4.net/steeldefault.aspx>
- Tama, Y. S. (2003). The moment resisting frames on steel structures. *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences*, 9(1), 63-72. (in Turkish)
- TBEC. (2019). *Turkey Building Earthquake Code. Disaster and Emergency Management Presidency, Ankara, Turkey*. (in Turkish)
- TS-498. (1997). *Calculation Values of Loads to be Taken in the Dimensioning of Structural Elements*. Turkish Standards Institute, Ankara, Turkey. (in Turkish)
- TS EN 1991-1-3 (2007). *Yapılar Üzerindeki Etkiler-Bölüm 1-3: Genel Etkiler-Kar Yükleri (Eurocode 1)*, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara
- Türk, B. (2016). *Evaluation the seismic performance of a special concentrically braced frame*. MSc. Thesis, İstanbul Technical University Graduate School of Natural and Applied Sciences, İstanbul. (in Turkish)
- Yelgin, N. A. & Bulut, B. M. (2016). Merkezi çaprazlı ve dışmerkez çaprazlı çok katlı binaların Eurocode EC1, EC3, EC4 ve EC8 yönetmeliklerine göre dizayn kuralları ve süneklilik düzeylerinin karşılaştırılması, *4th International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science*, Antalya, 142-149.

Al₂O₃-MWCNT/saf su hibrit nanoakışkanının ısı iletkenlik ve viskozite değerlerinin belirlenmesi

Determination of thermal conductivity and viscosity values of Al₂O₃-MWCNT/pure water hybrid nanofluid

Eda Feyza AKYÜREK*^{1,a}

¹Erzurum Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 25050, Erzurum

• Geliş tarihi / Received: 07.09.2021

• Düzeltiletilerek geliş tarihi / Received in revised form: 24.10.2021

• Kabul tarihi / Accepted: 01.11.2021

Öz

Nanoakışkanlar ile ilgili son yıllarda yapılan çalışmalar incelendiğinde termofiziksel özelliklerinin iyileştirilmesi için hibrit nanoakışkanların kullanıldığı görülmektedir. Hibrit nanoakışkanların tekli nanoakışkanlar ve temel akışkanlar (su, yağ, etilen glikol vb.) ile kıyaslanabilmesi için en önemli adım termofiziksel özelliklerinin belirlenmesidir. Bu çalışmanın amacı Al₂O₃-MWCNT/Saf Su nanoakışkanlarının ısı iletkenlik, viskozite değerlerini artıran hacimsel oran ve sıcaklık ile belirlemek, sonuç olarak da elde edilen değerleri mevcut korelasyonlar ile karşılaştırmaktır. Çalışmada Al₂O₃ ve MWCNT nanopartikülleri %0:100, %50:50 ve %100:0 karışım oranlarında saf su içinde süspansiyon edilerek %0.1, %0.2 ve %0.3 hacimsel oranına sahip Al₂O₃-MWCNT/Saf Su hibrit nanoakışkanları hazırlanmıştır. Deneysel sonuçlar, hazırlanan hibrit nanoakışkanların hem ısı iletkenliğinin hem de viskozitesinin nanopartikül hacim konsantrasyonu ile arttığını göstermiştir. %0.1 hacimsel oranda %50:50 karışım oranında hazırlanan hibrit nanoakışkanının ısı iletkenlik değerinin mono nanoakışkanlardan daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Saf su ile kıyaslandığında en fazla ısı iletkenlik artışı %8.56 olarak 50°C'de %0.3 (0:100) Al₂O₃-MWCNT/Saf Su nanoakışkanı için elde edilmiştir. Hacimsel oranın artışı ile viskozite değerleri artmış ve saf suya kıyasla en fazla artış 20°C'de %0.3 (50:50) Al₂O₃-MWCNT/Saf Su hibrit nanoakışkanı için %54.73 olarak belirlenmiştir. Sıcaklığın 20°C'den 50°C'ye çıkmasıyla meydana gelen en fazla viskozite azalışı 50°C'de %0.3 (50:50) Al₂O₃-MWCNT/Saf Su hibrit nanoakışkanı için %55.72'dir.

Anahtar kelimeler: Hibrit nanoakışkanlar, Isıl iletkenlik, Viskozite

Abstract

When the studies on nanofluids in recent years are examined, it is seen that hybrid nanofluids are used to improve their thermophysical properties. The most important step in the comparison of hybrid nanofluids with single nanofluids and basic fluids (water, oil, ethylene glycol, etc.) is to determine their thermophysical properties. The aim of this study is to determine the thermal conductivity and viscosity values of Al₂O₃-MWCNT/Pure Water nanofluids with increasing volumetric ratio and temperature, finally compare the obtained values with the existing correlations. In the study, Al₂O₃-MWCNT/Pure Water hybrid nanofluids with 0.1%, 0.2% and 0.3% volumetric ratios were prepared by suspending Al₂O₃ and MWCNT nanoparticles in pure water at mixing ratios of 0:100%, 50:50% and 100:0%. Experimental results showed that both the thermal conductivity and viscosity of the prepared hybrid nanofluids increased with the nanoparticle volume concentration. It was determined that the thermal conductivity value of the hybrid nanofluid prepared at a 50:50 mixture ratio of 0.1% by volume was higher than the mono nanofluids. Compared to pure water, the highest thermal conductivity increase of 8.56% was obtained for 0.3% (0:100) Al₂O₃-MWCNT/Pure Water nanofluid at 50°C. The viscosity values increased with the increase of the volumetric ratio and the highest increase was determined as 54.73% for the 0.3% (50:50) Al₂O₃-MWCNT/Pure Water hybrid nanofluid at 20°C compared to pure water. The maximum viscosity decrease that occurs when the temperature rises from 20°C to 50°C is 55.72% for the 0.3% (50:50) Al₂O₃-MWCNT/Pure Water hybrid nanofluid at 50°C.

Keywords: Hybrid nanofluids, Thermal conductivity, Viscosity

*a Eda Feyza AKYÜREK; feyza.akyurek@erzurum.edu.tr, Tel: (0442) 444 53 88, orcid.org/ 0000-0003-4007-6846

1. Giriş

1. Introduction

Isı transfer uygulamalarında genellikle su, yağ ve etilen glikol gibi akışkanlar kullanılır. Bunların düşük termofiziksel özellikleri ısı transfer performansını da olumsuz etkiler. Bu nedenle günümüze kadar bu geleneksel akışkanların ısı transferi performansını artırmaya yönelik çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalardan birisi de, nanometre boyutundaki parçacıkların temel akışkana süspansiyon edilmesi ile oluşturulan nanoakışkanlardır. Nanoakışkan kavramının oluştuğu ve termofiziksel özelliklerinin araştırıldığı ilk çalışmalardan günümüze kadar nanoakışkanlar ile ilgili birçok araştırma yapılmış ve yapılmaya devam etmektedir (Choi vd., 2001; Xuan ve Li, 2000; Daungthongsuk & Wongwises, 2007). Kullanılan nanopartiküller genellikle metaller (Cu, Fe, Au, Ag vb.), metal oksitler (CuO, Al₂O₃, TiO₂, Fe₂O₃ vb.) ve karbon bazlı (Karbon nanotüp, CNT; Çok Cidarlı Karbon Nanotüp, MWCNT; Tek Cidarlı Karbon Nanotüp, SWCNT vb.) malzemelerdir. Çalışmaların çoğunda hazırlanan nanoakışkanların termofiziksel özelliklerinin (özgül ısı kapasitesi, ısı iletkenlik, viskozite, elektriksel iletkenlik ve yoğunluk) artan sıcaklık ve partikül oranıyla nasıl değiştiği incelenmiştir (Giwa vd., 2021). Temel bir akışkana birleşik fiziksel ve kimyasal etkileri nedeniyle farklı nanopartiküllerin eklenmesi ile oluşturulan hibrit nanoakışkanların, tekli nanopartiküllerden oluşan nanoakışkanlara göre termofiziksel özelliklerinin daha iyi olması beklenir (Urmı vd., 2020). Hibrit nanoakışkanlar, olağanüstü ısı iletkenliklerinin yanı sıra ısı transfer davranışları nedeniyle araştırmacılar tarafından ilgi odağı olmuştur (Vidhya vd., 2020). Nanoakışkanlar ile ilgili son yapılan çalışmalar incelendiğinde nanoakışkanların termofiziksel özelliklerini iyileştirmek için çalışmalarda hibrit nanoakışkanların kullanıldığı görülmektedir. Yapılan bir çalışmada (Huminić vd., 2020) hibrit nanoakışkanın ısı iletkenliği, 20–50 °C aralığında farklı sıcaklıklarda ve %0.25–1.0 kütleli oranda ölçülmüştür. Sonuçlar, artan sıcaklık ve konsantrasyonun ısı iletkenlikte artışa yol açtığını göstermiştir. Farklı bir çalışmada (Suresh vd., 2011) hacimsel oranı %0.1-2 olan Al₂O₃-Cu (%90:%10)/su hibrit nanoakışkanının viskozitesi ve ısı iletkenliği incelenmiştir. Hacimsel oranın artışı ile viskozitede %8–115 ve ısı iletkenlikte %1.47–12.11 aralığında artış olduğu belirlenmiştir. Literatürde araştırmacılar (Giwa vd., 2021) Deiyonize su (DW) ve etilen glikol (EG) (hacimce %50:50) temel akışkanının içerisine %0.05-0.75 hacim konsantrasyonunda Al₂O₃- γ -Fe₂O₃

nanopartikülleri süspansiyon ederek hibrit nanoakışkan hazırlamış ve hazırlanan hibrit nanoakışkanların 20-50 °C sıcaklıklarda termofiziksel özelliklerini belirlemişlerdir. Çalışmada kullanılan hibrit nanopartiküllerin kütlece oranı %75 (Fe₂O₃) ve %25 (Al₂O₃)'dür. Temel akışkan ile kıyaslandığında viskozite %2.79-49.38 artarken, elektriksel iletkenliğin %717.14–7618.89 oranlarında arttığı belirlenmiştir. Araştırmacılar çalışmalarında (Jha & Ramaprabhu, 2008) deiyonize su (DW) ve etilen glikol (EG) içinde MWCNT ve Cu-MWCNT nanoparçacıklarını süspansiyon ederek hibrit nanoakışkan hazırlamışlardır. Çalışmada çeşitli sıcaklık ve hacim konsantrasyonlarında ısı iletkenlik değerleri ölçülmüştür. Sonuç olarak, aynı hacim konsantrasyonunda (%0.03 hacim), Cu-MWCNT hibrit nanoakışkanlarının ısı iletkenliğinin MWCNT mono nanoakışkanlarından daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Aynı hacimsel oranlarda su bazlı nanoakışkanların etilen glikol bazlı nanoakışkanlardan ısı iletkenlik artışı için daha iyi olduğu belirtilmiştir. Literatürdeki farklı bir çalışmada eşit karışım oranında γ -Al₂O₃-MWCNT/su hibrit nanoakışkanının ısı iletkenliği, %0–1 hacimsel oranda ve oda sıcaklığında incelenmişlerdir (Abbasi vd., 2013). Maksimum artışın %1 hacimsel oran için %20.68 olduğu belirtilmiştir. Araştırmacılar çalışmalarında (Sundar vd., 2014) MWCNT-Fe₃O₄ nanopartikülleri ile hazırladıkları hibrit nanoakışkanların viskozitesini deneysel olarak incelemişlerdir. Çalışmada, hibrit nanoakışkanların %0.3 hacimsel oranı için 20 °C ile 60 °C arasındaki sıcaklıklarda sırasıyla 1.27 ve 1.5 kat arttığı ifade edilmiştir. Bir diğer yapılan çalışmada (Hamid vd., 2018) %1,0 hacimsel oranda TiO₂-SiO₂ nanopartiküllerinden oluşturdukları hibrit nanoakışkanlarının karışım oranının (%20:80, %40:60, %50:50, %60:40 ve %80:20) ısı iletkenlik ve viskozite üzerindeki etkisini incelenmiştir. Hem ısı iletkenlik hem de viskozite açısından optimum karışım oranlarının %40:60 ve %80:20 olarak elde edilmiştir. Farklı bir çalışmada ise (Asadi vd., 2020) CuO-TiO₂/Su hibrit nanoakışkanının reolojik davranışı ve dinamik viskozitesi araştırılmıştır. Hacimsel oranı %0.1 ile 1 arasında olan hibrit nanoakışkanların dinamik viskozite değerleri, 25 ile 55°C arasında değişen farklı sıcaklıklarda ölçülmüştür. Maksimum dinamik viskozite, hacimsel oranın %1 olduğu 25 °C sıcaklıkta elde edilmiştir.

Hibrit nanoakışkan, iki farklı nanopartikülün temel akışkan içerisine süspansiyon edilmesi ile hazırlanan yeni nanoakışkan türüdür ve bu konuda son yıllarda yapılan çalışmalar incelendiğinde ısı

transfer uygulamalarında çoğunlukla hibrit nanoakışkanların kullanıldığı görülmektedir. Hibrit nanoakışkanların geleneksel akışkanlar ve tekli nanoakışkanlara kıyasla termofiziksel özelliklerinin değerlendirilmesi gerekmektedir. Literatürde hibrit nanoakışkanların termofiziksel özelliklerini deneysel olarak araştıran sınırlı sayıda çalışma olduğu görülmektedir (Giwa vd., 2021). Bu nedenle bu çalışmada hibrit nanoakışkanların termofiziksel özelliklerinin hacimsel oran ve sıcaklık artışı ile belirlenmesi ve literatürdeki mevcut korelasyonlar ile karşılaştırması amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda 3 farklı hacimsel oran (%0.1, %0.2 ve %0.3) ve karışım oranında (100:0, 50:50, 0:100) hazırlanan MWCNT-Al₂O₃/Su hibrit nanoakışkanının viskozite ve ısı iletkenlik değerleri 20°C, 30°C, 40°C ve 50°C sıcaklıklarında deneysel olarak belirlenmiştir. Sıcaklık ve hacimsel oran artışı ile ısı iletkenlik ve viskozite değişimleri araştırılmış ve veriler literatürde mevcut korelasyonlar ile karşılaştırılmıştır.

2. Deneysel yöntem

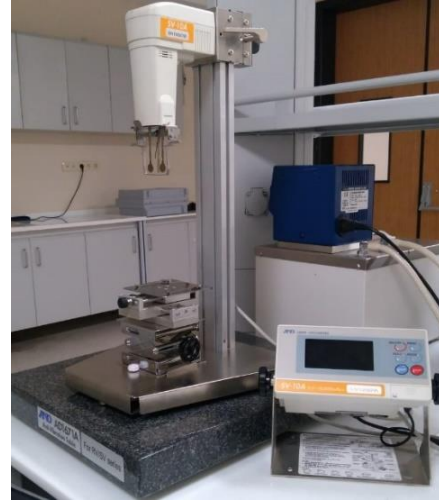
2. Experimental method

2.1. Hibrit nanoakışkanların hazırlanması

2.1. Preparation of hybrid nanofluids

Hibrit nanoakışkanların kararlılığı, nanoakışkanların termofiziksel özelliklerinden doğrudan etkilenir. Nanoakışkanların hazırlanmasındaki en büyük zorluklardan biri, yüzey aktif madde ilavesi ve ultrasonik titreşim etkisi ile üstesinden gelinebilecek stabil nanoakışkan hazırlamaktır (Vidhya vd., 2020). Bu nedenle, nanoakışkanlar ile ilgili yapılan çalışmalarda stabil nanoakışkan hazırlamak en önemli adımdır. Hibrit nanoakışkanlar

hazırlanırken en yaygın kullanılan temel akışkanlar; su, etilen glikol, su etilen glikol karışımı ve motor yağıdır. Hibrit nanoakışkanlar nanopartiküllerin temel akışkan içinde süspansiyon edilmesini içeren iki aşamalı işlem kullanılarak hazırlanabilir. Bu çalışmada da nanoakışkan hazırlama yöntemlerinden iki adım yöntemi kullanılmıştır. İlk adımda MWCNT ve Al₂O₃ nanopartikülleri %0.1-0.2-0.3 hacimsel oranlarında temel akışkan olarak su içerisine 100(MWCNT):0(Al₂O₃), 50(MWCNT):50(Al₂O₃), 0(MWCNT):100(Al₂O₃) karışım oranlarında süspansiyon edilerek hibrit nanoakışkanlar hazırlanmıştır. İkinci adımda ise stabil nanoakışkan elde edebilmek için hibrit nanoakışkanlar mekanik olarak karıştırılmış ve Şekil 1 de verilen Hielscher marka UP400S model ultrasonik homojenizatör ile 2 saat sonike edilmiştir. Çalışmada kullanılan saf suyun ve nanopartiküllerin termofiziksel özellikleri Tablo 1’de verilmiştir.



Şekil 1. Homojenizatör
Figure 1. Homogenizer

Tablo 1. Nanopartiküllerin ve saf suyun termofiziksel özellikleri (Giwa vd., 2020; Nanografi Inc., 2021)

Table 1. Thermophysical properties of nanoparticles and pure water (Giwa et al., 2020; Nanografi Inc., 2021)

Özellikler	Saf Su	Al ₂ O ₃	MWCNT
Özgül Isı, Cp (J/kgK)	4179	765	710
Isıl İletkenlik, k (W/mK)	0.613	40	2000
Yoğunluk, ρ (kg/m ³)	997.1	3970	2100
Dinamik Viskozite, μ (kg/ms)	0.001	-	-
Partikül Boyutu (nm)	-	18 nm	28-48 nm
Safılık	-	< 99.5	< 96

2.2. Hibrit nanoakışkanın ısı iletkenliğinin belirlenmesi

2.2. Determination of thermal conductivity of hybrid nanofluid

Hibrit nanoakışkanların ısı transfer uygulamalarında kullanımıyla ilgili en önemli özelliklerden biri ısı iletkenliktir, çünkü ısı transfer katsayısı, sıvının ısı iletkenliğine bağlıdır (Sundar vd., 2017). Hibrit nanoakışkanın ısı iletkenliğinin artırılması, ısı performansını iyileştirilmesini ve daha enerji verimli sistemlerin elde edilmesini sağlar. Nanopartiküllerin malzemesi, şekli ve boyutu, hibrit nanoakışkanların ısı iletkenliğine karar vermede önemli faktörlerdir (Vidhya vd., 2020). Çalışmada MWCNT-Al₂O₃/Su hibrit nanoakışkanlarının ısı iletkenlikleri Şekil 2’de verilen KD2 Pro ısı özellik analizörü (Linseis marka THB-100 model) ile belirlenmiştir. Literatür incelendiğinde yapılan çalışmalarda nanoakışkanların ısı iletkenliğini ölçmek için genellikle bu cihaz kullanılmıştır. Ölçüme başlamadan kalibrasyon örneği olarak gliserol kullanılarak cihazın kalibrasyonu yapılmıştır. Isı iletkenlikler 20°C-50 °C sıcaklıklarda %0.1%-0.2 ve %0.3 hacimsel oranlarda ölçülmüştür.



Şekil 2. Isı iletkenlik ölçer

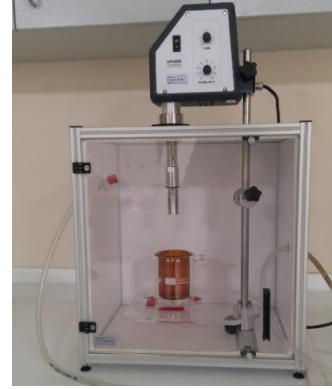
Figure 2. Thermal conductivity meter

2.3. Hibrit nanoakışkanın viskozitesinin belirlenmesi

2.3. Determination of viscosity of hybrid nanofluid

Hibrit nanoakışkanları kullanmanın uygulanabilirliği, doğrudan basınç düşüşü ve buna bağlı olarak pompalama maliyetleri ile ilgilidir. Bu amaçla viskozite çok önemli bir özelliktir (Sundar vd., 2017). Viskozite değerlerinin belirlenmesi, pompalama güçlerinin ve basınç düşüşlerinin değerlendirilmesi için, çalışma akışkanlarının ısı transfer ekipmanından verimli akışı için gereklidir. Dinamik viskozite değerleri Şekil 3’de verilen A&D SV-10 viskozimetre kullanılarak 20°C-50 °C arasında değişen sıcaklıklarda belirlenmiştir. Ölçümler sırasında nanoakışkan numunelerinin

sıcaklığını kontrol etmek için bir ısı banyo kullanılmıştır.



Şekil 3. Viskozimetre

Figure 3. Viscosimeter

2.4. Hesap yöntemi

2.4. Calculation method

Hibrit nanoakışkanların yoğunluğu denklem 1’de verilen korelasyon ile belirlenmiştir (Takabi ve Salehi, 2014). Hibrit nanoakışkan içerisindeki nanopartiküllerin hacimsel oranı denklem 2 ve denklem 3 kullanılarak hesaplanır. ϕ hacimsel oran, ρ yoğunluk, m kütle ve V hacim olmak üzere denklemlerde geçen ϕ_{p1} ve ϕ_{p2} nanopartiküllerin hacimsel oranı, ρ_{p1} ve ρ_{p2} nanopartiküllerin yoğunluğudur. Denklemlerde geçen alt indisler; t_a : temel akışkanın, p :partikülün ve hna : hibrit nanoakışkanın kısaltmalarıdır.

$$\rho_{hna} = (1 - \phi)\rho_{ta} + \phi_{p1}\rho_{p1} + \phi_{p2}\rho_{p2} \quad (1)$$

$$\phi_{p1} = \frac{V_{p1}}{V_{ta}} \quad (2)$$

$$\phi_{p2} = \frac{V_{p2}}{V_{ta}} \quad (3)$$

Toplam 200 ml hacimli hibrit nanoakışkan hazırlamak için denklem 4 ile verilen bağıntıdan nanopartiküllerin toplam kütlesi belirlendikten sonra nanopartiküllerin karışım oranına bağlı olarak hibrit nanoakışkan içerisindeki nanopartiküllerin kütlesi belirlenmiştir.

$$m_p = \rho_p V_p \quad (4)$$

Hibrit nanoakışkanın ölçülen ısı iletkenlik değerleri denklem 5’de verilen Maxwell modeli (Takabi ve Salehi, 2014), denklem 6’da (Kakavvei ve Akbari, 2018) ve denklem 7’de (Abdolbaqi vd., 2016) verilen korelasyonlar ile karşılaştırılmıştır. Denklemlerde geçen T nanoakışkanın sıcaklığıdır.

$$\frac{k_{hna}}{k_{ta}} = \left(\frac{(\varphi_{p,1}k_{p,1} + \varphi_{p,2}k_{p,2})}{\phi} + 2k_{bf} + 2(\varphi_{p,1}k_{p,1} + \varphi_{p,2}k_{p,2}) - 2\varphi k_{bf} \right) * \left(\frac{(\varphi_{p,1}k_{p,1} + \phi\varphi_{p,2}k_{p,2})}{\phi} + 2k_{ta} - (\varphi_{p,1}k_{p,1} + \varphi_{p,2}k_{p,2}) - \varphi k_{ta} \right)^{-1} \quad (5)$$

$$\frac{k_{hna}}{k_{ta}} = 0.0017 * \varphi^{0.698} * T^{1.386} + 0.9811 \quad (6)$$

$$\frac{k_{hna}}{k_{ta}} = 1.199 * (\varphi/100)^{0.03} * (T/80)^{0.008} \quad (7)$$

Hibrit nanoakışkanın ölçülen dinamik viskozitesi denklem 8 ile verilen Brinkman denkleminin geliştirilmiş bir formu (Hayat ve Nadeem, 2017) ve denklem 9 ile verilen (Abdolbaqi vd., 2016) korelasyon ile karşılaştırılmıştır.

$$\frac{\mu_{hnf}}{\mu_{ta}} = \frac{1}{(1-\varphi_{p,1})^{2.5}(1-\varphi_{p,2})^{2.5}} \quad (8)$$

$$\frac{\mu_{hnf}}{\mu_{ta}} = \left[0.906 * \exp \left(10.975 * \varphi + 0.169 \frac{T}{80} \right) \right] \quad (9)$$

2.5. Belirsizlik analizi

2.5. Uncertainty analysis

DeneySEL çalışmada, parametrelerin belirsizliğini belirlemek için Kline ve McClintock tarafından önerilen metot kullanılmıştır (Kline ve McClintock, 1953). Denklem 10’de R, sistemde ölçülecek sonuç ve $x_1, x_2, x_3 \dots x_n$, R değerini etkileyen bağımsız değişkenlerdir.

$$R = R(x_1, x_2, x_3 \dots, x_n). \quad (10)$$

Her bir bağımsız değişkene ait hata oranları $w_1, w_2, w_3, \dots, w_n$ ve R büyüklüğünün hata oranı W_R Denklem 11 ile belirlenir.

$$W_R = \left[\left(\frac{\partial R}{\partial x_1} w_1 \right)^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial x_2} w_2 \right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial R}{\partial x_n} w_n \right)^2 \right]^{1/2} \quad (11)$$

Tablo 2. Belirsizlik analizi sonuçları

Table 2. Uncertainty analysis results

Hesaplanan Parametreler	Parametrelerin Belirsizlik Değeri (± %)
Viskozite	2
Termal İletkenlik	1

3. Bulgular

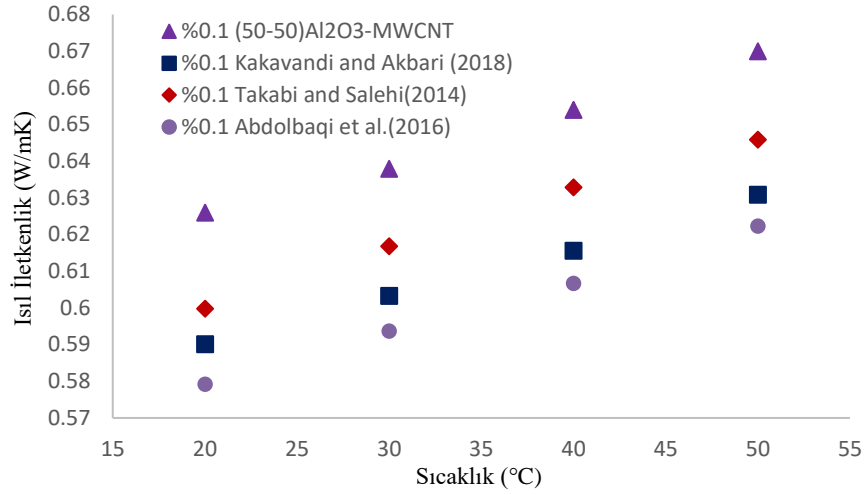
3. Results

Çalışmada 3 farklı hacimsel oranda (%0.1-0.2-0.3) ve 3 farklı karışım oranında (100:0, 50:50 ve 0:100) Al₂O₃-MWCNT nanopartiküllerinin saf su

içerisine süspansedilmesiyle hazırlanan Al₂O₃-MWCNT /Saf Su mono/hibrit nanoakışkanların ısı iletkenlik ve viskozite değerleri 4 farklı sıcaklıkta belirlenmiş ve elde edilen sonuçlar karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

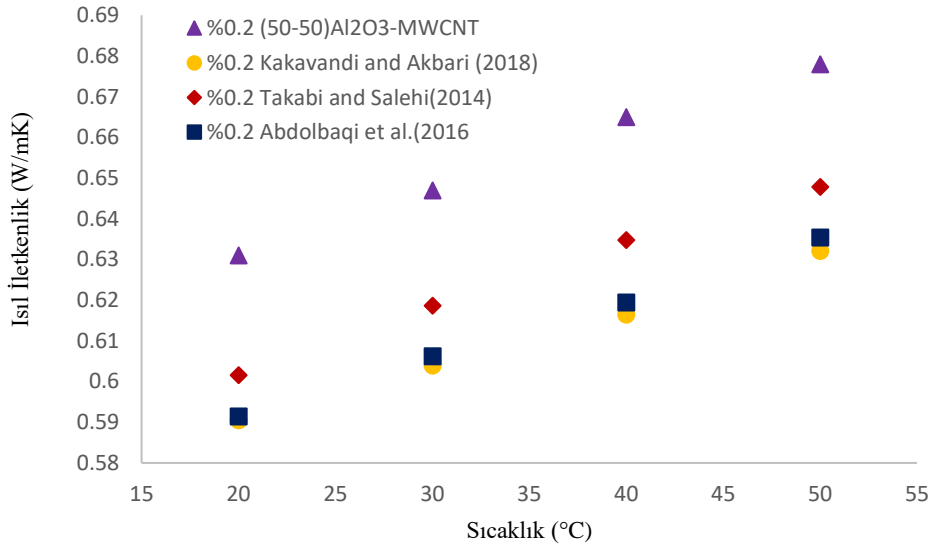
Şekil 4,5,6’da literatürdeki mevcut modeller ile ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması verilmiştir. Şekiller incelendiğinde ölçüm sonuçlarının modellerden daha yüksek olduğu görülmektedir. Hacimsel oran arttıkça modeller ile ölçüm sonuçları arasındaki fark artmaktadır. Bunun sonucunda artan hacimsel oranla modellerin ısı iletkenliği tahmin etmede daha da başarısız olduğu söylenebilir.

Şekil 7 incelendiğinde %0.1 hacimsel oranda Al₂O₃-MWCNT/Saf Su hibrit nanoakışkanının tüm nanopartikül karışım oranlarında sıcaklık arttıkça iletkenlik değerleri de artmıştır. Saf su ile kıyaslandığında %0.1 hacimsel oran için 100:0 karışım oranında Al₂O₃-MWCNT/Saf Su mono nanoakışkanının kullanılması ile 0.31 ile 0.83 arasında, 50:50 karışım oranında Al₂O₃-MWCNT/Saf Su hibrit nanoakışkanının kullanılmasıyla %3.76 ile %4.33 arasında ve 0:100 karışım oranında Al₂O₃-MWCNT/Saf Su mono nanoakışkanının kullanılmasıyla %3.39 ile %3.75 arasında ısı iletkenlik değerinde artış olmuştur. Sonuçlar incelendiğinde, aynı sıcaklıkta %0.1 (50:50)Al₂O₃-MWCNT/Saf Su hibrit nanoakışkanının kullanılmasının ısı iletkenlik artışı için en iyi sonuç verdiği görülmektedir. En fazla ısı iletkenlik artışı ise 50°C’de %0.1 (50:50)Al₂O₃-MWCNT nanoakışkanda elde edilmiştir. Bu durum literatürde belirtilen hibrit nanoakışkanların üstün ısı transfer özelliklerini deneysel olarak da açıklamaktadır. %0.1 Al₂O₃-MWCNT/Saf Su hibrit nanoakışkanının 100:0, 50:50,0:100 karışım oranlarında sıcaklığın 20°C’den 50°C’ye artışı ile ısı iletkenlik değerlerinde sırasıyla %6.11, %7.03 ve %6.9 artış olmuştur.



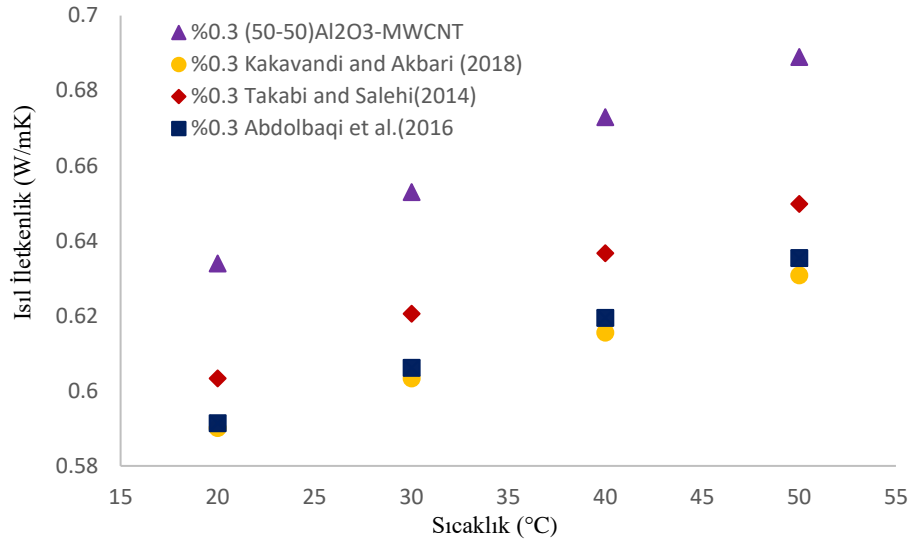
Şekil 4. %0.1 (50:50) Al₂O₃-MWCNT/Saf Su hibrit nanoakışkanının ısı iletkenlik ölçümlerinin modeller ile karşılaştırılması

Figure 4. Comparison of thermal conductivity measurements of 0.1% (50:50) Al₂O₃-MWCNT/Pure Water hybrid nanofluid with models



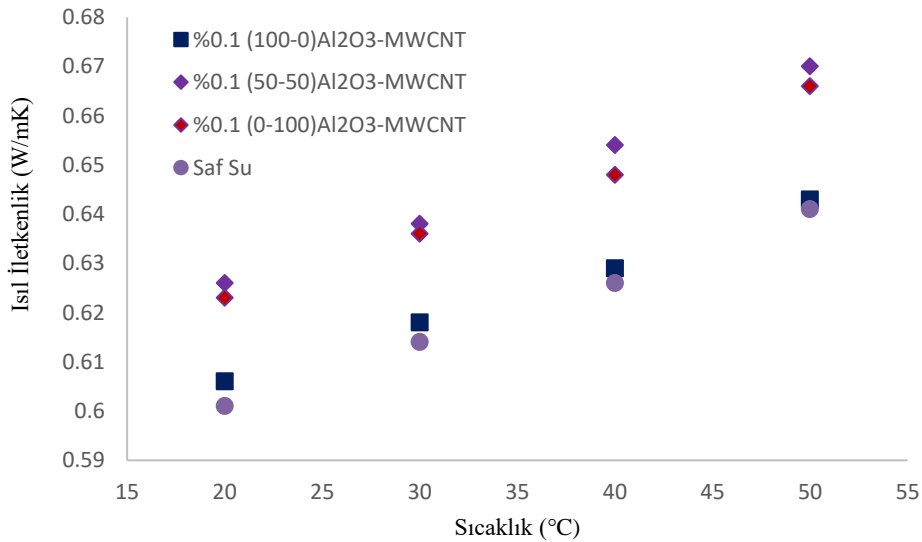
Şekil 5. %0.2 (50:50)Al₂O₃-MWCNT/Saf Su hibrit nanoakışkanının ısı iletkenlik ölçümlerinin modeller ile karşılaştırılması

Figure 5. Comparison of thermal conductivity measurements of 0.2% (50:50)Al₂O₃-MWCNT /Pure Water hybrid nanofluid with models



Şekil 6. %0.3 (50:50)Al₂O₃-MWCNT/Saf Su hibrit nanoakışkanının ısı iletkenlik ölçümlerinin modeller ile karşılaştırılması

Figure 6. Comparison of thermal conductivity measurements of 0.3% (50:50) Al₂O₃-MWCNT/Pure Water hybrid nanofluid with models

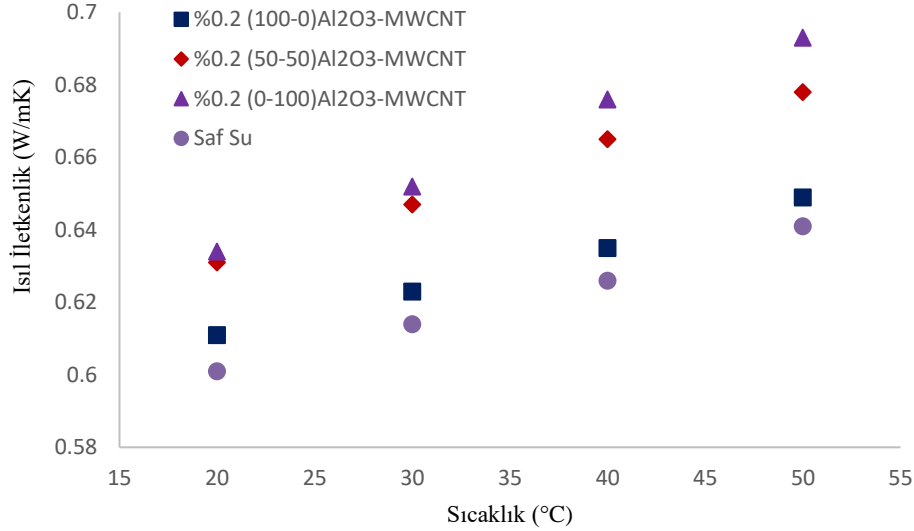


Şekil 7. %0.1 Al₂O₃-MWCNT/Saf Su hibrit nanoakışkanının farklı karışım oranlarında sıcaklığa bağlı ısı iletkenlik değişimi

Figure 7. Thermal conductivity variation depending on temperature of 0.1% Al₂O₃-MWCNT/Pure Water hybrid nanofluid at different mixing ratios

Şekil 8 incelendiğinde %0.2 hacimsel oranda Al₂O₃-MWCNT/Saf Su hibrit nanoakışkanının tüm nanopartikül karışım oranlarında sıcaklık arttıkça ısı iletkenlik değerleri de artmıştır. Saf su ile kıyaslandığında %0.2 hacimsel oran için 100:0 karışım oranında Al₂O₃-MWCNT/Saf Su mono nanoakışkanının kullanılması ile %1.23 ile 1.63 arasında, 50:50 karışım oranında Al₂O₃-MWCNT/Saf Su hibrit nanoakışkanının kullanılmasıyla %4.75 ile %5.86 arasında ve 0:100 karışım oranında Al₂O₃-MWCNT/Saf Su mono nanoakışkanının kullanılmasıyla %5.2 ile %7.5

arasında ısı iletkenlik değerinde artış olmuştur. Sonuçlar aynı sıcaklıkta %0.2 (0:100) Al₂O₃-MWCNT/Saf Su hibrit nanoakışkanının kullanılmasının ısı iletkenlik artışı için en iyi sonuç verdiğini göstermektedir. En fazla ısı iletkenlik artışı ise 50°C'de %0.2 (0:100) Al₂O₃-MWCNT nanoakışkan için elde edilmiştir. %0.2 Al₂O₃-MWCNT/Saf Su hibrit nanoakışkanının 100:0, 50:50,0:100 karışım oranlarında sıcaklığın 20°C, 50°C'ye artışı ile ısı iletkenlik değerlerinde sırasıyla %6.22, %7.45 ve %6.31 artış olmuştur.

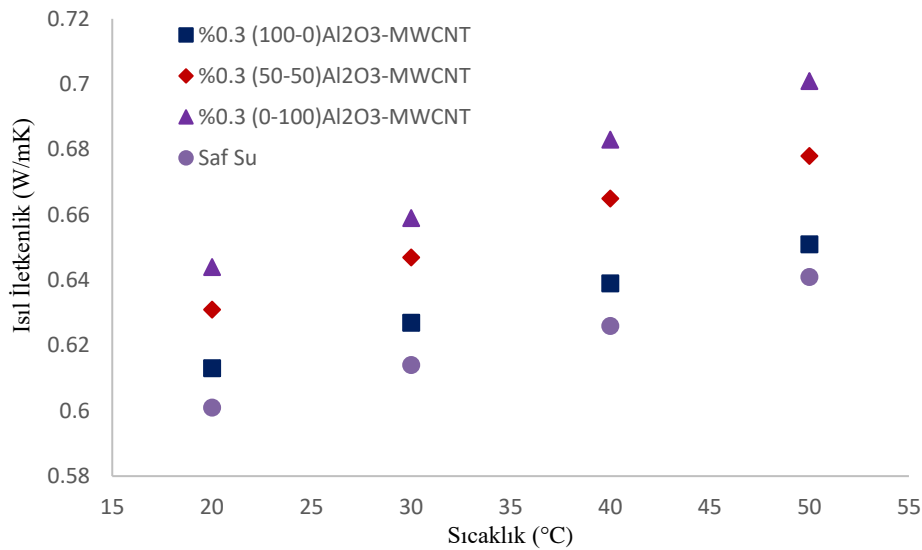


Şekil 8. %0.2 Al₂O₃-MWCNT/Saf Su hibrit nanoakışkanının farklı karışım oranlarında sıcaklığa bağlı ısı iletkenlik değişimi

Figure 8. Thermal conductivity variation depending on temperature of 0.2% Al₂O₃-MWCNT/Pure Water hybrid nanofluid at different mixing ratios

Şekil 9 incelendiğinde %0.3 hacimsel oranda Al₂O₃-MWCNT/Saf Su hibrit nanoakışkanının tüm nanopartikül karışım oranlarında sıcaklık arttıkça ısı iletkenlik değerleri de artmıştır. Saf su ile kıyaslandığında %0.3 hacimsel oran için 100:0 karışım oranında Al₂O₃-MWCNT/Saf Su mono nanoakışkanının kullanılması ile %1.54 ile 2.07 arasında, 50:50 karışım oranında Al₂O₃-MWCNT/Saf Su hibrit nanoakışkanının kullanılmasıyla %5.2 ile %6.98 arasında ve 0:100 karışım oranında Al₂O₃-MWCNT/Saf Su mono nanoakışkanının kullanılmasıyla %6.67 ile %8.56

arasında ısı iletkenlikte artış elde edilmiştir. Sonuçlar aynı sıcaklıkta %0.1 (0:100) Al₂O₃-MWCNT/Saf Su hibrit nanoakışkanının kullanılmasının ısı iletkenlik artışı için en iyi sonuç verdiğini göstermektedir. En fazla ısı iletkenlik artışı ise 50°C'de %0.3 (0:100) Al₂O₃-MWCNT nanoakışkan için elde edilmiştir. %0.3 Al₂O₃-MWCNT/Saf Su hibrit nanoakışkanının 100:0, 50:50, 0:100 karışım oranlarında sıcaklığın 20°C, 50°C'ye artışı ile ısı iletkenlik değerlerinde sırasıyla %6.2, %8.68 ve %8.85 artış olmuştur.

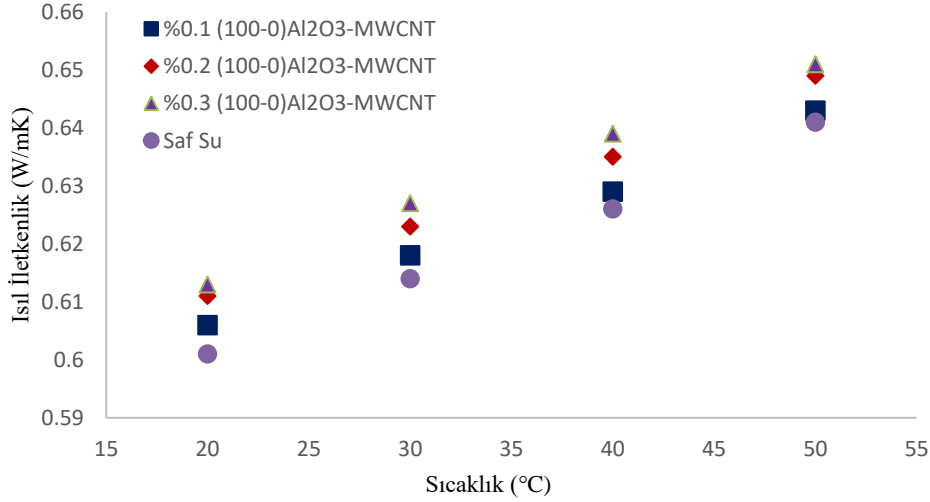


Şekil 9. %0.3 Al₂O₃-MWCNT/Saf Su hibrit nanoakışkanının farklı karışım oranlarında sıcaklığa bağlı ısı iletkenlik değişimi

Figure 9. Thermal conductivity variation depending on temperature of 0.3% Al₂O₃-MWCNT/Pure Water hybrid nanofluid at different mixing ratios

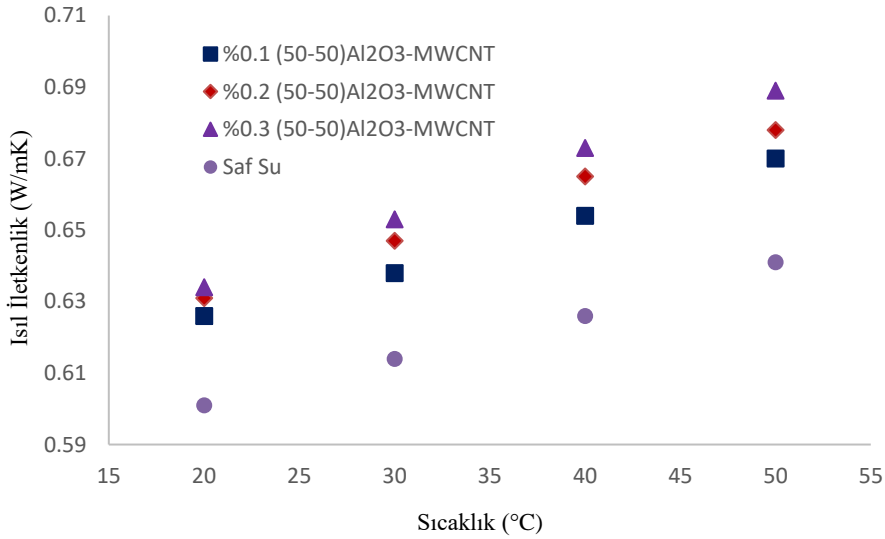
Şekil 10, 11 ve 12 incelendiğinde farklı hacimsel oranlarda hazırlanan Al_2O_3 -MWCNT/Saf Su hibrit nanoakışkanının %0:100, %50:50 ve %100:0 karışım oranları için sıcaklığa bağlı ısı iletkenlik değişimleri verilmiştir. Sıcaklık artışı ile partiküller arasındaki etkileşim artar. Nanopartiküllerin ısı iletkenlik değerleri saf suya kıyasla çok yüksektir

ve karışım içinde oranları arttıkça hibrit nanoakışkanın da ısı iletkenliğinin artması beklenir. Bu nedenle sıcaklığın ve nanopartikül hacimsel oranının artışı ile tüm karışım oranlarında hibrit nanoakışkanların ısı iletkenlik değerlerinin arttığı görülmektedir. En fazla ısı iletkenlik artışı $50^\circ C$ 'de %0.3 hacimsel oranda belirlenmiştir.



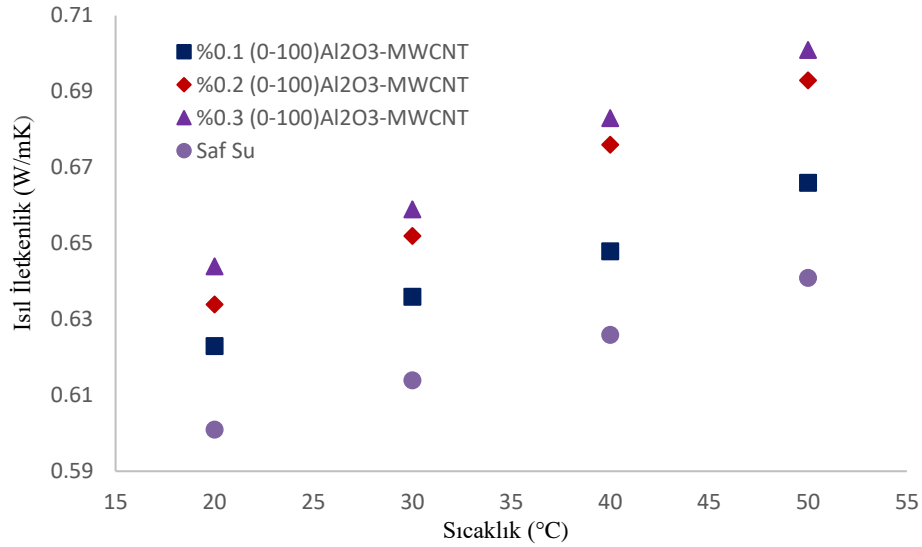
Şekil 10. Farklı hacimsel oranlarda Al_2O_3 -MWCNT/Saf Su hibrit nanoakışkanının %100 Al_2O_3 -%0 MWCNT karışım oranlarında sıcaklığa bağlı ısı iletkenlik değişimi

Figure 10. Thermal conductivity variation depending on temperature at 100% Al_2O_3 -0% MWCNT mixture ratios of Al_2O_3 -MWCNT/Pure Water hybrid nanofluid at different volumetric ratios



Şekil 11. Farklı hacimsel oranlarda Al_2O_3 -MWCNT/Saf Su hibrit nanoakışkanının %50 Al_2O_3 -%50 MWCNT karışım oranlarında sıcaklığa bağlı ısı iletkenlik değişimi

Figure 11. Thermal conductivity variation depending on temperature at 50% Al_2O_3 -50% MWCNT mixture ratios of Al_2O_3 -MWCNT/Pure Water hybrid nanofluid at different volumetric ratios

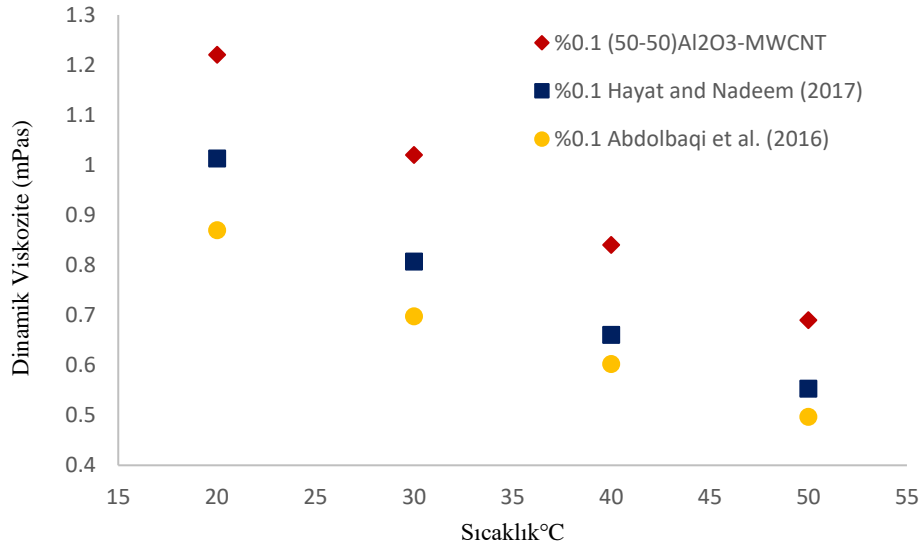


Şekil 12. Farklı hacimsel oranlarda Al₂O₃-MWCNT/Saf Su hibrit nanoakışkanının %0 Al₂O₃-%100 MWCNT karışım oranlarında sıcaklığa bağlı ısı iletkenlik değişimi

Figure 12. Thermal conductivity variation depending on temperature at 0% Al₂O₃-100% MWCNT mixture ratios of Al₂O₃-MWCNT/Pure Water hybrid nanofluid at different volumetric ratios

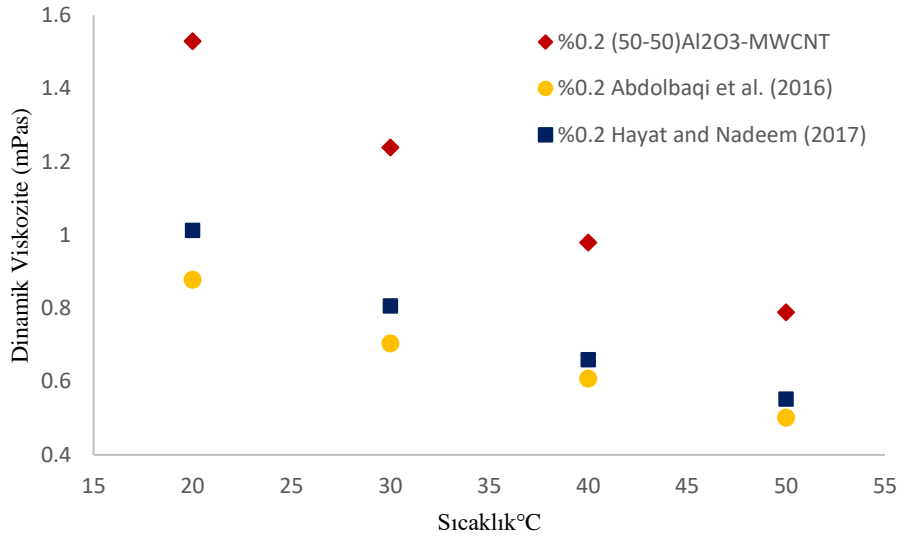
Şekil 13,14 ve 15’de %0.1, 0.2 ve 0.3 hacimsel oranlarda hazırlanan (50:50)Al₂O₃-MWCNT /Saf Su hibrit nanoakışkanlarının viskozite ölçüm değerlerinin modeller ile karşılaştırılması verilmektedir. Viskozite ölçüm değerleri literatürde mevcut modellere göre daha fazladır. Hacimsel oranın artışıyla ölçüm sonuçları mevcut modellerden uzaklaşmaktadır. Viskozite

değerlerinin tahmini için geliştirilen model (Abdolbaqi vd. 2016) içerisinde hacimsel orana bağlı terim bulunmadığından hacimsel oranın artışı ile viskozite değerleri değişmemiştir. Bu da bu modelin hacimsel orana bağlı viskozite değerlerinin belirlenmesinde doğru sonuç veremeyeceğinin göstergesidir.



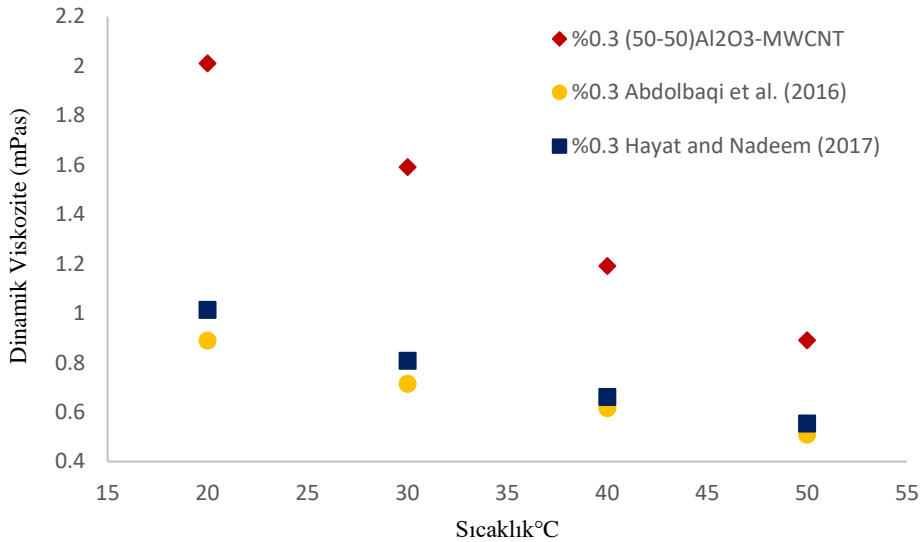
Şekil 13. %0.1 (50:50)Al₂O₃-MWCNT/Saf Su hibrit nanoakışkanının viskozite ölçümlerinin modeller ile karşılaştırılması

Figure 13. Comparison of viscosity measurements of 0.1% (50:50)Al₂O₃-MWCNT/Pure Water hybrid nanofluid with models



Şekil 14. %0.2 (50:50)Al₂O₃-MWCNT/Saf Su hibrit nanoakışkanının viskozite ölçümlerinin modeller ile karşılaştırılması

Figure 14. Comparison of viscosity measurements of 0.2% (50:50)Al₂O₃-MWCNT/Pure Water hybrid nanofluid with models

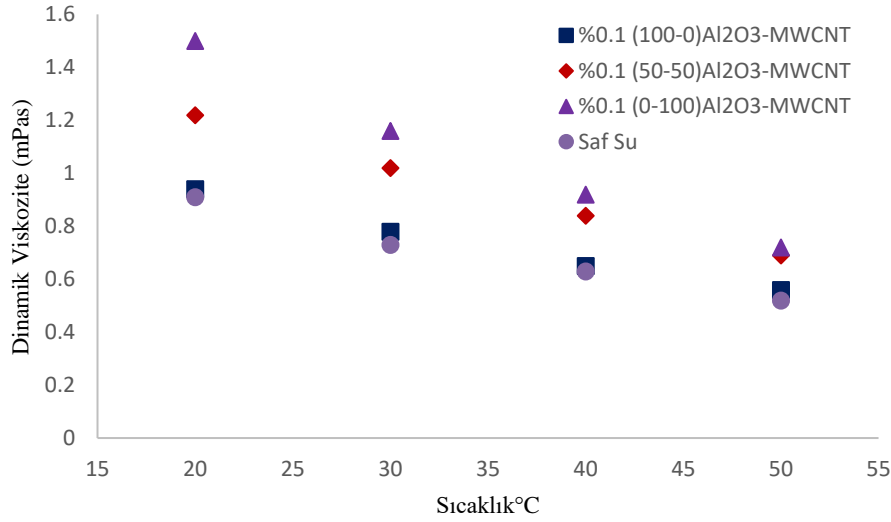


Şekil 15. %0.3 (50:50)Al₂O₃-MWCNT/Saf Su hibrit nanoakışkanının viskozite ölçümlerinin modeller ile karşılaştırılması

Figure 15. Comparison of viscosity measurements of 0.3% (50:50)Al₂O₃-MWCNT/Pure Water hybrid nanofluid with models

Şekil 16 incelendiğinde %0.1 hacimsel oranda Al₂O₃-MWCNT/Saf Su hibrit nanoakışkanının tüm nanopartikül karışım oranlarında sıcaklık arttıkça viskozite değerleri azalmıştır. Saf su ile kıyaslandığında %0.1 hacimsel oran için, 100:0 karışım oranında Al₂O₃-MWCNT/Saf Su mono nanoakışkanının kullanılması ile %3.08 ile %7.14 arasında, 50:50 karışım oranında Al₂O₃-MWCNT/Saf Su hibrit nanoakışkanının kullanılmasıyla %24.64 ile %28.43 arasında ve 0:100 karışım oranında Al₂O₃-MWCNT/Saf Su

mono nanoakışkanının kullanılmasıyla %27.78 ile %39.33 arasında viskozite değerlerinde artış olmuştur. En fazla viskozite artışı ise 20°C'de %0.1 (0:100)Al₂O₃-MWCNT/Saf Su nanoakışkan için elde edilmiştir. %0.1 Al₂O₃-MWCNT/Saf Su hibrit nanoakışkanının 100:0, 50:50, 0:100 karışım oranlarında sıcaklığın 20°C, 50°C'ye artışı ile viskozite değerlerinde sırasıyla %40.43, %43.44 ve %52 azalmıştır.

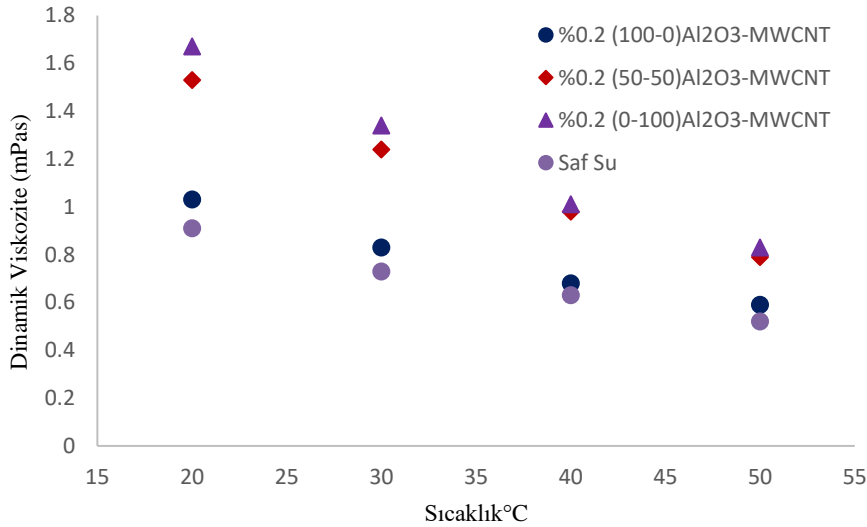


Şekil 16. %0.1 Al₂O₃-MWCNT/Saf Su hibrit nanoakışkanının farklı karışım oranlarında sıcaklığa bağlı viskozite değişimi

Figure 16. Temperature dependent viscosity change of 0.1% Al₂O₃-MWCNT/Pure Water hybrid nanofluid at different mixing ratios

Şekil 17 incelendiğinde %0.2 hacimsel oranda Al₂O₃-MWCNT/Saf Su hibrit nanoakışkanının tüm nanopartikül karışım oranlarında sıcaklık arttıkça viskozite değerleri azalmıştır. Saf su ile kıyaslandığında %0.2 hacimsel oran için, 100:0 karışım oranında Al₂O₃-MWCNT/Saf Su mono nanoakışkanının kullanılması %7.35 ile %12.04 arasında, 50:50 karışım oranında Al₂O₃-MWCNT/Saf Su hibrit nanoakışkanının kullanılmasıyla %34.17 ile %41.13 arasında ve

0:100 karışım oranında Al₂O₃-MWCNT/Saf Su mono nanoakışkanının kullanılmasıyla %37.35 ile %45.53 arasında viskozite değerlerinde artış olmuştur. En fazla viskozite artışı ise 20°C'de %0.2 (0:100) Al₂O₃-MWCNT/Saf Su nanoakışkan için elde edilmiştir. %0.2 Al₂O₃-MWCNT/Saf Su hibrit nanoakışkanının 100:0, 50:50,0:100 karışım oranlarında sıcaklığın 20°C, 50°C'ye artışı ile viskozite değerlerinde sırasıyla %42.72, %48.37 ve %50.3 azalmıştır.



Şekil 17. %0.2 Al₂O₃-MWCNT/Saf Su hibrit nanoakışkanının farklı karışım oranlarında sıcaklığa bağlı viskozite değişimi

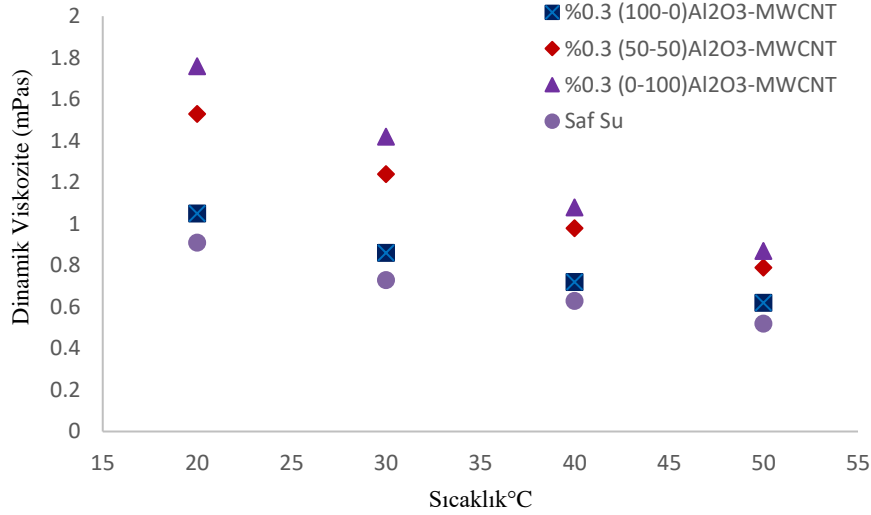
Figure 17. Temperature-dependent viscosity change of 0.2% Al₂O₃-MWCNT/Pure Water hybrid nanofluid at different mixing ratios

Şekil 18 incelendiğinde %0.3 hacimsel oranda Al₂O₃-MWCNT/Saf Su hibrit nanoakışkanının tüm nanopartikül karışım oranlarında sıcaklık arttıkça viskozite değerleri azalmıştır. Saf su ile

kıyaslandığında %0.3 hacimsel oran için, 100:0 karışım oranında Al₂O₃-MWCNT/Saf Su mono nanoakışkanının kullanılması ile %12.5 ile %16.12 arasında, 50:50 karışım oranında Al₂O₃-

MWCNT/Saf Su hibrit nanoakışkanının kullanılmasıyla %41.57 ile %54.72 arasında ve 0:100 karışım oranında Al_2O_3 -MWCNT/Saf Su mono nanoakışkanının kullanılmasıyla %40.22 ile %48.59 arasında viskozite değerlerinde artış olmuştur. En fazla viskozite artışı ise 20°C'de

%0.3 (0:100) Al_2O_3 -MWCNT/Saf Su nanoakışkan için elde edilmiştir. %0.3 Al_2O_3 -MWCNT/Saf Su hibrit nanoakışkanının 100:0, 50:50,0:100 karışım oranlarında sıcaklığın 20°C, 50°C'ye artışı ile viskozite değerlerinde sırasıyla %40.95, %55.72 ve %50.57 azalmıştır.

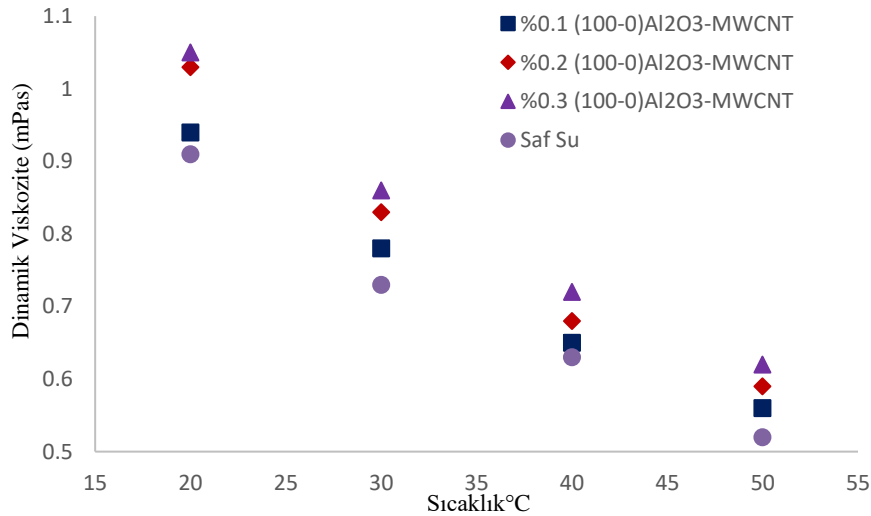


Şekil 18. %0.3 Al_2O_3 -MWCNT/Saf Su hibrit nanoakışkanının farklı karışım oranlarında sıcaklığa bağlı viskozite değişimi

Figure 18. Temperature dependent viscosity change of 0.3% Al_2O_3 -MWCNT/Pure Water hybrid nanofluid at different mixing ratios

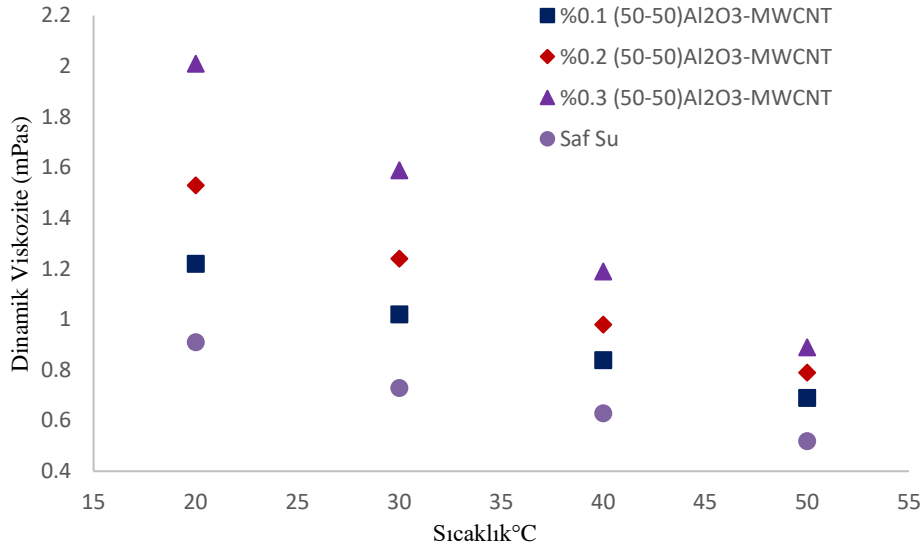
Şekil 19,20 ve 21 incelendiğinde farklı hacimsel oranlarda Al_2O_3 -MWCNT/Saf Su hibrit nanoakışkanının %100 Al_2O_3 -%0 MWCNT karışım oranlarında sıcaklığa bağlı viskozite değişimi verilmiştir. Hacimsel oran arttıkça viskozite artmış sıcaklık arttıkça azalmıştır. Bu durum; sıcaklığın artması ile moleküller arasındaki kohesif kuvvetlerin azalması

sonucunda akışın serbest hale gelmesi olarak açıklanabilir. Hacimsel oranın artışı ile en fazla viskozite artışı 20°C'de %0.3 (50-50) Al_2O_3 -MWCNT/Saf Su nanoakışkanında %54.73, sıcaklığın 20°C'den 50°C'ye çıkmasıyla meydana gelen en çok viskozite azalışı 50'de %0.3 (50-50) Al_2O_3 -MWCNT/Saf Su hibrit nanoakışkanında %55.72'dir.



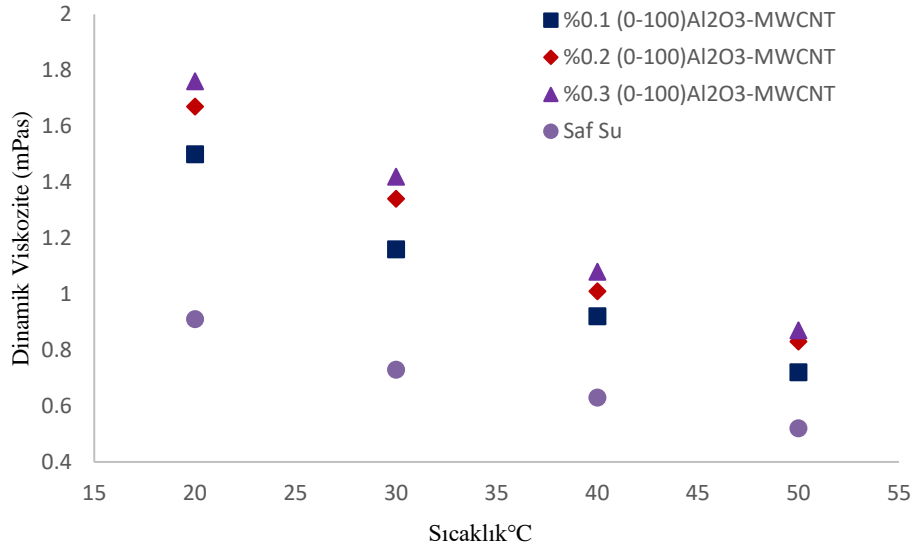
Şekil 19. Farklı hacimsel oranlarda Al_2O_3 -MWCNT/Saf Su hibrit nanoakışkanının %100 Al_2O_3 -%0 MWCNT karışım oranlarında sıcaklığa bağlı viskozite değişimi

Figure 19. Temperature-dependent viscosity change of Al_2O_3 -MWCNT/Pure Water hybrid nanofluid at different volumetric ratios at 100% Al_2O_3 -0% MWCNT mixing ratios



Şekil 20. Farklı hacimsel oranlarda Al₂O₃-MWCNT/Saf Su hibrit nanoakışkanının %50 Al₂O₃-%50 MWCNT karışım oranlarında sıcaklığa bağlı viskozite değişimi

Figure 20. Viscosity change depending on temperature at 50% Al₂O₃-50% MWCNT mixing ratios of Al₂O₃-MWCNT/Pure Water hybrid nanofluid at different volumetric ratios



Şekil 21. Farklı hacimsel oranlarda Al₂O₃-MWCNT/Saf Su hibrit nanoakışkanının %0 Al₂O₃-%100 MWCNT karışım oranlarında sıcaklığa bağlı viskozite değişimi

Figure 21. Temperature-dependent viscosity change of Al₂O₃-MWCNT/Pure Water hybrid nanofluid at different volumetric ratios at 0% Al₂O₃-100% MWCNT mixing ratios

4. Tartışma ve sonuçlar

4. Discussion and conclusions

%0.1-0.2 ve 0.3 hacimsel oranlarda ve 3 farklı karışım oranında (100:0, 50:50 ve 0:100) Al₂O₃-MWCNT/Saf Su hibrit nanoakışkanlarının 4 farklı sıcaklıkta ısı iletkenlik ve viskozite değerleri belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar özetlenecek olursa;

- Literatürde hibrit nanoakışkanların ısı iletkenlik ve viskozite değerlerinin belirlenmesi için verilen modeller yetersiz kalmaktadır.
- Saf su ile kıyaslandığında %0.1 hacimsel oran için 100:0 karışım oranında Al₂O₃-MWCNT/Saf Su mono nanoakışkanının kullanılması ile 0.31 ile 0.83 arasında, 50:50 karışım oranında Al₂O₃-MWCNT/Saf Su hibrit nanoakışkanının kullanılmasıyla %3.76 ile %4.33 arasında ve 0:100 karışım oranında

Al₂O₃-MWCNT/Saf Su mono nanoakışkanının kullanılmasıyla %3.39 ile %3.75 arasında ısıl iletkenlik değerinde artış olmuştur.

- %0.1 Al₂O₃-MWCNT/Saf Su hibrit nanoakışkanının 100:0, 50:50,0:100 karışım oranlarında sıcaklığın 20°C'den 50°C'ye artışı ile ısıl iletkenlik değerlerinde sırasıyla %6.11, %7.03 ve %6.9 artış olmuştur.
- Saf su ile kıyaslandığında %0.2 hacimsel oran için 100:0 karışım oranında Al₂O₃-MWCNT/Saf Su mono nanoakışkanının kullanılması ile %1.23 ile 1.63 arasında, 50:50 karışım oranında Al₂O₃-MWCNT/Saf Su hibrit nanoakışkanının kullanılmasıyla %4.75 ile %5.86 arasında ve 0:100 karışım oranında Al₂O₃-MWCNT/Saf Su mono nanoakışkanının kullanılmasıyla %5.2 ile %7.5 arasında ısıl iletkenlik değerinde artış olmuştur.
- %0.2 Al₂O₃-MWCNT/Saf Su hibrit nanoakışkanının 100:0, 50:50,0:100 karışım oranlarında sıcaklığın 20°C, 50°C'ye artışı ile ısıl iletkenlik değerlerinde sırasıyla %6.22, %7.45 ve %6.31 artış olmuştur.
- Saf su ile kıyaslandığında %0.3 hacimsel oran için 100:0 karışım oranında Al₂O₃-MWCNT/Saf Su mono nanoakışkanının kullanılması ile %1.54 ile 2.07 arasında, 50:50 karışım oranında Al₂O₃-MWCNT/Saf Su hibrit nanoakışkanının kullanılmasıyla %5.2 ile %6.98 arasında ve 0:100 karışım oranında Al₂O₃-MWCNT/Saf Su hibrit nanoakışkanının kullanılmasıyla %6.67 ile %8.56 arasında ısıl iletkenlikte artış elde edilmiştir.
- %0.3 Al₂O₃-MWCNT/Saf Su hibrit nanoakışkanının 100:0, 50:50,0:100 karışım oranlarında sıcaklığın 20°C, 50°C'ye artışı ile ısıl iletkenlik değerlerinde sırasıyla %6.2, %8.68 ve %8.85 artış olmuştur.
- Saf su ile kıyaslandığında %0.1 hacimsel oran için, 100:0 karışım oranında Al₂O₃-MWCNT/Saf Su mono nanoakışkanının kullanılması ile %3.08 ile %7.14 arasında, 50:50 karışım oranında Al₂O₃-MWCNT/Saf Su hibrit nanoakışkanının kullanılmasıyla %24.64 ile %28.43 arasında ve 0:100 karışım oranında Al₂O₃-MWCNT/Saf Su mono nanoakışkanının kullanılmasıyla %27.78 ile %39.33 arasında viskozite değerlerinde artış olmuştur.
- %0.1 Al₂O₃-MWCNT/Saf Su hibrit nanoakışkanının 100:0, 50:50, 0:100 karışım

oranlarında sıcaklığın 20°C, 50°C'ye artışı ile viskozite değerlerinde sırasıyla %40.43, %43.44 ve %52 azalmıştır.

- Saf su ile kıyaslandığında %0.2 hacimsel oran için, 100:0 karışım oranında Al₂O₃-MWCNT/Saf Su mono nanoakışkanının kullanılması %7.35 ile %12.04 arasında, 50:50 karışım oranında Al₂O₃-MWCNT/Saf Su hibrit nanoakışkanının kullanılmasıyla %34.17 ile %41.13 arasında ve 0:100 karışım oranında Al₂O₃-MWCNT/Saf Su mono nanoakışkanının kullanılmasıyla %37.35 ile %45.53 arasında viskozite değerlerinde artış olmuştur.
- %0.2 Al₂O₃-MWCNT/Saf Su hibrit nanoakışkanının 100:0, 50:50,0:100 karışım oranlarında sıcaklığın 20°C, 50°C'ye artışı ile viskozite değerlerinde sırasıyla %42.72, %48.37 ve %50.3 azalmıştır.
- Saf su ile kıyaslandığında %0.3 hacimsel oran için, 100:0 karışım oranında Al₂O₃-MWCNT/Saf Su mono nanoakışkanının kullanılması ile %12.5 ile %16.12 arasında, 50:50 karışım oranında Al₂O₃-MWCNT/Saf Su hibrit nanoakışkanının kullanılmasıyla %41.57 ile %54.72 arasında ve 0:100 karışım oranında Al₂O₃-MWCNT/Saf Su mono nanoakışkanının kullanılmasıyla %40.22 ile %48.59 arasında viskozite değerlerinde artış olmuştur.
- %0.3 Al₂O₃-MWCNT/Saf Su hibrit nanoakışkanının 100:0, 50:50,0:100 karışım oranlarında sıcaklığın 20°C, 50°C'ye artışı ile viskozite değerlerinde sırasıyla %40.95, %55.72 ve %50.57 azalmıştır.

Literatürde son yıllarda hibrit nanoakışkanlara ilginin arttığı görülmektedir fakat hibrit nanoakışkanların termofiziksel özelliklerini deneysel olarak inceleyen sınırlı sayıda çalışma vardır. Hacimsel oran, karışım oranları ve sıcaklıklar dikkate alınarak viskoziteyi çok artırmadan ısıl iletkenlik değerini artıran optimizasyon çalışmaları yapılabilir. Ayrıca termofiziksel özelliklerin doğru tahmininde kullanılacak modeller geliştirilebilir.

Yazar katkısı

Author contribution

Yazar çalışmanın tamamını kendisi yapmıştır.

Etik beyanı*Declaration of ethical code*

Bu makalenin yazarı bu çalışmada kullanılan materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve / veya yasal-özel izin gerektirmediğini beyan etmektedir.

Çıkar çatışması beyanı*Conflicts of interest*

Yazar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Kaynaklar*References*

- Abbasi, S. M., Rashidi, A., Nemati, A. & Arzani, K. (2013). The effect of functionalisation method on the stability and the thermal conductivity of nanofluid hybrids of carbon nanotubes/gamma alumina. *Ceramics International*, 39(4), 3885–3891. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2012.10.232>
- Abdolbaqi, M. K., Sidik, N. A. C., Rahim, M. F. A., Mamat, R., Azmi, W. H., Yazid, M. N. A. W. M. & Najafi, G. (2016). Experimental investigation and development of new correlation for thermal conductivity and viscosity of BioGlycol/water based SiO₂ nanofluids. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 77, 54–63. <https://doi.org/10.1016/j.icheatmasstransfer.2016.07.001>
- Asadi, A., Alarifi, I. M. & Foong, L. K. (2020). An experimental study on characterization, stability and dynamic viscosity of CuO-TiO₂/water hybrid nanofluid. *Journal of Molecular Liquids*, 307. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2020.112987>
- Choi, S. U. S., Zhang, Z. G., Yu, W., Lockwood, F. E. & Grulke, E. A. (2001). Anomalous thermal conductivity enhancement in nanotube suspensions. *Applied Physics Letters*, 79(14), 2252–2254. <https://doi.org/10.1063/1.1408272>
- Daungthongsuk, W. & Wongwises, S. (2007). A critical review of convective heat transfer of nanofluids. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 11(5), 797–817. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2005.06.005>
- Giwa, S. O., Sharifpur, M., Goodarzi, M., Alsulami, H. & Meyer, J. P. (2021). Influence of base fluid, temperature, and concentration on the thermophysical properties of hybrid nanofluids of alumina-ferrofluid: experimental data, modeling through enhanced ANN, ANFIS, and curve fitting. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 143(6), 4149–4167. <https://doi.org/10.1007/s10973-020-09372-w>
- Giwa, S. O., Sharifpur, M. & Meyer, J. P. (2020). Experimental study of thermo-convection performance of hybrid nanofluids of Al₂O₃-MWCNT/water in a differentially heated square cavity. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 148, 119072. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2019.119072>
- Hamid, K. A., Azmi, W. H., Nabil, M. F., Mamat, R. & Sharma, K. V. (2018). Experimental investigation of thermal conductivity and dynamic viscosity on nanoparticle mixture ratios of TiO₂-SiO₂ nanofluids. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 116, 1143–1152. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2017.09.087>
- Hayat, T. & Nadeem, S. (2017). Heat transfer enhancement with Ag-CuO/water hybrid nanofluid. *Results in Physics*, 7, 2317–2324. <https://doi.org/10.1016/j.rinp.2017.06.034>
- Huminic, G., Huminic, A., Dumitrache, F., Fleacă, C. & Morjan, I. (2020). Study of the thermal conductivity of hybrid nanofluids: Recent research and experimental study. *Powder Technology*, 367, 347–357. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2020.03.052>
- Jha, N. & Ramaprabhu, S. (2008). Synthesis and thermal conductivity of copper nanoparticle decorated multiwalled carbon nanotubes based nanofluids. *Journal of Physical Chemistry C*, 112(25), 9315–9319. <https://doi.org/10.1021/jp8017309>
- Kakavandi, A. & Akbari, M. (2018). Experimental investigation of thermal conductivity of nanofluids containing of hybrid nanoparticles suspended in binary base fluids and propose a new correlation. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 124, 742–751. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2018.03.103>
- Kline, S. J. & McClintock, F. A. (1953). Describing uncertainties in single-sample experiments. *Mechanical Engineering*, 3–8. <https://doi.org/10.1111/jcmm.13453>
- Nanografi Inc., Nanoparticles, accessed March 27, 2021, from <https://www.nanografi.com.tr/>
- Sundar, L. S., Sharma, K. V., Singh, M. K. & Sousa, A. C. M. (2017). Hybrid nanofluids preparation, thermal properties, heat transfer and friction factor – A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 68(March 2016), 185–198. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.09.108>
- Sundar, L. S., Singh, M. K. & Sousa, A. C. M. (2014). Enhanced heat transfer and friction factor of MWCNT-Fe₃O₄/water hybrid nanofluids. *International Communications in Heat and Mass*

- Transfer*, 52, 73–83.
<https://doi.org/10.1016/j.icheatmasstransfer.2014.01.012>
- Suresh, S., Venkitaraj, K. P., Selvakumar, P. & Chandrasekar, M. (2011). Synthesis of Al₂O₃-Cu/water hybrid nanofluids using two step method and its thermo physical properties. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 388(1–3), 41–48.
<https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2011.08.005>
- Takabi, B. & Salehi, S. (2014). Augmentation of the heat transfer performance of a sinusoidal corrugated enclosure by employing hybrid nanofluid. *Advances in Mechanical Engineering*, 2014.
<https://doi.org/10.1155/2014/147059>
- Urmi, W. T., Rahman, M. M. & Hamzah, W. A. W. (2020). An experimental investigation on the thermophysical properties of 40% ethylene glycol based TiO₂-Al₂O₃ hybrid nanofluids. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 116(June), 104663.
<https://doi.org/10.1016/j.icheatmasstransfer.2020.104663>
- Vidhya, R., Balakrishnan, T. & Kumar, B. S. (2020). Investigation on thermophysical properties and heat transfer performance of heat pipe charged with binary mixture based ZnO-MgO hybrid nanofluids. *Materials Today: Proceedings*, 37(Part 2), 3423–3433.
<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.09.284>
- Xuan, Y. & Li, Q. (2000). Heat transfer enhancement of nanofluids. *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 21(1), 58–64.
[https://doi.org/10.1016/S0142-727X\(99\)00067-3](https://doi.org/10.1016/S0142-727X(99)00067-3)

Numerical investigation of the effect of flow circulation pattern and velocity on the performance of water-cooled heat sink

Akış yönü ve hızının su soğutmalı ısı alıcısı performansına etkisinin nümerik incelenmesi

Seyda ÖZBEKTAŞ^{1,a}, Bilal SUNGUR^{2,b}, Bahattin TOPALOĞLU^{1,c}

¹ Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 55139, Samsun

² Samsun Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 55420, Samsun

• Geliş tarihi / Received: 06.04.2021

• Düzeltilek geliş tarihi / Received in revised form: 22.10.2021

• Kabul tarihi / Accepted: 01.11.2021

Abstract

The most critical problems of electronic components are the high power consumption and lesser life. This paper aims to numerically model the working process of the water-cooled heat sink to obtain the most effective design. In this context, four types of configurations with different passes (Type-A, Type-B, Type-C, Type-D) were designed at different water velocities, which were 0.25 m/s, 0.5 m/s, and 1 m/s with constant air velocity (6 m/s) to simulate fluid flow and the heat transfer. Results were evaluated as temperature and pressure contours, velocity streamlines, and the graphics of pressure difference, outlet temperature, temperature difference, heat transfer rate to air, and power consumption in relation to Reynolds number. Results showed that pressure difference, outlet temperature, power consumption, and heat transfer rate to air increased by increasing Reynolds number in all analyses. In all configurations, the water outlet temperatures were very close to each other, in the range of 63-65 °C for Re=2500, 70-72 °C for Re=5000, and 74-76 °C for Re=10000. Among all configurations, Type-A has the minimum outlet temperature with the value of 63.40 °C for Re=2500, 70.77 °C for Re=5000, and 74.85 °C for Re=10000. Also, Type-A showed better performance than other models in terms of heat transfer rate to air with the value of 1346 W for Re=2500, 1500 W for Re=5000, and 1675 W for Re=10000. The maximum pressure difference was obtained in Type-A geometry with the value of nearly 3500 Pa at a Reynolds number value of 10000. When the results were evaluated in full scope, it was concluded that Type-B was the most suitable model for use in terms of heat transfer, pump power, and inlet-outlet positions.

Keywords: Electronic cooling, Heat sink, Liquid cooling, Numerical modeling

Öz

Elektronik bileşenlerin en önemli sorunları, yüksek güç tüketimi ve kısa ömürdür. Bu çalışmanın amacı, su soğutmalı ısı alıcının çalışma sürecini sayısal olarak modellemek ve bu sayede en etkili tasarımı elde etmektir. Bu kapsamda akış ve ısı transferini simüle etmek için suyun 0.25 m/s, 0.5 m/s ve 1 m/s hızlarında ve sabit hava hızında (6 m/s) farklı geçişlere sahip dört farklı geometri (Tip-A, Tip-B, Tip-C, Tip-D) dizayn edilmiştir. Sonuçlar, sıcaklık ve basınç konturları, akım çizgileri ve basınç farkı, çıkış sıcaklığı, sıcaklık farkı, havaya olan ısı transferi ve güç tüketiminin Reynolds ile değişimi grafiklerine bağlı olarak değerlendirilmiştir. Tüm analizlerde Reynolds sayısının artışıyla birlikte basınç farkı, çıkış sıcaklığı, güç tüketimi ve havaya olan ısı transferi artmıştır. Tüm modellerde suyun çıkış sıcaklıkları birbirine çok yakın olup Re=2500 için 63-65 °C, Re=5000 için 70-72 °C ve Re=10000 için 74-76 °C aralığındadır. Tüm modeller arasında Re=2500 için 63.40 °C, Re=5000 için 70.77 °C ve Re=10000 için 74.85 °C değerleriyle en düşük çıkış sıcaklığına Tip-A sahiptir. Ayrıca Tip-A, Re=2500 için 1346 W, Re=5000 için 1500 W ve Re=10000 için 1675 W değerleri ile havaya olan ısı transferi açısından diğer modellere göre daha iyi performans göstermiştir. En yüksek basınç farkı, 10000 Reynolds sayısında yaklaşık olarak 3500 Pa değeriyle Tip-A geometrisinde elde edilmiştir. Sonuçlar bütünüyle değerlendirildiğinde, Tip-B'nin ısı transferi, pompa gücü ve giriş-çıkış pozisyonları açısından kullanıma en uygun model olduğu sonucuna varılmıştır.

Anahtar kelimeler: Elektronik soğutma, Isı alıcı, Sıvı soğutma, Nümerik modelleme

^a Bilal SUNGUR; bilal.sungur@samsun.edu.tr, Tel: (0362) 313 00 55, orcid.org/0000-0002-7320-1490

^b orcid.org/0000-0001-7399-733X

^c orcid.org/0000-0002-7095-4913

1. Introduction

1. Giriş

Technological developments in recent years have led to a great decrease in the size of electronic devices, which means higher heat flux generation. Heat transfer in these devices has become critical in the manufacturing and engineering problems to control the working temperature within acceptable limits by devising more effective ways to remove the waste heat. Therefore, the need for more compact, reliable, and modern cooling technologies is increasing. There have been numerous methods for effective cooling, such as heat pipe and jet impingement (Nishino et al., 1996; Zhao and Avedisian, 1997; Chung and Luo, 2002; Kim et al., 2003). Generally, heat sinks with air at high pressure are used for electronic cooling because of their low cost, weight and reliability. The main parameters for designing an efficient heat sink are simpler structure, higher heat transfer rate, and lower pressure drop. The micro-channeled heat sink cooling concept is one of the candidates which is offered in 1981 by Tuckerman and Pease (Tuckerman and Pease, 1981). The advantage of this cooling concept is that the large surface area of heat transfer and thus a higher heat transfer (Knight et al., 1992; Wang and Peng, 1994; Adams et al., 1998; Hetsroni et al., 2005; Pastukhov and Maydanik, 2006). The heat transfer coefficient of water is nearly one hundred times higher than that of air (Réti, 1999). Thus, using water as a working fluid called a liquid cooling system is evaluated as a potential system that can provide heat removal. The main parts of a liquid cooling system are the pump, water-block, radiator, fan and reservoir. The working fluid, driven by a pump, circulates through pipes located inside the electronic device. In a CPU, heat generation occurs and to cool the CPU, the working fluid passes through a water-block equipped in a CPU. After this, the working fluid becomes warmer, and it enters the radiator to be cooled by external air. Then, the cooled working fluid circulates back to the heating area, repeating continuously. The cooled working fluid circulates back to the heating region, and the same process is repeated and the cycle continues.

Some researchers have improved such techniques by inserting fins to dissipate heat effectively (Nishino et al., 1996; Zhao and Avedisian, 1997; Wang and Vafai, 2000). Jajja et al. (Jajja et al., 2014) investigated the thermal management of higher heat generation in microprocessors with five different heat sinks with different fin spacings. Their results showed that thermal resistance and the base temperature of the heat sinks are decreased

by reducing the fin spacing and by increasing the volume flow rate of coolant through the heat sink. In the study of Wei and Joshi (Wei and Joshi, 2003), they obtained that optimizing the channel configuration such as aspect ratio, fin thickness and a ratio of channel width to fin thickness provided a reduction in thermal resistance. Toh et al. (Toh et al., 2002) numerically investigated the cooling behavior of an electronic device in laminar flow conditions. They observed that increasing the temperature decreased the viscosity and friction losses at the same Reynolds number. The role of conduction heat transfer in a heat sink was investigated by Tiselj et al. (Tiselj et al., 2004). They stated a nonlinear relationship in the heat transfer between the cooler and the surface wall.

Naphon et al. (Naphon et al., 2009) numerically investigated the fluid flow and heat transfer in the mini-rectangular fin heat sink for CPU. They stated that there is a reasonable agreement between the predicted results and experiments. Naphon et al. (Naphon and Wiriyasart, 2009) experimentally investigated the liquid cooling in the mini-rectangular fin heat sink with and without thermoelectric for CPU. They compared thermoelectric cooling with the other cooling techniques and found that the thermoelectric has a significant effect on the CPU cooling of PC. Cova et al. (Cova et al., 2013) investigated the cooling effect of power converters with water as coolant in the heat sink. Xie et al. (Xie et al., 2006) numerically investigated the pressure drop and turbulent heat transfer characteristics in a water-cooled mini channel heat sink. Conrad et al. (Conrad et al., 2015) studied the thermal behavior of a heat sink with pin-fin on the chip. They stated that suspending the nano-sized particles in the range of 1–100nm in the base fluids enhanced the thermal conductivity of a fluid.

With the developments in computer and CFD technology, the flow and heat transfer process simulation becomes more reliable and faster. The manufacturers which produce liquid coolers for CPUs in the market claim that they get better performance in terms of heat transfer by making changes in the circulation pattern of the liquid inside the channels of the liquid cooler. This work provides an idea about the accuracy of these claims. Thus, the main aim of this paper is numerically investigate the working process of the water-cooled heat sink, which is often used in electronic devices. In literature, studies generally focused on the geometrical effects of the water channels and the fluids used in the channels on fluid flow and heat transfer characteristics. There is

a lack on the effects of the passes and the paths on heat transfer and fluid flow characteristics in a water-cooled heat sink. Also, studies in which the analysis of the heat transfers both in the water and air sides are considered are very limited. In this study, four types of water block with different passes were designed to simulate fluid flow and heat transfer at three different water velocities. To model the turbulent flow, Standart k-ε model was used. Results were evaluated as temperature and pressure contours, velocity streamlines and the graphics of pressure difference, outlet temperature, temperature difference, total thermal resistance, heat transfer rate to air, hydraulic power in relation to Reynolds number.

2. Materials and methods

2. Materyal ve metod

Turbulent flows can be modeled using the finite volume method with Computational Fluid Dynamics (CFD) programs. In the calculation of flow problems, mass, momentum, and energy conservation equations need to be solved. These differential equations are solved using boundary conditions suitable for problems. For turbulent steady-state flow, time-averaged continuity, momentum, and energy equations were expressed as follows:

$$\frac{\partial U_i}{\partial x_i} = 0 \tag{1}$$

$$U_j \frac{\partial U_i}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(v \frac{\partial U_i}{\partial x_j} - \overline{u_i u_j} \right) - \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x_i} \tag{2}$$

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_i k) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k + G_b - \rho \epsilon - Y_M + S_k \tag{6}$$

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho \epsilon) + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_i \epsilon) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} \right] + C_{1\epsilon} \frac{\epsilon}{k} (G_k + C_{3\epsilon} G_b) - C_{2\epsilon} \rho \frac{\epsilon^2}{k} + S_\epsilon \tag{7}$$

In these equations, G_k represents the generation of turbulence kinetic energy due to the mean velocity gradients, G_b is the generation of turbulence kinetic energy due to buoyancy, Y_M represents the contribution of the fluctuating dilatation in compressible turbulence to the overall dissipation rate, $C_{1\epsilon}$, $C_{2\epsilon}$ and $C_{3\epsilon}$ are constants. σ_k and σ_ϵ are the turbulent Prandtl numbers for k and ϵ , respectively. S_k and S_ϵ are user-defined source terms. The values of the constants used in the Standard k-ε model are given in Table 1 (Fluent, 2017).

$$U_j \frac{\partial T}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\alpha \frac{\partial U_i}{\partial x_j} - \overline{u_j t} \right) \tag{3}$$

where U_i , is the mean-velocity vector, P is the mean static pressure, ρ is the fluid density and ν is the fluids kinematic viscosity. Reynolds stresses $(\overline{u_i u_j})$ in momentum conservation equation is defined by

$$-\overline{u_i u_j} = \nu_t \left(\frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} \delta_{ij} k \tag{4}$$

where ν_t is turbulent viscosity and defined as:

$$\nu_t = C_\mu \frac{k^2}{\epsilon} \tag{5}$$

where k is the turbulent kinetic energy and ϵ is turbulent dissipation rate.

There are lots of turbulence models to simulate the turbulent flow and Standart k-ε model is one of them which is widely used for the heat transfer and fluid flow analysis (Choi et al., 2011). Due to this reason, Standart k-ε turbulence model was used in this study. The Standard k-ε model is a semi-empirical two-equation model based on modeling the transport equations for turbulent kinetic energy (k) and turbulent dissipation rate (ϵ). In this model, turbulent viscosity is assumed to be proportional to turbulent velocity and length scale. These velocity and length scales are derived from the turbulent kinetic energy (k) and its dissipation rate (ϵ). The turbulent kinetic energy (k) and the amount of its dissipation rate (ϵ) are obtained from the following equations:

Table 1. The values of the constants used in the standard k-ε model

Table 1. Standart k- ε model’de kullanılan sabitler

Constant	Value
$C_{1\epsilon}$	1.44
$C_{2\epsilon}$	1.92
C_μ	0.09
σ_k	1.0
σ_ϵ	1.3

Turbulent heat flux in the conservation equation of energy ($\overline{u_j \dot{t}}$) defined as:

$$(\overline{u_j \dot{t}}) = \alpha_t \frac{\partial T}{\partial x_j} \quad (8)$$

where α_t is turbulence heat dissipation coefficient and defined as:

$$\alpha_t = \frac{\nu_t}{Pr_t} \quad (9)$$

where Pr_t is turbulence Prandtl number.

In the calculation of Nusselt number (Nu) and Reynolds number (Re) the following equations were used:

$$Nu = \frac{h d}{k} \quad (10)$$

$$Re = \frac{V d}{\nu} \quad (11)$$

In these equations, d is the tube diameter, k is the heat conduction coefficient, h is the local heat transfer coefficient, V is the average air velocity and ν is the kinematic viscosity.

The hydraulic power (P_{hydr}) required for the water to circulate in the tube at the desired flow rate is obtained from:

$$P_{hydr} = \Delta p \dot{V} \quad (12)$$

where Δp and \dot{V} are pressure loss and flow rate, respectively.

Figure 1 shows the designed channeled water-block heat sink configurations. As shown from the figure, in Type A, water enters to one channel and passes six times in the channels and exits from the parallel side of the channel. In Type B, water enters to three channel and exits from the parallel side of

the three channels. In Type C, water enters to six channel and exits from the opposite side of the six channels. In Type D, water enters via two channels on two parallel sides and exits from two channels in the middle. As mentioned above, the air enters through a rectangular cross-section and exits from its opposite surface.

To solve the problem, the geometry must be meshed in CFD. To obtain a good mesh structure, values such as element quality, orthogonal quality and skewness are desired to be close to the values of 1, 1 and 0, respectively (Fluent, 2017). In addition to these features, mesh size is also an important parameter. Reducing the mesh size usually has a positive effect on the quality of the mesh structure, but this will increase the number of elements and nodes in the mesh structure, thus extending the time required for the solution. In this context, the optimal mesh size must be found. In this study, coarse, medium and fine mesh structures were tested to determine the grid-independent solution. The tetrahedral element was employed in the meshing process to obtain a good mesh of geometries where folds are intense. The medium and fine mesh structures were in acceptable ranges in terms of element quality, average skewness and orthogonal quality. Also, the results of medium and fine mesh structures were close to each other so the medium mesh structure was used in this study to save computation time. The medium mesh structure of geometry is shown in Figure 2. Finer computational grids were set near the wall and y+ value was less than 2. This mesh has a total 10815227 number of elements and 1815073 nodes. The properties of the mesh structures and results of water outlet temperatures are shown in Table 2, which were calculated at a water inlet velocity of 0.5 m/s. The properties of materials used in the analysis are shown in Table 3.

Table 2. Properties of mesh structures used in the analysis
Tablo 2. Analizlerde kullanılan mesh yapılarının özellikleri

	Type A			Type B			Type C			Type D		
	Coarse	Medium	Fine	Coarse	Medium	Fine	Coarse	Medium	Fine	Coarse	Medium	Fine
Average skewness	0.28	0.25	0.23	0.28	0.25	0.24	0.28	0.25	0.24	0.28	0.24	0.23
Average orthogonal quality	0.71	0.75	0.76	0.71	0.74	0.75	0.71	0.74	0.75	0.71	0.75	0.76
Average element quality	0.79	0.82	0.83	0.79	0.82	0.83	0.79	0.82	0.83	0.79	0.82	0.83
Node number	353028	1837309	3611521	352623	1815073	3407737	344192	1827020	3412037	348751	1761694	3802178
Element number	2081144	10931030	21477170	2077554	10815227	20291542	2031738	10894757	20313286	2055838	10488333	22565133
Outlet temperature	73.2	70.7	69.5	73.6	70.8	69.5	73.3	70.9	69.8	73.6	71.3	69.8

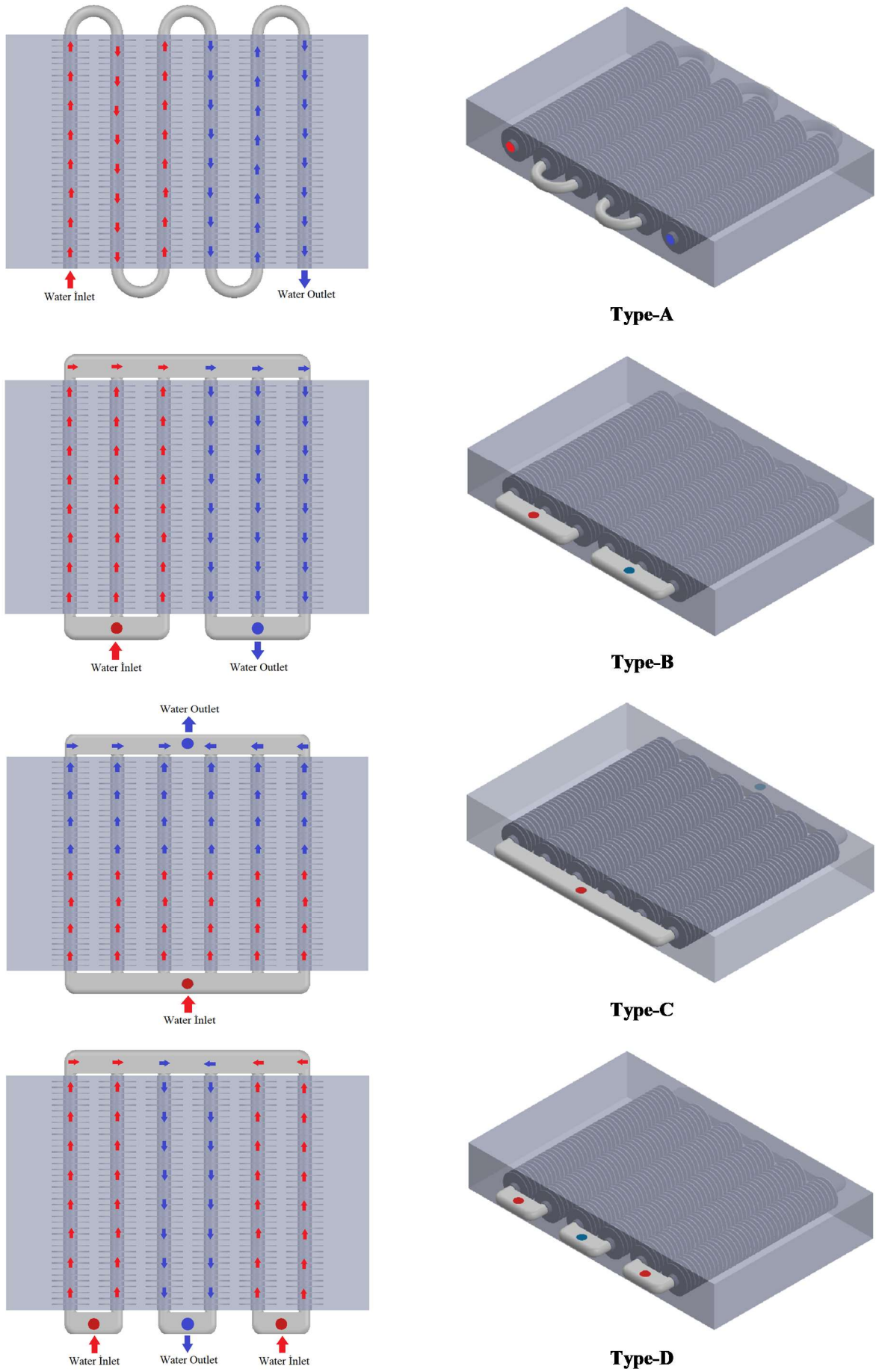


Figure 1. The flow channels (left) and isometric view of the channel heat sinks (right)
Şekil 1. Kanallı ısı alıcıların akış kanalları (solda) ve izometrik (sağda) görünüşleri



Figure 2. The mesh structure of Type-B channel heat sink.
Şekil 2. Tip-B kanallı ısı alıcının ağ yapısı

Table 3. Properties of the materials used in the analysis
Tablo 3. Analizlerde kullanılan materyallerin özellikleri

Names	Thermal conductivity λ ($W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$)	Density ρ (kg/m^3)	Specific heat c_p ($J/kg \cdot K$)
Heat sink	202.4	2719	871
Air	0.0242	1.225	1006.43
Water	0.6	998.2	4182

To numerically analyze the designed heat sink configurations, three average inlet water velocities of 0.25 m/s, 0.5 m/s and 1 m/s were chosen by holding the air velocity constant at 6 m/s. While calculating the Reynolds number, the average velocity values at the inlet were based on both the air and water sides. In this case, the flow on both sides became turbulent. Numerical calculations were made with ANSYS Fluent CFD program. The outlet and inlet sections were defined as pressure outlet and velocity inlet, respectively. The water and air inlet temperatures were 80 °C and 25 °C, respectively. Atmospheric pressure was selected at water and air outlets. The coupled wall condition was adopted to provide conjugate heat transfer at interfaces between liquid and solid domains. Four side surfaces of the air domain and surfaces of the

water channels outside the air domain were selected as adiabatic walls. The boundary conditions of the channel heat sink were shown in Figure 3. Steady-state pressure-based solver were employed for numerical solution. Standart k-ε model was used as turbulence model.

In all solutions, SIMPLE algorithm was used to solve the discretized equations of pressure-velocity coupling. The standard scheme was used to discretize pressure and the first-order upwind scheme was used to discretize momentum, turbulent kinetic energy and turbulent dissipation rate. For all dependent variables, the convergence criteria for the residuals were set to 10^{-6} .

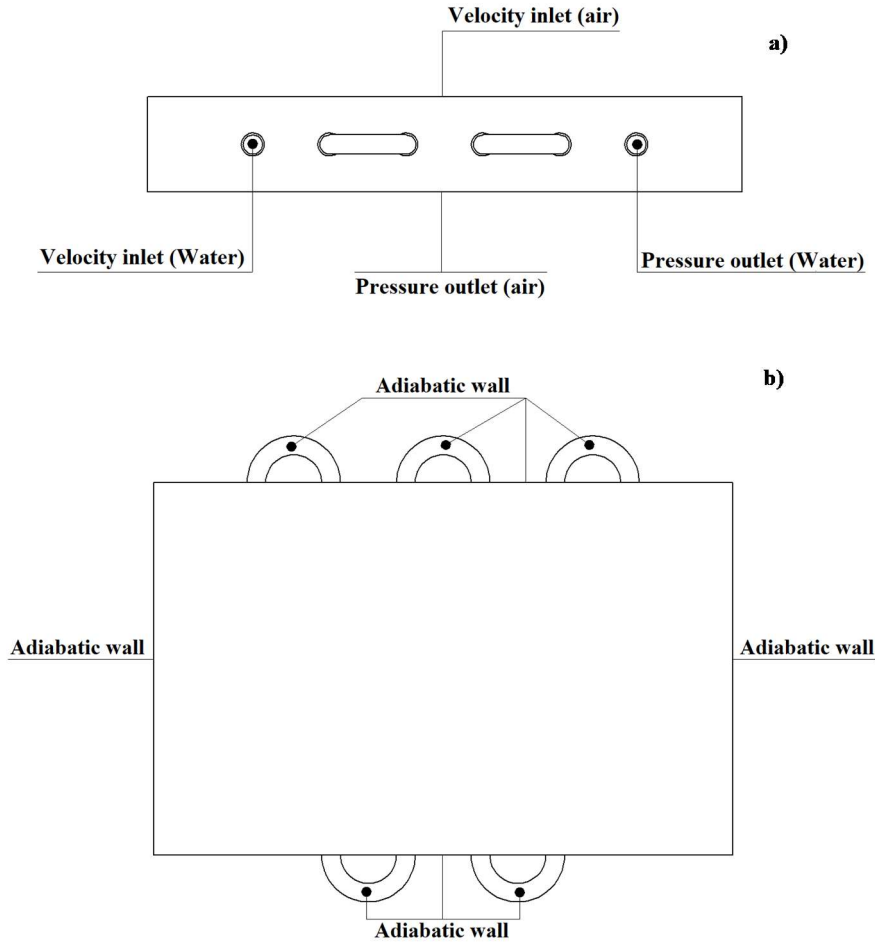


Figure 3. The boundary conditions of the channel heat sink, a) front view, b) top view
Şekil 3. Kanallı ısı alıcıların sınır şartları, a)ön görünüm, b) üst görünüm

3. Results and discussions

3. Bulgular ve tartışma

This work carried out calculations for 12 different situations using four different geometries (Type-A, Type-B, Type-C, Type-D), and three different average inlet water velocities (0.25 m/s, 0.5 m/s and 1 m/s). The average inlet velocities of 0.25, 0.5, 1 m/s represent the Reynolds numbers of 2500, 5000, 10000, respectively. Figure 4 shows the temperature contours for four different geometries at water velocity value of 0.5 m/s. Since the other velocity values were similar, these results were not shown both here and in the contour results from now on.

It can be said that when the Reynolds number decreased, the water outlet temperatures also decreased, as water is exposed to air for a longer time at low flow velocity. In all cases, the average

temperatures throughout the channels were in the range of 70 °C -80 °C.

To compare the configurations with each other it is difficult to make a precise comment from these contours. A more precise comparison will be made with the graphs given depending on the outlet temperature values in the following section.

Figure 5 shows the velocity streamlines contours of four different geometries at a water velocity value of 0.5 m/s. Increasing the water velocities increased eddies in all cases. Also, it is seen that eddies increase with the increase in the number of elbows in the configurations. While the velocity and mass flow per water channel remained constant in Type-A, in Type-B and Type-C dropped to one-third and to one-sixth, respectively. The same parameters in Type-D dropped to one-fourth at the inlet and to half at outlet section.

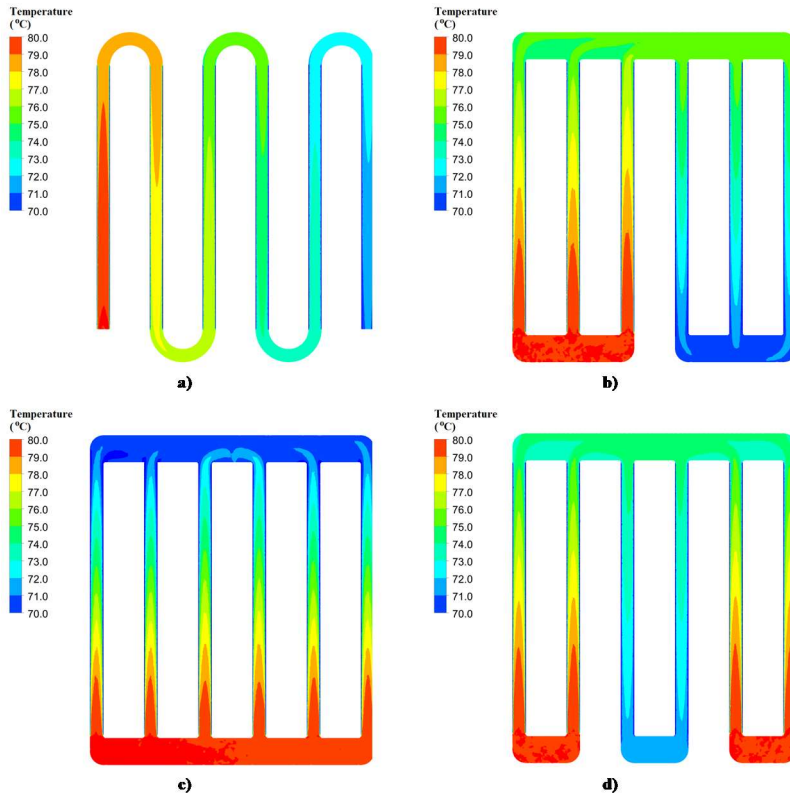


Figure 4. Temperature contours for different geometries at water velocity value of 0.5 m/s, a) Type-A, b) Type-B, c) Type-C, d) Type-D
Şekil 4. 0.5 m/s su hızı değerinde farklı geometriler için sıcaklık konturları, a) Tip-A, b) Tip-B, c) Tip-C, d) Tip-D

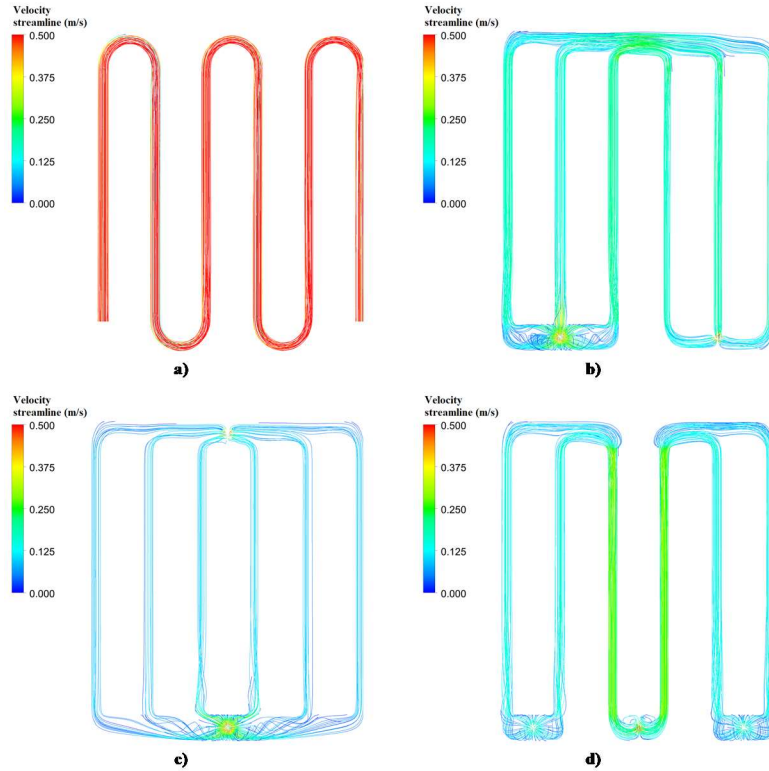


Figure 5. Velocity streamlines for different geometries at water velocity value of 0.5 m/s, a) Type-A, b) Type-B, c) Type-C, d) Type-D
Şekil 5. 0.5 m/s su hızı değerinde farklı geometriler için hız akım çizgileri, a) Tip-A, b) Tip-B, c) Tip-C, d) Tip-D

Increase in heat transfer generally causes an increase in pressure loss. This situation is shown in Figure 6. Pressure contour views were taken from the middle cross-section, and the highest pressures indicated on the scale occurred at the corners of the three-dimensional geometries. As seen from this figure, Type-A has the highest pressure loss with a

value of 1538 Pa. The increase in the number of passes in the pipe increased the pressure loss. The other geometries had similar pressure loss, and the lowest pressure loss is obtained in the Type-C geometry with a value of 250 Pa.

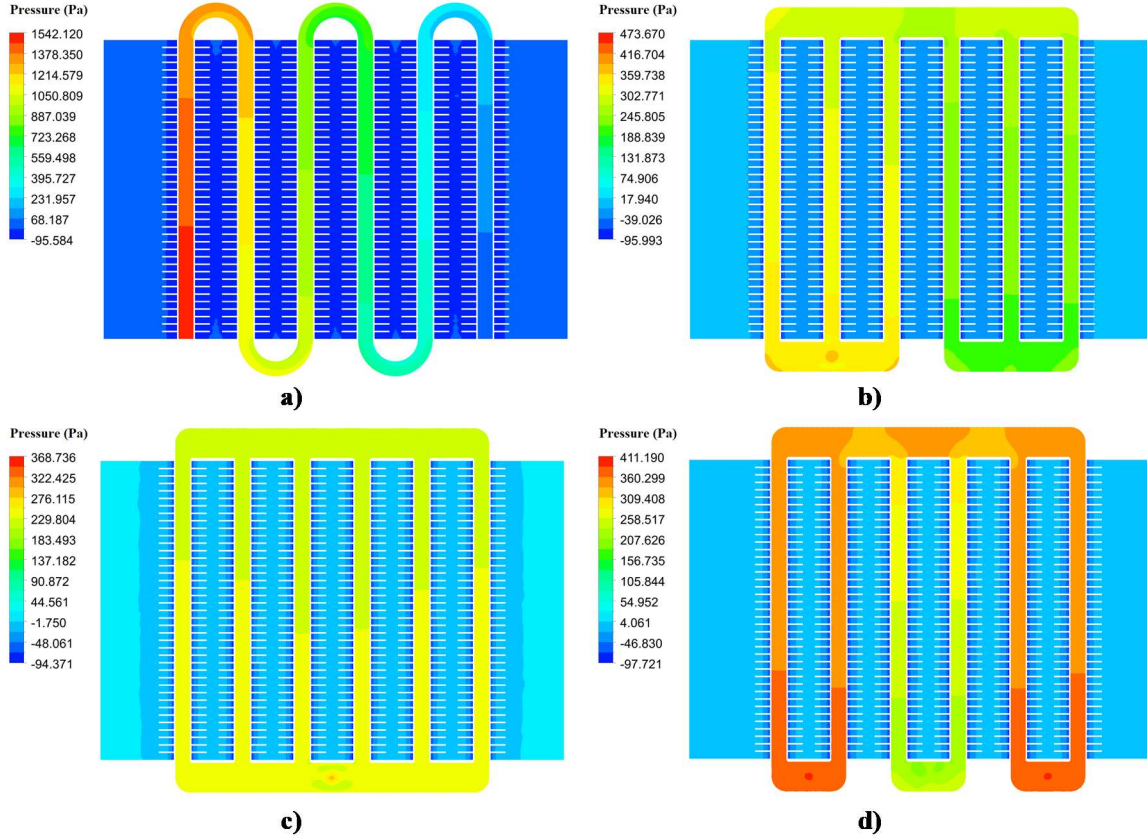


Figure 6. Pressure contours for different geometries at water velocity value of 0.5 m/s, a) Type-A, b) Type-B, c) Type-C, d) Type-D
Şekil 6. 0.5 m/s su hızı değerinde farklı geometriler için basınç konturları, a) Tip-A, b) Tip-B, c) Tip-C, d) Tip-D

Graphics of the analysis results of the channel water block heat sink system were given in Figure 7. Some terms were explained following. The hydraulic power means that the required power to overcome pressure losses, the outlet temperature means the water outlet temperature from the tube, the temperature difference means the difference between water inlet and outlet temperatures.

As can be seen from Figure 7.a, in all configurations, the outlet temperatures of water were very close to each other which were in the range of 63-65 °C for Re=2500, 70-72 °C for Re=5000 and 74-76 °C for Re=10000. Among all configurations, Type-A has the minimum outlet temperature with a value of 63.40 °C for Re=2500, 70.77 °C for Re=5000 and 74.85 °C for Re=10000. Type-D has slightly higher outlet temperature

among all models with a value of 64.40 °C for Re=2500, 71.36 °C for Re=5000 and 75.41 °C for Re=10000. The highest temperature difference in relation to the outlet temperatures also occurred in Type-A configuration which is 16.60 °C for Re=2500, 9.23 °C for Re=5000 and 5.15 °C for Re=10000. As shown in Figure 7.b, the temperature difference values were very close to each other which were in the range of 15-17 °C for Re=2500, 8-10 °C for Re=5000 and 4-6 °C for Re=10000.

As the water velocity increased, the outlet temperature also increased. It is difficult to compare configurations as the values in terms of outlet temperatures which are very close to each other in all types. Therefore, to compare the heat transfer performances, it is necessary to look at the

heat transfer rate to air. Figure 7.d shows the variation of heat transfer rate to air with Reynolds number. According to this figure, Type-A showed better heat transfer performance than other models with the value of 1346 W for Re=2500, 1500 W for Re=5000 and 1675 W for Re=10000. The worst performance occurred in Type-D configuration. According to the heat transfer rate to air, the best cooling performance can be listed from high to low as follows: types A, B, C and D, respectively.

The maximum pressure difference was obtained in Type-A geometry with a value of nearly 3500 Pa at Reynolds number value of 10000 as shown in Figure 7.e. Type-A was followed by Type-D, Type-B and Type-C geometries. The increase in

pressure differences means an increase in the pumping power. In this sense, the most power consumption occurred in the Type-A configuration (Figure 7.f) with a value of 275 mW at Re=10000, which had the highest pressure difference. In all models, at Re=2500, power consumptions were very low and were in the range of 1-13 mW. Based on these results, it was inferred that water passes had a significant effect on pump power.

In all analyses, pressure difference, outlet temperature, hydraulic power, heat transfer to air increased proportionally by increasing Reynolds number while temperature difference and total thermal resistance decreased.

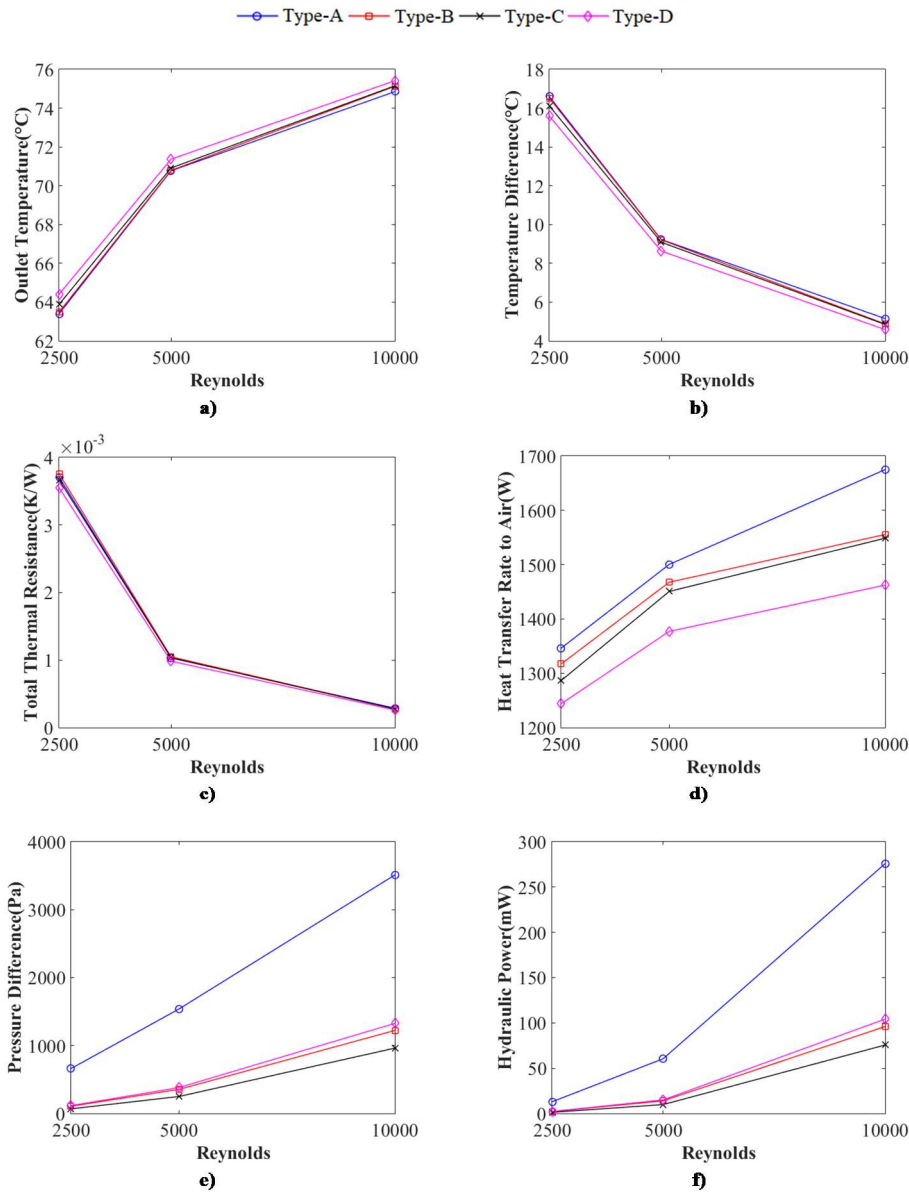


Figure 7. a) Outlet temperature, b) temperature difference, c) total thermal resistance, d) heat transfer to air, e) pressure difference, f) hydraulic power in relation to Reynolds number
Şekil 7. a) Çıkış sıcaklığı, b) sıcaklık farkı, c) toplam ısı direnç, d) havaya ısı transferi, e) basınç farkı, f) Reynolds sayısına göre hidrolik güç

In all geometries, the highest heat transfer occurred where the highest pressure drop occurred, and this situation was given in Figure 8. In the Type-A model, where the highest pressure drop was obtained, when the pressure loss was 660 Pa, 1540 Pa and 3500 Pa, the heat transfer rate to air was 1346 W, 1500 W, 1675 W, respectively.

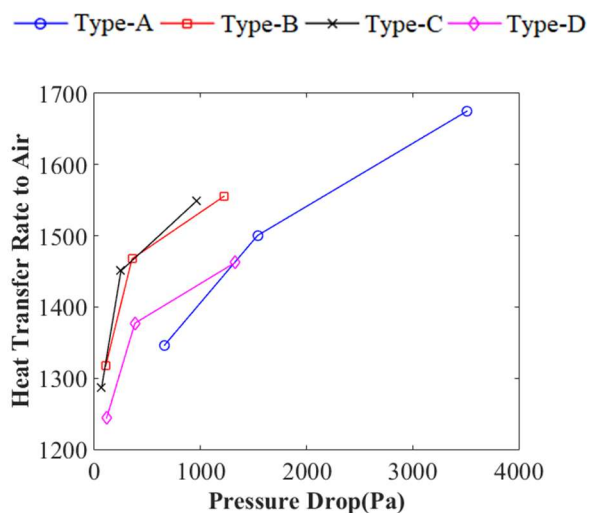


Figure 8. The increase in heat transfer in relation to the increase in pressure drop

Şekil 8. Basınç düşüşündeki artışa bağlı olarak ısı transferindeki artış

4. Conclusions

4. Sonuçlar

In this study, thermal performance of water-cooled heat sink configurations at different water velocities (0.25 m/s, 0.5 m/s and 1 m/s) was investigated numerically. This study showed that increasing the water velocities increased the pressure difference, outlet temperature, heat transfer rate to air and hydraulic power in all analyses. The outlet temperature values were close to each other in all type of configurations which were in the range of 63-65 °C for Re=2500, 70-72 °C for Re=5000 and 74-76 °C for Re=10000 but it was slightly higher in Type-D which is 64.40 °C for Re=2500, 71.36 °C for Re=5000 and 75.41 °C for Re=10000. Among all configurations, Type-A has the minimum outlet temperature with a value of 63.40 °C for Re=2500, 70.77 °C for Re=5000 and 74.85 °C for Re=10000. The highest temperature difference in relation to the outlet temperatures also occurred in Type-A configuration which is 16.60 °C for Re=2500, 9.23 °C for Re=5000 and 5.15 °C for Re=10000. The cooling performance can be better understood by looking at the heat transfer rate to air. According to this result, Type-A had the best cooling performance with a value of 1346 W for Re=2500,

1500 W for Re=5000 and 1675 W for Re=10000, while Type-D had the worst performance with the value of 1243 W for Re=2500, 1377 W for Re=5000 and 1462 W for Re=10000.

The maximum pressure difference was obtained in Type-A geometry with a value of nearly 3500 Pa at Reynolds number value of 10000. The increase in pressure differences means an increase in the pumping power. In this context, the most power consumption occurred in the Type-A configuration (Figure 7.f) with a value of 275 mW at Re=10000 which had the highest pressure difference. In all models, at Re=2500, power consumptions were very low and were in the range of 1-13 mW.

Generally, it was observed that the effect of different water passes on heat transfer was limited but significantly affects the pump power that provides the flow of water. Moreover, pump power emerges disadvantages, such as larger pump, higher operating temperature, and shorter pump life. As a result, the use of Type-B was found more convenient due to the advantage of pump power and water inlet-outlet positions. In Type-A design, it was concluded that since a breakdown in one of the channels would make the whole system inoperable and the highest pump power was in this design, it should be preferred less than the others. The results of this study could provide valuable information for CPU manufacturers that can help improve the future design.

The calculations performed in this study give a numerical estimation of the water-cooled heat sinks. Hence, there is much scope for further research to understand exactly the working of the equipment. Without experimental validation, the CFD results will not be completely sufficient. Therefore, in future studies, the validation of the CFD results with experimental data will be beneficial. In this context, various numerical models could be validated with the measured experimental data.

Author contribution

Yazar katkısı

Seyda Özbektaş (%35): Investigation, Software, Calculations, Validation, Writing- Original draft preparation

Bilal Sungur (%35): Investigation, Methodology, Validation, , Reviewing and Editing

Bahattin Topaloglu (%30): Conceptualization, Methodology, Validation, Reviewing and Editing.

Declaration of ethical code*Etik beyanı*

The authors of this article declare that the materials and methods used in this study do not require ethical committee approval and/or legal-specific permission.

Conflicts of interest*Çıkar çatışması beyanı*

The authors declare that there is no conflict of interest.

References*Kaynaklar*

- Adams, T. M., Abdel-Khalik, S. I., Jeter, S. M., & Qureshi, Z. H. (1998). An experimental investigation of single-phase forced convection in microchannels. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 41(6), 851–857. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0017-9310\(97\)00180-4](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0017-9310(97)00180-4)
- Choi, J. T., Kwon, O. K., & Cha, D. A. (2011). A numerical study of the heat transfer and fluid flow of micro-channeled water block for computer CPU cooling. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 25(10), 2657. <https://doi.org/10.1007/s12206-011-0616-4>
- Chung, Y. M., & Luo, K. H. (2002). Unsteady heat transfer analysis of an impinging jet. *Journal of Heat Transfer*, 124(6), 1039–1048. <https://doi.org/10.1115/1.1469522>
- Conrad, M., Diatlov, A., & De Doncker, R. W. (2015). Purpose, potential and realization of chip-attached micro-pin fin heat sinks. *Microelectronics Reliability*, 55(9), 1992–1996. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.microrel.2015.07.007>
- Cova, P., Delmonte, N., Giuliani, F., Citterio, M., Latorre, S., Lazzaroni, M., & Lanza, A. (2013). Thermal optimization of water heat sink for power converters with tight thermal constraints. *Microelectronics Reliability*, 53(9), 1760–1765. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.microrel.2013.07.035>
- Fluent Incorporated. (2017). *Fluent User's Guide*. <http://users.abo.fi/rzevenho/ansys%20fluent%2018%20tutorial%20guide.pdf>
- Hetsroni, G., Mosyak, A., Pogrebnyak, E., & Yarín, L. P. (2005). Fluid flow in micro-channels. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 48(10), 1982–1998. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2004.12.019>
- Jajja, S. A., Ali, W., Ali, H. M., & Ali, A. M. (2014). Water cooled minichannel heat sinks for microprocessor cooling: Effect of fin spacing. *Applied Thermal Engineering*, 64(1), 76–82. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2013.12.007>
- Kim, K.-S., Won, M.-H., Kim, J.-W., & Back, B.-J. (2003). Heat pipe cooling technology for desktop PC CPU. *Applied Thermal Engineering*, 23(9), 1137–1144. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S1359-4311\(03\)00044-9](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S1359-4311(03)00044-9)
- Knight, R. W., Hall, D. J., Goodling, J. S., & Jaeger, R. C. (1992). Heat sink optimization with application to microchannels. *IEEE Transactions on Components, Hybrids, and Manufacturing Technology*, 15(5), 832–842. <https://doi.org/10.1109/33.180049>
- Naphon, P., Klangchart, S., & Wongwiset, S. (2009). Numerical investigation on the heat transfer and flow in the mini-fin heat sink for CPU. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 36(8), 834–840. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.icheatmasstransfer.2009.06.010>
- Naphon, P., & Wiriyaart, S. (2009). Liquid cooling in the mini-rectangular fin heat sink with and without thermoelectric for CPU. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 36(2), 166–171. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.icheatmasstransfer.2008.10.002>
- Nishino, K., Samada, M., Kasuya, K., & Torii, K. (1996). Turbulence Characteristics in the Stagnation Region of an Axisymmetric Impinging Jet Flow. *Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers Series B*, 62(594), 474–482. <https://doi.org/10.1299/kikaib.62.474>
- Pastukhov, V. G., & Maydanik, Y. F. (2006). Low-noise cooling system for pc on the base of loop heat pipes. *Twenty-Second Annual IEEE Semiconductor Thermal Measurement And Management Symposium*, 95–101. <https://doi.org/10.1109/STHERM.2006.1625212>
- Réti, F. (1999). Liquid cooling of electronic devices by single-phase convection (Wiley —Interscience Publication, 1999, New York — Chichester — Weinheim — Brisbane — Singapore — Toronto) Frank P. Incropera. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 58(3), 749. <https://doi.org/10.1023/A:1010174209771>
- Tiselj, I., Hetsroni, G., Mavko, B., Mosyak, A., Pogrebnyak, E., & Segal, Z. (2004). Effect of axial conduction on the heat transfer in micro-

- channels. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 47(12), 2551–2565. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2004.01.008>
- Toh, K. C., Chen, X. Y., & Chai, J. C. (2002). Numerical computation of fluid flow and heat transfer in microchannels. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 45(26), 5133–5141. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0017-9310\(02\)00223-5](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0017-9310(02)00223-5)
- Tuckerman, D. B., & Pease, R. F. W. (1981). High-performance heat sinking for VLSI. *IEEE Electron Device Letters*, 2(5), 126–129. <https://doi.org/10.1109/EDL.1981.25367>
- Wang, B. X., & Peng, X. F. (1994). Experimental investigation on liquid forced-convection heat transfer through microchannels. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 37, 73–82. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0017-9310\(94\)90011-6](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0017-9310(94)90011-6)
- Wang, Y., & Vafai, K. (2000). An experimental investigation of the thermal performance of an asymmetrical flat plate heat pipe. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 43(15), 2657–2668. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0017-9310\(99\)00300-2](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0017-9310(99)00300-2)
- Wei, X., & Joshi, Y. (2003). Optimization study of stacked micro-channel heat sinks for micro-electronic cooling. *IEEE Transactions on Components and Packaging Technologies*, 26(1), 55–61. <https://doi.org/10.1109/TCAPT.2003.811473>
- Xie, X. L., Tao, W. Q., & He, Y. L. (2006). Numerical study of turbulent heat transfer and pressure drop characteristics in a water-cooled minichannel heat sink. *Journal of Electronic Packaging*, 129(3), 247–255. <https://doi.org/10.1115/1.2753887>
- Zhao, Z., & Avedisian, C. T. (1997). Enhancing forced air convection heat transfer from an array of parallel plate fins using a heat pipe. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 40(13), 3135–3147. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0017-9310\(96\)00348-1](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0017-9310(96)00348-1)

Farklı tasarımlara sahip venturilerin havalandırma performanslarının incelenmesi

Investigation of aeration performance in venturies with different desings

Sinan TURGUT^{*1,a}, Ö. Faruk DURSUN^{2,b}, Mahmut AYDOĞDU^{3,c}

^{1,2}İnönü Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, 44280, Malatya

³Turgut Özal Üniversitesi Darende Bekir Ilıcak Meslek Yüksekokulu, 44280, Malatya

• Geliş tarihi / Received: 27.04.2021

• Düzeltilek geliş tarihi / Received in revised form: 18.10.2021

• Kabul tarihi / Accepted: 07.11.2021

Öz

Akarsularda bulunan çözülmüş oksijen miktarı, hem suyun kalitesini gösteren hem de suda yaşayan canlıların ihtiyaç duyduğu önemli bir etkidir. Hidrolik yapıların akarsular ile temas etmeleri çözülmüş oksijen miktarına önemli oranda etki etmektedir. Kaskatlar ve venturiler suların havalandırılmasında kullanılan önemli hidrolik yapılardır. Venturi sistemlerinde daralan kesit içerisinde ilerleyen suyun hızının ani bir şekilde artması ile birlikte boğaz bölgesinde negatif basınçlar oluşur. Hız değişiminin neden olduğu bu düşük basınç havayı sistem içerisine sürükler. Sistem içerisine giren hava miktarı venturi girişi-boğaz kesitleri arasındaki orana bağlı olarak değişir. Bu çalışmada, farklı havalandırma delik sayılarına sahip 36, 42 ve 54 mm çaplarında dairesel venturilerin performansları deneysel olarak test edilmiştir. Boğaz bölgelerinin çapı, venturi çaplarının 0.5 ve 0.75 katı, boğaz bölgesi uzunluğu ise boğaz bölgesi çapına eşit ve 2 katı olarak seçilmiştir. Venturilerin üzerinde, boğaz bölgesinin orta noktasından başlayarak aralarındaki mesafe boğaz bölgesi uzunluğunun 0.75 katı olacak şekilde 6 mm çapında karşılıklı 3 çift delik açılmıştır. Venturilerin sistemle montajı sağlanıp sudaki Çözülmüş Oksijen Konsantrasyonu (ÇOK) üzerindeki etkileri incelenmiştir. Deneylelerden elde edilen sonuçlar grafikler yardımıyla karşılaştırılarak yorumlanmıştır. Bu çalışmada, venturi çapları artarken ÇOK değerlerinin azaldığı gözlemlenmiştir. Ayrıca venturi boğaz bölgesi uzunluklarının artmasının da ÇOK değerlerini arttırdığı görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Çözülmüş oksijen, Kütle transferi, Oksijen transferi, Suların havalandırılması, Venturimetre

Abstract

The amount of dissolved oxygen (DO) in the river is a major parameter that indicates the quality of the water and the survival of aquatic organisms. Short contact of hydraulic structures with rivers has significant effects on dissolved oxygen content. The cascades and venturies are important hydraulic structures used in the aeration of water. In venturi systems, negative pressure occurs in the throat section by means of the sudden increase of the velocity of the water in the narrowing section. The air enters into the system because of this low pressure caused by the velocity changes. The amount of air entering in the system varies depending on the ratio between the venturi inlet and throat sections. In this study, circular venturi diameters of 36, 42 and 54 mm having different hole configuration were used. The diameter of throat regions was determined as 0.5 and 0.75 times the diameter of the venturi and the length of the throat region was equal to and 2 times the diameter of the throat region. On the venturi, 3 pairs of holes were drilled 6 mm in diameter with a distance of 0.75 times the length of the throat region starting from the midpoint of the throat region. The installation of the venturi with the system carried out and the effects on the dissolved oxygen concentration in the water were investigated. The results obtained from the experiments were compared and interpreted with graphs. In the study, it was observed that while venturi diameters increased, DO values decreased. In addition, it was observed that the increase in the length of the venturi throat region also increased the DO values.

Keywords: Dissolved oxygen, Mass transfer, Oxygen transfer, Aeration of water, Venturi

*a Sinan TURGUT; sinan_turgut_23@hotmail.com, Tel: (0538) 799 08 81, orcid.org/0000-0002-9067-3991

^b orcid.org/0000-0003-3923-5205

^c orcid.org/0000-0002-7339-2442

1. Giriş

1. Introduction

Oksijen tüm canlıların hayati fonksiyonları için ihtiyaç duydukları en önemli elementtir. Atmosferde %21 oranında bulunan oksijenin canlıların yaşamsal faaliyetlerini devam ettirebilmeleri için gerekli olan suyun içinde de çözülmüş halde bulunması gerekmektedir. Çözülmüş oksijen yoğunluğu; akarsu, göl, nehir ve diğer tüm su kaynakları için önemli bir parametredir. Çarpık kentleşme ve sanayileşmenin hızlı artışı gibi çeşitli nedenlerle sulara bulunan oksijen miktarının kritik seviyelere düşmesi, su kalitesi ve ekolojik denge açısından oldukça tehlikelidir. Su kirliliğine neden olan başlıca etmenler; organik kirleticiler, inorganik kirleticiler, petrol kökenli kirleticiler ve sediment kökenli kirleticilerdir. Bu kirleticiler arasında yer alan organik kirleticiler suyun oksijen bakımından fakirleşmesinde ilk sırada yer alır. Organik kirleticiler çoğunlukla insanların faaliyetleri sonucu sulara karışırlar. Karıştıkları sular durgunsa bunlar suyun dibinde toplanırlar. Buna sedimentasyon adı verilir. Organik ve inorganik maddelerin bir karışımı olan sedimentler bakteriler ve diğer organizmalar için iyi bir ortamdır. Böyle ortamlarda bulunan mikroorganizmalar sudaki mevcut oksijeni kullanarak organik maddeleri parçalarlar. Aerobik parçalanma denilen bu olay neticesinde suda bulunan çözülmüş oksijen konsantrasyonunda azalma olur. Bu durumda sistem havadan oksijen emerek durumu telafi etmeye çalışır. Dışardan emilen bu oksijen sedimentte bulunan organik madde miktarına bağlı artış gösteren bakterilerin ihtiyacını karşılamalıdır (Baylar, 2002; Gulliver vd., 1990; Gulliver vd., 1998).

Sudaki canlı yaşamını etkileyecek ölçüde kirletici bulunması canlı yaşamını olumsuz yönde etkilemektedir. Bu durumda canlıların sağlıklı bir hayat sürmeleri için atmosferdeki oksijen suya kazandırılmalı ve sudaki çözülmüş oksijen miktarı ideal seviyelere (en az 5 mg/l) getirilmelidir. Doğal yollarla uzun mesafelerde sağlanacak bu havalandırma akarsular ve nehirler üzerine çeşitli hidrolik yapılar inşa edilerek daha kısa sürede sağlanabilmektedir. Suyun bu hidrolik yapılar ile kısa süreli temasında bile sudaki çözülmüş oksijen yoğunluğu artabilmektedir. Hızlandırılmış bu oksijen transferinin sebebi olarak da çok sayıda hava kabarcığının su içine girerek su-hava temas yüzeyini arttırması gösterilmektedir. Bu yüzden hidrolik yapılar tasarlanırken; yapının tipi, yüksekliği ve yeri oksijen transfer verimi açısından

çok önemlidir (Baylar, 2002; Ervine, 1998; Mcghee, 1991).

Akışkanlar mekaniğinde basınçlı borularda kesitten geçen debinin hesaplanması her zaman pratik olmamaktadır. Burgan, yaptığı çalışmada gerçek debi için 6 farklı gözlem yapmış, hazırladığı venturimetre deney setinde ölçülen gerçek debi ile süreklilik ve Bernoulli denklemleri kullanılarak hesaplanan teorik debi karşılaştırmıştır. Bunu yaparken de teorik debiyi gerçek debi olarak kullanabilmek için debi düzeltme katsayısından Cd yararlanmıştır. Yaptığı deneylerde venturimetrenin memba kısmındaki yatay mesafenin kısa olması ve kesitin daralması neticesinde meydana gelen yersel yük kaybının küçük olması nedeniyle teorik ve deneysel hesaplanan hızlar arasındaki farkın küçük olduğu mansap kısmında ise yatay mesafenin uzun olması ve kesitin genişlemesi nedeniyle sürekli yük kaybı daha büyük olduğu gözlemlenmiştir. Sonuç olarak akımın mansap kısmında ölçülen kesitsel ortalama akım hız değerlerini teorik olarak hesaplanan değerlerden daha küçük çıkmıştır. (Burgan, 2020).

Suların havalandırılması ile ilgili olarak birçok araştırmacı tarafından farklı çalışmalar yapılmış ve çözülmüş oksijen konsantrasyonu, kütle transfer katsayısı gibi parametreler için çeşitli denklemler türetilmiştir. Genel olarak basamaklı kaskatlar, konduitler, su jetleri ve venturiler gibi hidrolik yapılara uygulanabilecek tasarımlar üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Chanson ve Toombes basamaklı bir dolusavakta sıçramalı ve geçiş akım şartlarında hava girişinin deneysel araştırmaları hakkında bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada nap, geçiş ve sıçramalı akımlar için büyük bir deney setinde hız, akım derinliği, hava kabarcık oranları, sürtünme katsayısı gibi parametrelerin değişim miktarlarını incelemişlerdir (Chanson ve Toombes, 2001). Baylar, Bagatur ve Emiroğlu basamaklı düşülerde nap, geçiş ve sıçramalı akım rejimlerinin içerdiği oksijen miktarının önceden belirlenmesi adı altında bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada farklı eğimler ve basamak yükseklikleri altında nap, geçiş ve sıçramalı akım koşullarında basamaklı düşülerde oksijen transferi ve havalanma karakteristikleri araştırılmıştır (Baylar vd., 2007). Baylar ve Emiroğlu farklı şekilli ince kenarlı savakların hava sürüklenme hız değerlerini belirlemek için bir dizi deneysel çalışma yürütmüşlerdir. Yaptıkları çalışmada üçgen şekilli özellikle, 30° ince kenarlı savağın en iyi hava sürüklenme hızına sahip olduğunu ifade etmişlerdir. Yazarlar, savak şeklinin, hava sürüklenme hızı üzerinde önemli etkiye sahip olduğunu vurgulamışlardır (Baylar ve Emiroğlu,

2002). Emiroğlu ve Baylar basamaklı dolusavak ve kaskat yapılarının havalandırma verimleri üzerinde bir seri deneysel çalışmalar yürütmüşlerdir. Basamaklı kaskat havalandırıcıların en yüksek verimleri 20° ile 25° arasındaki kaskat açılarında gözlemlenmekte olduğunu ve bu değerlerin optimal olarak 22° açı için uygunluk gösterdiğini ifade etmişlerdir (Emiroğlu ve Baylar, 2003). Baylar farklı enkesit geometrilerine sahip savaklar ve bunların oksijen transfer verimini nasıl etkilediklerini incelemiştir. Geri devirsiz sistemlerde üçgen enkesite sahip savakların diğer enkesitli savaklardan daha iyi oksijen transfer verimine sahip olduğu ve bunun kullanılabilirliğini belirtmiştir (Baylar, 2003). Baylar, Emiroğlu ve Bagatur dairesel ağızlık üzerine hava delikleri yerleştirerek farklı ağızlık tipleri geliştirmiş ve bu yeni ağızlık tiplerinin mansap havuzundaki hava giriş verimine etkisini araştırmışlardır. Bu yeni ağızlıklar ile klasik olarak kullanılan dairesel ağızlıktan daha yüksek hava giriş verimi elde edildiğini ifade etmişlerdir. Farklı tipli savakların hava sürüklenme hızı üzerinde yaptıkları çalışmalarında, bu savakların birbirinden oldukça farklı hava sürüklenme hızı değerlerine sahip olduklarını göstermişlerdir (Baylar vd., 2006).

2. Gaz transfer mekanizması

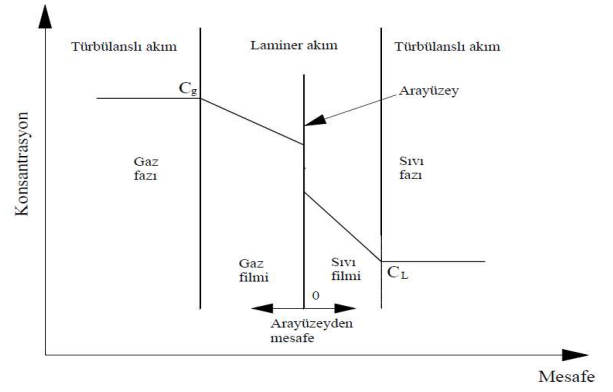
2. Gas transfer mechanism

Sularda gaz transferi; suya klor, çözülmüş oksijen vb. gazları vermek veya CO₂, H₂S gibi gazları sulardan uzaklaştırmak anlamına gelir. Gaz transferi gaz-sıvı ara yüzeyinde meydana gelir. Transfer işlemi sıvı içindeki gaz konsantrasyonu denge durumu oluşuncaya kadar devam eder. Sıvı-gaz kütle transfer işleminde kullanılan birçok teori vardır. Bu teorilerin başında çift film teorisi yer alır (Lewis ve Whitman, 1924).

2.1. Çift film teorisi

2.1. Double film theory

Bu teoriye göre, gaz ve sıvı fazların temas ettiği ara yüzlerin iki tarafında sıvı ve gaz olmak üzere iki film mevcuttur. Bu tabakaların dışında sıvı ve gaz fazları yer alır. Bu tabakalar, gaz moleküllerinin gaz ve sıvı fazları arasındaki hareketlerine karşı direnç gösterirler. Sıvı içerisinde çözünürlüğü az olan gazlara, gaz fazdan sıvı faza geçerken sıvı tabakası tarafından direnç gösterilir. Benzer şekilde çözünürlüğü çok olan gazlar ise gaz filminden direnç görürler (Lewis ve Whitman, 1924).



Şekil 1. Çift film teorisi (Lewis ve Whitman, 1924).

Figure 1. Double film theory (Lewis and Whitman, 1924).

Suların havalandırılmasında karşılaşılan sistemlerde genel olarak suda az çözünen gazlar söz konusu olup gaz transfer hızı, gazın denge halindeki konsantrasyonu ve mevcut konsantrasyon arasındaki farkla orantılıdır. Bu tür sistemler için gaz transfer hızı aşağıdaki gibi ifade edilir (Lewis ve Whitman, 1924).

$$\frac{dm}{dt} = K_g \cdot A \cdot (C_s - C) \quad (1)$$

Burada; $\frac{dm}{dt}$: Kütle transfer hızı (g/s),

t: kütle transferinin meydana gelme süresi (s),

K_g : kütle transfer katsayısı,

A: kütle transfer alanının (m²),

C_s : sudaki çözülmüş oksijenin doyum konsantrasyonu (mg/L),

C: sudaki oksijen konsantrasyonu (mg/L) göstermektedir.

Kütle transfer hızı, konsantrasyon hızı cinsinden aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$\frac{dm}{dt} = V \cdot \frac{dc}{dt} \quad (2)$$

Burada; V: transfer olunan gaz hacmidir.

Bu ifade yukardaki denklemde yerine yazılırsa aşağıdaki denklem bulunur.

$$\frac{dc}{dt} = K_g \cdot A / V \cdot (C_s - C) \quad (3)$$

Suların havalandırılması işleminde gaz transferine esas direnç sıvı film içindedir. Bu nedenle A/V

yerine özgül ara kesit yüzeyini gösteren “a” ve “K_s” yerine ise sıvı film katsayısını gösteren “K_L” kütle transfer katsayısı kullanılır. Böylece yeni denklem

$$\frac{dc}{dt} = K_{La} \cdot (C_s - C) \quad (4)$$

şeklinde olur.

Burada; $\frac{dc}{dt}$: konsantrasyon değişim hızı (mg/L),

K_{La}: kütle transfer katsayısı,

C_s: sudaki çözünmüş oksijenin doygunluk konsantrasyonu (mg/L),

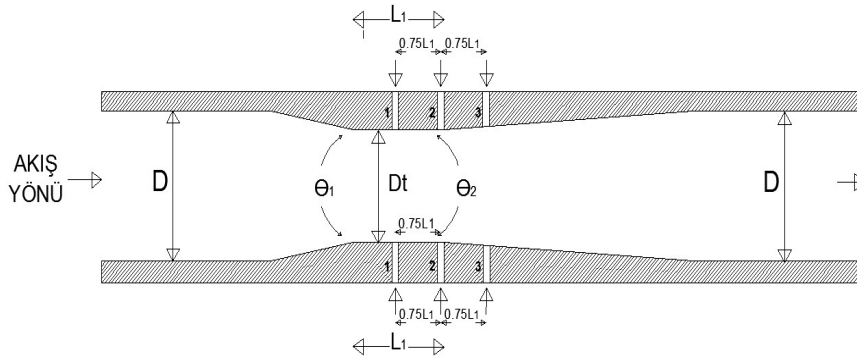
C: sudaki çözünmüş oksijen konsantrasyonu (mg/L)

3. Materyal ve metot

3.1. Material and method

Bu çalışmada, venturi havalandırıcıların sudaki oksijen transfer verimi üzerindeki etkileri incelenmiştir. Hazırlanan sistemde farklı çaplara, farklı daralma bölgelerine ve farklı uzunluklara sahip venturi aygıtları kullanılarak geri devirli sistemlerdeki oksijen transfer verimi ve doygunluğa ulaşım süresi tespit edilmiştir.

Çalışma esnasında sürüntü madde, organik madde ve askı maddelerin oksijen transfer verimine etki etmemesi için musluk suyu kullanılmıştır. Deneilerin başlangıç aşamasında, suyun oksijen miktarını azaltmak için sodyum sülfür (Na₂SO₃) ve kobalt klorür (CoCl₂) kullanılmış ve her bir venturi aygıtı için su yenilenmiştir.



Şekil 2. Venturi aygıtı enkesiti (Turgut, 2019).

Figure 2. Longitudinal section of venturi (Turgut, 2019).

Deneilerde kullanılan venturilerin imal edilmesi için çelik iç kalıplar ve polyester malzeme kullanılmıştır. Venturilerin çapları 36 mm, 42 mm ve 54 mm olarak seçilmiştir. Şekil 2’de görüldüğü üzere venturi aygıtının boğaz çapı (D_t), giriş ve çıkış çaplarının (D), 0,5 katı ve 0,75 katı olarak değişken değerlerde alınmıştır. Venturi boğaz bölgesi uzunluğu (L₁), her bir venturi için boğaz çapı değeri (D_t) ve iki katı kadar (2D_t) alınmıştır.

Akım yönüne göre venturilere ait giriş koni açıları θ₁=21° ve θ₂=7° olarak alınmıştır. Venturilerin boğaz bölgelerinin ortasından başlayarak venturi boğaz bölgesi uzunluğunun (L₁) 0,75 ve 1,5 katı mesafede karşılıklı olmak üzere çapı 6 mm olan toplam 6 adet delik açılmıştır. Şekil 3’te ve Şekil 4’te venturilere ait iç kalıplar ve hazır haldeki venturiler görülmektedir.



Şekil 3. Venturi iç kalıpları (Turgut, 2019)

Figure 3. Inner molds used in the manufacture of venturi (Turgut, 2019)



Şekil 4. İç ve dış kalıplardan ayrılmış venturiler (Turgut, 2019)

Figure 4. Venturis separated from inner and outer molds (Turgut, 2019)

Tablo 1. Deneyde kullanılan venturilere ait ölçüler (Turgut, 2019)

Table 1. Venturis separated from inner and outer molds (Turgut, 2019)

D (mm)	α_1 (°)	α_2 (°)	D_t (mm)	L_1 (mm)	Deney isimleri		
					1. delik	2. delik	3. delik
36	21	7	18	18	36-18-18-1	36-18-18-2	36-18-18-3
			18	36	36-18-36-1	36-18-36-2	36-18-36-3
			27	27	36-27-27-1	36-27-27-2	36-27-27-3
			27	54	36-27-54-1	36-27-54-2	36-27-54-3
42	21	7	21	21	42-21-21-1	42-21-21-2	42-21-21-3
			21	42	42-21-42-1	42-21-42-2	42-21-42-3
			31.5	31.5	42-31.5-31.5-1	42-31.5-31.5-2	42-31.5-31.5-3
			31.5	63	42-31.5-63-1	42-31.5-63-2	42-31.5-63-3
54	21	7	27	27	54-27-27-1	54-27-27-2	54-27-27-3
			27	54	54-27-54-1	54-27-54-2	54-27-54-3
			40.5	40.5	54-40.5-40.5-1	54-40.5-40.5-2	54-40.5-40.5-3
			40.5	81	54-40.5-81-1	54-40.5-81-2	54-40.5-81-3

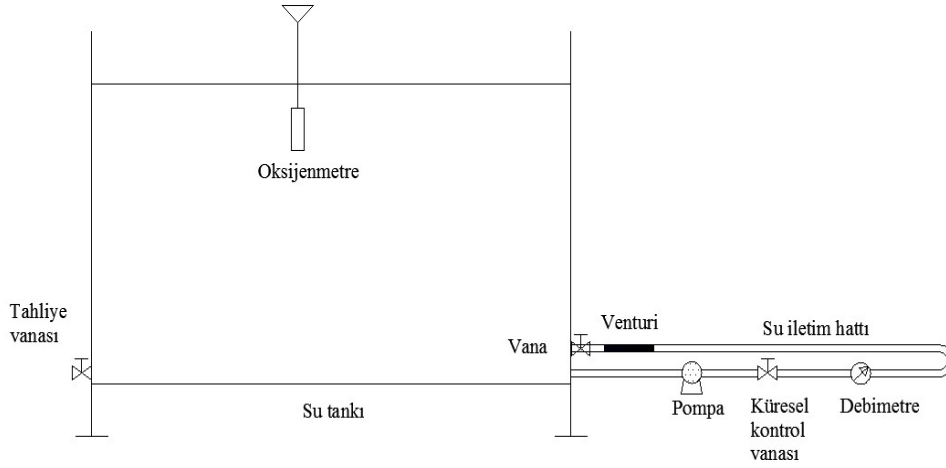
Tablo 1’de deneyler esnasında kullanılan venturilerin çap, boğaz bölgesi çapı, boğaz bölgesi uzunluğu ve delik durumlarına ait ölçüleri verilmiştir.

3.1. Deney düzeneği

3.1.1. Experimental setup

Bu çalışmada 1.5 m uzunluğunda, 0.8 m genişliğinde ve 1 m yüksekliğinde, bir yüzü tamamen camdan imal edilmiş su tankı kullanılmıştır. Tankın altına 70 mm çapında 10 cm uzunluğunda biri giriş (dişli) ve biri çıkış olmak

üzere iki adet çelik boru kaynak ettirilmiştir. Suyun devrini sağlamak için su pompası, debi ayarlarını yapmak için kontrol vanası, sistemden geçen debiyi ölçmek için 0.01 L/s hassasiyete sahip debimetre, enerji kayıplarını azaltmak amacıyla 100 mm’den 70 mm ye bağlantı yapabilecek rakor, oksijen ve sıcaklığı ölçmek için dijital göstergeli oksijenmetre, tank giriş ve çıkışından pompa bağlantısı yapmak için 10 m uzunluğunda 100 mm çapında ve 2 metre uzunluğunda 70 mm çapında plastik borular kullanılmıştır. Şekil 5’de deney setinin şematik gösterimi verilmiştir.



Şekil 5. Deney setinin şematik gösterimi (Turgut, 2019)

Figure 5. Schematic view of experimental setup (Turgut, 2019)

3.2. Deneilerin yapılışı

3.2. Experimental studies

Geridevirlilik olarak gerçekleştirilen deneyler İnönü Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Hidrolik Laboratuvarında yapılmıştır. 70 mm çapındaki plastik borunun bir ucu pompa girişine diğer ucu ise su tankının çıkış kısmına bağlanmıştır. Dişli bir yapıya sahip rakorun ucuna farklı ebatlara sahip venturiler sırasıyla bağlanarak su tankının giriş kısmı ile bağlantısı yapılmıştır. Tankın içerisine su yüksekliği 0.83 m olacak şekilde (tanktaki su hacminin 1 m³ olması için) musluk suyu eklenmiştir. Daha sonra hacmi belli olan suyun içerisine oksijen miktarını azaltmak için Na₂SO₃ ile CoCl₂ ilave edilmiştir. Su belli bir süre karıştırılıp oksijenmetre yardımıyla oksijen miktarı ve sıcaklık ölçülüp not edilmiştir.

Sistem hazır hale gelince pompa çalıştırılarak debi 3 L/s olarak ayarlanmış ve sadece 1. delik, sadece 2. delik ve sadece 3. delik açık iken sisteme giren oksijen miktarı ölçülmüştür. Daha sonra sırasıyla 1. ve 2., 1. ve 3., 2. ve 3., ve 1., 2. ve 3. delikleri açıktan oksijen konsantrasyon değerlerindeki değişimler gözlemlenmiştir. Sudaki çözünmüş oksijen konsantrasyonu ideal seviyelere gelene kadar her 5 dakikada bir oksijenmetre göstergesindeki değerler okunup not edilmiştir. 3 L/s debi için bütün deliklere ait okumalar yapıldıktan sonra debi önce 4 L/s'ye ve daha sonra 5 L/s'ye çıkartılarak okumalar yapılmıştır. Bir venturiye ait tüm okumalar tamamlandıktan sonra

tankta bulunan su boşaltılmış ve kullanılan venturi çıkartılarak yerine yenisi takılmıştır. Böylelikle farklı çap, farklı daralma bölgesi, farklı daralma bölgesi uzunluğu ve farklı delik mesafeleri olan 12 adet venturi için 3, 4 ve 5 L/s debilerinde toplam 252 adet deney yapılmıştır.

$$(K_{La})_{20} = (K_{La})_T (1.024)^{(20-T)} \quad (5)$$

Burada; T: sıcaklık (°C),

(K_{La})₂₀: 20 °C ve 1 atmosferdeki kütle transfer katsayısı (l/saat),

(K_{La})_T: T °C deki kütle transfer katsayısını (l/saat) göstermektedir.

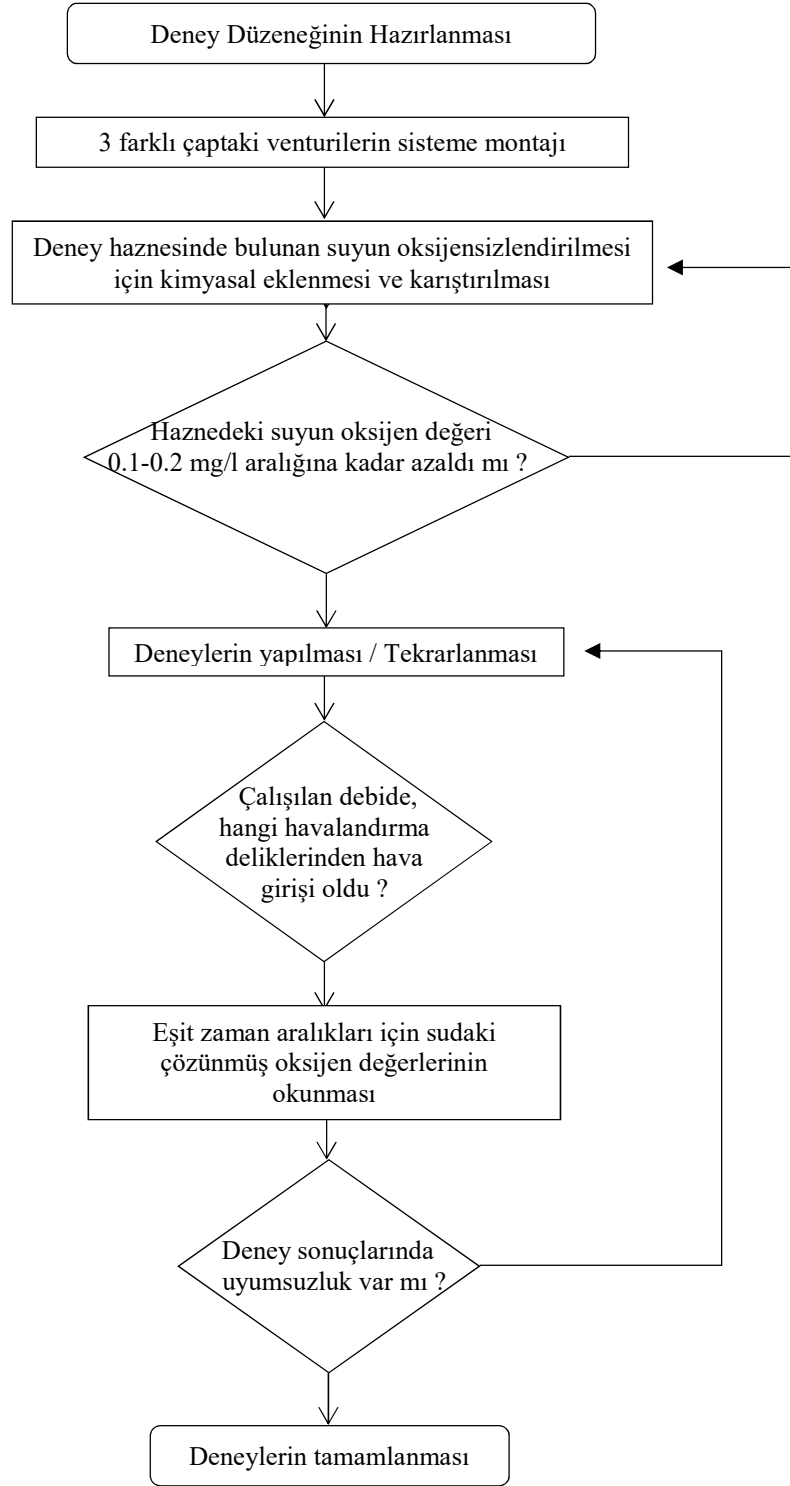
Deneilerden elde edilen veriler kullanılarak (5) nolu denklem yardımıyla (K_{La})₂₀ değerleri hesaplanmış ve oksijen transfer verimleri (O_R) (6) nolu denklem yardımıyla 20 °C'de normalize edilmiştir.

$$O_R = (K_{La})_{20} \times C_s^* \times V \times 10^{-3} \quad (6)$$

denklemleri ile ifade edilir.

Burada; O_R: oksijen transfer oranı (kg O₂ / saat),

C_s^{*}: 20 °C ve 1 atm basınç altındaki çözünmüş oksijen doygunluk konsantrasyonu (mg/L), V: havalandırılan suyun hacmi ve 10⁻³ gramdan kilograma çevirme faktörüdür. Şekil 6'da deneyler yapılırken takip edilen işlem sıralaması verilmiştir.



Şekil 6. Deneyler için akış şeması (Turgut, 2019)
Figure 6. Flow chart for experiments (Turgut, 2019)

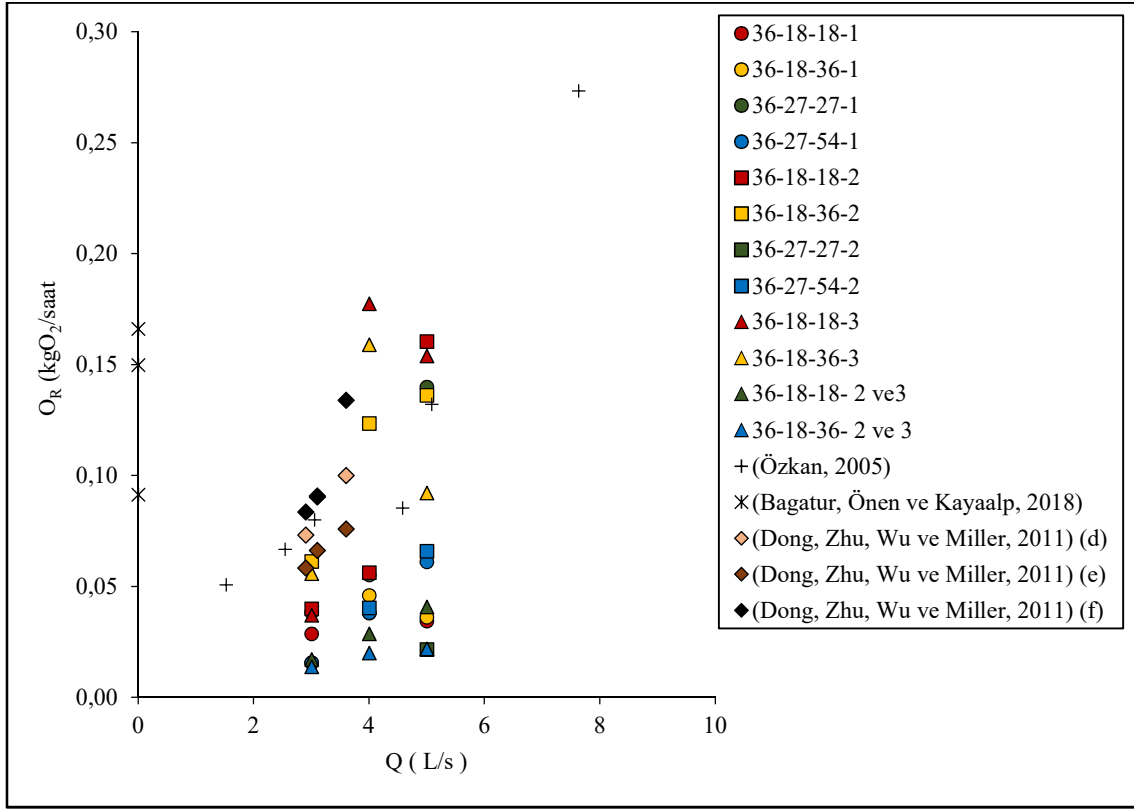
4. Bulgular 4. Results

Şekil 7’de 36 mm çaplı venturilerin tüm havalandırma delikleri için elde edilen oksijenlendirme oranları görülmektedir. Ters basınç yüzünden çalışmayan deneylerde çözülmüş oksijen konsantrasyon değerleri okunamamış ve bu

yüzden bu çalışmalar için O_R değerleri hesaplanamamıştır. O_R değeri hesaplanan deneylerde oksijenlendirme verimleri, debi değerlerinin artışına bağlı olarak değişim göstermiştir. En yüksek oksijenlendirme oranları 36-18-18-3 nolu deney için en düşük oksijenlendirme oranları ise 36-18-36- 2 ve 3 no’lu deney için elde edilmiştir. Tek delik açıkken

yapılan deneyler için bulunan O_R değerlerinin 2 delik aynı anda açıkken bulunan O_R değerlerinden

daha yüksek olduğu görülmüştür.



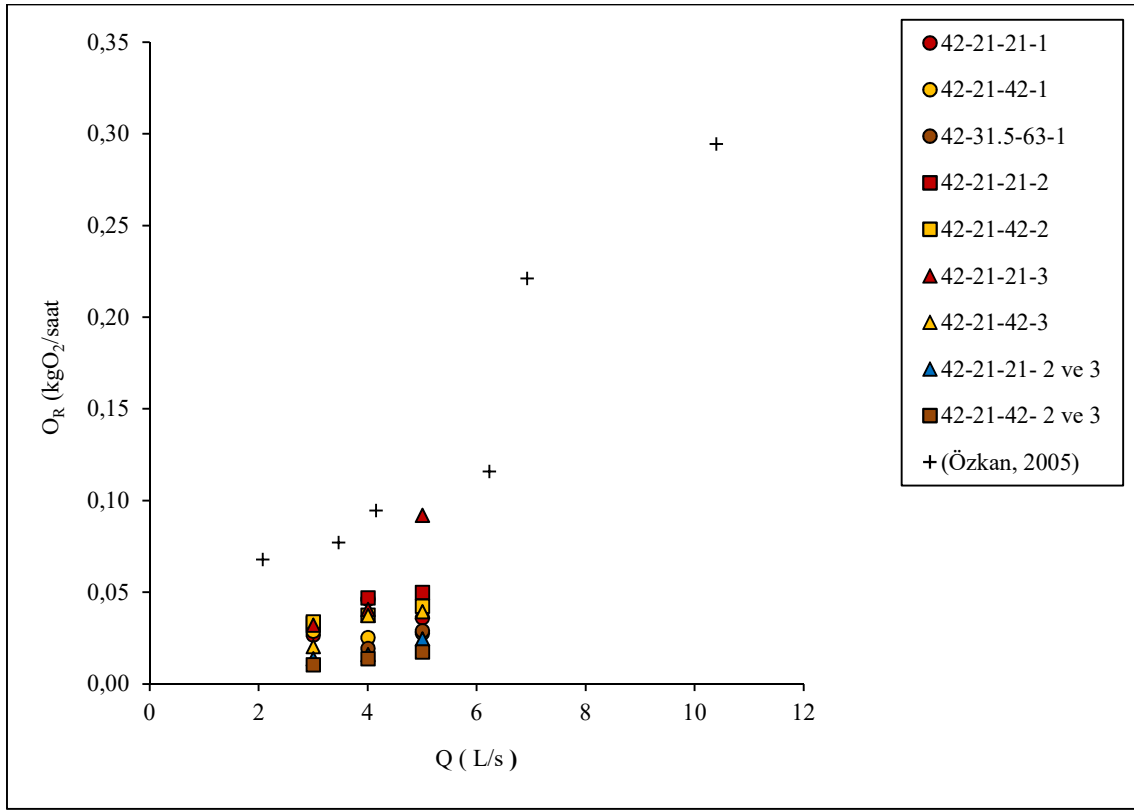
Şekil 7. 36 mm çaplı venturilerde tüm delikler için O_R değerlerinin debiye göre değişimi (Turgut, 2019)
Figure 7. Variation of O_R values according to discharge for all holes in 36 mm diameter venturi (Turgut, 2019)

Ayrıca Şekil 7’de (Özkan, 2005), (Bagatur, Önen ve Kayaalp, 2018) ve (Dong, Zhu, Wu ve Miller, 2011)’un deneysel çalışmalarına ait O_R değerleri de görülmektedir. (Özkan, 2005)’de 0.75 m^3 su hacmi için deneyler yapılmıştır. Ancak Şekil 7’e bu değerler 1 m^3 su hacmi için normalize edilerek kullanılmıştır. (Bagatur, Önen ve Kayaalp, 2018)’de $3/4$ inç çapa sahip venturiler için bulunan O_R değerleri kullanılmıştır. (Dong, Zhu, Wu ve Miller, 2011)’de ise 38 mm çapa sahip venturilerin 3 farklı paralel yöntemle bağlanması ile meydana gelen “modül d, modül e ve modül f” için elde edilen O_R değerleri gösterilmiştir. Bu bağlamda en iyi performans (Bagatur, Önen ve Kayaalp, 2018) tarafından yapılan çalışmada elde edilmiştir. (Özkan, 2005) ve (Dong, Zhu, Wu ve Miller, 2011) bulunan sonuçlar ise ortalama değer aralığında çıkmıştır. Bu çalışmaya ait sonuçlar ile literatürde verilmiş olan sonuçlar arasında uyum olduğu görülmektedir.

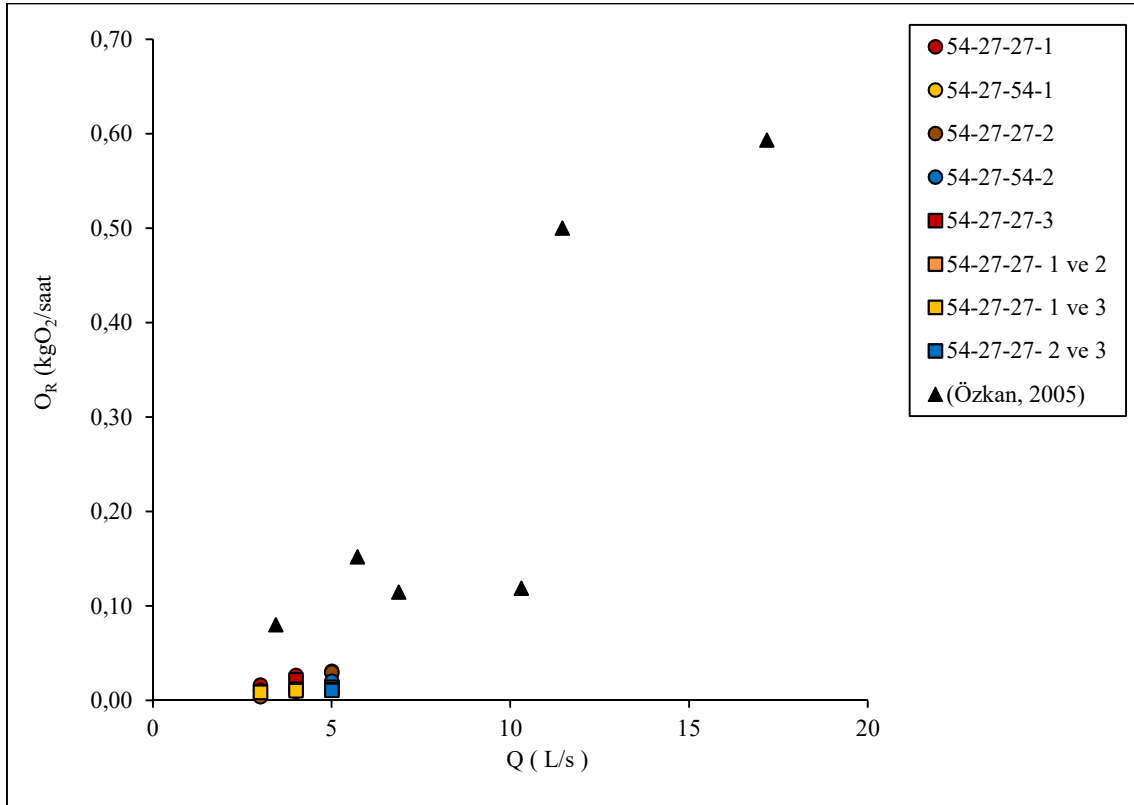
Şekil 8’de 42 mm çaplı venturilerin tüm havalandırma delikleri için elde edilen oksijenlendirme oranları görülmektedir. Deneyler

esnasında çözülmüş oksijen konsantrasyon değerleri okunamayan tüm çalışmalar için O_R değerleri hesaplanamamıştır. O_R değeri hesaplanan deneylerde oksijenlendirme verimleri, debi değerlerinin artışına bağlı olarak değişim göstermiştir. En yüksek oksijenlendirme oranları 42-21-21-2 nolu deney için en düşük oksijenlendirme oranları ise 42-21-42- 2 ve 3 nolu deney için elde edilmiştir. Tek delik açıkken yapılan deneyler için bulunan O_R değerlerinin 2 delik aynı anda açıkken bulunan O_R değerlerinden daha yüksek olduğu görülmüştür.

Ayrıca Şekil 8’de (Özkan, 2005)’nin 0.75 m^3 hacmindeki su ile yapmış olduğu deneysel çalışmaya ait O_R değerlerinin debiye bağlı değişimi görülmektedir. Ancak kullanılan O_R değerleri 1 m^3 hacimli su için normalize edilerek grafikte gösterilmiştir. Bu tez çalışmasında da O_R değerleri debi artışına bağlı olarak yükselmiştir. (Özkan, 2005)’nin çalışmasından elde edilen değerlerin 42 mm çaplı venturiler içinde en iyi performansla sahip olduğu görülmektedir.



Şekil 8. 42 mm çaplı venturilerde tüm delikler için O_R değerlerinin debiye göre değişimi (Turgut, 2019)
Figure 8. Variation of O_R values according to discharge for all holes in 42 mm diameter venturi (Turgut, 2019)



Şekil 9. 54 mm çaplı venturilerde tüm delikler için O_R değerlerinin debiye göre değişimi (Turgut, 2019)
Figure 9. Variation of O_R values according to discharge for all holes in 54 mm diameter venturi (Turgut, 2019)

Şekil 9'da 54 mm çaplı venturilerin tüm havalandırma delikleri için elde edilen oksijenlendirme oranları görülmektedir. O_R değeri hesaplanan deneylerde oksijenlendirme verimleri, debi değerlerinin artışına bağlı olarak değişim göstermiştir. En yüksek oksijenlendirme oranları 54-27-27-1 nolu deney için en düşük oksijenlendirme oranları ise 42-21-42- 1, 2 ve 3 nolu deney için elde edilmiştir. Tek delik açıkken yapılan deneyler için bulunan O_R değerlerinin 2 ve daha fazla delik aynı anda açıkken bulunan O_R değerlerinden daha yüksek olduğu görülmüştür. Ayrıca Şekil 9'da (Özkan, 2005)'nin çalışmasından elde edilen değerlerin 54 mm çaplı venturiler içinde en iyi performansa sahip olduğu görülmektedir.

5. Sonuçlar

5. Conclusions

Bu çalışmada farklı çap, farklı boğaz çapı ve farklı boğaz bölgesi uzunluğuna sahip venturi tasarımları üzerinde karşılıklı 6 mm çaplı havalandırma delikler açılıp çözülmüş oksijen konsantrasyon değerleri incelenmiştir. Toplamda 252 adet deneysel çalışma yapılmış ve sonuçları aşağıda sunulmuştur.

Yapılan çalışmalarda en iyi sonuçların sırasıyla 36 mm, 42 mm ve 54 mm çapa sahip venturilerde olduğu görülmüştür. Yani çapın büyümesiyle verimlilik azalmıştır.

36 mm çapa sahip venturilerde boğaz bölgesi uzunluğunun $l_1=2xD_t$ olduğu durumlarda yüksek oksijen transfer değerleri elde edilmiştir.

42 mm ve 54 mm çapa sahip venturilerde boğaz bölgesi uzunluğunun $L_1=D_t$ olduğu durumlarda yüksek oksijen transfer değerleri elde edilmiştir.

Debi değerlerinin artışına bağlı olarak tüm venturilerde çözülmüş oksijen konsantrasyon değerlerinin arttığı görülmüştür.

36 mm ve 42 mm çaplı venturi tasarımlarında en yüksek oksijen konsantrasyon değerleri 2. delik

açıkken, 54 mm çaplı venturilerde ise 1. delik açıkken sağlandığı görülmüştür.

Sadece 1 adet delik açık iken yapılan tüm deneysel çalışmalarda en az oksijen transferinin 3. delikler için olduğu görülmüştür.

2 ve daha fazla delik açıkken yapılan deneylerde (36-18-18- 2 ve 3), (36-18-36- 2 ve 3), (42-21-21- 2 ve 3), (42-21-42- 2 ve 3), (54-27-27- 1 ve 2), (54-27-27- 1 ve 3), (54-27-27- 2 ve 3) ve (54-27-27- 1, 2 ve 3) yeterli seviyede negatif basınç oluşmuş ve venturiler suya oksijen kazandırmıştır. Diğer çalışmalarda ise sistem içerisine önemli miktarda hava girişi olmamıştır. Önemli miktarda hava girişi olmayan venturilerde akımın boğaz bölgesinde yeterince hızlanmadığı ve birden fazla sayıdaki havalandırma deliklerinin hava emme kapasitesini azalttığı düşünülmektedir.

36, 42 ve 54 mm çapa sahip venturilerde tek delik açıkken yapılan deneylerden elde edilen $\text{ÇOK}-O_R$ değerlerinin genel olarak 2 ve daha fazla delik açıkken yapılan deneylerden elde edilen ÇOK değerlerinden daha yüksek olduğu görülmüştür.

3 delik aynı anda sadece 54-27-27- 1, 2 ve 3 nolu deneyde çalışmıştır. Bu deney için elde edilen ÇOK ve O_R değerleri yapılan diğer bütün deneylere nazaran düşük olmuştur. Bu durum delik sayısının artmasıyla sistem içine sürüklenen oksijen miktarının azaldığını göstermiştir.

Yapılan bu deneysel çalışma ile sulardaki çözülmüş oksijen miktarını arttırarak canlı yaşamının daha kaliteli bir hale getirilmesini sağlayacak farklı hidrolik tasarımların yapılabileceği görülmüştür.

Teşekkür

Acknowledgement

Bu çalışmayı, İnönü Üniversitesi BAP birimi FYL-2018-1213 kod numaralı proje ile desteklemiştir.

Simgeler ve kısaltmalar

Symbols and abbreviations

ÇOK	: Çözülmüş oksijen konsantrasyonu
dm/dt	: Kütle transfer hızı (mg/s)
K_g	: Kütle transfer katsayısı
A	: Kütle transferi için kesit alanı (m^2)
C_s	: Sudaki çözülmüş oksijenin doyumluk konsantrasyonu (mg/L)
C	: Sudaki çözülmüş oksijen konsantrasyonu (mg/L)

t	:Kütle transferinin meydana gelme süresi (s)
dc/dt	:Konsantrasyon değişim hızı (mg/L.s)
A/V	:Özgül ara kesit yüzeyi
V	:Havalandırılan suyun hacmi
a	:Su kalite parametresi (kaba olarak kirletilmiş sularda 0.65 ve temiz sularda 1.8)
K_{La}	:Kütle transfer katsayısı
θ_1	:Venturi giriş koni açısı
θ_2	:Venturi çıkış koni açısı
l_1	:Venturi boğaz bölgesi uzunluğu (mm)
D	:Venturi giriş çapı (mm)
D_1	:Venturi boğaz bölgesi çapı (mm)
$(K_{La})_{20}$:20 °C ve 1 atmosferdeki (standart şartlar) madde transfer katsayısı (1/saat)
$(K_{La})_T$:T °C deki madde transfer katsayısı (1/saat)
T	:Su sıcaklığı (°C)
O_R	:Standart şartlardaki oksijen transfer oranı (kg O ₂ / saat)
C_s^*	:Standart şartlardaki çözünmüş oksijen doygunluk
α	:Bir katsayı (hidrolik yapılarıdaki oksijen transferi için $\alpha = 1.0241$)

Yazar katkısı

Author contribution

Yazarlardan Sinan Turgut, deneysel çalışmaları yürütmüş ve makale yazımını gerçekleştirmiştir. Ö. Faruk Dursun deneylerin yönetilmesi ve makalenin hazırlanması aşamasında görev almıştır. Mahmut Aydoğdu ise deneysel çalışmalarda katkı sağlamıştır.

Etik beyanı

Declaration of ethical code

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

Bu çalışmada kullanılan materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel izin gerektirmediğini beyan ederiz.

Çıkar çatışması beyanı

Conflicts of interest

Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Kaynaklar

References

Bagatur T., Önen F., & Kayaalp N. (2018). Testing of system performance for different aerator configuration using venturi. *El-Cezeri Journal of Science and Engineering*, 5, 724-733. <https://doi.org/10.31202/ecjse.402032>

Baylar A., & Emiroglu M.E. (2002). The effect of sharp-crested weir shape on airentrainment. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 29(3), 375-383. <https://doi.org/10.1139/102-017>

Baylar, A. (2002). *Savak havalandırıcılarda tip seçiminin oksijen transferinde etkisinin incelenmesi*. Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Baylar, A. (2003). An investigation on the use of venturi weirs as an aerator. *Water Quality Research Journal of Canada*, 38(4), 753-767. <https://doi.org/10.2166/wqrj.2003.047>

Baylar, A., Bagatur, T., & Emiroğlu, M.E. (2007). Prediction of oxygen content of nappe, transition and skimming flow regimes in stepped-channel chutes. *Journal Of Environmental Engineering and Science*, 6(2), 201-208. <https://doi.org/10.1139/s06-048>

Baylar, A., Emiroglu, M. E., & Bagatur, T. (2006). An experimental investigation of aeration performance in stepped spillways. *Water and Environment Journal*, 20, 35-42. <https://doi.org/10.1111/j.1747-6593.2005.00009.x>

Burgan, H.İ. (2020). Venturimetre Deneyinde gerçek ve teorik debi ilişkisi için debi düzeltme katsayısının belirlenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 18, 91-98. <https://doi.org/10.31590/ejosat.669941>

C. Dong, J. Zhu, X. Wu., & C. F. Miller. (2011). Aeration efficiency influenced by venturi aerator arrangement, liquid flow rate and depth of diffusing pipes. *School of Environmental Science and Engineering*, 33, 1289-1298. <https://doi.org/10.1080/09593330.2011.620986>

Chanson, H., & Toombes, L. (2001). Experimental investigations of air entrainment in transition and

- skimming flows down a stepped chute application to embankment overflow stepped spillways. *Research Report No. CE 158, Department of Civil Engineering, The University of Queensland, Australia.* <https://doi.org/10.1139/101-084>
- Emiroglu, M.E., & Baylar, A. (2003). The effect of broad-crested weir shape on air entrainment. *Journal of Hydraulic Research, 41(6)*, 649–655. <https://doi.org/10.1080/00221680309506897>
- Ervine, D.A. (1998) Air entrainment in hydraulic structures: a review. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers -Water, Maritime and Energy, 130*, 142–153. <https://doi.org/10.1680/iwtme.1998.30973>
- Gulliver, J.S., Thene, J.R., & Rindels, A.J. (1990). Indexing gas transfer in self-aerated flows. *Journal of Environmental Engineering ASCE, 116* (3), 503–523. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9372\(1990\)116:3\(503\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9372(1990)116:3(503))
- Gulliver, J.S., Wilhelms, S.C., & Parkhill, K.L. (1998). Predictive capabilities in oxygen transfer at hydraulics structures. *Journal of Hydraulic Engineering ASCE, 124* (7), 664–671. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9429\(1998\)124:7\(664\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9429(1998)124:7(664))
- Lewis, W. K., & Whitman, W.G. (1924). Principles of gas absorption. *Proc. 68th Meeting of the American Chemical Society, September. 8-13*, (pp. 1215-1220). Ithaca. <https://doi.org/10.1021/ie50180a002>
- McGhee, T.J. (1991). Water supply and sewerage. 6th edn McGraw-Hill International Editions, New York.
- Özkan, F. (2005). *Basınçlı su borularında hava iletimi ve oksijen transferinin incelenmesi*. Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Turgut, S. (2019). *Boğaz bölgesinde farklı delik sayılarına sahip venturi aygıtının havalandırma performansının incelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

A numerical investigation of velocity and temperature distribution on a heat sink with hexagonal fins facing at different angles in a rectangular duct

Dikdörtgen kesitli bir kanal içerisinde farklı açılara sahip altıgen kanatçıklı yüzeylerde hız ve sıcaklık dağılımının nümerik olarak incelenmesi

İlhan Volkan ÖNER*^{1,a}

¹Ataturk University, Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering, 25240, Erzurum

• Geliş tarihi / Received: 15.07.2021

• Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 23.10.2021

• Kabul tarihi / Accepted: 09.11.2021

Abstract

The cooling of hot surfaces through drawing heat by means of fins attached to the surface is widely used technique in many systems. The fins increase the heat transfer surface area, thereby improving the heat transfer. In this study, the velocity and temperature distributions of the working fluid, air, flowing at constant temperature and constant Reynolds numbers over the hexagonal fins, placed in a rectangular duct, having the same surface area and same arrangement but facing at different angles to the flow plane; 0°, 15° and 30°, were analyzed numerically. Computational fluid dynamics (CFD) analysis was carried out with Ansys Fluent. The results were obtained for pressure drop, temperature and velocity distributions at all angles (0°, 15° and 30°). As a result of the analyses performed, 15° facing angle was concluded to be the best by the virtue of the fact that the heat transfer coefficient was improved by the renewal of the boundary layer and by the turbulence occurred between the fins.

Keywords: Ansys-Fluent, CFD, Fin facing angle, Heat transfer

Öz

Isınan yüzeylere kanatçık ilavesi ile ısı çekilerek yüzeyin soğutulması işlemi birçok sistem için yaygın olarak kullanılmaktadır. Kanatçıklar ısı transfer yüzey alanlarını arttırarak ısı transferinin iyileşmesini sağlamaktadırlar. Bu çalışmada, dikdörtgen bir kanal içine aynı yüzey alanına sahip, aynı dizilimde 0°, 15° ve 30° farklı açılarla yerleştirilen altıgen şeklindeki kanatçıkların üzerinden sabit sıcaklık ve sabit Reynolds sayılarında akan iş akışkanı havanın hız ve sıcaklık dağılımları Ansys Fluent paket programı kullanılarak nümerik olarak analiz edilmiştir. Yapılan analizler 15° dizileme sahip kanatçıklarda, sınır tabakanın yenilenmesinden ve kanatçıklar arasında oluşan türbülans dolayısı ısı transfer katsayısının iyileştiği sonucuna varılmıştır. Hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD) analizi, Ansys Fluent paket program ile gerçekleştirilmiştir. Çalışmadan elde edilen sonuçlarda tüm kanatçık açılarında (0°, 15° ve 30°) basınç düşümü, sıcaklık ve hız dağılımları gösterilmiştir.

Anahtar kelimeler: Ansys-Fluent, CFD, Kanatçık dizilim açısı, Isı transferi

*a İlhan Volkan ÖNER; ivoner@atauni.edu.tr, Tel: (0442) 231 46 23, orcid.org/0000-0003-3065-0189

1. Introduction

1. Giriş

In studies to improve heat transfer in heat exchangers; it is desirable to reduce weight and size, while increasing the amount of heat transferred, and decreasing the average temperature difference between fluids, and thus improve overall efficiency. Improving heat transfer usually includes techniques such as increasing the surface area, making changes on the surface or creating turbulence in the flow (Sundén, 1999).

Heat transfer is of great importance in the design of various engineering systems such as heat exchangers, boilers, nuclear reactors, solar collectors, heaters, coolers, internal combustion engines, thermal turbo engines, gas turbines, combustion chambers, electrical machines, transformers, etc. In such systems, the main concern is to maximize the heat transfer per unit time and to protect the structural integrity and strength of materials exposed to high temperatures. In parallel to the studies conducted to overcome or alleviate such concerns, the need for heat exchangers with reduced sizes is also increasing day by day (Kotcioglu and Bolukbasi, 2003).

One modern solution, being widely applied, to overcome cooling problems is to increase the heat transfer surface area by means of fins. Fins increase the convective heat and mass transfer by not only by increasing the surface area but also by increasing the turbulence of the flow. Finned surfaces have a wide range of applications, including but not limited to cooling of turbine blades in gas turbine engines, cooling of electronic devices, or in various heat exchangers in aircrafts or chemical production facilities. However, improper use of fins can reduce heat transfer rather than increase it. For this reason, the fin material, type, placement arrangement, form of surface-mounting and ambient conditions should all be considered and evaluated in a way to increase heat transfer. In the heat exchangers, the decrease in the amount of heat transferred causes the performance of the heat exchanger to decrease and hence a capacity loss in the system it is being used. Improved heat transfer, enables the system size to be kept at optimum and thus allows reduced system cost and operating costs. Many theoretical and experimental studies conducted aiming to analyze heat transfer and flow structures in plate heat exchangers are available in the literature.

Various heat exchanger models have been developed. In order to develop such optimized

designs, it is necessary to determine the heat transfer coefficient and flow properties of the surface geometry as well as the pressure loss coefficient. Another method to improve heat transfer is to renew the boundary layer, which has been reported in previous studies (Briggs and London, 1960; Kays and London, 1954). On natural convection, analytical and experimental studies have been carried out between parallel plates (Briggs and London, 1960; Kays and London, 1954; Kotcioglu and Bolukbasi, 2003; Masao et al., 1988; Maughan and Incropera, 1991). In industrial applications, expanded surfaces and heat exchanger applications have become increasingly important. heat transfer experiments at low Reynolds numbers via forced convection have been performed in such applications (Masao et al., 1988).

Tauscher and Mayinger (1999) investigated experimentally and numerically, the increase in the heat transfer in tablet-type heat exchangers for laminar and low turbulent flow rates induced by using fins in different arrangements (Tauscher and Mayinger, 1999). Using a CFD model, Lee and Abdel-Moneim (2001) investigated the heat transfer and flow behavior on the horizontal surface with two-dimensional flat bars (Lee and Abdel-Moneim, 2001). Acharya et al. (1993) investigated experimentally and numerically the flow and heat transfer in a channel with pins fins for a periodically developing flow field (Acharya et al., 1993). Buyruk and Karabulut (2017) conducted a numerical three dimensional investigation of the effect of fin geometry on heat transfer in plate fin heat exchangers (Buyruk and Karabulut, 2017). Karabulut et al. (2013) in another study, numerically investigated the effects of two different fin types (zigzag and outer zigzag-straight-outer zigzag) on heat transfer with the combined (convection and conduction) heat transfer approach to increase heat transfer in finned plate heat exchangers (Karabulut et al., 2013).

In another study, the heat transfer in interconnected finned elements was shown to be greater than it is in detached elements and results from similar studies were presented. (Masao et al., 1988; Russell and Lee, 2005). These types of flow geometries are widely used in industrial applications and computer technology. Studies have shown that expanded surfaces are an effective method of increasing heat transfer. As a result of similar studies, by Mendes and Sparrow (1984), Garg and Maji (1988) and Kotcioglu and Ayhan (1998), it was concluded that such applications increase heat transfer. (Garg and

Maji, 1988; Kotçioğlu et al., 1998; Souza Mendes and Sparrow, 1984).

Wang et al. (2009) analyzed flow and heat transfer characteristics for flat and serrated finned plate heat exchangers. Numerical simulations for two-fin heat exchangers at low Reynolds numbers were performed using CFD code, FLUENT (Wang et al., 2009). Wen et al (2016; 2018) carried out optimization of a serrated fin plate heat exchanger using Kriging the surface method (Wen et al., 2018; Wen et al., 2016).

Mesler (1993), in this study, in the spray cooling of a heated surface, a new method for determining and designating the surface texture was proposed, and the effects of surface roughness on evaporation/nucleation in the spray cooling flow field were studied. Moreover, A one-dimensional Fourier analysis had applied to determine experimentally the surface profile of a surface polished with emery paper covering a spectrum of grit sizes between 0.3 micron to 22 microns (Mesler, 1993).

Hung et al. (2019), examined the effects of different size and arrangement of pin fins on heat transfer in a rotating rectangular duct. The results revealed awakening flow which contributes to flow acceleration, separation, and heat transfer contours. The larger the pins become higher local flow rates and higher heat transfer between the fins occurred. The rotational effect of the channel improved heat transfer on both the front and back surfaces. When larger sized pins were added to the fin array, the friction factor ratio increased (Hung et al., 2019).

Soleymani et al., (2020), conducted in their study a numerical analysis of pin fins for the hot zone in a microchannel heat sink. The numerical results showed that increasing the wall wave amplitude increases the heat transfer rate (Soleymani et al., 2020).

Ahmadian-Elmi et al. (2021), in their study, performed a comprehensive optimization of pin-fin heat sinks in five stages to find the best hydrothermal performance according to the figure of merit criterion. Features such as number of blades, blade height, blade diameter and transverse pitch were chosen as geometric parameters. In addition, a new pin-fin was designed (conical pin-fins) and its geometric parameter (conical ratio) was optimized (Ahmadian-Elmi et al., 2021).

Adhikari et al. (2020) presented an analysis of heat transfer properties in natural convection and flow

patterns of optimum rectangular fin configurations for fin design optimization. They also performed three-dimensional, steady-state laminar heat transfer simulations to analyze the optimum fins of rectangular fins that were experimentally tested in the literature (Adhikari et al., 2020).

When the above studies are examined, it can clearly be seen that all focus on the effects of the geometry and the structure of fins on heat transfer in heat exchangers, either experimentally and/or numerically. In these studies, limited changes were taken into consideration and the effects of those changes on thermal performance were investigated. In this study also, geometric parameters are discussed in order to examine the effect fins, having the same surface area and shape, on thermal performance. The limitations caused by the change in the arrangement of fins between each other were determined and the effects thereof on the thermal performance and hydrodynamic behavior were examined. In a heat exchanger model having hexagonal fins placed at different facing angles, under turbulent flow and certain boundary conditions, the effects of facing angle on heat transfer, pressure drop and flow velocity were investigated using the Finite Volume Method and ANSYS Fluent software. According to the heat transfer values calculated based on the exit air temperature and convection coefficient found determined in the analysis, the best facing angle is proposed.

2. Material and method

2. Materyal ve metot

2.1. Numerical method

2.1. Nümerik Metot

Numerical solution has been carried out as three-dimensional, time-independent, and with combined (conduction and convection) heat transfer approach. Finite volume method, in FLUENT, was used to solve the combined heat transfer analysis.

The finite volume method is based on the principle of dividing the geometry to be analyzed into portions, obtaining a solution for each of which, and then acquiring the general solution of the problem by combining these partial solutions. In the finite volume method, a control volume-based technique is used to transform the conservation equations into numerically solvable algebraic equation systems. This technique involves integrating the conservation equations for each control volume, resulting in discrete equations that

provides the control volume for the variables. With the iterative solution of systems of linear equations, obtained by linearization of discrete equations, variables such as velocity, pressure and temperature are updated until they prove the given convergence measure. In order to provide the most suitable mesh structure, a higher mesh density should be created in regions with greater changes in velocity, pressure or temperature. For this reason, the duct surfaces with the fins are the parts with the highest mesh density, and a lighter mesh structure is preferable in other regions.

As the fins used in the flow region cause turbulence, realizable k-ε turbulence model was determined to be appropriate in numerical models for finned geometries. Therefore, Realizable k-ε

Energy conservation equation:

$$u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} + w \frac{\partial T}{\partial z} = \left(\frac{k}{\rho c_p}\right) \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + u \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + u \frac{\partial^2 T}{\partial z^2}\right) \quad (3)$$

The turbulence kinetic energy equation for steady flow is written as follows:

$$\frac{\partial(\rho uk)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho vk)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho wk)}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\mu_t}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\mu_t}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial y}\right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\mu_t}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial z}\right) + \mu_t \varphi - \rho \varepsilon \quad (4)$$

and the turbulent viscosity is given in equation 5:

$$\mu_t = C_\mu \cdot \rho \cdot \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (5)$$

In the turbulence kinetic energy equation, k is:

$$k = \frac{1}{2} (\overline{u^2} + \overline{v^2} + \overline{w^2}) \quad (6)$$

The viscous dissipation term is also given as in equation 7 below:

$$\varphi = 2\mu \left[\left(\frac{\partial u}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial y}\right)^2 \right] + \mu \left(\frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y}\right)^2 \quad (7)$$

Since the thermal conductivity of the fin material affects the thermal distribution along the channel, the selection of the fin material is an important factor in increasing the heat transfer. Therefore, aluminum, which has high thermal conductivity, is cheap and light, has been chosen as the fin material. The thermal resistance between the fins and channel surface was neglected assuming that the fins were produced as a one piece with channel.

2.2. Geometry

2.2. Geometri

In this study, the heat transfer in a rectangular duct with twenty-five hexagonal fins in the case of an air flow at 19 °C was numerically investigated.

turbulence model was used in the calculations in this study.

The analyses of flow and heat transfer across the whole geometry is based on the time independent solution of partial differential equations derived from the laws of conservation of mass (continuity equation), momentum and energy, which can be written as follows, respectively (Mesler, 1993).

Continuity equation:

$$\nabla \cdot (\rho V) = 0 \quad (1)$$

Momentum Equation:

$$\nabla \cdot (\rho VV) = -\nabla P + \nabla \cdot [\mu(\nabla V + \nabla V')] \quad (2)$$

Figure 1 shows the schematic view and dimensions of the model that was used in the analysis. The height, width and length of the rectangular duct is 8 cm, 12 cm and 95 cm, respectively.

In Figure 2 are the three arrangements of the twenty-five identical hexagonal fins placed in the channel at different facing angles. In the computation, the working fluid was selected to be air and was modeled as a Newtonian fluid. Flow was regarded as incompressible and the flow was assumed to be laminar due to the low inlet velocity. Besides, the radiative heat transfer and effect of gravity were neglected in this study. The channel material was chosen as aluminum, and the effects of surface roughness were ignored. It was also assumed that the inlet temperature of the fluid in the channel was assumed to be constant at 19 °C and that the temperature of the bottom plate was constant at 40 °C. By applying constant heat flux to bottom wall, heat transfer took place from the bottom wall to the air passing by. The velocity of air entering the channel was determined as constant at 2 m/s in the numerical study, and its thermo-physical properties for $T_{inlet} = 19 \text{ °C}$ were obtained as given below in Table 1. Here, μ is the dynamic viscosity, ρ is the density, c_p is the specific heat and k is the thermal conductivity.

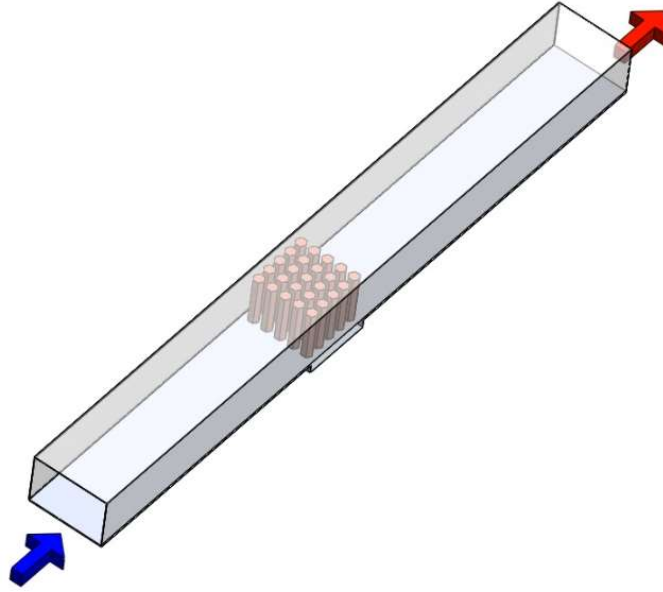


Figure 1. Designed model
Şekil 1. Tasarlanan model

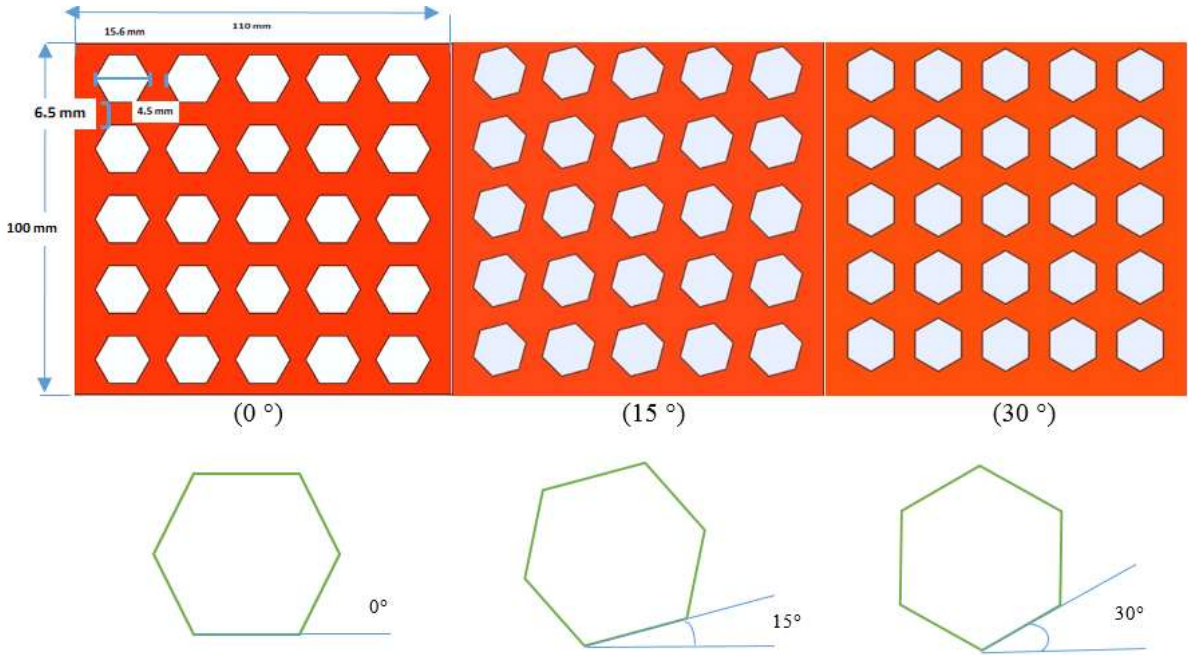


Figure 2. Arrangement of hexagonal fins at different facing angles
Şekil 2. Farklı yüzey açılarında altıgen kanatçıkların yerleştirilmesi

Table 1. Thermo-physical properties for inlet air
($T_{inlet}@19^{\circ}C$)

Tablo 1. Giriş havasının termo-fiziksel özellikleri
($T_{inlet}@19^{\circ}C$)

μ (kg / ms)	1.7894×10^{-5}
k (W/mK)	0.0242
c_p (J/kgK)	1006.44
ρ (kg/m ³)	1.225

2.3. Meshing and mesh validation

2.3. Mesh ve mesh doğrulama

For the computational fluid dynamics (CFD) part of the study, ANSYS Workbench-16 (Fluent) software was used as solver. ANSYS (Fluent) is a package program that can solve problems such as external pressures and forces, constant inertia forces, displacements based on heat transfer. This program is also used for the structural computation part. Various element types are used in static structural analysis. In this study, hybrid mesh

generation was preferred in order for the prism layer in the hybrid network to solve the boundary layer efficiently. In short, in the finite element method, the element to be analyzed is divided into small sub-elements in order to obtain a solution.

Patch Independent Mesh method for Tetrahedrons allows for mesh refinement when necessary, however it can also preserve larger elements that enables faster computation.

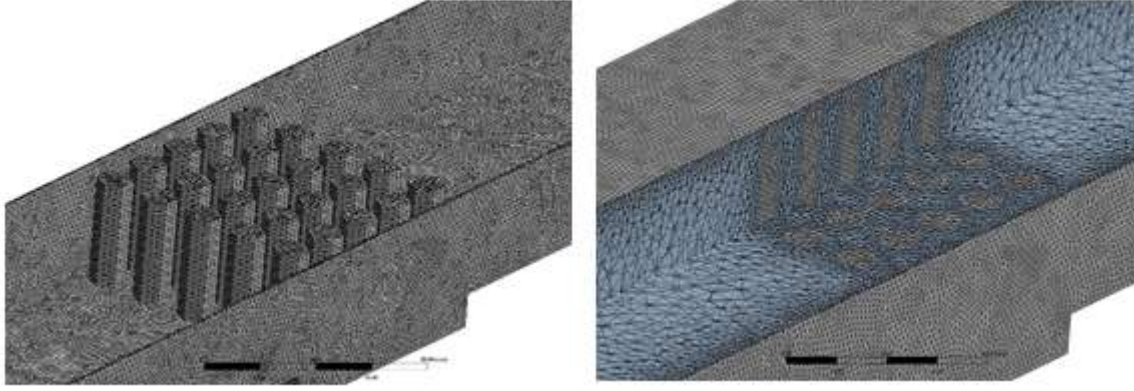


Figure 3. Meshing of model
Şekil 3. Modelin meshlenmesi

In this study, as seen in the images of the mesh model in figure 3, after the mesh was generated using finite elements method and compiled, the function in the interpreted code or shared library

that appeared in the drop-down lists in the dialog boxes was applied on the CFD model.

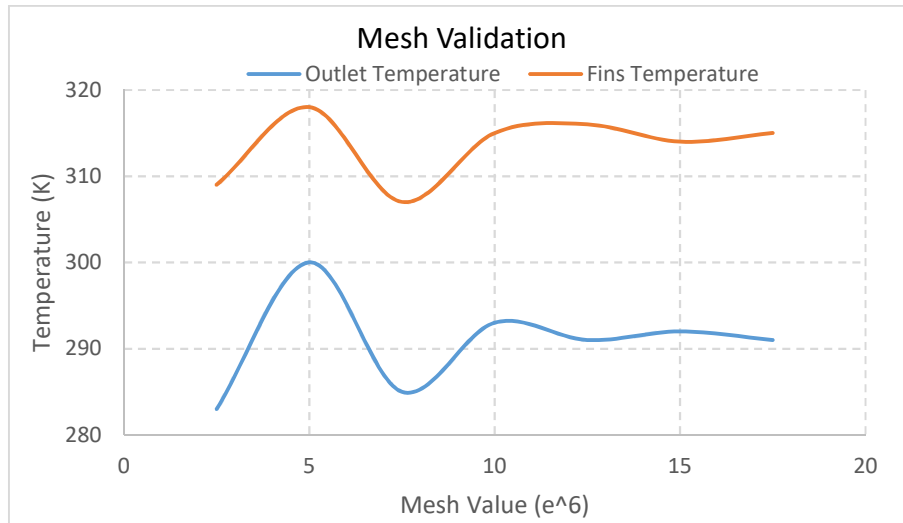


Figure 4. Mesh Validation Diagram according to exit temperature and fin temperature
Şekil 4. Çıkış sıcaklığına ve kanat sıcaklığına göre mesh doğrulama şeması

Figure 4 shows the dispersion of exit and fin temperatures. The best mesh count, i.e. the number of elements, flattens after about 10 million nodes. In this study, the calculations started approximately at 11.268.753 number of elements. The modeling and solution network was created in the ANSYS

Workbench interface while the boundary conditions the solutions of conservation equations were carried out in the Fluent interface. A solution network, in tetrahedral and hexahedral network structure, of the rectangular channel model was created.

3. Results and discussion

3. Sonuçlar ve tartışma

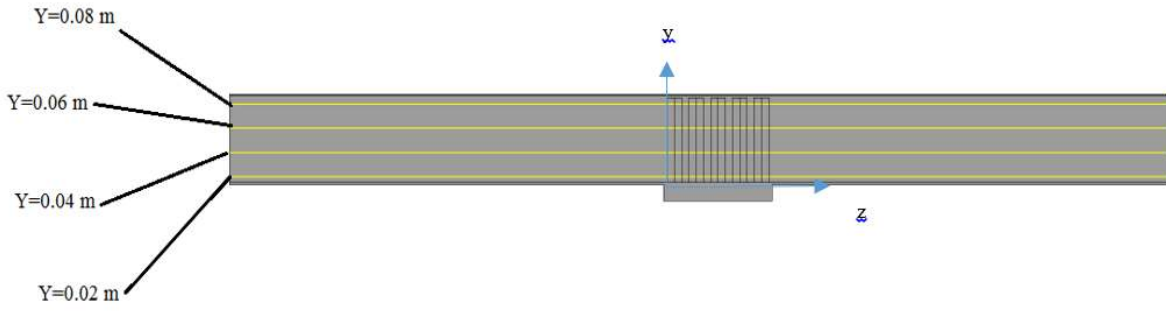


Figure 5. Analysis lines in the middle and along the channel

Şekil 5. Ortada ve kanal boyunca analiz çizgileri

Figure 5 shows the imaginary lines that passes across the control volume and the channel along

which the change of velocity and temperature were analyzed.

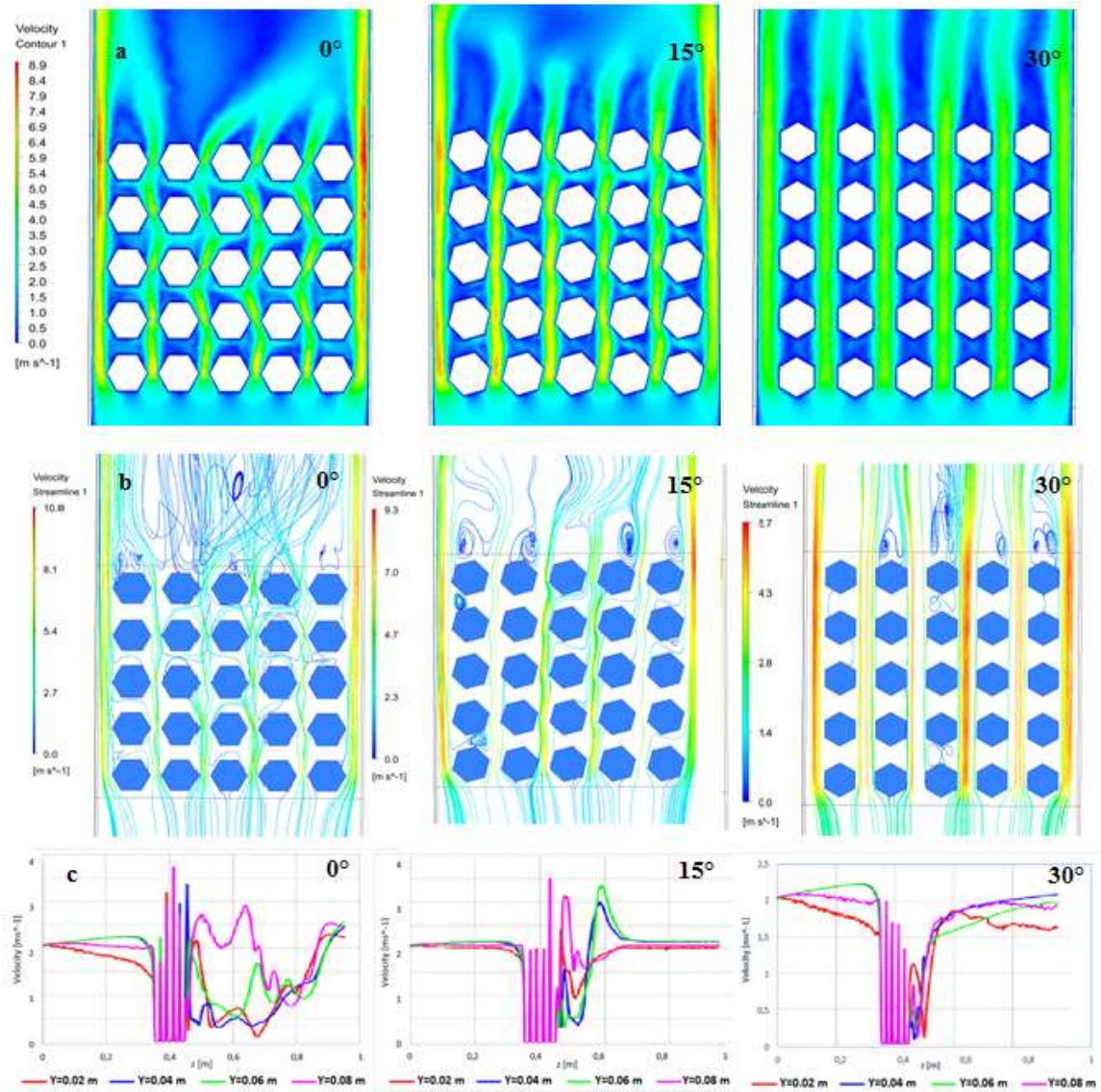


Figure 6. (a) Velocity distribution units (b) Dominant velocity lines (c) Velocity values on different lines in the channel

Şekil 6. (a) Hız dağılım birimleri (b) Baskın hız çizgileri (c) Kanaldaki farklı hatlardaki hız değerleri

Figure 6 (a) shows velocity distributions for hexagonal fins placed at different facing angles. According to these distributions, the air flowing from the bottom towards the top hits the flat surface of the hexagonal fin aligned at 0° to the cross-sectional plane of the channel, thus partially subjected to turbulence and leaves the finned section of the channel by accelerating on the fin and the channel surface. It can be said that at 0° the velocity is partially increased on the inter-fins zone. When the hexagonal fins were rotated by 15° , this angular rotation increased the velocity profile both longitudinally within the fins and along the channel surface. With 30° rotation, the corners of the hexagonal fins became perpendicular to the flow direction, it is seen that the air velocity increased longitudinally between the fins and the turbulence decreased. In addition, it is noteworthy that the regions where the air velocity slowed down is greater in this arrangement.

When the dominant velocity lines in Figure 6 (b) are examined; in the 0° facing arrangement, it is seen that the velocity between the fins drops drastically, and the velocity lines progress chaotically in a random manner beyond the last row of fins. In the 30° facing arrangement, it is seen that the longitudinal velocity between the fins increase, and the velocity vortices are formed

behind the fins. Finally, in the 15° facing arrangement, both between the fins and behind the last row of fins, the velocity increases and flow becomes turbulent.

Seen in Figure 6 (c) is the variation of velocities along the assumed axes (0.02 m, 0.04 m, 0.06 m and 0.08 m) that pass across the fins in the z-axis for each of the three fin arrangements (0° , 15° , 30°). In the graphics, the working fluid, air, at 19°C enters the channel from the right hand side and leaves the duct from the left hand side by sweeping the fins. In (a) showing the 0° facing position, along all the axes on the graph, it is seen that the velocity lines are irregular at both the entrance and exit of the fins. It can be said that among all velocity lines, only the velocity measured along 0.08 m increased at the exit zone but it decreased along all other lines. In (b) showing the 15° facing position, it is seen that the velocity lines are stable along all axis lines, both at the entrance and at the exit. The value of velocity lines at the exit is slightly higher than that at the entrance. Finally, in (c) showing the 30° facing position, it is seen that the value of the velocity lines at the exit is less than the value of the velocity lines at the entrance and there is an unstable velocity distribution.

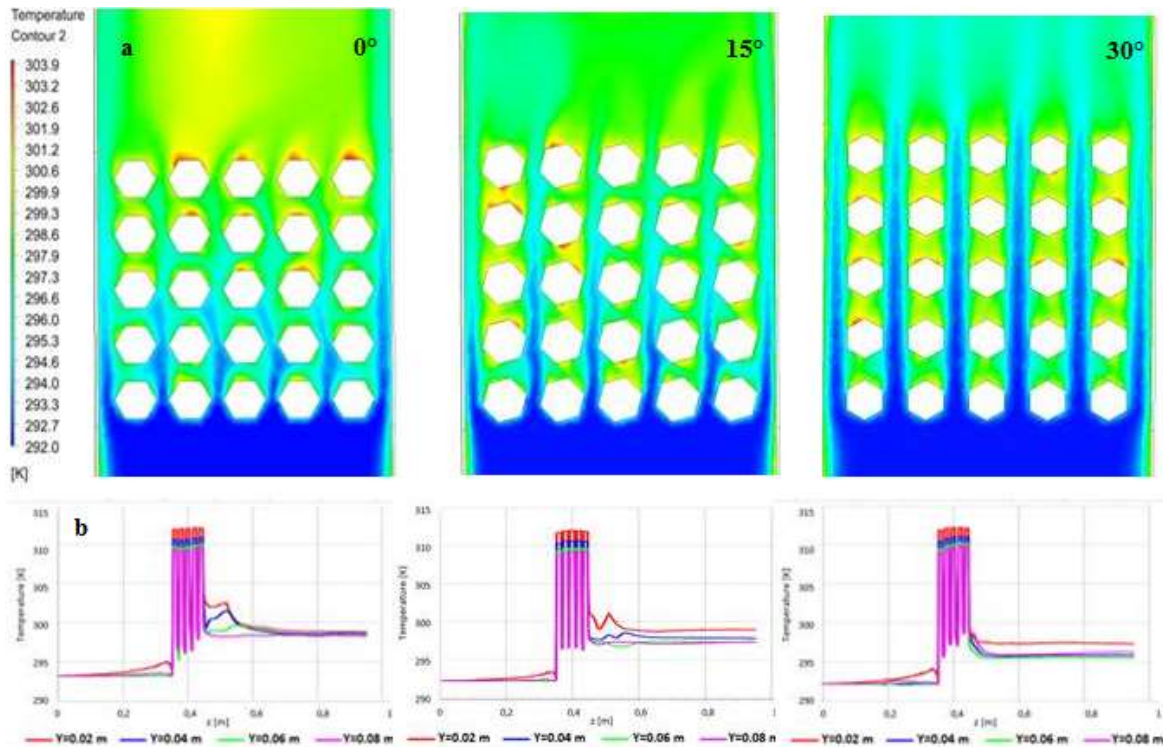


Figure 7. (a) Temperature distribution contours in the fin zone (b) Temperature values on different lines in the channel

Şekil 7. (a) Kanat bölgesindeki sıcaklık dağılım konturları (b) Kanalda farklı hatlardaki sıcaklık değerleri

Temperature distribution in the fin zone is shown in Figure 7 (a). It will be more useful to evaluate the distribution here in two sections: between the fins and beyond the fins. Temperature between the fins remain low until the 3rd row in the 0° position, and in the 4th and 5th rows, temperature build-up is observed in the upper parts of the hexagonal fins. In this arrangement, it can be said that the temperature increases at the back of the fins and leave the zone. As for the 15° arrangement, temperatures increase between the fins starting from the 1st row, and temperature build-up occurs in some of the fins in the 3rd, 4th and 5th rows. It was observed that the temperature of the working fluid, air, increased at the exit of the fin zone and thus left that section and that the temperature distribution was relatively homogeneous. In the 30° facing arrangement, the temperature between the fins gradually increases from the 1st row to the 5th row, and that there is a temperature build-up at the back of the fins in the 3rd and 4th rows. At the

exit of the fin zone, the temperature is seen to have increased only in the alignments of the fins, and thus left the zone, while the other zones remain relatively cool.

Figure 7 (b) shows temperature distributions along different lines at the channel inlet, across the fins and at the channel outlet. The working fluid enters the duct from the right hand side at 19°C , sweeps the fins and leaves the duct from the left hand side. When the temperature distributions across the hexagonal fins at 0° and 30° arrangements are examined; the temperature is seen as stable both at the channel entrance and at the exit, at all axes, except for a gradual increase in the temperature distribution on the fins for 0.08 m axis. Likewise, when the temperature distribution of the hexagonal fins with 15° facing arrangement is examined; it is seen that velocity distributions are stable both at the channel entrance, across the fins and at the channel exit.

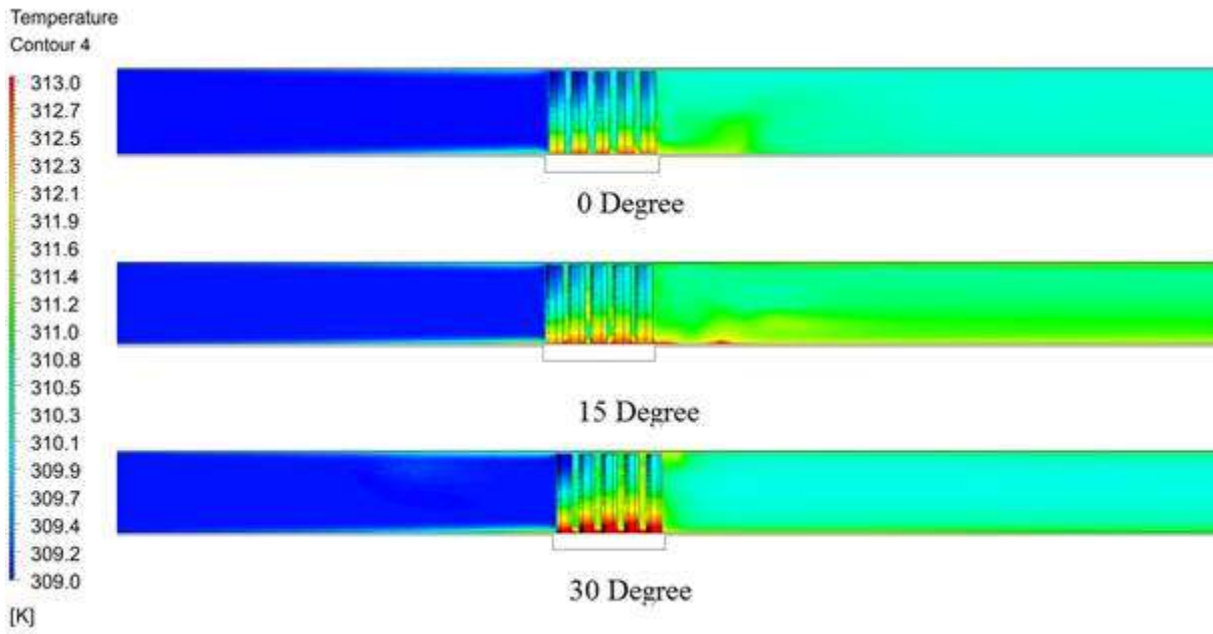


Figure 8. Temperature distribution inside the channel and across the fins
Şekil 8. Kanal içinde ve kanatçıklar boyunca sıcaklık dağılımı

Figure 8 shows the temperature distribution both inside the channel and across the fins. When examined; it is seen in the figure that the temperature distribution across the fins is best in the cases of 0° and 15° facing positions, while the temperatures of the fins are higher in the 30° position, where there has not been enough heat dissipation. Considering the temperature distribution along the channel, it can be clearly said that the arrangement in the case of which air leaves the channel at the highest temperature and homogeneously is the 15° one. In the cases of 0°

and 30° facing positions, the working fluid, air, could not absorb enough heat through the fins and hence could not perform a good cooling.

4. Conclusion

4. Sonuçlar

According to the results of the numerical analysis carried out on the same array of hexagonal fins having the same alignment but with different facing angles:

- due to that there is more turbulence and vortices between the hexagonal fins placed at 15 ° facing angle, the velocity profile is higher for the same heat transfer surface area, and therefore the pumping power could decrease further.
- when the heat distribution along the entire channel is examined; the temperatures were high through the end of the channel, which means that more heat was drawn when fins are positioned in at 15 °.
- In the case of 0 ° arrangement, temperature build-up was observed just at back end of the fins and the desired level of heat dissipation could not be achieved.
- For future studies, it is evaluated that performing experimental and numerical analyzes with fins rotated by 15 ° on different fin arrays and geometries could yield better results in terms of heat transfer and pumping power.

The results of this study are in agreement with [Soleymani et al \(2020\)](#), and the design and direction of the fins causes turbulence at the outlet and improves the temperature distribution, hence the heat transfer.

Author contribution

Yazar katkısı

The author provided the literature review of the article, the preparation of the model, the numerical analysis and evaluation, the preparation of all figures and tables, the evaluation of the results and the preparation of the references.

Declaration of ethical code

Etik beyanı

The author of this article declares that the materials and methods used in this study do not require ethical committee approval and/or legal-specific permission.

Conflicts of interest

Çıkar çatışması beyanı

The author declares that there is no conflict of interest.

References

Kaynaklar

Acharya, S., Dutta, S., Myrum, T., & Baker, R. (1993). Periodically developed flow and heat transfer in a ribbed duct. *International Journal of Heat and*

Mass Transfer, 36(8), 2069-2082. [https://doi.org/10.1016/S0017-9310\(05\)80138-3](https://doi.org/10.1016/S0017-9310(05)80138-3)

Adhikari, R., Wood, D., & Pahlevani, M. (2020). Optimizing rectangular fins for natural convection cooling using cfd. *Thermal Science and Engineering Progress*, 17, 100484. <https://doi.org/10.1016/j.tsep.2020.100484>

Ahmadian-Elmi, M., Mashayekhi, A., Nourazar, S., & Vafai, K. (2021). A comprehensive study on parametric optimization of the pin-fin heat sink to improve its thermal and hydraulic characteristics. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 180, 121797. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2021.121797>

Briggs, D., & London, A. L. (1960). *The heat transfer and flow friction characteristics of five offset rectangular and six plain triangular plate-fin heat transfer surfaces. Technical report no. 49.* Stanford Univ., Calif.: <https://www.osti.gov/biblio/4068664>

Buyruk, E., & Karabulut, K. (2017). Plakalı kanatçıklı ısı değiştiricilerde kanat geometrisinin ısı transferine olan etkisinin üç boyutlu sayısal olarak İncelenmesi. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 19(56), 346-363. <https://doi.org/10.21605/cukurovaummfd.310051>

Garg, V. K., & Maji, P. (1988). Laminar flow and heat transfer in a periodically converging-diverging channel. *International journal for numerical methods in fluids*, 8(5), 579-597. <https://doi.org/10.1002/flid.1650080506>

Hung, S.C., Huang, S.C., & Liu, Y.H. (2019). Effect of nonuniform pin size on heat transfer in a rotating rectangular channel with pin-fin arrays. *Applied Thermal Engineering*, 163, 114393. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2019.114393>

Karabulut, K., Buyruk, E., Kılınç, F., & Karabulut, Ö. O. (2013). Farklı geometrilerden oluşan kanatçıklı plakalı ısı değiştiricileri için ısı transferinin üç boyutlu sayısal olarak İncelenmesi, 11. *Ulusal Tesisat Müh. Kongresi*, 17-20

Kays, W. M., & London, A. L. (1954). *Compact heat exchangers--a summary of basic heat transfer and flow friction design data. To 6, Technical report no. 23.* Stanford Univ., Calif.: <https://www.osti.gov/biblio/4380526>

Kotcioglu, İ., & Bolukbasi, A. (2003). Experimental investigation heat transfer in different winglelet-surfaces in a vertical rectangular duct. *Dokuz Eylül University, Faculty of Engineering*,

Journal of Science and Engineering, 5(2), 89-102

<https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2020.120141>

- Kotçioğlu, İ., Ayhan, T., Olgun, H., & Ayhan, B. (1998). Heat transfer and flow structure in a rectangular channel with wing-type vortex generator. *Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences*, 22(3), 185-196
- Lee, C., & Abdel-Moneim, S. (2001). Computational analysis of heat transfer in turbulent flow past a horizontal surface with two-dimensional ribs. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 28(2), 161-170. [https://doi.org/10.1016/S0735-1933\(01\)00223-8](https://doi.org/10.1016/S0735-1933(01)00223-8)
- Masao, F., Yu, S., & Goro, Y. (1988). Heat transfer and pressure drop of perforated surface heat exchanger with passage enlargement and contraction. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 31(1), 135-142. [https://doi.org/10.1016/0017-9310\(88\)90230-X](https://doi.org/10.1016/0017-9310(88)90230-X)
- Maughan, J., & Incropera, F. (1991). Use of vortex generators and ribs for heat transfer enhancement at the top surface of a uniformly heated horizontal channel with mixed convection flow. *Journal of Heat Transfer - Transactions of The ASME*, 113(2), 504-507. <https://doi.org/10.1115/1.2910592>
- Mesler, R. (1993). Surface roughness and its effects on the heat transfer mechanism of spray cooling. *Journal of Heat Transfer-Transactions of The ASME*, 115(4), 1083-1083. <https://doi.org/10.1115/1.2911248>
- Russell, A. M., & Lee, K. L. (2005). *Structure-property relations in nonferrous metals* (Vol. 302): Wiley Online Library
- Soleymani, Z., Rahimi, M., Gorzin, M., & Pahamli, Y. (2020). Performance analysis of hotspot using geometrical and operational parameters of a microchannel pin-fin hybrid heat sink. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 159, 120141. <https://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2015.10.024>
- Souza Mendes, P., & Sparrow, E. (1984). Periodically converging-diverging tubes and their turbulent heat transfer, pressure drop, fluid flow, and enhancement characteristics. *Journal Heat Transfer*, 106(1), 55-63. <https://doi.org/10.1115/1.3246659>
- Sundén, B. (1999). Heat transfer and fluid flow in rib-roughened rectangular ducts. In *Heat transfer enhancement of heat exchangers* (pp. 123-140): Springer
- Tauscher, R., & Mayinger, F. (1999). Heat transfer enhancement in a plate heat exchanger with rib-roughened surfaces. In *Heat transfer enhancement of heat exchangers* (pp. 207-221): Springer
- Wang, Y. Q., Dong, Q.W., Liu, M.S., & Wang, D. (2009). Numerical study on plate-fin heat exchangers with plain fins and serrated fins at low reynolds number. *Chemical Engineering & Technology: Industrial Chemistry-Plant Equipment-Process Engineering-Biotechnology*, 32(8), 1219-1226. <https://doi.org/10.1002/ceat.200900079>
- Wen, J., Li, K., Zhang, X., Wang, C., Wang, S., & Tu, J. (2018). Optimization investigation on configuration parameters of serrated fin in plate-fin heat exchanger based on fluid structure interaction analysis. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 119, 282-294. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2017.11.058>
- Wen, J., Yang, H., Tong, X., Li, K., Wang, S., & Li, Y. (2016). Optimization investigation on configuration parameters of serrated fin in plate-fin heat exchanger using genetic algorithm. *International Journal of Thermal Sciences*, 101, 116-125. <https://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2015.10.024>

Tobit modeline bayesci yaklaşım ve winBUGS ile uygulama

Bayesian approach to tobit model and application with winBUGS

Samet KAYA*^{1,a}, Esin KÖKSAL BABACAN^{2,b}

^{1,2}Ankara Üniversitesi, Fen Fakültesi, İstatistik Bölümü, 06190, Ankara

• Geliş tarihi / Received: 03.02.2021

• Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 14.11.2021

• Kabul tarihi / Accepted: 20.11.2021

Öz

Bu çalışmada, sansürlü regresyon modeli olarak bilinen Tobit modeli incelenmiştir. Çalışmanın amacı, Bayesci yöntemle Tobit modelinin parametrelerini tahmin etmek ve klasik yöntemle elde edilen sonuçlarla karşılaştırmaktır. İlk olarak Tobit modelinin parametrelerini tahmin ederken kullanılan yöntemler anlatılmıştır. Bu yöntemler en çok olabilirlik yöntemi ve Bayesci yöntemidir. Bayesci yaklaşım ile sonuç çıkarımı yaparken Gibbs örnekleme kullanılmıştır. Uygulama kısmında ilk olarak alttan sansürlenmiş Tobit model için Matlab programında simülasyon programı yazılmış ve klasik en çok olabilirlik yöntemi ile Tobit modelinin parametreleri tahmin edilmiştir. Daha sonra, simülasyon programında üretilen aynı veriler WinBUGS programına eklenerek Bayes tahmin sonuçları elde edilmiştir. Daha sonra ABD de 2017 yılında en çok tercih edilen otomobil markalarından Accord, Mazda 6 ve Maxima modellerine ait veriler için klasik ve Bayesci yöntemlerle tahmin sonuçları elde edilmiştir. Yapılan karşılaştırma sonucunda her iki yöntem ile elde edilen tahmin sonuçlarının benzer olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca parametreler için klasik güven aralıkları ve Bayesci güvenilir aralıklar elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, Bayesci yöntem kullanılarak elde edilen güvenilir aralıkların klasik yöntemle elde edilenden daha dar olduğu görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Bayesci yaklaşım, MCMC (Markov Chain Monte Carlo), Nitel değişken, Tobit model, WinBUGS

Abstract

In this study, Tobit Model which is known to censored regression model is examined. The aim of the study is to estimate the Tobit model parameters using with Bayesian approach and compare the Bayesian and classical estimation results. At first, the methods are examined which are used to estimate the Tobit model parameters. These methods are the maximum likelihood method and the Bayesian estimation method. For the inferences of the Bayesian approach, the Gibbs sampling method is used. In the application section first, the simulation program was written in the Matlab program for the Tobit model which is censored from below, and the classical maximum likelihood method is used to estimate the parameters of the Tobit model. Later, Bayesian estimations are obtained by importing the same data which are generated using the Matlab simulation program, from the WinBugs program. And then the estimation results are obtained from using the data of Accord, Mazda 6, and Maxima models, which are the most preferred automobile brands in the USA in 2017. The estimation results are similar for the two methods. Besides, classical confidence intervals and Bayesian credible intervals are computed. It is seen that Bayesian highest density intervals are slightly narrower than the classical confidence intervals.

Keywords: Bayesian approach, MCMC (Markov Chain Monte Carlo), Qualitative variable, Tobit model, WinBUGS

*^a Samet KAYA; sametky_1301@hotmail.com, Tel: (0507) 975 13 01, orcid.org/0000-0002-6937-8138

^b orcid.org/0000-0002-9649-5276

1. Giriş

1. Introduction

Bağımlı değişken değerlerinin elde edilmesinde diğer regresyon modellerinden farklılıklar gösteren Tobit modeli, 1958 yılında James Tobin tarafından geliştirilen bir modeldir. Tobin, dayanıklı tüketim malları üzerine hane halkı harcamalarını analiz ederken, bazı ailelerde dayanıklı tüketim malı harcaması gibi bir harcama türü olmaması sebebiyle regresyon modelinde bağımlı değişkenin değerini negatif olarak elde etmiştir. Hiçbir durumda harcama negatif olamayacağından, hane halkı geliri belli bir düzeyi geçene kadar bu değişkene sıfır değerini atamış ve bunun üzerine sansüre uyum sağlayacak bir model geliştirmiştir. [Goldberg \(1964\)](#), Probit modeline benzerliğinden dolayı Tobin'in geliştirdiği bu modeli Tobit modeli olarak adlandırmıştır ([Leiker, 2012](#)). Tobit modeli, bağımlı değişken değerlerinin soldan veya sağdan sınırlandırılmak zorunda olduğu durumlarda kullanılmaktadır ([Emir, 2016](#)).

Çalışmanın geri kalan kısmı şu şekilde organize edilmiştir; 2. Bölümde Tobit Regresyon ile ilgili klasik ve Bayesci yöntemlerle yapılan çalışmalar için bir literatür taraması yapılmış, yurt içinde ve yurt dışında yapılan çalışmalardan örnekler verilmiştir. 3. Bölümde Tobit modelinin istatistik modeli verilmiş ve parametre tahmini için en çok olabilirlik yöntemi anlatılmıştır. 4. Bölümde Tobit modeline Bayesci yaklaşım anlatılmış ve Markov Zinciri Monte Carlo yöntemlerinden Gibbs algoritması verilmiştir. 5. Bölüm uygulama çalışmalarına ayrılmıştır. İlk olarak simülasyon çalışması ile tasarlanan model için veri türetilerek işlemler yapılmış, daha sonra internetten çekilen veriler kullanılarak sonuç çıkarımına gidilmiştir. Son bölümde, çalışma ile elde edilen sonuçlar tartışılmıştır.

2. Literatür taraması

2. Literature review

Ülkemizde farklı uygulama alanlarında Tobit Regresyon ile ilgili çalışmalar yapılmıştır. [Üçdoğruk vd., \(2001\)](#), 1994 yılı Türkiye hane halkı gelir dağılımı ve tüketim harcamaları anketinin verilerini kullanarak hane halkı geliri, hane reisinin yaşı, cinsiyeti, eğitim durumu, işteki durumu gibi bilgileri bağımsız değişken, eğlence ve kültür harcamalarını ise bağımlı değişken olarak alıp Tobit modelini incelemiştir. [Güneş vd. \(2016\)](#), 2009 yılında Türkiye genelinde uygulanan hane halkı işgücü anketi verilerini kullanmışlardır. Bu çalışmada iş gücüne dahil olan evli kadınların çalışma saatlerini ve fazla mesai yapmalarını

etkileyen faktörleri (yaş, eğitim durumu, çocuk sayısı vb.) bağımsız değişken, çalışma saatini ise bağımlı değişken olarak alıp Tobit modeli oluşturmuşlardır. Bu Tobit modelinde, çalışma saati verilerini alttan sansürledikten sonra parametre tahmini yapmışlardır. [Koç vd., \(2018\)](#), çalışmalarında Kahramanmaraş'ta hane halklarına ilişkin gıda tüketim talebinin ekonomik analizi üzerine yapılan anket verilerinden yola çıkarak aile reisinin geliri, aile fertlerinin sayısı ve kişinin eğitim düzeyi gibi bilgileri bağımsız değişken ve bu kişilerin aylık balık tüketim harcamalarını ise bağımlı değişken olarak Tobit modeline seçmişlerdir.

Yurt dışında yapılan çalışmalara örnek olarak, [Dagenais \(1975\)](#), 1961-1963 yılları arasında ABD Anket Araştırma merkezinde araba ile ilgili toplanan verileri kullanmıştır. Anket verilerinde yer alan hane halkı geliri, hane reisinin yaşı, cinsiyeti, eğitim durumu, araba sayısı, araba yaşı ve borçları gibi bilgileri bağımsız değişken, aracın dönem sonundaki değerini bağımlı değişken olarak belirlemiştir. Son durumda Tobit modelde sadece, hane reisinin eğitimi ve çocuk sayısı bağımsız değişken olarak alınmıştır. [Baba \(1990\)](#), Kanada'da büyük bir havacılık tesisinde çalışan erkek personele ilişkin anket verilerinden yola çıkarak devamsızlık, çalışma dışı baskı, yaşam boyu stres, zihinsel sağlık, işe dâhil olma, çocuk sayısı ve yaş gibi bilgileri bağımsız değişken, zaman kaybını ise bağımlı değişken olarak belirlemiştir. Baba yaptığı çalışmada, bu değişkenleri kullanarak sıralı en küçük kareler yöntemi ile Tobit modelini karşılaştırmıştır. [Austin vd., \(2000\)](#), 1994-1995 yılları arasında Kanada'da yürütülen Ulusal Nüfus Sağlık Araştırması verilerini kullanmışlardır. Bu veri setinde sansürlenmiş Sağlık Hizmetleri İndeks (Health Utilities Index, HUI) puanı bağımlı değişken, ankete katılan kişilerin yaşları bağımsız değişken olarak belirlenmiş ve bu değişkenler arasındaki ilişki robust Tobit modeli ile ifade edilmiştir.

Bayesci sonuç çıkarımı ile ilgili, [Chib \(1992\)](#), hataları normal dağılıma sahip olan Tobit modellerinde Bayesci çıkarım yapabilmek için Gibbs algoritmasını kullanmıştır. [Polasek ve Krause \(1994\)](#), hiyerarşik Tobit modellerini göz önüne almış ve Bayesci çıkarım için yine Gibbs algoritmasını kullanmışlardır. Son yıllarda Tobit modelinde Bayesci sonuç çıkarımı için yapılan uygulama çalışmalarına örnek olarak [Austin \(2002\)](#), [Dagne ve Huang \(2012\)](#), [Abbas ve Thahaer \(2019\)](#), [Alhamzawi ve Ali \(2018\)](#), [Adarabioyo ve Awe \(2020\)](#) verilebilir.

Buna karşılık yapılan literatür çalışmasında Tobit modelinde Bayesci sonuç çıkarımı ile ilgili Türkçe bir çalışmaya rastlanmamıştır.

3. Tobit model

3.1. Tobit model

Tobit modellere literatürde sınırlı bağımlı değişkenli modeller de denilmektedir. Sınırlı bağımlı değişkenli modeller, sınırlandırılmış (truncated) ve sansürlü (censored) modeller olmak üzere ikiye ayrılır. Eğer, belirli bir aralık dışındaki tüm gözlemler kaybediliyorsa sınırlandırılmış (truncated) model, sadece bağımsız değişkenler gözlenebiliyorsa sansürlü (censored) model olarak ifade edilir (Zhou, 2007). Bağımlı değişken değerleri alttan veya üstten sınırlandırılmak zorunda ise yani, bağımsız değişkenin bilinen değerlerine karşılık, bağımlı değişkenin değerlerinden bazıları gözlenemiyorsa, bu gibi durumlarda Tobit modeli kullanılır (Emir, 2016).

Doğrusal regresyon analizinde artıklar için Normallik varsayımı ihlal edilse bile en küçük kareler tahmin edicileri yansız ve tutarlıdır. Tobit modellerinde bu durum farklıdır. Normalliği varsayan en çok olabilirlik tahmin edicileri, artıklar Normal dağılmadığında tutarsızdır (Eren, 2012; Emeç, 2016).

Tobit regresyon modeli, $y_i^* = \beta x_i + \varepsilon_i, i = 1, 2, \dots, n$ olmak üzere,

$$y_i = \begin{cases} y_i^*, & \beta x_i + \varepsilon_i > 0 \\ 0, & \beta x_i + \varepsilon_i \leq 0 \end{cases} \quad (1)$$

biçiminde tanımlanır (Emeç, 2016). Yani, Tobit modelde

$$y_i^* \leq 0 \text{ olduğunda } y_i = 0, \\ y_i^* > 0 \text{ olduğunda } y_i = y_i^*$$

değerlerini alır.

$y_i^* = \beta x_i + \varepsilon_i$ modelinde negatif y_i gözlemleri ihmal edildiğinden, ε_i hata terimi sıfır ortalamaya sahip olamaz (Maddala, 1992).

Tobit model,

$$y_i^* = \beta x_i + \varepsilon_i, \varepsilon_i \cong N(0, \sigma^2) \\ y_i = \max\{y_i^*, 0\} \quad (2)$$

gibi ifade edilir. (2) numaralı denklemde verilen Tobit modelinde, y_i^* bir görünmeyen değişken, x_i bağımsız değişken, ε_i normal ve bağımsız olarak dağılmış hata bileşeni değişkenidir. y_i gözlenen

bağımlı değişken ve l sansürleme noktasıdır. Sansürleme şekillerine göre aşağıdaki model tanımlamaları yapılmıştır.

1) Veri seti y_l noktasında alttan sansürlü ise;

$$y_i = \begin{cases} y_i^*, & y_i^* > y_l \text{ ise} \\ y_l, & y_i^* \leq y_l \text{ ise} \end{cases} \quad (3)$$

2) Veri seti y_u noktasında üstten sansürlü ise;

$$y_i = \begin{cases} y_i^*, & y_i^* < y_u \text{ ise} \\ y_u, & y_i^* \geq y_u \text{ ise} \end{cases} \quad (4)$$

3) Veri seti hem y_l noktasında alttan sansürlü hem de y_u noktasında üstten sansürlü ise;

$$y_i = \begin{cases} y_i^*, & y_l < y_i^* < y_u \text{ ise} \\ y_l, & y_i^* \leq y_l \text{ ise} \\ y_u, & y_i^* \geq y_u \text{ ise} \end{cases} \quad (5)$$

Tobit modelinde yer alan parametreleri en çok olabilirlik yöntemine göre tahmin edebilmek için olabilirlik fonksiyonu yazılmalıdır.

3.1. Tobit modelinde en çok olabilirlik yöntemi ile tahmini

3.1.1. Estimation with the maximum likelihood method in the Tobit model

Olabilirlik fonksiyonunu elde etmeden önce $y_i = \beta x_i + \varepsilon_i, \varepsilon_i \cong N(0, \sigma^2)$ şeklinde olan lineer regresyon modelinde x_i değerleri bilindiğinde Y rasgele değişkeninin dağılım fonksiyonu,

$$\begin{aligned} F(y_i|x_i) &= P(Y \leq y_i|x_i) \\ &= P(\beta x_i + \varepsilon_i \leq y_i|x_i) \\ &= P(\varepsilon_i \leq y_i - \beta x_i|x_i) \\ &= P\left(\frac{\varepsilon_i}{\sigma} \leq \frac{y_i - \beta x_i}{\sigma} \middle| x_i\right) \\ &= \Phi\left(\frac{y_i - \beta x_i}{\sigma}\right) \end{aligned} \quad (6)$$

biçiminde elde edilir. Burada, Φ standart normal dağılımın dağılım fonksiyonudur. Buna göre olasılık (yoğunluk) fonksiyonu,

$$\begin{aligned} f(y_i|x_i) &= \frac{d}{dy_i} F(y_i|x_i), \\ f(y_i|x_i) &= \frac{1}{\sigma} \phi\left(\frac{y_i - \beta x_i}{\sigma}\right) \end{aligned} \quad (7)$$

biçiminde elde edilir.

Olabilirlik fonksiyonunu yazabilmek için $y_i^* > l$ ve $y_i^* \leq l$ olmak üzere iki durum göz önüne alınmalıdır. Burada, $y_i^* \leq l$ sansürlenmiş verileri ve

$y_i^* > l$ sansürlü verileri göstermektedir (Koç ve Şahin, 2018). İlk olarak sansürlü kısım için $y_i^* \leq l$ olasılığı,

$$\begin{aligned} \Pr(y_i^* \leq l) &= \Pr(\beta x_i + \varepsilon_i \leq l) \\ &= \Pr(\varepsilon_i \leq l - \beta x_i) \\ &= \Pr\left(\frac{\varepsilon_i}{\sigma} \leq \frac{l - \beta x_i}{\sigma}\right) \\ &= 1 - \Phi\left(\frac{\beta x_i - l}{\sigma}\right) \end{aligned} \quad (8)$$

biçiminde elde edilir. $y_i^* > l$ olduğunda ise olasılık,

$$\Pr(y_i^* > l) = 1 - \left(1 - \Phi\left(\frac{\beta x_i - l}{\sigma}\right)\right) = \Phi\left(\frac{\beta x_i - l}{\sigma}\right) \quad (9)$$

Buna göre olasılık fonksiyonu,

$$L(\beta, \sigma^2) = \prod_{y_i=0} \left[1 - \Phi\left(\frac{\beta x_i}{\sigma}\right)\right] \prod_{y_i>0} \left[\frac{1}{\sigma} \phi\left(\frac{y_i - \beta x_i}{\sigma}\right)\right] \quad (12)$$

biçiminde yazılır. n birimlik örneklem gözlemlendiğine, bu gözlemlerden n_0 tanesi sansürlenmiş ise geri kalan $n_1 = (n - n_0)$ tanesi pozitif gözlemlerden oluşur. Buna göre olasılık fonksiyonu,

$$L(\beta, \sigma^2) = \prod_{y_i=0} \left[1 - \Phi\left(\frac{\beta x_i}{\sigma}\right)\right] \left[(2\pi)^{-\frac{n_1}{2}} (\sigma^2)^{-\frac{n_1}{2}} \exp\left\{-\frac{\|y_i - \beta x_i\|^2}{2\sigma^2}\right\}\right] \quad (13)$$

biçiminde yazılır. Elde edilen bu karışık fonksiyon Olsen (1978)'in $\tau = \frac{1}{\sigma}$ ve $\alpha = \frac{\beta}{\sigma}$ dönüşümleri ile basitleştirilerek,

$$\begin{aligned} L(\beta, \sigma^2) &= \prod_{y_i=0} [1 - \Phi(\alpha x_i)] \left[(2\pi)^{-\frac{n_1}{2}} (\tau^2)^{\frac{n_1}{2}} \exp\left\{-\frac{\tau^2 \|y_i - \beta x_i\|^2}{2}\right\}\right] \\ &\equiv l_0(\beta, \sigma^2) l_1(\beta, \sigma^2) \end{aligned} \quad (14)$$

biçimini alır. Burada l_0 sansürlenmiş gözlemlerin olasılık fonksiyonu, l_1 sansürlenmemiş gözlemlerin olasılık fonksiyonunu gösterir. Buna göre,

$$l_0 = P(y_i = 0) = P(y_i^* \leq l) = 1 - \Phi\left(\frac{\beta x_i}{\sigma}\right)$$

dir. β ve σ^2 parametrelerinin en çok olasılık tahmin edicilerini bulmak için iteratif yöntemler kullanılır. Newton-Raphson yöntemi bu yöntemlerden yaygın olarak kullanılanlarından bir tanesidir (Chib, 1992).

4. Tobit modele bayesci yaklaşım

4. Bayesian approach to the Tobit model

Bayesci sonuç çıkarımında, klasik yöntemlerin aksine parametreler de birer rasgele değişken olarak düşünülür. Bu nedenle de parametrelerin kendilerine ait dağılımları vardır. Çalışmaya başlamadan önce parametrelere ilişkin olarak alınan bu dağılım bilgisi önsel bilgi olarak bilinir. Yani, Bayesci sonuç çıkarımında örneklem

biçiminde elde edilir. Sansürleme noktası l , 0 alınırsa $y_i^* > 0$ ile $y > 0$ aynı değerleri alacağından $f(y_i|x_i) = f(y_i^*|x_i)$ olacaktır. Buna göre olasılık yoğunluk fonksiyonu,

$$f(y_i|x_i) = f(y_i^*|x_i) = \frac{1}{\sigma} \phi\left(\frac{y_i - \beta x_i}{\sigma}\right) \quad (10)$$

biçiminde ifade edilir. Sansürleme noktası l , 0 alındığında fonksiyon aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$f(y_i) = \begin{cases} 1 - \Phi\left(\frac{\beta x_i}{\sigma}\right), & y_i = 0 \\ \frac{1}{\sigma} \phi\left(\frac{y_i - \beta x_i}{\sigma}\right), & y_i > 0 \\ 0, & d. d \end{cases} \quad (11)$$

bilgisinin yanında parametrelere ilişkin önsel bilgiler de göz önüne alınır. Bu anlamda, regresyon analizinde Bayesci yaklaşım ile sonuç çıkarımı yapılmak istendiğinde parametrelere ilişkin önsel bilgiler de analize dahil edilir. Daha sonra parametrelere ilişkin önsel dağılım bilgisi ve verilen örneklem bilgisi kullanılarak sonsal dağılım elde edilir. Temel olarak önseller; bilgilendirici ve bilgilendirici olmayan önseller olmak üzere iki gruba ayrılır. Bilgilendirici olmayan önsel dağılımlar, parametreler hakkında önsel bilgisi zayıf olan veya veriden elde edilen bilgi hariç başka bilgiye ihtiyaç duymayan dağılımlardır. Bayesci sonuç çıkarımında, parametreler için bilgi vermeyen önseller kullanıldığında elde edilen sonuçlar klasik yöntemlerle elde edilen sonuçlara benzer olmaktadır. Bu önsel dağılımlara örnek olarak tek biçimli (uniform) önsel dağılımlar, düz (flat) önsel dağılımlar ve Jeffreys'in önsel dağılımları verilebilir. Aynı durum Bayesci Regresyon için de geçerlidir. Eğer parametrelere ilişkin bilgi vermeyen önseller kullanılırsa elde edilen sonuçlar klasik regresyonla elde edilen sonuçlara benzer

çıkacaktır (Ekici, 2005). Parametreler için, bilgi veren önseller kullanıldığında ise sonsal dağılımın açık formunun elde edilmesinde matematiksel problemlerle karşılaşmaktadır. Bu nedenle bilgi veren önsellerin kullanıldığı durumda, Bayesci sonuç çıkarımı yapabilmek için, geliştirilen simülasyon yöntemleri kullanılmaktadır. Bu simülasyon yöntemleri ile analitik olarak elde edilemeyen sonsal dağılımlardan örneklem çekilmekte ve bu örneklemeler kullanılarak sonuç çıkarımına gidilmektedir. Bu simülasyon yöntemleri Markov Chain Monte Carlo (MCMC) yöntemleri olarak bilinmektedir (Gamerman ve Lopes, 2006).

Regresyon analizine, Bayesci yaklaşımda bulunurken regresyon parametreleri de birer rasgele değişken olarak kabul edildiğinden $(\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_k)$ ve σ^2 parametreleri birer rasgele değişkendir ve kendilerine ait olasılık dağılımları vardır. Zellner ve Rossi (1984), yaptıkları çalışmada $\theta = (\beta, \sigma^2)$ için bilgi veren önsel dağılım olan Normal- Gamma dağılımını kullanmışlardır. $\theta = (\beta, \sigma^2)$ olmak üzere $\pi(\theta)$ ile önsel dağılıma ilişkin olasılık (yoğunluk) fonksiyonu ve $p(\theta|y)$ ile sonsal dağılıma ilişkin olasılık (yoğunluk) fonksiyonu gösterilsin. Buna göre Bayesci yaklaşım adımları aşağıda verildiği gibidir,

- 1) θ için önsel dağılım belirlenir,
- 2) Eldeki veri seti için olabilirlik fonksiyonu oluşturulur,
- 3) Önsel ve olabilirlik güncellenerek sonsal dağılım elde edilir. Parametrelere ilişkin tüm sonuç çıkarımı bu sonsal dağılım kullanılarak yapılır (Ekici, 2005).

Bahsedilen bu üç adım Bayes teoremi kullanılarak,

$$p(\theta|y) = \frac{p(\theta, y)}{p(y)} = \frac{L(\theta)\Pi(\theta)}{p(y)} = \frac{L(\theta)\Pi(\theta)}{\int L(\theta)\Pi(\theta)d\theta} = K^{-1}L(\theta)\Pi(\theta)$$

biçiminde ifade edilebilir. Burada, $K = \int L(\theta)\Pi(\theta)d\theta$ normalleştirme sabiti olarak bilinir. Sonsal dağılım elde edildikten sonra hata kareler kayıp fonksiyonuna göre parametrelerin tahminleri sonsal dağılımın beklenen değeri olduğundan, $g(\theta)$ reel değerli bir fonksiyon olmak üzere beklenen değeri

$$E(g(\theta) | y) = \int g(\theta)p(\theta|y) d\theta \quad (15)$$

ile hesaplanır.

Tobit modeline Bayesci yöntemle yaklaşımda bulunabilmek için ilk olarak olabilirlik fonksiyonu

(14) de verildiği gibi alınır. Daha sonra, $\theta = (\beta, \sigma^2)$ parametreleri için önsel dağılım belirlenir ve yukarıda verilen üç adım kuralına göre sonsal dağılım elde edilerek parametrelere ilişkin sonuç çıkarımı yapılır.

(13) denkleminde de görülebileceği gibi (15) ile ifade edilen beklenen değer verilen herhangi bir önsel dağılım için analitik olarak elde edilemez. Bayesci yaklaşımda bu sık karşılaşılan bir durumdur. Bu gibi durumlarda, sonsal dağılımdan örneklem çekme esasına dayanan yöntemler kullanılarak sonuç çıkarımı yapılabilir. Bu yöntemler Markov zincirlerini kullanan stokastik simülasyon yöntemleridir ve Markov Zinciri Monte Carlo (MCMC) yöntemleri olarak bilinir (Gamerman ve Lopes, 2006).

4.1. Gibbs örnekleme algoritması

4.1. Gibbs sampling algorithm

Geman ve Geman (1984), Gibbs örneklemesini kullanan ilk çalışmadır. Fakat, Bayesci çıkarım için Gibbs örneklemesini ilk kez kullanan ve bir istatistik dergisinde yayınlanan çalışma Gelfand ve Smith (1990) tarafından yapılmıştır (Gamerman ve Lopes, 2006). Gibbs algoritması kullanılarak örnekleme yapılırken, değişkenler arasındaki ilişki ile ilgili bilgiye ihtiyaç duyulur, çünkü Gibbs örneklemesi koşullu olasılıklara dayanır. Metropolis algoritmasında olduğu gibi yardımcı bir dağılıma ihtiyaç duymaz (Bilir, 2016).

$\theta = (\theta_1, \dots, \theta_k)'$ parametre vektörü, $p(y|\theta)$ olabilirlik fonksiyonu, $\pi(\theta)$ önsel dağılım olsun. Buna göre, $\pi(\theta_i|\theta_j, i \neq j, y)$ sonsal dağılımı,

$$\pi(\theta_i|\theta_j, i \neq j, y) \propto p(y|\theta) \pi(\theta)$$

gibi yazılabilir.

Gibbs örneklemesi için algoritma adımları aşağıdaki gibidir:

A1) $t = 0$ için keyfi bir $\theta^{(0)} = \{\theta_1^{(0)}, \dots, \theta_k^{(0)}\}$ başlangıç değeri seçilir.

A2) θ' nin her bir bileşeni

$$\begin{aligned} \theta_1^{(t+1)} &\sim \pi(\theta_1|\theta_2^{(t)}, \dots, \theta_k^{(t)}, y) \\ \theta_2^{(t+1)} &\sim \pi(\theta_2|\theta_1^{(t+1)}, \theta_3^{(t)}, \dots, \theta_k^{(t)}, y) \\ \theta_k^{(t+1)} &\sim \pi(\theta_k|\theta_1^{(t+1)}, \dots, \theta_{k-1}^{(t+1)}, y) \end{aligned}$$

şeklinde elde edilir.

A3) $t = t + 1$ alınır ve yakınsama gerçekleşinceye kadar 2.nci adıma gidilir (Gamerman ve Lopes, 2006).

MCMC yöntemlerinde, başlangıç değerlerinin etkileri, zincirin ilk adımlarında görülür. Daha sonraki adımlarda zincir yavaş yavaş başlangıç durumunu unutur ve durağanlaşır. Bu nedenle, bu yöntemlerde gerekli hesaplamalar yapılırken zincirin başlangıç gözlemleri ihmal edilir. İhmal edilen bu değerlere burn in (yakma) değerleri denir (Link ve Barker, 2010). Başlangıç değerlerinin etkisinden kurtulmak için gerekli zincir uzunluğunu belirlemek için kullanılan birçok yöntem vardır. Bu yöntemlerden en basiti ve en çok kullanılanı, çekilen örneklemin grafiğini inceleyerek zincir uzunluğuna karar vermektir (Gilks vd., 1996; Walsh, 2002).

5. Uygulama çalışmaları

5. Application studies

5.1. Simülasyon çalışması

5.1. Simulation study

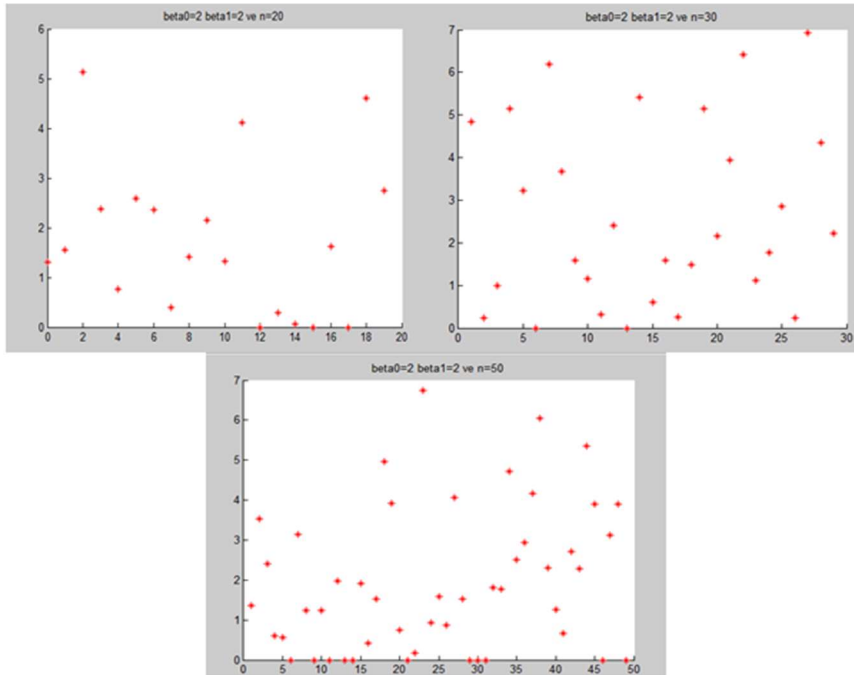
Klasik yöntemle elde edilen Tobit modeli ile Bayesci yöntemle elde edilen Tobit modeli tahmin sonuçlarını karşılaştırmak amacıyla yapılan simülasyon çalışmasında,

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \varepsilon$$

şeklindeki doğrusal regresyon modeli ele alınmıştır. Matlab ile yazılan simülasyon

programında örneklem büyüklükleri $n = 20, 30, 50$ olarak, β_0 değerleri 2 ve 2.5 olarak, β_1 değerleri 1.5 ve 2 olarak, x değerleri 0-1 aralığından rasgele sayılar olarak ve $\varepsilon \sim N(0,1)$ dağılımından üretilen rasgele sayılar olarak alınıp y değerleri üretilmiştir. Daha sonra yazılan Matlab programı yardımı ile β_0 ve β_1 parametrelerinin en çok olasılık tahminleri soldan sansürlenmiş ($l = 0$) Tobit modeli için elde edilmiştir. Bayesci sonuç çıkarımı için Winbugs programından yararlanılmıştır. Bu nedenle, Matlab programı kullanılarak elde edilen veriler WinBugs programına aktarılmıştır. Bu programda parametreler için bilgi veren önsel dağılımlar kullanılmıştır. β_0 ve β_1 parametreleri için önsel dağılım olarak Normal ($0, 0.001$) ve σ^2 için önsel dağılım olarak Gamma ($0.001, 0.001$) dağılımları alınmış ve parametre tahminleri yapılmıştır. Bayesci yöntemle parametre tahmininde kullanılan Markov zinciri için 10000 örneklem çekilmiş ve örneklemin baştan ilk 1000 verisi burn in değerleri olarak alınıp işlemlere dahil edilmemiştir. Elde edilen sonuçlar Tablo1 ile özetlenmiştir. Parametreler için, klasik yöntemle %95 lik güven aralıkları, Bayes yönteminde ise parametreler için %95 lik güvenilir aralıklar ve elde edilmiştir.

$\beta_0 = 2$ ve $\beta_1 = 2$ için $n = 20, 30, 50$ örneklem büyüklüklerinde üretilen y bağımlı değişken değerlerinin denklem (3)' te belirtilen kurala göre sansürlendikten sonraki değerlerinin örneklem sayısına göre grafiği aşağıda verilmiştir.



Şekil 1. Sansürlenmiş veriye ait grafikler
Figure 1. Graphs of censored data

Şekil 1'e bakıldığında 20 birimlik örneklemeden üretilen y değerlerinden 3 tanesinin, 30 birimlik örneklemeden üretilen y değerlerinden 2 tanesinin

ve 50 birimlik örneklemeden üretilen y değerlerinin 11 tanesinin sıfır etrafında sansürlenmiş olduğu görülmektedir.

Tablo 1. Simülasyon sonuçları
Table 1. Simulation results

Parametre Değerleri	Klasik Tobit ile elde edilen sonuçlar			Bayesci Tobit ile elde edilen sonuçlar	
	n	$\hat{\beta}_0$	$\hat{\beta}_1$	$\hat{\beta}_0$	$\hat{\beta}_1$
$\beta_0=2$ $\beta_1=1.5$	20	2.0397	1.5030	2.031	1.506
	GA	(1.5683,2.5111)	(0.9112,2.0948)	(1.767,2.461)	(1.289, 1.87)
	SH	0.15635	0.1732	0.001719	0.002071
	30	2.0347	1.5263	2.032	1.526
	GA	(1.6606,2.4088)	(1.1612,1.8915)	(1.657,2.408)	(1.16,1.892)
	SH	0.1372	0.14248	0.001638	0.001466
	50	2.0626	1.5787	2.0089	1.5349
	GA	(1.7629,2.3623)	(1.2901,1.8673)	(1.7286,2.2945)	(1.2188,1.8503)
$\beta_0=2.5$ $\beta_1=1.5$	SH	0.1333	0.12984	0.001389	0.001162
	20	2.5443	1.5321	2.542	1.53
	GA	(2.2103,2.8782)	(1.1652,1.8990)	(2.209,2.870)	(1.162,1.891)
	SH	0.16157	0.15942	0.001704	0.001906
	30	2.5094	1.5420	2.507	1.541
	GA	(2.1268,2.8919)	(1.1559,1.9281)	(2.126,2.889)	(1.154,1.929)
	SH	0.14416	0.12935	0.001859	0.001433
	50	2.5403	1.5355	2.538	1.535
$\beta_0=2$ $\beta_1=2$	GA	(2.2286,2.8520)	(1.1921,1.8788)	(2.232,2.851)	(1.192,1.872)
	SH	0.1367	0.1472	0.001566	0.001570
	20	2.0568	2.0235	2.055	2.02
	GA	(1.6209,2.4927)	(1.4842,2.5628)	(1.616,2.49)	(1.479,2.551)
	SH	0.15893	0.13595	0.001683	0.001626
	30	2.0269	2.0737	2.024	2.073
	GA	(1.5984,2.4554)	(1.6475,2.50)	(1.599,2.454)	(1.646,2.491)
	SH	0.15016	0.1536	0.001787	0.00158
	50	2.0187	2.0255	2.017	2.025
	GA	(1.6823,2.3550)	(1.6995,2.3516)	(1.682,2.357)	(1.699,2.354)
	SH	0.15392	0.15888	0.001716	0.0017

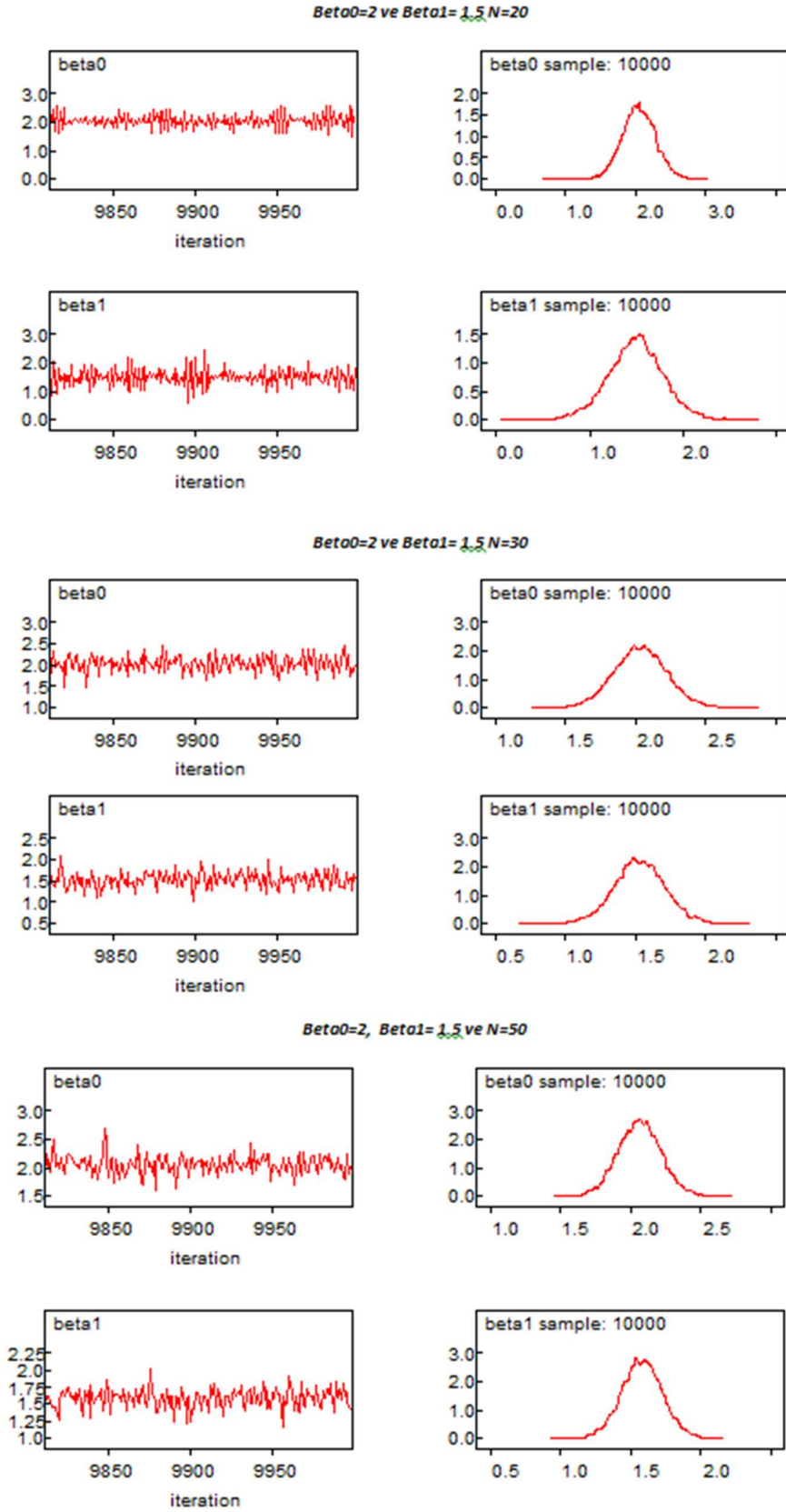
*SH: klasik yöntem için Standart Hata, Bayesci yöntem için MC Standart Hatası

*GA: klasik yöntem için %95 güven düzeyinde güven aralığı, Bayesci yöntem için %95 lik güvenilir aralık

Tablo 1'e bakıldığında klasik yöntemle elde edilen Tobit parametre tahminleri ile Bayesci yöntemle elde edilen Tobit parametre tahminleri benzer sonuçlar vermiştir. Her iki yöntemle elde edilen sonuçlar da simülasyonda verilen gerçek değerlere oldukça yakındır. Parametrelere ilişkin güven aralıklarına bakıldığında Bayesci yöntemle elde edilen güvenilir aralıkların klasik Tobit modeline göre elde edilen aralıklardan daha dar olduğu görülmektedir. Burada güven aralıklarının yorumları da farklılık göstermektedir. Klasik yöntemde güven aralıkları için "bu aralığın parametreyi içeren aralıklardan birisi olması

olasılığı %95 tir" şeklinde yorum yapılırken yani rasgele olan aralık sınırları olurken, Bayesci yöntemde ise rasgele olan parametredir ve "parametrenin bu sınırlar içinde yer alması olasılığı %95 tir" yorumu yapılır. Klasik yöntemde elde edilen hiçbir güven aralığı 0 değerini içermemektedir. Buna göre, değişkenlerin modele katkısı önemlidir sonucu çıkarılabilir.

($\beta_0 = 2$ ve $\beta_1=1.5$ ve $n=20,30$ ve 50 değerleri için) Bayesci yöntemle elde edilen parametre değerlerine ilişkin grafik (iz grafiği) ve sonsal yoğunluk grafikleri aşağıdaki gibidir.



Şekil 2. $\beta_0=2$ ve $\beta_1=1.5$ değerleri ve $n=20,30,50$ için iz ve sonsal yoğunluk grafikleri
Figure 2. Trace and posterior density plots for values of $\beta_0=2$, $\beta_1=1.5$ and $n=20,30,50$

5.2 Gerçek veri uygulaması

5.2. Real data application

Gerçek veriler <https://vincentarelbundock.github.io/Rdatasets/datasets.html> sitesinden çekilmiştir. Bu veriler kullanılarak yapılan çalışma aşağıdaki gibidir.

ABD de 2017 yılında en çok tercih edilen otomobil markalarından Accord, Mazda 6 ve Maxima seçilmiştir. Çalışma için seçilen bu markalara ait 30 ar tane veri örneklem olarak alınmıştır. Otomobil fiyatını belirleyen değişkenlerin otomobil yaşı, otomobil markası ve otomobil kilometresi olduğu düşünülmektedir. Kurulacak regresyon modeli,

$$Fiyat \sim Yaş + Kilometre + Marka$$

Tablo 2. Fiyat değişkenine ilişkin betimsel istatistikler

Table 2. Descriptive statistics on the price variable

Minimum	1. Çeyreklik	Medyan	Ortalama	3.Çeyreklik	Maksimum
2	9.5	14.8	13.75	17.5	27

Tobit modelde araç fiyatları bağımlı değişken olup sağdan sansürlenmiştir. Tablo 2 sonuçlarına bakılarak sağdan sansür değeri 17.5 olarak seçilmiştir. Sansür değeri belirlendikten sonra Tobit modelinin parametreleri klasik ve Bayesci yöntemlerle tahmin edilerek sonuçlar

Tablo 3. Gerçek verilere ilişkin sonuçlar

Table 3. Conclusions on real data

Değişkenler	Klasik tobit model	%95 güven düzeyinde güven aralıkları	p-değeri	Bayesci tobit model	%95'lik güvenilir aralıklar	Monte carlo standart hatası
Kesim noktası	19.6605	(18.605,20.7157)	2.33e-14	19.74036	(18.600,20.935)	0.00579
Yaş	0.82278	(-1.0102,-0.6354)	2e-16	-0.82630	(-1.0310,-0.627)	0.00102
Kilometre	-0.04511	(-0.0654,-0.0248)	1.31e-5	-0.04549	(-0.0672,-0.0240)	0.00011
Marka (Maxima)	1.76300	(0.7475,2.7784)	0.000667	1.75628	(0.7580,2.840)	0.00580
Marka (Accord)	1.57382	(0.5523,2.5953)	0.00253	1.57989	(0.5783,2.698)	0.00559

Uygulamada fiyat bağımlı değişkeni sağdan sansürlenerek y^* değerleri elde edilmiştir. Sansürlü bağımlı değişken değerleri kullanılarak Tobit modeline ait parametre tahminleri yapılmıştır. İncelenen klasik Tobit modele ait belirtme katsayısı $R^2 = 0.85168$ olarak bulunmuştur. Yani, modelde kullanılan bağımsız değişkenlerin yaş,

biçiminde olacaktır. Burada, otomobil markaları kategorik değişkendir. Nitel değişken 3 kategorili olduğu için modele 2 tane kukla değişken eklenmelidir. Bu değişkenler,

$$D_1 = \begin{cases} 1, & \text{Accord} \\ 0, & \text{değil} \end{cases} \quad D_2 = \begin{cases} 1, & \text{Maksima} \\ 0, & \text{değil} \end{cases}$$

gibi gösterilmiştir. Diğer kategorik değişken olan Mazda6 markası temel düzey olarak belirlenmiştir. Buna göre kurulacak regresyon modeli,

$$Fiyat \sim \beta_0 + \beta_1 \times D_1 + \beta_2 \times D_2 + \beta_3 \times Yaş + \beta_4 \times Kilometre$$

biçiminde olacaktır. Fiyat Bağımlı değişkenine ait betimsel istatistikler Tablo 2'de verilmiştir.

karşılaştırılmıştır. Bayesci yöntemle parametre tahmininde kullanılan Markov zinciri için 11000 örneklem çekilmiştir ve alınan örneklemin baştan ilk 1000 verisi burn in değerleri olarak atılmış, analize dahil edilmemiştir.

kilometre, marka (maxima) ve marka (Accord), bağımlı değişkendeki (Fiyat) toplam varyasyonunu açıklayabilme oranı 0.85168'dir. Klasik yaklaşımda, modeldeki tüm değişkenlere ilişkin p –değerlerine bakıldığında hepsinin $\alpha = 0.05$ değerinden küçük olduğu görülmektedir. Buna göre, değişkenlerin modele katkısı önemlidir.

Bayesci yaklaşım için, model parametrelerine ilişkin Monte Carlo Standart Hataları elde edilmiştir. Örneklem sayısı arttıkça Monte Carlo standart hatasının 0'a yaklaşması gerekir. Bu anlamda bakıldığında, alınan örneklem sayısına göre bu değerlerin de beklenen ölçüde küçük olduğu söylenebilir.

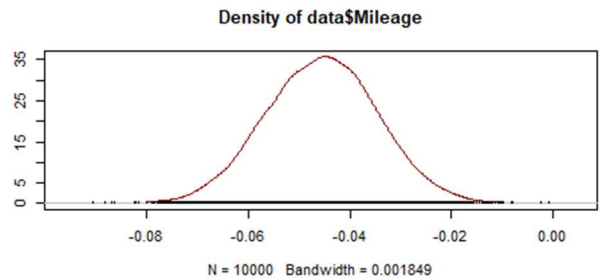
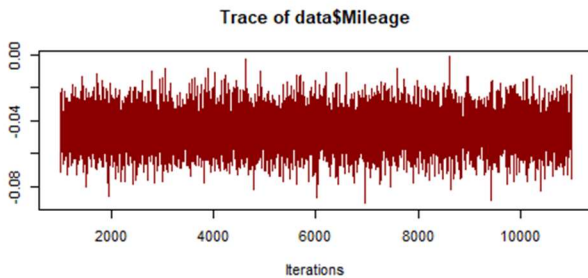
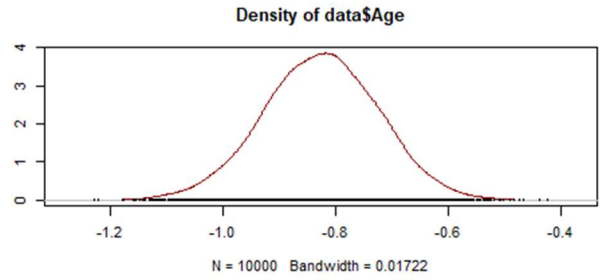
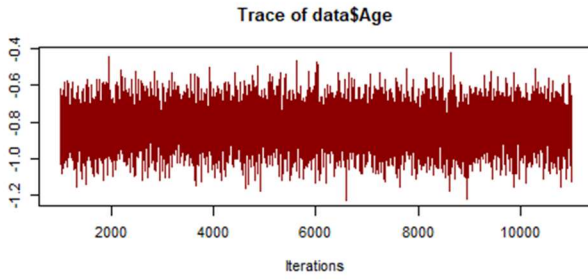
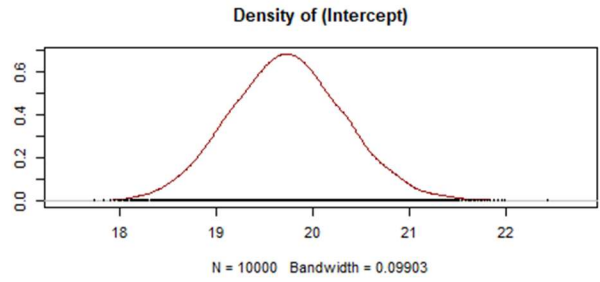
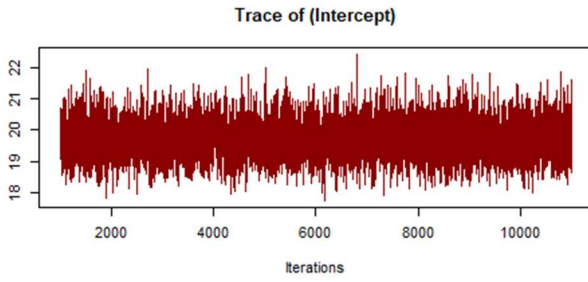
Buna göre elde edilen Tobit modeli,

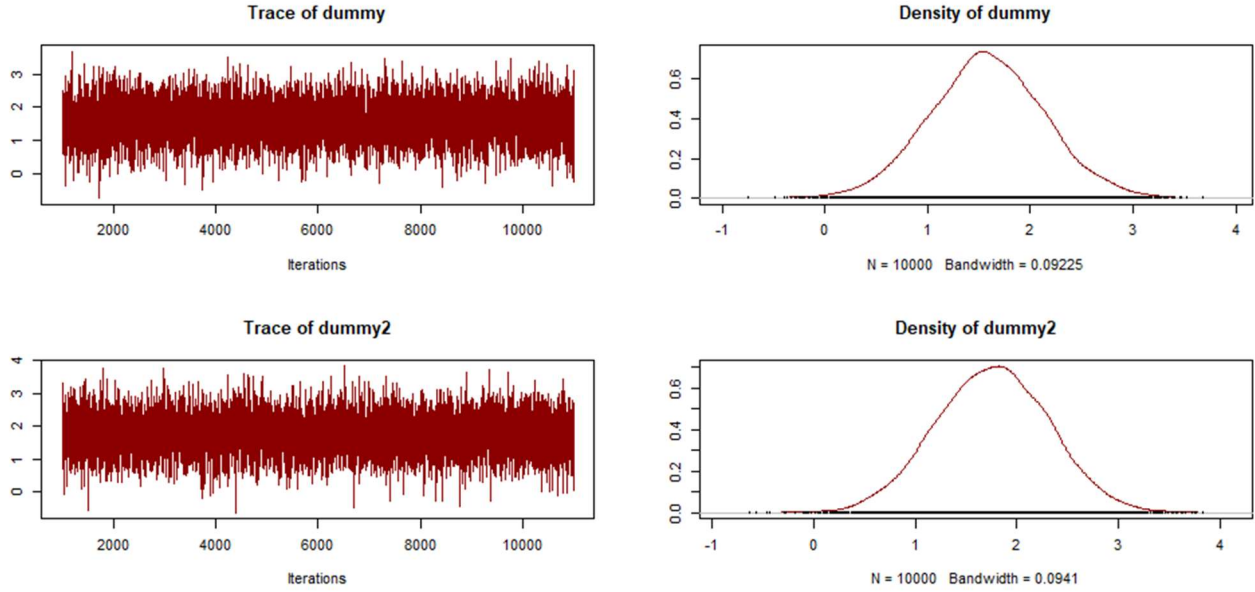
$$\begin{aligned} \text{Fiyat} = & 19.6605 + 1.76300 \times \text{Marka}(\text{Maxsima}) \\ & + 1.57382 \times \text{Marka}(\text{Accord}) \\ & - 0.82278 \times \text{Yaş} - 0.04511 \\ & \times \text{Kilometre} \end{aligned}$$

biçimindedir. Otomobilin fiyatını belirlemede kullanılan otomobil yaşı, kilometresi ve markası değişkenlerinin tümü önemlidir. Modele göre, diğer değişkenler sabit tutulduğunda otomobilin yaşındaki bir birim artış otomobilin fiyatında 0.82278 (bin\$) lik azalışa sebep olur, diğer değişkenler sabit tutulduğunda otomobilin

kilometresindeki bir birim artış otomobilin fiyatında 0.04511 (bin\$) lik azalışa sebep olur.

Otomobil markaları, üç düzeyi bulunan nitel bir değişkendir ve nicel değişkenlere göre yorumu farklıdır. Çalışmada Mazda6 değişkeni temel düzey olarak alınmıştır. Bu da nitel değişken yorumu sırasında kolaylık sağlar. Modele göre, otomobil markaları değişkeninin düzeylerinden biri olan Maxima düzeyinin katsayısı 1.76300 dür. Tüm değişkenler sabit tutulduğunda bir Maxima marka otomobilin fiyatı Mazda6 marka otomobilin fiyatından 1.76300 (bin\$) (19.6605+1.76300=21.4238) daha fazladır. Modele göre, otomobil markaları değişkeninin diğer düzeyi Accord düzeyinin katsayısı ise 1.57382 dür. Tüm değişkenler sabit tutulduğunda bir Accord marka otomobilin fiyatı Mazda6 marka otomobilin fiyatından 1.57382 (bin\$) (19.6605+1.57382=21.23432) daha fazladır. Bayesci yöntemle elde edilen parametrelere ilişkin iz ve sonsal yoğunluk grafikleri şekil 3'teki gibidir.





Şekil 3. Parametreler için iz ve sonsal yoğunluk grafikleri
Figure 3. Trace and posterior density plots for parameters

Şekil 3'te görülen iz grafiklerine bakıldığında örnekleme geniş bir aralıkta değerler çekerek belli bir ortalama etrafında gezindiği görülmektedir. Parametrelere ilişkin sonsal dağılımlara bakıldığında normal dağılıma yakınsadığı görülmektedir.

6. Tartışma ve sonuçlar

6. Discussion and results

Bu çalışmada, ilk olarak Tobin' in probit model üzerinde çalışarak geliştirmiş olduğu Tobit modelden genel olarak bahsedilmiştir. Bu modele ait olabilirlik fonksiyonu verilmiş ve bu olabilirlik fonksiyonu kullanılarak parametrelere ilişkin en çok olabilirlik tahmin edicilerinin elde edilişi anlatılmıştır. Daha sonra Tobit modeline Bayesci yaklaşım adımları verilmiştir. Bu adımlara göre, sonsal dağılım analitik olarak elde edilemediği için, sonsal dağılımdan örneklem çekme esasına dayanan simülasyon yöntemlerine ihtiyaç duyulmuştur. Bu yöntemler MCMC yöntemleri olarak bilinir. Çalışmada MCMC yöntemlerinden Gibbs örnekleme algoritması anlatılmıştır.

Simülasyon çalışması için Matlab programında Normal dağılımdan üretilen sayılar kullanılarak parametre tahminleri ve güven aralıkları bulunmuştur. Sonuçlar hem klasik hem de Bayesci yaklaşımla Tobit modeli kullanılarak elde edilmiştir. Simülasyon sonuçlarından, Bayesci yaklaşım kullanılarak elde edilen güvenilir aralıkların klasik yöntemle elde edilen güven aralıklarına göre daha dar olduğu görülmüştür.

Simülasyon çalışmasından sonra internet üzerinden çekilmiş olan gerçek veriler için hem klasik hem de Bayesci yöntem kullanılarak Tobit modeli için sonuçlar elde edilmiştir. Bu sonuçlara göre Bayesci yaklaşımda bulunan güven aralıkları klasik yöntemle elde edilen güven aralıklarından daha dardır.

Simülasyon ve gerçek veri sonuçlarına göre, Bayesci yaklaşım ile elde edilen tahmin sonuçları klasik yöntemle elde edilen tahmin sonuçlarına oldukça yakındır. Bayesci yöntemle elde edilen güvenilir aralıklar klasik yöntemle elde edilen güven aralıklarına göre daha dar bir aralığa sahiptir. Bu sonuçlara göre, Bayesci Tobit modeli yaklaşımının klasik Tobit modeline alternatif olarak kullanılabilceği söylenebilir.

Yazar katkısı

Author contribution

Yazarlar eşit katkıya sahiptir.

Etik beyanı

Declaration of ethical code

Çalışmanın hazırlanmasında ve yayın sürecinde hiçbir etik kural ihlali yapılmadığını kabul ve beyan ederiz.

Çıkar çatışması beyanı

Conflicts of interest

Yazarlar arasında çıkar çatışması yoktur.

Kaynaklar**References**

- Abbas, H. K., & Thaher, R. J. (2019). Bayesian adaptive lasso tobit regression. *Journal of AL-Qadisiyah for Computer Science and Mathematics*, 11(1), 1-10, <https://doi.org/10.29304/jqcm.2019.11.1.471>
- Adarabioyo, I., & Awe, O. O. (2020). Application of bayesian tobit regression to global radiation, 2020 International Conference in Mathematics, Computer Engineering and Computer Science (ICMCECS). <https://doi.org/10.1109/ICMCECS47690.2020.240848>
- Alhamzawi, R., & Ali, H.T.M. (2018). Bayesian tobit quantile regression with $L_{\frac{1}{2}}$ penalty, *Communications in Statistics - Simulation and Computation*, 47(6), 1739-1750. <https://doi.org/10.1080/03610918.2017.1323224>
- Austin, P. C., Escobar, M., & Kopec, A. J. (2000). The use of tobit model for analyzing measures of health status. *Quality of Life Research*, 901-910
- Austin, P. C. (2002). Bayesian extensions of the tobit model for analyzing measures of health status. *Medical Decision Making*, 22(2), 152-162. <https://doi.org/10.1177/0272989X0202200212>
- Baba, V.V. (1990). Methodological issue in modeling absence: a comparison of least squares and tobit analyses. *Journal of Applied Psychology*, 75(4), 428-432. <https://doi.org/10.1037/0021-9010.75.4.428>
- Bilir, K.B.Ö. (2016). *Bayesyen markov zinciri monte carlo simülasyonu*. Doktora Tezi, Uludağ Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Chib, S. (1992). Bayes inference in the tobit censored regression model, *Journal of Econometrics*, 51(1-2), 79-99. [https://doi.org/10.1016/0304-4076\(92\)90030-U](https://doi.org/10.1016/0304-4076(92)90030-U)
- Dagenais, G.M. (1975). Application of a threshold regression model to household purchases of automobiles. *The Review of Economics and Statistics*, 57(3), 275-285
- Dagne, G., & Huang, Y. (2012). Bayesian inference for a nonlinear mixed-effects tobit model with multivariate skew-T distributions: application to AIDS studies. *Int J Biostat*, 8(1). <https://doi.org/10.1515/1557-4679.1387>
- Ekici, O. (2005). *Bayesyen regresyon ve winBUGS ile bir uygulama*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Emeç, H. (2016). Türkiye’de bölgelerarası tüketim harcamaları tobit model yaklaşımı, *Dokuz Eylül Üniversitesi İktisadi İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 16, (2), <http://hdl.handle.net/20.500.12397/1600>
- Emir, B. (2016). *Standart tobit regresyon modelinde kullanılan parametre tahmin yöntemlerinin karşılaştırılması*. Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü.
- Eren, M. (2012). *Sınırlı bağımlı değişkenli modeller ve ülkelerin gelişmişlik düzeyleri üzerine uygulama*. Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Gamerman, D., & Lopes, H. F. (2006). *Markov chain monte carlo stochastic simulation for bayesian inference* (Second Edition), Chapman&Hall/CRC, London.
- Geman, S., & Geman, D. (1984). Stochastic relaxation, gibbs distributions and the bayesian restoration of images. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 6, (6), 721-741.
- Gelfand, A.E., & Smith, A. F. M. (1990). Sampling-based approaches to calculating marginal densities. *Journal of the American Statistical Association*, 85, 398-409.
- Gilks, W. R., Richardson, S., & Spiegelhalter, D. J. (1996). *Markov chain monte carlo in practice*, London.
- GitHub veri setleri. (2020, 16 Haziran). <https://vincentarelbundock.github.io/Rdatasets/datasets.html>
- Güneş, C., Üçdoğruk, Ş., & Saygın, Ö. (2016). Türkiye’de evli kadının çalışma saati üzerine tobit model uygulaması. *Eurasian Academy of Sciences Social Sciences Journal*, 8, 95-109, <http://doi.org/10.17740/eas.soc.2016.V8-05>
- Koç, Ş., & Şahin, M. (2018). Tobit model ve bir uygulama. *KSÜ Tarım ve Doğa Dergisi*, 21(1), 73-80. <https://doi.org/10.18016/ksudobil.285929>
- Leiker, A. (2012). *A comparison study on the estimation in tobit regression models*. Master of Science Kansas State University Department of Statistics College of Arts and Science, ABD.
- Link, W.A., & Barker, R. J. (2010). *Bayesian inference with ecological applications*, USA.
- Maddala, G.S. (1992). *Econometrics* (Second Edition), Macmillian Publishing Company, New York.
- Olsen, R.J. (1978). Note on the uniqueness of the maximum likelihood estimator for the tobit

- model. *Journal of Econometric*, 46(5), 1211-1215.
- Polasek, W., & Krause, A. (1994). The hierarchical tobit model: a case study in bayesian computing, *OR Spektrum*, 16, 145-154.
- Tobin, J. (1978). Estimation of relationships for limited dependent variables, *Journal of Econometrica*, 26, (1), 24-36.
- Üçdoğruk, Ş., Akın, F., & Emeç, H. (2001). Türkiye hane halkı eğlence kültür harcamalarında tobit modelin kullanımı. *Gazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 13-26.
- Walsh, B. (2004). Markov chain monte carlo and gibbs sampling. <http://nitro.biosci.arizona.edu/courses/EEB519A-2007/pdfs/Gibbs.pdf>.
- Zellner, A., & Rossi, E.P. (1984). Bayesian analysis of dichotomous quantal response models. *Journal of Econometrics*, 365-393.
- Zhou, X. (2007). *Semiparametric and nonparametric estimation of tobit models*. Doctoral Dissertation, Hong Kong University of Science and Technology.

Comparison of a random model of Hand-Foot-Mouth Disease model with Gaussian and Laplacian parameters

Bir rastgele El-Ayak-Ağız Hastalığı modelinin Normal ve Laplace dağılımına sahip parametrelerle karşılaştırılması

Zafer BEKIRYAZICI*^{1,a}, Saime HASIMOĞLU^{2,b}

¹Recep Tayyip Erdogan University, Faculty of Arts and Sciences, Department of Mathematics, 53100, Rize, Turkey

²Ministry of National Education, Tatvan Atatürk Anatolian High School, 13200, Bitlis, Turkey

• Geliş tarihi / Received: 24.07.2021

• Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 19.11.2021

• Kabul tarihi / Accepted: 24.11.2021

Abstract

In this study, we investigate the transmission dynamics of Hand-Foot-Mouth disease (HFMD) using a differential equation system with random parameters. We transform the parameters of the existing deterministic model into random variables with Normal and Laplace distributions. Using the results from the simulations of the random model, we analyze the changes in the compartments of the total population. The random model, unlike the deterministic system, enables the analysis of the variations in the transmission dynamics of the disease. Finally, the randomness of the system is interpreted through the comparison of the results from the deterministic and random models.

Keywords: Hand-Foot-Mouth Disease, Laplace distribution, Normal distribution, Random differential equation, Simulation

Öz

Bu çalışmada, El-Ayak-Ağız Hastalığının yayılım dinamikleri bir diferansiyel denklem sistemi ve rastgele parametreler kullanarak incelenmektedir. Var olan deterministik modelin parametreleri Normal dağılım ve Laplace dağılımına sahip rastgele değişkenler haline getirilmektedir. Rastgele modelin simülasyonlarından elde edilen sonuçlarla toplam nüfusun kompartmanlarındaki değişimler analiz edilmektedir. Rastgele model, deterministik sistemin aksine, hastalığın yayılım dinamiklerindeki varyasyonların analizine imkan sağlamaktadır. Son olarak, sistemin rastgele yapısı deterministik ve rastgele sonuçların karşılaştırılması ile yorumlanmaktadır.

Anahtar kelimeler: El-Ayak-Ağız Hastalığı, Laplace dağılımı, Normal dağılım, Rastgele diferansiyel denklem, Simülasyon

*^a Zafer BEKIRYAZICI; zafer.bekiryazici@erdogan.edu.tr, orcid.org/0000-0001-5671-9995

^b orcid.org/0000-0003-3147-7816

1. Introduction

1. Giriş

Compartmental models date back to the pioneering study of W. O. Kermack and A. G. McKendrick in 1927. The SIR model divides the population into three compartments, namely Susceptible, Infected and Recovered elements and monitors the course of the disease through the changes in these compartments. Diseases such as Hepatitis C, Ebola and etc. have been modeled through SIR-based models containing additional compartments and parameters (Merdan et al., 2017; Merdan et al., 2018). One of the diseases that have been modeled using compartmental models is the Hand-Foot-Mouth disease (HFMD).

Hand-Foot-Mouth disease is an infectious disease that is often seen in children. However, adults can also be affected from the disease. Although the disease is mild in most cases, severe symptoms may occur in some cases (World Health Organization, n.d.). Hence, the disease has been studied in detail by researchers, including mathematical modeling studies. Some of the recent modeling studies on HFMD can be listed as follows. Chen et al. have modeled the transmissibility of the disease by using a SIR-based dynamic model and data from China (Chen et al., 2019). Phonchan and Naowarat have made a sensitivity analysis in a SEIQR type model (Phonchan and Naowarat, 2019). Luo et al. have used the SIR model to analyze the interaction of main pathogens that cause HFMD (Luo et al., 2020). Dai et al. have analyzed the spread of the disease in Wenzhou, China using a SEIQRN type model (Dai et al., 2019). Liao et al. have analyzed the spread of the disease between genders with SIR type models for the men and women populations (Liao et al., 2019). Huang et al. have investigated the seasonality of the disease transmission for HFMD using a SEIAR type model (Huang et al., 2019). Chadsuthi and Wichapeng have analyzed the transmission in contaminated environments in Bangkok, Thailand (Chadsuthi and Wichapeng, 2018). Tan and Cao have used a SEIVT type compartmental model to analyze the transmission dynamics of HFMD (Tan and Cao, 2018). Li et al. have used a SEILR type model to investigate the transmission of the disease in mainland China (Li et al., 2019). Pongsumpun and Wongvanich have used SEIR type models for children and grown-ups to model the disease transmission in Thailand (Pongsumpun and Wongvanich, 2018). Shi and Lu have used SEIIRW type model with fractional derivatives to analyze the disease spread (Shi and Lu, 2020). Thus, it is seen that most of the recent

models on the transmission of HFMD are SIR and SEIR based compartmental models. Modifications of the SIR model like SEIR model, which contains an extra compartment for exposed individuals, are frequently used modeling various disease transmission dynamics.

In this study, we will use a SEIVT-type compartmental model given by Tan and Cao to analyze the transmission dynamics of HFMD under random effects (Tan and Cao, 2018). The original study is a deterministic study. The system is a SEIR-type based compartmental model with an additional compartment for vaccinated individuals. In our study, we transform the parameters of the deterministic model into random variables to analyze the random transmission dynamics of HFMD. The deterministic model assumes that the parameters are constant quantities, whereas the disease dynamics represented with the parameters can be random in nature. Hence, we will use a random differential equation system to represent this randomness. The motivation of this study is the previous literature on random modeling of several diseases (Merdan et al., 2017; Merdan et al., 2018). Laplace and Normal (Gauss) distributions will be used for the distributions of the random parameters. These two distributions have similar properties, such as being continuous and symmetrical around the mean. The comparison of results from these two distributions and the deterministic case will provide useful insights into the random dynamics of HFMD transmission.

2. The deterministic model of HFMD transmission

2. El Ayak Ağız hastalığının yayılımının deterministik modeli

The compartmental model given by Tan and Cao in 2018 consists of five compartments that divide the total population $N(t)$ (Tan and Cao, 2018).

$$\begin{aligned} \frac{dS(t)}{dt} &= (1-p)b - \beta S(t)I(t) - (\mu + \omega)S(t) + \eta_1 V(t) + \eta_2 T(t), \\ \frac{dE(t)}{dt} &= \beta S(t)I(t) - (\mu + \alpha)E(t), \\ \frac{dI(t)}{dt} &= \alpha E(t) - (\mu + d + \gamma)I(t), \\ \frac{dV(t)}{dt} &= pb - (\mu + \omega + \eta_1)V(t), \\ \frac{dT(t)}{dt} &= \gamma I(t) - (\mu + \omega + \eta_2)T(t). \end{aligned} \quad (1)$$

Here, $S(t)$ denotes the susceptible population, $E(t)$ denotes the exposed population, $I(t)$ denotes the total infected population, $V(t)$ denotes the vaccinated population and $T(t)$ denotes the recovered population. t is the time variable which denotes the number of days. The deterministic

differential equation system (1) shows the changes in the compartments S, E, I, V, T in time. The parameters of the equation system, their descriptions and numerical values are given in Table 1.

Table 1. The parameters of (1) along with their descriptions and numerical values
Tablo 1. (1) modelinin parametreleri, tanımları ve sayısal değerleri

Parameter	Description	Value
b	birth rate	2
p	vaccine rate	0.5
β	transmission coefficient	0.04
μ	natural death rate	0.0017
α	progression from latent to infectious	1.75
d	disease induced death rate	0.0034
γ	treatment rate	0.4
ω	removal rate of population	0.125
η_1	loss of immunity rate of vaccinated	0.5
η_2	loss of immunity rate of recovered	0.2

The initial values of system (1) are given as $(S(0), E(0), I(0), V(0), T(0)) = (2, 0.7, 0.2, 0.1, 1) \times 10^3$. This set of initial values simulates a population of 2000 susceptible, 700 exposed, 200 infected, 100 vaccinated and 1000 recovered people. The numerical values of the parameters and the initial values have been obtained from the referred study (Tan and Cao, 2018).

3. Random models

3. Rastgele modeller

The deterministic model (1) will be transformed into a system of random differential equations through the use of random parameters with Normal and Laplace distributions. The random parameters with Normal distribution are introduced as follows

$$\begin{aligned}
 b^* &= b + s_1 Z_1, \quad p^* = p + s_2 Z_2, \quad \beta^* = \beta + s_3 Z_3, \quad \mu^* = \mu + s_4 Z_4, \quad \omega^* = \omega + s_5 Z_5, \\
 \eta_1^* &= \eta_1 + s_6 Z_6, \quad \eta_2^* = \eta_2 + s_7 Z_7, \quad \alpha^* = \alpha + s_8 Z_8, \quad d^* = d + s_9 Z_9, \quad \gamma^* = \gamma + s_{10} Z_{10},
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

where $b, p, \beta, \mu, \omega, \eta_1, \eta_2, \alpha, d, \gamma$ are the deterministic values of the parameters given in Table 1, $s_i, i = \overline{1,10}$ are the standard deviations of the random parameters and $Z_i, i = \overline{1,10}$ are independent standard Normally distributed random variables. The standard deviations of the random

parameters are assumed to be 5% of their deterministic values for this study. Hence, if the random variables (2) are implemented in the system (1), we obtain the first random model with Normally distributed random effects.

$$\frac{dS(t)}{dt} = (1 - (0.5 + 0.025Z_2))(2 + 0.1Z_1) - (0.04 + 0.002Z_3)S(t)I(t) - ((0.0017 + 0.000085Z_4) + (0.125 + 0.00625Z_5))S(t) + (0.5 + 0.025Z_6)V(t) + (0.2 + 0.01Z_7)T(t),
 \tag{3}$$

$$\frac{dE(t)}{dt} = (0.04 + 0.002Z_3)S(t)I(t) - ((0.0017 + 0.000085Z_4) + (1.75 + 0.0875Z_8))E(t),$$

$$\frac{dI(t)}{dt} = (1.75 + 0.0875Z_8)E(t) - ((0.0017 + 0.000085Z_4) + (0.0034 + 0.00017Z_9) + (0.4 + 0.02Z_{10}))I(t),$$

$$\frac{dV(t)}{dt} = (0.5 + 0.025Z_2)(2 + 0.1Z_1) - ((0.0017 + 0.000085Z_4) + (0.125 + 0.00625Z_5) + (0.5 + 0.025Z_6))V(t),$$

$$\frac{dT(t)}{dt} = (0.4 + 0.02Z_{10})I(t) - ((0.0017 + 0.000085Z_4) + (0.125 + 0.00625Z_5) + (0.2 + 0.01Z_7))T(t).$$

In order to obtain a realistic comparison of the cases with Normal and Laplacian random effects, we need to calibrate the Laplacian parameters so that both cases have similar expected values and standard distributions. Firstly, we give the probability density functions of these distributions as an introduction. A random variable X has Normal (Gaussian) distribution if it has the probability density function

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left\{-\frac{1}{2} \frac{(x-\mu)^2}{\sigma^2}\right\}, x \in \mathbb{R}. \quad (4)$$

In this case, the random variable has the expected value $E(X) = \mu$ and the variance $Var(X) = \sigma^2$. Standard normal distribution is a special case of Normal distribution where $E(X) = 0$ and $Var(X) = 1$. Similarly, a random variable X has Laplace distribution if it has the probability density function (PDF) (Forbes et al, 2011)

$$f(x) = \frac{1}{2b} \exp\left\{-\frac{|x-a|}{b}\right\}, x \in \mathbb{R}. \quad (5)$$

In the case for Laplace distribution, the random variable has the expected value $E(X) = a$ and the variance $Var(X) = 2b^2$. The standard Laplace

The random parameters with Laplace distribution are introduced as follows

$$b^{**} = b + t_1L_1, \quad p^{**} = p + t_2L_2, \quad \beta^{**} = \beta + t_3L_3, \quad \mu^{**} = \mu + t_4L_4, \quad \omega^{**} = \omega + t_5L_5, \quad (6)$$

$$\eta_1^{**} = \eta_1 + t_6L_6, \quad \eta_2^{**} = \eta_2 + t_7L_7, \quad \alpha^{**} = \alpha + t_8L_8, \quad d^{**} = d + t_9L_9, \quad \gamma^{**} = \gamma + t_{10}L_{10},$$

where $b, p, \beta, \mu, \omega, \eta_1, \eta_2, \alpha, d, \gamma$ are again the deterministic values of the parameters whereas $t_i, i = \overline{1,10}$ are the standard deviations of the random parameters and $L_i, i = \overline{1,10}$ are independent standard Laplacian random variables. The standard deviations of the parameters

distribution is a special case of Laplace distribution where $E(X) = 0$ and $Var(X) = 2$. The standard cases of the probability density functions (4) and (5) have been plotted below for a visual comparison (Figure 1).

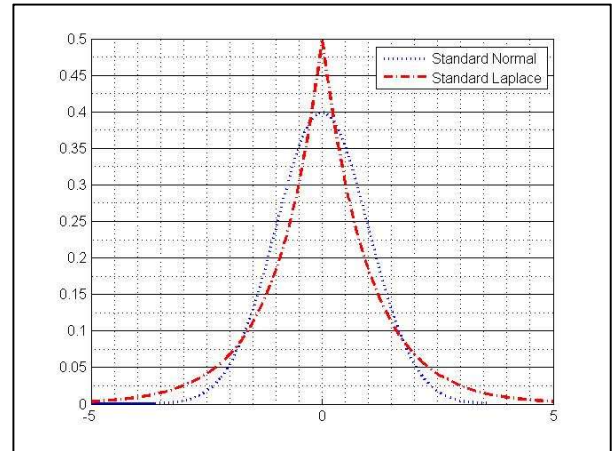


Figure 1. PDF for standard Laplace and standard normal distributions

Şekil 1. Standart Laplace ve standart Normal dağılımların olasılık yoğunluk fonksiyonları

$b^{**}, p^{**}, \beta^{**}, \mu^{**}, \omega^{**}, \eta_1^{**}, \eta_2^{**}, \alpha^{**}, d^{**}, \gamma^{**}$ are introduced as follows so that they have the same standard deviation as $b^*, p^*, \beta^*, \mu^*, \omega^*, \eta_1^*, \eta_2^*, \alpha^*, d^*, \gamma^*$

$$t_i = \frac{s_i\sqrt{2}}{2}, i = \overline{1,10}. \quad (7)$$

Using these t_i , the random model with Laplacian random effects are obtained as follows:

$$\frac{dS(t)}{dt} = \left(1 - \left(0.5 + \frac{5\sqrt{2}}{200} \times 0.5L_2\right)\right) \left(2 + \frac{5\sqrt{2}}{200} \times 2L_1\right) - \left(0.04 + \frac{5\sqrt{2}}{200} \times 0.04L_3\right) S(t)I(t) - \left(\left(0.0017 + \frac{5\sqrt{2}}{200} \times 0.0017L_4\right) + \left(0.125 + \frac{5\sqrt{2}}{200} \times 0.125L_5\right)\right) S(t) + \left(0.5 + \frac{5\sqrt{2}}{200} \times 0.5L_6\right) V(t) + \left(0.2 + \frac{5\sqrt{2}}{200} \times 0.2L_7\right) T(t),$$

$$\frac{dE(t)}{dt} = \left(0.04 + \frac{5\sqrt{2}}{200} \times 0.04L_3\right) S(t)I(t) - \left(\left(0.0017 + \frac{5\sqrt{2}}{200} \times 0.0017L_4\right) + \left(1.75 + \frac{5\sqrt{2}}{200} \times 1.75L_8\right)\right) E(t),$$

$$\frac{dI(t)}{dt} = \left(1.75 + \frac{5\sqrt{2}}{200} \times 1.75L_8\right) E(t) - \left(\left(0.0017 + \frac{5\sqrt{2}}{200} \times 0.0017L_4\right) + \left(0.0034 + \frac{5\sqrt{2}}{200} \times 0.0034L_9\right) + \left(0.4 + \frac{5\sqrt{2}}{200} \times 0.4L_{10}\right)\right) I(t), \quad (8)$$

$$\frac{dV(t)}{dt} = \left(0.5 + \frac{5\sqrt{2}}{200} \times 0.5L_2\right) \left(2 + \frac{5\sqrt{2}}{200} \times 2L_1\right) - \left(\left(0.0017 + \frac{5\sqrt{2}}{200} \times 0.0017L_4\right) + \left(0.125 + \frac{5\sqrt{2}}{200} \times 0.125L_5\right) + \left(0.5 + \frac{5\sqrt{2}}{200} \times 0.5L_6\right)\right) V(t),$$

$$\frac{dT(t)}{dt} = \left(0.4 + \frac{5\sqrt{2}}{200} \times 0.4L_{10}\right) I(t) - \left(\left(0.0017 + \frac{5\sqrt{2}}{200} \times 0.0017L_4\right) + \left(0.125 + \frac{5\sqrt{2}}{200} \times 0.125L_5\right) + \left(0.2 + \frac{5\sqrt{2}}{200} \times 0.2L_7\right)\right) T(t).$$

4. Simulation results

4. Simülasyon sonuçları

The deterministic model (1) has been simulated using the parameter values given in Table 1 and the initial conditions $(S(0), E(0), I(0), V(0), T(0)) = (2,0.7,0.2,0.1,1) \times 10^3$. The results are shown in the figure below (Figure 2).

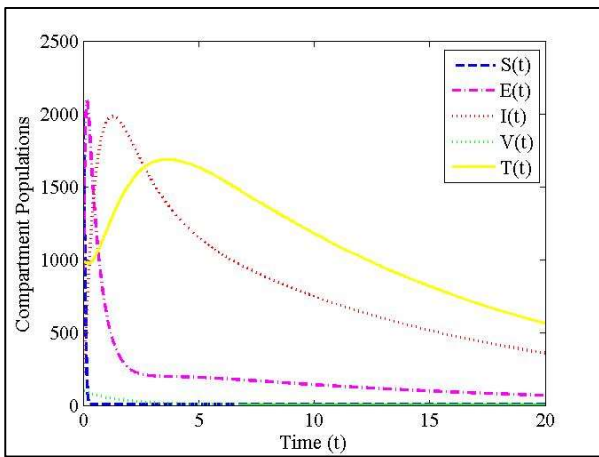


Figure 2. Deterministic results for model (1)
Şekil 2. (1) modelinin deterministik sonuçları

The results suggest that the number of susceptible people will assume the minimum value 3.404 at $t = 0.95$ while the maximum value 2000 will be obtained at $t = 0$. The number of exposed people will vary between the minimum value 67.71 obtained at $t = 20$ and the maximum value 2097 obtained at $t = 0.17$. The number of infected people will obtain the minimum value 200 at $t = 0$ and the maximum value 1987 at $t = 1.24$. The number of vaccinated people will obtain the minimum value 1.596 at $t = 20$ and the maximum value 100 at $t = 0$. Lastly, the number of

recovered people will assume the minimum value 564.4 at $t = 20$ and the maximum value 1690 at $t = 3.58$.

4.1. Simulation results for Normal parameters

4.1. Normal dağılıma sahip parametreler için simülasyon sonuçları

The random model (3) containing the random parameters (2) with normal distribution has been simulated 5×10^4 times in MATLAB and the following numerical characteristics have been obtained. The minimum and maximum values for the expectations of the model (3) have been given in the following table (Table 2). Additionally, the graphs of the expectations have been given in the figure below (Figure 3).

Table 2. The extremum values for the expectations with Normal parameters

Tablo 2. Normal dağılıma sahip parametrelerle beklenen değerlerin uç değerleri

	Minimum (Time)	Maximum (Time)
$E(S(t))$	3.414 (0.94)	2000 (0)
$E(E(t))$	68.05 (20)	2094 (0.17)
$E(I(t))$	200 (0)	1985 (1.28)
$E(V(t))$	1.597 (20)	100 (0)
$E(T(t))$	565.5 (20)	1688 (3.6)

The comparison between the deterministic results given above and the extremum values for the expected values given in Table 2 show the similarity of the results for both cases. It is obvious from this comparison that the random model (3) with Normally distributed random effects is perfectly capable of modeling the disease transmission dynamics for Hand-Foot-Mouth disease (HFMD).

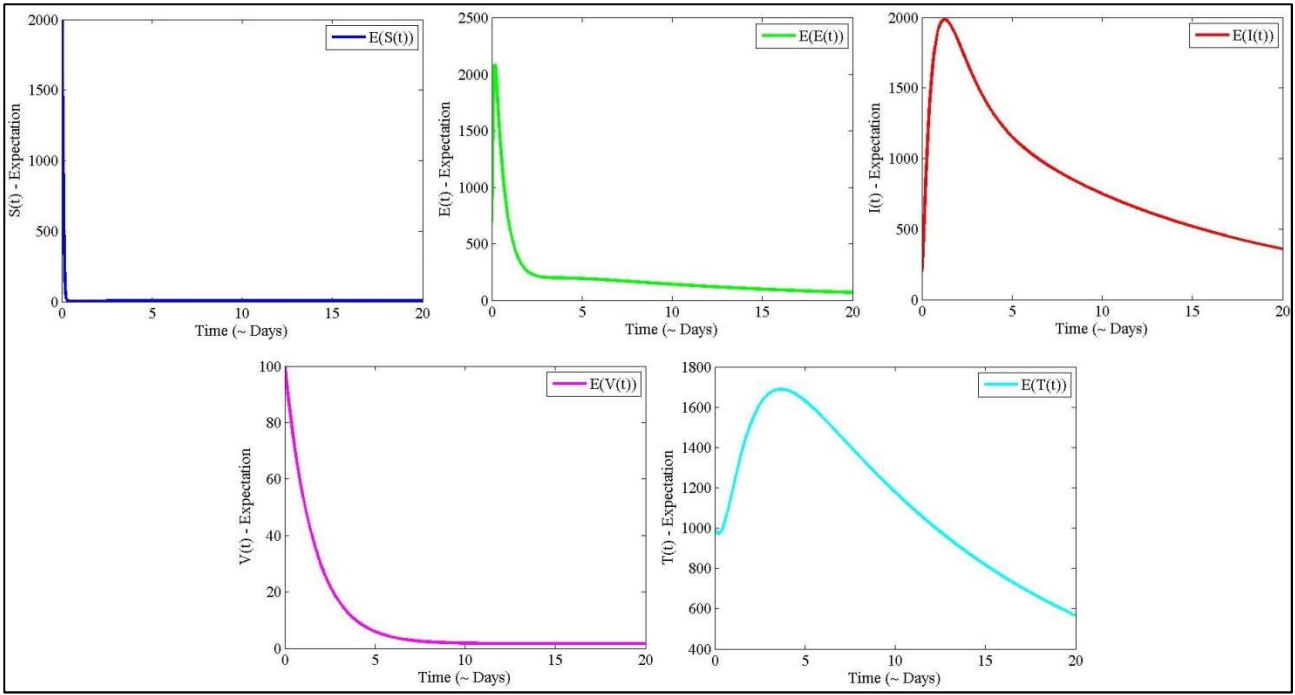


Figure 3. Expected values for model (3)
Şekil 3. (3) modeli için beklenen değerler

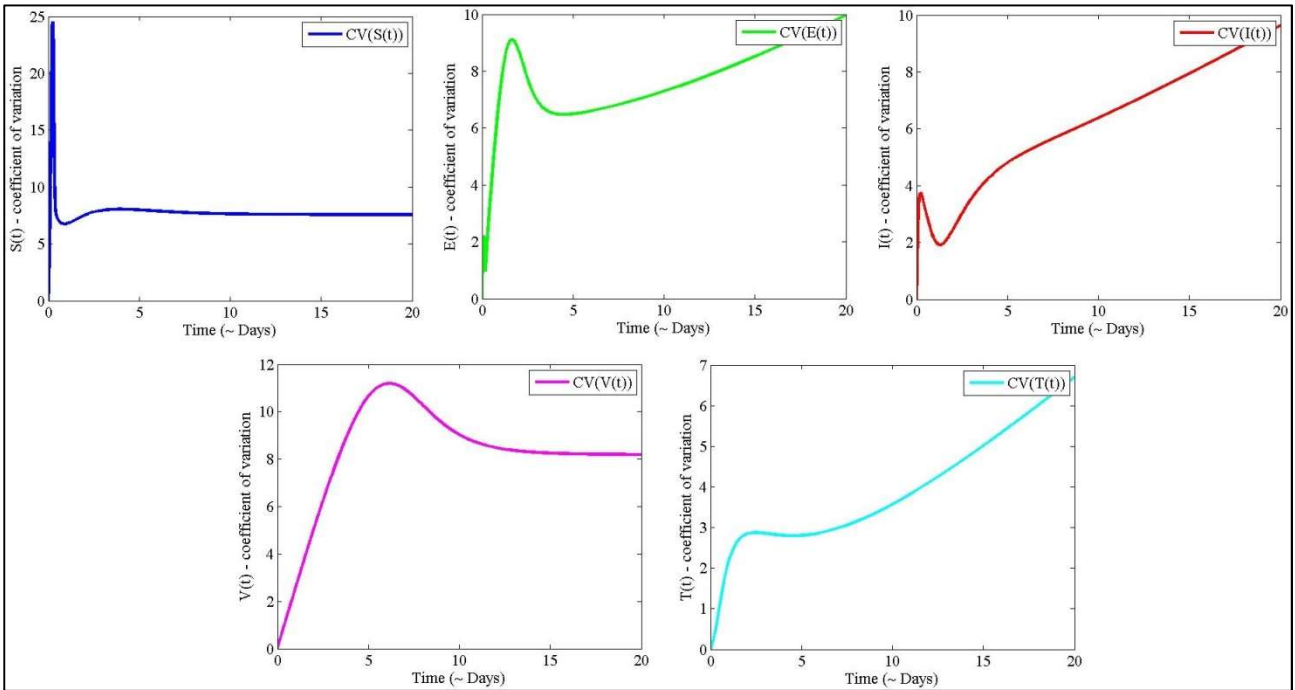


Figure 4. Coefficients of variation for model (3)
Şekil 4. (3) modeli için değişim katsayıları

The results for the coefficients of variation are given as below (Table 3 and Figure 4).

Table 3. The minimum and maximum values for the coefficients of variation

Tablo 3. Değişim katsayıları için minimum ve maksimum değerler

	Minimum (Time)	Maximum (Time)
$CV(S(t))$	0 (0)	24.55 (0.24)
$CV(E(t))$	0 (0)	9.975 (20)
$CV(I(t))$	0 (0)	9.634 (20)
$CV(V(t))$	0 (0)	11.19 (6.01)
$CV(T(t))$	0 (0)	6.693 (20)

Note that the coefficient of variation is given as $100 \times (Standard\ Deviation)/(Expected\ Value)$. The results for the confidence intervals of the expectations are given below (Figure 5). Here, three standard deviations are used to obtain the confidence intervals and the dashed line shows the upper end of the confidence interval whereas the dash-dot lines are the lower ends of the interval. The extremum values within the confidence intervals are given in the table below (Table 4).

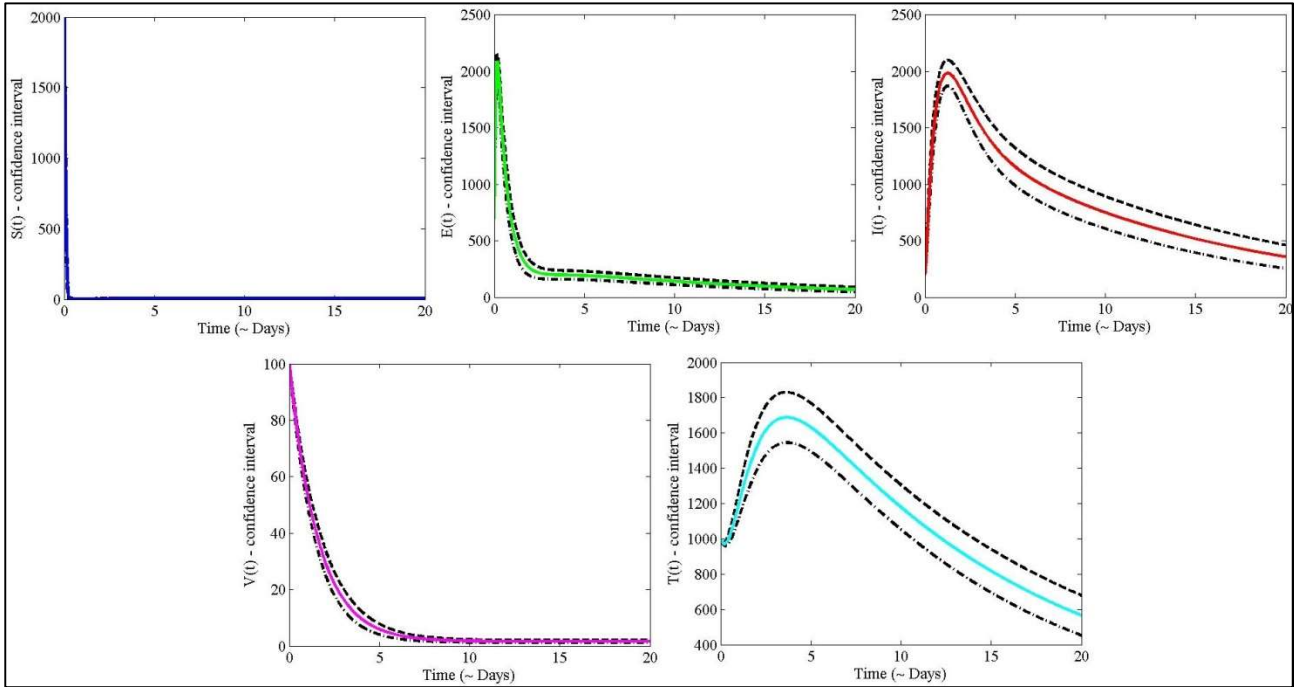


Figure 5. Confidence intervals for the expectations of model (3)

Şekil 5. (3) modelinin beklenen değerleri için güven aralıkları

Table 4. The extremum values for the expectations within confidence intervals

Tablo 4. Beklenen değerlerin güven aralıkları içindeki uç değerleri

	Minimum (Time)	Maximum (Time)
$E(S(t)) \pm 3std(S(t))$	2.722 (0.95)	2000 (0)
$E(E(t)) \pm 3std(E(t))$	47.68 (20)	2156 (0.17)
$E(I(t)) \pm 3std(I(t))$	200 (0)	2099 (1.23)
$E(V(t)) \pm 3std(V(t))$	1.205 (16.95)	100 (0)
$E(T(t)) \pm 3std(T(t))$	452 (20)	1831 (3.54)

4.2. Simulation results for Laplacian parameters

4.2. Laplace dağılımına sahip parametreler için simülasyon sonuçları

The random model (8) contains Laplacian parameters that have been calibrated to have

similar expected values and variances to the case with Normal parameters. The model has been simulated in MATLAB 5×10^4 times. The minimum and maximum values obtained for the expected values of the compartments have been given in Table 5.

Table 5. The minimum and maximum values for the expectations with Laplacian parameters
Tablo 5. Laplace dağılımına sahip parametrelerle beklenen değerlerin minimum ve maksimum değerleri

	Minimum (Time)	Maximum (Time)
$E(S(t))$	3.414 (0.93)	2000 (0)
$E(E(t))$	68.1 (20)	2094 (0.17)
$E(I(t))$	200 (0)	1985 (1.25)
$E(V(t))$	1.598 (20)	100 (0)
$E(T(t))$	565.9 (20)	1688 (3.5)

It can be seen that the results for the extremum values are obtained similarly to the results for the case with Normal parameters. The similarity between the results of the case with Laplacian and Normal parameters can also be seen in the figure below (Figure 6). The results show that the random behaviors of the compartments with Laplacian random effects are in correspondence to the deterministic results as well.

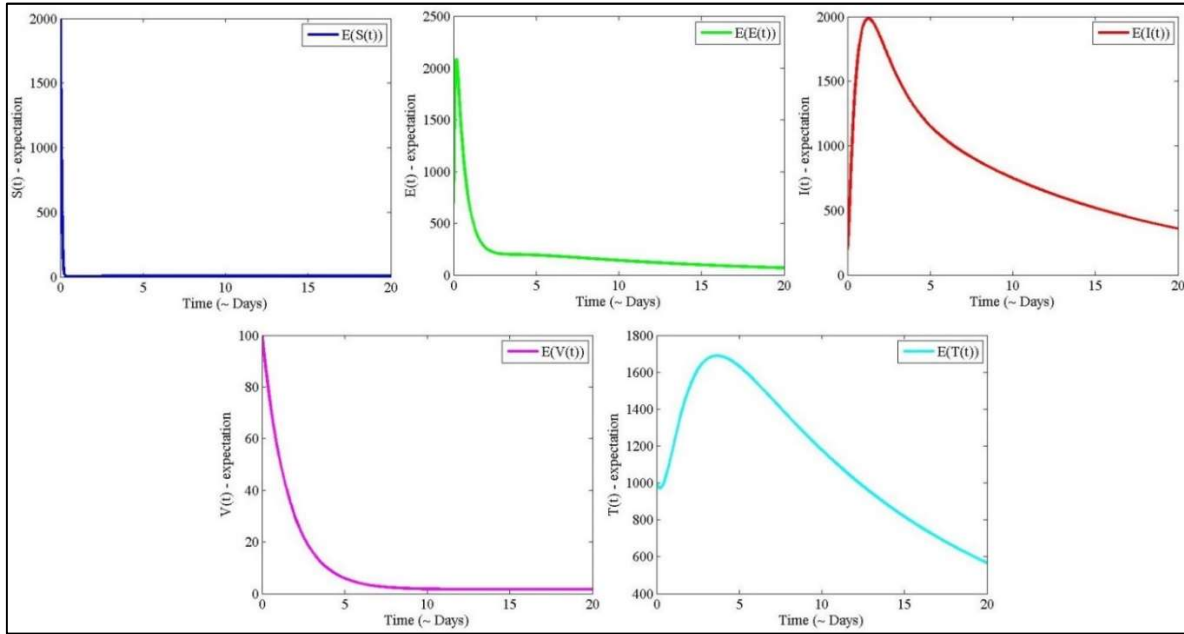


Figure 6. Expected values for model (8)
Şekil 6. (8) modelinin beklenen değerleri

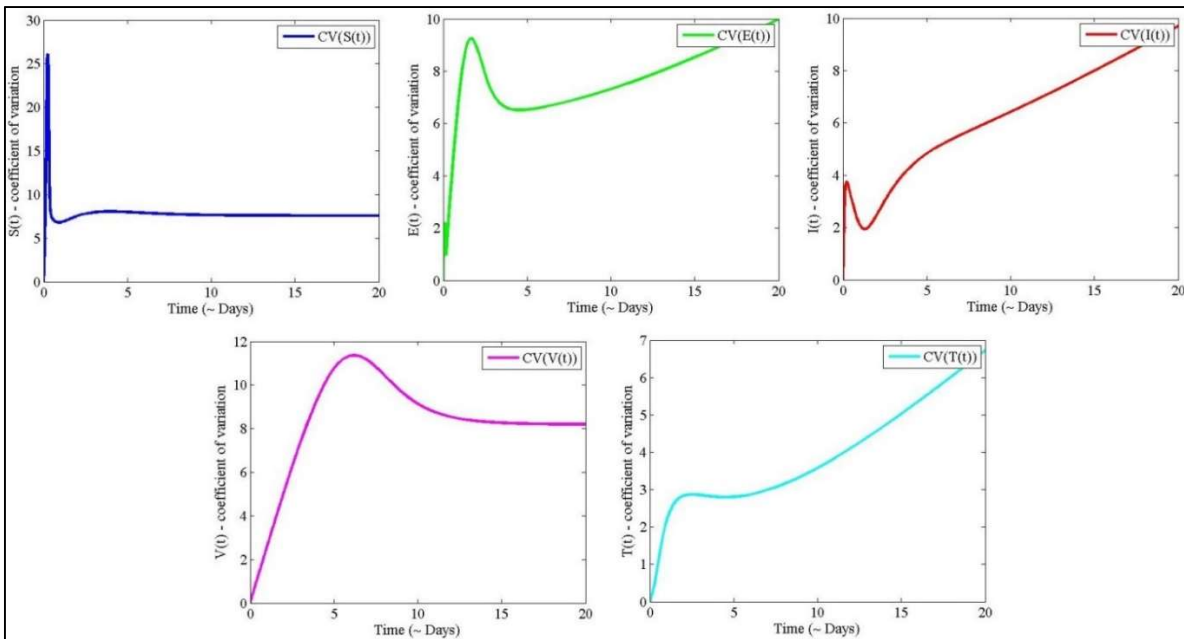


Figure 7. Coefficients of variation for model (8)
Şekil 7. (8) modeli için değişim katsayıları

The minimum and maximum values for the coefficients of variation (Figure 7) for the random model with Laplacian parameters have been given in the table below (Table 6).

Figure 7 and Table 6 shows that, just like the case for expected values, similar results have been obtained for the coefficients of variation.

Table 6. The minimum and maximum values for the coefficients of variation

Tablo 6. Değişim katsayıları için minimum ve maksimum değerler

	Minimum (Time)	Maximum (Time)
$CV(S(t))$	0 (0)	26.12 (0.25)
$CV(E(t))$	0 (0)	9.987 (20)
$CV(I(t))$	0 (0)	9.704 (20)
$CV(V(t))$	0 (0)	11.36 (6.09)
$CV(T(t))$	0 (0)	6.721 (20)

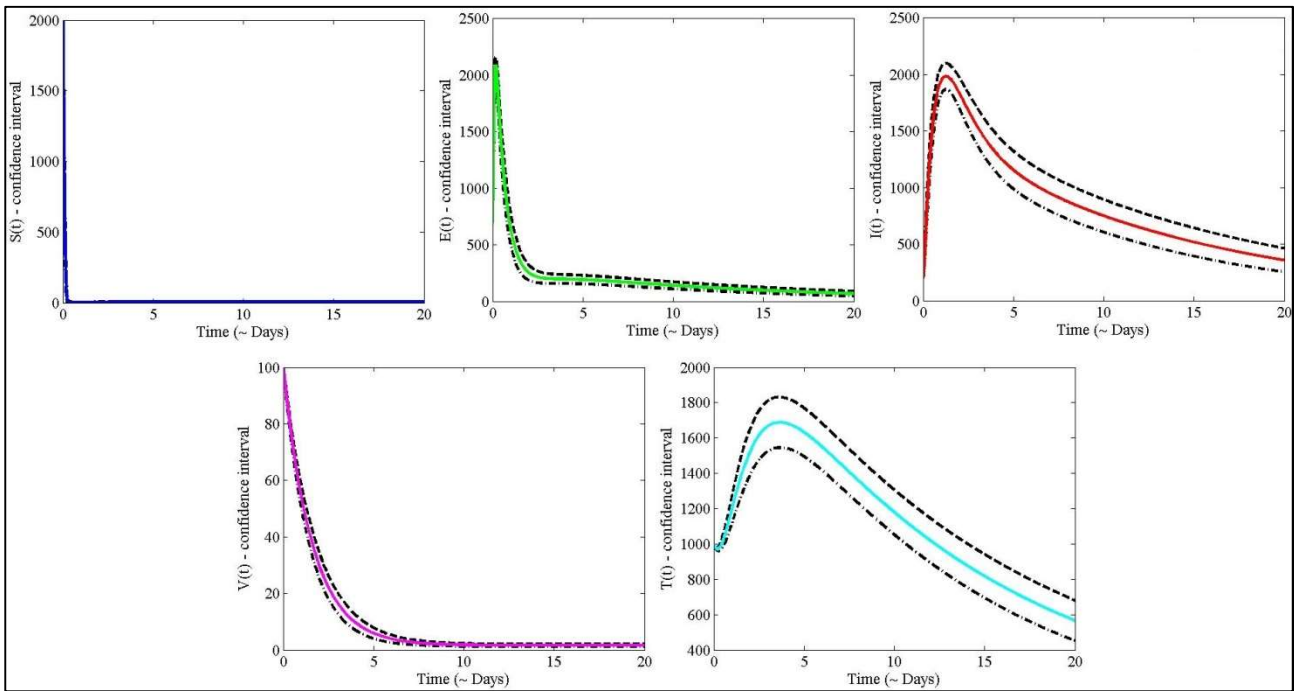


Figure 8. Confidence intervals for the expectations of model (8)

Şekil 8. (8) modelinin beklenen değerleri için güven aralıkları

Table 7. The extremum values for the expectations within confidence intervals

Tablo 7. Beklenen değerlerin güven aralıkları içindeki uç değerleri

	Minimum (Time)	Maximum (Time)
$E(S(t)) \pm 3std(S(t))$	2.718 (0.94)	2000 (0)
$E(E(t)) \pm 3std(E(t))$	47.7 (20)	2156 (0.17)
$E(I(t)) \pm 3std(I(t))$	200 (0)	2100 (1.22)
$E(V(t)) \pm 3std(V(t))$	1.205 (17.9)	100 (0)
$E(T(t)) \pm 3std(T(t))$	451.8 (20)	1831 (3.5)

The results for the confidence intervals of the expectations for the case with Laplacian parameters are given below (Figure 8). Extremum values of the expectations within the confidence intervals are given in the table below (Table 7).

The similarity can be observed for the cases with Normal and Laplacian parameters here too.

4.3. Comparison of deterministic and random cases

4.3. Deterministik ve rastgele durumların karşılaştırılması

Results for the deterministic case given in Figure 2, the random case with Normal random effects given in Figure 3 and Table 2, and the random case with Laplacian random effects given in Figure 6 and Table 5 can be investigated further to show that the random models (3) and (8) are perfectly capable of

modeling the transmission dynamics of HFMD. Comparison of the deterministic extremum values for the compartments and the extremum values for

the random expectations are given in the table below (Table 8).

Table 8. The extremum values for all cases

Tablo 8. Tüm durumlar için uç değerler

	Minimum			Maximum		
	Deterministic results (Time)	Normal results (Time)	Laplacian results (Time)	Deterministic results (Time)	Normal results (Time)	Laplacian results (Time)
$S(t)$	3.404 (0.95)	3.414 (0.94)	3.414 (0.93)	2000 (0)	2000 (0)	2000 (0)
$E(t)$	67.71 (20)	68.05 (20)	68.1 (20)	2097 (0.17)	2094 (0.17)	2094 (0.17)
$I(t)$	200 (0)	200 (0)	200 (0)	1987 (1.28)	1985 (1.28)	1985 (1.25)
$V(t)$	1.596 (20)	1.597 (20)	1.598 (20)	100 (0)	100 (0)	100 (0)
$T(t)$	564.4 (20)	565.5 (20)	565.9 (20)	1690 (3.58)	1688 (3.6)	1688 (3.5)

The behaviors of the compartments are obtained similarly for all three cases with similar extremum values as seen in the table above (Table 8). Note that the random results are for the expectations.

Coefficients of variation (CV) show that the compartment $S(t)$ has the highest randomness with a maximum CV of 26.12% for Laplacian parameters and 24.55% for Normal parameters. Note that the random parameters (2) and (6) have 5% CV because of their random definitions. This is because the standard deviations of the random parameters have been assigned a value that equals to 5% of their deterministic values and hence their expectations. The CV for the compartments $E(t)$ and $I(t)$ obtain a maximum value of almost 10% for both cases. The maximum value of the CV for $V(t)$ is obtained around 11%, whereas the maximum CV for $T(t)$ is obtained around 6.7% for both cases.

The models (1), (3) and (8) show that the number of susceptible people will decrease rapidly in the beginning of the process and maintain a level close to zero until the end of the process. The number of exposed people gets its peak value in the beginning of the process and decreases until the end. Similarly, the number of infected and recovered people increases in the beginning and start decreasing once they have obtained their maximum values. The number of vaccinated people decreases through the process.

5. Conclusion

5. Sonuç

In this study, a deterministic model of Hand-Foot-Mouth disease (HFMD) transmission has been analyzed under Normal and Laplacian random effects. The random effects with Normal and Laplacian distributions have been calibrated to

obtain the same expected value and standard deviation for the random parameters. This approach enables an accurate comparison of the results for the deterministic and random cases. The comparison shows that the random models (3) and (8) give expected values similar to the deterministic results obtained from the model (1). This means that the models under random effects are capable of modeling the disease transmission dynamics. In addition to the expected values, the random models enable the analysis of other numerical characteristics of the results. Results for variations, standard deviations, coefficients of variation and confidence intervals for expected values enable the analysis of the changes in the deterministic results. This analysis cannot be done by using the deterministic model. Hence, the random model offers much more than the random model does. Note that this approach of obtaining random models through the use of random effects can be generalized to any compartmental model used for analyzing various disease dynamics.

Author contribution

Yazar katkısı

All authors contributed to the manuscript equally. All authors have read and approved the final manuscript.

Declaration of ethical code

Etik beyanı

The authors of this article declare that the materials and methods used in this study do not require ethical committee approval and/or legal-specific permission.

Conflicts of interest

Çıkar çatışması beyanı

The authors declare no conflict of interest.

References

Kaynaklar

- Chadsuthi, S., & Wichapeng, S. (2018). The modelling of hand, foot, and mouth disease in contaminated environments in Bangkok, Thailand. *Computational and Mathematical Methods in Medicine*, 2018, Article ID 5168931, <https://doi.org/10.1155/2018/5168931>
- Chen, S., Yang, D., Liu, R., Zhao, J., Yang, K., & Chen, T. (2019). Estimating the transmissibility of hand, foot, and mouth disease by a dynamic model. *Public Health*, 174, 42-48, <https://doi.org/10.1016/j.puhe.2019.05.032>
- Dai, C., Wang, Z., Wang, W., Li, Y., & Wang, K. (2019). Epidemics and underlying factors of multiple-peak pattern on hand, foot and mouth disease in Wenzhou, China. *Mathematical Biosciences and Engineering*, 16(4), 2168-2188, <http://dx.doi.org/10.3934/mbe.2019106>
- Forbes, C., Evans, M., Hastings, N., & Peacock, B. (2011). *Statistical Distributions*, John Wiley & Sons
- Huang, Z., Wang, M., Qiu, L., Wang, N., Zhao, Z., Rui, J., & Chen, T. (2019). Seasonality of the transmissibility of hand, foot and mouth disease: A modelling study in Xiamen City, China. *Epidemiology and Infection*, 147, E327, <https://doi.org/10.1017/S0950268819002139>
- Li, Y., Huang, M., & Peng, L. (2019). A multi-group model for estimating the transmission rate of hand, foot and mouth disease in mainland China. *Mathematical Biosciences and Engineering*, 16(4), 2305-2321, <http://dx.doi.org/10.3934/mbe.2019115>
- Liao, Y., He, Y., Lu, Y., Yang, H., Su, Y., Chiang, Y., & Chen, T. (2019). Relative transmissibility of hand, foot and mouth disease from male to female individuals. *Epidemiology and Infection*, 147, E284, <https://doi.org/10.1017/S0950268819001729>
- Luo, K., Rui, J., Hu, S., Hu, Q., Yang, D., Xiao, S., Zhao, Z., Wang, Y., Liu, X., Pan, L., An, R., Guo, D., Su, Y., Zhao, B., Gao, L., & Chen, T. (2020). Interaction analysis on transmissibility of main pathogens of hand, foot, and mouth disease: A modeling study (a STROBE-compliant article). *Medicine*, 99(11), e19286, <https://dx.doi.org/10.1097/MD.00000000000019286>
- Merdan, M., Bekiryazici, Z., Kesemen, T., & Khaniyev, T. (2017). Deterministic stability and random behavior of a Hepatitis C model. *PloS one*, 12(7), e0181571, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0181571>
- Merdan, M., Bekiryazici, Z., Kesemen, T., & Khaniyev, T. (2018). Analyzing the dynamics of Ebola transmission with random effects. *Communications in Mathematical Biology and Neuroscience*, 2018, Article ID 22, <https://doi.org/10.28919/cmbn/3822>
- Phonchan, P., & Naowarat, S. (2019). Sensitivity Analysis of Hand Foot Mouth Disease Model with Public Health Resources. *Southeast Asian Journal of Sciences*, 7(1), 59-70
- Pongsumpun, P., & Wongvanich, N. (2018). Age Structural Model of the Hand Foot Mouth Disease in Thailand. *2018 2nd European Conference on Electrical Engineering and Computer Science (EECS)* (pp. 134-141). Bern, Switzerland, <https://doi.org/10.1109/EECS.2018.00033>
- Shi, R., & Lu, T. (2020). Dynamic analysis and optimal control of a fractional order model for hand-foot-mouth disease. *Journal of Applied Mathematics and Computing*, 64, 565-590, <https://doi.org/10.1007/s12190-020-01369-w>
- Tan, H., & Cao, H. (2018). The dynamics and optimal control of a hand-foot-mouth disease model. *Computational and Mathematical Methods in Medicine*, 2018, Article ID 9254794, <https://doi.org/10.1155/2018/9254794>
- World Health Organization (n.d.), Hand, Foot and Mouth Disease (2021, 24 March). <https://www.who.int/westernpacific/emergencies/surveillance/archives/hand-foot-and-mouth-disease>

Diyabet tanısının tahminlenmesinde denetimli makine öğrenme algoritmalarının performans karşılaştırması

Performance evaluation of supervised machine learning algorithms for predicting diabetes mellitus

Yüksel ÖZKAN^{1,a}, Banu SARER YÜREKLİ^{2,b}, Aslı SUNER^{*1,c}

¹ Ege Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Biyoistatistik ve Tıbbi Bilişim Anabilim Dalı, 35100, İzmir

² Ege Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Endokrinoloji Bilim Dalı, 35100, İzmir

• Geliş tarihi / Received: 04.10.2020

• Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 21.11.2021

• Kabul tarihi / Accepted: 06.12.2021

Öz

Hastalık tanısının doğru sınıflandırılmasında, hangi değişkenlerin analize alınacağı ve sonuçların nasıl değerlendirileceği klinik karar verme sürecinin yanı sıra istatistiksel yaklaşımda da doğru bir şekilde tanımlanmalıdır. Bu çalışmada en iyi sınıflandırma performansına sahip algoritmaya iki farklı yaklaşımla karar verilmesi amaçlanmıştır. Kullanılan veri seti, Haziran–Eylül 2013 arasında bir devlet hastanesinin endokrinoloji polikliniğine gelen yaşı 18 ve üstü olan toplam 232 hastadan elde edilmiştir. Diyabet tanısının sınıflandırılması için iki farklı yaklaşım kullanılmıştır. İlk yaklaşımda çokterimli lojistik regresyon yönteminde istatistiksel olarak anlamlı bulunan 18 değişken, ikinci yaklaşımda ise endokrinoloji uzmanı tarafından belirlenen ve klinik olarak önemli bulunan 21 değişkenle modeller kurulmuştur. Diyabet tanısı, denetimli makine öğrenme algoritmalarından Naïve Bayes, Bayes ağları, rastgele orman, karar ağaçları, destek vektör makinaları, k-en yakın komşuluk, yapay sinir ağları ve çokterimli lojistik regresyon yöntemleri ile sınıflandırılmıştır. Model performansları, doğrulukları, Kappa istatistikleri, ortalama mutlak hataları, hata kareler ortalamalarının karekökleri, göreceli mutlak hataları, duyarlılıkları, seçicilikleri, kesinlikleri, F-ölçütleri, Matthews korelasyon katsayıları, ROC eğrileri ve Youden indeksleri kriterlerine göre karşılaştırılmıştır. Model performanslarının test edilmesinde 10-katlı çapraz geçerlilik yöntemi uygulanmış, her algoritmanın çalışma süreleri hesaplanmıştır. Tüm analizler, WEKA 3.8.2 ve R Studio 1.1.383 ile yapılmıştır. Genel anlamda en iyi performansa sahip algoritma, rastgele orman algoritması olarak belirlenmiş, model doğrulukları sırasıyla %84.48 ve %81.90 olarak bulunmuştur. Diyabet hastalığının tanısının konulmasında, doğru sınıflandırma yapabilen modelin seçiminde klinik anlamlılığın yanı sıra istatistiksel anlamlılığa da önem verilmelidir.

Anahtar kelimeler: Denetimli öğrenme, Diyabet tanısı, Makina öğrenme algoritmaları, Prediyabet, Sınıflandırma

Abstract

In correct classification of disease diagnosis which variables are analyzed and how results are evaluated should be correctly defined in clinical decision making process as well as in statistical approach. It is aimed to determine the algorithm which has the best classification performance by using two different approaches in this study. The data set was obtained from 232 patients aged ≥ 18 who were admitted to endocrinology outpatient clinic of a public hospital between June-September, 2013. Two different approaches were used to classify diagnosis of diabetes. In the first approach, 18 variables which were found statistically significant in multinomial logistic regression method were utilized; in the second approach, all models were built with 21 clinically significant variables which were determined by expert endocrinologist. Diabetes was classified with supervised machine learning methods; including Naïve Bayes, Bayes network, random forest, decision trees, support vector machine, k-nearest neighbors, artificial neural network and multinomial logistic regression. The performance of models was evaluated with accuracy, Kappa statistics, mean absolute error, root mean squared error, relative absolute error, sensitivity, specificity, precision, F-measure, Matthews correlation coefficient, ROC curve and Youden index. 10-folds cross-validation method was applied to test performance of models; runtimes of each algorithm were calculated. Analyses were performed with WEKA 3.8.2 and R Studio 1.1.383. Generally, random forest algorithm had the best performance with accuracy 84.48% and 81.90%, respectively. Clinical significance should be emphasized as well as statistical significance when choosing correct classification model for diagnosis of diabetes.

Keywords: Supervised learning, Diabetes mellitus diagnosis, Machine learning algorithms, Prediabetes, Classification

*c Aslı SUNER; asli.suner@ege.edu.tr, Tel: (0232) 390 19 85, orcid.org/0000-0002-6872-9901

^a orcid.org/0000-0003-0534-1173

^b orcid.org/0000-0003-1809-2655

1. Giriş

1. Introduction

Tüm dünyada diyabetli kişi sayısı, tahmin edilenden daha hızlı bir şekilde artmaktadır. Diyabetin önlenmesi ve yönetilmesi için yapılacak çalışmaların artmasında, birinci basamak sağlık hizmetlerinde hizmet veren hekimlere büyük görev düşmektedir (Goldenberg & Punthakee, 2013). Uluslararası Diyabet Federasyonu (IDF)'nin 2021 yılı tahminlerine göre, 10 yetişkinden birinin (20-79 yaş) diyabet hastası olması (537 milyon) beklenmektedir (International Diabetes Federation, 2021). Diyabet tanısının sınıflandırılmasında glukoz tolerans durumuna göre normal, prediyabet (Pre) ve diyabetes mellitus (DM) olmak üzere üç ayrı gruptan bahsedilebilmektedir. Diyabet hastalığı, insülin salınımının, insülin etkisinin veya her iki faktörün birlikte oluşturduğu bozukluk nedeniyle yüksek kan şekeri (*hiperglisemi*) sonucu ortaya çıkan kronik metabolik bir hastalık olarak tanımlanmaktadır (Egan & Dinneen, 2014). Bunun yanı sıra, “gizli şeker” olarak adlandırılan prediyabet durumunda ise, kan şekeri düzeyi normal değerden yüksek olmasına karşın, diyabet tanısı koyacak kadar yeterli yüksekliğe sahip olmamaktadır (American Diabetes Association, 2014). Prediyabet tanısı konulan kişilerde, tip 2 diyabet ve kardiyovasküler hastalıkların gelişme riski daha fazladır (Bansal, 2015). Günümüzde oldukça yaygın olarak görülmekte olan diyabet hastalığının ülkelere maliyeti de göz önünde bulundurulduğunda, hastalığın erken teşhis edilmesi ve bir an önce uygun tedaviye başlanması ile hasta sonuçlarında iyileştirmeye gidilebilir ve bu hastalığa ilişkin ulusal harcamalar azaltılabilir (Bilgin, 2021).

İnsan sağlığını bu derece tehdit eden diyabetin, erken tanı ve teşhisinin konulmasında kullanılacak sınıflandırma model yaklaşımları da önem kazanmaktadır. Bu anlamda, makine öğrenme yöntemleri, tıbbi tanı ve tedavinin önemli görevlerine yardımcı olmak amacıyla faydalı bilgileri sunmak için uygulanmaktadır. Bu yöntemler, kullanılan tıbbi verilerin farklı perspektiflerden analiz edilmesini ve yorumlanmasını sağlamaktadır. Diyabet tanısında farklı yaklaşımlarla makine öğrenme algoritmaları uygulanmıştır. Bu konuda, diyabet olan veya olmayan bireylerin tanımlanması için nicel kitle-sağlık ilişkisi (*quantitative population-health relationship-QPHR*) modelinin oluşturulmasında hematolojik parametreler ile glisemik durum arasındaki ilişki araştırılmıştır (Worachartcheewan, 2013). Çalışmada toplam 190 hastanın kan şekeri düzeylerine göre normal,

prediyabet ve diyabet olmak üzere üç sınıf oluşturulmuştur. Makine öğrenme algoritmalarından destek vektör makinesi ve yapay sinir ağları algoritmaları kullanılarak glisemik durumu tahminlenmiştir. Her iki algoritmanın da glisemik durumu sınıflandırırken %98'den fazla doğruluğa sahip olduğu sonucuna varmışlardır.

Diyabet hastalığı alanında makine öğrenme algoritmaları ile uygulama yapılırken yaygın olarak “Pima Indian diabetes mellitus” olarak bilinen veri seti kullanılmakta ve bu çalışmalarda diyabet sınıfının tahmin edilmesi amaçlanmaktadır (Kaggle, 2018). ABD Ulusal Diyabet ve Sindirim ve Böbrek Hastalıkları Enstitüsü (National Institute of Diabetes and Digestive and Kidney Diseases) tarafından oluşturulan bu veri seti, Kuzey Amerika'da yaşayan Pima yerlilerinin genetik olarak diyabete yatkın olmaları ve bu grupta diyabet görülme olasılığının yüksek olması nedeniyle tercih edilmektedir. Bu veri setini kullanan Karegowda ve arkadaşları (2012), geliştirdikleri karma modelde karar ağacı C4.5 ve k-ortalama kümeleme yöntemleri bir arada kullanmışlar ve bu modelin doğru sınıflandırma oranını, karar ağacı C4.5 yönteminin tek başına kullanıldığı durumdan daha yüksek elde etmişlerdir (Karegowda, vd., 2012). Maniruzzaman ve arkadaşları (2017), bu veri setindeki verileri sınıflandırmak için doğrusal diskriminant analizi, kuadratik diskriminant analizi ve Naive Bayes gibi çeşitli sınıflandırma algoritmalarıyla Gaussian süreci tabanlı sınıflandırma algoritmasıyla doğruluk, duyarlılık, seçicilik, pozitif kestirim değeri, negatif kestirim değeri ve ROC kriterlerine göre model performansları karşılaştırmışlardır (Maniruzzaman vd., 2017). Toplam 768 hastayı diyabet hastası ve kontrol sınıfı olmak üzere sınıflandırmışlardır. Aynı veri seti ile uygulama yapan bir başka çalışmada, en iyi performans gösteren beş sınıflandırma algoritmasını karar ağaçları, k-en yakın komşuluk, Lojistik regresyon, Naive Bayes ve Rastgele orman olarak belirlemişlerdir. Bulgularında, sağlık kuruluşuna gelen yeni bir hastanın diyabet hastası olma olasılığını %84,78 doğruluk ve 0.912 AUC değeri ile tahminlemişlerdir (Özlüer Başer vd., 2021). Pima veri setiyle uygulama yapan Walia ve arkadaşları (2018) J48 karar ağacı, çok katmanlı algılayıcı, Naive Bayes ve PART algoritmalarını kullanırken; Joshi ve Shetty (2015) J28, Bayes yaklaşımı, rasgele orman, Naive Bayes, rasgele ağaç, REP, CART, birleşmeli kural öğrenme ve k-en yakın komşuluk algoritmaları ile algoritmaların performanslarını kıyaslamışlardır (Walia vd., 2018; Joshi & Shetty, 2015). Bir başka çalışmada

ise, Pima veri setinde evrimsel sinir ağı ve uzun kısa süreli bellek ağları modellerinin hibrit olarak kullanıldığı yaklaşımla %86,45 oranında sınıflandırma başarısı elde edilmiştir (Er & Işık, 2021). Cihan ve Coşkun (2021) ise çalışmalarında, k-en yakın komşuluk, Naïve Bayes, lojistik regresyon, karar ağacı, destek vektör makinesi, rassal orman ve yapay sinir ağı algoritmalarını kullanarak Pima veri serinde uygulama yapmışlar ve lojistik regresyon yönteminin en yüksek performans değerlerine sahip olduğunu belirtmişlerdir (Cihan & Coşkun, 2021).

Farklı hasta verileri ile çalışan araştırmacılardan Olivera ve arkadaşları (2017), tanısı konmamış diyabeti tahminlemek için farklı makine öğrenme algoritmalarının performansını karşılaştırmışlardır (Olivera vd., 2017). Bu algoritmalarından Naïve Bayes, lojistik regresyon, k-en yakın komşuluk, yapay sinir ağları ve rastgele orman algoritmalarıyla modeller kurulmuştur ve en iyi modeller yapay sinir ağları ve lojistik regresyon kullanılarak oluşturulmuştur. Böylelikle, tahmin modellerinin çoğu benzer sonuçlar vermiştir ve kolayca elde edilen klinik veriler yoluyla tanısı konmamış diyabete sahip olma olasılığı yüksek olan kişilerin belirlenmesini sağlamışlardır. Chen ve Pan (2018) ise, Wenzhou Medical Üniversitesi'nin 35669 hastaya ilişkin veri setindeki klinik test sonuçlarını kullanarak algoritmaların sınıflandırma performanslarını kıyaslamışlardır. Diyabet tanısında kullandıkları LogitBoost algoritmasının, Adaboost.M1 algoritmasından biraz daha yüksek sınıflandırma başarısına sahip olduğunu bulmuşlardır (Chen & Pan, 2018). Bir başka çalışmada ise, Bangladeş Sylhet Sylhet Diyabet Hastanesi'ndeki 520 hasta veri ile diyabet olma olasılığını tahmin etmek için karar ağaçları, destek vektör makinaları, çok katmanlı algılayıcı yapay sinir ağları, topluluk öğrenme algoritmaları, k-en yakın komşuluk, doğrusal ayırıcı analizi makine öğrenme algoritmaları kullanılarak %99,81 oranı ile en yüksek doğruluk k-en yakın komşuluk algoritmasıyla elde edilmiştir (Bilgin, 2021). Bu çalışmada k-en yakın komşuluk algoritmasıyla bir diyabet erken tanı kiti geliştirmiştir.

Bazı çalışmalar, sadece tek bir denetimli makine öğrenme algoritmaları kullanarak farklı yaklaşımlar için alternatif sunmaktadır. Yu ve arkadaşları (2010), yaygın olarak görülen hastalıkları sınıflandırmak için destek vektör makinesi algoritmasına dayanan bir alternatif yaklaşım sunmuşlardır (Yu vd., 2010). Diyabet ve prediyabete sahip hasta sınıflarını iki farklı sınıflandırma ile destek vektör makinesi

algoritmasının doğru sınıflandırma performansını ROC kriteri ile değerlendirmişlerdir. İlk sınıflandırmada, diyabet tanısı konmuş ve konmamış hastalar ile prediyabet ve normal hastalar karşılaştırılırken, ikinci sınıflandırmada; diyabet tanısı konmamış ve prediyabet hastalar ile normal hastalar karşılaştırılmıştır. Bu yaklaşımlar sonucunda; birinci sınıflandırma yaklaşımı en yüksek ROC eğrisi değerine sahip olarak en iyi ayırt ediciliğe sahip yaklaşım olarak saptanmıştır ve destek vektör makinesi modellemesi, diyabet ve prediyabet gibi hastalıkları olan bireyleri tahminlemek için ileriye yönelik umut verici bir sınıflandırma yaklaşımı olduğunu savunulmuştur. Bu tür yaklaşımlarla, ortak değişkenler kullanılarak diğer karmaşık hastalıklarında sınıflandırılabilmesine dikkat çekmişlerdir. Diyabet tanısının sınıflandırmasında denetimli makine öğrenme algoritmaları kullanılarak çeşitli araçlar geliştirilmiştir. Heikes ve arkadaşları (2008), tanısı konmamış diyabet veya prediyabet hastalarına yönelik risk altında olan kişilerde diyabet tanısını tahminlemeye yardımcı olabilecek ve hiçbir hesaplama gerektirmeyen basit bir hesaplama aracı geliştirmişlerdir (Heikes vd., 2008). “*Diabetes Risk Calculator (DRC)*” adını verdikleri bu hesaplama aracı, kişileri 14 farklı kategoriye ayırarak her bir kategori için bir bireyin düşük risk altında, tanı konmamış diyabet ve prediyabete göre kategorize ederek yüksek risk altında olma olasılıklarını rapor etmektedir. DRC aracı geliştirmek için lojistik regresyon ile sınıflandırma ve regresyon ağacı (*classification and regression tree-CART*) denetimli makine öğrenme algoritmalarından yararlanılarak diyabet tanısı konulmaktadır. Aracın geliştirilmesinde CART algoritmasının seçilmesinin nedeni olarak oluşturulan karar ağacının basit bir araca dönüştürülebilir olması ifade edilmiştir. Böylelikle, CART ağacındaki yollar izlenerek bireyin diyabet veya prediyabet riskini belirlemişlerdir. Daghistani ve Alshammari (2016), diyabetli ve diyabetli olmayan hastaların doğru sınıflandırılması için kendini organize edebilen haritalama, C4.5 ve rastgele orman algoritmalarının performanslarını hassaslık ve kesinlik kriterlerine göre karşılaştırmışlardır (Daghistani & Alshammari, 2016). Rastgele orman algoritması, en iyi sınıflandırma performansına sahip algoritma olarak saptanmıştır.

Bu çalışmada, diyabet tanısının sınıflandırılmasında denetimli makine öğrenme algoritmaları kullanılarak belirlenen kriterlerle model performansları karşılaştırılmış ve diyabet tanısını doğru sınıflandırabilen en iyi modele karar verilmesi amaçlanmıştır. En iyi modele karar

verirken hem istatistiksel önemlilik hem de klinik önemlilik göz önünde bulundurularak model performansları karşılaştırılmıştır.

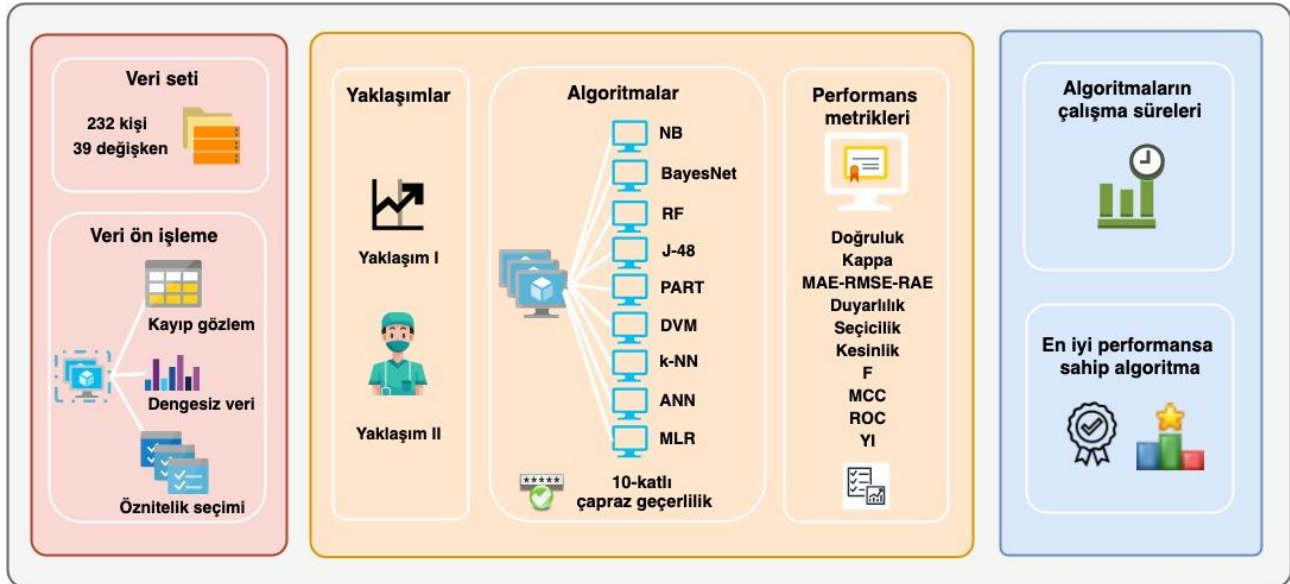
2. Gereç ve yöntem

2.1. Material and method

Çalışmada kullanılan veri seti İzmir Bozkaya Eğitim ve Araştırma Hastanesi, Endokrinoloji ve Metabolizma Hastalıkları polikliniğinden Haziran – Eylül 2013 tarihleri arasında, 18 yaşından büyük hastalardan elde edilmiştir. Çalışmanın etik kurul onayı, 24.12.2013 tarihinde İzmir Bozkaya Eğitim ve Araştırma Hastanesi Klinik Araştırmalar Etik Kurulu'ndan alınmış ve Helsinki bildirgesi temel alınarak çalışmaya başlanmıştır. Toplam 232 hastanın yer aldığı çalışmada, 58 diyabeti ve prediyabeti bulunmayan birey, 32 prediyabet ve 142 diyabet hastası bulunmaktadır. Diyabet tanısının sınıflandırması için yedisi kategorik değişken olmak üzere toplam 39 bağımsız değişkenden yararlanılmıştır.

Diyabet tanısının konulmasında hangi değişkenin daha etkili ve önemli olduğunu belirlemek için iki farklı yaklaşım temel alınarak modeller kurulmuştur. Yaklaşım I'de sadece istatistiksel olarak anlamlı bulunan değişkenlerle modeller kurulmuştur. Öncelikle 39 değişken için tek tek

çokterimli lojistik regresyon modeli kurulmuş, p-değeri anlamlı olan değişkenler seçilerek final modeller oluşturulmuştur. Yaklaşım II'de ise uzman hekim tarafından tüm değişkenler içerisinde en önemli değişkenler seçilip klinik olarak anlamlı olanların denetimli makina öğrenme algoritmaları performansları karşılaştırılmıştır. Tüm yaklaşımlarda değişkenlerin p-değerleri $\alpha = 0,05$ anlam düzeyi ile karşılaştırılmıştır. Denetimli öğrenme algoritmalarından Naïve Bayes, Bayes ağları, rastgele orman, karar ağaçları (J-48 ve PART), k-en yakın komşu, yapay sinir ağları, destek vektör makinaları ve çokterimli lojistik regresyon algoritmaları kullanılarak doğruluk, Kappa istatistiği, ortalama mutlak hata, hata kareler ortalamasının karekökü, göreceli mutlak hata, duyarlılık, seçicilik, kesinlik, F-ölçütü, Mathews korelasyon katsayısı, ROC eğrisi ve Youden indeksi kriterlerine göre her iki yaklaşım için algoritmaların doğru sınıflandırma performansları karşılaştırılmıştır. Çalışmada kullanılan denetimli makine öğrenme algoritmaları aşağıda sırasıyla bahsedilmiştir. Son olarak, 10-katlı çapraz geçerlilik yöntemine göre eğitim ve test veri setleri oluşturulmuş, her algoritmanın çalışma süreleri hesaplanmıştır. Çalışmanın akış şeması aşağıdaki Şekil 1'de gösterilmiştir. Tüm istatistiksel analizlerde, WEKA 3.8.2 ve R Studio 1.1.383 kullanılmıştır.



Şekil 1. Çalışmanın akış şeması
Figure 1. Flow chart of the study

2.1. Naïve Bayes (NB)

2.1.1. Naïve Bayes (NB)

Naïve Bayes algoritması, Bayes koşullu olasılıklar teoremine dayanan bir sınıflandırma algoritmasıdır. Naïve olarak adlandırılmasının

nedeni, sınıflandırma üzerinde etkisi olan değişkenlerin birbirinden bağımsız olduğu varsayımına dayanması ve Bayesçi sınıflandırma sayesinde yanlış sınıflandırma olasılığını en aza indirmesidir. p , yüksek boyutlu veri setlerinde yoğunluk tahminin zor olduğu durumlarda

kullanılması önerilmektedir. Genel varsayımda her zaman doğru olmasa da basit anlamda bir sınıfın tahmini $G = j$ ve X_k sınıflandırma üzerinde etkisi olduğu düşünülen değişkenlerin bağımsız olduğu varsayıldığında,

$$f_k(X) = \prod_{k=1}^p f_{jk}(X_k) \quad (1)$$

bu tahminler, her bir sınıf-koşullu marjinal yoğunluklar f_{jk} , her biri için tek boyutlu Kernel yoğunluğu tahminleri kullanılarak ayrı ayrı tahmin edilebilmektedir (1). Bu aslında, Bayes teoreminin, marjinal yoğunlukları ifade ederken kullandığı tek değişkenli Gauss prosedürünün bir genellemesidir. Bu çalışmada, sürekli değişkenlerin Gauss dağılımına uygun şekilde dağıldığı varsayılmaktadır. Veri setindeki değişkenlerin dağılımlarının daha iyi tahminlenebilmesi için çekirdek tahmincisi algoritması kullanılmıştır. Eğer, X 'in X_j bileşeni kesikli ise, uygun bir histogram tahmini kullanılarak değişken vektöründe değişken tiplerinden dolayı oluşacak sorunlar ortadan kaldırılmaktadır (Trevor vd., 2011). NB sınıflandırıcılar genellikle çok daha karmaşık algoritmalara kıyasla anlaşılması daha kolay ve sade bir sınıflandırma algoritması olmasının yanı sıra olasılıksal bilginin temsil edilmesinde, kullanılmasında ve öğrenilmesinde basit bir yaklaşım sunmaktadır. Fakat, özniteliklerin sınıflara göre bağımsız oldukları varsayıldığından, gereksiz özniteliklerin de modele eklenmesiyle öğrenme sürecinde sıkıntılar oluşabildiğinden, her algoritmada olduğu gibi NB algoritması da her veri setinde çok iyi sonuçlar veremeyebilmektedir.

2.2. Bayes ağları (BayesNet)

2.2. Bayesian Networks (BayesNet)

Bayes ağları (Bayes Networks) algoritması, Bayes teoremine dayanan veri setindeki değişkenler arasında var olan olasılıksal bağımlılıklar hakkında bilgi sağlamaktadır.

$$P(X_1, \dots, X_n) = \prod_{i=1}^n P(X_i | \pi_i) \quad (2)$$

Bayes ağları, modeller oluşturmak için kullanılabilen olasılıksal grafik modeli türüdür. Bayes ağı iki bölüme ayrılır. Bu bölümlerden biri yönlendirilmiş asiklik grafik şeklindeki kategorik bileşeni ve diğeri ise koşullu olasılık formundaki sürekli bileşenidir (2). Bayes ağları, mevcut durum ve bilgilere bağlı olarak çeşitli şekillerde oluşturabilmektedir. Özellikle, alanının uzmanlarıyla birlikte yüksek düzeyde bilgiler sentezlenerek elde edilen verilerden

öğrenilerek Bayes ağları oluşturabilmektedir (Van Harmelen vd., 2008).

2.3. Rastgele orman (RF)

2.3. Random forest (RF)

Rastgele orman (random forest) algoritması, torbalama yönteminin gelişmiş bir şekli olarak kabul edilen ve hem sınıflandırma hem de regresyon algoritması olarak kullanılmaktadır. Algoritma ağaç sayısı ve her düğüm ayrılmasında rastgele seçilen bağımsız değişkenlerin sayısı olarak iki parametre üzerine kurulmaktadır (Breiman, 2001). Karar ağaçları oluşturulurken, orijinal veri setine ait örneklem sayısı kadar bootstrap yöntemi (yeniden yerine koyarak) ile örneklem oluşturulur. Rastgele orman algoritması aşağıdaki şekilde kurulmaktadır:

1. Bootstrap yöntemi ile elde edilen veri seti, eğitim ve test veri setleri olmak üzere ikiye ayrılmaktadır.
2. Eğitim veri setinden CART karar ağacı algoritmasıyla en geniş ağaç elde edilmekte ve karar ağacı budanmamaktadır. Gini indeksi yöntemiyle ağacın hangi değişkenle bölünmeye başlayacağı belirlenmektedir. Bu yöntem, her düğümde yeni bir dal oluşmayana kadar tekrar edilmektedir.
3. Her yaprak düğüm bir sınıfa atanarak test veri setiyle karar ağacı modeli kurulmaktadır.
4. 1. adımdan 3. adıma kadar tüm adımlar tekrar edilmektedir. Böylelikle, en basit şekilde rastgele orman algoritmasıyla model kurulmaktadır.

Algoritmada genel olarak genelleme hatası, parametre ayarlanması, değişken önemliliği, örneklem arası uzaklık ve kayıp değer ataması gibi özellikler büyük öneme sahiptir. Karar ağacında bulunan değişkenlerin tahmin ediciliğini ölçmek için değişken önemliliği hesaplanmaktadır. Bu çalışmada, oluşturulacak ağaç sayısına bir kısıt getirilmeyerek budama yapılmamıştır. Sınıflandırma modelleri için varsayılan parametre değeri, bağımsız değişkenlerinin sayısının kareköküdür (aşağı yuvarlanmış sayısı). Bu çalışmada, $\sqrt{39} = 6,245 \cong 6$ olarak belirlenmiştir.

2.4. Karar ağaçları (J-48 ve PART)

2.4. Decision trees (J-48 and PART)

Karar ağacı tabanlı algoritmalarından biri olan J-48 algoritması, C4.5 algoritmasının açık kaynak kodlu bir Java uygulaması ve ID3 algoritmasının bir uzantısıdır (Goyal & Mehta, 2012). Sınıflandırma verilerinin doğru yönetilmesine ve yeni veriler hakkında tahminler yapılmasına yardımcı olmaktadır. Bir başka karar ağacı algoritması olan PART algoritması, her seferinde kısmi C4.5 algoritmasına dayanan budanmış karar oluşturarak en iyi yaprağı oluşturmaya çalışmaktadır. Bu algoritma, tekrar tekrar oluşturulan karar ağaçları ile birlikte böl ve fethet yöntemini kullanmasından dolayı esnek ve hızlı bir yapıya sahiptir. Temel olarak amaç, bütün bir karar ağacı oluşturmak yerine kısmi karar ağaçları oluşturmak olduğundan, ağaçları bir dizi örneklere ayırmaktadır. C4.5 algoritmasını kullanarak alt kümeler ayırdığı yapıyı, en küçükten başlayarak ortalama entropi sırasına göre genişletmektedir. Bu işlem alt kümeler yaprak haline gelen kadar devam etmekte ve iç düğümler ortaya çıkmaya başladığı anda budama işlemi yapılmaktadır. Böylelikle, düğümün daha iyi bir yaprak ile değiştirilip değiştirilmediğini kontrol edilmektedir. Bu çalışmada kullanılan karar ağacı algoritmalarında ağaçlarda budama yapılmamıştır.

2.5. Destek vektör makinaları (DVM)

2.5. Support Vector Machine (SVM)

Destek vektör makinaları algoritması, ikili sınıflandırma için geliştirilmiş, ancak zamanla hem çoklu sınıflandırma hem de regresyon modeller için de kullanılmaya başlanmıştır. DVM en başta sadece sürekli değişkenlerin analizi için kullanılmasına rağmen günümüzdeki haliyle kategorik değişken analizi için de kullanılmaktadır. Kategorik değişkenler, otomatik olarak sayısal değerlere dönüştürülerek hem kategorik hem de sürekli değişkenler normalize edilmektedir. Algoritmanın çalışma yaklaşımında; düzlem üzerinde iki sınıf arasındaki en uygun ayrımın sağlanması amaçlanmaktadır. Çakışan sınıflar durumunda, diskriminant marjininin veri noktalarındaki etkilerini azaltmak için aşağıya çekmesi, doğrusal olmayan durumda veri noktalarını etkili bir şekilde doğrusal olarak ayrılabilmesi için yüksek boyutlu uzaya yansıtılması (çekirdek yöntemi) ve problemin çözümü noktasında ikinci dereceden bir optimizasyon problemi olarak formüle edilmesi gibi temel yaklaşımları kullanmaktadır (Liv vd., 2014).

DVM'da farklı parametreler kullanılmaktadır. Karmaşıklık (*complexity*) parametresi, sınıfları ayırmak için kullanılacak çizginin ne kadar esnek olabileceğini kontrol etmektedir. 0 değeri, kenar boşluğunun ihlal edilmesine izin vermezken, varsayılan değer 1'dir. Diğer bir anahtar parametre ise, kullanılacak çekirdek türünün belirlenmesidir. En basit çekirdek, verileri düz bir çizgi veya hiperdüzlemle ayıran bir doğrusal çekirdektir (*linear kernel*). Eğri ya da kıvrımlı bir çizgi kullanarak sınıflara ayıracak olan polinom çekirdeği (*polynomial kernel*), polinom ne kadar yüksekse, o kadar zayıftır (*üs değeri*). En popüler ve güçlü bir çekirdek olan radyal temel işlev çekirdeği (*radial basis function (RBF) kernel*), sınıfları ayırmak için kapalı çokgenler ve karmaşık şekiller kullanılmaktadır. Bu çalışmada varsayılan parametre olarak polinom çekirdek kullanılmıştır. Yöntemde girdi vektörleri yüksek boyutlu düzlemde doğrusal olmayan şekilde eşlendikten sonra bu düzlem üzerinde doğrusal bir karar yüzeyi oluşturularak öğrenme makinasının genellebilirliği sağlanmaktadır.

2.6. K-en yakın komşuluk (k-NN)

2.6. K-nearest neighbours (k-NN)

K-en yakın komşuluk (*k-nearest neighbours*) algoritması, parametrik olmayan ve bellek tabanlı öğrenme (*memory based learning*) sınıflandırma algoritmasıdır. Bellek tabanlı öğrenme olmasının nedeni algoritmanın bir model öğrenmediği anlamına gelmektedir. Bunun yerine, tahminleme için bilgi olarak kullanılan eğitim örneklerini ezberlemeyi seçmektedir. Algoritma, bilinen bir sorgu noktasında, x_0 , x_0 'e en yakın k eğitim noktalarının $x_{(r)}$ $r = 1, 2, \dots, k$ bulunarak k komşular arasında çoğunluk oyu kullanılarak sınıflandırılmasına dayanmaktadır. Benzerlik, iki veri noktası arasındaki bir uzaklık metriğine göre tanımlanmaktadır. En çok tercih edilen uzaklık ölçüsü öklid uzaklığı iken; Manhattan, Chebyshev ve Hamming uzaklıkları da çalışmalarda kullanılmaktadır. Öklid uzaklığının hesaplanması (3) ile gösterilmektedir:

$$d_{(i)} = \|x_{(i)} - x_0\| \quad (3)$$

Algoritmanın herhangi bir genelleme yapmak için eğitim veri setlerini kullanmıyor olması, diğer algoritmalara göre oldukça hızlı olmasını sağlamaktadır. Böylelikle tüm eğitim veri setini belleğinde tutmakta ve test aşamasında tüm eğitim verilerine ihtiyaç duymaktadır. Mahallenin büyüklüğü (*size of the neighborhood*) k parametresi ile ifade edilmektedir. Eğer k değeri 1 olarak belirlenirse, yanlılık düşük olmasına rağmen

varyans büyük olabilmektedir (Trevor vd., 2011). Aynı zamanda k değerinin 1 olması öngörülecek olan yeni modellerin (*patterns*) en yakın olan tek eğitim örneği kullanılarak tahminlerin yapılması anlamına gelmektedir. Veri setinin büyüklüğüne göre k değeri farklı değerler alabilmektedir. Bizim çalışmamızda hem sürekli hem de kategorik değişkenlerin bulunması nedeniyle uzaklık parametresi olarak Manhattan uzaklığı kullanılmıştır.

2.7. Yapay sinir ağları (ANN)

2.7. Artificial neural network (ANN)

Yapay sinir ağları (*artificial neural network*) algoritması, geniş bir sınıfın modellenmesini ve öğrenilmesini kapsayacak şekilde geliştirilmiştir. Tek gizli katman geri yayılım ağı veya tek katman algılayıcı olarak da adlandırılmaktadır. Doğrusal olmayan istatistiksel modellemede tercih edilen bir yöntem olmasının yanı sıra hem regresyon hem de sınıflandırma modellerinde kullanılmaktadır (Trevor vd., 2011). Çok değişkenli bir YSA, giriş değişkenlerinin doğrusal olmayan kombinasyonlarını kullanarak bir sistemin modellerini oluşturmak için tercih edilmektedir. YSA'nın birçok öğrenme kuralı olmasına rağmen, en çok kullanılan kurallar delta ve geri yayımlı ağlar kurallarıdır. Sinir ağları, verileri haritalandırmak üzerine eğitilmekte ve girişlerden gelen bilgiler sinirler arasındaki ağırlıkları optimize etmek için ağlar üzerinden iletilmektedir. YSA, eğitim veri setindeki girdi ve çıktı değerlerini okuyarak tahmin edilen ile hedef değerler arasındaki farkı azaltmak için ağırlıklı bağlantıların değerini değiştirmektedir. Ağ, belirlenen doğruluk düzeyine ulaşmaya kadar tahminlerdeki hatalar eğitim döngüsünde en aza indirgenmeye çalışılmaktadır.

2.8. Çokterimli lojistik regresyon (MLR)

2.8. Multinomial logistic regression (MLR)

Denetimli öğrenme yöntemlerinden olan çokterimli lojistik regresyon (*multinomial logistic regression*) algoritması, lojistik regresyon gibi bir sınıflandırma algoritmasıdır. Yüksek boyutlu veri yapılarında iyi çalışmaktadır (Böhning, 1992). $Y = (y_1, \dots, x_{k+1})^T$ gözlem vektörüne karşılık gelen p_j olasılığında çokterimli logit-modelde (4) ve (5) ile,

$$p_i = \frac{\exp(\pi^{(i)T} \mathbf{x})}{1 + \sum_{j=1}^k \exp(\pi^{(j)T} \mathbf{x})} \quad i = 1, \dots, k \quad (4)$$

$$p_{k+1} = \frac{1}{1 + \sum_{j=1}^k \exp(\pi^{(j)T} \mathbf{x})} \quad (5)$$

$\mathbf{x} = (x_1, \dots, x_m)^T$: kovaryant vektörü ve π^i : i . yanıt kategorisine karşılık gelen parametre vektörüyle tanımlanmaktadır. Bu çalışmada, bir tür model düzeltme ya da ayarlama yaklaşımı olarak Ridge tahmincisi kullanılarak model oluşturulmuştur. Bu yöntem, model tarafından öğrenilen katsayıların değerlerini en aza indirerek eğitim sırasında modeli basitleştirmeyi amaçlamaktadır. Ridge parametresi, katsayıların genişliğini azaltmak için algoritmaya ne kadar basınç uygulanacağını tanımlanmakta ve 0'a çok yakın bir değer olarak alınmaktadır.

2.9. Algoritmaların performans karşılaştırma kriterleri

2.9. Performance comparison criteria of algorithms

Denetimli makina öğrenme algoritmalarının performans karşılaştırmasında birçok farklı kriter kullanılmaktadır. Bu çalışmada da her iki yaklaşım için ayrı ayrı en iyi performansı veren algoritmanın belirlenmesi için farklı performans karşılaştırma kriteri hesaplanmıştır.

2.9.1. Doğruluk

2.9.1. Accuracy

Bir testin doğruluğu, hasta ve sağlıklı bireyleri doğru olarak ayırt edebilme gücüdür (Baratloo vd., 2015). Tanı testinin doğruluğu hesaplanırken, tüm hasta ve sağlıklı bireyler için doğru pozitif ve doğru negatif oranı hesaplanmaktadır (Drobotz, 2009). Doğruluk değeri 0 ile 1 arasında değer almaktadır. (6) ile verilen gösterimde, DP: Doğru Pozitif; DN: Doğru Negatif; YP: Yanlış Pozitif ve YN: Yanlış Negatif olarak kısaltılmıştır.

$$\text{Doğruluk} = \frac{DP+DN}{DP+DN+YP+YN} \quad (6)$$

2.9.2. Kappa istatistiği

2.9.2. Kappa statistics

Gözlemciler arası güvenilirliği test etmek için sıklıkla kullanılan Kappa istatistiği, ilk olarak Cohen (1960) tarafından önerilen bir uyum ölçüsü kriteridir (Cohen, 1960). -1 ile 1 arasında değişen değerler alabilen Kappa istatistiğinin önceden belirlenmiş bir kabul edilebilirlik seviyesi olmamakla birlikte, 0,75 değerinden büyük olması mükemmel uyumu; 0,40 değerinden küçük olması zayıf uyumu ve 0,40 ile 0,75 arasındaki değerler alması ise kabul edilebilir uyumu göstermektedir. p_o , gözlenen uyum oranı ve p_e , beklenen uyum oranı olarak alındığında κ ile gösterilen Kappa

istatistiği aşağıdaki (7) ile belirtildiği şekilde hesaplanmaktadır:

$$\kappa = \frac{p_o - p_e}{1 - p_e} \quad (7)$$

2.9.3. MAE – RMSE – RAE kriterleri

2.9.3. MAE – RMSE – RAE criteria

Model performansları karşılaştırılırken, modele ait hatalardan hesaplanan hata mutlak ortalaması, hata kareler ortalamasının karekökü, hataların mutlak karekökü kriterleri kullanılmaktadır. MAE, gözlenen ve beklenen değerler arasındaki hatanın ortalama büyüklüğünü yönlerini dikkate almadan ölçerken, RMSE sadece hatanın ortalama büyüklüğünü ölçmektedir. Örneklem genişliği n birim olan modelin hataları e_1, e_2, \dots, e_n şeklinde ifade edilmektedir (Chai & Draxler, 2014). Buna göre MAE, RMSE ve RAE kriterleri aşağıdaki (8), (9) ve (10) ile hesaplanabilmektedir:

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |e_i| \quad (8)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n e_i^2} \quad (9)$$

$$RAE = \frac{\sum_{i=1}^n |e_i|}{\sum_{i=1}^n |y - y_i|} \quad (10)$$

2.9.4. Duyarlılık, seçicilik ve kesinlik

2.9.4. Sensitivity, specificity and precision

Bir testin duyarlılığı, bir bireyin gerçekten hasta olduğu bilindiğinde test sonucunda da hasta olduğu sonucuna varılmasıdır (11). Hasta bireylerin doğru olarak ayırt edilmesi için doğru pozitif oranı hesaplanmakta ve bu değer 0 ile 1 arasında değişen değerler almaktadır. Bir testin seçiciliği ise, bir bireyin gerçekten hasta olmadığı bilindiğinde, tanı testi sonucunun negatif çıkması olasılığı olarak tanımlanmaktadır (12). Sağlıklı bireylerin doğru ayırt edilmesi için, doğru negatif oranı hesaplanmakta ve bu değer 0 ile 1 arasında değişen değerler almaktadır (Baratloo vd. 2015). Kesinlik değeri, tanı testinin pozitif kestirim değeri veya pozitif kestirimlerin gerçekten pozitif olması durumunda hesaplanmaktadır (13). Başka bir ifade ile tanı testi sonucu pozitif olan bir bireyin hasta olma olasılığı olarak tanımlanmaktadır.

$$\text{Duyarlılık} = \frac{DP}{DP + YN} \quad (11)$$

$$\text{Seçicilik} = \frac{DN}{DN + YP} \quad (12)$$

$$\text{Kesinlik} = \frac{DP}{DP + YP} \quad (13)$$

2.9.5. F-ölçütü

2.9.5. F-Measure

F-ölçütü, hassaslık ile kesinlik değerlerinin harmonik ortalaması şeklinde hesaplanmaktadır (14). Bu durumda, hem yanlış pozitif hem de yanlış negatif değerleri aynı anda dikkate alarak hesaplama yapmasından dolayı doğruluk olarak anlaşılması kolay değildir. Ancak düzensiz bir sınıf dağılımı varsa F-ölçütü değerinin doğrulukla birlikte değerlendirilmesi önerilmektedir. Eğer, pozitif ve yanlış negatifler benzer maliyetlere sahipse doğruluk değerine; yanlış pozitiflerin ve yanlış negatiflerin maliyeti farklıysa, F-ölçütü değerine bakmak daha faydalıdır (Hripcsak & Rothschild, 2005).

$$F = \frac{2 * \left(\frac{DP}{DP+YN} \right) * \left(\frac{DP}{DP+YP} \right)}{\left(\frac{DP}{DP+FN} \right) + \left(\frac{DP}{DP+YP} \right)} \quad (14)$$

2.9.6. Matthews korelasyon katsayısı (MCC)

2.9.6. Matthews correlation coefficient (MCC)

İki veya daha fazla sınıflandırmada, sınıflandırma modelinin ya da fonksiyonun ne derecede performansla sahip olduğunu değerlendirmek için tercih edilen bir kriterdir (15). Matthews korelasyon katsayısı -1 ile 1 arasında değer almaktadır. -1 katsayısı, ters sınıflandırma yani tahmin ve gözlem değerleri arasındaki toplam uyumsuzluğu gösterirken; 0 katsayısı, ortalama düzeyde sınıflandırma performansına veya modelin rastgele tahminlerde iyi olmadığı anlamına gelmektedir. 1 katsayısı ise, mükemmel sınıflandırmayı veya tahminlemeyi belirtmektedir (Boughorbel vd., 2017).

$$MCC = \frac{(DP * DN) - (DP * YN)}{\sqrt{(DP + YP) * (YN + DN) * (YP + DN) * (DP + YN)}} \quad (15)$$

2.9.7. ROC eğrisi

2.9.7. ROC curve

ROC eğrisi, tanı testlerinin ve tahmin modellerinin değerlendirilmesi, uygun eşik değerinin ve testin ayırt ediciliğinin belirlenmesi, iki ya da daha fazla tanı testinin performanslarının karşılaştırılması gibi durumlarda kullanılan bir yöntemdir. Eğri altında kalan alan, hasta ve sağlıklı bireylerde tanı koymada ne kadar bir ayırt etme gücüne sahip olduğunu göstermektedir. ROC eğrisi, uygun eşik değerinin belirlenmesinde, tüm olası eşik değerleri (c) için duyarlılığa (duyarlılık(c)) karşı $1 - \text{seçicilik}(c)$ değerlerine ait bir grafik vermektedir. Eğri altında kalan alan, 0 ile 1 arasında değer almakta ve kitlenin prevalansından etkilenmemektedir. Rastgele olarak bir tanı testinin

alabileceği eğri altında kalan alan değeri 0,5 iken; mükemmel bir tanı testinin doğruluğu 1 olarak ifade edilmektedir (Hajian-Tilaki, 2013).

2.9.8. Youden indeksi (YI)

2.9.8. Youden index (YI)

Youden indeksi, ROC eğrisi gibi tanı testinin etkinliğini ölçmede ve en uygun eşik değerinin belirlenmesinde kullanılan bir kriterdir (Fatima & Pasha, 2017). Tanısal doğruluğun en sık kullanılan ölçütü olan ROC eğrisine rağmen, Youden indeksi de tercih edilmektedir. Youden indeksi, 0 ile 1 arasında değer almaktadır (16). Hasta ve sağlıklı bireylerin tam olarak ayrılması durumunda $J = 1$; tam örtüşme durumunda $J = 0$ değerini vermektedir.

$$J = \text{maksimum}\{\text{duyarlılık}(c) + \text{seçicilik}(c) - 1\} \quad (16)$$

2.9.9. k-katlı çapraz geçerlilik yöntemi

2.9.9. K-fold cross validation method

Algoritma modellerinin öğrenilmesi sürecinde eğitim ve test veri setlerinde bazı verilerin dışarıda tutulmasından dolayı birtakım sorunlar oluşturmaktadır. Eğitim verilerinin azaltılmasıyla, veri setindeki önemli eğilimlerin kaybolması riski altında olduğundan yanlış tahminler yapılabilmekte, dolayısıyla model hatası artmaktadır. Bu durumu önlemek için, modelin eğitilmesinde ve doğrulanmasında verinin çoğunluğundan yararlanılmasını sağlayan bir yöntem gerekmektedir. k-katlı çapraz doğrulama yöntemi, bu tür durumlar için tercih edilmektedir. Genel anlamda k-katlı çapraz doğrulama yönteminde ilk olarak ayarlama parametresi (λ) belirlenmekte, veriler rastgele olarak k alt kümeyle bölünmektedir. Dışarıda tutma yöntemi (holdout method) k kez tekrarlanarak böylelikle, doğrulama veri seti olarak adlandırılan test veri seti için her k alt kümelerinden biri kullanılmaktadır. Geriye kalan k-1 alt kümeleri ise eğitim veri setini oluşturmak için bir araya getirilmektedir. Böylece, her veri noktasında k tane doğrulama veri seti ve k-1 tane eğitim veri seti bulunmaktadır. Modelin toplam etkinliğini elde etmek için tüm k. bölümlerinin çapraz doğrulama hata tahmininin ortalaması alınmaktadır (17)(18).

$$E_k(\lambda) = \sum_{i \in k. \text{bölüm}} \left(y_i - \mathbf{x}_i \hat{\beta}^{-k}(\lambda) \right)^2 \quad k = 1, 2, \dots, K \quad (17)$$

$$CV(\lambda) = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K E_k(\lambda) \quad (18)$$

Seçilen her λ değeri için, çapraz doğrulama hatasının tahminini $CV(\lambda)$ en küçük yapan λ seçilmelidir. Uyum için verilerin çoğunluğu kullanıldığından, yanlılık önemli ölçüde azaltılmaktadır. Verilerin çoğunluğu test veri setinde kullanıldığı için varyans da önemli ölçüde azalmaktadır. Eğitim ve test veri setlerinin değiştirilmesi de bu yöntemin etkinliğini arttırmaktadır. Genellikle k değeri 5 veya 10 olarak tercih edildiği gibi, herhangi bir değer de alabilmektedir (Trevor vd., 2011). Bu çalışmada k değeri 10 olarak belirlenmiştir.

3. Bulgular

3. Results

Çalışmada, yer alan 39 bağımsız değişken ile diyabet tanısı sınıflandırılmıştır. Sürekli değişkenler; yaş, kemik morfojenik proteini-4 (BMP-4), matriks gla-proteini (MGP), noggin, çözünür lektin benzeri oksitlenmiş LDL reseptörü (sLOX-1), lipokalin, vücut kitle indeksi (VKI), ayak bileği-kol basınç indeksi (ABI), açlık plazma glukozu (APG), HbA1c, kreatinin, alanin transaminaz (ALT), alkalın fosfataz (ALP), gama glutamil transferaz (GGT), ortalama trombosit hacmi (MPV), eritrosit dağılım genişliği (RDW), hemoglobin (Hb), trombosit (PLT), ürik asit, toplam kolesterol, trigliserit (TG), yüksek yoğunluklu lipoprotein kolesterol (HDL), düşük yoğunluklu lipoprotein kolesterol (LDL), plazmanın aterojenik indeksi (AIP), C-reaktif protein (CRP), fibrinojen, paratiroid hormonu (PTH), tiroit uyarıcı hormonu (TSH), serbest triiodotironin (sT3), serbest tiroksin (sT4), kalsiyum (Ca) ve fosfor (P)'dur. Kategorik değişkenler ise, cinsiyet (kadın/erkek), sigara içme durumu (hiç/aktif/bırakmış), statin kullanımı (yok/var), asetil salisilik asit (ASA) kullanımı (yok/var), hipertansiyon (HT) (yok/var), koroner arter hastalığı (KAH) (yok/var) ve serebrovasküler hastalık (SVH) (yok/var)'tır.

Yaklaşım I'de, öncelikle 39 değişken için tek tek MLR modeli kurularak istatistiksel olarak anlamlı bulunan değişkenler seçilmiştir. Tablo 1'de tek tek incelendiğinde istatistiksel olarak anlamlı bulunan tüm değişkenler için kurulan modelde sırasıyla; cinsiyet, BMP-4, MGP, Noggin, sLOX-1, VKI, statin kullanımı, ASA kullanımı, HT, APG, HbA1c, ALT, MPV, toplam kolesterol, HDL, LDL, AIP ve Ca üzere toplam 18 değişkenin anlamlı olduğu görülmüştür. Bu değişkenlerle kurulan MLR modeli sonucunda diyabet ve prediyabet tanısı için anlamlı çıkan değişkenler Tablo 1'de yer almaktadır.

Tablo 1. Yaklaşım I için kurulan modeldeki değişkenlere ait p-değerleri
Table 1. P-values of the variables in the model established for Approach I

Değişken (18 adet)	Dm p-değeri	Pre p-değeri
Cinsiyet = Erkek	0.001*	0.001*
BMP - 4	0.428	0.296
MGP	0.067	0.016*
Noggin	0.582	0.100
sLOX-1	0.008*	0.001*
VKI	0.412	0.021*
Statin kullanımı	0.017*	0.723
ASA kullanımı	0.001*	0.001*
HT	0.004*	0.001*
APG	0.002*	0.001*
HbA1c	0.001*	0.844
ALT	0.086	0.261
MPV	0.056	0.254
Toplam kolesterol	0.001*	0.001*
HDL	0.001*	0.006*
LDL	0.001*	0.004*
AIP	0.001*	0.001*
Ca	0.053	0.459

Dm: Diyabet, Pre: Prediyabet, *p < 0.05

Yaklaşım II için hangi değişkenlerin modele alınacağına endokrinoloji uzmanı tarafından karar verilmiştir. Değişken sayısının fazla olduğu durumlarda, modeldeki her açıklayıcı değişken için en az 10 birey önerilmektedir (Alpar, 2011). Bu nedenle toplam veri sayısının 10’da birini aşmayacak şekilde, 21 değişkenle MLR modeli kurulmuştur. Tablo 2’de ikinci yaklaşım için modelde bulunan değişkenlerden sadece lipokalin değişkeninin diyabet ve prediyabet tanısında istatistiksel olarak anlamlı olmadığı sonucuna varılmıştır (p > 0,05).

Tablo 3. Her iki yaklaşımda anlamlı olan değişkenler
Table 3. Variables that were significant in both approaches

	Cinsiyet	Yaş	BMP-4	MGP	Noggin	sLOX-1	Lipokalin	VKI	Sigara içme	Statin kullanımı	ASA kullanımı	HT	ABI	APG	A1c	Kreatinin	ALT	ALP	GGT	MPV	RDW	Hb	PLT	Ürik asit	Toplam kolesterol	TG	HDL	LDL	AIP	CAD	CVD	CRP	Fibrinojen	PTH	TSH	sT4	sT3	Ca	p		
Y-I (18)																																									
Pre DM	X				X				X	X	X		X	X											X	X	X	X													
Pre	X		X	X	X	X	X		X	X		X		X											X	X	X	X													
Y-II (21)																																									
Pre DM	X	X	X	X	X	X	X	X		X		X	X	X											X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Pre	X	X	X	X	X	X	X	X		X		X	X	X											X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Dm: Diyabet, Pre: Prediyabet, Y-I: Yaklaşım I, Y-II: Yaklaşım II

Tablo 2. Yaklaşım II için kurulan modeldeki değişkenlere ait p-değerleri
Table 2. P-values of the variables in the model established for Approach II

Değişken (21 adet)	Dm p-değeri	Pre p-değeri
Cinsiyet = Erkek	< 0.001*	< 0.001*
Yaş	0.346*	0.022*
BMP-4	0.019*	0.005*
MGP	< 0.001*	0.005*
Noggin	0.003*	< 0.001*
sLOX-1	0.658*	< 0.001*
Lipokalin	0.174	0.707
VKI	< 0.001*	< 0.001*
Sigara içme = Aktif	< 0.001*	< 0.001*
Sigara içme = Bırakmış	< 0.001*	< 0.001*
HT	< 0.001*	< 0.001*
APG	< 0.001*	< 0.001*
HbA1c	< 0.001*	< 0.001*
Ürik asit	0.015*	0.071*
Toplam kolesterol	< 0.001*	< 0.001*
TG	0.014*	< 0.001*
HDL	0.000*	< 0.001*
LDL	0.003*	< 0.001*
KAH	< 0.001*	< 0.001*
SVH	< 0.001*	< 0.001*
CRP	< 0.001*	< 0.001*
Fibrinojen	0.059*	0.011*

Dm: Diyabet, Pre: Prediyabet, *p < 0.05

Her iki yaklaşımda da anlamlı bulunan değişkenler Tablo 3’te verilmiştir. Her iki yaklaşım için diyabet ya da prediyabetten en az birinde anlamlı olan değişkenler cinsiyet, MGP, sLOX-1, VKI, HT, APG, A1c, toplam kolesterol, HDL, LDL ve AIP değişkenleridir. Her iki yaklaşımda da hem diyabet hem de prediyabet tanısında anlamlı olan değişkenler ise cinsiyet, sLOX-1, HT, APG, toplam kolesterol ve LDL değişkenleri olarak bulunmuştur.

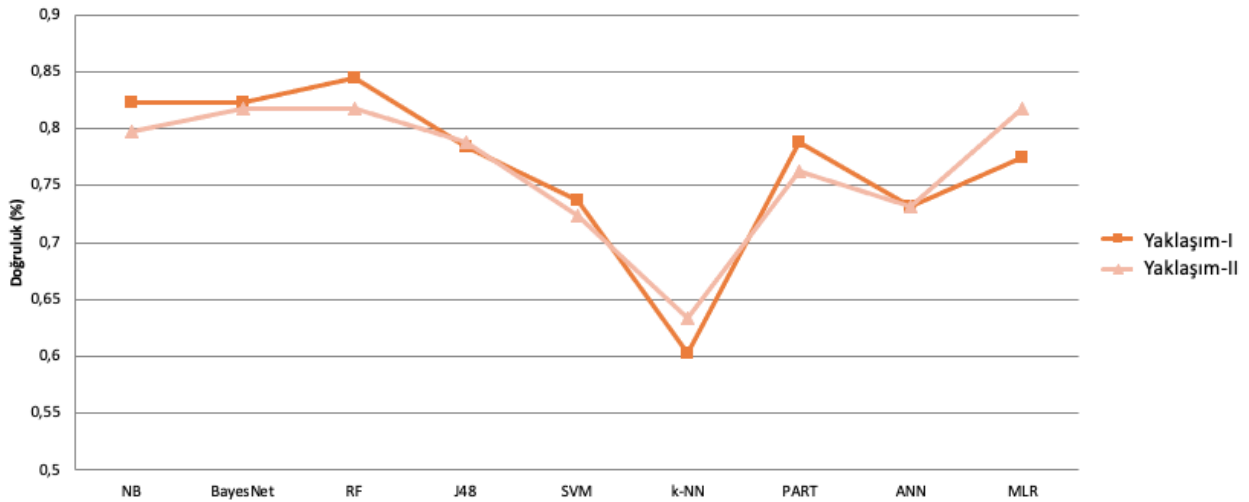
Bir sonraki adımda, her bir yaklaşım için sınıflama amacıyla kullanılan tüm denetimli makina öğrenme algoritmalarının performans karşılaştırmaları Tablo 4'te özetlenmiştir. Yaklaşım I'de, 12 performans kriterinin 8'inde (%66,67) RF algoritması en iyi sınıflama performansına sahipken; Yaklaşım II'de sadece 5 kriterde en iyi performansı veren algoritmadır. Yaklaşım II'de Bayes ağları 12 kriterin 7'sinde (%58,33) en iyi sınıflama performansına sahip olan algoritma olmuştur. Her iki yaklaşım için model doğrulukları sırasıyla %84,48 ve %81,90 olarak bulunmuştur. Şekil 2'de de algoritmaların doğruluk oranlarına ilişkin değerler incelendiğinde, Yaklaşım I için en yüksek performans değerine

sahip olan algoritma RF iken, Yaklaşım II'de BayesNET, RF ve MLR aynı değerlerle en yüksek performansa sahiptir. Veri seti, hasta ve sağlıklı durumunu gösteren sınıf değişkeni bakımından dengesiz veri özelliği taşıdığından, performans ölçütleri açısından değerlendirme yapılırken F-ölçütü, kesinlik ve duyarlılık ölçütleri öncelikli olarak dikkate alınmıştır. Her üç ölçüt için de Yaklaşım I'de RF algoritması, Yaklaşım II'de ise BayesNet en yüksek performans değerlerine sahip olan algoritmalarıdır. Genel anlamda bulgular incelendiğinde, performans ölçütleri açısından benzer sonuçlar elde edildiği Tablo 4'te görülebilmektedir.

Tablo 4. Her iki yaklaşım için denetimli makine öğrenme algoritmaları için performans karşılaştırması
Table 4. Performance comparison for supervised machine learning algorithms for both approaches

	Doğruluk	Kappa	MAE	RMSE	RAE	Duyarlılık	Seçicilik	Kesinlik	F-ölçütü	MCC	ROC	YI
Y-I	RF	RF	NB	RF	NB	RF	NB	RF	RF	RF	RF	NB
Y-II	BayesNet	RF	J-48	RF	J-48	BayesNet	BayesNet	BayesNet	BayesNet	BayesNet	RF	BayesNet
	RF					RF						
	MLR					MLR						

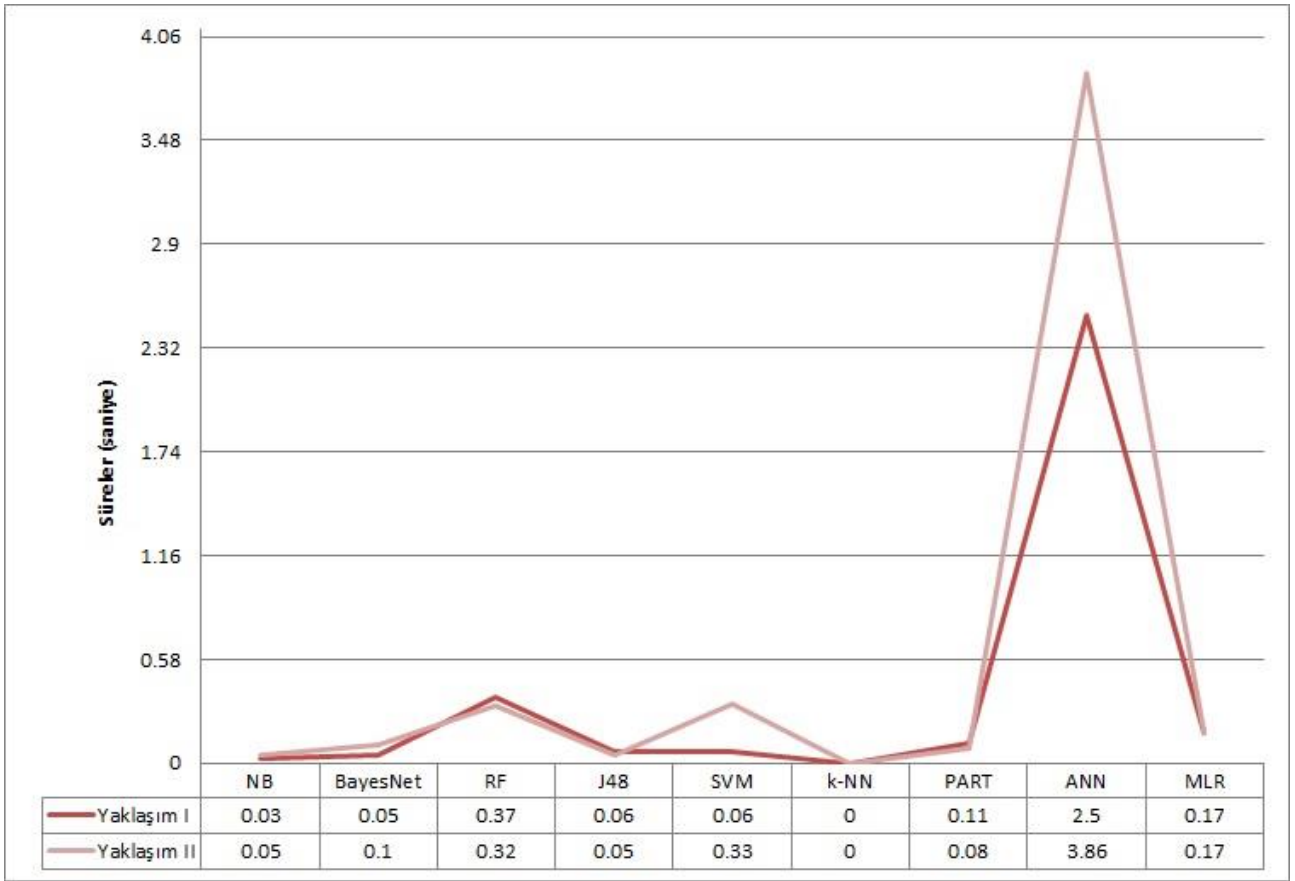
Y-I: Yaklaşım I, Y-II: Yaklaşım II



Şekil 2. Her iki yaklaşım için algoritmaların doğruluk oranları

Figure 2. The accuracy rates of the algorithms for both approaches

Şekil 3'te, her iki yaklaşım için algoritmaların çalışma süreleri karşılaştırılmıştır. ANN algoritması en uzun süre çalışan algoritma iken, k-NN algoritması en kısa sürede çalışan algoritma olarak bulunmuştur.



Şekil 3. Her iki yaklaşım için algoritmaların çalışma süreleri
Figure 3. Running times of algorithms for both approaches

Tüm bulgular değerlendirildiğinde, diyabet tanısının doğru sınıflandırılmasında, yüksek ayırt ediciliğe ve genel anlamda en iyi sınıflandırma kriterlerine sahip denetimli makine öğrenme algoritması RF ve BayesNet algoritmaları olmuştur.

4. Tartışma ve Sonuçlar

4. Discussion and conclusions

Özellikle sağlık alanında giderek artan hacimde veri setlerinin varlığı, makine öğrenme algoritmalarının bu alanda uygulanmasına yönelik ilgiyi arttırmaktadır. Bu nedenle sağlık alanında yapılan çalışmalarda özellikle hastalık tanısında makine öğrenme algoritmalarının kullanımı büyük önem kazanmıştır. Makine öğrenmesi yöntemleri ile oluşturulan bir tıbbi tanı modeli ile insan faktörlerinin müdahalesi hariç tutulabilmekte, geliştirilen model güçlü bir nesnellığe sahip olabilmekte ve tıbbi tanı süreci kademeli olarak standartlaştırılarak otomatikleşebilmektedir (Chen & Pan, 2018). Bunun yanı sıra, makine öğrenmesi yöntemleri kullanılarak karmaşık veri setlerini analizinde yüksek performanslı tahminler elde edilebilmektedir (Hastie vd., 2009). Pek çok makine öğrenmesi algoritması, sadece hastalıkları

sınıflandırmak veya kümelemek için değil, aynı zamanda geliştirilen modeli basitleştirmek ve modelleme sürecinde hesaplama verimliliğini artırmak için özellik seçimi için de kullanılabilir (Neumann vd., 2017). Bazı araştırmacılar, diyabeti HbA1c, adiponektin ve BMI gibi klinik test verileriyle sınıflandırmak için makine öğrenme algoritmalarını kullansa da insan vücudunun karmaşıklığı nedeniyle, veri madenciliği teknolojisinin klinik tıpta uygulanması genel olarak hala nispeten sınırlıdır (Kalsch vd., 2015; Chen & Pan, 2018). Literatürde kalp, diyabet, karaciğer, kanser, kovid enfeksiyonu ve hepatit hastalıklarının tanısı için birçok farklı denetimli makine öğrenme algoritması kullanılmıştır (Fatima & Pasha, 2017; Özmen vd., 2018; Ali vd., 2021; Choudhury, 2021; Nindrea vd., 2021; Alabi vd., 2020; Muhammad vd., 2021; Tiwari, 2021). Denetimli makine öğrenmesi algoritmalarını hastalık tanısında kullanan 48 makalenin değerlendirildiği bir çalışmada, en sık uygulanan yöntemin SVM olduğu, onu NB yönteminin izlediği belirlenmiştir (Uddin vd., 2019). Fakat en yüksek doğruluk değerine RF algoritması, ikinci sırada ise SVM algoritması sağlamıştır. Benzer bir sistematik çalışmada da diyabet alanındaki makine öğrenmesi, veri

madenciliği teknikleri ve araçlarının uygulamalarının genel anlamda hangi alanlarda ve hangi algoritmalarla çalışıldığı araştırılmış ve sonuç olarak SVM, en başarılı ve yaygın olarak kullanılan algoritma olarak belirlenmiştir (Kavakiotis vd., 2017). Bizim çalışmamızda da literatürdeki çalışmalara benzer sonuçlar elde edilmiştir.

Literatürdeki çalışmalarda genellikle ortak kullanıma açık veri tabanlarındaki veri setleriyle çalışılarak, kullanılan makine öğrenme algoritmaları içerisinde en iyi performansa sahip olan algoritmanın belirlenmesi amaçlanmıştır ve bu çalışmalarda uzman görüşlerine yer verilmemiştir. Bununla birlikte, literatürde diyabet tanısının sınıflandırılmasında hem istatistiksel önemlilik hem de klinik önemlilik göz önünde bulundurularak modellemelerin yapıldığı bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu çalışmada diyabet tanısının konulmasında hangi değişkenlerin daha etkili ve önemli olduğunu belirlemek için iki farklı yaklaşım temel alınarak modeller kurulmuştur. Her iki yaklaşım için diyabet tanısının doğru sınıflandırılmasında, RF ve BayesNet algoritmaları yüksek ayırt ediciliğe ve genel anlamda en iyi sınıflandırma kriterlerine sahip algoritmalar. Algoritmaların çalışma süreleri karşılaştırıldığında ANN algoritması en uzun sürede çalışan algoritma, k-NN algoritması ise en kısa sürede çalışan algoritmadır.

Sonuç olarak, bu çalışmanın, diyabet tanısının sınıflandırılmasında birçok denetimli makine öğrenme algoritmalarının performanslarının değerlendirilmesinde yol gösterici olacağı düşünülmektedir. Benzer çalışmalarda modellerin performans karşılaştırılması yapılacaksa çalışmanın hassaslığını artırması için bu tür yaklaşımlarla değerlendirilmesi önerilebilmektedir. Eğer sağlıklı bireyler, prediyabet olan bireyler ve diyabet hastası bireyler için daha eksiksiz test sonuçları kullanılırsa, diyabet tanısında glikoz veya HbA1c indeksleri anormal hale gelmeden önce tarama amaçlı bir erken tanı modeli oluşturulabilecektir. Gelecekteki çalışmalarda, diyabet hastalığının erken teşhisinde kullanılacak, sağlık uzmanlarının karar vermelerine destek olacak uygulamaların geliştirilmesi planlanmaktadır.

Teşekkür / Katkı Belirtme

Acknowledgement

Bu makale, 28-30 Nisan 2018 tarihlerinde Çeşme, İzmir’de (Ilıca Hotel Spa & Wellness Thermal Resort) düzenlenen “4th International Researchers,

Statisticians and Young Statisticians Congress (IRSYSC 2018)” kongresinde sunulan sözlü bildirisinin genişletilmiş ve revize edilmiş halidir. Makalenin inceleme ve değerlendirme aşamasında yapmış oldukları katkılardan dolayı editör ve hakemlere teşekkür ederiz.

Yazar katkısı

Author contribution

Çalışma konsepti-tasarımı: Aslı SUNER, Banu SARER YÜREKLİ, Veri toplama: Banu SARER YÜREKLİ, Veri analizi ve yorumlama: Aslı SUNER, Yüksel ÖZKAN, Yazı taslağı: Aslı SUNER, Yüksel ÖZKAN, Banu SARER YÜREKLİ, İçeriğin eleştirel incelenmesi: Aslı SUNER, Yüksel ÖZKAN, Banu SARER YÜREKLİ, Son onay ve sorumluluk: Aslı SUNER, Yüksel ÖZKAN, Banu SARER YÜREKLİ

Etik beyanı

Declaration of ethical code

Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesi” kapsamında uyulması gerekli tüm kurallara uyulduğunu, bahsi geçen yönergenin “Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiğine Aykırı Eylemler” başlığı altında belirtilen eylemlerden hiçbirinin gerçekleştirilmediğini taahhüt ederiz. Çalışmanın etik kurul onayı, 24.12.2013 tarihinde İzmir Bozkaya Eğitim ve Araştırma Hastanesi Klinik Araştırmalar Etik Kurulu’ndan alınmış ve Helsinki bildirgesi temel alınarak çalışmaya başlanmıştır.

Çıkar Çatışması

Conflicts of interest

Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Kaynaklar

References

- Alabi, R.O., Elmusrati, M., Sawazaki-Calone, I., Kowalski, L.P., Haglund, C., Coletta, R.D., Măkitie, A.A., Salo, T., Almangush, A., & Leivo, I. (2020). Comparison of supervised machine learning classification techniques in prediction of locoregional recurrences in early oral tongue cancer. *International Journal of Medical Informatics*, 136, 104068. <https://doi.org/10.1016/j.ijmedinf.2019.104068>
- Ali, M.M., Paul, B.K., Ahmed, K., Bui, F.M., Quinn, J.M.W., & Moni, M.A. (2021). Heart disease prediction using supervised machine learning algorithms: performance analysis and comparison. *Computers in Biology and*

- Medicine*, 136, 104672. <https://doi.org/10.1016/j.compbmed.2021.104672>
- Alpar, R. (2011). *Uygulamalı çok değişkenli istatistiksel yöntemler* (3. Baskı). Ankara: Detay.
- American Diabetes Association. (2014). Standards of medical care in diabetes-2014. *Diabetes Care*, 37, 14-80. <https://doi.org/10.2337/dc14-S014>
- Bansal N. (2015). Prediabetes diagnosis and treatment: a review. *World Journal of Diabetes*, 6(2), 296–303. <https://doi.org/10.4239/wjd.v6.i2.296>
- Baratloo, A., Mostafa, H., Ahmed, N., & Gehad, E. A. (2015). Part 1: Simple definition and calculation of accuracy, sensitivity and specificity. *Emergency (Tehran, Iran)*, 3(2), 48–49. <https://doi.org/10.22037/emergency.v3i2.8154>
- Bilgin, G. (2021). Makine öğrenmesi algoritmaları kullanarak erken dönemde diyabet hastalığı riskinin araştırılması. *Journal of Intelligent Systems: Theory and Applications*, 4(1), 55-64. <https://doi.org/10.38016/jista.877292>
- Boughorbel, S., Fethi, J., & Mohammed, E. (2017). Optimal classifier for imbalanced data using matthews correlation coefficient metric. *PLoS One*, 12(6), e0177678. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0177678>
- Böhning, D. (1992). Multinomial logistic regression algorithm. *Annals of the Institute of Statistical Mathematics*, 44(1), 197–200. <https://doi.org/10.1007/BF00048682>
- Breiman, L. (2001). Random forests. *Machine Learning*, 45(1), 5–32. <https://doi.org/10.1023/A:1010933404324>
- Chai, T., & Draxler, R. R. (2014). Root mean square error (RMSE) or mean absolute error (MAE)? – arguments against avoiding rmse in the literature. *Geoscientific Model Development*, 7, 1247–1250. <https://doi.org/10.5194/gmd-7-1247-2014>
- Chen, P., & Pan, C. (2018). Diabetes classification model based on boosting algorithms. *BMC Bioinformatics*, 19(109). <https://doi.org/10.1186/s12859-018-2090-9>
- Choudhury A. (2021). Predicting cancer using supervised machine learning: mesothelioma. *Technology and Health Care*. 29(1), 45-58. <https://doi.org/10.3233/THC-202237>
- Cihan, P., & Coşkun, H. (2021). Performance comparison of machine learning models for diabetes prediction. *29th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)*, (pp. 1-4). İstanbul.
- Cohen, J. (1960). A coefficient of agreement for nominal scales. *Educational and Psychological Measurement*, 20(1), 37–46. <https://doi.org/10.1177/001316446002000104>
- Daghistani, T., & Alshammari, R. (2016). Diagnosis of diabetes by applying data mining classification techniques. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 7(7), 329–332. <https://doi.org/10.14569/IJACSA.2016.070747>
- Drobatz, K. J. (2009). Measures of accuracy and performance of diagnostic tests. *Journal of Veterinary Cardiology*, 11, 33–40. <https://doi.org/10.1016/j.jvc.2009.03.004>
- Egan, A. M., & Dinneen, S. F. (2014). What is diabetes? *Medicine (United Kingdom)*, 42(12), 679–681. <https://doi.org/10.1016/j.mpmed.2014.09.005>
- Er, M. B., & Işık, İ. (2021). LSTM tabanlı derin ağlar kullanılarak diyabet hastalığı tahmini. *Türk Doğa ve Fen Dergisi* 10(1), 68-74. <https://doi.org/10.46810/tdfd.818528>
- Fatima, M., & Pasha, M. (2017). Survey of machine learning algorithms for disease diagnostic. *Journal of Intelligent Learning Systems and Applications*, 09(1), 1–16. <https://doi.org/10.4236/jilsa.2017.91001>
- Goldenberg, R., & Punthakee Z. (2013). Definition, classification and diagnosis of diabetes, prediabetes and metabolic syndrome. *Canadian Journal of Diabetes*, 37(1), 197–212. <https://doi.org/10.1016/j.cjcd.2017.10.003>
- Goyal, A., & Mehta, R. (2012). Performance comparison of naïve bayes and j48 classification algorithms. *International Journal of Applied Engineering Research*, 7(11 SUPPL.), 1389–1393.
- Hajian-Tilaki, K. (2013). Receiver operating characteristic (ROC) curve analysis for medical diagnostic test evaluation. *Caspian Journal of Internal Medicine*, 4(2), 627–635.
- Hastie, T., Tibshirani, R., & Friedman, J., (2009). *The elements of statistical learning: data mining, inference, and prediction* (Second Edition). Springer Series in Statistics.
- Heikes, K. E., Eddy, D. M., Arondekar, B., & Schlessinger, L. (2008). Diabetes risk calculator: a simple tool for detecting undiagnosed diabetes and pre-diabetes. *Diabetes Care*, 31(5), 1040–1045. <https://doi.org/10.2337/dc07-1150>
- Hripcsak, G., & Rothschild, A. S. (2005). Agreement, the f-measure, and reliability in information retrieval. *Journal of the American Medical*

- Informatics Association: JAMIA*, 12(3), 296–298. <https://doi.org/10.1197/jamia.M1733>
- International Diabetes Federation (2021). *IDF diabetes atlas*, (10th ed.) Brussels, Belgium: 2021. <https://www.diabetesatlas.org>.
- Joshi S., & Priyanka Shetty, S. R. (2015). Performance analysis of different classification methods in data mining for diabetes dataset using WEKA tool. *International Journal on Recent and Innovation Trends in Computing and Communication*, 3(3), 1168-1173. <https://doi.org/10.17762/ijritcc2321-8169.150361>
- Kaggle, 2018. (2021, November 16). <http://www.kaggle.com/kumargh/pimaindiansdiabetescsv>
- Kalsch, J., Bechmann, L.P., Heider, D., Best, J., Manka, P., Kalsch, H., Sowa, J.P., Moebus, S., Slomiany, U., Jockel, K.H., Erbel, R., Gerken, G., & Canbay, A. (2015). Normal liver enzymes are correlated with severity of metabolic syndrome in a large population based cohort. *Scientific Reports*, 5,13058. <https://doi.org/10.1038/srep13058>
- Karegowda, A. G., Punya, V., Jayaram, M. A., & Manjunath, A. S. (2012). Rule based classification for diabetic patients using cascaded k-means and decision tree C4. 5th *International Journal of Computer Applications*, 45(12), 45-50.
- Kavakiotis, I., Tsave, O., Salifoglou, A., Maglaveras, N., Vlahavas, I., & Chouvarda, I. (2017). Machine learning and data mining methods in diabetes research. *Computational and Structural Biotechnology Journal*, 15, 104-116. <https://doi.org/10.1016/j.csbj.2016.12.005>
- Li, H. Xiong, L., Ohno-Machado, L., & Jiang, X. (2014). Privacy preserving rbf kernel support vector machine. *BioMed Research International*, 2014, 827371. <https://doi.org/10.1155/2014/827371>
- Maniruzzaman, M., Kumar, N., Menhazul Abedin, M., Islam, M. S., Suri, H. S., El-Baz, A. S., & Suri, J. S. (2017). Comparative approaches for classification of diabetes mellitus data: machine learning paradigm. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 152, 23–34. <https://doi.org/10.1016/j.cmpb.2017.09.004>. Epub 2017 Sep 8
- Muhammad, L.J., Algehyne, E.A., Usman, S.S., Ahmad, A., Chakraborty, C., & Mohammed, I.A. (2021). Supervised machine learning models for prediction of covid-19 infection using epidemiology dataset. *SN Computer Science*, 2(1),11. <https://doi.org/10.1007/s42979-020-00394-7>. Epub 2020 Nov 27
- Neumann, U., Genze, N., & Heider, D. (2017). EFS: an ensemble feature selection tool implemented as R-package and web-application. *BioData Mining*, 10, 21. <https://doi.org/10.1186/s13040-017-0142-8>. eCollection 2017
- Nindrea, R.D., Aryandono, T., Lazuardi, L., & Dwiprahasto, I. (2018). Diagnostic accuracy of different machine learning algorithms for breast cancer risk calculation: a meta-analysis. *Asian Pacific Journal of Cancer Prevention*, 19(7), 1747-1752. <https://doi.org/10.22034/APJCP.2018.19.7.1747>
- Ogurtsova, K., da Rocha Fernandes, J. D., Huang, Y., Linnenkamp, U., Guariguata, L., Cho, N. H., Cavan, D., Shaw, J. E., & Makaroff, L. E. (2017). IDF diabetes atlas: global estimates for the prevalence of diabetes for 2015 and 2040. *Diabetes Research and Clinical Practice*, 128, 40–50. <https://doi.org/10.1016/j.diabres.2017.03.024>.
- Olivera, A. R., Roesler, V., Iochpe, C., Schmidt, M. I., Vigo, Á., Barreto, S. M., & Duncan, B. B. (2017). Comparison of machine-learning algorithms to build a predictive model for detecting undiagnosed diabetes- Elsa-Brasil: accuracy study. *Sao Paulo Medical Journal*, 135(3), 234–246. <https://doi.org/10.1590/1516-3180.2016.0309010217>
- Özlüer Başer, B., Yangın, M., & Sarıdaş, E. S. (2021). Makine öğrenmesi teknikleriyle diyabet hastalığının sınıflandırılması. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 25(1), 112-120. <https://doi.org/10.19113/sdufenbed.842460>
- Özmen, Ö., Khdr, A., & Avcı, E. (2018). Sınıflandırıcıların kalp hastalığı verileri üzerine performans karşılaştırması. *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 30(3), 153-159.
- Tiwari, D., Bhati, B.S., Al-Turjman, F., & Nagpal, B. (2021). Pandemic coronavirus disease (Covid-19): World effects analysis and prediction using machine-learning techniques. *Expert Systems*. May 11:10.1111/exsy.12714. <https://doi.org/10.1111/exsy.12714>
- Trevor, H., Tibshirani, R., & Friedman, J. (2011). *The elements of statistical learning: data mining, inference and prediction* (2nd ed.). Springer International Publishing.
- Uddin, S., Khan, A., Hossain, M.E., & Moni, M.A. (2019). Comparing different supervised machine learning algorithms for disease prediction. *BMC Medical Informatics and Decision Making*. 19(1), 281. <https://doi.org/10.1186/s12911-019-1004-8>

- Van Harmelen, F., Lifschitz, V., & Porter, B. (2008). *Handbook of knowledge representation*. Elsevier.
- Walia N., Kumar M., & Kakkar L. (2018). Classification of diabetes patient by using data mining techniques. *International Journal for Research in Engineering Application & Management*, 4(5), 347-351. <https://doi.org/10.18231/2454-9150.2018.0637>
- Worachartcheewan, A., Nantasenamat, C., Prasertsrithong, P., Amranan, J., Monnor, T., Chaisatit, T., Nuchpramool, W., & Prachayasittikul, V. (2013). Machine learning approaches for discerning intercorrelation of hematological parameters and glucose level for identification of diabetes mellitus. *EXCLI Journal*, 12, 885–893. <https://doi.org/10.17877/DE290R-7572>
- Youden, W. J. (1950). Index for rating diagnostic tests. *Cancer*, 3(1), 32–35. [https://doi.org/10.1002/1097-0142\(1950\)3:1<32::aid-cncr2820030106>3.0.co;2-3](https://doi.org/10.1002/1097-0142(1950)3:1<32::aid-cncr2820030106>3.0.co;2-3)
- Yu, W., Liu, T., Valdez, R., Gwinn, M., & Khoury, M. J. (2010). Application of support vector machine modeling for prediction of common diseases: the case of diabetes and pre-diabetes. *BMC Medical Informatics and Decision Making*, 10(1), 16. <https://doi.org/10.1186/1472-6947-10-16>.

Carbonic anhydrase inhibition and antioxidant activity of the axially naphthoxazin group substituted silicon phthalocyanines

Eksenel olarak naftoksazin grubu süstitüe edilmiş silisyum ftalosiyeninlerin karbonik anhidraz inhibisyonu ve antioksidan aktivitesi

Ayça AKTAŞ KARACELİK^{*1,a}, Volkan ÇAKIR^{2,b}, Hüseyin BAŞ^{3,c}, Zekeriya BIYIKLIOĞLU^{3,d}

¹ Giresun University, Espiye Vocational School, Department of Food Processing, 28600, Giresun

² Giresun University, Espiye Vocational School, Department of Therapy and Rehabilitation, 28600, Giresun

³ Karadeniz Technical University, Faculty of Sciences, Department of Chemistry, 61000, Trabzon

• Geliş tarihi / Received: 29.09.2021

• Düzeltilek geliş tarihi / Received in revised form: 29.11.2021

• Kabul tarihi / Accepted: 06.12.2021

Abstract

Silicon phthalocyanines are an interesting subclass of phthalocyanines. They are abundant and have extremely low toxicity levels. The low solubility of silicon phthalocyanine is the major obstacle to its use in many different applications. Therefore, in a previous study, two axially substituted silicon phthalocyanines were synthesized to increase their solubility. In this study, these axially substituted silicon phthalocyanines were evaluated for carbonic anhydrase inhibition and antioxidant activities. The carbonic anhydrase (CA) inhibition potential of silicon phthalocyanines was evaluated by esterase activity. The antioxidant activity was tested by 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) radical scavenging and ferric ion (III) reducing/antioxidant power (FRAP) assays. The silicon phthalocyanines had significant CA inhibitory activity [50% inhibitory values (IC₅₀): 495 ± 12.74 nM and 857 ± 13.03 nM for H4-Si and H3-Si, respectively]. According to the antioxidant studies, 50% scavenging concentration (SC₅₀) values of DPPH• assay were 2.29 ± 0.06 µg/mL and 1.39 ± 0.43 µg/mL for H3-Si and H4-Si and Trolox Equivalent Antioxidant Capacity (TEAC) values of FRAP test were 259.33 ± 48.27 µM and 342.00 ± 44.40 for H3-Si µM and H4-Si, respectively. Consequently, silicon phthalocyanine compounds are considered to have great potential for their use in various fields such as food and medicine.

Keywords: Antioxidant, Carbonic anhydrase, Esterase activity, Inhibitor, Silicon phthalocyanines

Öz

Silisyum ftalosiyeninler, ftalosiyeninlerin ilgi duyulan bir alt sınıfıdır. Bol miktarda bulunurlar ve son derece düşük toksisite seviyelerine sahiptirler. Silisyum ftalosiyenininin düşük çözünürlüğü, birçok farklı uygulamada kullanımının önündeki en büyük engeldir. Bu yüzden, çözünürlüklerini artırmak için eksenel olarak süstitüe edilmiş iki silisyum ftalosiyenin daha önce yapılan bir çalışmada sentezlendi. Bu çalışmada, eksenel olarak süstitüe edilmiş bu silisyum ftalosiyeninler, karbonik anhidraz inhibisyonu ve antioksidan aktiviteleri açısından değerlendirildi. Silisyum ftalosiyeninlerin karbonik anhidraz (CA) inhibisyon potansiyeli, esteraz aktivitesi ile değerlendirildi. Antioksidan aktivite, 2,2-difenil-1-pikrilhidrazil (DPPH•) radikal temizleme ve demir iyon (III) indirgeme / antioksidan güç (FRAP) metotları ile test edildi. Silisyum ftalosiyeninler, önemli CA inhibitör aktivitesine [%50 inhibitör değerleri (IC₅₀): H4-Si ve H3-Si için sırasıyla 495 ± 12.74 nM ve 857 ± 13.03 nM] sahiptir. Antioksidan çalışmalara göre, DPPH• testinin %50 temizleme konsantrasyon (SC₅₀) değerleri sırasıyla H3-Si için 2.29 ± 0.06 µg/mL, H4-Si için 1.39 ± 0.43 µg/mL ve FRAP testinin Trolox Eşdeğer Antioksidan Kapasitesi (TEAC) değerleri H3-Si için 259.33±48.27 µM, H4-Si için 342.00 ± 44.40 µM olarak bulundu. Sonuç olarak, silisyum ftalosiyenin bileşiklerinin, gıda ve tıp gibi çeşitli alanlarda kullanımları için büyük potansiyele sahip olduğu düşünülmektedir.

Anahtar kelimeler: Antioksidan, Karbonik anhidraz, Esteraz aktivitesi, İnhibitör, Silisyum ftalosiyeninler

*a Ayça AKTAŞ KARACELİK; ayca.aktas@giresun.edu.tr, Tel: 0 (454) 310 14 30, orcid.org/0000-0001-5381-2924

^b orcid.org/0000-0002-5817-0817

^c orcid.org/0000-0002-8722-3359

^d orcid.org/0000-0001-5138-214X

1. Introduction

1. Giriş

Phthalocyanines (Pc) are functional macro/heterocyclic dyes with planar structure with thermal and optic stability due to a strong 18- π electron conjugation. Phthalocyanines derivatives have become increasingly important in many application fields such as dyes and pigments (Leznoff & Lever, 1996), medical applications, and photodynamic therapy (Rodriguez et al., 2009; Master et al., 2010). In addition to their unique electronic, optical, and structural behaviors other properties have been explored such as antifungal, antibacterial, and antitumor activities (Zhao et al., 2013). However, unsubstituted Pcs have obstacles to their application because of their insolubility. It was discovered that there are several approaches to introduce a suitable substituent on the ring system of Pcs which increase the steric interactions. Suitable substituent includes electron-withdrawing (-F, -Cl, -Br, -NO₂, etc.), electron-donating (-NH₂, Ar-S-, RO-, etc.), and bulky or long-chain groups which help solve the low solubility issue (Çakir et al., 2015). Phthalocyanines aggregation in solution is another limitation. Fortunately, recent researches demonstrated that axially disubstituted silicon phthalocyanines (SiPcs) displayed non-aggregation due to the non-planar substituents issuing from the center metal atom (Demirkapi et al., 2014; Güzel et al., 2019). To overcome this problem, it is preferable to add substituents to the axial positions of Pcs, as axial positions can strongly affect some properties of Pcs such as solubility and aggregation behavior. Non-aggregating axially disubstituted SiPcs can be used for biological activity determination applications. Previous researches have also shown that the toxicity of SiPc against cancer cells is very low (Chan et al., 2010; Li et al., 2017; Bispo et al., 2018). Therefore, the synthesis of an axially substituted SiPc would be a good candidate for further study.

Carbonic anhydrase (EC 4.2.1.1. CA) have vital metabolic and cellular functions such as carbon dioxide and ion transport, acid-base balance, respiration, homeostasis, bone resorption, gluconeogenesis, ureagenesis, lipogenesis, tumorigenesis, and electrolyte secretion (Supuran & Scozzafava, 2002; Supuran et al., 2003). Although CA has important metabolic and cellular functions, it is common in the medical field to inhibit CAs in order to treat several disorders such as glaucoma, edema, epilepsy, hypoxic tumors, and obesity (Supuran, 2011). Therefore, finding novel

CA inhibitors is of great interest as is finding novel antioxidants compounds.

Reactive oxygen species (ROS) are implicated in causing aging, cancer, and other disorders (hepatic, neurodegenerative, cardiovascular, and renal) in humans. Oxidative stress is the result of an imbalance between ROS and antioxidant defenses. It can cause various disorders (cancer, cardiovascular diseases, neurodegenerative disorders, diabetes, etc.) and degeneration on cell functions resulting in cell death. Antioxidants are one of the most important compounds used to protect living organisms because of their ability to inhibit ROS (Karaçelik et al., 2015; Alkan Türkuçar et al., 2021). Synthesis and characterization of new phthalocyanine compounds with different functional groups with bioactive properties have been investigated (Yıldırım et al., 2017; Karaçelik et al., 2021a). In addition, in recent years, there has been an increasing interest in these compounds, as phthalocyanine molecules exhibit antioxidant and enzyme inhibition properties according to the metal ion and substituted groups in their center (Demirkapi et al., 2014; Agirtaş et al., 2018; Güzel et al., 2018; Günsel et al., 2019; Demirbaş et al., 2019; Özil et al., 2019; Yakan et al., 2020; Karaçelik et al., 2021; Aktaş Karaçelik et al., 2021).

In the light of this information, it was aimed to evaluate the CA inhibition activity and antioxidant activity of two axially substituted silicon phthalocyanines (H3-Si and H4-Si) compounds.

2. Materials and methods

2. Materyal ve metot

2.1. Chemical synthesis

2.1. Kimyasal sentez

2-[2-(1H-naphtho[1,2-e][1,3]oxazin-2(3H)-yl)ethoxy]ethanol and 6-(1H-naphtho[1,2-e][1,3]oxazin-2(3H)-yl)hexan-1-ol axially naphthoxazin substituted two silicon(IV) phthalocyanines were prepared according to Baş and Biyiklioglu (2015). The IR spectra were determined using a Perkin Elmer 1600 Fourier Transform-Infrared (FT-IR-ATR) spectrophotometer. ¹H NMR and ¹³C NMR spectra were recorded on a Bruker Avance III 400 MHz NMR spectrometer in DMSO-d₆, and chemical shifts (δ) are reported in ppm and coupling constants (J) are given in hertz (Hz). Mass spectra were measured on a Bruker Microflex LT MALDI-TOF MS spectrometer. Melting points

were measured on a Barnstead electrothermal 9200 series digital apparatus. Electronic spectra in the UV–Vis region were recorded on a Perkin Elmer-Lambda 25 spectrophotometer, using 1 cm pathlength cuvettes at room temperature. Silicon (IV) phthalocyanine dichloride was purchased from Sigma Aldrich. All reagents were of reagent grade quality and obtained from commercial suppliers. All solvents were dried and purified as described by Perrin and Armarego (1985).

2.2. Determination of CA inhibition activity

2.2. CA inhibisyon aktivitesinin belirlenmesi

Esterase activity was used to evaluate CA inhibition of SiPcs (H3-Si and H4-Si) (Verpoorte et al., 1967). Esterase activity reactions were performed according to the method previously described by Efe (2020). bCA enzyme was commercially obtained from Sigma Aldrich. Enzyme activity was spectrophotometrically determined by measuring the hydrolysis of *p*-nitrophenyl acetate (*p*-NPA) to *p*-nitrophenol or *p*-nitrophenolate at 348 nm wavelength. The inhibitory effects of H3-Si and H4-Si were determined at the following different concentrations: 0.02-0.004 mg/mL for H3-Si and 0.025-0.008 mg/mL for H4-Si. The negative control was prepared with the same reaction mixture without an enzyme. The positive control was prepared with the reaction mixture with the enzyme in the absence of the inhibitor. The results were given as inhibitor concentrations (IC₅₀) resulting in 50% inhibition. All experiments were performed in triplicate.

2.3. Determination of ferric reducing / antioxidant power (FRAP)

2.3. Demir indirgeme / antioksidan gücün (FRAP) belirlenmesi

The method of FRAP was based on the spectrophotometric measurement of the revealed TPTZ-Fe (II) complex as a reaction product (Benzie & Strain, 1996). Trolox Equivalent Antioxidant Capacity (TEAC) was determined for

H3-Si and H4-Si using the calibration graph of Trolox (31.25-1000 µM). Briefly, a 50 µL sample (at 0.04 mg/mL, corresponding to 36.86 and 36.03 µM for H3-Si and H4-Si) was mixed with 1.5 mL of FRAP reagent and spectrophotometrically measured at 595 nm wavelength (Karaçelik et al., 2015). All experiments were performed in triplicate.

2.4. Determination of DPPH• radical scavenging activity

2.4. 2.4. DPPH• radikal temizleme aktivitesinin belirlenmesi

2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH•) radical was used to determine radical scavenging activity (Brand-Williams et al., 1995). SiPcs (H3-Si and H4-Si) were evaluated for DPPH• radical scavenging activity according to the method described by Karaçelik (2021). Serial dilutions of H3-Si and H4-Si were mixed with 100 µM methanolic DPPH• solution in an equal volume (750 µL) and spectrophotometrically measured at 517 nm wavelength after 50 min incubation. The results were given as the SC₅₀ (the compound concentration showing 50% scavenging of DPPH• initially available, µg/mL) value. All experiments were performed in triplicate. Also, %DPPH• scavenging activity at 0.0025 mg/mL for each sample and standard was calculated.

3. Results and discussion

3. Bulgular ve tartışma

3.1. Chemical synthesis

3.1. Kimyasal sentez

2- [2- (1H- naphtho[1,2-e][1,3] oxazin-2(3H)-yl) ethoxy]ethanol and 6-(1H-naphtho[1,2 e][1,3]oxazin-2(3H)-yl)hexan-1-ol axially naphthoxazin substituted two silicon(IV) phthalocyanines (SiPcs) were previously synthesized (Baş & Biyiklioglu, 2015). Axially naphthoxazin group substituted SiPcs are shown in Figure 1.

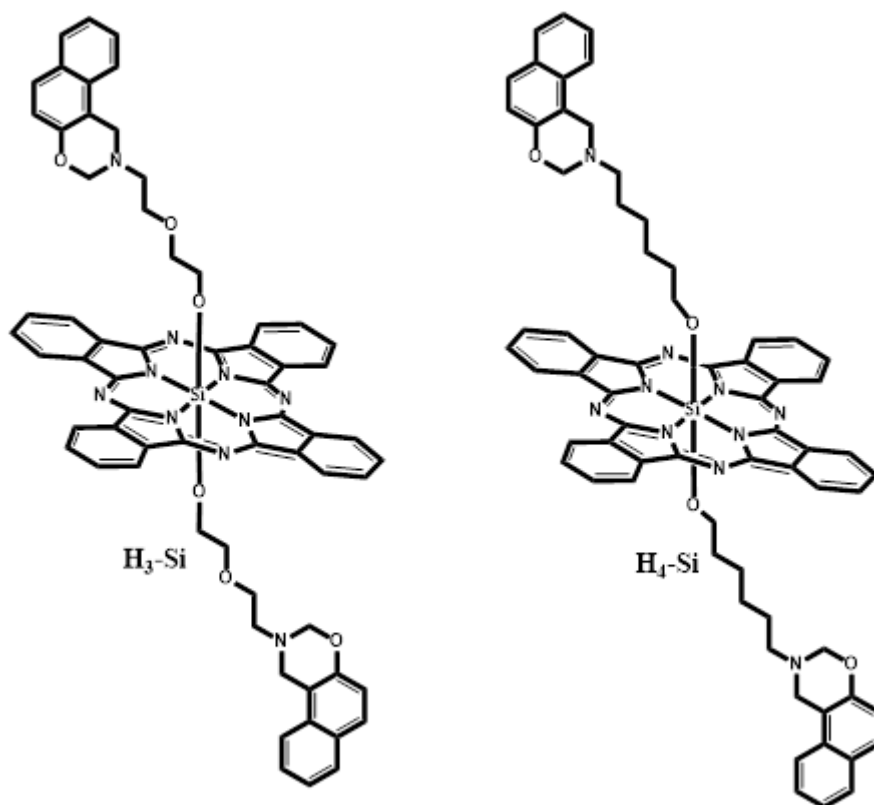


Figure 1. Axially naphthoxazin group substituted silicon phthalocyanines (Baş & Biyiklioglu, 2015)

Şekil 1. Eksenel naftoksazin grubu süstitüe silisyum ftalosiyeninler (Baş ve Biyiklioğlu, 2015)

3.2. Carbonic anhydrase inhibition and antioxidant activity

3.2. Karbonik anhidraz inhibisyonu ve antioksidan aktivite

Carbonic anhydrase inhibition activity of SiPcs was tested on bovine carbonic anhydrase (bCA) by esterase activity *in vitro*. The determined CA inhibition potentials were given as IC_{50} values in Figure 2 and Table 1. According to the bCA inhibition activity assay, IC_{50} was 495 ± 12.74 nM for H4-Si and 857 ± 13.03 nM for H3-Si. The tested SiPcs exhibited much better inhibition activity than sulfanilamide, as a low IC_{50} value indicated a high CA inhibition activity. In our previous study, ([3-(diethylamino)phenoxy]propanoxy) substituted silicon phthalocyanine showed CA inhibitory activity with an IC_{50} value of 2333 nM. However, the compounds (H3-Si and H4-Si) in this study showed approximately 2.7 and 4.7 times higher CA inhibitory activity, respectively (Aktaş Karaçelik et al., 2021). Consequently, these compounds had great potential as CA inhibitors and could have significant importance in the find new classes of potential CA inhibitors. In our previous study, it was found that metallophthalocyanines have a strong inhibitory effect on the carbonic anhydrase

enzyme (Karaçelik et al., 2021). The results revealed that silicon phthalocyanines with different functional groups considerably affected biological activity. Although there has been ample research related to the inhibition activity of PCs on different enzymes, there has been only scant research about the CA inhibition activity of SiPcs (Kantar et al., 2016; Barut et al., 2017a; Arslan et al., 2019; Demirbaş et al., 2019). Arslan et al. (2018) reported that SiPcs had the potential to be carbonic anhydrase inhibitors for the first time. In another research, Keleş et al. (2019) showed that the silicon (IV) phthalocyanine and naphthalocyanine containing pyridine groups had inhibitory effects on topoisomerases. In addition, water-soluble and morpholine disubstituted SiPcs were revealed to be a promising photo-synthesizing agent for photodynamic therapy due to their DNA photocleavage properties (Barut et al., 2017b; Keleş et al., 2019).

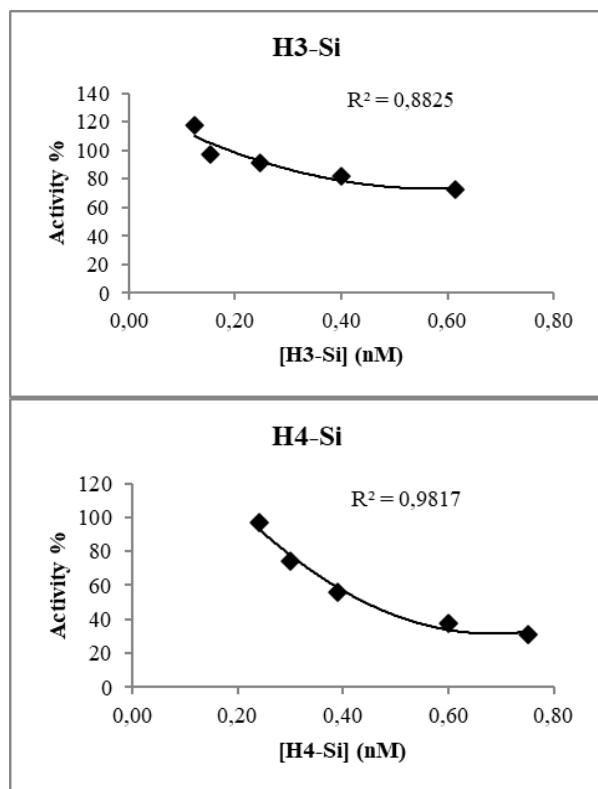


Figure 2. IC₅₀ graphs of H3-Si and H4-Si phthalocyanines against bCA enzyme

Şekil 2. H3-Si ve H4-Si ftalosiyininlerin bCA enzimine karşı IC₅₀ grafikleri

Antioxidants decreasing the toxic influences of free radicals can be synthetic or natural compounds. Recently, investigations focused on discovering promising PCs with antioxidant activity. In this study, the antioxidant activity of H3-Si and H4-Si compounds were determined using DPPH• and FRAP assays (Table 1). According to results of the DPPH• radical scavenging activity, SC₅₀ was 2.29

± 0.06 µg/mL for H3-Si and 1.39 ± 0.43 µg/mL for H4-Si. It can be concluded that H4-Si exhibited approximately 1.7 times higher activity than H3-Si since a low SC₅₀ value indicates higher antioxidant activity. In addition, both SiPcs had higher antioxidant activity than the standards (BHT, Trolox, and Vitamin C). The results of FRAP were in accordance with the DPPH• assay results. The FRAP value of H4-Si (342.00 ± 44.40 µM TEAC) was higher than the FRAP value of H3-Si (259.33 ± 48.27 µM TEAC). Both SiPcs at the tested concentrations exhibited 7.02-9.49 times higher activity than Trolox (Table 1). Their %DPPH• radical scavenging activity was calculated to be 2.5 µg/mL. The results showed that the antioxidant activities for both SiPcs (53.71% for H3-Si and 94.43% for H4-Si), were more effective than the standards (33.80% Trolox, 14.87% BHT, and 4.24% Vitamin C). These results of the study were similar to our previous study in the literature (Aktaş Karaçelik et al., 2021). Importantly, although there has been ample research related to the antioxidant activity of PCs, there is only our study on the antioxidant activity of SiPcs (Aktaş Karaçelik et al., 2021). The compounds in this study showed higher antioxidant activity compared to the antioxidant activity results of the previously studied axially substituted silicon phthalocyanines (DPPH• SC₅₀ values: DM-C3-Si: 19.9 µg/mL and DE-C3-Si: 23.2 µg/mL, FRAP TEAC values: DM-C3-Si: 232 µM and DE-C3-Si: 73 µM) (Aktaş Karaçelik et al., 2021). When antioxidant activity results of this study were compared with the previously tested PCs within the literature, the SiPcs were in agreement with the literature and even had better antioxidant activity than some PCs (Agirtaş et al., 2019; Günsel et al., 2019; Unluer et al., 2019; Günsel et al., 2020).

Table 1. CA enzyme inhibition and antioxidant activity values of silicon phthalocyanines and standards
Tablo 1. Silikon ftalosiyininler ve standartların CA enzim inhibisyonu ve antioksidan aktivite değerleri

Samples and standards	Carbonic anhydrase inhibition	Antioxidant activity		
	IC ₅₀ (nM)	DPPH• scavenging (SC ₅₀ , µg/mL)	%DPPH• scavenging (at 0.0025 mg/mL)	FRAP* (TEAC, µM)
H3-Si	857±13.03	2.29±0.06	53.71	259.33±48.27
H4-Si	495±12.74	1.39±0.43	94.43	342.00±44.40
Trolox	NT	3.91±0.01	33.80	**
BHT	NT	8.11±0.16	14.87	NT
Vitamin C	NT	28.77±1.01	4.24	NT
Sulfanilamide	5030.56±59.88	NT	NT	NT
Acetazolamide	80.01±0.33	NT	NT	NT

* The compounds were tested at 0.04 mg/mL, corresponding to 36.86 and 36.03 µM for H3-Si and H4-Si, respectively. NT: Not tested. **Trolox was used to constructing a calibration curve used for the calculation of TEAC values.

4. Conclusion

4. Sonuç

In this study, the previously synthesized SiPcs were tested for carbonic anhydrase inhibition and antioxidant activity. According to our enzyme inhibition and antioxidant activity results, these compounds have great potential to be used as active pharmaceutical and antioxidant agents. The SiPcs studied had much better %DPPH• scavenging activity than Vitamin C. Especially, it was observed that H4-SiPc would be a good candidate to be used in the treatment of various diseases in the future because of its significant enzyme inhibition and antioxidant activity. However, it is certain that further studies (*in vivo*) are needed to produce new carbonic anhydrase inhibitors with drug potential.

Acknowledgments

Teşekkür

The authors would like to thank Giresun University, which allows the use of research laboratories at Espiye Vocational School.

Author contribution

Yazar katkısı

Ayça AKTAŞ KARAÇELİK: Analysis and evaluation of CA inhibition and antioxidant activity.

Volkan ÇAKIR, Hüseyin BAŞ, Zekeriya BIYIKLIOĞLU: Synthesis of chemicals and characterized.

Authors contributed equally to this work.

Declaration of ethical code

Etik beyanı

The authors of this article declare that the materials and methods used in this study do not require ethical committee approval and/or legal-specific permission.

Conflicts of interest

Çıkar çatışması

The authors declare that there is no conflict of interest.

References

Kaynaklar

Agirtaş, M.S., Cabir, B., Gümüş, S., Özdemir, S., & Dündar, A. (2018). Synthesis and antioxidant, aggregation, and electronic properties of 6-tert-butyl-1,4-benzodioxine substituted

phthalocyanines. *Turkish Journal of Chemistry*, 42, 100-111. <https://doi.org/10.3906/kim-1605-59>

Aktaş Karaçelik, A., Efe, D., Çakır, V., & Biyıklıoğlu, Z. (2021). Aksiyal disüstitüe silisyum ftalosiyanınların biyolojik aktivitelerinin belirlenmesi. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 11(2), 1302-1310. <https://doi.org/10.21597/jist.804539>

Alkan Türkuçar, S., Aktaş Karaçelik, A., & Karaköse, M. (2021). Phenolic compounds, essential oil composition, and antioxidant activity of *Angelica purpurascens* (Avé-Lall.) Gill. *Turkish Journal of Chemistry*, 45(3), 956-966. <https://doi.org/10.3906/kim-2101-28>

Arslan, T., Biyıklıoğlu, Z., & Şentürk, M. (2018). The synthesis of axially disubstituted silicon phthalocyanines, their quaternized derivatives and first inhibitory effect on human cytosolic carbonic anhydrase isozymes hCA I and II. *RSC Advances*, 8, 10172-10178. <https://doi.org/10.1039/C7RA13674A>

Arslan, T., Çakır, N., Keleş, T., Biyıklıoğlu, Z., & Senturk, M. (2019). Triazole substituted metal-free, metallo-phthalocyanines and their water soluble derivatives as potential cholinesterases inhibitors: Design, synthesis and *in vitro* inhibition study. *Bioorganic Chemistry*, 90, 103100. <https://doi.org/10.1016/j.bioorg.2019.103100>

Barut, B., Demirbaş, Ü., Özel, A., & Kantekin, H. (2017a). Novel water soluble morpholine substituted Zn(II) phthalocyanine: Synthesis, characterization, DNA/BSA binding, DNA photocleavage and topoisomerase I inhibition. *International Journal of Biological Macromolecules*, 105(1), 499-508. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.07.072>

Barut, B., Demirbaş, Ü., Şenocak, A., Özel, A., & Kantekin, H. (2017b). Water soluble axially morpholine disubstituted silicon phthalocyanines: Synthesis, characterisation, DNA/BSA binding, DNA photocleavage properties. *Synthetic Metals*, 229, 22-32. <https://doi.org/10.1016/j.synthmet.2017.05.006>

Baş, H., & Biyıklıoğlu, Z. (2015). Non-aggregated axially naphthoxazin group substituted silicon phthalocyanines: Synthesis and electrochemistry. *Journal of Organometallic Chemistry*, 791, 238-243. <https://doi.org/10.1016/j.jorganchem.2015.05.015>

Benzie, I. F. F., & Strain, J. J. (1996). The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of "antioxidant power": the FRAP assay.

- Analytical Biochemistry*, 239(1), 70-76.
https://doi.org/10.1006/abio.1996.0292
- Bispo, M., Pereira, P. M. R., Setaro, F., Rodríguez-Morgade, M. S., Fernandes, R., Torres, T., & Tomé, J. P. C. (2018). A galactose dendritic silicon (IV) phthalocyanine as a photosensitizing agent in cancer photodynamic therapy. *ChemPlusChem*, 83(9), 855-860.
https://doi.org/10.1002/cplu.201800370
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M.E., & Berset, C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *Food Science and Technology LEB*, 28(1), 25-30.
https://doi.org/10.1016/S0023-6438(95)80008-5
- Çakır, D., Göl, C., Çakır, V., Durmuş, M., Biyıklıoğlu, Z., & Kantekin, H. (2015). Water soluble {2-[3-(diethylamino)phenoxy]ethoxy} substituted zinc(II) phthalocyanine photosensitizers. *Journal of Luminescence*, 159, 79-87.
https://doi.org/10.1016/j.jlumin.2014.10.044
- Chan, C. M., Lo, P. C., Yeung, S. L., Ng, D. K., & Fong, W. P. (2010). Photodynamic activity of a glucoconjugated silicon(IV) phthalocyanine on human colon adenocarcinoma. *Cancer Biology & Therapy*, 10(2), 126-34.
https://doi.org/10.4161/cbt.10.2.11946
- Demirbaş, Ü., Barut, B., Yalçın, İ., Değirmencioğlu, İ., Yıldırım, S., & Özel, A. (2019). Synthesis, characterization, and investigation of cholinesterase inhibitory properties of novel phthalocyanines. *Journal of Heterocyclic Chemistry*, 56(5), 1553.
https://doi.org/10.1002/jhet.3530
- Demirkapı, D., Şirin, A., Yıldız, B.T., Çakar, Z. P., & Sesalan, B. Ş. (2014). The synthesis of new silicon phthalocyanines and analysis of their photochemical and biological properties. *Synthetic Metals*, 187, 152-159.
https://doi.org/10.1016/j.synthmet.2013.11.001
- Efe, D. (2020). Carbonic anhydrase enzyme inhibition and biological activities of *Satureja hortensis* L. essential oil. *Industrial Crops and Products*, 156, 112849.
https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112849
- Günsel, A., Alici, E. H., Bilgiçli, A. T., Arabacı, G., & Yaraşır, M. N. (2019). Antioxidant properties of water-soluble phthalocyanines containing quinoline 5-sulfonic acid groups. *Turkish Journal of Chemistry*, 43, 1030-1039.
https://doi.org/10.3906/kim-1904-12
- Günsel, A., Bilgiçli, A. T., Kandemir, C., Sancak, R., Arabacı, G., & Yarasir, M. N. (2020). Comparison of novel tetra-substituted phthalocyanines with their quaternized derivatives: Antioxidant and antibacterial properties. *Synthetic Metals*, 260, 116288.
https://doi.org/10.1016/j.synthmet.2019.116288
- Güzel, E., Şaki, N., Akın, M., Nebioğlu, M., & Şişman, İ. (2018). Zinc and chloroindium complexes of furan-2-ylmethoxy substituted phthalocyanines: Preparation and investigation of aggregation, singlet oxygen generation, antioxidant and antimicrobial properties. *Synthetic Metals*, 245, 127-134.
https://doi.org/10.1016/j.synthmet.2018.08.018
- Güzel, E., Koçyiğit, Ü. M., Arslan, B. S., Ataş, M., Taslimi, P., Gökalp, F., Nebioğlu, M., Şişman, İ., & Gulçin, İ. (2019). Aminopyrazole-substituted metallophthalocyanines: Preparation, aggregation behavior, and investigation of metabolic enzymes inhibition properties. *Archiv der Pharmazie (Weinheim)*, 352(2), e1800292.
http://dx.doi.org/10.1002/ardp.201800292
PMID: 30600535
- Kantar, C., Mavi, V., Baltaş, N., Islamoğlu, F., & Şaşmaz, S. (2016). Novel zinc(II)phthalocyanines bearing azo-containing schiff base: Determination of pKa values, absorption, emission, enzyme inhibition and photochemical properties. *Journal of Molecular Structure*, 1122, 88-99.
https://doi.org/10.1016/j.jorgchem.2014.12.042
- Karaçelik, A. A., Küçük, M., Efe, D., Çakır, V., & Biyıklıoğlu, Z. (2021). Carbonic anhydrase inhibition potential and some bioactivities of the peripherally tetrasubstituted cobalt(II), titanium(IV), manganese(III) phthalocyanines. *Letters in Drug Design & Discovery*, 18(4), 365-371.
https://doi.org/10.2174/1570180817999201009162347
- Karaçelik, A. A., Küçük, M., Iskefiyeli, Z., Aydemir, S., De Smet, S., Miserez, B., & Sandra, P. (2015). Antioxidant components of *Viburnum opulus* L. determined by on-line HPLC–UV–ABTS radical scavenging and LC–UV–ESI–MS methods. *Food Chemistry*, 175, 106-114.
https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.11.085
- Keleş, T., Barut, B., Özel, A., & Biyıklıoğlu, Z. (2019). Synthesis of water soluble silicon phthalocyanine, naphthalocyanine bearing pyridine groups and investigation of their DNA interaction, topoisomerase inhibition, cytotoxic effects and cell cycle arrest properties. *Dyes and Pigments*, 164, 372-383.
https://doi.org/10.1016/j.dyepig.2019.01.044
- Leznoff, C. C., & Lever, A. B. P. (Ed.) (1996). *Phthalocyanines, properties and applications*. New York: VCH Publisher.

- Li, K., Qiu, L., Liu, Q., Lv, G., Zhao, X., Wang, S., & Lin, J. (2017). Conjugate of biotin with silicon(IV) phthalocyanine for tumor-targeting photodynamic therapy. *Journal of Photochemistry and Photobiology B-Biology*, 174, 243-250. <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2017.08.003>
- Master, A. M., Rodriguez, M. E., Kenney, M. E., Oleinick, N. L., & Gupta, A. S. (2010). Delivery of the photo sensitizer Pc 4 in PEG-PCL micelles for in vitro PDT studies. *Journal of Pharmaceutical Sciences*, 99(5), 2386-2398. <https://doi.org/10.1002/jps.22007>
- Özil, M., Balaydın, H. T., & Şentürk, M. (2019). Synthesis of 5-methyl-2,4-dihydro-3H-1,2,4-triazole-3-one's aryl Schiff base derivatives and investigation of carbonic anhydrase and cholinesterase (AChE, BuChE) inhibitory properties. *Bioorganic Chemistry*, 86, 705-713. <http://dx.doi.org/10.1016/j.bioorg.2019.02.045> PMID: 30836234
- Perrin, D. D., Armarego, W. L. F., & Perrin, D. R. (1985). *Purification of laboratory chemicals* (2nd Ed). New York: Pergamon Press.
- Rodriguez, M. E., Zhang, P., Azizuddin, K., Santos, G. B. D., Chiu, S., Xue, L., Berlin, J. C., Peng, X., Wu, H., Lam, M., Nieminen, A. L., Kenney, M. E., & Oleinick, N. L. (2009). Structural factors and mechanisms underlying the improved photodynamic cell killing with silicon phthalocyanine photosensitizers directed to lysosomes Versus mitochondria. *Photochemistry and Photobiology*, 85(5), 1189-1200. <https://doi.org/10.1111/j.1751-1097.2009.00558.x>
- Supuran, C. T. (2011). Carbonic anhydrase inhibitors and activators for novel therapeutic applications. *Future Medicinal Chemistry*, 3(9), 1165-1180. <https://doi.org/10.4155/fmc.11.69>
- Supuran, C. T., & Scozzafava, A. (2002). Applications of carbonic anhydrase inhibitors and activators in therapy. *Expert Opinion on Therapeutic Patents*, 12(2), 217-242. <https://doi.org/10.1517/13543776.12.2.217>
- Supuran, C. T., Scozzafava, A., & Casini, A. (2003). Carbonic anhydrase inhibitors. *Medicinal Research Reviews*, 23(2), 146-89. <https://doi.org/10.1002/med.10025>
- Unluer, D., Kamiloglu, A. A., Direkel, S., Bektas, E., Kantekin, H., & Sancak, K. (2019). Synthesis and characterization of metallophthalocyanine with morpholine containing Schiff base and determination of their antimicrobial and antioxidant activities. *Journal of Organometallic Chemistry*, 900, 120936. <https://doi.org/10.1016/j.jorgchem.2019.120936>
- Verpoorte, J. A., Mehta, S., & Edsall. J. T. (1967). Esterase activities of human carbonic anhydrases B and C. *Journal of Biological Chemistry*, 242(18), 4221-4229. [https://doi.org/10.1016/S0021-9258\(18\)95800-X](https://doi.org/10.1016/S0021-9258(18)95800-X)
- Yakan, H., Çavuş, M. S., Güzel, E., Arslan, B. S., Bakır, T., & Muğlu, H. (2020). Phthalocyanines including 2- mercaptobenzimidazole analogs: synthesis, spectroscopic characteristics, quantum-chemical studies on the relationship between electronic and antioxidant properties. *Journal of Molecular Structure*, 1202, 1-11. <http://dx.doi.org/10.1016/j.molstruc.2019.127259>
- Yıldırım, N., Bilgiçli, A. T., Alici, E. H., Arabacı, G., & Yarasir, M. N. (2017). Formation, characterization, aggregation, fluorescence and antioxidant properties of novel tetrasubstituted metal-free and metallophthalocyanines bearing (4-(methylthio)phenoxy) moieties. *Journal of Molecular Structure*, 1144, 66-79. <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2017.05.006>
- Zhao, Z., Gambari, R., Lee, K. K. H., Kok, S. H. L., Wong, R. S. M., Lau, F. Y., Tang, J. C. O., Lam, K. H., Cheng, C. H., Hau, D. K. P., Chui, C. H., Wong, W. Y., & Wong, W.K. (2013). In vivo antitumour activity of amphiphilic silicon(IV) phthalocyanine with axially ligated rhodamine B. *Bioorganic & Medicinal Chemistry Letters*, 23(8), 2373-2376. <https://doi.org/10.1016/j.bmcl.2013.02.049>

Sentinel-2 görüntüleri kullanılarak su yüzey alanlarının belirlenmesinde sınıflandırıcıların performanslarının incelenmesi

Investigation of the performance of classifiers in the extraction of water body areas using Sentinel-2 images

Mehmet Akif GÜNEN^{1*,a}

¹ Gümüşhane Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 29100, Gümüşhane

• Geliş tarihi / Received: 07.09.2021

• Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 30.11.2021

• Kabul tarihi / Accepted: 06.12.2021

Öz

Nehirler, akarsular, göller ve göletler gibi su yapılarının haritalanması, su kaynaklarının gözlenmesi, zaman içerisinde değişiminin belirlenmesi ve yönetilmesi açısından oldukça önemlidir. Su yüzey alanlarının tespit edilmesi birçok faktörden etkilenen karmaşık bir süreçtir. Su ve su olmayan alanların belirlenmesi problemi için çeşitli çok kanallı bantlı uydu görüntüleri ve sınıflandırma tabanlı yaklaşımlar kullanılmaktadır. Bu çalışmada, sınıflandırma algoritmalarının etkinliğinin araştırılmasında indeks tabanlı yöntemlerden daha başarılı sonuç üreten parametrik olmayan (Destek Vektör Makinalar, k-En Yakın Komşuluk ve Karar Ağaçları), olasılıksal (Saklı Markov Model) ve derin öğrenme (Oto-Kodlayıcı) tabanlı danişmalı sınıflandırma yöntemleri kullanılmıştır. Çok bantlı ve yüksek mekansal çözünürlüklü uydu görüntüleri yüksek maliyetli olduğundan sınıflandırma için Sentinel-2 uydu görüntüsüne ait sadece kırmızı, yeşil ve mavi bantlar kullanılarak Arıklar ve Denizli Göletlerine ait su yüzey alanları belirlenmiştir. Deneysel sonuçlar doğruluk, özgüllük, kesinlik, duyarlılık, f-skör gibi karışıklık matrisinden elde edilen metrikler ve görüntü kalite belirlemede kullanılan ortalama karesel hata, yapısal benzerlik indeksi, pik sinyal-gürültü oranı ve Kohen'in Kappa metriği gibi istatistiksel araçları kullanılarak karşılaştırılmıştır. Elde edilen nicel ve nitel deneysel sonuçlarda derin öğrenme tabanlı oto-kodlayıcı istatistiksel olarak en başarılı yöntem olurken, zamansal karşılaştırma açısından karar ağaçları yönteminin daha hızlı çalıştığı belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Görüntü sınıflandırma, Sentinel-2, Sınıflandırma, Su yüzey alanı belirleme

Abstract

The mapping of water body areas such as rivers, streams, lakes and ponds is very important in terms of monitoring water resources, determining, and managing their change over time. Extracting water body areas is a complicated process that is influenced by a variety of factors. For the problem of identifying water and non-water areas, various multi spectral band satellite imagery and classification-based approaches are used. In this study, non-parametric (Support Vector Machines, k-Nearest Neighborhood and Decision Trees), probabilistic (Hidden Markov Model) and deep learning (Auto-Encoder) based supervised classification, which produce more successful results than index-based methods, were used to investigate the effectiveness of classification algorithms. Since multispectral high spatial resolution satellite images are costly, the water surface areas of Arıklar and Denizli ponds were determined by using only the red, green and blue bands of the Sentinel-2 satellite image for classification. Experimental results were compared using metrics obtained from the confusion matrix such as accuracy, specificity, precision, sensitivity, f-Score, and statistical tools such as mean square error, structural similarity index, peak signal-to-noise ratio, and Kohen's Kappa metric used in image quality determination. In the quantitative and qualitative experimental results obtained, while the deep learning-based auto-encoder was the most successful method statistically, it was determined that the decision trees method worked faster in terms of time comparison.

Keywords: Image classification, Sentinel-2, Classification, Water body extraction

*a Mehmet Akif GÜNEN; akif@gumushane.edu.tr, Tel: 0(456) 233 1000, orcid.org/ 0000-0001-5164-375X

1. Giriş

1. Introduction

Tüm yaşamın temelini hiç kuşkusuz su oluşturmaktadır. Bio-çeşitliliğin korunması, ekonomik gelişmelerin ilerlemesine ve ekolojik dengenin korunmasına katkı sağladığından dolayı su kaynakları hassas ve doğru bir şekilde yönetilmelidir. Bölgesel ve küresel iklimi, halk sağlığını ve ortak yaşam alanlarını önemli ölçüde etkileyen su yapısı, kentsel ve kırsal yaşamın önemli bileşenidir. Sürdürülebilir su kaynaklarının yönetimi için su kaynaklarının sürekli gözlenmesi ve analiz edilmesi gereklidir. (Özçalık vd., 2020; Pan vd., 2020; Tercan & Atasever, 2021). Dünya yüzey alanının yaklaşık %1,1'ini akarsular, göller, göletler ve bataklıklar gibi su yapıları oluşturmaktadır. Hızlı kentleşmeye bağlı olarak artan su ihtiyacı ve buna bağlı olarak oluşan kentsel atıklar, kentsel yüzey su kütlelerinin giderek daha fazla hasar görmesine ve azalmasına neden olmaktadır (Allen & Pavelsky, 2018).

Su yüzey alanlarının belirlenmesi ile ilgili literatürde yoğun çalışmalar gerçekleştirilmektedir. Hem optik (Herndon vd., 2020; W. Jiang vd., 2021; Liu vd., 2016; Xiaohong Yang vd., 2020; Xiucheng Yang vd., 2018) hem de mikrodalga uzaktan algılama yöntemleri (Aswatha vd., 2020; Liao & Wen, 2020; Zhang vd., 2020) yüzey su yüzey alanlarını araştırmak için yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak her iki yöntemin de bazı avantajları ve sınırlamaları vardır. Mikrodalga uzaktan algılama bulutlarda, atmosferik etkilerden ve güneş ışığından büyük oranda etkilenmediğinden veri toplama süreci daha etkindir, ancak genellikle kaba uzamsal çözünürlüklere sahiptir ve zamansal çözünürlüğü de düşüktür. Optik uzaktan algılaması, yalnızca açık gökyüzü ve gün ışığı koşullarında veri toplama yeteneğine sahiptir, özellikle ticari uydulara monte edilen yüksek teknolojiye sahip sensörler sayesinde yüksek mekânsal ve zamansal çözünürlüğe sahip görüntüler yakalayabilmektedir (Orhan, 2021; Orhan vd., 2021). Ancak ticari uydu görüntülerinin yüksek fiyatları nedeniyle su yüzey alanlarının belirlenmesi için genellikle orta-düşük çözünürlüklü uydu görüntüleri kullanılmaktadır. Yüzey su yüzey alanlarının haritalanmasında göller (Torun & Gündüz, 2020), nehirler (H. Jiang vd., 2014), kıyı şeritleri (Li vd., 2016) ve kırsal alanlardaki su yüzey alanlarının (Song vd., 2020) yüksek uzamsal çözünürlüğe sahip uzaktan algılama görüntüleri kullanılarak çıkartılmaktadır.

Uzaktan algılama görüntüleri kullanılarak su yüzey alanlarının haritalanmasıyla su ve su olmayan

pikselleri belirlemek için ilgili araştırmalarda çeşitli su yüzey alanları çıkartma indeksleri, denetimsiz veya denetimli görüntü sınıflandırma algoritmaları kullanılmaktadır. İlgili yöntemlerin başarılarının belirlenmesi için yer gerçeklik verisi kullanılmaktadır. Su kütlesi çıkartma indeksleri genellikle çok kanallı ve yüksek mekânsal çözünürlüklü uydu görüntülerine ihtiyaç duyar ve su alanlarındaki özel bölgelerin çıkartılmasında kullanılır. İndeks tabanlı yöntemlerde ihtiyaç duyulan bantların spektral aralığındaki küçük bir değişiklik, indeks tabanlı su yüzey alanlarının çıkartma başarımlarında ciddi değişikliklere yol açmaktadır (Wang vd., 2018; Zhou vd., 2017). Sınıflandırıcı tabanlı yöntemler, eşik değeri gerektiren indeks tabanlı yöntemlerden daha iyi su yüzey alanı belirleme performansı sağlar çünkü bu yöntemlerde uygulama alanına göre değişiklik gösterebilen eşik değeri ayarlaması gerekmez (Ko vd., 2015). Bu çalışmada olduğu gibi, sınıflandırma yöntemleri, indeks tabanlı yöntemlere göre daha az sayıda görüntü bandı kullanarak su yüzey alanlarının belirlenmesinde kullanılarak daha tutarlı sonuçlar elde edilmesinde kullanılmaktadır. Denetimli sınıflandırma yöntemleri, denetimsiz yöntemlere göre daha doğru ve güvenilir çıktılar sunar, ancak yüksek çözünürlüklü veriler için kullanıldığında sonuçlar değişebilir. Denetimli sınıflandırma için sınıflandırma için görüntünün spektral özelliklerine göre pikselleri sınıflandıran piksel tabanlı yaklaşım veya homojen objeler oluşturmak için spektral, dokusal, geometrik ve istatistiksel özelliklerin kullanıldığı obje tabanlı sınıflandırma yöntemleri kullanılmaktadır. Objeye tabanlı yöntemler uzmanlık ve tecrübe isteyen yaklaşımlar sunmaktadır ve özellikleri oluşturmak için kullanılan parametrelerin ayarlanması oldukça zordur (Huang vd., 2015; Weih ve Riggan, 2010).

Bu çalışmada, su yüzey alanlarının belirlenmesinde Saklı Markov Model (SMM), Destek Vektör Makinaları (DVM), k-En Yakın Komşuluk (k-NN), Karar Ağaçları (KA) ve Oto-Kodlayıcı (OK) sınıflandırma yöntemleri kullanılmıştır. SMM ve OK yöntemlerinin su yüzey alanı araştırmalarında kullanıldığı çalışma sayısı kısıtlıdır. Ayrıca, literatür araştırmasında, Sentinel-2 uydusunun sadece kırmızı, yeşil ve mavi (KYM) bantları kullanılarak su yüzey alanlarının denetimli sınıflandırma yöntemleri ile belirlenerek ayrıntılı performans karşılaştırılmasının gerçekleştirildiği çalışma bildiğimiz kadarıyla yoktur. Yalnızca KYM bantlarının kullanılmasının en büyük nedeni, yüksek çözünürlüklü ve çok bantlı uydu görüntüleri yüksek maliyetlidir. Veri boyutunun artmasına bağlı olarak sınıflandırıcıların hesaplama yükleri de artmaktadır. Ayrıca, KYM

bantlarının mekânsal çözünürlüğü genellikle diğer bantlara göre yüksektir. Farklı stratejilere ve yapısal özelliklere (parametrik olmayan, olasılıksal, derin öğrenme vb.) sahip sınıflandırıcıların su yüzey alanı belirlemede performanslarının karşılaştırılması için Marmara bölgesinde bulunan Arıklar ve Denizli Göletleri kullanılmıştır. Performans karşılaştırması için Doğruluk, Özgüllük, Kesinlik, Duyarlılık, F-Skor, ortalama karesel hata (OKH), yapısal benzerlik indeksi (SSIM), pik sinyal-gürültü oranı (PSNR), KAPPA gibi başarı metriklerinin yanı sıra yöntemler eğitim süreleri açısından da karşılaştırılmışlardır.

2. Çalışma alanı

2. Study area

Avrupa Uzay Ajansı tarafından fırlatılan Sentinel-2'nin KYM bantları Landsat-8'e göre daha yüksek mekânsal çözünürlüğe sahiptir. Sentinel-2 güneş eşzamanlı yörüngede çalışan iki takımyıldızı uydudan oluşur. Yörünge yüksekliği 786 km, eğimi 98.5°, tekrar ziyaret süresi 5 gün ve tasarım ömrü 7 yıldır. Spektral aralığı 0.4 µm ile 2.4 µm arasında değişmekte ve mekânsal çözünürlükleri 10 m, 20 m ve 60 m olan 13 banttan oluşmaktadır (Drusch vd., 2012; W. Jiang vd., 2021). Bu çalışmada kullanılan Sentinel-2 görüntü bantlarına teknik özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

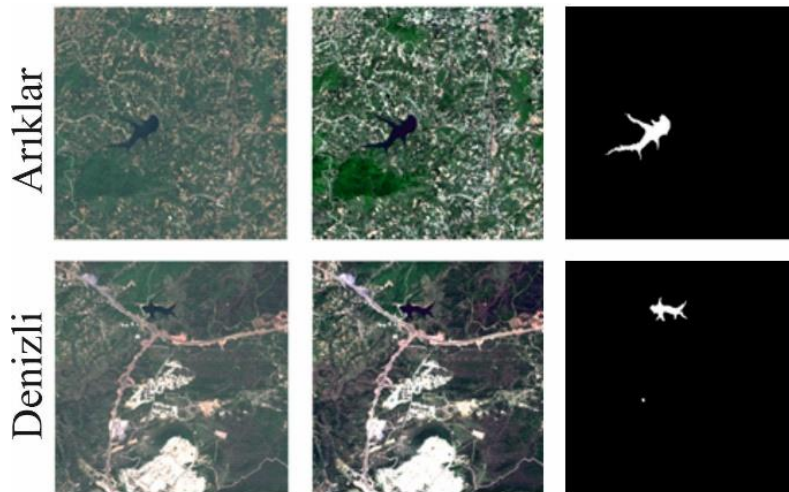
Tablo 1. Sentinel-2 uydu görüntüsüne ait bant bilgileri.

Table 1. Band information of Sentinel-2 satellite image.

Bantlar	Dalga boyu aralığı/µm	Mekânsal Çözünürlük (m)
Mavi	0.4575–0.5225	10
Yeşil	0.5425–0.5775	10
Kırmızı	0.65–0.68	10

Ramsar sözleşmesine göre sulak alanlar deniz/kıyı, iç ve insan yapımı olmak üzere üç sınıfa ayrılmaktadır. Sulak alanlar yapay ve doğal göletler, göller, sulanan tarım arazileri ve çakıl ocaklarını içerir (Ramsar, 2016). Şekil 1'de bu çalışmada kullanılan Arıklar ve Denizli Göletlerine ait Sentinel-2 uydu görüntüsü, görüntü yakalama sensörleri maruz kaldığı ışığa bağlı olarak, bir görüntünün kontrastı zayıf veya parlak olabildiğinden ilgili görüntülerin görsel açıdan iyileştirilmiş halleri ve karşılık gelen yer gerçeklik

görüntüleri verilmiştir. Test alanları içme suyu, balıkçılık ve sulama amacıyla kullanılmaktadır. Arıklar Göleti Kandıra/Kocaeli'nde yer almaktadır ve özellikle tarımsal sulama için oldukça önemlidir. Gebze'de bulunan Denizli Göleti ise tarımsal faaliyetlerin yanı sıra sanayi alanındaki işletmelerin su ihtiyacının karşılanmasında kullanılmaktadır. Bu göletlerin bölge halkına ekonomik ve turistik katkıları olduğu için korunması gerekmektedir.



Şekil 1. Arıklar ve Denizli Göletlerinin sırasıyla Sentinel-2, görüntü iyileştirilmiş ve yer gerçeklik verileri.

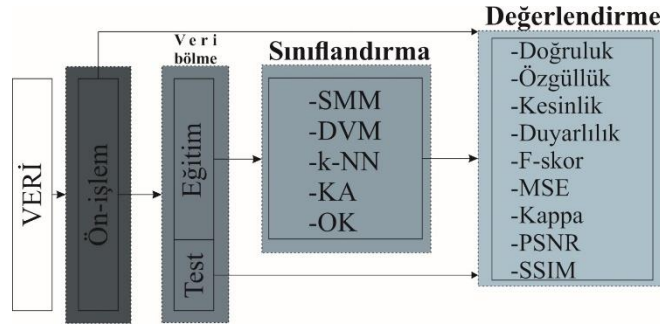
Figure 1. Sentinel-2, image enhanced and ground truth data of Arıklar and Denizli Ponds, respectively.

3. Materyal ve yöntem

3. Material and method

Bu çalışmada kullanılan test alanlarına ait Sentinel-2 görüntüleri Avrupa Uzay Ajansı ait <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home> internet sitesinden sağlanmıştır. Gerçekleştirilen deneysel uygulamaya ait iş akış şeması Şekil 2'de verilmiştir. Uydu görüntüleri elde edildikten sonra ön-işlem aşamasında ENVI yazılımı kullanılarak

1024x1024 boyutlarında ilgili su alanlarını kapsayacak şekilde kesilmiş, daha sonra yer gerçeklik verilerinin elde edilmesi için el ile su yüzey alan sınırları belirlenmiştir. Sınıflandırma işlemi için veriler %30 test ve %70 eğitim verisi olacak şekilde rastsal olarak bölünmüştür. İlgili deneysel çalışmalar i5, 8 GB RAM, 2,5 Ghz işlemci ve Windows 7 işletim sistemine sahip dizüstü bilgisayarda Matlab 2021a yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2. Önerilen yönteme ait iş akış şeması

Figure 2. Flow chart of the proposed method

3.1. Sınıflandırma yöntemleri

3.1. Classification methods

Bu çalışmada su yüzey alanlarının belirlenmesi için denetimli sınıflandırma yöntemlerinden SMM, DVM, k-NN, KA ve OK sınıflandırma yöntemleri kullanılmıştır. Her yöntemin farklı avantajları ve dezavantajları vardır. Sınıflandırma algoritmalarının sahip oldukları parametreleri belirlemek için eğitim veri seti kullanılarak çapraz doğrulama stratejisi uygulanmıştır. Bir durumdan diğer duruma geçişin tanımlandığı Markov zincirler karmaşık problemlerin çözümünde kullanılan olasılık tabanlı bir yaklaşımdır. SMM'de doğrudan durum gözlemleri yerine gözlemler her durumda meydana gelen çıktılardan oluşturularak gözlem dizileri oluşturulur. SMM'de bu diziler bilinmemekte ve saklı kalmaktadır. İlgili gözlemler zamandan bağımsızdır. SMM'de viterbi algoritması genellikle her bir gözlemin durumunu ayrı ayrı bulan global kod çözme işlemini gerçekleştirmek için kullanılır. Viterbi algoritmasının kullanılması, gözlemlenen veri dizisine karşılık gelen en olası gizli durum dizisini bulmayı amaçlar. Ayrıca Viterbi algoritması, bir gözlem dizisinin en iyi tek durum dizisini bulmak için kullanılabilir (Aurdal vd., 2005; Osman & Selçuk, 2018).

DVM, çoğunlukla regresyon ve sınıflandırma analizi için kullanılan denetimli bir makine öğrenme algoritmasıdır. DVM ilk olarak ikili sınıflandırma için geliştirilmiştir. Bir DVM, destek

vektörleri olarak adlandırılan karşı sınıftaki en yakın eğitim verileri arasındaki en büyük mesafeye sahip bir optimal hiper düzlem oluşturur. Fonksiyonel marjin olarak isimlendirilen bu mesafe sınıflandırmanın genelleme hatasıyla ters orantılıdır. DVM'de çekirdek fonksiyonu ile doğrusal olmayan sınıflandırıcılar oluşturularak da maksimum marjin hiper düzlemi elde edilmektedir. Bu çalışmada radyal tabanlı çekirdek kullanılmıştır (Kesikoglu vd., 2019; Tercan & Atasever, 2021; Vapnik, 2013).

Kontrollü sınıflandırma için sıklıkla kullanılan yöntemlerin başında gelen k-NN yöntemi Cover ve Hart tarafından 1967 yılında geliştirilmiştir (Cover & Hart, 1967). Komşuluk sorgusu gerçekleştirdiği için büyük veri setlerinde oldukça hantal çalışmaktadır. Yöntemde sınıflandırılacak piksele en yakın eğitim verisi noktası aranması esastır. Yöntemin isminde geçen k aranacak en yakın komşuluk sayısını ifade etmektedir. Oldukça kolay ve gürbüz olan yöntemde sorgu çeşitli mesafe ölçülerine göre gerçekleştirilmektedir. Eğitim veri setini öğrenmek yerine daha çok ezberleme ile sınıflandırma gerçekleştirilir. Bu sebeple sınıflandırma gerçekleştirirken bütün veri setinde komşuluk araması gerçekleştirilir. Bu çalışmada komşuluk sayısı 10 ve mesafe ölçütü olarak Öklid uzaklığı kullanılmıştır.

Son yıllarda popülerliğini artıran diğer denetimli sınıflandırıcı KA'dır. KA sınıflandırma için katmanlı bir yapı kullanılmaktadır. Bir KA temel olarak dal, yaprak ve düğüm ismi verilen üç

bileşenden oluşmaktadır. Uydu görüntüsü için her bant düğüm ile temsil edilmektedir. Eğitim verisindeki bant özelliklerine ait birtakım sorular sorularak kökten düğüm ve yapraklar oluşturulur. Böylece karar kuralları oluşturulur. Kökten yaprağa doğru yalnızca bir karar kuralı vardır. KA'da ağaç dallanmalarının hangi kıyasa göre gerçekleştirildiğinin belirlenmesi önemlidir (Kavzoğlu & Çölkesen, 2010; Pal & Mather, 2003). Bu çalışmada Gini indeksi kullanılmıştır ve maksimum bölünme sayısı 20 olarak belirlenmiştir.

Arazi kullanım/örtüsü uygulamalarında son yıllarda oldukça yoğun olarak kullanılan derin öğrenme yapılarından birisi OK'lardır. OK'lar temel olarak öz öğrenme prensibine dayanır, kodlayıcı ve kod çözücü olmak üzere iki yapıdan oluşmaktadır. Kodlayıcı yapı veriyi transfer fonksiyonu yardımıyla farklı bir boyuta dönüştürür. Kod çözücü yapı ise transfer sonucunda oluşan yapıyı orijinal veri boyutuna tekrar transfer eder. Her iki yapı ardışık olarak çalışmaktadır ve çok sayıda gizli katmanlardan oluşmaktadır. Kod çözücünden sonra çıktılar bir sınıfa ait olma olasılığının hesaplandığı, sigmoid fonksiyona benzer özellik gösteren ve birden fazla sınıflandırma işleminin gerçekleştirilebildiği çıktı katmanı olan Softmax katmanına bağlanarak sınıflandırma işlemi gerçekleştirilir (Günen vd., 2020; Tercan & Atasever, 2021). Bu çalışmada kullanılan OK'un kodlayıcı ve kod çözücü yapılarında sırasıyla lineer ve logaritmik sigmoid transfer fonksiyonları, 20 saklı katman ve 1000 epok kullanılmıştır.

3.2. İstatistiksel değerlendirme

3.2. Statistical evaluation

Eğitim verileri kullanılarak elde edilen sınıflandırıcılar ile sınıflandırılan test verilerinin sınıflandırılma başarısı performans analizlerinin temelini oluşturur. Sınıflandırma analizi için Sentinel-2'nin atmosferik olarak düzeltilmiş spektral bantlarının yüzey yansımaları kullanılmıştır. Yer gerçeklik verisinin mevcut olduğu uygulamalarda ilgili performans metriklerinin oluşturulması için karışıklık matrisi oluşturulur. Karışıklık matrisinin incelenmesi, her sınıf için ihmal ve görev hatalarını ortaya çıkarır. Temel doğruluk verileri mevcutsa, sınıflandırma yöntemlerini istatistiksel olarak analiz etmek için karışıklık matrisi elemanları olarak kullanılabilir. Karışıklık matrisi Doğru Pozitif (DF), Yanlış Negatif (YN), Yanlış Pozitif (YP) ve Doğru Negatif (DN) parametrelerinden oluşmaktadır. Karışıklık matrisi parametrelerinden üretilen doğruluk metriği dengesiz veri setlerinde anlamlı sonuç sağlamamaktadır. Bundan dolayı doğruluk metriğinin yanından özgüllük, kesinlik, duyarlılık ve f-skor gibi karışıklık matrisinden elde edilebilen metriklerde kullanılmaktadır. Bu çalışmada, görüntü yer gerçeklik görüntüsü ile sınıflandırıcı tarafından tahmin edilen görüntü arasındaki ortalama hatayı hesaplamada ortalama karesel hata (OKH), iki görüntü arasındaki benzerliği değerlendirmek için yapısal benzerlik indeksi (SSIM) ve pik sinyal-gürültü oranı (PSNR), iki görüntünün uyumluluğunun belirlenmesi için ise Cohen'in Kappa istatistikleri hesaplanmıştır. İlgili metriklerine ait analitik formüller Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. İstatistiksel değerlendirme için kullanılan metrikler (Atasever vd., 2018; Günen, 2021; Tercan & Atasever, 2021)

Table 2. Metrics used for statistical evaluation (Atasever et al., 2018; Günen, 2021; Tercan and Atasever, 2021)

Metrik	Analitik formülü	Metrik	Analitik formülü
Doğruluk	$\frac{DF + DN}{DF + YN + YP + DN}$	F-skor	$2 \times \frac{\text{Duyarlılık} \times \text{Kesinlik}}{\text{Duyarlılık} + \text{Kesinlik}}$
Özgüllük	$\frac{DN}{DN + YP}$	OKH	$\frac{1}{m \times n} \sum_{i=1}^N (A_i - B_i)^2$
Kesinlik=	$\frac{DF}{DF + YP}$	SSIM	$\left(\frac{2\mu_A\mu_B + C_1}{2\mu_A^2 + \mu_B^2 + C_1} \right) \left(\frac{2\sigma_A\sigma_B + C_2}{\sigma_A^2 + \sigma_B^2 + C_2} \right) \left(\frac{\sigma_{AB} + C_3}{\sigma_A\sigma_B + C_3} \right)$
Duyarlılık	$\frac{DF}{DF + YN}$	PSNR	$10 \log_{10} \left(\frac{P_{\max}^2}{\text{OKH}} \right)$

*A sınıflandırma sonucunda tahmin edilen görüntüyü, B yer gerçeklik görüntüsünü, $m \times n$ görüntü boyutlarını, N toplam bant sayısını ve P_{\max} maksimum dinamik aralığı ifade etmektedir.

4. Bulgular ve tartışma

4. Findings and discussion

Su yüzeyi alanı belirlemek için indeks tabanlı ve sınıflandırma tabanlı çok sayıda yöntem önerilmiştir. Literatürde sınıflandırma tabanlı yaklaşımların daha başarılı sonuç ürettiği ve daha az kullanıcı uzmanlığı gerektirdiği gösterilmiştir (Herndon vd., 2020; Pan vd., 2020; Tercan & Atasever, 2021; Xiaohong Yang vd., 2020). Modern denetimli sınıflandırma yöntemlerinin karşılaştırmalı olarak su yüzey alanı belirlenmesi gerçekleştirilen çalışma sayısı oldukça kısıtlıdır. Sentinel-2, yüksek uzaysal çözünürlüğe ve kısa bir geri dönüş periyoduna sahiptir ve büyük ölçekli yüzey suyu haritalamasında uygulama potansiyeline sahiptir. Gerçekleştirilen deneysel çalışma her ne kadar Sentinel-2 uydusu görüntüsünde test edilmiş olsa da yalnızca KYM bantları

kullanıldığı için görece daha az maliyetle elde edilen görüntülere (örn. ortofoto) de uygulanabilir. Çalışma alanı için kullanılan test alanlarına ait görüntüler farklı spektral imza desenine sahip farklı türlerde arazi örtüsü özelliği içerirler. Sınıflandırma sonucunda görüntüler su ve su olmayan olmak üzere iki sınıfa ayrılmıştır. Test alanlarındaki su yüzeylerinin belirlenmesinde Sentinel-2 uydusuna ait KYM bantları kullanılmıştır. Ön işlemden sonra sınıflandırma için kullanılan eğitim verisi ve sınıflandırıcı performansının belirlendiği test verisi, homojen alanlardan rastgele toplanmıştır. Sınıflandırma işleminden sonra elde edilen istatistiksel sonuçlar Arıklar göleti için Tablo 3’de, Denizli göleti için Tablo 4’de sunulmuştur. İlgili tablolarda koyu renk ile işaretlenenler en başarılı sonucu sağlayanlar yöntemlerdir.

Tablo 3. Arıklar Gölet’ine ait istatistiksel değerlendirme sonuçları

Table 3. Statistical evaluation results of Arıklar Pond

Metrik	SMM	DVM	k-NN	KA	OK
Doğruluk	0.9958	0.9981	0.9979	0.9973	0.9985
Özgüllük	1.0000	0.9998	0.9988	0.9994	0.9998
Kesinlik	0.9998	0.9998	0.9127	0.9490	0.9820
Duyarlılık	0.6840	0.8755	0.9348	0.8453	0.9079
F-Skor	0.8123	0.9249	0.9236	0.8942	0.9435
OKH	0.0042	0.0019	0.0021	0.0027	0.0014
SSIM	0.9883	0.9924	0.9860	0.9885	0.9936
PSNR	23.7341	27.2022	26.8414	25.7205	28.3705
KAPPA	0.8102	0.9239	0.9226	0.8928	0.9428

Tabloların yorumlanmasını ve anlaşılabilirliğini arttırmak için Arıklar Göleti için ilgili istatistiksel metrikler azalan başarıya göre sıralandığında;

Doğruluk: OK, DVM, k-NN, KA, SMM;
Özgüllük: SMM, OK, DVM, k-NN, KA; **Kesinlik:** SMM, DVM, OK, KA, k-NN; **Duyarlılık:** k-NN,

OK, DVM, KA, SMM; **F-Skor:** OK, DVM, k-NN, KA, SMM; **OKH:** OK, DVM, k-NN, KA, SMM; **SSIM:** OK, DVM, KA, SMM, k-NN; **PSNR:** OK, DVM, k-NN, KA, **PSNR;** KAPPA: OK, DVM, k-NN, KA, SMM.

Tablo 4. Denizli Gölet’ine ait istatistiksel değerlendirme sonuçları

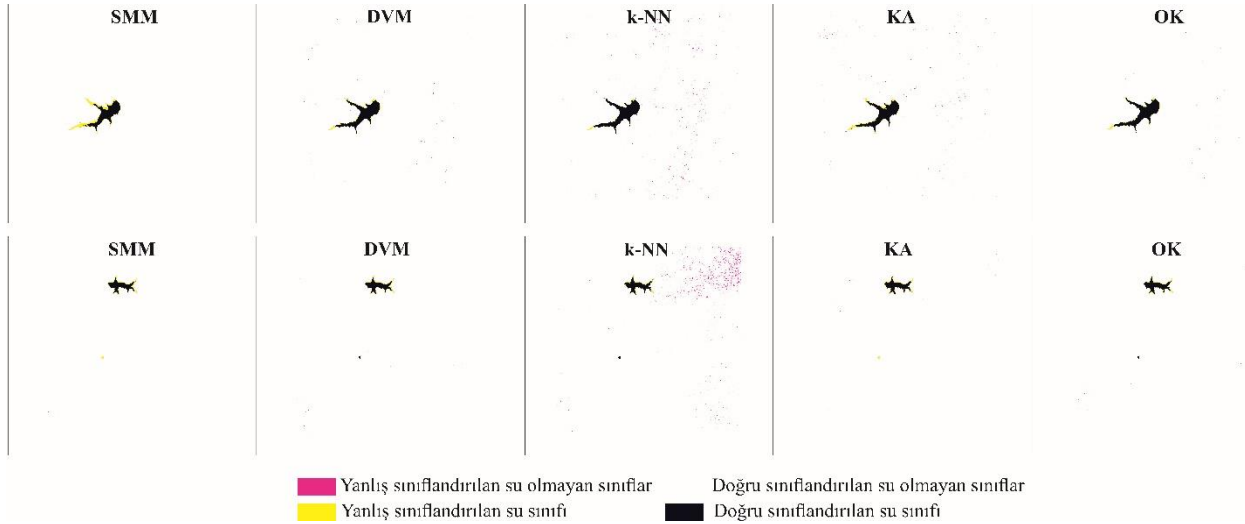
Table 4. Statistical evaluation results of Denizli Pond

Metrik	SMM	DVM	k-NN	KA	OK
Doğruluk	0.9987	0.9988	0.9955	0.9988	0.9990
Özgüllük	1.0000	0.9999	0.9963	0.9999	0.9999
Kesinlik	0.9979	0.9880	0.5800	0.9791	0.9849
Duyarlılık	0.7797	0.8106	0.8651	0.8124	0.8347
F-Skor	0.8754	0.8906	0.6944	0.8880	0.9037
OKH	0.0013	0.0012	0.0045	0.0012	0.0010
SSIM	0.9942	0.9958	0.9696	0.9956	0.9960
PSNR	28.8104	29.2788	23.4565	29.1543	29.7684
KAPPA	0.8748	0.8900	0.6923	0.8873	0.90313

Denizli Göleti için ilgili istatistiksel metriklere göre azalan başarıya göre sıralandığında;
Doğruluk: OK, DVM, KA, SMM, k-NN;
Özgüllük: SMM, OK, DVM, KA, k-NN; **Kesinlik:** SMM, DVM, OK, KA, k-NN; **Duyarlılık:** k-NN, OK, KA, DVM, SMM; **F-Skor:** OK, DVM, KA, SMM, k-NN; **OKH:** OK, DVM, KA, SMM, k-NN; **SSIM:** OK, DVM, KA, SMM, k-NN; **PSNR:** OK, DVM, KA, SMM, k-NN; **KAPPA:** OK, DVM, KA, SMM, k-NN.

Uzaktan algılama görüntüsünden su yüzey alanlarının tespit edilmesinde tüm yöntemlerin genel performansının yüksek olduğu görülmektedir. Test verilerinin doğruluk metriğinin oldukça yüksek olduğu ve sınıflandırma yöntemlerinin birbirlerine yakın değerler elde edilmesine karşın diğer metrikler açısından karşılaştırma yapıldığında yöntemler arasında farklılıklar olduğu gözlenmektedir. Test

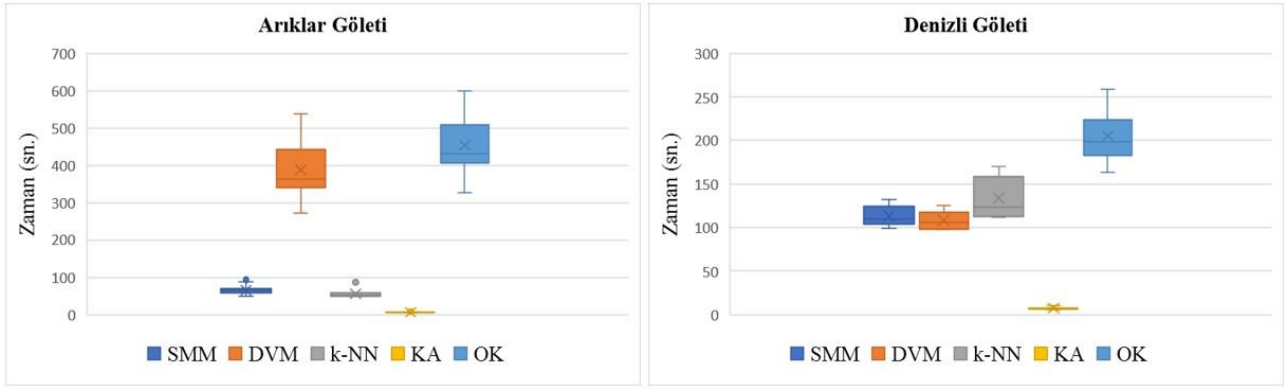
doğruluğunun ilgili sınıflandırma yöntemlerinin performans karşılaştırmasında tek başına kullanılamayacağı da aşikârdır. Doğruluk metriği özellikle dengesiz veri setlerinde yanıltıcı sonuçlar sağlamaktadır. Genel olarak bakıldığında F-Skor ve görüntü kalite belirleme metriklerinin (SSIM, PSNR, KAPPA) daha yansız sonuç ürettiği söylenebilir. Test görüntülerindeki başarı değişimi en fazla OKH metriğinde meydana gelmiştir. Bunun en büyük nedeni de OKH'nın yer gerçeklik ve tahmin edilen görüntü pikselleri arasındaki mesafeyi doğrudan hesaplamasından kaynaklanmaktadır. Nicel karşılaştırmanın yanı sıra nitel karşılaştırmanın önemi de oldukça büyüktür. Sınıflandırma sonucunda yer gerçeklik verisine göre su ve su olmayan alanların farklı renklerle gösterildiği analiz sonuçları görsel olarak Şekil 3'te sunulmuştur. Görsel inceleme ile denetimli sınıflandırıcıların çıktılarının çoğunda su piksellerinin doğru atandığı görülmektedir.



Şekil 3. Arıklar ve Denizli Göletlerinin sınıflandırılmış haritaları
Figure 3. Classified maps of Arıklar and Denizli Ponds

Her iki test görüntüsüne ait Tablo 3 ve Tablo 4'ten elde edilen sıralanmış başarı ölçüleri ve Şekil 3 birlikte değerlendirildiğinde istatistiksel ve görsel olarak OK yönteminin en başarılı, k-NN'nin ise en başarısız yöntem olduğu görülmektedir. k-NN yöntemi her iki görüntü içinde en yüksek duyarlılık metriği üretmiş olsa da Şekil 3 incelendiğinde çok sayıda su olmayan piksel su sınıfına atandığı görülmektedir. Benzer şekilde SMM yöntemi her iki görüntüde de en yüksek özgüllük ve kesinlik metriği sağlamış olsa da çok sayıda pikseli su sınıfına atanması gerekirken su olmayan sınıfa

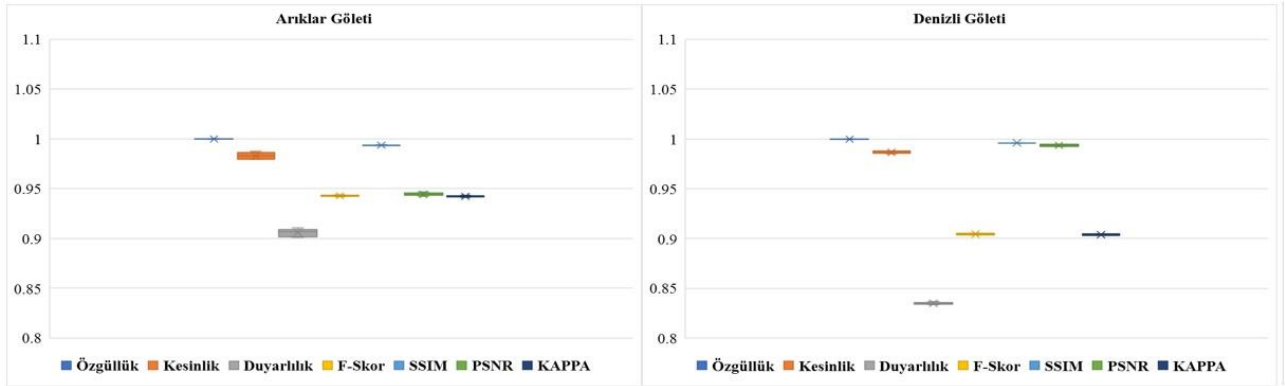
atanmıştır. DVM yöntemin görsel olarak da OK ile yakın sonuç üretmiştir. İlgili sınıflandırma yöntemlerinin karşılaştırılması için algoritma çalışma zamanlarının karşılaştırmasında başarı ölçütü olarak kabul edilmektedir. Bu kapsamda her yöntem merkezi limit teoremi en az 30 deneyin normal dağılım momentlerinin gürbüz hesaplanabilmesi açısından yeterli olduğu gösterdiği için her algoritma 30 kez koşturulmuştur. Yapılan deney sonucunda elde edilen zamansal karşılaştırma sonuçları Şekil 4'te kutu grafiklerle sunulmuştur.



Şekil 4. Zamansal karşılaştırmaya ait kutu grafikler
Figure 4. Box plots of time comparison

Zamansal karşılaştırma algoritmalarının koşuturulduğu yazılıma ve kullanılan bilgisayara bağlıdır. Algoritmaları grafik işlemci ünitesi kullanarak koşutmak süreyi oldukça kısaltmaktadır. Şekil 4 incelendiği zaman OK ve DVM yöntemlerinin diğer yöntemlere göre oldukça yavaş, KA yönteminin ise oldukça hızlı olduğu görülmektedir. Ancak yine de bütün yöntemlerin hesaplama yükü maliyeti açısından uygulanabilir olduğu sonucuna varılabilir. Yapısal olarak derin öğrenme yöntemleri başlangıç değerlerini ayarlamak rastsal sayı üreticinin

başlangıç değerini ayarlamaya indirgenebilir. Böylece üretilecek ilk parametre değerleri farklı değerler halinde oluşturulmaya zorlanmış olur. Bu çalışmada en başarılı olan OK'nin tutarlı sonuçlar üretip üretmediğinin belirlenmesi için Mersenne Twister yakıştırma sayı üretici kullanılarak 30 kez koşuturulmuştur (Şekil 5). Doğruluk metriği test verisine ait olduğundan grafiğe eklenmemiştir. İlgili grafikte PSNR değeri görselleştirme için normalize edilmiştir. Şekil 5 incelendiğinde ilgili metriklerin aykırı değer üretmediği gözlenmiştir.



Şekil 5. İstatistiksel metrikler göre OK yöntemi için oluşturulan kutu grafikler
Figure 5. Box charts created for the OE method according to statistical metrics

Bu çalışmada sunulan yöntemin sınırlaması, nispeten düşük mekânsal çözünürlüktür. Bu nedenle, kentsel alanlardaki bazı dar nehirler ve küçük göller doğru şekilde çıkartılmayabilmektedir. Uzamsal çözünürlüğü arttırmak için çeşitli pan keskinleştirme yöntemleri olsa da pan keskinleştirme yöntemlerinin karmaşıklığı, büyük ölçekli yüzey suyu çıkarımında verimliliğini kısıtladığı ve pan keskinleştirme sonucunda meydana gelen spektral değişiklikler, su yüzey alanı çıkartımı performansını etkilemektedir (W. Jiang vd., 2021). Bu nedenle, Sentinel-2 için verimli ve güvenilir

görüntü pan keskinleştirme yöntemleri, büyük ölçeklerde su yüzey alanları çıkarmanın doğruluğunu iyileştirmek için araştırılmalıdır. Diğer bir kısıtlama ise sınıflandırma yöntemlerinin hiper parametrelerinin uygulama alanına özgü seçilme gerçeğinin göz ardı edilerek doğru ayarlanamamasıdır.

5.Sonuçlar

5. Conclusion

Küresel su döngüsünün önemli bir parçası olan yüzey su kütleleri, iklim sistemlerinde ve küresel

ekolojide yeri doldurulamaz bir öneme sahiptir. Kırsal alanlarda gerçekleştirilen düzensiz ve bilinçsiz sulama ve kentlerdeki nüfusun hızla artması ile birlikte, kentlerin su ihtiyacının karşılanmasında kullanılan su kütlelerinin giderek azalmasına neden olmaktadır. Bu çalışmada Marmara bölgesinde yer alan ve Ramsar sözleşmesine göre sulak olan sayılan Arıklar ve Denizli Göletlerinin Sentinel-2 uydu görüntülerinin sadece KYM bantları kullanılarak beş farklı danişmalı sınıflandırma yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. KYM bantlarının kullanılması en büyük avantajı çok bantlı bantlara göre daha fazla ulaşılabilir ve nispeten daha yüksek mekansal çözünürlüğe sahiptir. Görsel incelemesi ile su ve su olmayan sınırları belirlemenin göreceli basitliği göz önüne alındığında, denetimli sınıflandırma, eğitim veri seti kullanılarak su pikseli sınıflandırma görevini yerine getirmek için iyi bir seçimdir. Bu amaçla farklı stratejilere sahip SMM, DVM, k-NN, KA ve OK sınıflandırma yöntemleri kullanılmıştır. Performans karşılaştırmasının gerçekleştirilmesi için karışıklık matrisinden ve görüntü kalite belirleme metriklerinden faydalanılarak üretilen sonuçlara göre OK yöntemi istatistiksel olarak en başarılı iken k-NN en başarısız yöntem olarak belirlenmiştir. Daha sonra ilgili sınıflandırma yöntemlerinin Arıklar ve Denizli Göletlerinin su yüzey alanlarının belirlenmesindeki çalışma sürelerine ait kutu grafikler çizdirilmiştir. KA en hızlı yöntem olurken OK en yavaş yöntem olduğu belirlenmiştir. Ancak yine de yöntemlerin etkili hesaplama sürelerine sahip oldukları söylenebilir. Su ve su olmayan alanların belirlenmesi için kullanılan veriler genel olarak dengesiz veri setleri oldukları için sınıflandırıcı performansları karşılaştırmasında karışıklık matrisinden üretilen metriklerin yanı sıra görüntü kalite belirleme metriklerinin de kullanılması gereklidir. Çünkü bu çalışmada görüntü kalite belirleme metriklerinin daha yansız sonuç ürettiği nicel ve nitel karşılaştırmalar sonucunda ulaşılmıştır. Derin öğrenme tabanlı bir yöntem olan OK'un problem çözümünde kullanılan başlangıç değerlerine hassasiyetlerinin belirlenmesi için gerçekleştirilen deneyde OK'un Arıklar Göletinde kesinlik ve duyarlılık metrikleri hariç gürbüz ve tutarlı sonuç ürettiği görülmüştür.

Su yüzey alanı belirleme uygulama kapsamı ile ilgili halen tartışılması gereken bazı hususlar bulunmaktadır. Su yüzeyini haritalamak için tek bir göl üzerinde farklı edinim tarihlerine sahip birden fazla Sentinel-2 görüntüsü kullanılırsa, çeşitli su endekslerinin ve görüntü sınıflandırma algoritmalarının performansları bu çalışmada

sunulan sonuçlardan farklı olabilir. Çünkü su seviyesi değişmesine bağlı olarak tortu su ve bitki örtüsü karışması, bitki örtüsünün daha belirgin hale gelmesi ve bulanıklığın artması gibi birtakım sorunlar ortaya çıkacaktır. Gelecek çalışmalarda önerilen yöntemin insansız hava araçları yardımıyla elde edilen görüntülerle üretilen ortofotolar kullanılarak su yüzey alanı belirlenmesinde etkinliğinin incelenmesi amaçlanmaktadır.

Yazar katkısı

Author contribution

Bu makaledeki metodoloji, kavramsallaştırma, veri toplama, görselleştirme, yazma ve inceleme işlemleri Mehmet Akif Günen tarafından yapılmıştır.

Etik beyanı

Declaration of ethical code

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

Çıkar çatışması beyanı

Conflicts of interest

Yazar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Kaynaklar

References

- Allen, G. H., & Pavelsky, T. M. (2018). Global extent of rivers and streams. *Science*, 361(6402), 585-588. <https://doi.org/10.1126/science.aat0636>.
- Aswatha, S. M., Mukherjee, J., Biswas, P. K., & Aikat, S. (2020). Unsupervised classification of land cover using multi-modal data from multi-spectral and hybrid-polarimetric SAR imageries. *International Journal of Remote Sensing*, 41(14), 5277-5304. <https://doi.org/10.1080/01431161.2020.1731771>.
- Atasever, U. H., Günen, M. A., & Beşdok, E. (2018). A new unsupervised change detection approach based on PCA based blocking and GMM clustering for detecting flood damage. *Fresenius Environmental Bulletin*, 27, 1688-1694.
- Aurdal, L., Huseby, R. B., Eikvil, L., Solberg, R., Vikhamar, D., & Solberg, A. (2005). Use of

- hidden Markov models and phenology for multitemporal satellite image classification: Applications to mountain vegetation classification. *International workshop on the analysis of multi-temporal remote sensing images*, Biloxi, USA. <https://doi.org/10.1109/AMTRSI.2005.1469877>.
- Cover, T., & Hart, P. (1967). Nearest neighbor pattern classification. *IEEE transactions on information theory*, 13(1), 21-27. <https://doi.org/10.1109/TIT.1967.1053964>.
- Drusch, M., Del Bello, U., Carlier, S., Colin, O., Fernandez, V., Gascon, F., & Martimort, P. (2012). Sentinel-2: ESA's optical high-resolution mission for GMES operational services. *Remote Sensing of Environment*, 120, 25-36. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.11.026>.
- Günen, M. A. (2021). Performance comparison of deep learning and machine learning methods in determining wetland water areas using EuroSAT dataset. *Environmental Science Pollution Research*, 1-15. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-17177-z>.
- Günen, M. A., Atasever, U. H., & Beşdok, E. (2020). Analyzing the contribution of training algorithms on deep neural networks for hyperspectral image classification. *Photogrammetric Engineering Remote Sensing*, 86(9), 581-588. <https://doi.org/10.14358/PERS.86.9.581>.
- Herndon, K., Muench, R., Cherrington, E., & Griffin, R. (2020). An assessment of surface water detection methods for water resource management in the Nigerien Sahel. *Sensors*, 20(2), 431. <https://doi.org/10.3390/s20020431>.
- Huang, X., Xie, C., Fang, X., & Zhang, L. (2015). Combining pixel-and object-based machine learning for identification of water-body types from urban high-resolution remote-sensing imagery. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations Remote Sensing*, 8(5), 2097-2110. <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2015.2420713>
- Jiang, H., Feng, M., Zhu, Y., Lu, N., Huang, J., & Xiao, T. (2014). An automated method for extracting rivers and lakes from Landsat imagery. *Remote Sensing*, 6(6), 5067-5089. <https://doi.org/10.3390/rs6065067>.
- Jiang, W., Ni, Y., Pang, Z., Li, X., Ju, H., He, G., & Qin, X. (2021). An effective water body extraction method with new water index for sentinel-2 imagery. *Water*, 13(12), 1647. <https://doi.org/10.3390/w13121647>.
- Kavzoğlu, T., & Çölkesen, İ. (2010). Karar ağaçları ile uydu görüntülerinin sınıflandırılması: Kocaeli örneği. *Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 2(1), 36-45.
- Kesikoglu, M. H., Atasever, U. H., Dadaser Celik, F., & Ozkan, C. (2019). Performance of ANN, SVM and MLH techniques for land use/cover change detection at Sultan Marshes wetland, Turkey. *Water Science Technology*, 80(3), 466-477. <https://doi.org/10.2166/wst.2019.290>.
- Ko, B. C., Kim, H. H., & Nam, J. Y. (2015). Classification of potential water bodies using Landsat 8 OLI and a combination of two boosted random forest classifiers. *Sensors*, 15(6), 13763-13777. <https://doi.org/10.3390/s150613763>.
- Li, Y., Gong, X., Guo, Z., Xu, K., Hu, D., & Zhou, H. (2016). An index and approach for water extraction using Landsat-OLI data. *International Journal of Remote Sensing*, 37(16), 3611-3635. <https://doi.org/10.1080/01431161.2016.1201228>.
- Liao, H.-Y., & Wen, T.-H. (2020). Extracting urban water bodies from high-resolution radar images: Measuring the urban surface morphology to control for radar's double-bounce effect. *International Journal of Applied Earth Observation Geoinformation*, 85, 102003. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2019.102003>.
- Liu, Z., Yao, Z., & Wang, R. (2016). Assessing methods of identifying open water bodies using Landsat 8 OLI imagery. *Environmental Earth Sciences*, 75(10), 873. <https://doi.org/10.1007/s12665-016-5686-2>.
- Orhan, O. (2021). Monitoring of land subsidence due to excessive groundwater extraction using small baseline subset technique in Konya, Turkey. *Environmental Monitoring Assessment*, 193(4), 1-17. <https://doi.org/10.1007/s10661-021-08962-x>.
- Orhan, O., Oliver-Cabrera, T., Wdowinski, S., Yalvac, S., & Yakar, M. (2021). Land subsidence and its relations with sinkhole activity in Karapınar region, Turkey: a multi-sensor InSAR time series study. *Sensors*, 21(3), 774. <https://doi.org/10.3390/s21030774>.
- Osman, A., & Selçuk, A. (2018). Saklı markov modeli kullanılarak istanbul'daki üniversite öğrencilerinin gsm operatör tercihlerini etkileyen faktörlerin analizi. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 33(4), 203-212. <https://doi.org/10.21605/cukurovaummfd.525235>.
- Özçalık, H. I., Torun, A. T., & Bilgilioğlu, S. S. (2020). Landsat uydu görüntüleri kullanılarak Mogan Gölü'nün su yüzeyi ve arazi örtü değişiminin

- belirlenmesi. *Türkiye Uzaktan Algılama Dergisi*, 2(2), 77-84.
- Pal, M., & Mather, P. M. (2003). An assessment of the effectiveness of decision tree methods for land cover classification. *Remote Sensing of Environment*, 86(4), 554-565. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(03\)00132-9](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(03)00132-9).
- Pan, F., Xi, X., & Wang, C. (2020). A comparative study of water indices and image classification algorithms for mapping inland surface water bodies using landsat imagery. *Remote Sensing*, 12(10), 1611. <https://doi.org/10.3390/rs12101611>.
- Ramsar. (2016). *An introduction to the convention on wetlands*. Ramsar Convention Secretariat, Gland, Switzerland.
- Song, S., Liu, J., Liu, Y., Feng, G., Han, H., Yao, Y., & Du, M. (2020). Intelligent object recognition of urban water bodies based on deep learning for multi-source and multi-temporal high spatial resolution remote sensing imagery. *Sensors*, 20(2), 397. <https://doi.org/10.3390/s20020397>.
- Tercan, E., & Atasever, U. H. (2021). Effectiveness of autoencoder for lake area extraction from high-resolution RGB imagery: an experimental study. *Environmental Science Pollution Research*, 1-13. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-12893-y>.
- Torun, A. T., & Gündüz, H. İ. (2020). Comparison of different classification algorithms for the detection of changes on water bodies; Karakaya Dam Lake. *Turkish Journal of Geosciences*, 1(1), 27-34.
- Vapnik, V. (2013). *The nature of statistical learning theory*: Springer Science & Business Media.
- Wang, Z., Liu, J., Li, J., & Zhang, D. D. (2018). Multi-spectral water index (MuWI): a native 10-m multi-spectral water index for accurate water mapping on Sentinel-2. *Remote Sensing*, 10(10), 1643. <https://doi.org/10.3390/rs10101643>.
- Weih, R. C., & Riggan, N. D. (2010). Object-based classification vs. pixel-based classification: Comparative importance of multi-resolution imagery. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing Spatial Information Sciences*.
- Yang, X., Li, Y., Wei, Y., Chen, Z., & Xie, P. (2020). Water body extraction from sentinel-3 image with multiscale spatiotemporal super-resolution mapping. *Water*, 12(9), 2605. <https://doi.org/10.3390/w12092605>.
- Yang, X., Qin, Q., Grussenmeyer, P., & Koehl, M. (2018). Urban surface water body detection with suppressed built-up noise based on water indices from Sentinel-2 MSI imagery. *Remote Sensing of Environment*, 219, 259-270. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.09.016>.
- Zhang, J., Xing, M., Sun, G.-C., Chen, J., Li, M., Hu, Y., & Bao, Z. (2020). Water body detection in high-resolution SAR images with cascaded fully-convolutional network and variable focal loss. *IEEE Transactions on Geoscience Remote Sensing*, 59(1), 316-332. <https://doi.org/10.1109/TGRS.2020.2999405>
- Zhou, Y., Dong, J., Xiao, X., Xiao, T., Yang, Z., Zhao, G., & Qin, Y. (2017). Open surface water mapping algorithms: A comparison of water-related spectral indices and sensors. *Water*, 9(4), 256. <https://doi.org/10.3390/w9040256>.

Gayrimenkul değerlemede geleneksel yöntemler

Traditional methods in real estate valuation

Kemal ÇELİK^{*1,a}

¹ Gümüşhane Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 29100, Gümüşhane

• Geliş tarihi / Received: 22.04.2021

• Düzeltilecek geliş tarihi / Received in revised form: 28.11.2021

• Kabul tarihi / Accepted: 12.12.2021

Öz

Gayrimenkul değerlemesi, gayrimenkul veya ilişik hakların belirlenen zaman periyodunda muhtemel değerinin gerçeğe yakın olarak belirlenmesidir. Gayrimenkul piyasasının güvenli işleyebilmesi, gayrimenkullerin güncel ve gelecekteki rayiç değerlerinin bilinmesine bağlıdır. Gayrimenkullerin gerçek değerlerinin bilinmemesi, alım-satım işlemleri, emlak vergisi, kentsel dönüşüm uygulamaları vb. işlemlerde sorun oluşturmaktadır. Gayrimenkullerden güncel değere göre vergi alınmaması ekonomik kayıplara neden olmaktadır. Günümüzde nominal değerlendirme, çoklu regresyon ve yapay sinir ağları, bulut CBS vb. farklı birçok kitlesel değerlendirme yöntemleri taşınmaz değerlendirme işlemlerinde kullanılmaktadır. Ülkemizde geleneksel tekil değerlendirme yöntemi olarak kullanılmakta olan maliyet yöntemi, gelir yöntemi ve emsal karşılaştırma yöntemleri bu çalışmada örnek değerlendirme çalışması eşliğinde tartışılmıştır. Yapılan bu örnek değerlendirme çalışmasında arazi, arsa tanımları üzerinde durularak, esasen konut alanı ve sanayi alanına isabet eden alanlarda karşılaştırma yöntemi kullanılarak değerlendirme yapılmıştır. Samsun İli, Atakum İlçesi, Büyükkolpınar Mahallesi ve Gümüşhane İli, Merkez, Bağlarbaşı Mahallesi sırasıyla konut ve sanayi alanı değerlendirme çalışması için pilot bölge seçilmiş ve buna uygun olarak parsel alanı, imar hakkı, satış tarihi, satış değeri verileri elde edilmiştir. Kentteki konut alanına isabet eden arsalar ile sanayi alanı tanımlı arsaların değerlerinin değerlendirme birimleri (alan/hacim) açısından farklı olduğu tartışılmıştır.

Anahtar kelimeler: Arsa, Değer, Değerleme, Değerleme yöntemleri, Gayrimenkul

Abstract

Real estate valuation is the determination of the possible value of the real estate or attached rights as close to the truth in the determined time period. The safe operation of the real estate market depends on knowing the current and future market values of real estates. Not knowing the real values of real estates causes problems in such market actions as buying and selling transactions, real estate tax, urban transformation applications, etc. Failure to collect taxes in accordance with the current real value causes economic losses. Currently, a variety of mass valuation methods such as nominal valuation, multiple regression, artificial neural networks, cloud GIS etc. are used in the process of real estate valuation. Cost, income and peer comparison methods which are used as conventional single valuation methods in Turkey are discussed in this study in accordance with sample valuation study. In this sample valuation study, after clarifying rural and urban land, valuation study for residential and industrial urban land are carried out by basically using the comparison approach. Büyükkolpınar district in Atakum county of Samsun province and Bağlarbaşı district in central county of Gümüşhane province are selected as the pilot areas for residential and industrial land valuation studies respectively, and plot area, zoning rights, transaction time and value information are collected accordingly. That the value of land corresponding residential and industrial areas is different in accordance with the valuation units (square meters; cubic meters) are discussed.

Keywords: Land, Value, Valuation, Valuation methods, Real estate

*a Kemal ÇELİK; gumuscelik@hotmail.com, Tel: (0456) 233 10 00, orcid.org/0000-0003-0662-5901

1. Giriş

1. Introduction

Gayrimenkul değerlendirme, gayrimenkul veya taşınmazda geliştirilen projenin, ilişkili faydaların istenilen zamandaki değerinin objektif kriterlere ve nitelik, fayda, çevre, işlevsellik gibi verilere dayanarak belirlenmesidir. Taşınmazın bugünkü değeri kullanılarak geçmiş zamandaki değerinin hesaplanması yapılabilmektedir. Değerleme işlemleri; mülkiyetin devri, finansman ve kredi işlemleri, kamulaştırma işlemleri, vergilendirme, kiralama, kentsel yenileme ve fizibilite çalışmalarında, sigortalama işlemleri, kentsel dönüşümlerde arsa ve binaların değerlerinin tespiti ve arsa ve arazi düzenlemeleri konularında gerçekleştirilir (Öztürk, 2017). Değer sözcüğü dilimizde pek çok anlamda kullanılmaktadır. Değer, kamulaştırma, arazi ve arsa düzenlemeleri, arazi toplulaştırması, yatırım, piyasa, sürüm, pazar, satış, vergilendirme, gelir vergisi, sigorta, kredi, miras, ipotek, maliyet, tavan, veraset vb. işlemlerinde gayrimenkullerin değerlerinin bilinmesine ihtiyaç duyulmaktadır (Çelik & Aşık, 2004) Değerleme, vergi matrahlarının hesaplanmasında ilgili iktisadi kıymetlerin takdir ve tespiti işlemlerinde kullanılmaktadır (Vergi Usul Kanunu, 1961, 258).

Taşınmazın değeri, “*istekli satıcı ve istekli alıcı arasında, tarafların herhangi bir ilişkiden etkilenmeyeceği şartlar altında, hiçbir zorlama olmadan, basiretli ve konu hakkında yeterli bilgi sahibi kişiler olarak, uygun bir pazarlama sonrasında değerlendirme tarihinde gerçekleştirecekleri alım satım işleminde el değiştirmesi gerektiği takdir edilen tutardır*” (Açlar & Çağdaş, 2008)

Gayrimenkul değerlemesi ile ilgili standart ve tanımlamalar; RICS, TEGoVA ve IVSC gibi değerlendirme kurumları tarafından geliştirilmektedir. RICS (Royal Institution of Chartered Surveyors: Yeminli Uzmanlar Kraliyet Enstitüsü) Londra merkezli olup, gayrimenkul değerlendirme ve aracılık hizmetlerine kapsamlı hizmet sunmaktadır (RICS, t.y.). RICS gayrimenkul değerlemesi yanında taşınabilir kıymetlerin değerlendirme hizmeti vermektedir. TEGoVA (The European Group of Valuers' Associations: Avrupa Değerleme Örgütleri Birliği), Avrupa'da Brüksel merkezli taşınmaz değerlendirme çatı örgütüdür (TEGOVA, t.y.). IVSC (The International Valuation Standards Council: Uluslararası Değerleme Standartları Konseyi), Londra merkezli olup, yatırımcıların ve diğerlerinin dayandığı değerlemeler için

uluslararası teknik ve etik standartlar geliştirir (IVSC, t.y.).

Değerleme yaklaşımı terimi yaygın bir şekilde kullanılan genel kabul görmüş analitik yöntemleri ifade eder.

Uluslararası Değerleme Standartları Eki Uluslararası Değerleme Standartlarının Değerleme yaklaşımları başlıklı 2.9. maddesinde, pazar değerinin belirlenmesi için karşılaştırılabilir işlemler yöntemi, borsadaki kılavuz emsaller yöntemi sistematik olmayan veya “pratik yöntem” olarak bilinen değerlendirme kıstasları pazar yaklaşımı olarak kullanılmaktadır. Yapılacak değerlemede birden fazla değerlendirme yöntemi kullanılması tavsiye edilmektedir (Uluslararası Değerleme Standartları, 2017).

Bu çalışmanın asıl konusu olan karşılaştırma yöntemi olduğu için karşılaştırma yöntemini ele alan çalışmaların araştırılması yapılmıştır. Gayrimenkul değerlemesinde geleneksel yöntemlerden karşılaştırma tekniğinin yaygın ve dünyada genelinde kabul görmüş bir teknik olduğunu, teorik olarak tüm dünyada aynı olmasına rağmen bu yöntemin yerelde uygulanmasında farklılıklar olduğunu belirtmiştir (Munshifwa, 2021). Zambia'da bu yöntemin az bilinen indirgenmiş kat alanı (reduced floor area) yöntemi olarak uygulandığı, bu yöntemin değerlerin ağırlıklandırılması esasına dayandığı, değerlendirme uzmanlarının ülkede yaygın olarak bu yöntemi kullandığı, yöntemin kurallarının kulaktan kulağa yeni nesil değerlemecilere aktarıldığı, bu nedenle uygulamada farklılıklar olabildiğini vurgulamıştır. Çalışma sonucu olarak ise bu yöntemin savunulabileceğini ancak kullanılan bazı sabit ağırlık faktörlerinin profesyonel değerlendirme uzmanlarını da işin içine dahil edilerek tartışılması ve böylece değerlemelerdeki farklılıkların azaltılması için çalışılması gerektiğini vurgulamıştır. Lisi, (2019) tarafından karşılaştırma ve çoklu regresyon analizi yöntemlerini kullanarak taşınmaz değerlemesinde bağımsız değişkenler olarak kullanılan yapı karakteristiklerinin etkisi tartışılmıştır. Öncelikle karşılaştırma ve çoklu regresyon yöntemleri arasındaki yakınlığı teyit etmektedir. Çalışmada kestirim fiyatların konut değerlemesindeki önemli rolü kanıtlanmıştır. Karşılaştırma yönteminde faktörlerin dengelenmesinde (ağırlıklarının belirlenmesinde) önerilen iki yöntemin çoklu regresyon ve eşleştirilmiş (paired) veri analizi olduğunu, ancak bu yöntemlerin tüm değerlendirme uygulamalarında kullanılmadığını, heterojen yapılaşma ve az miktarda satışın olduğu durumlarda kullanılmadığını ileri sürmüştür (Lisi & Iacobini,

2018). Karşılaştırma yönteminde hiçbir belirsizliği olmadığı durumlarda bile hem değerlendirme uzmanları ve hem de müşterilerin istatistiksel yöntemleri kullanmaktan kaçındıklarını, ayrıca değerlendirme uzmanlarının belirsizlik olmayan durumlarda kullandıkları yöntem gereği kendilerine ve yeteneklerine güvenlerinin tam olduğunu ancak belirsizlik durumunda basit kurallı modelleri kullanmak yerine modellenmesinin imkânsız olduğunu düşündükleri kendilerine has yöntemlere başvurmakta olduklarını ileri sürmüştür. Karşılaştırma yöntemini mantıklı kurallara bağlayarak daha güvenilir bir araç haline getirip, konut, işyeri ve hatta makine/teçhizat satış ve kiralama işlemlerinde, bazı belirsizlik durumlarının da olduğu durumlarda güvenilir bir araç olarak kullanılabilirliğini ortaya koymuştur (Van & David, 2017). ABD North Carolina eyaletinde 2500 civarında apartman dairesi satış verileri kullanılarak hedonik fiyat fonksiyonunu yarı-parametrik regresyon ile birlikte kullanılmış ve geleneksel parametrik modellerle karşılaştırılmıştır. Yöntemin veri olan ve olmayan bölgelerde değerlendirme işlemlerinde kullanılabilirliği sonucuna varılmıştır (Bin, 2004). Hans, (2002)'de yaptığı çalışmada değerlendirme uzmanlarının ve akademisyenlerin karşılaştırma yöntemi ile yapılan değerlemeye bakış açılarının farklılığını ortaya koymuştur. Farklılıkların ortaya koyulmasında lineer formüller kullanılmaktadır. Değerleme uzmanlarının çok az emsal değer verisi kullanarak uzman görüşü ile değerlendirme yaptıklarını ve birçok değer olabileceği öngörüsü ile hareket ettiklerini vurgulamaktadır (Hans, 2002). Akademisyenlerin ise tek değer prensibi üzerine daha çok emsal veri ve birçok istatistiksel yöntem kullanılarak çözüm aradıklarını vurgulamaktadır. Karşılaştırma yöntemi dünya çapında yaygınca kullanılan istatistiksel modeller olan dengelemeli karşılaştırma, hedonik regresyon ve hedonik fiyat indeksi modelleri kullanılarak, değerlendirme işlemlerinin etkinliğini artırmak için çoğul-amaçlı optimizasyon ve çok kriterli karar analizi yöntemlerinin bir kombinasyonu olarak değerlendirme modeli geliştirilmiştir (Farkas & Porumb, 2020). Cupal, (2016) tarafından yapılan çalışmada, 140 emsal değer ve farklı türlerde 849 adet taşınmaz bulunan bir veri seti üzerinde değeri etkileyen 11 adet bağımsız değişken kullanmak suretiyle konut değerlemesinde Lineer Regresyon Modeli ile bulunan değeri etkileyen faktörleri ve emsal karşılaştırmada kullanılan değer dengeleme faktörlerinin karşılaştırmasını yapmış ve kısmen aralarındaki benzerliği ortaya koymuştur. 140 değerlendirme verisi ve 500 adet gerçek satış fiyatı verilerini kullanarak veri heterojenliğinin yapılan değerlemenin doğruluğuna etkisini istatistiksel

yöntemler kullanılarak araştırmıştır (Cupal, 2017). Karşılaştırma yöntemi ile yapılan değerlendirme işlemlerinde birim seçimini ele almaktadır (Donald & Jess, 1996). Tartıştığı konulardan birisi de az bir veri seti ile değerlendirme yapmak gerektiğinde farklı değerlendirme birimlerinin güvenilirlik derecesinin belirlenebileceği şeklindedir. Regresyon modelinde anlamlı değişkenler ve bunların ağırlıklarının belirlenmesi için 6345 emsal değerlendirme verisi üzerinde çoklu regresyon yöntemi uygulanmıştır. Verilerin %90'i test için kalan %10'u ise doğrulama için kullanılmış ve alternatif yöntemler önerilmiştir (MingYou & Chang, 2009).

Ülkemizde, gayrimenkul değerlemesinde genellikle geleneksel yöntemler kullanılmasına karşın karşılaştırma yönteminde elde edilmiş olan verilerin nasıl kullanılacağı konusunda karmaşa bulunmaktadır. Yaptığımız çalışma ile konut ve sanayi alanındaki emsal verilerden yararlanılarak karşılaştırma yöntemine göre değer belirlemesi basit örneklerle gösterilmiştir. Değerleme kavramının anlaşılabilirliği için arazi ve arsa kavramının açıklanması gerekmektedir.

1.1. Arsa ve arazi nedir?

1.1.1. What is urban plot and rural land?

Arazi, insanların temel faaliyet alanıdır. Dolayısıyla insanoğlunun yaşamı boyunca araziyle ilişkisi hep olmuştur. (Yomralıoğlu, vd., 2011; Yıldız, 2000) tarafından arazi için yapılan tanım ise “*yeryüzü parçası, yer, toprak, ekilip biçilen topraklar; insanların oturduğu ya da boş toprak parçasıdır*” şeklindedir. Arsa, 1/1000 ölçekli uygulama imar planı ve imar mevzuatına göre oluşmuş imar parselidir (Arazi ve Arsa Düzenlemeleri Hakkında Yönetmelik, (2020). (Deveci & Yılmaz, 2009) tarafından yapılan tanımlama “*İmar Kanunu uyarınca arazi ve arsa düzenlemesi görmüş en az altyapısı sağlanmış imar parselidir*” şeklindedir.

Parselasyonu yapılmış, imar mevzuatına göre yapılaşma yapılabilen ve yerleşilebilen alanlara arsa denilmektedir. Geleneksel olarak imarsız ve imarlı arsa olarak isimlendirilir (Taygır & Hacıköylü, 2018). 1319 Sayılı Emlak Vergisi Kanunu'na göre her arazinin bir arsa olmayacağı fakat her arsanın bir arazi olduğu kabul edilmiştir. Belediye sınırları içine isabet eden, belediye hizmetlerinden yararlanan parselasyonu yapılmış araziler “arsa” sayılmaktadır. Belediye mülki sınırları dışında veya içindeki parselasyonu yapılmamış taşınmazların hangilerinin arsa sayılacağı 1319 Sayılı Emlak Vergisi Kanununun (1970) 12. Maddesine göre Bakanlar Kurulu kararı

ile belli edilir. Kanunu'nun 12. maddesine göre, belediye sınırları dışında veya içinde bulunan parsellenmemiş araziler de arsa kavramı içerisinde değerlendirilmektedir. Bu kapsamda belediye sınırlarına dâhil olan veya İl Özel İdaresi sorumluluk sahasındaki parsellenmemiş arazilerden hangilerinin arsa sayılacağı 1983/6122 numaralı Bakanlar Kurulu Kararı ile belirlenmektedir. Bakanlar Kurulu arsa ve arazi ayırımını 11.03.1983 tarih ve 17984 sayılı Resmi Gazete'de yayınlanan 1983/6122 numaralı kararı ile belirlemiştir.

Vergi hukuku açısından arazi, arz üzerinde sınırları, çit, yol, dağ, duvar, ağaç vb. gibi sun'î ve tabii eşiklerle çevrili yeryüzü parçası olarak tarif edilmektedir. Arazideki kaynaklar, göl ve ağaçlar arazinin mütemmim cüzü sayılmaktadır. Benzer tanım arsalar için de yapılabilmektedir. Ancak, Emlâk Vergisi Kanunu göre arsa ve arazi birbirinden farklı beyanname düzenlemektedir. Arsa ve arazinin vergi oranlarının farklı olması nedeniyle ayrı tanımlar yapılmaktadır. Arsa parsellenmiş arazi parçalarını ifade etmektedir. Bu bakımdan, belediye sınırları içinde, parsasyonu yapılmış arazi parçaları ile köy sınırlarında olan belediye mücavirindeki alanların tamamı arsa olarak değerlendirilmektedir.

Arazi tanımı 5403 sayılı Toprak Koruma ve Arazi Kullanımı Kanununun 3. Maddesinde yeniden tanımlanarak “*Toprak, iklim, topografya, ana materyal, hidroloji ve canlıların değişik oranda etkisi altında bulunan yeryüzü parçasını ifade eder*” şeklinde tanımlanmıştır.

Arazilerin “arsa” olabilmesi için öncelikle 1/100000 ölçekli Çevre Düzeni Planında konut tanımlı alana karşılık gelmesi gerekmektedir. Bu alanların 1/5000 Nazım İmar Planının da yapılmış olması gerekmektedir. Nazım imar planı, “*mevcut ise çevre düzeni planının genel ilke, hedef ve kararlarına uygun olarak, arazi parçalarının genel*

kullanış biçimlerini, başlıca bölge tiplerini, bölgelerin gelecekteki nüfus yoğunluklarını, çeşitli kentsel ve kırsal yerleşme alanlarının gelişme yön ve büyüklükleri ile ilkelerini, kentsel, sosyal ve teknik altyapı alanlarını, ulaşım sistemlerini göstermek ve uygulama imar planlarının hazırlanmasına esas olmak üzere, varsa kadastral durumu işlenmiş olarak 1/5.000 ölçekte, büyükşehir belediyelerinde 1/5000 ile 1/25.000 arasındaki her ölçekte, onaylı halihazır haritalar üzerine, plan notları ve ayrıntılı raporuyla bir bütün olarak hazırlanan planı” ifade eder (Mekânsal Planlar Yapım Yönetmeliği, 2014, 5). Nazım imar planında yapılaşmaya uygun konut alanı ile yapılaşmaya yasak alanlar görülebilmektedir. 1/1000 ölçekli Uygulama İmar Planında parselasyon yapılması halinde konut alanına isabet eden araziler “Arsa” statüsüne kavuşmaktadır. Araziden arsaya dönüşümde en fazla %45 oranında DOP (Düzenleme Ortaklık Payı) kesilebilmektedir (İmar Kanunu, 1985). Ham arazinin imara konu edilmesi ve imar uygulama yöntemleri aracılığı ile arsa oluşumu sağlanmaktadır.

2. Materyal ve metot

2. Material and method

2.1. Çalışma alanı

2.1. Study area

Konut arsası için değerlendirme bölgesi Samsun İli, Atakum İlçesi, Büyükkolpınar Mahallesi ve Sanayi alanı (Şekil 1) için ise Gümüşhane İli, Merkez, Bağlarbaşı Mahallesinde sanayi alanı (Şekil 2) seçilmiştir. Konut arsasında karşılaştırma yapabilmek için ada/parsel, parsel alanı, imar hakkı (emsal), satış tarihi, satış değeri verileri toplanmıştır. Sanayi arsasında karşılaştırma yapabilmek için ada/parsel, parsel alanı, yükseklik, imar hakkı(emsal), satış tarihi, satış değeri verileri toplanmıştır.



Şekil 1. Konut arsası değerlendirilmesi yapılan Samsun İli, Atakum İlçesi, Büyükkolpınar Mahallesi konut alanında emsal alınan parsellerin Google Earth görüntüsü

Figure 1. Google Earth image of peer land parcels for residential area of Samsun Province, Atakum County, Büyükkolpınar District where residential land parcel valuation is conducted.



Şekil 2. Sanayi alanı değerlendirilmesi yapılan Gümüşhane İli, Merkez, Bağlarbaşı Mahallesi sanayi alanında emsal alınan parsellerin Google Earth görüntüsü

Figure 2. Google Earth image of peer land parcels for industrial area of Gumushane Province, Central County, Bağlarbaşı District where industrial land parcel valuation is conducted.

2.2. Gayrimenkul değerleme yöntemleri

2.2. Real estate valuation methods

Gayrimenkulün değerini belirlemek için genellikle gelir, maliyet ve karşılaştırma yöntemleri kullanılmaktadır. Değerleme yöntemi, gayrimenkul piyasasının alışkanlıkları ve taşınmaz konumuna göre belirlenebilmektedir (Açlar & Çağdaş, 2008). İmar parsellerinde yapı bulunması halinde değer piyasa sürüm değerlerine göre belirlenir. Taşınmazın değerini belirlemede, elimizde kullanılabilecek gerçek satış ifade eden emsal değerlerin bulunması durumunda karşılaştırma yöntemi kullanılmalıdır. Gelir yöntemi kullanılarak taşınmaz değerinin belirlenmesi, işyeri ve konut olarak kullanılan taşınmazdan elde edilecek gelire göre hesap yapılması gerekir. Üzerinde işhanı, fabrika vb. yapı bulunan ve kira gelirleri bilinmeyen gayrimenkullerin değeri maliyet yöntemi kullanılarak bulunur (Deveci & Yılmaz, 2009).

Gayrimenkullerin veri seti şeklinde, toplu olarak değerlendirilmesi yapılmasında konumsal özellikler önemlidir. Değerlemede konumsal etkilerin analizinde CBS destekli modeller kullanılmaktadır. Kentsel alan düzenlemelerinde taşınmazların gerçek değerlerini esas alan eşdeğer dağıtım modellerine yönelik değer belirlenmesi çalışmaları yapılmaktadır (Mete & Yomralıoğlu, 2019).

Gayrimenkul değerlemesinde, 3 geleneksel yöntem uygulanabilmesi yönünden tercih edilmektedir. Bu yöntemler; emsal gösterme yöntemi, maliyet yöntemi ve gelir kapitalizasyonu yöntemidir. Verilen kıyaslanabilmesi nedeniyle, gayrimenkullerin değerlendirilmesinde emsal yöntemi tercih edilmektedir. Gelir yöntemi ticari gayrimenkullerde kullanılırken, maliyet yöntemi daha çok yeni inşa faaliyetlerinde kullanılmaktadır (Akkaynak, B., 2017). Yöntem olarak emsal yöntemi tercih etmiş ise ayrıca arsa bedeli tespit edilmesine gerek olmazken, maliyet veya gelir yöntemine göre değerlendirme yapılması durumunda arsa bedelinin belirlenmesi gerekir (Yomralıoğlu vd., 2011).

Kentteki sanayi alanına isabet eden gayrimenkul ile konut alanına karşılık gelen gayrimenkullerin değerleri farklı olmaktadır. Sanayi tanımlı alanlarda depolama hacmi önemli olduğundan $\text{₺}/\text{m}^3$ hacim kullanılırken, konut alanı tanımlı yerlerde birim inşaat $\text{₺}/\text{m}^2$ kullanılmaktadır. Gelir yöntemi, gayrimenkulden elde edilecek gelirinin tahmini şeklindedir. Maliyet yöntemi ise bir yapının yeniden yapım maliyeti dikkate alınarak

belirlenir. Yöntem, yüklenici yöntemi olarak da bilinmektedir.

3. Uygulama (Bulgular)

3. Application (Results)

3.1. Karşılaştırma yöntemine göre değer hesabı

3.1. Valuation by peer comparison method

Karşılaştırma yönteminin uygulanabilmesi için güvenilir piyasa koşullarında satışı yapılan taşınmazların varlığıdır. Değerlemeye konu gayrimenkulün güncel satış değerlerinin emsalleriyle karşılaştırılmasıyla tespit edilmesidir. Güncel satış değerlerinin bulunmadığı durumlarda TÜİK verileri kullanılarak günümüzdeki değere yaklaşım sağlanmaktadır. Arsaların değerlendirilmesi emsal alınan daha önceki satışlar kullanılarak yapılabilmektedir. Karşılaştırma yönteminin uygulanması, değerlendirilmesi yapılacak parsel emsal kabul edilecek parsellerin belli tarihlerdeki alım-satım bilgileri ve imar özelliklerinin bilinmesine bağlıdır. Karşılaştırma yöntemine göre yapılan değerlendirilmede, işlem yapılacak parselin mahallesinde güncel alım-satım değerleri dikkate alınmalıdır (Yomralıoğlu vd., 2011). Değerlemesi yapılacak parselin öz nitelikleri, emsal parsellerden farklılıklar göstermesi halinde, oluşan olumlu ve olumsuz etkilerin dikkate alınmasıyla gerçekçi değere yaklaşılması gerekmektedir.

Karşılaştırma ile değer belirlemesinde bölgede, yani mahallesinde karşılaştırmaya uygun taşınmazların bulunması gerekmektedir. Aynı zamanda piyasa değerlerini yansıtmaları önem arz etmektedir. Karşılaştırma yapılabilmesi için emsal alınan gayrimenkulün özellikleri ile değeri belirlenecek gayrimenkulün özelliklerinin benzer olması gerekmektedir. Konut bölgesindeki bir taşınmazın emsalinin konut bölgesinde, sanayi bölgesinin emsali sanayi bölgesinden seçilmesi gerekmektedir. Arsa üzerinde yapı olması halinde parsel boyutları, imar planındaki şekli, kentteki konumu, tanımlanan işlevi, TAKS, KAKS değerleri, toplam inşaat alanı, ulaşım olanakları, kültürel donatılara yakınlığı, yapının türü, yapı tarzı, tasarımı, yeşil enerji yatırımı, yaşı, güncel durumu ve büyüklüğü, vb. öznel bilgilerdir (Karakuş vd., 2011). Değerlemede, taşınmazda yapılanma koşulları, kentsel fonksiyon, topografya, manzara, taşınmazdaki haklar ve kısıtlıklar gibi belirgin özelliklerinin belirtilmesi gerekir (Deveci & Yılmaz, 2009). Değerleme yapılırken karşılaştırma yapılan örneklemeler aynı gruptan olmak zorundadır. Örnek olarak uygulama imar planında konut bölgesindeki taşınmazlar ile sanayi alanına isabet eden taşınmazların

değerlendirilmesinde her iki gruba ait emsal araştırması yapılması gerekmektedir.

3.1.1. Konut bölgesinde değer hesabı

3.1.1. Valuation for residential area

Karşılaştırma yöntemi kullanılarak gayrimenkulün bugünkü değerinin bulunmasına, yakın zamanda satışı yapılan benzer taşınmazların özellikleri ve piyasa verileri elde edilir. Karşılaştırma yöntemini kullanarak taşınmazın değerinin bulunmasını bir örnek üzerinde inceleyebiliriz. Konut bölgesindeki karşılaştırma yönteminde elde edilen emsal değerlerin ortalaması alınır ve verilerin ortalamadan ne kadar saptığına bakılır. Emsallerin ortalama değerden sapma miktarını $\pm\%15$ kabul

ederek standart sapma değeri hesaplanır. Bu değer küçük veya büyük olması sayılar arasındaki konumları değerlendirmemize yarar. Büyük olması güvensizlik sayılar arasında uçurum olduğunu gösterir. Standart sapmanın küçük çıkması emsal değerlerinin birbirine çok yakın olduğunu gösterir. Örnek uygulamada standart sapma (sınır değer) $\%15$ alınmıştır. Emsal alınan satışların tamamı konut bölgesinden seçilmiştir. Konut bölgesindeki taşınmazın değerinin belirlenmesinde Tablo 1’de verilen Tüketici Fiyat Endeksi ve Değişim Oranı (2003=100) endeks değerleri kullanılarak, Tablo 2’de verilen satış değerleri değeri belirlenecek zamana taşınmaktadır.

Tablo 1. Taşınmazların satış tarihlerindeki Tüketici Fiyat Endeksi ve Değişim Oranı (2003=100) endeks değerleri tablosu

Table 1. Consumer Price Index and Change Rate (2003=100) index values table on the date of real estate transactions

TARİH	Şubat 2016	Haziran 2016	Ekim 2017	Mayıs 2018	Ağustos 2018	Aralık 2018
2003=100 ENDEKSİ	274.38	279.33	320.40	348.34	367.66	393.88

Tablo 2. Emsal taşınmazlar tablosu

Table 2. Peer real estates table

Konut arsası için emsaller	Ada/Parsel	Alan (m ²)	Emsal	Değer (₺)	Tarih	Satış Birim Değeri (₺/m ²)	Güncel Birim Değeri (₺/m ²)
Emsal 1	11400/11	1145.00	2.00	1.700.000	16.01.2016	742.36	1.065.68
Emsal 2	11401/5	502.00	1.50	560.000	10.06.2016	743.69	1.048.67
Emsal 3	11400/4	1580.00	2.00	2.750.000	07.11.2017	870.25	1.069.83
Emsal 4	11403/13	843.76	1.80	1.300.000	25.05.2018	855.96	967.86
Emsal 5	11401/6	843.00	1.50	1.050.000	29.09.2018	830.37	889.59
D. Konu Parsel	11403/8	1940.66	1.80	?	15.12.2018		

Değerin bulunabilmesi için önceki tarihli satışların güncel değerlerinin bulunmasına ihtiyaç vardır. Bunun için Tüketici Fiyat Endeksi değerleri kullanılarak değerlendirme gününe gelinmesi gerekmektedir. Çünkü, yıllık enflasyon değerindeki değişimi ölçmek için kullanılır. TÜFE’de esas alınan perakende fiyatlarıdır. Aralık

2018 satış değeri (1) formülünden yararlanılarak bulunmaktadır. Emsal 1 için yapacak olursak $393.88/274.38 = 1.435527371$ katsayısı elde edilmektedir. Bulunan değer satış bedeli ile çarpılırsa $742.36 * 1.435527371 = 1.065.68₺$ olmaktadır. Emsal satışları gösteren pafta Şekil 3’te verilmektedir.

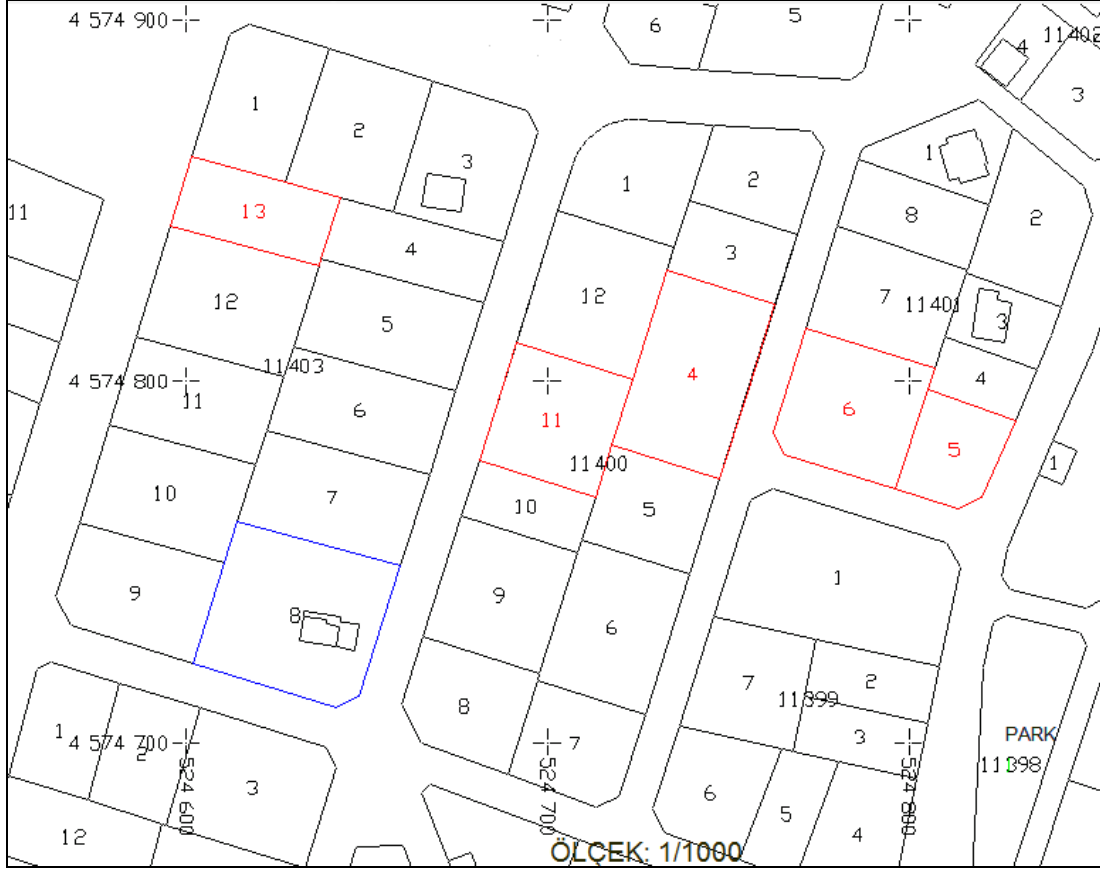
$$\text{Satış tarihi değeri} = \text{Önceki tarihli satış değeri} * \frac{\text{Aralık 2018 Endeksi}}{\text{Şubat 2016 Endeksi}} \quad (1)$$

Emsal (KAKS): yapının katlar alanı toplamının imar parseli alanına oranıdır. Değerlemeye emsal alınan arsaların değerinden 1m² inşaat yapılabilen arsa alanı değerini bulabiliriz. Emsal satış 1 değerinin 1 m² değerini = $1.700.000 / (1145 * 2.00) = 742.36$ ₺/m² şeklinde bulabilir. Diğer satışların da benzer şekilde m²

birim bedelini belirleyebiliriz. Bölgede 5 emsal satışın günümüze çevrilmiş satış bedelleri dikkate alındığında ortalama taşınmaz fiyatı 1.008.33 ₺/m² olmaktadır. Uyumsuz değerlerin belirlenmesi için $\%15$ sınır değere göre hesaplama yapıldığında üst sınır $(1.008.28₺/m^2) * (1 + \%15) = 1.159.52$ ₺ ve alt sınır $(1.008.28 ₺/m^2) * (1 - \%15) = 857.04₺$

olmaktadır. Elde edilen m² veriler sınır değerlerin arasında kaldığından ortalama alınarak hesap yapılabilir. Bu durumda Taşınmazın değeri= Değerlenecek parselin toplam inşaat alanı*Emsal

şeklinde olmaktadır. Değerlenecek taşınmazın satış değeri $1.940.66\text{m}^2 * 1.80 * 1.008.28\text{₺}/\text{m}^2 = 3.522.104.61\text{₺}$ olmaktadır.



Şekil 3. Konut Bölgesindeki emsal satışları gösteren F42-B-16-C-3-B pafta örneği (Not: Makale formatı nedeniyle harita ölçekli yerleştirilememiştir)

Figure 3. F42-B-16-C-3-B map sheet sample showing peer transactions on Residential Area (Note: The map sheet is not presented by its original scale due to manuscript format)

3.1.2. Sanayi bölgesinde değer hesabı

3.1.2. Valuation for industrial area

Sanayi bölgesinde yapılacak bir değerlendirme işleminde 1223 ada 7 nolu parselin değeri daha önceden bilinen Emsal 1, Emsal 2, Emsal 3, Emsal 4 ve Emsal 5 parsellerine ait yapılanma koşulları dikkate alınarak hesaplama yapılmıştır. Satış bedellerini değerlendirme gününe dönüştürmek için

TÜİK verileri kullanılmıştır. Tüketici fiyat endeks rakamları (2003=100) değişim oranı endeks değerleri Tablo 3'teki gibidir. Sınır kontrolleri olarak %15 değeri kullanılarak hesaplama yapılacaktır. Sanayi bölgesi için emsal alınan satışların Tablo 4'te verilen satış değerleri günümüze yani değeri belirlenecek zamana taşınmaktadır.

Tablo 3. Taşınmazların satış tarihlerindeki endeks değerleri tablosu

Table 3. Index values table on the date of real estate transactions

Tarih	Eylül 2012	Mart 2015	Temmuz 2017	Kasım 2018	Ocak 2019	Mayıs 2020
2003=100 Endeksi	207.55	255.23	310.24	395.48	398.07	460.62

Tablo 4. Emsal taşınmazlar tablosu**Table 4.** Peer real estates table

Sanayi Arsası için Emsaller	Ada/ Parsel	Alan (m ²)	Yük. (h)	Değer (₺)	Emsal	Tarih	Güncel Değer (₺)	Hacim (m ³)	Bihd ₺/ m ³
Emsal 6	623/16	328.40	6.50	450.000	0.50	16.08.2012	998.694.29	1.067.30	935.72
Emsal 7	623/18	152.66	6.50	250.000	0.50	27.02.2015	451.181.29	496.15	909.36
Emsal 8	617/5	305.95	6.50	600.000	0.50	21.06.2017	890.832.90	994.34	895.90
Emsal 9	619/4	153.16	6.50	350.000	0.50	20.10.2018	407.648.93	497.77	818.95
Emsal 10	622/7	326.51	6.50	850.000	0.50	19.12.2019	983.563.19	1.061.16	926.88
D. Konu Parsel	622/16	408.37	6.50	?	0.50	27.04.2020	?	1.327.20	

Değerin bulunabilmesi için önceki tarihli satışların güncel değerlerinin bulunmasına ihtiyaç vardır. Bunun için Tüketici fiyat endeks değerleri kullanılarak değerlendirme gününe gelinmesi gerekmektedir. Mayıs 2020 satış değeri= Önceki tarihli satış değeri* (Mayıs 2020/Eylül 2012) şeklinde bulunmaktadır. Değeri belirlenecek arsa sanayi bölgesinde yer aldığı için birim inşaat hacmi kullanılarak çözüme gidilmesi gerekmektedir (Bal, 2018). Birim inşaat hacmi değeri (2) formülündeki gibi hesaplanmaktadır. Emsaller için birim inşaat hacmi değeri hesaplamaları Tablo 4'te gösterilmiştir. Bu değerlerin ortalaması alınarak ortalama Birim İnşaat Hacmi Değeri (BİHD) = (935.72+909.36+ 895.90+818.95+926.88)/5 =

897.36₺/m³ olarak bulunur. Sanayi bölgesinde elde edilen ortalama değer alınır ve eldeki verilerden kullanılarak ortalamadan ne kadar saptığına bakılır. Üst sınır değer 897.36*(1+0.15) = 1.031.96₺/m³ ve alt sınır 897.36*(1-0.15)= 762.76₺/m³ olmaktadır. Bu durumda sanayi parselleri için alınan emsal parsellerin tamamı kullanılarak ortalama Birim İnşaat Hacmi Değeri 897.36 ₺/m³ olarak bulunur. Sanayi bölgesindeki 622 ada 16 nolu parselin değeri = 408.37*0.50*6.50*897.36₺/m³ = 1.190.978.44₺ olmaktadır. Sanayi bölgesindeki emsal satışları gösteren Gümüşhane İli, Merkez, Bağlarbaşı Mahallesi, 1/1000 ölçekli H43-A-06-A-2-C nolu pafta örneği Şekil 4'te gösterilmektedir.

$$\text{Birim İnşaat Hacmi Değeri} = \frac{\text{Toplam Güncel Değer}}{\text{Toplam İnşaat Hacmi}} \quad (2)$$

3.2. Gelir yaklaşımı yöntemi

3.2. Income approach method

Gayrimenkullerin değeri getirdikleri gelire göre belirlenebiliyorsa piyasa sürüm bedellerinin bulunması için gelir yönteminin kullanılması kuraldır. Gelir yaklaşımı yönteminde üzerinde yapı bulunan bir gayrimenkulün değerinin belirlenmesinde esas ölçüt, gayrimenkulden elde edilebilecek net gelirdir. Gayrimenkuldeki net gelir, yapıdan elde edilen gelir, yapıya ilişkin diğer yapısal tesislerin getirisi ve arsa payından oluşur. Arsalar sürekli olarak kullanılırken, yapıların kullanım süreleri yıpranması nedeniyle sınırlıdır. Bu nedenle net gelirin akçesel karşılığının saptanmasında arsa, yapı ve yapıya ilişkin diğer yapısal tesislerin değerleri ayrı kısımlarda belirlenir (Deveci & Yılmaz, 2009).

Gelir yaklaşımı yöntemi, gayrimenkuldeki yıllık gelir miktarının tahmin edilmesi esasına dayanır. Gelir yaklaşımında gayrimenkulün şimdiki geliri ve gelecekteki geliri birbirine denk olmaktadır. Değer, gayrimenkulün kullanılabilir ömrü boyunca

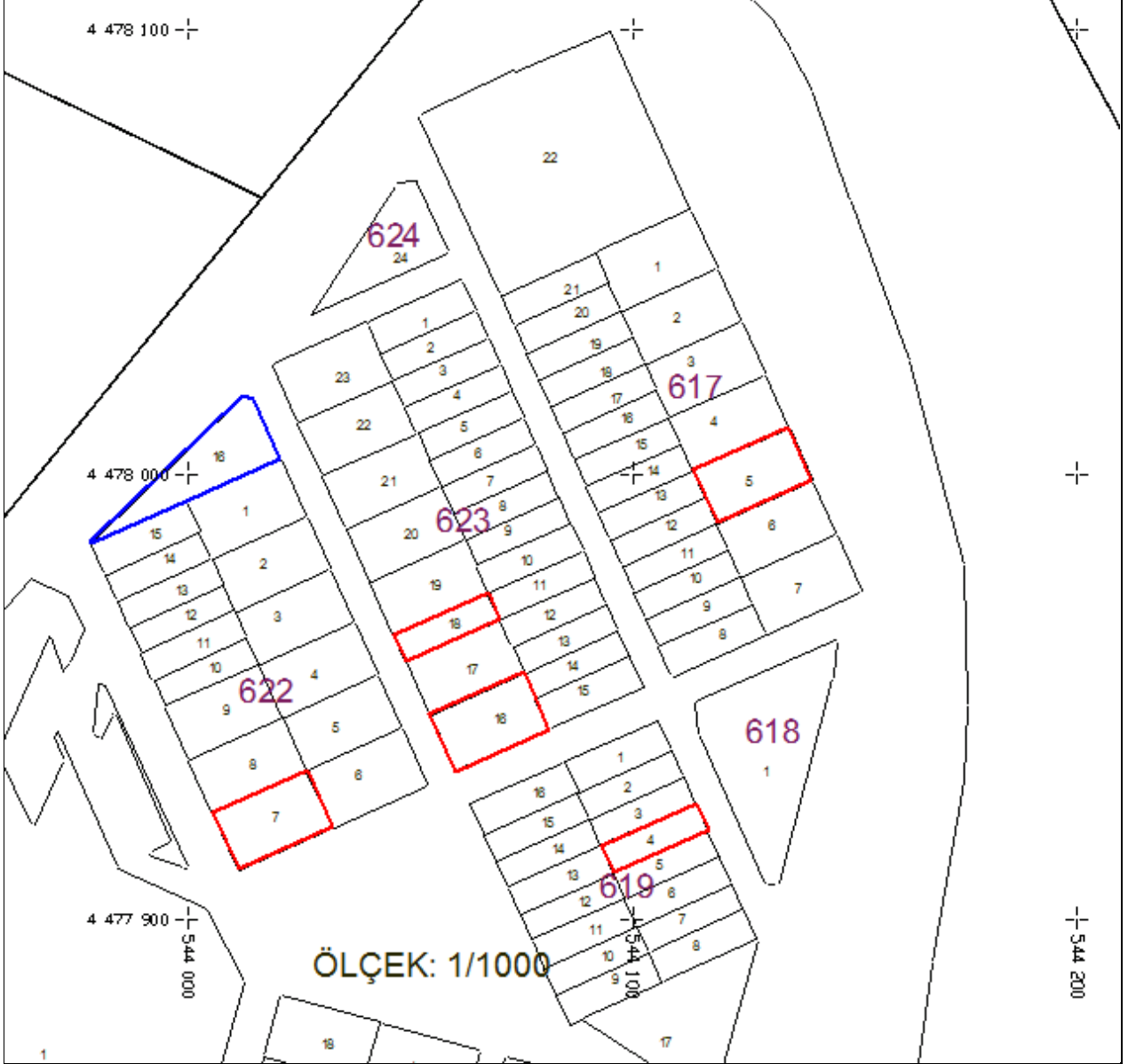
yaratacağı toplam gelirlerin bugünkü karşılığıdır. Gelir yaklaşımı yönteminde düzenli olarak elde edilebilen gelir dikkate alınmaktadır. Aynı zamanda gelir; taşınmazın “t” zamanında elde edileceği varsayılan bütün gelirlerini kapsar ve değer belirleneceği gündeki değere indirgenmesini ifade eder. Başka bir deyişle gelir yaklaşımı yöntemi; aynı zamanda bir kapitalizasyon tekniğini içerir. Hesaplama dikkate alınması gerekli olan net gelirdir. Net gelir hesabı, “*yıllık brüt gelirden yıllık toplam masrafların çıkarılmasıyla bulunur. Bu bağlamda taşınmazın değeri; (3) formülünden yararlanılarak hesaplanır*” (Açlar & Çağdaş, 2008).

$$\text{Değer} = \frac{\text{Yıllık Net Gelir}}{\text{Kapitalizasyon Oranı}} \quad (3)$$

Gelir yaklaşımı yöntemi, yapılaşmasını tamamlamış alanlarda apartmanlar, iş hanları ve dükkânlar gibi kira getiren yapılar için uygun yaklaşım gösterir. Gelir yaklaşımı yönteminin kullanılması için ön koşul, pazara uygun taşınmaz faiz miktarının bilinmesidir (Ertaş, 2000).

Gelir yaklaşımında, gayrimenkulün gelecekte gelir getirme kapasitesi ölçülür. Beklenti ilkesi gelir yaklaşımının temel ögesidir. Gelir getiren gayrimenkulün getirisi ne kadar yüksek ise değeri de o kadar yüksek olmaktadır. Karşılaştırma yöntemi ve maliyet yönteminde olduğu gibi ilgili karşılaştırılabilir veriler olduğunda kullanılabilir. Gelir yönteminde kullanılan temel veriler ve bulunacak kurumlar aşağıdaki

gibidir. Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü'nden tapu ve kadastro verileri, yerel piyasa fiziksel incelemesi ile brüt gelir, piyasada fiziksel inceleme net gelir ve tapu müdürlüğünden son satış fiyatlarının alınması gerekmektedir. Gelir yaklaşımı kullanılarak kiralama işlemlerinde kiranın normal koşullarda olup olmadığı değerlendirilebilmektedir.



Şekil 4. Gümüşhane İli, Merkez, Bağlarbaşı Mahallesi, Sanayi bölgesindeki emsal satışları gösteren 1/1000 ölçekli H43-A-06-A-2-C nolu pafta örneği
Figure 4. 1/1000 scale H43-A-06-A-2-C map sheet sample showing peer transactions on industrial region of Bağlarbasi District, Central County, Gumushane Province.

Tablo 5. Emsal taşınmazlar tablosu**Table 5.** Peer real estates table

Veri	Niteliği	Alan(m ²)	Katı	Kira(₺/yıl)	Birim kira değeri ₺/(m ²)
Emsal 11	Konut/Daire	150	2.KAT	10.500.00	70.00
Emsal 12	Konut/Daire	180	3.KAT	14.400.00	80.00
Emsal 13	Konut/Daire	125	5.KAT	10.200.00	81.60
Emsal 14	Ticaret/Ofis	120	1.KAT	24.000.00	200.00
Emsal 15	Konut/Daire	145	4.KAT	12.000.00	82.76
Konu daire	Konut/Daire	160	5.KAT	?	

Emsal veriler irdelendiğinde kira değeri bulunacak taşınmazın daire olduğu görülmektedir. Dolayısıyla emsal 14'ün ofis olması ve ticari bir faaliyet içermesi nedeniyle hesaplamada kullanılmaması gerekir. Geriye kalan konut kullanımlı kira bedellerinin ortalama kira değeri 78.59 ₺/m² olmaktadır. Dolayısıyla gelir yaklaşımı yöntemi ile kira bedeli bilinmeyen dairenin yıllık kirası 160*78.59= 12.574.40(₺/YIL) olmaktadır. Yıllık kiraya ek olarak konu daire değerinin

bulunması; yakın zamanda satılmış olan emsal dairelerin satış fiyatları ve kira gelirlerinin oranlanması ile bulunan brüt kira gelir çarpanının bulunması (4) formülü ile bulunmaktadır. Aylık brüt gelir ile brüt kira gelir çarpanının çarpılması sonucunda daire değeri hesaplanabilmektedir. Emsal alınan dairelerin satış değerleri bilinmediğinden Tablo 5'teki örneğimizde dairenin kira değerine ulaşılabilmektedir.

Daire Değeri= Aylık Brüt Gelir * Brüt Kira Gelir Çarpanı

$$\text{Brüt Kira Gelir Çarpanı} = \frac{\text{Emsal Taşınmaz Satış Fiyatı}}{\text{Aylık Kira}} \quad (4)$$

3.3. Maliyet yaklaşımı yöntemi

3.3. Cost approach method

Maliyet yöntemi, bir yapının yeniden üretilmesi bedeline dayanmaktadır. Yöntem, yüklenici yöntemi olarak da bilinmektedir. Bu yöntem fabrika, otel, işhanı, sanayi sitesi, konut, idari yapılar vb. üzerinde yapı bulunan kira geliri bilinmeyen gayrimenkullerin değerlendirilmesinde kullanılır. Maliyet yaklaşımı yöntemi; belirli bir gayrimenkulün satın alınması yerine kişinin ya o gayrimenkulün birebir aynısını ya da aynı yararı

sağlayacak başka bir gayrimenkulü inşa edebileceği olasılığını dikkate alır (Öztürk vd., 2011). 1319 sayılı Emlak Vergisi Kanunu ve 2942 sayılı Kamulaştırma Kanunu yapıllı gayrimenkullere değer belirlenmesini öngörmektedir. Maliyet yaklaşımı yöntemi, yeni veya çok az yıpranmış inşaatların değerlendirilmesinde kullanılır. Maliyet yaklaşımı yöntemi, özellikle yapı değerlerinin ayrı ayrı belirlendiği sigortacılık uygulamalarında oldukça kullanışlıdır. Piyasa değeri (5) eşitliği kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$\text{Piyasa Değeri} = [(\text{İnşaat Maliyeti} + \text{Girişimci Karı} - \text{Amortisman}) + \text{Arsa Değeri}] \quad (5)$$

Maliyet yaklaşımının kullanım alanları aşağıdaki gibidir.

- Piyasa koşullarında alım-satım sık yapılmayan gayrimenkullerin değerlendirilmesinde,
- Taşınmazlara ait karşılaştırılabilir satış bilgisi olmadığında,
- Özel kullanımı olan yapılarda,
- Taşınmazın gelir getiren bir mülk cinsi olmadığında,
- Alışılacağı dışında bir mülk olduğunda veya çok yavaş bir pazar söz konusu olduğunda,
- Yarım kalmış veya proje aşamasındaki projelerin değerlendirilmesinde,

- Taşınmazda eklentiler ve yenilemeler söz konusu olduğunda,
- Gayrimenkulün arsa ve yapısının ayrı ayrı değerlendirilmesi gerekli durumlarda,
- Değerlemeye esas emsal satış bilgilerinin yetersiz olması durumlarında,

Karşılaştırmalı satış analizi yönteminde bazı kalemlerin parasal düzeltmelerinde maliyet yaklaşımı yöntemini kullanmak uygun düşmektedir (Rehber, 2008; Gümüş vd., 2017). Yapının yeni olarak üretim maliyeti; değerlendirilme tarihinde mümkün olduğunca aynı malzeme, inşaat standartları, tasarımlar, vaziyet planı ve işçilik kalitesini kullanarak, değerlemeye konu olan

binanın bütün kusurlarını, yetersizliklerini ve yıpranma paylarını muhafaza ederek, değerlemesi yapılan yapının aynısını yeni inşa etmenin maliyeti olarak tanımlanmaktadır. Yeniden üretme veya inşa etme maliyeti; aynı tasarım, aynı inşaat malzemeleri ve işçilik kalitesi ile orijinal yapının aynısının üretilmesi maliyettir. Maliyet yaklaşımı

Piyasa Değeri=[(Yeni Yapı Değeri-Amortisman)+Arsa Değeri]

(6)

(6) formülü kullanılarak işlem yapıldığında; Piyasa Değeri= 250.000-30.000+150,000=370.000.00₺ olarak bulunmaktadır.

4. Tartışma ve sonuçlar

4. Discussion and conclusions

Gayrimenkul değerlendirme yapılarak, gayrimenkul projesinin veya gayrimenkule bağlı hak ve faydaların belli bir tarihteki muhtemel değerinin bağımsız ve tarafsız olarak takdir edilmesi objektif ölçütler kullanılarak yapılabilmektedir. Gayrimenkul değerlemesinde önemli olan uygun bir taşınmaz değerlendirme yöntemini seçmektir. Yapılan değerlendirme işlemlerinde gerçek değere ulaşmak hemen hemen imkansızdır. Yapılan çalışmalar gerçek değere en çok yaklaşımı bulma şeklindedir. Bu yöntemler bazen satın alma işleminde kullanılırken, bazen de taşınmazın kira gelirinin belirlenmesinde, ipotekli kredi kullanım limitinin belirlenmesi için de kullanılabilir. Diğer yandan eldeki taşınmazın konut veya farklı şekilde değerlendirme veya satılacak taşınmaz hakkında genel bir bilgi veren yöntemlerdir. Bu çalışmada; karşılaştırma yöntemi, gelir yaklaşımı yöntemi ve maliyet yaklaşımı yöntemi ele alınarak örnekler verilmiştir. Karşılaştırma yönteminde konut ve sanayi bölgesinde bulunan gayrimenkullere değerlendirme örnekleri verilmiştir. Taşınmazların değerinin güncel belirlenmesi sonucunda devletin vergi geliri artacaktır. Gayrimenkul değerlerinin bilinmesi vergi adaletinin sağlanmasına katkı sağlayacaktır. Taşınmazların değerinin belirlenmesinde parsel öznelikleri bilgisi ve bölgede oluşan değer bilgilerine ihtiyaç bulunmaktadır. Değerleme için verilerin toplanması halinde il, ilçe, mahalle, mevkii bazında değer haritalarının üretilmesi mümkün hale gelecektir. Değer haritalarının oluşturulması halinde kamulaştırma yapacak ve değere ihtiyacı olan kurum ve kuruluşların bütçe giderleri gerçekçi belirlenebilecektir. Yapılan çalışmada Samsun İli, Atakum İlçesi, Büyükkolpınar Mahallesi ve Gümüşhane İli, Merkez, Bağlarbaşı Mahallesi konut ve sanayi alanlarında değerlendirme çalışması yapılarak satış değeri verileri elde edilmiştir. Kentteki konut

yöntemi, teorik olarak yeniden inşa etme maliyetini esas almaktadır. Örnek olarak; değeri 150.000.00 ₺ olan bir arsa üzerindeki 10 yaşındaki binanın yeniden yapıma maliyeti 250.000.00₺'dir. 6-10 yaş arası binalarda yıpranma oranı %12 olduğuna göre mülkün piyasa değerini (6) formülü ile bulabiliriz.

alanına isabet eden arsalar ile sanayi alanı tanımlı arsaların değerlerinin değerlendirme birimleri (alan/hacim) açısından farklı olduğu tartışılmıştır.

Teşekkür

Acknowledgement

Yazar, makalenin inceleme ve değerlendirme aşamasında yapmış oldukları katkılardan dolayı editör ve hakemlere teşekkür eder.

Yazar katkısı

Author contribution

Bu çalışmanın tasarım, hesaplamalar ve makale yazımı Kemal ÇELİK tarafından gerçekleştirilmiştir.

Etik beyanı

Declaration of ethical code

Bu makalenin yazarı, bu çalışmada kullanılan materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve / veya yasal-özel izin gerektirmediğini beyan etmektedir.

Çıkar çatışması beyanı

Conflicts of interest

Yazar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir.

Kaynaklar

References

- Açlar, A. & Çağdaş, V. (2008). SPK ve kamulaştırma değerlendiricileri mühendis, mimar ve uzmanlar için taşınmaz (gayrimenkul) değerlendirme, *TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası*, ISBN: 978-9944-89-558-3, 113-124, Ankara.
- Akkaynak, B. (2017). Gayrimenkul değerlendirme ve gayrimenkul değerlendirme üzerine bir uygulama, *Sosyal Bilimler Dergisi / The Journal of Social Science*, 18, (18), 695-717. <https://doi.org/10.16990/SOBIDER.3898>
- Bal, H. (2018). Gayrimenkul değerlendirme esasları, *SPK Lisanslama Sınavlarına Hazırlık*, ISBN: 978-

- 605-84350-2-5, Özdoğan Matbaa Yayın ve Hed. Eşya San. Tic. Ltd. Şti, Ankara
- Bakanlar Kurulu Kararı, (1983). *T.C. Resmî Gazete*, (17984, 11/03/1983)
- Bin, O. (2004). A prediction comparison of housing sales prices by parametric versus semi-parametric regressions, *Journal of Housing Economics*, 13, (1), 68-84, <https://doi.org/10.1016/j.jhe.2004.01.001>
- Cupal, M. (2016). Price adjustments of price-setting factors under sales comparison approach (SCA), *Global Journal of Business, Economics and Management: Current Issues*, 6, (2), 164-170.
- Cupal, M. (2017). Sales comparison approach indicating heterogeneity of particular type of real estate and corresponding valuation accuracy, *Acta Universitatis Agricolurae et Silviculturae Mendeliana Brunensis*, 65, (3): 977-985, <https://doi.org/10.11118/actaun201765030977>
- Çelik, K. & Aşık, Y. (2004). Emlak vergisi değerinin piyasa koşullarına göre belirlenmesi, *Mülkiyet Dergisi*, Tapu ve Kadastro Müfettişleri Derneği Yayın Organı, Sayı 52, Ankara
- Çoşar, G. Ö. & Engindeniz, S. (2011). Tarım arazilerinin değerlemesinde coğrafi bilgi sisteminden yararlanma olanakları, *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 48(3): 283-290, ISSN 1018 – 8851, İzmir
- Deveci, E. & Yılmaz, İ. (2009) Coğrafi bilgi sistemleri yardımıyla taşınmaz mal değerlemesi: Afyonkarahisar il merkezi örneği, *Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 1(1), (33-47)
- Donald, M. & Jess, B. (1996). Unit selection and the sales comparison approach, *Journal of Property Valuation & Investment*, 14(5), <https://doi.org/10.1108/14635789610154262>
- Emlak Vergisi Kanunu, (1970). Yayımlandığı Düstur; Tertip:5 Cilt:9 Sayfa:2662, *T.C. Resmî Gazete*, (13576, 11/8/1970)
- Ertaş, M. (2000), Kentsel alanlarda taşınmaz mal değerlemesi, *Doktora Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Farkas, A. & Porumb, B. (2020). A multi-attribute sales comparison method for real estate valuation, *Periodica Polytechnica Social and Management Sciences*, 28(1), 1-11. <https://doi.org/10.3311/PPso.13897>
- Gümüş, U. T., Sezer, D. & Ulu, E. (2017). Kentsel alanlarda gayrimenkul değerlemesi ve aydın il merkezinde bölgesel kapitalizasyon oranının belirlenmesi, *Ekonomi ve Yönetim Araştırmaları Dergisi*, 6(1), 134 – 155.
- IVSC (t.y.). We build trust in valuation. <https://www.ivsc.org/>
- Hans, I. (2002). The linear algebra of the sales comparison approach, *Journal of Real Estate Research*, 24(2), 117-128. <https://doi.org/10.1080/10835547.2002.12091090>
- İmar Kanunu, (1985). Yayımlandığı Düstur; Tertip: 5 Cilt: 24 Sayfa: 378, *T.C. Resmî Gazete*, (18749, 9/5/1985),
- Karakuş H. H., Özdemir, T. & Turabi, A. (2011). Kentsel alanlarda gayrimenkul değerlemesi ve Balıkesir il merkezinde bölgesel kapitalizasyon oranlarının belirlenmesi, *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 13(2), 112-119.
- Lisi, G. & Iacobini, M. (2018). Estimating adjustment factors for the sales comparison approach in the presence of heterogeneous housing and thin markets, *Journal Of Real Estate Research*, 40(1), 89-120. <https://doi.org/10.1080/10835547.2018.12091493>
- Lisi, G. (2019). Sales comparison approach, multiple regression analysis and the implicit prices of housing. *Journal of Property Research*, 36(3), 272-290, <https://doi.org/10.1080/09599916.2019.1651755>
- Mekânsal Planlar Yapım Yönetmeliği, (2014). *T.C. Resmi Gazete* (29030, 14 Haziran 2014)
- Mete, M. & Yomralıoğlu, T. (2019). CBS ile nominal taşınmaz değer haritası üretiminde çözünürlük araştırması, *Türkiyede Arazi Yönetimi Dergisi*, 1(1), 16-23, e-ISSN:2687-5187
- Munshifwa, E. K. (2021). An investigation into the use of “Hybrid” adjustment techniques in the application of the sales comparison method in residential valuation, *Real Estate Management and Valuation*, 29(1), 1-11. <https://doi.org/10.2478/remav-2021-0001>
- Öztürk, M. (2017). Gelir getiren emlak değerlemesi, *Journal of Yasar University*, 3(10), 1347-1367.
- Rehber, E. (2008). Tarımsal kıymet takdiri (değerleme) ve bilirkişilik, *Ekin Yayınları*, Bursa.
- RICS (t.y.). About us. <https://www.rics.org/uk/about-rics/>
- MingYou, S. and Chang, C. (2009). Weight regression model from the sales comparison approach, *Property Management*, 27(5), 302-318. <https://doi.org/10.1108/02637470910998465>
- Taygır, T. & Hacıköylü, C. (2018). Arsa ve arazilere yönelik mali yükümlülükler çerçevesinde kentsel rantların vergilendirilmesi, *Eskişehir Osmangazi*

Üniversitesi İİBF Dergisi, 13(2), 77–100.
<https://doi.org/10.17153/oguiibf.339176>

Property Investment & Finance, 35(1), 101-110.
<https://doi.org/10.1108/JPIF-09-2016-0074>

TEGOVA (t.y.). Setting standards for European valuers.
<https://www.tegova.org/>

Vergi Usul Kanunu, (1961). Yayımlandığı Düstur; Tertip: 4 Cilt: 1 Sayfa: 1037. Kanun Numarası: 213, Kabul Tarihi: 4/1/1961, *T.C. Resmi Gazete* (10703, 10/1/1961)

Toprak Koruma ve Arazi Kullanımı Kanununu, (2005). Yayımlandığı Düstur; Tertip: 5 Cilt: 14 Sayfa: 9515. Kanun Numarası: 5403, *T.C. Resmi Gazete* (25880, 19/7/2005)

Yıldız, N. (2000). Kamulaştırma tekniği, Türk Mühendis Mimarlar Odaları Birliği, *Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası*, Ankara.

Uluslararası Değerleme Standartları (2017). Uluslararası Değerleme Standartları Konseyi (IVSC).

Yomralıoğlu, T., Nişancı, R., Çete, M. & Candaş, E. (2011). Dünya’da arazi yönetimi, *Türkiye’de Sürdürülebilir Arazi Yönetimi Çalıştayı*, 26-27 Mayıs 2011, Okan Üniversitesi, İstanbul.

Vuuren, D. J. (2017). Modified sales comparison method: valuing under (un)certainty, *Journal of*

Ağın (Elâzığ) çevresinde Alt Miyosen yaşlı kırıntılı ve karbonatlı birimlerden beslenen yeraltı sularının hidrojeokimyasal karakteristikleri

The hydrogeochemical characteristics of groundwaters recharging from the Lower Miocene clastic and carbonate units around Ağın (Elâzığ)

Özlem ÖZTEKİN OKAN^{*1,a}, Özgür CANPOLAT^{2,b}

¹Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 23119, Elâzığ

²Fırat Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Su Ürünleri Temel Bilimleri Bölümü, 23119, Elâzığ

• Geliş tarihi / Received: 01.10.2021

• Düzeltilecek geliş tarihi / Received in revised form: 03.12.2021

• Kabul tarihi / Accepted: 12.12.2021

Öz

Bu çalışmada, Keban Baraj Gölü beslenme havzası içerisindeki Ağın ilçesi yeraltı sularının hidrojeokimyasal karakteristikleri incelenmiştir. Çalışma kapsamında sulardaki majör anyon, katyon ve bazı potansiyel toksik elementlerin kökenleri ortaya konmuş, sular Türkiye ve Dünya'daki içme suyu standartları ile karşılaştırılmıştır. İncelenen yeraltı suları yağışlı ve kurak dönem olmak üzere iki dönemde örneklenmiştir. Örneklemesi yapılan sular Alibonca Formasyonu'na ait tabakalı kireçtaşlarından beslenmekte olup Ca-HCO₃ ve Ca-Mg-HCO₃ tipindedir. Suların sıcaklık, pH, EC değerleri ile Cl⁻ ve SO₄²⁻ içeriklerinde dönemsel farklılıklar belirlenmiştir. Su örnekleri genel olarak majör anyon, katyon, Al, Cr, Cu, Fe, Mn, Pb, Zn, Ni içerikleri bakımından içme amaçlı kullanıma uygundur. Sahile yakın bir noktada açılmış olan sondaj kuyusunda, yağışlı dönemde, Al (612.00 ppb), Fe (569.00 ppb) ve Mn (52.1 ppb) içerikleri içme suyu standartlarının üst sınır değerlerinin üzerinde çıkmakla birlikte Cu, Cr ve Zn içerikleri de diğer sulara göre daha yüksektir. Genel olarak incelenen suların majör anyon, katyon, potansiyel toksik element içeriklerini kontrol eden temel faktörün yeraltı suyu-kayaç etkileşimi olduğu ortaya konmuştur. Bunun yanında suların hidrojeokimyasal özelliklerinin besi ahırları, tarımsal gübre kullanımı gibi antropojenik faktörlerden de etkilendiği belirlenmiştir. Ayrıca, özellikle yağışlı dönemde sondaj kuyusunda belirlenen yüksek potansiyel toksik element içerikleri, Keban Baraj Gölü'nden tatlı su akiferine doğru bir girişimin olabileceğini düşündürmektedir.

Anahtar kelimeler: Ağın, Hidrojeokimya, Keban Baraj Gölü, Potansiyel toksik element, Yeraltı suyu- kayaç etkileşimi

Abstract

Ağın district is presented within the recharge basin of Keban Dam Lake. The hydrogeochemical characteristics of groundwaters of Ağın district were investigated in this study. Within the scope of the study, the origins of major anions, cations, some potentially toxic elements in groundwaters were investigated, and the hydrogeochemical features of groundwaters were compared and evaluated with the drinking water standards in Turkey and the world. The groundwaters were sampled in the rainy and the dry seasons. The aquifer formation of the groundwaters is stratified limestones of Alibonca formation and groundwaters are grouped as Ca-HCO₃ and Ca-Mg-HCO₃ type waters. Seasonal changes were determined in the temperature, pH, EC values, Cl⁻ and SO₄²⁻ contents of the groundwaters. The groundwaters are generally suitable for drinking purposes in terms of major anion, cation, Al, Cr, Cu, Fe, Mn, Pb, Zn, Ni contents. However, the groundwater of the borehole drilled close to the Keban Dam lake beach is not suitable for drinking in terms of Al (612.00 ppb), Fe (569.00 ppb) and Mn (52.1 ppb) concentrations, which are determined above the maximum limit values of drinking water standards during the rainy season. Furthermore, Cu, Cr and Zn concentrations in this borehole' groundwater are higher compare to others during the rainy season. In general, groundwater-rock interaction is the the main factor controlling the major anion, cation, and potentially toxic element contents of the studied groundwaters. In addition, the hydrogeochemical properties of the groundwaters are also affected by anthropogenic factors such as livestock barns and the use of agricultural fertilizers. High concentrations of potentially toxic element contents determined in the borehole, especially during the rainy season, could suggest that there may be lake water intrusion from Keban Dam into the freshwater aquifer.

Keywords: Ağın, Hydrogeochemistry, Keban Dam Lake, Potentially toxic element, Groundwater-rock interaction

*a Özlem ÖZTEKİN OKAN; ooztekin@firat.edu.tr, Tel: (0424) 237 00 00, orcid.org/0000-0003-2934-2170

^b orcid.org/0000-0001-7498-600X

1. Giriş

1. Introduction

Son yıllarda Dünya genelinde hızla artan nüfusa paralel olarak su kaynaklarının da içme- kullanım amaçlı tüketimi de artmıştır. Küresel iklim değişikliğinin sonuçlarından biri olan kuraklık en fazla su kaynaklarını etkilemektedir. Bu değişimine bağlı olarak Türkiye’de yaz aylarında ortalama sıcaklıklarda artış gözlenirken, kış mevsimi ortalama yağışları azalmıştır (T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, 2016). Artan kuraklık ve buna bağlı yaşanan yüzey sularının kaybı su kaynaklarının varlığını doğrudan tehdit etmektedir (Çapar, 2019). Bu nedenle Dünya genelinde olduğu gibi ülkemizde de su kaynaklarının doğru yönetimi, su kaynaklarının kalitesini koruyarak devamlılığını sağlamak oldukça önem kazanmıştır. Mevcuttaki su kaynaklarının içme ve kullanmaya uygunluklarını belirlemek ve su kaynaklarının kalitesinin korunmasına yönelik pek çok hidrojeokimya çalışmaları yapılmıştır (Göçmez vd., 2007; Sipahi & Uslu, 2016, Tahmasebzadeh Bastam & Gültekin, 2017; Aksever, 2019; Semiz vd., 2021). Yapılan çalışmalarda kireçtaşı akiferlerinden beslenen sığ dolaşımli yeraltı sularının hidrojeokimyasal evriminin esas olarak

karbonatların, jips ve halit minerallerinin çözünmesi/çökeltmesi ve katyon değişimi gibi faaliyetler tarafından kontrol edildiği belirtilmektedir (Şener & Güneş, 2015; Abdelshafy vd., 2019; Perez-Ceballos vd., 2021). Yapılan çalışmalarda yüzey ve yeraltı suyu kalitesini bozan temel etkenlerin antropojenik kökenli oldukları, bunun yanı sıra Mn, Ni, Cr, Fe, Cu, Al gibi çeşitli metallerin jeolojik kökenli olduğu belirtilmiştir (Hussien & Faiyad, 2016; Yuan vd., 2017; Davraz ve Batur, 2021).

Ülkemizin en önemli su kaynaklarından olan ve çalışma alanı içerisinde bulunan Keban Baraj Gölü (Elâzığ), başlıca kentsel, endüstriyel ve tarımsal nedenlerle olmak üzere ciddi bir kirlenme tehlikesiyle karşı karşıyadır. Bu çalışma ile, Keban Baraj Gölü beslenme havzası içerisinde bulunan, kırıntılı ve karbonatlı kayalardan beslenen yeraltı sularının majör ve potansiyel toksik element hidrojeokimyası ile, iyonların kökenleri incelenmiş ve içme amaçlı tüketim açısından çeşitli standartlarla karşılaştırılmıştır. Çalışma alanı Elâzığ il merkezinin 77 km kuzeybatısında bulunmaktadır (Şekil 1). İlçenin en önemli gelir kaynağını tarım oluştururken daha az oranda da hayvancılık yapılmaktadır.



Şekil 1. Çalışma alanının yer bulduru haritası
Figure 1. Location map of study area

2. Materyal ve yöntem

2. Material and method

Çalışma kapsamında örneklenen 9 adet su örneğinin koordinatları GPS yardımıyla

belirlenmiştir (Tablo 1). Su örneklemeleri yağışlı dönemi temsil eden Mayıs ve kurak dönemi temsil eden Eylül aylarında yapılmıştır.

Tablo 1. İncelenen yeraltı suyu örnekleme noktalarının koordinat bilgileri
Table 1. Coordinates of groundwater sampling points

Örnek Numarası	Örnek noktası	X değeri	Y değeri	Rakım (m)
AÇ-1	Çeşme	4311334	37S472873	708
AÇ-2	Çeşme	4311294	37S474615	948
AÇ-3	Çeşme	4312698	37S472315	1021
AÇ-4	Çeşme	4313650	37S471278	1067
AÇ-5	Çeşme	4311069	37S472565	1023
AÇ-6	Keson kuyu	4310896	37S472542	1006
AÇ-7	Çeşme	4314111	37S476531	1020
AÇ-8	Çeşme	4313321	37S477210	950
AÇ-9	Sondaj kuyusu	4310288	37S476187	865

Örnekleme esnasında suların sıcaklık, pH, elektriksel iletkenlik parametreleri yerinde YSI marka çoklu parametre ölçüm cihazı ile belirlenmiştir. Klorür (Cl^-), sülfat (SO_4^{2-}), bikarbonat (HCO_3^-), bileşenlerinin analizi için su örnekleri 500 mL'lik polietilen şişelere herhangi bir koruma uygulanmaksızın alınmıştır. Katyon analizi yapılacak örnekler 50 ml'lik polietilen, sızdırmaz kapaklı şişelere; örnekleme sonrası oluşabilecek reaksiyonların engellenmesi açısından derişik yüksek saflıktaki nitrik asit (HNO_3) ile $\text{pH}<2$ olacak şekilde eklenerek alınmıştır. Örnekler, analiz sürecine kadar $+4^\circ\text{C}$ 'de laboratuvar tipi buzdolabında muhafaza edilmiştir. Suların katyon ve potansiyel toksik element analizleri Kanada'da ACME laboratuvarında ICP-MS ile yaptırılmıştır. Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- analizleri Fırat Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Hidrojeoloji laboratuvarında Nova 60 Spektroquant ve DR6000 cihazları ile kitler kullanılarak yapılmıştır. Kayaçların Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MnO analizleri ICP-AES ile ACME laboratuvarında (Kanada) yaptırılmıştır. Yapılan arazi ve laboratuvar çalışmaları sonucunda elde edilen değerler büroda sayısal ortama aktarılmıştır. Sayısallaştırma işleminde bölgenin jeoloji haritası çizilirken Adobe Illustrator CS5 programı, kimyasal analiz sonuçlarının değerlendirilmesinde ise AquaCHEM 3.70 programı kullanılmıştır.

3. Jeoloji ve hidrojeoloji

3. Geology and hydrogeology

İnceleme alanında yaşlıdan gence doğru Permo-Triyas yaşlı Keban Metamorfileri, Alt Miyosen yaşlı Alibonca Formasyonu, Alt Miyosen-Pliyosen yaşlı volkanitler ve bunlarla yanal ve düşey geçişli Üst Miyosen- Pliyosen yaşlı volkanosedimanter özellikte gölsel çökeller yüzeylenmektedir (Şekil 2).

Çalışma alanının temelini Keban Metamorfileri'ne ait kayaçlar oluşturmaktadır. Kipman (1981), Keban Metamorfileri'ni esas yayılımını gösterdiği Keban çevresinde mermerler, rekristalize kireçtaşı-kalksist ve metakonglomera-kalkfillit olmak üzere üç birime ayırıp incelemiştir. Çalışma alanının kuzeyinde yüzeyleme veren Keban Metamorfileri, bu bölgede altere olmuş, ağırlıklı olarak beyaz renkli, sert, masif ve karstik boşluklu rekristalize kireçtaşlarından meydana gelir.

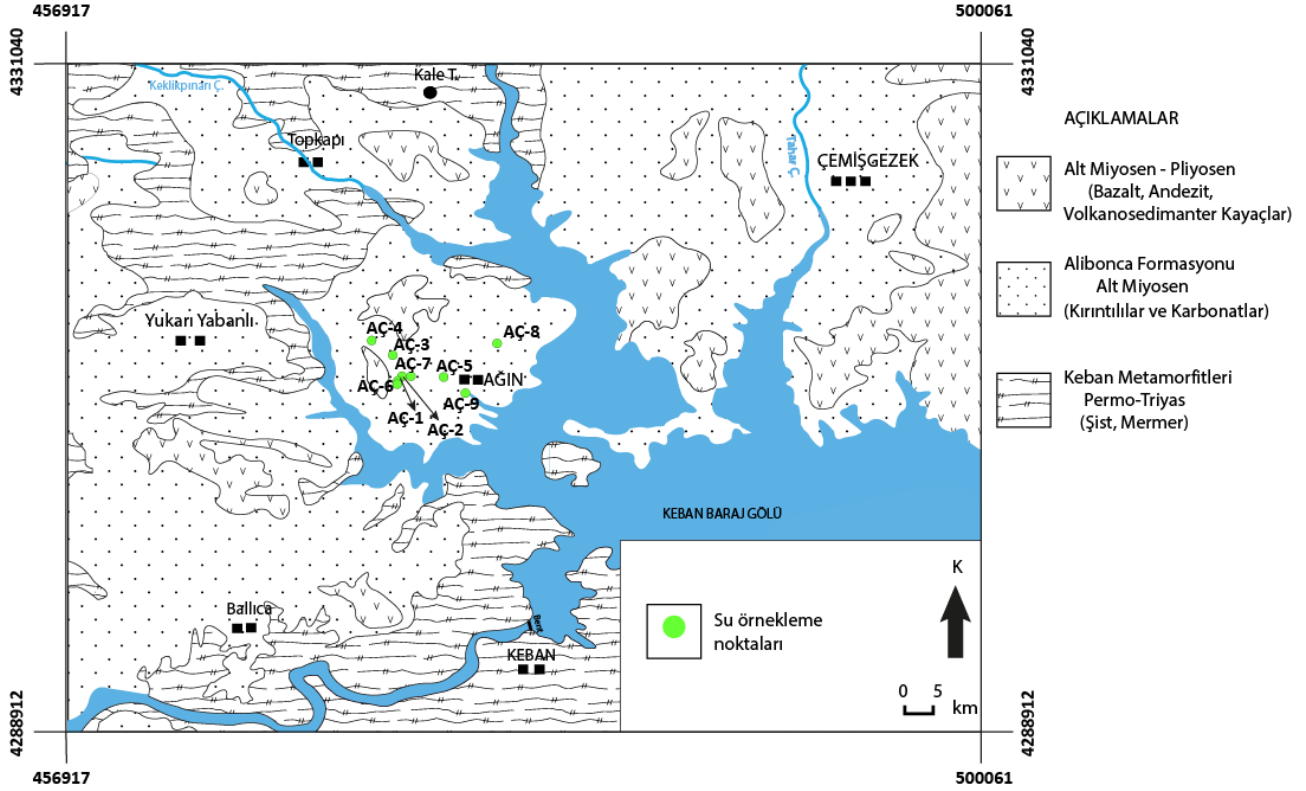
Ağın çevresinde geniş yayılım gösteren ve denizel çökellerden oluşan Alibonca Formasyonu, Keban Metamorfileri'ni açısız uyumsuzlukla örter. Birim genel olarak tabanda kalın tabakalı ve yer yer masif yapıları kireçtaşları ile başlar, üst düzeylerine doğru kumtaşı ara seviyeleri içeren marnlara geçer. Üste doğru tüfit, tüflü marn aralanmalarından oluşur. Alibonca Formasyonu'nun çökeldiği ortam başlangıçta sığ ve hareketli bir ortamı simgelemektedir. Bu ortam giderek derin ve sakin bir ortama dönüşmüş ve bu ortamda türbidik akıntılarla kumtaşı-marn aralanmalı çökeller oluşmuştur (Kürüm vd., 1999).

Ağın kuzey ve batısında yayılım gösteren Alt Miyosen-Pliyosen yaşlı volkanitler ile volkanosedimanter çökelleri Doğu Anadolu Bölgesi'nde geniş yüzeylemeler sunmaktadır. Türkmen ve Aksoy (1998), Arapgir (Malatya), Çemişgezek (Tunceli), Elâzığ dolaylarındaki Neojen birimlerinin stratigrafik-sedimentolojik açıdan incelemiş ve bölgesel korelasyonunu tespit etmişlerdir. İnceleme alanında altta tüflerle başlayıp, tüf-çamurtaşı aralanmasıyla devam eden istif, bazaltik lav akıntıları ve en üstte gölsel çörtlü kireçtaşları ile sona erer.

Çalışma alanında yeraltı suyu taşıyan birimler Keban Metamorfileri'ne ait rekristalize kireçtaşları, Alt Miyosen yaşlı denizel çökellere ait

kireçtaşları, Alt Miyosen- Pliyosen yaşlı kireçtaşları ile çatlaklı bazaltlardır (Çetindağ, 2002; Öztekin Okan ve Çetindağ, 2005; Öztekin Okan vd., 2018). Çalışma kapsamında incelenen

yeraltı sularının akifer birimleri Alibonca Formasyonu'na ait tabakalı kireçtaşlarıdır. Denizel ve gölSEL çökeller içerisinde bulunan marnlı seviyeler geçirimsiz birimleri oluşturmaktadır.



Şekil 2. İnceleme alanının jeoloji ve örnekleme haritası (Akbaş vd., 2011'den sadeleştirilerek alınmıştır)
Figure 2. Geology and sampling maps of the study area (simplified from Akbaş et al., 2011)

4. Bulgular ve tartışma

4. Results and discussion

4.1. Hidrojeokimya

4.1. Hydrogeochemistry

Yeraltı sularının kimyasal bileşimi, suyun dokanakta olduğu kayacın kimyasal bileşimine, dokanak yüzeyi ve süresine, yeraltı suyunun akım hızına, sıcaklığına, ortamın basıncına, iyon etkinliği ve ortak iyon etkinliğine, ortamın pH'na bağlıdır. Yeraltı sularında bulunan başlıca iyonlar Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^+ , K^+ , Cl^- , SO_4^{-2} ve HCO_3^- tir. Yeraltı sularının kimyasal bileşimleri bu suların kullanım

alanlarını ve kullanılabilme özelliklerini belirlemede büyük önem taşır (Yüksel, 2007).

İncelenen suların kimyasal analiz sonuçları Tablo 2'de verilmiştir. Yağışlı dönemde (Mayıs, 2016) incelenen suların sıcaklıkları 13.60 – 15.80°C arasında; pH değerleri 6.92 – 7.64 arasında; elektriksel iletkenlikleri ise 258.80 – 416.00 $\mu S/cm$ arasındadır. Kurak dönemde (Eylül, 2016) ise suların sıcaklıkları 13.80 – 15.60 °C arasında; pH değerleri 7.20-7.84 arasında; elektriksel iletkenlikleri ise 245.70 – 399.70 $\mu S/cm$ arasındadır (Tablo 2).

Tablo 2. İncelenen yeraltı suların kimyasal analiz sonuçları ve içme suyu standartları (yağışlı dönem “M”: Mayıs, 2016; kurak dönem “E”: Eylül, 2016)

Table 2. Chemical analysis' results of investigated groundwaters and drinking water standards (rainy season “M”: May, 2016; dry period “E”: September, 2016)

Örnek no	pH		Sıcaklık		EC		Ca ⁺²		Mg ⁺²	
	M	E	M	E	M	E	M	E	M	E
AÇ-1	6.95	7.20	15.50	13.90	416.00	399.70	90.75	84.72	23.81	22.17
AÇ-2	7.64	7.84	15.80	15.00	258.80	245.70	45.49	45.74	18.08	17.38
AÇ-3	7.30	7.42	13.90	15.50	356.30	355.60	63.68	60.32	28.15	27.03
AÇ-4	7.33	7.27	14.80	15.60	313.00	324.20	68.40	66.97	14.64	15.66
AÇ-5	7.24	7.37	13.70	13.80	324.00	320.80	77.57	77.18	11.82	11.68
AÇ-6	6.96	7.20	13.60	15.30	351.10	355.00	83.47	80.85	14.51	13.56
AÇ-7	7.27	7.48	14.70	15.60	259.90	276.20	67.90	68.51	6.28	6.39
AÇ-8	7.04	7.36	15.10	15.00	330.20	342.70	83.32	82.93	9.97	9.98
AÇ-9	6.92	7.23	14.80	15.40	383.60	383.30	110.55	73.05	31.47	23.89
TSE (2005)	6.5- 9.5		-		2500		200.00		50.00	
WHO (2011)	6.5- 9.5		-		-		-		-	

Tablo 2. (devamı)

Table 2. (continuing)

Örnek no	Na ⁺		K ⁺		Cl ⁻		SO ₄ ⁻²		HCO ₃ ⁻	
	M	E	M	E	M	E	M	E	M	E
AÇ-1	8.24	7.85	1.64	1.42	19.00	4.60	6.00	4.00	367.82	362.16
AÇ-2	3.90	4.25	0.78	0.73	21.00	1.77	3.00	1.00	195.56	227.49
AÇ-3	6.28	6.11	1.58	1.32	25.00	0.91	3.00	9.00	290.56	318.85
AÇ-4	3.88	3.67	0.60	0.54	37.00	0.25	3.00	1.00	218.09	278.30
AÇ-5	4.13	4.33	1.16	1.03	25.00	1.23	3.00	1.00	257.01	291.25
AÇ-6	8.88	9.01	0.48	0.54	17.00	1.96	8.00	4.00	308.32	348.40
AÇ-7	2.49	2.63	0.14	0.18	42.00	1.26	9.00	1.00	159.78	257.64
AÇ-8	4.16	4.24	1.68	1.52	20.00	1.83	2.00	0.80	275.41	301.45
AÇ-9	4.70	4.95	2.10	0.94	14.00	3.24	4.00	3.00	482.65	347.47
TSE (2005)	200.00		12.00		600.00		250.00		-	
WHO (2011)	200.00		-		250.00		250.00		-	

Tablo 2. (devamı)
Table 2. (continuing)

Örnek no	Mn		Ni		Cr		Fe		Al	
	ppb		ppb		ppb		ppb		ppb	
	M	E	M	E	M	E	M	E	M	E
AÇ-1	<0.05	0.06	<0.20	<0.20	<0.50	<0.50	<10.00	<10.00	2.00	3.00
AÇ-2	<0.05	0.86	<0.20	<0.20	<0.50	<0.50	<10.00	<10.00	4.00	2.00
AÇ-3	0.28	<0.05	<0.20	<0.20	<0.50	<0.50	<10.00	<10.00	4.00	<1.00
AÇ-4	1.38	4.35	<0.20	<0.20	<0.50	<0.50	<10.00	11.00	8.00	1.00
AÇ-5	<0.05	<0.05	<0.20	<0.20	<0.50	<0.50	<10.00	<10.00	3.00	<1.00
AÇ-6	0.20	2.14	<0.20	<0.20	<0.50	<0.50	<10.00	<10.00	6.00	<1.00
AÇ-7	0.13	0.32	<0.20	<0.20	<0.50	<0.50	<10.00	<10.00	2.00	2.00
AÇ-8	<0.05	<0.05	<0.20	<0.20	<0.50	<0.50	<10.00	12.00	2.00	<1.00
AÇ-9	52.11	<0.05	1.10	<0.20	17.30	11.30	569.00	11.00	612.00	<1.00
TSE (2005)	50.00		20.00		50.00		200.00		200.00	
WHO (2011)	50.00		70.00		50.00		300.00		200.00	

Tablo 2. (devamı)
Table 2. (continuing)

Örnek no	Cu		Zn		Pb	
	ppb		ppb		ppb	
	M	E	M	E	M	E
AÇ-1	0.50	0.50	<0.50	<0.50	<0.10	<0.10
AÇ-2	0.30	0.20	<0.50	<0.50	<0.10	<0.10
AÇ-3	0.50	0.40	1.00	0.90	<0.10	<0.10
AÇ-4	0.30	0.50	0.50	0.60	<0.10	<0.10
AÇ-5	0.40	0.40	<0.50	<0.50	<0.10	<0.10
AÇ-6	1.20	2.50	6.50	5.20	<0.10	0.20
AÇ-7	0.40	0.40	<0.50	1.80	<0.10	0.20
AÇ-8	0.30	0.20	<0.50	<0.50	<0.10	<0.10
AÇ-9	1.30	0.40	2.10	0.70	4.50	<0.10
TSE (2005)	2000.00		-		10.00	
WHO (2011)	2000.00		-		10.00	

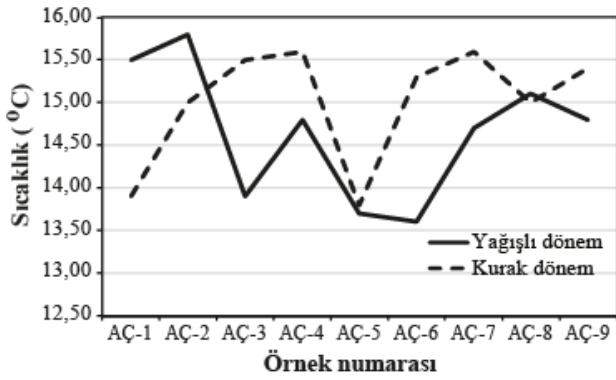
Suların sıcaklık değişimleri dönemsel olarak değerlendirildiğinde, genel olarak sıcaklıkların kurak dönemde arttığı görülmüştür (Şekil 3a).

Yağışlı dönemde yeraltı sularına yağışlar nedeniyle su ilavesi olduğundan mevcut suların sıcaklığı düşmektedir. Genel olarak incelenen suların elektriksel iletkenlikleri (EC) yağışlı dönemde daha düşüktür (Şekil 3b). Yağışlı dönemde suyun elektriksel iletkenliğinin düşük olması, yağıştan beslenmeye bağlı olarak yüksek hidrolik eğim ve hızlı akışla ilişkilidir. Yağış suyunun hızlı hareketi süresince su-kayaç etkileşimi daha

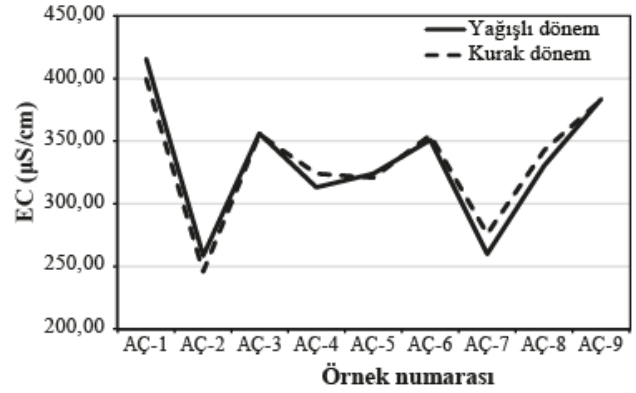
düşük olmaktadır. Yağışların beslenme üzerindeki etkisinin azaldığı kurak dönemde yeraltı suyu akım hızının yavaşlamasına, su-kayaç etkileşim süresinin artmasına neden olmaktadır. Su-kayaç etkileşiminin artması suyun elektriksel iletkenliğini arttırmaktadır. Yağışlı dönemde ölçülen daha düşük pH değerinin, akiferi besleyen yağış sularının pH'ının düşük olması ya da suyun dolaşım ortamında artan CO₂ ile ilişkili olduğu düşünülmektedir (Şekil 3c) (Güler vd., 2017). Suyun CO₂ 'ce zenginleşmesi yüzeye yakın kesimlerde, toprak seviyesinde oldukça

etkindir. Yüzeğe yakın bölgede, organik maddelerin mikroorganizmalar yardımıyla oksidasyon süreci boyunca ve bitki köklerinin solunumu ile CO₂ oluşmaktadır (Milanovic, 1981). Karbonatların çözünürlüğü ortamdaki

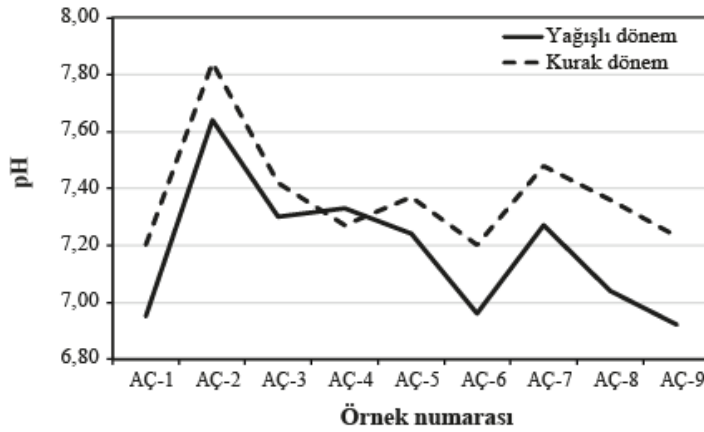
CO₂ miktarı ve suyun pH'ı ile kontrol edilmektedir. Ortamdaki CO₂ miktarı arttıkça ve pH azaldıkça karbonatların çözünürlüğü artar.



(a)



(b)



(c)

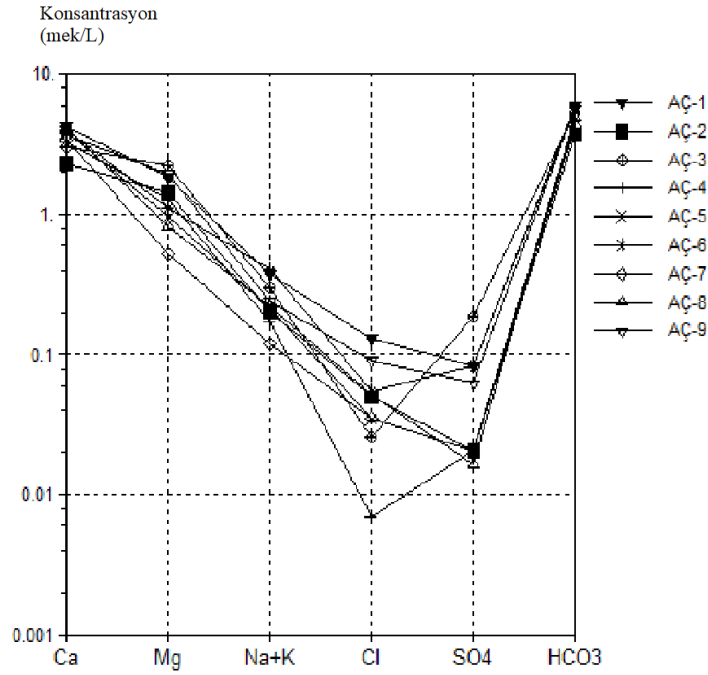
Şekil 3. Suların a) Sıcaklık, b) EC, c) pH değerlerinin dönemsel değişimleri

Figure 3. Seasonal changes of a) temperature, b) EC, c) pH values of groundwaters

Su örneklerinin kurak dönem (Eylül, 2016) kimyasal analiz sonuçlarına göre Schoeller diyagramı çizilmiş ve incelenen suların iyonlarını birleştiren doğruların birbirlerine paralel ya da paralele yakın olduğu, dolayısıyla bu suların benzer litolojideki akiferlerden beslendiği ortaya konmuştur (Şekil 4).

İncelenen suların tipleri Tablo 3'te verilmiştir. Yağışlı ve kurak dönemde AÇ-1, AÇ-2, AÇ-3 ve AÇ-9 numaralı su örnekleri Ca- Mg-HCO₃'lı su, AÇ-5 ve AÇ-8 numaralı su

örnekleri ise Ca- HCO₃'lı su tipindedir. AÇ-4, AÇ-6, AÇ-7 numaralı su örneklerinin tipleri ise dönemsel farklılıklar göstermektedir. AÇ-4 ve AÇ-7 numaralı su örneklerinde yağışlı dönemde Cl⁻ içeriğinin yüksek olması bu suların sığ yeraltı suyu dolaşımına sahip ve güncel yağışlardan etkilendiklerini işaret etmektedir. AÇ-6 numaralı su örneğinde ise yağışlı dönemde artan Mg⁺² içeriği, bu dönemde yeraltı suyunun düşük pH değerine bağlı olarak karbonatlar içerisindeki dolomitin çözünürlüğünün artması ile ilişkili olmalıdır.



Şekil 4. İncelenen suların Eylül (2016) ayı kimyasal analiz sonuçlarının Schoeller diyagramında gösterilmesi

Figure 4. Schoeller diagram of investigated groundwaters (September, 2016)

Tablo 3. İncelenen suların tipleri

Table 3. Water types of investigated groundwaters

Örnek No	Su tipi (Kurak dönem)	Su tipi (Yağışlı dönem)
AÇ-1	Ca-Mg-HCO ₃	Ca-Mg-HCO ₃
AÇ-2	Ca-Mg-HCO ₃	Ca-Mg-HCO ₃
AÇ-3	Ca-Mg-HCO ₃	Ca-Mg-HCO ₃
AÇ-4	Ca-Mg-HCO ₃	Ca-Mg-HCO ₃ -Cl
AÇ-5	Ca- HCO ₃	Ca- HCO ₃
AÇ-6	Ca- HCO ₃	Ca-Mg-HCO ₃
AÇ-7	Ca- HCO ₃	Ca- HCO ₃ - Cl
AÇ-8	Ca- HCO ₃	Ca- HCO ₃
AÇ-9	Ca-Mg-HCO ₃	Ca-Mg-HCO ₃

İncelenen suların içme amaçlı kullanımına uygunluğunu belirlemek amacıyla, kimyasal bileşimleri Türk Standartları Enstitüsü (TSE) (2005) ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO) (2011) Yönetmeliği standartlarında belirlenen maksimum limit değerleri ile karşılaştırılmıştır. İncelenen suların genel olarak pH, EC, majör anyon, katyon, potansiyel toksik element içeriklerinin içme suyu standartlarına uygun olduğu belirlenirken, sadece AÇ-9 numaralı örneğin Mn, Fe ve Al konsantrasyonlarının yağışlı dönemde içme suyu standartlarının üst sınır

değerlerinin üzerinde olduğu belirlenmiştir (Tablo 2).

4.2. Majör anyon ve katyonlar

4.2. Major anions and cations

İncelenen suların, yağışlı dönemde, Ca⁺² iyon içerikleri 45.49- 110.55 mg/l; Mg⁺² iyon içerikleri 6.28- 31.47 mg/l; Na⁺ iyon içerikleri 2.49- 8.88 mg/l; K⁺ iyon içerikleri 0.14- 2.10 mg/l; Cl⁻ iyon içerikleri 14.00 – 42.00 mg/l; SO₄⁻² iyon içerikleri 2.00- 9.00 mg/l; HCO₃⁻ iyon içerikleri ise 159.78- 482.65 mg/l arasında değişmektedir. Kurak dönemde ise suların Ca⁺² iyon içerikleri 45.74- 84.72 mg/l arasında; Mg⁺² iyon içerikleri 6.39- 27.03 mg/l arasında; Na⁺ iyon içerikleri 2.63- 9.01 mg/l arasında; K⁺ iyon içerikleri 0.18- 1.52 mg/l arasında; Cl⁻ iyon içerikleri 0.25- 4.60 mg/l arasında; SO₄⁻² iyon içerikleri 0.80- 9.00 mg/l arasında; HCO₃⁻ iyon içerikleri 227.49- 362.16 mg/l arasındadır (Tablo 2).

Genel olarak incelenen suların Ca⁺², Mg⁺² ve Na⁺ içeriklerinde belirgin dönemsel değişimler gözlenmezken, K⁺, Cl⁻ ve SO₄⁻² içeriklerinin yağışlı dönemde, HCO₃⁻ içeriklerinin ise kurak dönemde yüksek olduğu belirlenmiştir (Şekil 5). Sularda K⁺, Cl⁻ ve SO₄⁻² iyonlarının yağışlı dönemde daha yüksek olması bu iyonların kökenlerinin yağışlarla ilişkili olduğunu (özellikle Cl⁻) ve yağışlı dönemde düşük pH değerleri ile ilişkili artan su- kayaç çözünmesine bağlıdır.

İncelenen sularda Ca^{+2} iyonunun kökenini, bölgede yüzeyleme veren kireçtaşlarının çözünmesi ile volkanik kayalarındaki anortit, piroksen ve amfibol gibi silikat minerallerinin bünyesinde bulunan Ca^{+2} iyonunun çözünmesi oluşturmaktadır. Sularda bulunan Mg^{+2} iyonunun kökenini Üst Miyosen-Pliyosen yaşlı volkanik kayalar içerisinde bulunan olivin, biyotit, horblend gibi magnezyum bileşenli minerallerin çözünmesi ve Alibonca Formasyonu'na ait sedimanter birimler içerisinde bulunan dolomitin çözünmesi oluşturmaktadır (Şener & Güneş, 2015). K^+ , çalışma alanında yüzeyleyen volkanik kayaların bünyesinde bulunan mika ve feldspat minerallerinin çözünmesiyle yeraltı sularına geçmiştir. İncelenen sularda Na^+ 'nın kaynağı, bölgede bulunan volkanik kayalar içerisindeki Na^+ lu feldspatların çözünmesiyle ilişkidir. Ayrıca, Alibonca Formasyonu'na ait denizel çökeller içerisindeki tuzlu seviyelerin çözünmesi de yeraltı sularında bu iyonun kökenini oluşturmaktadır. Sularda kurak dönemi temsil eden Ekim ayında artan HCO_3^- iyonu yeraltı sularına bölgede yüzeyleme veren kireçtaşlarının CO_2 'li sular tarafından çözünmesi ve silikat minerallerinin hidrolizi sonucu geçmiştir. İncelenen sularda SO_4^{2-} iyonunun kaynağı, pirit (FeS_2) mineralinin oksidasyonu ile oluşan $FeSO_4$, göl ve deniz sedimanları içerisinde bulunan jips ve anhidrit minerallerinin çözünmesi ve yağmur suları olduğu düşünülmektedir. Sularda Cl^- iyonunun kaynağı ise yağış suları ile denizel sedimanlar içerisindeki tuzlu seviyelerin çözünmesi oluşturmaktadır (Öztekin Okan & Güven, 2019).

HCO_3^- içerikleri kurak dönemde yağışlı döneme oranla biraz daha yüksektir. Kurak dönemde, artan su- kayaç etkileşim süresine bağlı olarak karbonatların çözünmesindeki artış ayrıca, silikatların (olivin, piroksen, plajiyoklaz, alkali feldspat gibi) hidrolizi HCO_3^- artışında etkindir (Kimball, 1981; Kebede vd., 2005).

Sülfatın yeraltı sularındaki kökeni i) doğal ve yapay sülfat içeren yağışlar, ii) sülfat içeren evaporitlerin çözünmesi, iii) deniz suyu girişimi, iv) antropojenik kirleticiler (örn. Evsel atıklar, deterjan ve tarımsal gübreler) ile ilişkilidir (Han vd., 2016; Kim & Park, 2016; Salem & El-Bayomy, 2016). Diğer su örneklerinden farklı olarak AÇ-3 nolu su örneğinde kurak dönemde analiz edilen yüksek SO_4^{2-} içeriğinin kökeninde yağış suları ve su-kayaç etkileşiminin yanında, bu örnekleme noktasının yakınında bulunan hayvan besi ahırlarının ayrıca tarımsal gübrelerin de etkili olduğu söylenebilir.

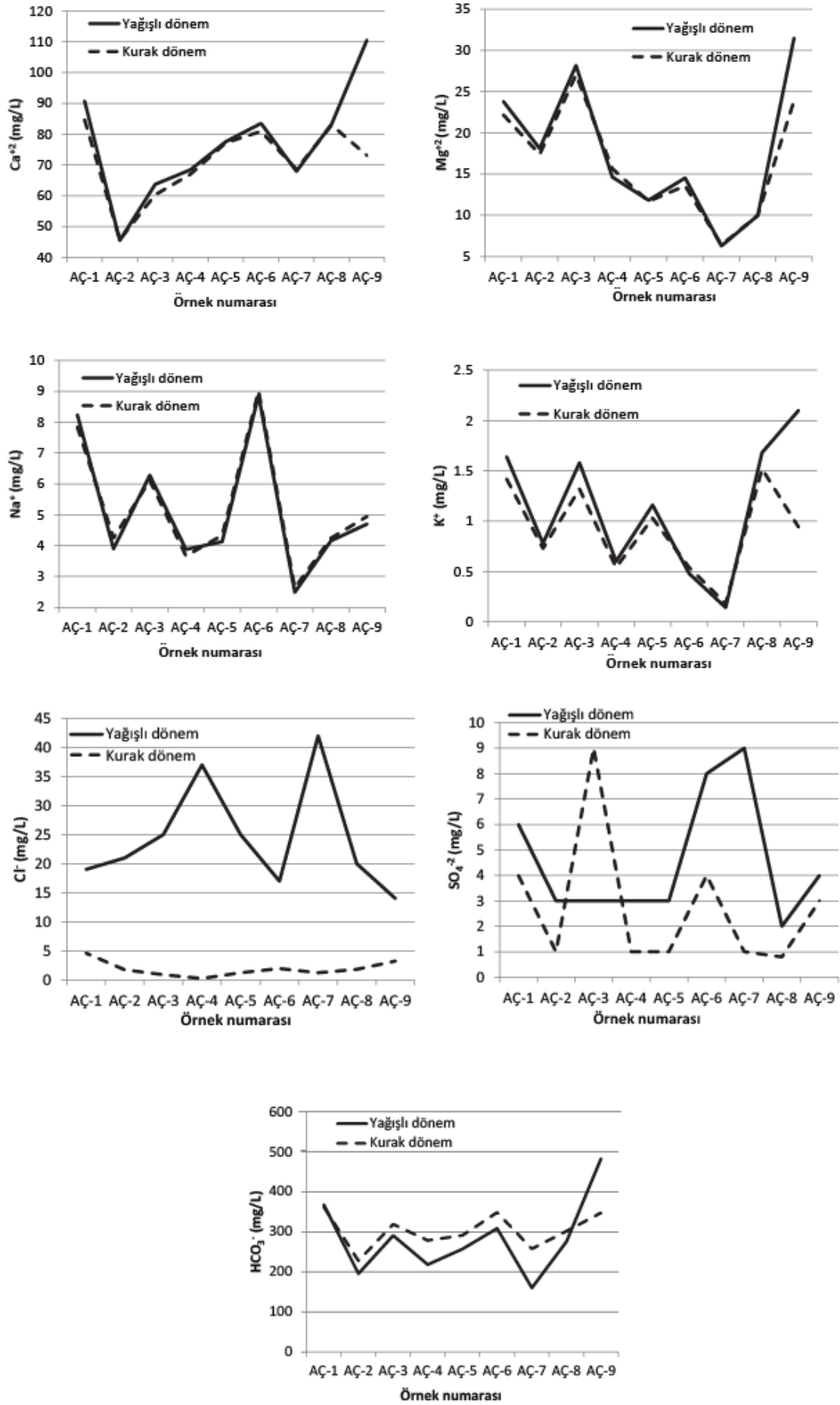
4.3. Potansiyel toksik elementler

4.3. Potentially toxic elements

Potansiyel toksik elementlerin varlığı suyun hangi tür kayalarla etkileşim içerisinde olduğunu göstermesinin yanında su içerisindeki miktarları da suyun kalitesini etkilemektedir. İncelenen suların alüminyum (Al), krom (Cr), bakır (Cu), demir (Fe), mangan (Mn) ve çinko (Zn) konsantrasyonlarının dönemsel değişimleri Şekil 6'da verilmiştir. Genel olarak suların nikel (Ni) ve kurşun (Pb) konsantrasyonları her iki dönemde de sırasıyla <0.20 ppb ve <0.10 ppb olduğundan grafikte gösterilmemiştir. Suların Al, Cu ve Zn konsantrasyonları yağışlı dönemde daha yüksek ölçülmüşken, Mn ve Fe konsantrasyonları kurak dönemde daha yüksektir (Tablo 2, Şekil 6). İncelenen sularda sadece AÇ-9 numaralı suda yağışlı dönemde potansiyel toksik element konsantrasyonları diğer sulara oranla oldukça yüksektir.

Fe'in jeokimyasal özellikleri sıkı bir şekilde oksijen, kükürt ve karbona bağlıdır. Fe, killerde, karbonatlarda (siderit), sülfür (pirit) ve oksitlerde (götüt, amorf demir oksitler) bol bulunur. Fe, killerde ve diğer silikatlarda reaktif değilken, oksitlerde, sülfürlerde ve karbonatlarda reaktiftir (Heerdink & Griffioen, 2008; Olivier, 2012). Yeraltı suyunda demir çoğunlukla Fe^{+2} formunda bulunur (Hem, 1989; Olivier, 2012).

Çalışma alanındaki sularda Fe konsantrasyonu hem yağışlı hem de kurak dönemde <10.00 ppb'dir. Kurak dönemde sadece AÇ-4, AÇ-8 ve AÇ-9 numaralı sularda $11.00-12.00$ ppb Fe belirlenmiştir (Tablo 2). Çalışma alanında Keban Metamorfikleri'ne ait rekristalize kireçtaşlarında Fe_2O_3 konsantrasyonu %3.77-%5.70 arasında değişirken, Alibonca Formasyonu'na ait karbonat ve killi kireçtaşlarının Fe_2O_3 konsantrasyonu %0.19-%4.17 arasındadır. Alt Miyosen-Pliyosen yaşlı volkanitler ise % 9.40- %9.82 arasında Fe_2O_3 içermektedir (Tablo 4). AÇ-4, AÇ-8 ve AÇ-9 numaralı sularda kurak dönemde belirlenen Fe, sulara beslenme alanı içerisinde bulunan volkanitlerin içerisindeki piroksen, amfibol, magnetit, pirit, biyotit gibi demirli minerallerin, ayrıca bol silisli kumtaşı gibi sedimanter kayaların bünyesindeki demirli minerallerin çözünmesi ile geçmiştir (Hem, 1989; Şahinci, 1991).

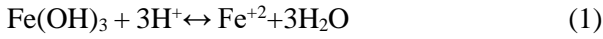


Şekil 5. İncelenen suların majör anyon katyon içeriklerinin dönemsel değişimleri
 Figure 5. Seasonal changes of major anions and cations of investigated groundwaters

Tablo 4. Çalışma alanında yüzeyleyen kayaçların Fe₂O₃, MnO ve Al₂O₃ içerikleri
Table 4. Fe₂O₃, MnO and Al₂O₃ contents of rocks outcropping in the study area

	Permo- Triyas yaşlı Keban Metamorfitleri'ne ait rekristalize kireçtaşları	Alt Miyosen yaşlı karbonat ve killi kireçtaşları	Alt Miyosen- Pliyosen yaşlı volkanitler
Fe ₂ O ₃ (%)	3.77- 5.70	0.19- 4.17	9.40-9.82
MnO (%)	0.01- 0.02	0.01- 0.05	0.14- 0.15
Al ₂ O ₃ (%)	10.53- 15.50	0.98- 6.21	15.78- 15.91

Oksijensiz ortamda yeraltı suyundaki Fe⁺³'ün, Fe⁺²'ye indirgenmesiyle kontrol edilebilir (Bondu vd., 2018). Anoksik koşullar altında ferrihidritin (Fe(OH)₃) çözünmesi ve Fe⁺² oluşumu aşağıdaki eşitlikte gösterilmiştir (Clark, 2015):



Kurak dönemde, AÇ-4, AÇ-8 ve AÇ-9 numaralı sulardaki Fe konsantrasyonlarının, oksijensiz ortamda Fe'in indirgenmesi mekanizmasına bağlı olarak kontrol edildiği düşünülmektedir.

Oksik ve suyun pH'ının düşük olduğu yağışlı dönemde Fe⁺²'nin Fe⁺³'e yükseltgenmesi aşağıdaki gibidir (Majkic Dursun vd., 2015):



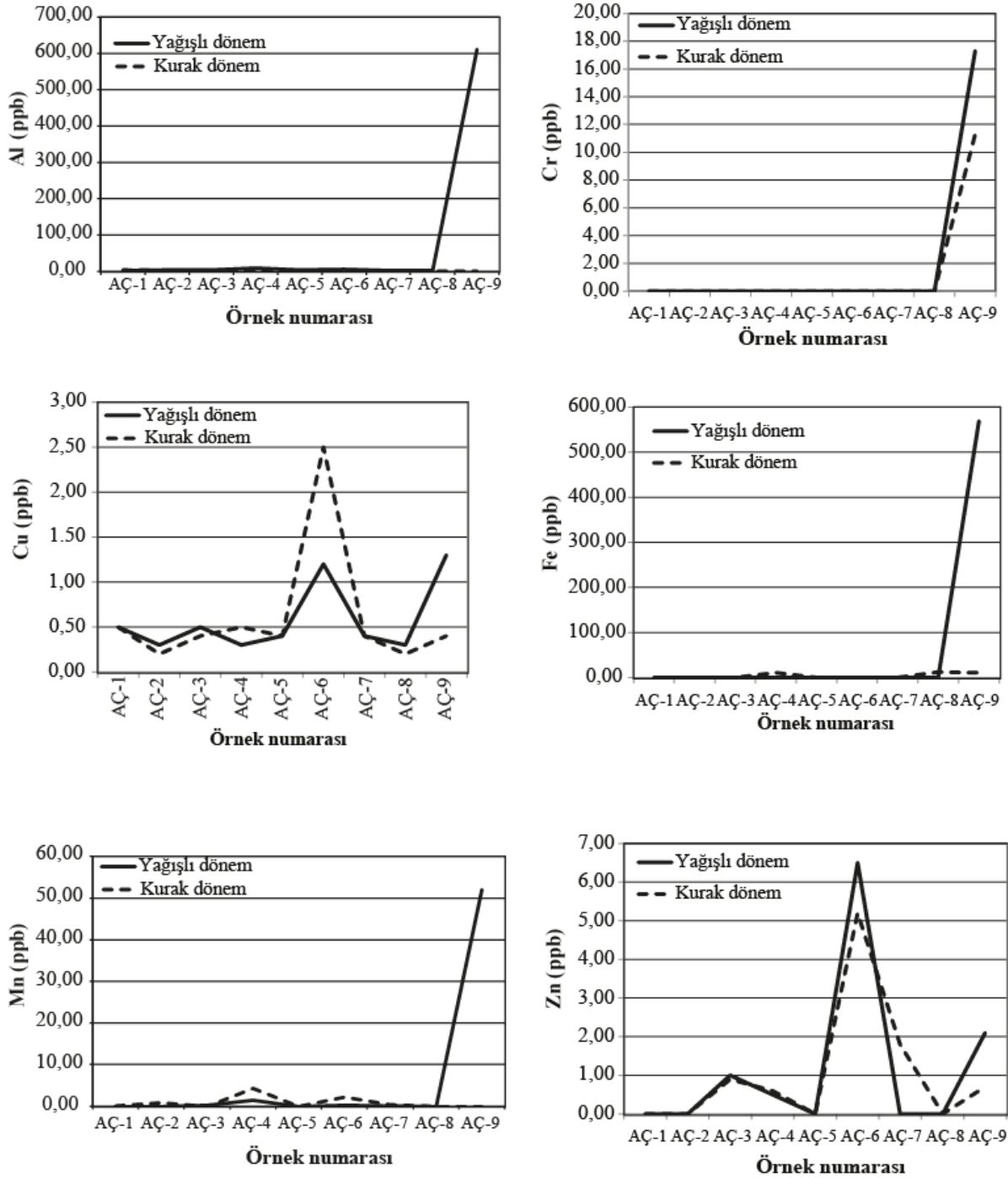
Yağışlı dönemde AÇ-9 numaralı örnekte oldukça yüksek konsantrasyonlarda bulunan Fe ise oksijenli ortamda Fe'in yükseltgenmesi ile kontrol edilmektedir.

Yerkabuğunda 950 ppm, ultrabazik kayaçlarda 1.62x10³ ppm, baziklerde 1.5x10³, granitlerde 6x10² ppm ve karbonatlı kayalarda ise 1.1x 10³ ppm kadar Mn bulunur (Şahinci, 1991). Mn, yaygın silikat minerallerinin hiçbirinin temel bir bileşeni değildir, ancak silikat yapılarında Fe, Mg veya Ca'un yerini alabilir. Çalışma alanında Keban Metamorfitleri'ne ait rekristalize kireçtaşlarının MnO içeriği %0.01- %0.02 arasında, Alt Miyosen yaşlı karbonat ve killi kireçtaşlarında %0.01- %0.05 arasında, Alt Miyosen- Pliyosen yaşlı volkanitlerde ise %0.14- %0.15 arasında analiz edilmiştir (Tablo 4). İncelenen yeraltı sularında Mn'in kökeni, iyon alış-verişine bağlı olarak kireçtaşlarında kalsit ayrıca, volkanik kayaçlar

içerisindeki olivin, piroksen ve amfibol minerallerinde Ca, Mg ve Fe'in yerini alan Mn'ın çözünmesi ile ilişkidir (Hem, 1989).

Mn ve Fe bazı kimyasal özellikler yönünden benzerlik göstermelerine rağmen, bazı kimyasal davranışlarında farklılıklar gösterirler. Suların Mn konsantrasyonlarının Fe'e benzer şekilde kurak dönemde daha yüksek olması yeraltı sularında Mn hidrojeokimyasal davranışının Fe ile aynı mekanizma ile kontrol edildiğini göstermektedir. İncelenen yeraltı sularında Mn çözünürlüğünü pH ve oksidasyon- redüksiyon koşulları etkilemektedir (Şahinci, 1991).

Al, yer kabuğunda önemli miktarda bulunmasına karşın az çözünmesi nedeniyle yeraltı sularında önemsiz miktarlarda bulunur. Genellikle yeraltı sularında 0.005- 0.30 ppm arasında Al izlenirken, asidik yeraltı sularında bu değer 100 ppm'e erişebilir (Şahinci, 1991). Çalışma alanında geniş alanlarda yayılım sunan Alt Miyosen yaşlı karbonat ve killi kireçtaşlarının Al₂O₃ içeriği % 0.98 – 6.21 arasında iken Keban Metamorfitlerine ait rekristalize kireçtaşları ile Alt Miyosen- Pliyosen yaşlı volkanitlerde sırasıyla % 10.53- 15.50 ve % 15.78- 15.91 arasındadır (Tablo 4). İncelenen yeraltı sularında Al'un kökeni Alt Miyosen yaşlı denizel çökeller içindeki killer ile volkanik kayaçların bünyesinde bulunan feldspat, feldspatoid, mika ve amfibol gibi silikat minerallerinin çözünmesi ile ilişkilidir (Hem, 1989). Yağışlı dönemde yeraltısularında bulunan Al konsantrasyonunu kontrol eden baskın kimyasal süreç, oksijenli ortamda alüminyum hidroksit oksidasyonudur. Ayrıca, bu dönemde daha yüksek konsantrasyonlarda bulunan Al, kil mineralleri tarafından soğurulmuş Al'un asidik yağış suları tarafından yıkanması ile yeraltı sularına geçmiştir.



Şekil 6. İncelenen suların potansiyel toksik element konsantrasyonlarının dönemsel değişimleri
Figure 6. Seasonal changes of potentially toxic element concentrations of investigated groundwaters

Çalışma alanı içerisindeki yeraltı sularının Ni, Cr, Pb, Cu ve Zn içerikleri yeraltı sularına su- kayaç etkileşimine bağlı olarak geçmiştir. Bu potansiyel toksik element konsantrasyonlarını kontrol eden diğer bir faktör de kil mineralleri tarafından absorbe edilen bu metallerin akiferdeki pH- Eh koşullarına bağlı olarak gösterdikleri hidrojeokimyasal davranışlardır. AÇ-6 numaralı yeraltı suyunda diğer yeraltı su örneklerine oranla daha yüksek konsantrasyonlarda Cu, Pb ve Zn belirlenmiştir. AÇ-6 numaralı keson kuyudan alınan sığ dolaşımli yeraltı suyundaki daha yüksek

konsantrasyonlarda tespit edilen bu potansiyel toksik elementlerin diğer bir kaynağı bölgede tarımsal faaliyetlerde kullanılan tarımsal gübreler ve ürün arttırıcı diğer kimyasallardır.

Ni, Cr, Cu, Zn ve Pb gibi ağır metaller ile diğer kirleticiler Fe, Mn ve Al hidroksitleri tarafından kuvvetli bir şekilde absorbe edilirler. Yağışlı dönemde, yeraltı suyunun pH'ının daha düşük olduğu dönemde, Fe, Al ve Mn tarafından absorbe edilen bu metaller çözünmeye bağlı olarak yeraltı suyuna geçerler (Clark, 2015). Bu nedenle, AÇ-9

numaralı yeraltı suyunda yüksek Fe, Mn, Al konsantrasyonlarına bağlı olarak diğer potansiyel toksik element konsantrasyonları da diğer sulara oranla daha yüksektir. AÇ-9 numaralı yeraltı suyunda genel olarak belirlenen yüksek konsantrasyonlardaki potansiyel toksik element içerikleri örneğin alındığı sondaj kuyusu çevresinde yapılan bahçe tarında kullanılan kimyasal gübreler ile ilişkili olabilir. AÇ-9 numaralı su örneğinin alındığı sondaj kuyusu Keban Baraj Gölü'ne çok yakın bir noktada açılmıştır. Yağışlı dönemde AÇ-9 numaralı suda yüksek konsantrasyonlarda belirlenen Fe, Mn, Al, diğer potansiyel toksik elementler yağışlı dönemde yükselen yüzey suyu seviyesine bağlı olarak baraj gölü ile akifer arasındaki hidrodinamik bir ilişkinin varlığını da işaret edebilir.

5. Sonuçlar

5. Conclusions

Çalışma alanında incelenen suların akiferi Alibonca Formasyonu'na ait kireçtaşlarıdır. Sular genel olarak Ca-Mg-HCO₃ tipindedir. Su-kayaç etkileşimi, iyon yer değişimi, yeraltı suyunun pH değeri, oksidasyon- redüksiyon tepkimeleri, kil mineralleri- su etkileşimi yeraltı sularının majör anyon- katyon ve potansiyel toksik element içeriklerini kontrol eden baskın mekanizmalardır. Sahile yakın noktada açılan sondaj kuyusu dışındaki kuyu ve eşme suları majör anyon, katyon ve potansiyel toksik elementler açısından içme amaçlı kullanıma uygundur. Ancak, özellikle besi ahırları ile tarım arazileri yakınında açılan sondaj kuyu sularında daha yüksek SO₄²⁻, Cu, Pb ve Zn içeriklerinin belirlenmesi bu etkenlerin ilerleyen yıllarda yeraltı su kalitesi üzerinde olumsuz etki oluşturacağını düşündürmektedir. Sığ dolaşımlı yeraltı sularında bu etkiler daha yoğun bir şekilde belirlenmiştir. Yağışlı dönemde Keban Baraj Gölü'nün su seviyesinin yükselmesine bağlı olarak kıyıya yakın bölgede açılan sondaj kuyu suyunun majör anyon, katyon ve potansiyel toksik element içeriğinin, bu dönemde baraj gölünün akifere olan hidrodinamik etkisi ile ilişkili olduğu düşünülmektedir. Yöre halkının bu bölgelerde sondaj kuyusu açmamaları önerilmektedir. Ayrıca, yüzeysel kirleticilerin etkisinin görüldüğü kireçtaş akiferlerinde yeraltı suyu kalitesini koruyabilmek için bu litolojik birimler üzerinde tarımsal faaliyetlerde daha az kimyasal ve hayvansal gübre kullanılmalı, hayvansal gübreler geçirimsiz seviyeler (geçirimsiz beton yüzeyler ya da geçirimsiz kalın muşambalar üzerinde) oluşturularak depolanmalıdır.

Teşekkür / Katkı Belirtme

Acknowledgement

Bu alışma TÜBİTAK tarafından 114Y091 nolu proje ile maddi olarak desteklenmiştir. Yazarlar makalenin inceleme ve değerlendirme aşamasında yapmış oldukları katkılardan dolayı editör ve hakem/hakemlere teşekkür ederler.

Yazar katkısı

Author contribution

Bu makalenin yazarları çalışmanın planlanması, araziden su ve kayaç örneklerinin toplanması ve sonuçların yorumlanmasına birlikte katkı sağlamışlardır.

Etik beyanı

Declaration of ethical code

Bu makalenin yazarları, bu çalışmada kullanılan materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve / veya yasal-özel izin gerektirmediğini beyan etmektedir.

ıkar atışması beyanı

Conflicts of interest

Yazarlar herhangi bir çıkar atışması olmadığını beyan eder.

Kaynaklar

References

- Abdelshafy, M., Saber, M., Abdelhaleem, A., Abdelrazek, S.M. & Seleem, M. (2019). Hydrogeochemical processes and evaluation of groundwater aquifer at Sohag city, Egypt. *Scientific African*, 6, e00196. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2019.e00196>.
- Akbaş, B., Akdeniz, N., Aksay, A., Altun, İ.E., Balcı, V., Bilginer, E., Bilgi, T., Duru, M., Ercan, T., Gedik, İ., Günay, Y., Güven, İ.H., Hakyemez, H.Y., Konak, N., Papak, İ., Pehlivan, ř., Sevin, M., şenel, M., Tarhan, N., Turhan, N., Türkecan, A., Ulu, Ü., Uğuz, M.F. & Yurtsever, A. (2011). 1:1.250.000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritası. *Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Yayını*, Ankara-Türkiye.
- Aksever, F. (2019). Hydrogeochemical characterization and water quality assessment of springs in the Emirdağ (Afyonkarahisar) basin, Turkey. *Arabian Journal of Geosciences*.12:780. <https://doi.org/10.1007/s12517-019-4942-7>.
- Clark, I. (2015). *Groundwater Geochemistry and Isotopes*, CRC Press, Taylor and Francis Group, Boca Raton, London, New York.

- Çapar, G. (2019). *Su Kaynakları Yönetimi ve İklim Değişikliği. İklim Değişikliği Alanında Ortak Çabaların Desteklenmesi Projesi (iklimİN)*, T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Çetindağ, B. (2002). Dipsiz Göl (Elâzığ) kaynağının hidrojeoloji incelemesi. *Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 14(1), 169-180.
- Davraz, A. & Batur, B. (2021). Hydrogeochemistry characteristics of groundwater and health risk assessment in Yalvaç–Gelendost Basin (Turkey). *Applied Water Science*, 11: 67. <https://doi.org/10.1007/s13201-021-01401-9>.
- Göçmez, G., Kara, İ. & Ayaz Bozdağ, A. (2007). Rize ilindeki sıcak ve mineralli suların hidrokimyasal özellikleri. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 23(1-2), 165-175.
- Güler, C., Thyne, G.D., Tağa, H. A& Yıldırım, Ü. (2017). Processes governing alkaline groundwater chemistry within a fractured rock (ophiolitic melange) aquifer underlying a seasonally inhabited headwater area in the Aladağlar range, (Adana, Turkey). *Geofluids*, 3153924: 21. <https://doi.org/10.1155/2017/3153924>.
- Han, D., Song, X. & Currell, M.J. (2016). Identification of anthropogenic and natural inputs of sulfate into a karstic coastal groundwater system in northeast China: evidence from major ions, $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ and $\delta^{34}\text{S}_{\text{SO}_4}$. *Hydrology and Earth System Sciences*, 20, 1983-1999. <https://doi.org/10.5194/hess-20-1983-2016>.
- Heerdink, R. & Griffioen, J. (2008). Methodeontwikkeling voor het berekenen van het gehalte reactief ijzer uit totaalgehalten ijzer en aluminium in sediment. *Directie TNO Geological Survey of the Netherlands*, Deltares TNO-rapport.
- Hem, J.D. (1989). *Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Water*. Third edition. US Geological Survey Water-Supply Paper 2254, Washington, United States Government Printing Office, 263p.
- Hussien, B.M. & Faiyad, A.S. (2016). Modeling the hydrogeochemical processes and source of ions in the groundwater of aquifers within Kasra-Nukhaib Region (West Iraq). *International Journal of Geosciences*, 7, 1156-1181. <https://doi.org/10.4236/ijg.2016.710087>.
- Kebede, S., Travi, Y., Alemayehu, T. & Ayenew, T. (2005). Groundwater recharge, circulation and geochemical evolution in the source region of the Blue Nile river, Ethiopia. *Applied Geochemistry*, 20, 1658-1676. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2005.04.016>.
- Kim, H. & Park, S. (2016). Hydrogeochemical characteristics of groundwater highly polluted with nitrate in an agricultural area of Hongseong, Korea. *Water*, 8, 345. <https://doi.org/10.3390/w8080345>.
- Kimball, B.A. (1981). Geochemistry of spring water, Southeastern Uinta Basin, Utah and Colorado (Geological survey water-supply paper 2074). *U.S. Government printing office*, Washington.
- Kipman, E. (1981). Keban'ın Jeolojisi ve Keban Şaryajı, *İstanbul Üniversitesi Yerbilimleri Dergisi*, 1-1,2 75-81.
- Kürüm, S., Akgül, B. & Erdem, E. (1999). Eski Arapgir-Şıhlar (Malatya-Elâzığ) Köyleri çevresindeki volkanitlerin petrografik ve petrolojik özellikleri. *Geosound/ Yerbilimleri* 34, 187-201.
- Majkić-Dursun, B., Petković, A. & Dimkić, M. (2015). The effect of iron oxidation in the groundwater of the alluvium aquifer of the Velika Morava River, Serbia, on the clogging of water supply wells. *Journal of the Serbian Chemical Society*, 80 (7), 947–957. <https://doi.org/10.2298/JSC140204089M>.
- Milanovic, P.T. (1981). Karst Hydrogeology. *Water resources publications, P.O. Box 2841*, Littleton, Colorado, Amerika Birleşik Devletleri.
- Olivier, N. (2012). *Characterization of the spatial distribution of iron- and manganese oxides in the Sterksel Formation at the Maalbeek quarry, The Netherlands*. Faculty of Geosciences, Utrecht University, Master's Thesis, 80 p., Netherlands.
- Öztekin Okan Ö. & Güven A. (2019). Hydrochemistry of groundwaters from alluvial and fractured igneous aquifers at the western region of Lake Hazar (Elâzığ, Turkey). *Arabian Journal of Geosciences*, 12: 52. <https://doi.org/10.1007/s12517-018-4209-8>.
- Öztekin Okan Ö., Güven A. & Çetindağ B. (2018). Plajköy Kaynağı'nın hidrojeoloji incelemesi. *Maden Tetkik Arama Dergisi*, 156, 234-235. <https://doi.org/10.19111/bulletinofmre.376767>.
- Öztekin Okan, Ö. & Çetindağ, B. (2005). Hydrogeochemical and isotopic investigation of the Kolan geothermal field, southeastern Turkey. *Environmental Geology*, 48,179–188. <https://doi.org/10.1007/s00254-005-1286-2>.
- Öztekin Okan, Ö., Kalender, L., Çetindağ, B. (2018). Trace-element hydrogeochemistry of thermal waters of Karakoçan (Elâzığ) and Mazgirt (Tunceli), Eastern Anatolia, Turkey. *Journal of Geochemical Exploration*, 194, 29-43. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2018.07.006>.

- Perez-Ceballos, R., Canul- Macario, C., Pacheco-Castro, R., Pacheco- Avila, J., Euan- Avila, J. & Merino- Ibarra, M. (2021). Regional hydrogeochemical evolution of groundwater in the Ring of Cenotes, Yucatán (Mexico): An inverse modelling approach. *Water*, 13, 614. <https://doi.org/10.3390/w13050614>.
- Salem, Z.E. & El-Bayomy, D.A. (2016). Hydrogeological, petrophysical and hydrogeochemical characteristics of the groundwater aquifers east of Wadi El-Natron, Egypt. *National Research Institute of Astronomy and Geophysics*, 5, 124- 146. <https://doi.org/10.1016/j.nrjag.2015.12.001>.
- Semiz Ü., Gücer, M.A. & Alemdağ S. (2021). Şiran (Gümüşhane) ilçe merkezi su kaynaklarının kalitesi ve hidrojeokimyasal özelliklerinin değerlendirilmesi. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 7(1), 59-74. <https://doi.org/10.21324/dacd.804464>.
- Sipahi F. & Uslu S. (2016). Investigation of the quality and physical-geochemical characteristics of the drinking water in Gümüşhane (Turkey) city central. *Arabian Journal of Geosciences*, 9, 600. <https://doi.org/10.1007/s12517-016-2620-6>.
- Şahinci, A. (1991). *Doğal Suların Jeokimyası*. Reform Matbaası, İzmir, 548s.
- Şener, Ş. & Güneş, D. (2015). Aksu (Isparta) Ovası yüzey ve yeraltı sularının hidrojeokimyasal özellikleri ve su kalitesi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 21(6), 260-269. <https://doi.org/10.5505/pajes.2014.85547>.
- Tahmasebzadeh Bastam, E. ve Gültekin, F. (2017). Değirmendere (Trabzon) havzası kaynak sularında su-kayaç etkileşimi. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi / Journal of Geological Engineering*, 41 (1), 59-78. <https://doi.org/10.24232/jmd.314585>.
- T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı (2016). *İklim Değişikliğinin Su Kaynaklarına Etkisi Projesi*. Yönetici Özeti.
- TSE (2005). TS266, Türk İçme Suyu Standartları. *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara
- Türkmen, İ. & Aksoy, E. (1998). Arapgir (Malatya), Çemişgezek (Tunceli), Elâzığ dolaylarındaki Neojen birimlerinin stratigrafik-sedimentolojik incelenmesi ve bölgesel korelasyonu. *Türkiye Petrol Jeologları Derneği/TPJD Bülteni*, 10 (1), 15-33.
- WHO (2011). World Health Organization, 2011. *Guidelines for drinking-water quality*. Vol. 1.
- Yuan, J., Xu, F., Deng, G., Tang, Y. & Li, P. (2017). Hydrogeochemistry of shallow groundwater in a karst aquifer system of Bijie City, Guizhou Province. *Water*, 9, 625. <https://doi.org/10.3390/w9080625>.
- Yüksel, A. (2007). *Üçtepe yöresinin (İmamoğlu – Adana) hidrojeolojik incelemesi*. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Adana.

Uzun elma genotipinin antioksidan ve antibakteriyel aktivitesi ile mutajenik etki değeri üzerine yetiştiricilik bölgesinin etkisi

Effect of growing region on antioxidant and antibacterial activity and mutagenic effect of Uzun apple genotype

Zehra Tuğba MURATHAN^{*1,a}, Mehmet ARSLAN^{2,b}, Nurcan ERBİL^{3,c}

¹Malatya Turgut Özal Üniversitesi, Battalgazi Meslek Yüksekokulu, Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü, 44200, Malatya

²Ardahan Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Yüksekokulu, Sağlık Yönetimi Bölümü, 75000, Ardahan

³Ardahan Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Yüksekokulu, Hemşirelik Bölümü, 75000, Ardahan

• Geliş tarihi / Received: 02.08.2021

• Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 28.11.2021

• Kabul tarihi / Accepted: 12.12.2021

Öz

Bu çalışmada Kars ilinin Kağızman ilçesi ve Gürcistan'ın Ahıska şehrinde yetiştirilen Uzun elma çeşidinin bazı biyoaktif bileşenleri, antioksidan ve antibakteriyel özellikleri ile mutajenik etki değerleri incelenmiştir. Çalışma sonucunda Kağızman örneğinde toplam fenolik madde ve toplam flavanoid madde içerikleri 93.66 mg GAE/100g ve 15.87 mg EC/100g iken Ahıska örneğinde sırasıyla 76.99 mg GAE/100g ve 10.89 mg EC/100g olarak belirlenmiştir. Genotiplerin antioksidan aktivite değerleri arasında önemli bir farklılık görülmemiştir ($p>0.05$). ABTS ve DPPH radikali süpürücü aktivite ile FRAP değerleri sırasıyla Kağızman ve Ahıska genotiplerinde % 66.86, 60.93; % 70.97, 72.57 ve 870.81, 874.45 $\mu\text{mol Fe II/g}$ olarak belirlenmiştir. Sonuçlar incelendiğinde her iki genotipin ekstraktında da sadece *Escherichia coli* ATCC 8739'ye karşı antibakteriyel etki tespit edilmiş, bunun dışındaki test bakterileri için etki belirlenmemiştir. Ekstraktların denenen dozlarında TA98 ve TA100 suşlarında mutajen etki bulunmamıştır. Sonuç olarak yetiştiricilik bölgesi farklılığının sadece toplam fenolik ve flavanoid madde miktarlarında etkili olduğu belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Antibakteriyel etki, Antioksidan etki, Uzun elma, Fenolik madde, Mutajen etki

Abstract

*In this study, some bioactive components, antioxidant and antibacterial properties and mutagenic effect values of Uzun apple variety grown in Kağızman district of Kars province and Ahıska city of Georgia were investigated. As a result of the study, total phenolic and total flavonoid contents in Kağızman sample were determined as 93.66 mg GAE/100g and 15.87 mg EC/100g, while in Ahıska sample it was determined as 76.99 mg GAE/100g and 10.89 mg EC/100g, respectively. There was no significant difference between the antioxidant activity values of the genotypes ($p>0.05$). ABTS and DPPH radical scavenging activity and FRAP values in Kağızman and Ahıska genotypes were determined as 66.86 and 60.93%; 70.97 and 72.57%; 870.81 and 874.45 $\mu\text{mol Fe II/g}$, respectively. When the results were examined, an antibacterial effect was detected only against *Escherichia coli* ATCC 8739 in the extracts of both genotypes, and no effect was determined for the other test bacteria. No mutagenic effect was found in TA98 and TA100 strains at the tested doses of the extracts. As a result, it was determined that the difference in the growing region was effective only in the amount of total phenolic and flavonoid contents.*

Keywords: Antibacterial effect, Antioxidant effect, Uzun apple, Phenolic content, Mutagen effect

^{*a} Zehra Tuğba MURATHAN; ztugbaabaci@hotmail.com, Tel: (0422) 846 12 55, orcid.org/0000-0002-1468-7240

^b orcid.org/0000-0002-9015-1798

^c orcid.org/0000-0001-9553-2306

1. Giriş

1. Introduction

Elma (*Malus domestica*) dünyada geniş üretim alanlarına sahip olan, gerek tadı ve aroması gerekse besleyici değeri nedeniyle insanlar tarafından çok sevilerek tüketilen bir meyvedir. Yapılan çalışmalar göstermiştir ki elma diyet lifi ve fitokimyasallar bakımından zengin bir meyvedir. Birçok fitokimyasal insan sağlığına olumlu etki göstermektedir. Bu bileşenlerin bir kısmı içerisinde bulunduğu meyvenin antioksidan, antikanser ve antimutajenik özellikler kazanmasını sağlamaktadır (Giomaro vd., 2014). Elma meyvelerinin güçlü antioksidan maddeler içerdiği, düzenli elma tüketiminin bazı kanser, kardiyovasküler hastalıklar, astım ve diyabet riskini azalttığını bildirilmiştir (Podsedek vd., 2000; Boyer & Liu, 2004).

2019 yılında dünyada 87.236.221 ton ve ülkemizde 3.618.752 ton elma üretimi gerçekleştirilmiştir (Fao, 2021). Ülkemizde birçok bölgede elma üretimi yapılmaktadır. Doğu Anadolu Bölgesinde elma üretilen yerlerden birisi de Kağızman İlçesidir. Bölge genel olarak sert ve uzun geçen kışlara sahiptir. Ancak Kağızman ilçesi Aras ırmağı vadisinde yer aldığından ve meyve bahçeleri de vadi tabanında kurulduğundan meydana gelen şiddetli soğuklar meyve üretimini etkilememektedir (Koday, 2004). İlçenin rakımı 1400 m'dir. İlçede birçok elma çeşidi yetiştirilmektedir. Starking Delicious, Golden Delicious ve Uzun elma ilçede en çok yetiştiriciliği yapılan elma çeşitleridir. 2020 yılında Kağızman ilçesinde toplam 715 ton elma üretimi gerçekleştirilmiştir (TUİK, 2021). Uzun elma en çok talep edilen meyve genotiplerinden bir tanesidir. Uzun elma genotipi ülkemizde sadece Kağızman'da yetiştirilmektedir. Elmanın Nahçıvan'dan gelen bir muhacir tarafından aşılandığı bilinmektedir. Ağaç boyu 4-6 m'yi aşmaktadır. Meyveleri uzun yumurta şeklinde 10-12 cm uzunluğunda ve 5-6 cm enindedir. Meyvenin alt ve üst kısımları beyaz, orta kısımları kırmızı yanaklıdır. Meyve kabuğu çok incedir. Peryodisite gösteren bir çeşit olduğundan iki yılda bir ürün alınmaktadır. Meyve 2017 yılında Coğrafi işaret tescil belgesi almıştır (Anonim, 2021).

Uzun elma genotipi ülkemiz dışında Gürcistan'ın Ahıska şehrinde de yetişmektedir. Ahıska Gürcistan'ın Samtshe-Cavaheti bölgesinin yönetim şehridir. Bölge Ardahan il sınırında yer almaktadır. İklim özellikleri sebebiyle birçok meyve tür ve çeşidinin yetiştiği yapılmakta olup, 990 m rakıma sahip ılıman bir bölgedir.

Bu genotiple ilgili çok fazla çalışma bulunmamaktadır. Literatürde genotipin incelendiği sadece üç çalışma mevcuttur. Bu çalışmaların biri 1995 yılında yapılmış ve genotipin polen çimlenme ile meyve tutma oranları ve bazı pomolojik özellikleri belirlenmiş, diğer çalışmada morfolojik incelemeler gerçekleştirilmiştir (Gülyüz & Ercişli, 1995; Koday, 2004). Üçüncü çalışma bir yüksek lisans tez çalışması olup, Uzun elma genotipinde seleksiyon amaçlı bazı fenolojik ve pomolojik gözlemler yapılmıştır (Balık, 2016). Bu çalışmada Kars ili Kağızman ilçesi ve Gürcistan'ın Ahıska şehrinde yetiştirilen Uzun elma genotiplerinin bazı biyoaktif bileşenleri, antioksidan ve antibakteriyel özellikleri ile mutajenik etki değerleri incelenmiştir.

2. Materyal ve metot

2. Material and method

2.1. Meyve materyali

2.1. Fruit material

Çalışmada kullanılan Uzun elma örnekleri Kars ili Kağızman ilçesindeki bir elma bahçesindeki iki farklı ağaçtan ve Gürcistan'ın Ahıska şehrindeki yerel bir pazardan Ekim ayında alınarak laboratuara getirilmiştir. Örnekler analiz edilinceye kadar +4 °C'de bekletilmiştir.

2.2. Ekstraksiyon metodu

2.2. Extraction method

2 g taze meyve örneği 20 mL metanol (% 80) ile homojenize edildikten sonra (Wise-Tis® homojenizer, HG 15 A) karışım 24 saat çalkalamalı etüvde (SI-300, Lab Companion, South Korea) +4 °C'de bekletilmiştir. Sonrasında 10 dk 5000 rpm'de santrifüj edilmiş (SL 16R, Thermo Scientific, Germany) ve süpernatant toplam fenolik madde, toplam flavanoid madde ve antioksidan aktivite testlerinde kullanılmıştır. Antibakteriyel aktivite ve mutajenik etki analizleri için 40 g taze meyve örneği 200 mL saf su ile homojenize edildikten sonra çalkalamalı etüvde 72 saat 190 rpm'de, +4 °C'de inkübe edilmiştir. Sonrasında 5000 rpm'de santrifüj edilen örneklerin süpernatant kısımları alınarak rotary evaporatörde (RE100-Pro, SciLogex, Rocky Hill, CT) konsantre edilmiştir (Erbil vd., 2018). Ekstraktlar analiz edilinceye kadar -20 °C'de bekletilmiştir.

2.3. Toplam fenolik madde analizi

2.3. Total phenolic content analysis

200 µL ekstrakt, 1000 µL Folin-Ciocalteu ve 800 µL (% 7.5) Na₂CO₃ ile karıştırılarak 2 saat oda sıcaklığında inkübe edilmiştir. Daha sonra karışım spektrofotometrede (Unico, S1205), 765 nm'de ölçülmüş ve örneklerin içerdiği toplam fenolik madde içeriği mg/100 g gallik asit olarak ifade edilmiştir (Spanos & Wrolstad, 1992).

2.4. Toplam flavonoid madde analizi

2.4. Total flavonoid content analysis

1 mL ekstrakt ve 1 mL %2'lik AlCl₃ karışımı karanlıkta ve oda sıcaklığında 1 saat inkübe edilmiştir. Daha sonra karışım spektrofotometrede 415 nm'de ölçülmüş ve örneklerin toplam flavonoid madde içerikleri mg/100 g cinsinden (+)-epikateşin kullanılarak hazırlanan kalibrasyon eğrisi ile hesaplanmıştır (Quettier vd., 2000).

2.5. Antioksidan aktivite testleri

2.5. Antioxidant activity testes

2.5.1. DPPH (1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl) radikali indirgeme gücü

2.5.1. DPPH radical reducing power

4 ml DPPH çözeltisi (0.1 N) ile 1 ml ekstrakt karışımı 30 dk oda sıcaklığında, karanlık ortamda çalkalayıcıda inkübe edilmiştir. Karışımın absorbansı 515 nm'de spektrofotometrede yapılmıştır. Radikal indirgeme gücü %DPPH=(Akontrol-Aörnek)/Akontrol x100 formülüyle hesaplanmıştır (Bakhshi & Arakawa, 2006).

2.5.2. ABTS (2,2'-azino-bis 3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) radikali indirgeme gücü

2.5.2. ABTS radical reducing power

ABTS radikali indirgeme gücü Re vd. (1999)'a göre yapılmıştır. 7 mM ABTS ve 2.45 mM potasyum per sülfat (1:1) ile hazırlanan stok solüsyon 16 saat karanlık ortamda oda sıcaklığında bekletilmiştir. Daha sonra stok solüsyonun absorbansı 734 nm'de 0.7±0.05 olana kadar etanolle seyreltilmiştir. Alınan 150 µl ekstrakt 2.85 ml ABTS çözeltisiyle birleştirilmiş ve 6 dk oda sıcaklığında bekletildikten sonra karışımın absorbansı 734 nm'de ölçülmüştür. Radikal indirgeme gücü %ABTS=(Akontrol-Aörnek)/Akontrol x 100 formülüyle hesaplanmıştır.

2.5.3. FRAP (Demir iyonu indirgeyici antioksidan güç) metodu

2.5.3. FRAP (Iron ion reducing antioxidant power) method

FRAP metodu Benzie ve Strain (1996)'e göre yapılmıştır. 25 ml sodyum asetat tamponu (300 mM, pH3.6), 2.5 ml TPZT çözeltisi (10 mM in 40 mM HCl) ve 2.5 ml FeCl₃.6H₂O (20 mM) karışımı ile FRAP çözeltisi hazırlanmıştır. Hazırlanan çözelti 37 °C'de su banyosunda ılıtılmış ve 100 µl ekstrakt ile 3 ml FRAP çözeltisi ile karıştırılmıştır. Karışımın absorbansı 4 dk sonra spektrofotometrede 593 nm dalga boyunda belirlenmiştir. Demir iyonu indirgeyici antioksidan güç FeSO₄ standart eğrisi kullanılarak µmol Fe(II) g⁻¹ olarak hesaplanmıştır.

2.6. Antibakteriyel aktivite testi

2.6. Antibacterial activity test

2.6.1. Minimum inhibisyon konsantrasyonu (MİK)

2.6.1. Minimum inhibition concentration

Elma genotiplerinin antibakteriyel aktivitesi broth mikro dilüsyon metoduna göre belirlenmiştir (Abbasoglu vd., 1995; Uysal, 2011). Test bakterisi olarak 16 saat inkübe edilmiş ve McFarland 0.5'e göre ayarlanmış olan *Bacillus subtilis* subsp. spizizenii ATCC 6633, *Bacillus licheniformis* ATCC 14580, *Escherichia coli* ATCC 8739, *Klebsiella pneumoniae* ATCC 33495 ve *Enterobacter aerogenes* ATCC 13048 kullanılmıştır. Test esnasında kapaklı, steril, 96 kuyucuklu pleyt kullanılmış olup; besiyeri olarak Mueller Hinton Broth (Merck KGaA, Darmstadt, Germany) kullanılmıştır. Meyve ekstraktlarından Kağızman örneği için 2.7-0.0105 mg/ml aralığında, Ahıska örneği için ise 4-0.0156 mg/ml aralığında seyreltilmiştir. Mikropleytlar 37 °C'de 18 saat inkübasyona bırakılmıştır. İnkübasyon sonrasında, her bir kuyucuğa 20 µl %0.5 2,3,5-triphenyltetrazolium chloride (TTC) solüsyonu eklenmiş ve yeniden 30 dk inkübasyona bırakılmıştır. İnkübasyon sonrasında renk değişimi gözlenmeyen kuyucuklar MİK olarak belirlenmiştir.

2.6.2. Maksimum tolere edilebilir konsantrasyon (MTC)

2.6.2. Maximum tolerable concentration

Bakteri gelişimi üzerine etki göstermeyen en yüksek ekstrakt konsantrasyonu maksimum tolere edilebilir konsantrasyon (MTC) olarak belirlenmiştir (Erkmen, 2016).

2.7. Mutajenik etki testi

2.7. Mutagenic effect test

Çalışmada *Salmonella typhimurium* TA 98 ve TA 100 suşları kullanılmıştır (Maron & Ames, 1983). Analizlerde histidin ve biyotin eklenmiş olan 2 ml top agar içerisine 16 saatlik bakteri kültürlerinin her birinden 100 µl ve örneklerin her birinden 100 µl eklendikten sonra homojen bir karışım oluşturulmuş ve MGA besiyeri içeren plaklara dökülmüştür. TA 98 suşu için 4-nitrofenilendiamin (4-NPD) (100 µg petri⁻¹), TA 100 suşu için sodyum azid (SA) (10 µg petri⁻¹) pozitif kontrol olarak kullanılmıştır. Daha sonra petripler 37°C’de 48-72 saat inkübe edilmiştir. Kontrol ve test plaklarında gelişen geri dönen kolonilerin sayıları belirlenmiş ve istatistiksel olarak karşılaştırılmıştır.

2.8. İstatistiksel analizler

2.8. Statistical analysis

Çalışmada her iki bölge için üç farklı örnekte analiz yapılmış ve ortalama değerler alınmıştır. Ortalama değerler ve standart sapmalar SPSS 20.0 paket programı ile hesaplanmıştır. Gruplar arasındaki farklılıklar t testi ile $p < 0.05$ önem düzeyinde belirlenmiştir. Mutajenite testlerinde meyve örneklerinden elde edilen ekstraktların etkisiyle geri dönen koloni sayıları saptanmıştır. Kontrol plakları ile meyve örneklerinin farklı konsantrasyonlarının denendiği plaklar arasında istatistiksel farklılık olup olmadığı tek yönlü varyans analizi (OneWay ANOVA) sonrasında Dunnett testi kullanılarak belirlenmiştir.

3. Bulgular ve tartışma

3. Results and discussion

Uzun elma genotiplerinin toplam fenolik madde ve toplam flavanoid madde içerikleri Tablo 1’de verilmiştir. Çalışmada kullanılan Folin-ciolteu metodu flavanoid, antosiyanin ve flavanoid olmayan fenolik bileşiklerin hepsinin miktarını vermektedir (Benvenuti vd., 2004). Kağızman ekolojik koşullarında yetişen genotipin toplam fenolik madde ve toplam flavanoid madde içeriği Ahıska ekolojik koşullarında yetişen genotipe göre istatistiksel olarak daha yüksek bulunmuştur ($p < 0.05$). Kağızman örneğinde bu değerler 93.66 mg GAE/100g ve 15.87 EC mg/100g iken Ahıska örneğinde sırasıyla 76.99 mg GAE/100 ve 10.89 mg EC/100g olarak belirlenmiştir. Daha önce yapılan birçok çalışmada farklı elma genotiplerinde toplam fenolik ve flavanoid madde içerikleri bildirilmiştir. Quitral vd. (2013) Granny Smith, Royal Gala ve Fuji elma çeşitlerinde toplam

fenolik madde içeriklerinin 106.63 ile 142.72 mg GAE/100g arasında değiştiğini bildirmişlerdir. Lee ve Smith (2000) farklı elma çeşitlerinde toplam fenolik madde içeriğinin 50.9 ile 139.7 mg GAE/100g arasında olduğunu bildirmiştir. Bahukhandi vd. (2018) farklı lokasyonlardan topladıkları 3 elma çeşidinde toplam fenolik madde içeriklerini 94-700 mg GAE/100g, toplam flavanoid içeriklerini 102-986 mg GAE/100g olarak tespit etmişlerdir. Macit vd. (2021) Artvin bölgesinde doğal olarak yetişen 8 elma genotipinde toplam fenolik madde içeriğinin 16.27 (Yeşil) ile 80.59 mg GAE/kg (Beray) arasında olduğunu belirlemişlerdir. Yine farklı elma çeşitlerinde toplam fenolik madde içeriklerinin 71 ile 335.9 mg GAE/100g arasında olduğu bildirilmiştir (Lotito & Frei, 2004; Drogoudi & Pantelidis, 2011; Rop vd., 2011). Çalışmada elde edilen sonuçlar literatürde bildirilen sonuçlarla paralellik göstermektedir. Çalışma sonuçları arasındaki farklılıklar çeşit, ekolojik veya analiz yöntemlerindeki farklılıklardan kaynaklanabilmektedir.

Elma birçok flavanoid ve fenolik asit içermektedir. Bu maddeler antioksidan özelliğe sahiptirler (Duda-Chodak vd., 2011). Elma meyveleri içerisindeki antioksidan özellikteki bu maddelerin miktarı türe, çeşide, olgunlaşma derecesine, kültürel uygulamalara, güneş alma durumuna, toprak ve iklim şartlarına göre değişmektedir (Podsedek vd., 2000; Duda-Chodak vd., 2010). Tablo 1’de genotiplerin antioksidan aktivite değerleri görülmektedir. İki genotipin antioksidan aktivite değerleri arasında istatistiksel anlamda önemli bir farklılık görülmemiştir ($p > 0.05$). Bu durum iki bölge arasındaki ekolojik farklılıkların Uzun elma genotiplerinde antioksidan aktivite üzerinde etkisiz olduğunu göstermiştir. Yoshizawa vd. (2005) 19 elma çeşidinin DPPH radikali süpürücü aktivitesinin % 21.2 ile 52.4 arasında olduğunu bildirmişlerdir. Macit vd. (2021) Artvin bölgesinde yetişen 8 elma genotipinde DPPH radikali süpürücü aktivitenin % 23.2 (Süt) ile 90.96 (Yeşil) arasında değiştiğini belirlemişlerdir. Araştırmacılar bölgede yetiştiğini bildirdikleri “Uzun” adlı genotiple de çalışmışlar, genotipin toplam fenolik madde içeriğinin 33.09 mg/kg, DPPH radikali süpürücü aktivitesinin ise % 78.30 olduğunu belirlemişlerdir. Araştırmacıların kullandığı bu genotipin Kağızman bölgesinde yetişen Uzun elma genotipi olup olmadığı bilinmemektedir. Abacı ve Sevindik (2014) Ardahan bölgesinde yetişen elma genotiplerinin DPPH radikali süpürücü aktivitesinin % 21.7 (Limon elması) ile 57.8 (İçi kırmızı uruset) arasında değiştiğini bildirmişlerdir. Erbil vd. (2020) Ardahan ili Posof ilçesinde yetişen 7 elma

genotipinin meyvelerinde DPPH, ABTS ve FRAP değerlerinin sırasıyla % 28.15-84.75, % 15.3-83.8 ve 94.8-208.4 $\mu\text{mol Fe II/g}$ arasında olduğunu tespit etmişlerdir. Literatürdeki çalışmalarda kullanılan elma genotiplerinin antioksidan aktiviteleri bu çalışmadakinden ortalama olarak daha düşük olarak bildirilmiştir. Antioksidan aktivite ekstraksiyon çözücüsünden, zamanından, sıcaklığından ve ekstraksiyonda kullanılan ekipmanların cinsinden önemli oranda etkilenmektedir (Jin vd., 2016).

Bahukhandi vd. (2018) yüksek rakımlı bölgelerde yetişen elma çeşitlerinin diğer lokasyonlardakilere

oranla daha yüksek fenolik madde ve antioksidan kapasiteye sahip olduğunu bildirmiştir. Rakım arttıkça o alanda yetişen bitkiler daha uzun bir vejetasyon periyoduna girmektedirler. Bu durumda bitki daha uzun bir fenolojik olgunlaşma dönemi geçireceğinden bünyesinde fenolik ve flavanoid bileşenleri daha fazla biriktirmektedir (Aslantaş & Karabulut, 2007). Bu çalışmada yüksek rakımlı Kağızman bölgesinde yetişen genotipin daha yüksek toplam fenolik ve flavanoid madde içeriğine sahip olması Bahukhandi vd. (2018)'nin sonuçlarıyla paralellik göstermektedir. Ancak iki genotipin antioksidan aktivite değerleri arasında bir farklılık belirlenmemiştir.

Tablo 1. Genotiplerin bazı biyoaktif bileşen içerikleri ile antioksidan aktivite değerleri
Table 1. Some bioactive component contents and antioxidant activity values of genotypes

	Toplam Fenolik Madde (mg/100 g)	Toplam Flavonoid Madde (mg/100g)	ABTS (%)	DPPH (%)	FRAP ($\mu\text{mol Fe II/g}$)
Kağızman	93.66 \pm 0.32a	15.87 \pm 1.28a	66.86 \pm 0.77a	70.97 \pm 3.73a	870.81 \pm 1.57a
Ahıska	76.99 \pm 1.62b	10.89 \pm 1.07b	60.93 \pm 0.84a	72.57 \pm 2.34a	874.45 \pm 0.91a

Uzun elma genotiplerinin antibakteriyel aktivite değerleri Tablo 2'de verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde her iki genotipin ekstraktında da sadece *Escherichia coli* ATCC 8739'ye karşı antibakteriyel etki tespit edilmiş, bunun dışındaki test bakterileri için etki belirlenememiştir. Kılınç vd. (2018) yeşil ve kırmızı elma kabuklarının *Escherichia coli* ATCC 25922, *Salmonella thyphimurium* CCM 5445, *Bacillus cereus* ATCC 7064, *Enterococcus faecalis* ATCC 29212, *Staphylococcus aureus* ATCC 25923, *Staphylococcus epidermidis* ATCC 12228 ve *Candida albicans* ATCC 10239'a karşı farklı oranlarda antimikrobiyal aktiviteye sahip olduğunu

bildirmişlerdir. Araştırmacılar yeşil elma örneklerinin MİK değerlerinin 31.2 ile 250 mg/ml, kırmızı elma örneklerinin 62.5 ile 250 mg/ml aralığında olduğu bildirmişlerdir. Erbil vd. (2020) çalışmaları elma genotiplerinin MİK değerini en yüksek 21.52 mg/ml olarak belirlemişlerdir. Yine Alberto vd. (2006) elma kabuklarının *Escherichia coli* ATCC 25922, *Escherichia coli* ATCC 35218, *Staphylococcus aureus* ATCC 25923, *Staphylococcus aureus* ATCC 29213, *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27853, *Enterococcus faecalis* ATCC 29212 ve *Listeria monocytogenes*'e karşı antimikrobiyal aktiviteye sahip olduğunu bildirmişlerdir.

Tablo 2. Genotiplerin antibakteriyel aktivite değerleri
Table 2. Antibacterial activity values of genotypes

Bakteri	Kağızman		Ahıska	
	MİK (mg/ml)	MTC (mg/ml)	MİK (mg/ml)	MTC (mg/ml)
<i>Bacillus subtilis</i> subsp. <i>spizizenii</i> ATCC 6633	>2.7*	>2.7	>4**	>4
<i>Bacillus licheniformis</i> ATCC 14580	>2.7	>2.7	>4	>4
<i>Escherichia coli</i> ATCC 8739	1.35	0.675	1	0.5
<i>Klebsiella pneumoniae</i> ATCC 33495	>2.7	>2.7	>4	>4
<i>Enterobacter aerogenes</i> ATCC 13048	>2.7	>2.7	>4	>4

Uzun elma genotiplerinin mutajenik etki değerleri Tablo 3'te verilmiştir. Genotiplerin ekastraktlarının mutajenite denemeleri *Salmonella thyphimurium* TA 98 ve TA100 suşu üzerinde

araştırılmıştır. Yapılan ön deneme sonuçlarına göre belirlenen 4 farklı konsantrasyon (10, 20, 40,80 $\mu\text{l/plak}$) kullanılmıştır. Günümüzde tüketiciler doğal antioksidan kaynağı olarak bitkilere

yönelmektedir ancak bitkiler in sahip olduğu bazı fitokimyasallar belirli bir dozun üzerinde toksik etki gösterebilmektedir (Wan-Ibrahim vd., 2010). Bu bakımdan bitkisel materyallerin mutajenik aktivitelerinin bilinmesi önemlidir. Çalışmada ekstraktların denenen dozlarında TA98 ve TA100 suşlarında mutajen etki bulunmamıştır. Erbil vd.

(2020) Ardahan ilinde yetişen 8 elma genotipinin meyve ekstraktlarının hiçbir dozunun *S. typhimurium* TA 98 ve TA100 suşları üzerinde antimutajenik etki göstermediğini, Karanfil genotipinin 10, 20, 40µL/plate ve Mahara genotipinin 80 µL/plate dozlarının ise mutajenik olabileceği bildirilmiştir.

Tablo 3. Genotiplerin mutajenik etki değerleri
Table 3. Mutagenic affect values of genotypes

	Kağızman		Ahıska	
	TA98	TA100	TA98	TA100
Kontrol	19.00 ± 2.65	116.0 ± 12.5	19.00 ± 2.65	116.0 ± 12.5
PK	6329 ± 444	3969 ± 220	6329 ± 444	3969 ± 220
10	11.33 ± 1.76	82.33 ± 1.33	18.67 ± 2.85	111.7 ± 13.0
20	21.00 ± 4.93	108.67 ± 2.60	19.00 ± 2.00	120.7 ± 13.6
40	15.67 ± 1.20	126.33 ± 8.19	17.667 ± 0.333	120.0 ± 14.3
80	13.00 ± 2.00	96.0 ± 15.4	20.33 ± 1.45	135.33 ± 3.18

*: kontrol ile aradaki fark önemlidir. PK: Pozitif Kontrol

4. Sonuçlar

4. Conclusions

Sonuç olarak Kağızman ve Ahıska bölgelerinden alınan uzun elma genotiplerinde fenolik maddeler gibi sağlığı olumlu yönde etkileyen fitokimyasalların yüksek düzeyde olduğu saptanmıştır. Bu maddeler aynı zamanda antioksidan ve antimikrobiyal potansiyele de sahiptirler. Genotiplerin antioksidan aktivite değerleri de yüksek düzeydedir. Kağızman bölgesinde yetiştirilen Uzun elma genotipinin toplam fenolik madde ve toplam flavonoid içeriğinin, Ahıska bölgesinde yetişene kıyasla daha yüksek olduğu, antioksidan aktivite bakımından ise yetiştiricilik yapılan bölgenin bir etkisinin olmadığı tespit edilmiştir. Ekstraktların çalışmada kullanılan test bakterilerinden sadece *Escherichia coli* ATCC 8739'ye karşı antibakteriyel etki gösterdiği belirlenmiştir. Genotiplerin hiçbir dozunun TA 98 ve TA 100 suşlarına karşı mutajenik aktivite göstermemesi de önemlidir.

Elma özellikle ülkemizde en çok tercih edilen meyve türlerindedir. Ülkemizin hemen her bölgesinde birçok farklı ekolojik koşulda yetişebilen çok sayıda elma genotipi bulunmaktadır. Kağızman bölgesinde yetişen coğrafi işarete sahip Uzun elma genotipi de özellikle morfolojik olarak diğer genotiplerden farklılığıyla dikkat çekmektedir. Elde edilen bulgular Uzun elmanın üretim ve tüketiminin artmasını teşvik edecektir. Bu çalışma genotipin biyolojik özelliklerinin incelendiği ilk çalışmadır. Ancak genotiple ilgili daha ayrıntılı düzeyde çalışmalar yapılması hem besinsel potansiyelinin

daha iyi anlaşılması hem de tanınırlığının artırılması bakımından önemlidir.

Yazar katkısı

Author contribution

Araştırmadaki biyokimyasal analizler Zehra Tuğba Murathan, antibakteriyel analizler Nurcan Erbil ve mutajenik etki testleri Mehmet Arslan tarafından gerçekleştirilmiştir. Verilerin istatistiksel analizleri, yorumlanması ve makalenin yazımında üç yazar eşit oranda katkı sağlamıştır.

Etik beyanı

Declaration of etichal code

Bu makalenin yazarları, bu çalışmada kullanılan materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve / veya yasal-özel izin gerektirmediğini beyan etmektedir.

Çıkar çatışması beyanı

Conflicts of interest

Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Kaynaklar

References

Abacı, Z. T. & Sevindik, E. (2014). Ardahan bölgesinde yetiştirilen elma çeşitlerinin biyoaktif bileşiklerinin ve toplam antioksidan kapasitesinin belirlenmesi. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi*, 24(2), 175-184.

- Abbasoğlu, U., Tosun, F. & Aydınoğlu, A. (1995). Antimicrobial activity of *Gonocytisus angulatus* (L.) Spach. *FABAD Journal of Pharmaceutical Sciences*, 20, 125-127.
- Alberto, M. R., Rinsdahl Canavosio, M. A. & Manca de Nadra, M. C. (2006). Antimicrobial effect of polyphenols from apple skins on human bacterial pathogens. *Electronic Journal of Biotechnology*, 9(3), 205-209. <https://doi.org/10.2225/vol9-issue3-fulltext-1>
- Anonim (2021). Anadolu Ajansı (2021, 16 Haziran) Erişim adresi <https://www.aa.com.tr/tr/turkiye/tescilli-uzun-elma-pazara-indi-/1597075>.
- Aslantaş, R. & Karabulut, H. (2007). Rakımın meyve yetiştiriciliğinde önemi ve etkileri. *Alnteri Zirai Bilimler Dergisi*, 12, 31-37.
- Bahukhandi, A., Dhyani, P., Bhatt, I. D. & Rawal, R. S. (2018). Variation in polyphenolics and antioxidant activity of traditional apple cultivars from West Himalaya, Uttarakhand. *Horticultural Plant Journal*, 4(4), 151-157. <https://doi.org/10.1016/j.hpj.2018.05.001>
- Bakhshi, D. & Arakawa, O. (2006). Effects of UV-b irradiation on phenolic compound accumulation and antioxidant activity in 'Jonathan' apple influenced by bagging, temperature and maturation. *Journal of Food Agriculture and Environment*, 4(1), 75-79. <https://doi.org/10.1234/4.2006.698>
- Balık, S. (2016). *Kağızman yöresinde yetiştirilen 'uzun elma' yerel çeşidinde klon seleksiyonu*. Yüksek Lisans Tezi, Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Iğdır.
- Benvenuti, S., Pellati, F., Melegar, M. & Bertelli, D. (2004). Polyphenols, anthocyanins, ascorbic acid and radical scavenging activity of *Rubus*, *Ribes* and *Aronia*. *Journal of Food Science*, 69, 164-169. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2004.tb13352.x>
- Benzie, I. F. F. & Strain, J. J. (1996). The ferric reducing Ability of plasma (FRAB) as a measure of "Antioxidant power": The FRAB assay. *Analytic Biochemistry*, 239, 70-76. <https://doi.org/10.1006/abio.1996.0292>
- Boyer J. & Liu R. H. (2004). Apple phytochemicals and their health benefits. *Nutrition Journal*, 3, 5-20. <https://doi.org/10.1186/1475-2891-3-5>
- Drogoudi, P. D. & Pantelidis, G. (2011). Effects of position on canopy and harvest time on fruit physico chemical and antioxidant properties in different apple cultivars. *Scientia Horticulturae*, 129, 752-760. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2011.05.036>
- Duda-Chodak, A., Tarko, T. & Tuszyński, T. (2011). Antioxidant activity of apples an impact of maturity stage and fruit part. *Acta scientiarum polonorum. Technologia alimentaria*, 10(4), 443-454.
- Duda-Chodak, A., Tarko, T., Satora, P., Sroka, P. & Tuszyński, T. (2010). The profile of polyphenols and antioxidant properties of selected apple cultivars grown in Poland. *Journal of Fruit Ornamental Plant Research*, 18(2), 39-50.
- Erbil, N., Arslan, M., Murathan, Z. T., Ilcim, A. & Borekci, B. S. (2020). Some biological effects of the fruits and leaves of different apple cultivars, including red-fleshed apples, grown in a microclimatic region of Turkey: Part I. *Erwerbs-Obstbau*, 62(4), 399-410. <https://doi.org/10.1007/s10341-020-00527-5>
- Erbil, N., Murathan, Z. T., Arslan, M., Ilcim, A. & Sayin, B. (2018). Antimicrobial, antioxidant, and antimutagenic activities of five Turkish pear cultivars. *Erwerbs-Obstbau*, 60(3), 203-209. <https://doi.org/10.1007/S10341-017-0359-1>
- Erkmen, O. (2016). Laboratory Techniques in Microbiology. *Nobel Academic Publishing Education Consultancy*, Ankara, Turkey.
- FAO Statical Databases. (2021, 17 Haziran). Erişim adres: <http://faostat.fao.org>.
- Giomaro, G., Karioti, A., Bilia, A.R., Bucchini, A., Giamperi, L., Ricci, D. & Fraternali, D. (2014). Polyphenols profile and antioxidant activity of skin and pulp of a rare apple from Marche region (Italy). *Chemistry Central Journal*, 8, 45. <https://doi.org/10.1186/1752-153X-8-45>
- Güleryüz, M. & Ercişli, S. (1995). Kağızman ilçesinde yetiştirilen mahalli elma çeşitleri üzerinde biyolojik ve pomolojik araştırmalar. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 26(2), 183-193.
- Jin, W. L., Eun, J. M., Ji, E.C., Yang, H. J., Hari, J., Ji, Y. J., Qinghao, J., Hee, N. C., Bang, Y. H. & Mi, K. L. (2016). Effect of Korean Red Ginseng extraction conditions on antioxidant activity, extraction yield, and ginsenoside Rg1 and phenolic content: optimization using response surface methodology. *Journal of Ginseng Research*, 40, 229-236. <https://doi.org/10.1016/j.jgr.2015.08.001>
- Kılınç, B., Yalçın, H. T. & Sürengil, G. (2018). Meyve kabuklarının antimikrobiyal özellikleri ile yenilebilir film üretiminde kullanım potansiyelinin belirlenmesi. *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi*, 8(1), 144-157.

- Koday, Z. (2004). Kağızman ilçesinde meyvecilik. *Doğu Coğrafya Dergisi*, 9(12), 189-206.
- Lee, C. Y. & Smith, N. L. (2000). Apples: an important source of antioxidants in the American diet. *New York Fruit Quarterly*, 8(2), 15-17.
- Lotito, S. & Frei, B. (2004). Relevance of apple polyphenols as antioxidants in human plasma: contrasting in vitro and in vivo effects. *Free Radical Biology & Medicine* 36, 201-211. <https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2003.10.005>
- Macit, İ., Aydın, E., Tas, A. & Gundogdu, M. (2021). Fruit quality properties of the local apple varieties of Anatolia. *Sustainability*, 13(11), 6127. <https://doi.org/10.3390/su13116127>
- Maron, D. M. & Ames, B. N. (1983). Revised methods for the *Salmonella* mutagenicity test. *Mutation Research*, 113, 173-215. [https://doi.org/10.1016/0165-1161\(83\)90010-9](https://doi.org/10.1016/0165-1161(83)90010-9)
- Podsędek, A., Wilska-Jeszka, J., Anders, B. & Markowski, J. (2000). Compositional characterization of some apple varieties. *European Journal of Food Research and Technologies*, 210, 368-372. <https://doi.org/10.1007/s002179900101>
- Quettier-Deleu, C., Gressier, B., Vasseur, J., Dine, T., Brunet, J., Luyck, M., Cazin, M., Cazin, J. C., Bailleul, F. & Trotin, F. (2000). Phenolic compounds and antioxidant activities of buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) hulls and flour. *Journal of Ethnopharmacology*, 72, 35-40. [https://doi.org/10.1016/S0378-8741\(00\)00196-3](https://doi.org/10.1016/S0378-8741(00)00196-3)
- Quitral, V., Sepúlveda, M. & Schwartz, M. (2013). Antioxidant capacity and total polyphenol content in different apple varieties cultivated in Chile. *Revista Iberoamericana Tecnología Postcosecha*, 14, 31-39.
- Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M. & Rice-Evans, C. (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology & Medicine*, 26, 1231-1237. [https://doi.org/10.1016/S0891-5849\(98\)00315-3](https://doi.org/10.1016/S0891-5849(98)00315-3)
- Rop, O., Jurikova, T., Sochor, J., Mlcek, J. & Kramarova, D. (2011). Antioxidant capacity, scavenging radical activity and selected chemical composition of native apple cultivars from central europe. *Journal of Food Quality*, 34, 187-194. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4557.2011.00387.x>
- Spanos, G. A. & Wrolstad, R. E. (1992). Phenolic of apple, pear and white grape juices and their changes with processing and storage. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 40(9), 1478-1487. <https://doi.org/10.1021/jf00021a002>
- Türkiye İstatistik Kurumu (TUIK). (2021, 17 Haziran). Erişim adresi <http://www.tuik.gov.tr>.
- Uysal, N. E. (2011). *Determination of antibacterial activities of Taraxacum farinosum Hausskn. Et Bornm. and Taraxacum mirabile Wagenitz extracts*. Master Thesis, Selçuk University, Institute of Sciences, Konya, Turkey.
- Wan-Ibrahim, W. I., Sidik, K. & Kuppasamy, U. R. (2010). A high antioxidant level in edible plants is associated with genotoxic properties. *Food Chemistry*, 122(4), 1139-1144. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.03.101>
- Yoshizawa, Y., Sakurai, K., Kawaii, S., Asari, M., Soejima, J. & Murofushi, N. (2005). Comparison of antiproliferative and antioxidant properties among nineteen apple cultivars. *HortScience*, 40(5), 1204-1207. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.40.5.1204>

Basınçlı döküm prosesinde iki farklı soğutma kanallı kalıpların döküm-kalıp arayüzey ısı transfer katsayısının nümerik olarak incelenmesi

Numerical investigation of casting-mold interfacial heat transfer coefficient of molds with two different cooling channels in pressure casting process

Mehmet KAN^{*1,a}, Murat KORU^{2,b} Osman İPEK^{1,c}

¹Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 32260, Isparta

²Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 32200, Isparta

• Geliş tarihi / Received: 26.08.2021

• Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 09.12.2021

• Kabul tarihi / Accepted: 18.12.2021

Öz

Basınçlı dökümde, döküm-kalıp arayüzey ısı transfer katsayısı (AITK) kalıp ve dökümü yapılan parçada meydana gelen yapısal değişimler ile katılma hızını etkileyen önemli unsurdur. AITK, döküm-kalıp arasında meydana gelen ısı transferi, katılma hızı, ergiyik metal ve kalıp sıcaklıkları, döküm ve kalıp malzemesi gibi birçok faktörlerden bağlı olarak değişim gösterir. Bu çalışmada, basınçlı döküm prosesinde klasik soğutma kanallı metal kalıp ile özgün soğutma kanallı metal kalıp için döküm-kalıp AITK'nın zamana bağlı değişimi nümerik olarak incelenmiştir. Basınçlı döküm prosesinde; döküm malzemesi olarak Al6061 alüminyum alaşımı kullanılacak metal kalıplar için AITK, sıcaklık dağılımı ve ısı transferi bakımından karşılaştırılması yapılmıştır. 0.5-10 s zaman aralığında yapılan analizlerde bu kalıplar ile ergiyik metal arasındaki AITK ve sıcaklıklar hesaplanmıştır. Özgün soğutma kanallı kalıpta klasik soğutma kanallı kalıba göre 1.33 kat daha iyi sıcaklık düşüşü gerçekleşmiştir. Özgün soğutma kanallı kalıpta klasik soğutma kanallı kalıba kıyasla 2.23 kat daha iyi ısı transfer katsayısı olduğu hesaplanmıştır. Sonuç olarak; özgün soğutma kanallı kalıpta AITK, sıcaklık dağılımı ve ısı transferinin daha iyi olduğu gözlemlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Arayüzey ısı transfer katsayısı, Basınçlı döküm, HAD, Kalıp

Abstract

In the pressure casting, the casting-mold interface heat transfer coefficient (IHTC) is a significant element affecting the solidification rate with the structural changes occurring in the mold and the part being cast. IHTC varies depending on many factors such as heat transfer between molten metal and mold, solidification rate, casting and mold temperatures, casting, and mold material. In this study, the time-dependent variety of IHTC of casting for a conventional cooling channel metal mold and an original cooling channel metal mold in the pressure casting process was numerically investigated. In the pressure casting process, IHTC for metal molds using Al6061 aluminum alloy as casting material was compared in terms of temperature distribution and heat transfer. The IHTC and temperatures between these molds and the molten metal were calculated in the analyzes made in the 0.5-10 s time interval. In the original cooling channel mold, the temperature drop was 1.33 times better than the conventional cooling channel mold. It has been calculated that the original cooling channel mold has a 2.23 times better heat transfer coefficient compared to the conventional cooling channel mold. As a result, it was observed that IHTC, temperature distribution and heat transfer were better in the original cooling channel mold.

Keywords: Interface heat transfer coefficient, High pressure casting, CFD, Mold

*a Mehmet KAN; mehmetkan@sdu.edu.tr, Tel: (0539) 587 53 67, orcid.org/0000-0001-7336-1489

^b orcid.org/0000-0002-7069-1615

^c orcid.org/0000-0002-6949-645X

1. Giriş

1. Introduction

Basınçlı döküm prosesinde döküm işlemi, ergiyik metalin yüksek basınç etkisinde kalıbı doldurduktan sonra ergiyik metalin katılaşmasıyla gerçekleştirilir. Sıvı metal kalıp boşluğunu doldurmasıyla ergiyik metal ile kalıp arasında ısı transferi meydana gelmektedir. Kalıp ve döküm malzemesi arasında meydana gelen ısı transferi sonucunda döküm-kalıp arayüzeyinde ısıl temas direnci oluşur. Taşınım ısı transfer katsayısına benzeyen (h_c) büyüklüğü olarak ifade edilen bu direnç, ısı transferini ve katılaşma hızını etki eder. Isı transfer katsayısı zamana bağlı değişim gösterdiğinden dolayı döküm-kalıp arasında meydana gelen ısı transferinde ısıl temas direncinin belirlenmesi oldukça güçtür. Isıl temas direnci kalıp ve döküm prosesleri için önemli bir parametredir.

Son zamanlarda, döküm işlemi ve kalıp tasarımına yönelik döküm optimizasyon çalışmalarında simülasyon programlarının kullanımı yaygınlaşmıştır. Birçok endüstriyel döküm işlemlerinde kalıp ve döküm tasarım simülasyonları öncelikle bilgisayar ortamında yapılarak üretimde meydana gelecek hatalar indirgenmeye çalışılmaktadır. Döküm simülasyon çalışmalarında döküm-kalıp AITK, katılaşma sürecinin irdelenmesi ve döküm optimizasyon bakımından oldukça önemlidir. Döküm-kalıp AITK'nın belirlenmesi, ergiyik metal ile kalıp arasında meydana gelen ısı transferine, kalıp ve döküm malzemesinin termofiziksel özelliklerine, kalıp-döküm sıcaklıklarına bağlı olarak değişmektedir. Katılaşma sürecinde katılaşan ergiyik metalin özgül ve ergime gizli ısısının ısıl temas dirençleriyle etkileşimi sonucu kalıba aktarılır. Katılaşma sürecinde ısı transferinin büyük bölümü iletimle gerçekleşirken, yüksek sıcaklığın etkisiyle ışınım ve taşınım da gerçekleşmektedir (Zhang vd., 2007; Chen, 2003; Akar vd., 2008; Dour vd., 2005; Şahin vd., 2006; Hamasaiid vd., 2010; Michel vd., 1995; Reddy ve Beckermann, 1993; Loulou vd., 1999; Ho, ve Pehlke, 1985)

Basınçlı dökümde, dökümü etkileyen faktörler ve döküm-kalıp AITK ile ilgili çalışmalar yapılmıştır. Farklı kalıplara döküm işleminde ve çeşitli alaşımlarında ısı transferi üzerinde kalıp sıcaklığının etkisini incelemiştir. Isı transferinin ve kalıp sıcaklığının artması ile AITK arttığını gözlemlemişlerdir (Hallam ve Griffiths 2004; Bouchard vd., 2009; Gozlan ve Bamberger, 1987; Sabau ve Wu, 2007; Taha vd, 2001; Arunkumar vd., 2008; Coates ve Argyropoulos, 2007). Ergiyik

metalin kalıba dökülmesiyle; kalıbın yüzey pürüzlülüğü, proses basıncı, ergiyik metalin döküm hızı, kalıp ve döküm sıcaklığının etkisiyle AITK'nın etkilendiğini söylemişlerdir. Ergiyik metalin kalıba temas ettiği alanlarda aşırı soğumasından dolayı AITK'nın azaldığı bildirilmiştir (Akar vd., 2013; Srinivasan, 1982; İpek ve Koru, 2011; Dong vd., 2011; Ikhchy vd., 2012). Basınçlı dökümde, kalıp döküm işleminden önce ön ısıtma işlemine tabi tutulmaktadır. Döküm başladıktan sonra, ergiyik sıcaklığının etkisiyle kalıbın sıcaklığı artmaya devam eder. Döküm sırasında kalıp sıcaklığı sabit olmamaktadır. Bu yüzden kalıbın sıcaklığını belli bir sıcaklık değerlerinde tutmak için kalıp soğutma sistemi kullanılmaktadır. Soğutma sistemiyle hem kalıp soğutulmakta hem de ergiyik metalin katılaşması gözlemlenmektedir. Yaptıkları soğutma sistemleriyle kalıbın sıcaklık dağılımını, katılaşma hızını, soğuma sürecini ve meydana gelen ısı transferini incelemişlerdir (Santos vd., 2004; Garza vd., 2003; Gafur vd., 2003; Durat vd., 2006; Christy vd., 2010; Silva vd., 2011).

Bu araştırmalar dikkate alınarak yapılan bu çalışmada, klasik soğutma kanallı kalıp ve özgün soğutma kanallı kalıp için, farklı zaman aralıklarına göre AITK'nın belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla; döküm ve kalıp malzemesi olarak Al6061 alüminyum alaşımı ve H13 çeliği seçilmiştir. Çalışmada, ergiyik metalin sıcaklığı 973 K, kalıbın sıcaklığı 543 K olarak alınmıştır. Ayrıca soğutma sıvısı olarak ısı transfer yağı kullanılmıştır. Basınçlı dökümde, döküm-kalıp AITK'nın zamana bağlı değişimi nümerik olarak incelenmiş ve kalıp ısı transfer mekanizmaları belirlenmiştir. 0.5-10 s zaman aralığında yapılan analizlerde bu kalıplar ile ergiyik metal arasındaki AITK ve sıcaklıklar hesaplanmıştır. Sonuç olarak; özgün soğutma kanallı kalıpta AITK, sıcaklık dağılımı ve ısı transferinin daha iyi olduğu gözlemlenmiştir.

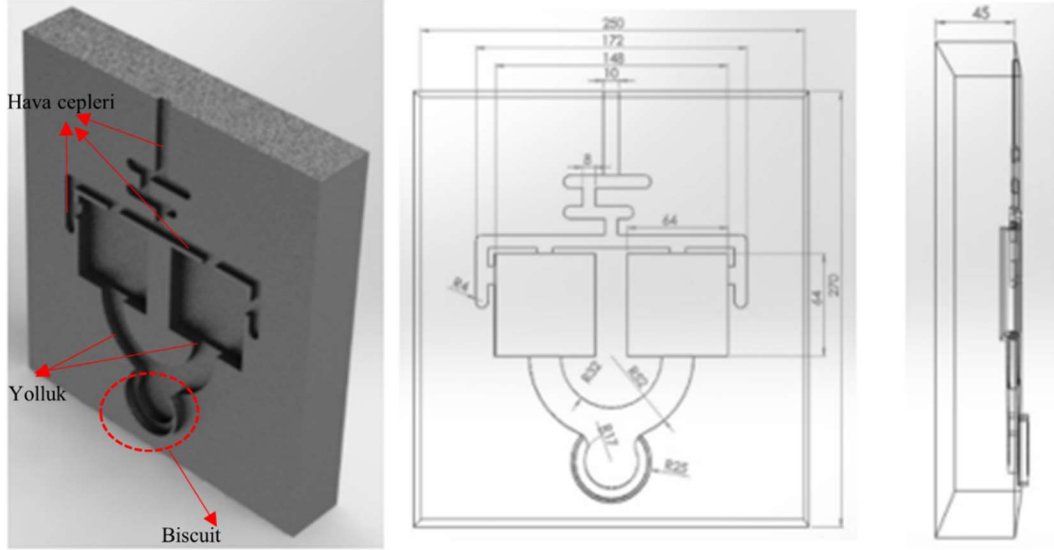
2. Materyal ve metot

2. Material and method

Döküm esnasında; döküm-kalıp AITK, kalıp içindeki döküm malzemesi ve kalıbın sıcaklık dağılımı, döküm sıcaklığı, kalıp sıcaklığı ve katılaşma sırasındaki sınır şartları gibi parametrelerin uygun şekilde belirlenmesi hem enjeksiyon ürünü kalitesi hem de prosesin performansında etkili olan parametrelerdir. Bu çalışmada, basınçlı döküm prosesinde klasik soğutma kanallı metal kalıp ile özgün soğutma kanallı metal kalıp için döküm-kalıp arayüzey ısı transfer katsayısının zamana bağlı değişimi

nümerik olarak incelenmiştir. Bu amaçla, Al6061 alüminyum alaşımının basınçlı döküm prosesinde kullanılacak metal kalıplar için döküm-kalıp AITK, sıcaklık dağılımı ve ısı transferi nümerik olarak hesaplanmıştır. Şekil 1’de görüldüğü gibi metal kalıbın katı modelinin simetri kalıp parçaları kompakt olarak tasarlanmıştır. Döküm parçası için

optimum soğutma yapılması amacıyla klasik soğutma kanalları tasarlanmıştır. Tasarlanan soğutma kanallarının, ısı transferine etkisi ve ergiyik metalin katılaşması simetri durumundan dolayı kalıbın yarısı için nümerik olarak irdelenmiştir.



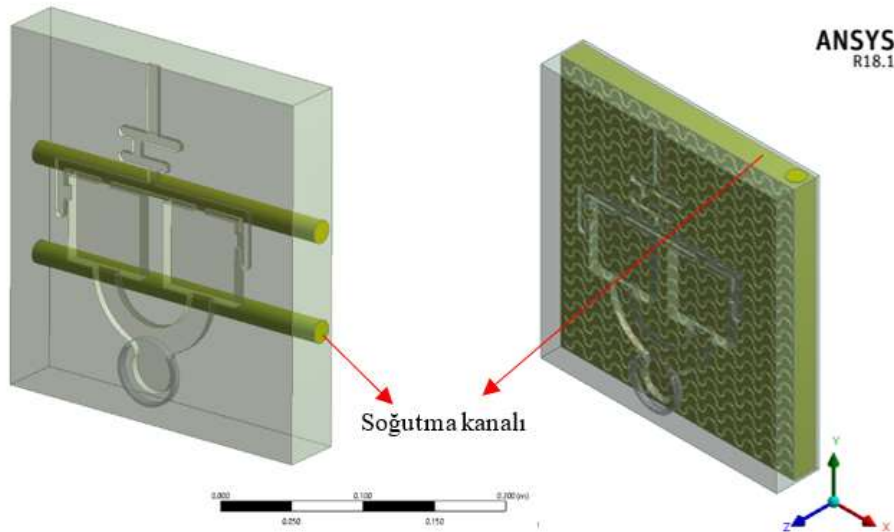
Şekil 1. Metal kalıp 3D çizimi
Figure 1. Metal mold 3D drawing

2.1. Ansys-Fluent yazılımında kullanılan temel denklemler ve analiz çözümlemesindeki metotlar

2.1. Basic equations used in Ansys-Fluent software and methods in analysis analysis

HAD (Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği) analizlerinde sayısal ağ yapısı oluşturulmuştur.

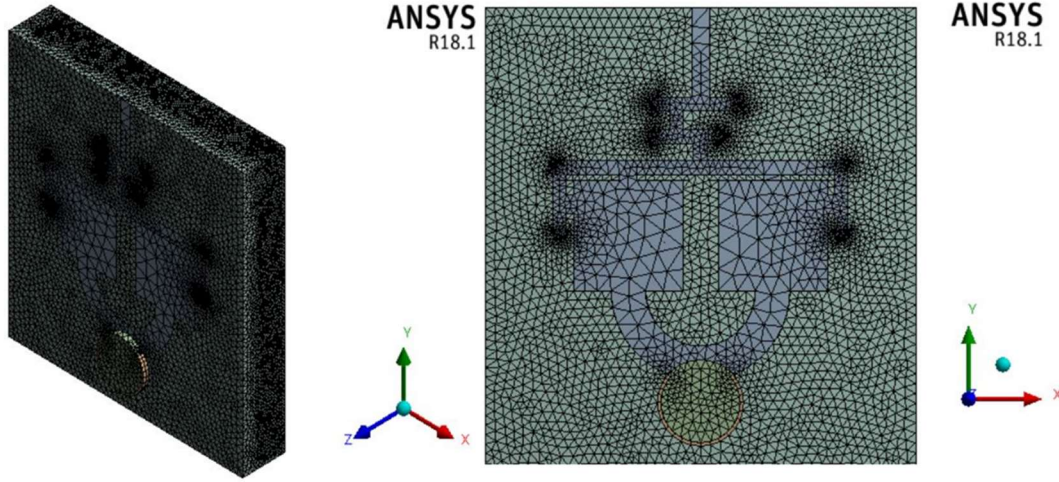
Klasik soğutma kanallı ve özgün soğutma kanallı metal kalıbın akış hacmi ağ modelinde tetrahedral elemanlar kullanılmıştır. Bu modelde ortalama 6541221 eleman, 1449372 adet düğüm noktası bulunmaktadır. Şekil 2’de görüldüğü gibi metal kalıpta dolaşan akışkana ait akış hacmi modeli oluşturulmuştur.



Şekil 2. Soğutma kanalı akış hacmi
Figure 2. Cooling channel flow volume

Yapılan bu tasarım için Şekil 3'te verilen ağ yapısına göre CFD analizleri soğutma kanalı ısıl ve

hidrodinamik davranışı için Ansys-Fluent yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3. Kalıpların ağ yapısı
Figure 3. Network structure of the molds

Sonlu hacimler metoduna dayanan bu yöntemde Ansys-Fluent veya diğer simülasyon programları kullanılmaktadır. Programlardan alınan ağ yapısı dosyalarına sınır şartları ve parametreler uygulanarak sistemin çözümü yapılmaktadır. Sayısal çalışmada, üç boyutlu ve zamana bağlı kütle korunumu, momentum ve enerji denklemleri kullanılarak analizler gerçekleştirilmektedir. Ansys-Fluent programı, sistemi çözüme ulaştırmak için geri planda aşağıdaki denklemleri kullanmaktadır (Ansys, 2018).

Süreklilik denklemi Denklem 1'de gösterilmiştir.

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{v}) = 0 \quad (1)$$

Momentum denklemi ise Denklem 2'de verilmiştir:

$$S = \frac{(1-\beta)^2}{\beta^3 + \varepsilon} A_{mush} (\vec{v} - \vec{v}_p) \quad (2)$$

Burada β , 0 ile 1 arasında değişmektedir. 0 katı fazı gösterirken 1 sıvı fazı temsil etmektedir. $0 < \beta < 1$ bölgesi ise mushy bölgesi olarak tanımlanmaktadır. Ayrıca A (m^2) alanı ve \vec{v} (m/s) akış hızını ifade etmektedir.

Enerjinin korunumu denklemi (Denklem 3) aşağıda verilmiştir.

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho H) + \nabla \cdot \rho \vec{v} H = \nabla \cdot (k \nabla T) + S \quad (3)$$

Burada; H entalpi (J); ρ yoğunluk (kg/m^3), \vec{v} akış hızı (m/s) ve S_E kaynak terimini (J/m^3s) ifade etmektedir.

Tablo 1'de nümerik hesaplamalarda kullanılan yaklaşımlar belirlenmiştir (Ansys, 2018).

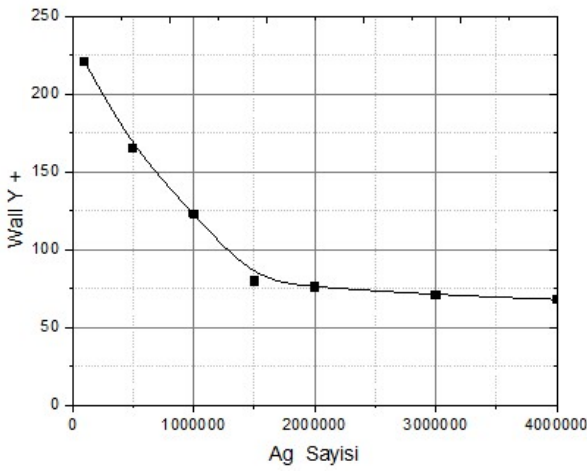
Tablo 1. Nümerik hesaplamalarda kullanılan yaklaşımlar (Ansys, 2018)
Table 1. Approaches used in numerical calculations (Ansys, 2018)

Simülasyon koşulu	Zamana bağlı durum (Transient-state)
Çözücü tipi	Basınca dayalı çözücü
Viskoz model	Standard $k - \varepsilon$ türbülans modeli
Hız-basınç etkileşimi	COUPLED algoritması
Ayrıklaştırma yöntemi	İkinci dereceden merkezi farklar metodu
Basınç, momentum ve enerji denklemleri	İkinci dereceden merkezi farklar metodu
Türbülans kinetik enerji ve türbülans dağılım oranı	İkinci dereceden merkezi farklar metodu
COUPLED (Birleşik) algoritması	Poseido-Transient Explicit (açık) çözüm

Sonlu hacimler ile ilgili yapılan sayısal çalışmalarda düzgün ve kaliteli bir ağ oluşturmak

sonuçların doğruluğu açısından çok önemlidir. Bu yüzden sayısal çalışmalarda ağ kalitesi

aranmaktadır. Ancak analizi yapılan geometrilerin karmaşıklığı arttıkça bu ağ kalitesini elde etmek zorlaşmaktadır. Sayısal çalışmaların doğrulanmasında başvurulan yöntemlerden birisi de ağdan bağımsızlık testleridir. Sayısal çözümlemede ağ sayısı artmasına rağmen sonuç belli bir değerden sonra değişmiyorsa, çözümlemede ağdan bağımsızlık elde edilmektedir. Analizlerde standart duvar fonksiyonları modeli kullanılmıştır. Bu modelde ve türbülanslı akışlarda, sınır tabakası belirlemek için ($30 < Y+ < 300$) aralığında olması beklenmektedir. $Y+$ değerinin 30'a yakın olması beklenmektedir (Ansys, 2018). Şekil 4'te ağ bağımsızlık test grafiği verilmiştir.



Şekil 4. Ağ bağımsızlık test grafiği
Figure 4. Network independence test plot

Ağdan bağımsızlık testleri sırası 7 farklı ağ sayılarında yapılmıştır. Şekil 4'te görüleceği üzere 1449372 düğüm noktasında yapılan çözümlemelerden sonra Wall $Y+$ değerinde çok fazla değişim gözlemlenmemiştir. Bu yüzden bu modelde 6541221 elaman, 1449372 adet düğüm noktası bulunmaktadır.

2.2. Metal kalıbın matematiksel analizi

2.2. Mathematical analysis of metal mold

Yapılan çalışmada; döküm esnasında meydana gelen faz değişimi ve malzeme özellikleri göz önünde bulundurularak, ergiyik metalin katılaşması ve kalıpta meydana gelen ısı transferi için doğrusal olmayan zamana bağlı denklemler kullanılmıştır. Ergiyik metalin kalıba dökümüyle katılaşma ve soğuma süreci boyunca kalıba ısı akışı gerçekleşir. Döküm ve kalıp malzemesinin her ikisinde de ısı akışı arayüzey ve arayüzeyi takip eden ilk düğüm noktalarındaki sıcaklık farkları ($\Delta T = T_K - T_{K-1}$) ile Denklem 4 yardımıyla hesaplanır.

$$\dot{q} = -k \frac{\Delta T}{\Delta l} \quad (4)$$

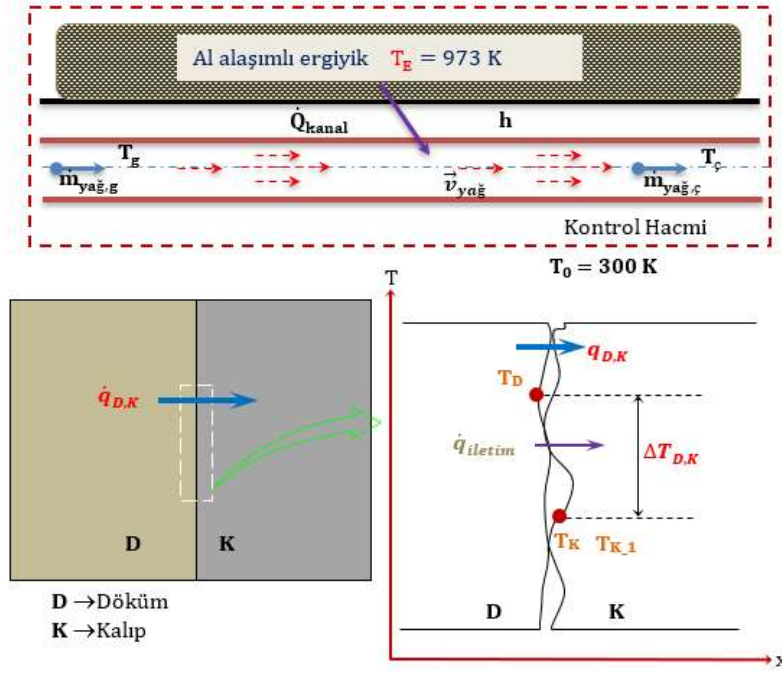
Burada k ısı iletim katsayısı (W/mK), Δl (mm) herhangi bir zaman aralığında iki nokta arasındaki mesafeyi göstermektedir. Daha sonra Denklem 5'ten döküm parça-kalıp AITK hesaplanır.

$$h = \frac{\dot{q}}{T_D - T_K} \quad (5)$$

Burada h AITK (W/m^2K), \dot{q} birim zamanda birim yüzeyden geçen ısı akısı (W/m^2), T_D ve T_K sırası ile dökümün ve kalıbın yüzey sıcaklığıdır (K).

Şekil 5'te Kalıp-döküm malzemesi arayüzeyinde meydana gelen ısı transferi mekanizması gösterilmektedir.

Döküm alaşımı olarak Al6061 alüminyum alaşımı kullanılmıştır. Malzeme özellikleri sıcaklığa dolayısıyla zamana bağlı olarak değiştiği için zamana bağlı analiz yapılmıştır. Hesaplamalarda kullanılan kalıp ve döküm malzemelerinin termodinamik özellikleri Tablo 2'de verilmiştir. Analizlerde kullanılan Al6061 alüminyum alaşımının kimyasal bileşenleri Tablo 3'te verilmiştir. Isı transfer yağının özellikleri Tablo 4'te verilmiştir.



Şekil 5. Kalıp–döküm malzemesi arayüzeyinde meydana gelen ısı transferi mekanizması
Figure 5. The heat transfer mechanism occurring at the mold-cast material interface

Tablo 2. Isı transfer katsayısının hesaplamalarında kullanılan malzemelerin termodinamik özellikleri (Dong vd., 2011)

Table 2. Thermodynamic properties of the materials used in the calculations of the heat transfer coefficient (Dong et al., 2011)

Malzeme	c (J/kgK)	k (W/mK)	ρ (kg/m ³)
H13	435.37+0.2 T	0.00029T-26.85	7866.86-0.3174 T
Al6061	656.35+ 0.8736 T- 0.0004T ²	21.483+ 0.8048 T-0.0007T ²	2514.6+ 0.7597 T- 0.0008T ²

Tablo 3. Al6061 alaşımasının kimyasal bileşenleri (Christy vd., 2010)

Table 3. Chemical components of Al6061 alloy (Christy et al., 2010)

Element	Mg	Fe	Si	Cu	Mn	V	Ti	Al
Ağırlık(%)	1.08	0.17	0.63	0.32	0.52	0.001	0.02	Kal.

Tablo 4. Isı transfer yağının özellikleri (Therminol-XP) (Looser vd.,2014)

Table 4. Properties of heat transfer oil (Therminol-XP) (Looser et al., 2014)

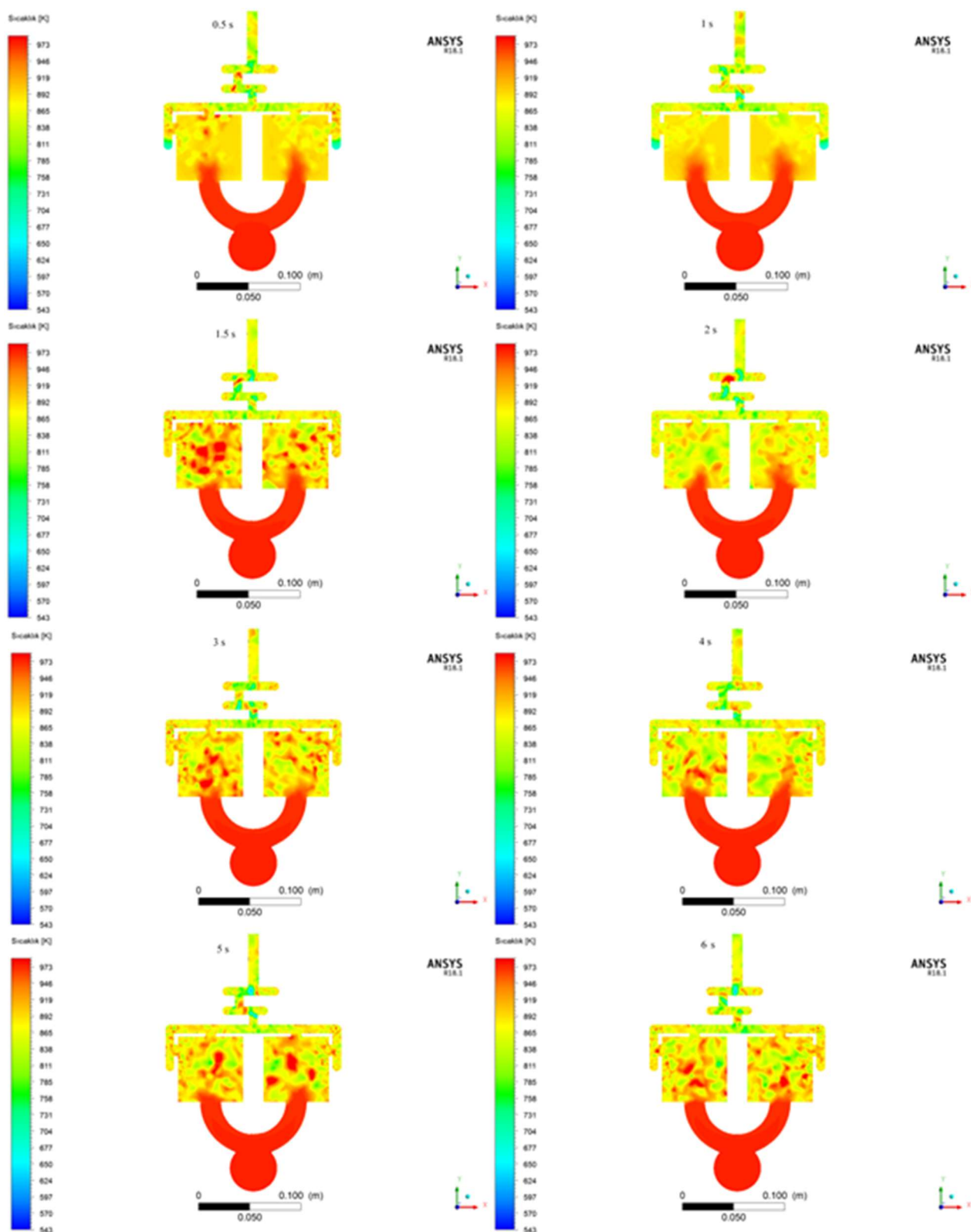
Özgül ısı (kJ/kgK)	Yoğunluk (kg/m ³)	Viskozite (Mpa s)	Isıl İletkenlik (W/mK)	Termal gen. katsayısı (K ⁻¹)	Çalışma Sıcaklığı (K)
1.85	875	22.7	0.124	0.00089	253-600 K

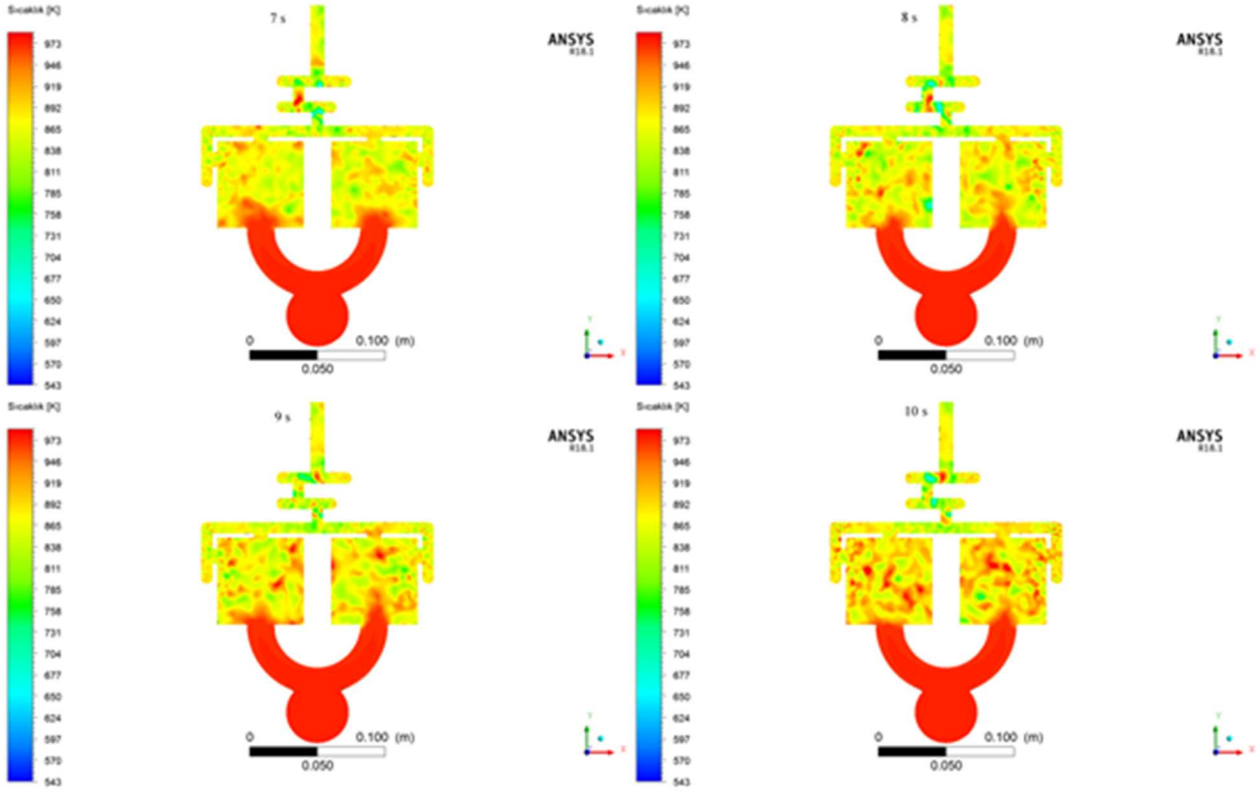
3. Bulgular

3. Results

Yapılan analizler, simetri kompakt kalıbın tamamı için 3 D soğutma kanalı, metal kalıp çekirdeği ve ergiyik metalin sıcaklık dağılımı belirlemek amacıyla zamana bağlı olarak ve 10.s sonuna kadar

yapılmış olup, ergiyik metal katılma hızı da incelenmiştir. Şekil 6’da, klasik soğutma kanalı için dökümden sonraki ilk 0.5 – 10 s aralıklarındaki ergiyik metal boyunca sıcaklık dağılım konturlarının zamana bağlı olan değişimleri verilmiştir.





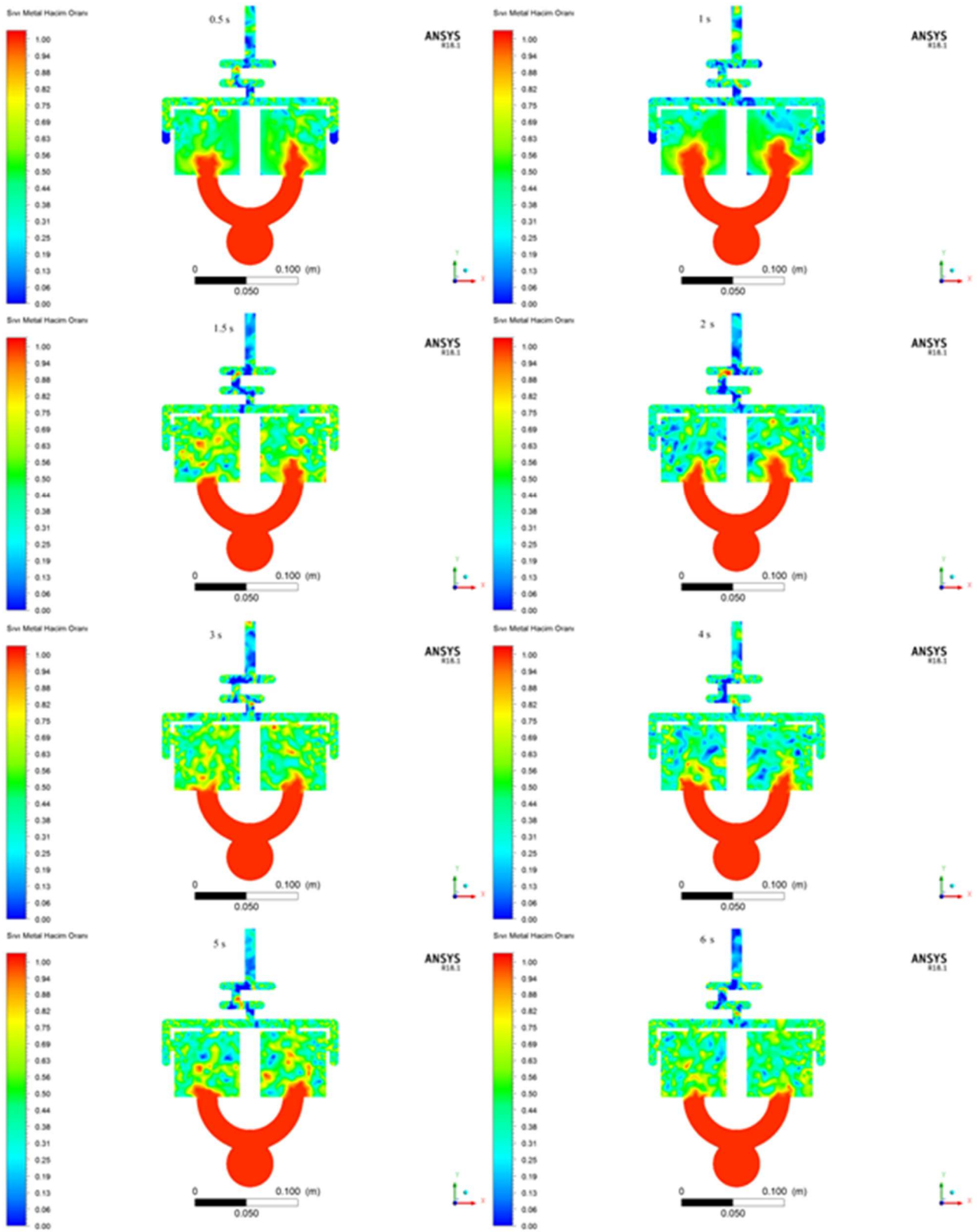
Şekil 6. Klasik soğutma kanalı için zamana bağlı sıcaklık konturları

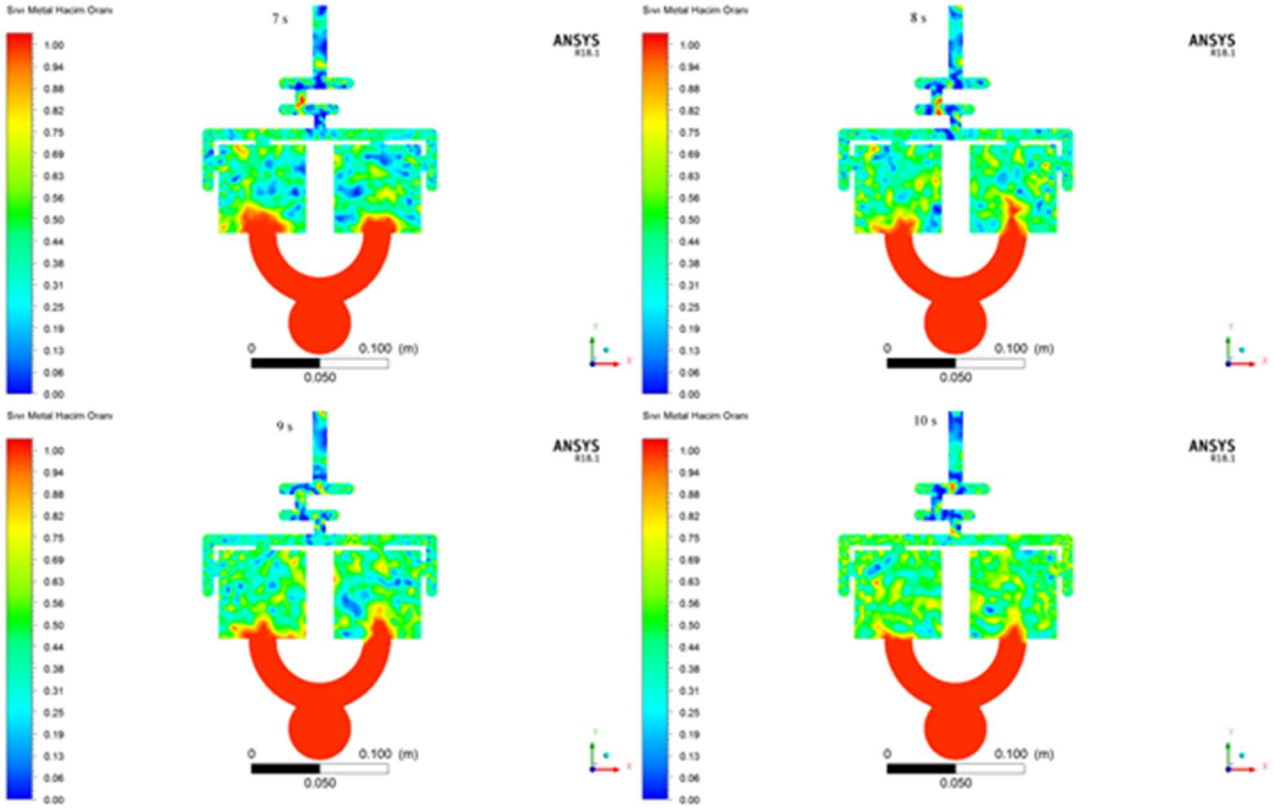
Figure 6. Time-dependent temperature contours for the conventional cooling channel

Şekil 6' dan görüleceği gibi, kalıbın tam olarak soğutulmamasından dolayı ergiyik metalin sıcaklığında çok fazla bir değişim görülmemektedir. Ancak soğutma kanallarının olduğu bölgelerde soğutmanın etkisiyle sıcaklıklarda düşüşler olduğu gözlemlenmiştir. Soğutma işleminin başlamasıyla birlikte metal sıcaklığının zamana bağlı olarak, azaldığı, 2. s'den sonra kalıpta zamana bağlı olarak 811– 643 K

arasında değiştiği görülmektedir. Proses zamanının her 0.5 s'lik artışıyla, kalıptaki sıcaklık ortalama 20 °C düşmüştür.

Şekil 7'de klasik soğutma kanalı için dökümden sonraki ilk 0.5 – 10 s aralıklarındaki ergiyik metalin sıvı hacim oranının zamana bağlı olarak değişim konturlarının verilmiştir.





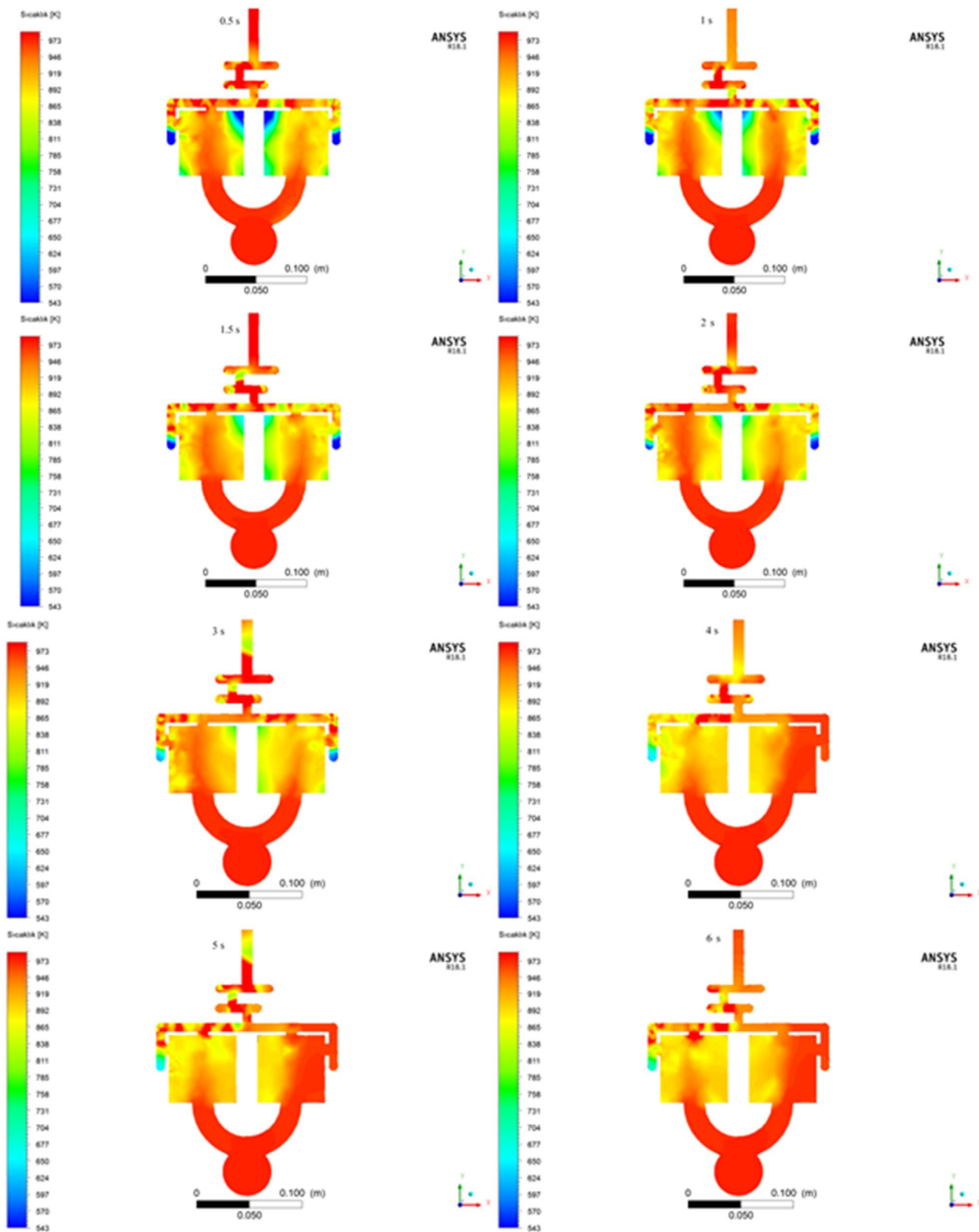
Şekil 7. Klasik soğutma kanalı için zamana bağlı sıvı- hacim oranı konturları

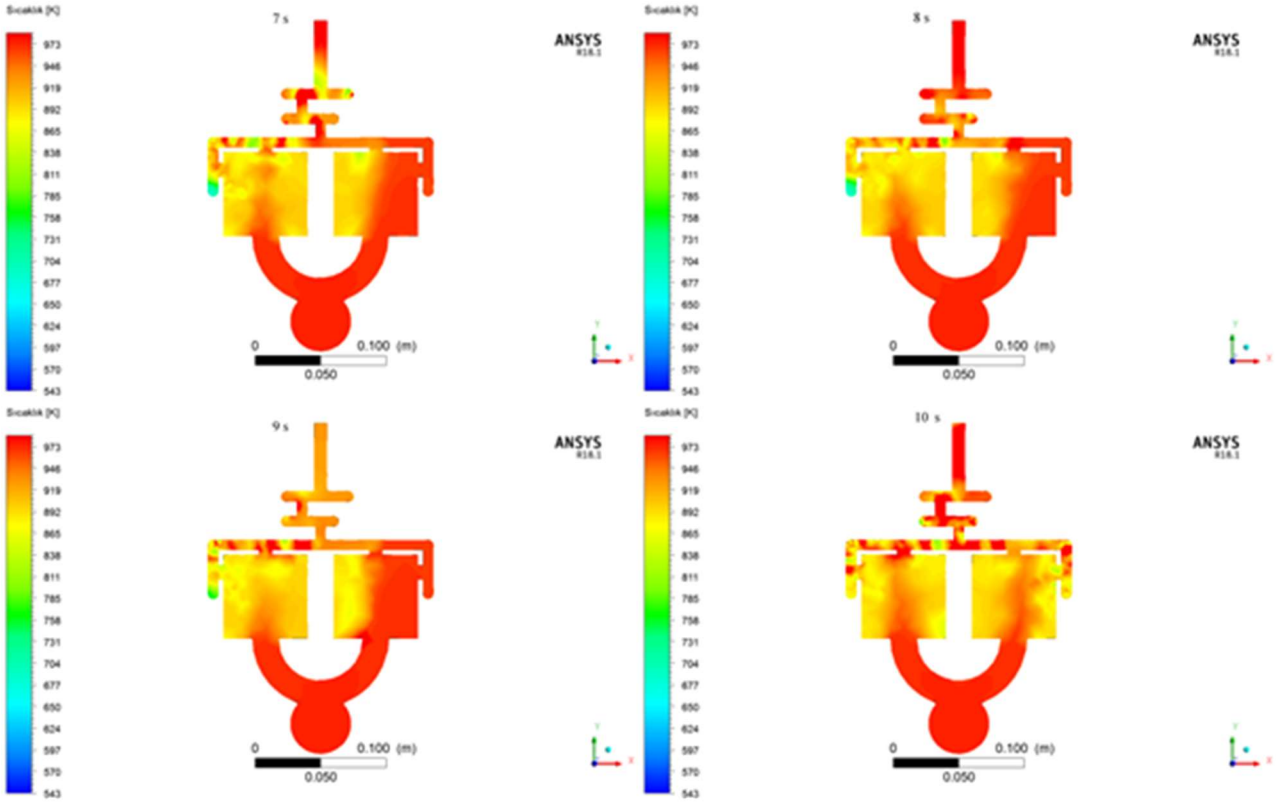
Figure 7. Time-dependent liquid-to-volume ratio contours for the conventional cooling channel

Şekil 7’de klasik soğutma kanalı için dökümden 0.5 -10 s aralıklarına ait ergiyik metal boyunca sıvı hacim oranlarının zamana bağlı olarak değişimleri görülmektedir. Ergiyik metalin tamamen katılaşmasında değer 0 iken sıvı haldeki kısımlarda 1 değerini ifade etmektedir. 0 ile 1 aralığında ise katılaşmanın gerçekleşmediği kısımları göstermektedir. En hızlı soğuma ilk 2. s içerisinde gerçekleşirken sonraki zaman dilimlerinde soğuma hızı kısmen yavaşlamaktadır. Sıcaklık konturlarında olduğu gibi soğutma kanallarının

geçtiği bölgelerde katılaşmanın olduğu gözlemlenmiştir. Buna göre, amaç hızlı soğumayı gerçekleştirmek ise, kalıp üzerinde uygun tasarlanmış soğutma kanallarının kullanılması gerektiği anlaşılmaktadır.

Şekil 8’de, özgün soğutma kanalı için dökümden sonraki ilk 0.5 – 10 s aralıklarındaki ergiyik metal boyunca sıcaklık dağılım konturlarının zamana bağlı olan değişimleri verilmiştir.





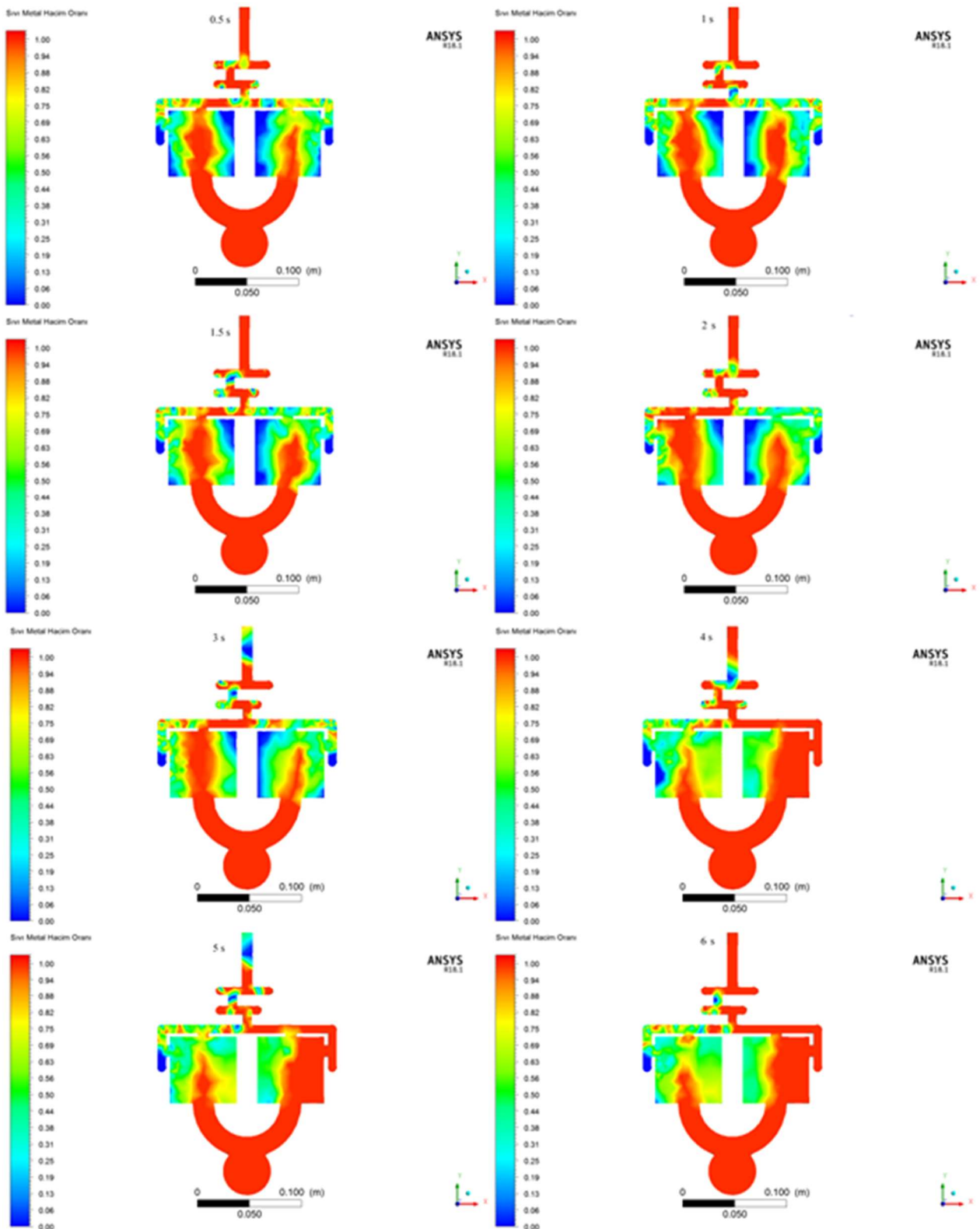
Şekil 8. Özgün soğutma kanalı için zamana bağlı sıcaklık konturları

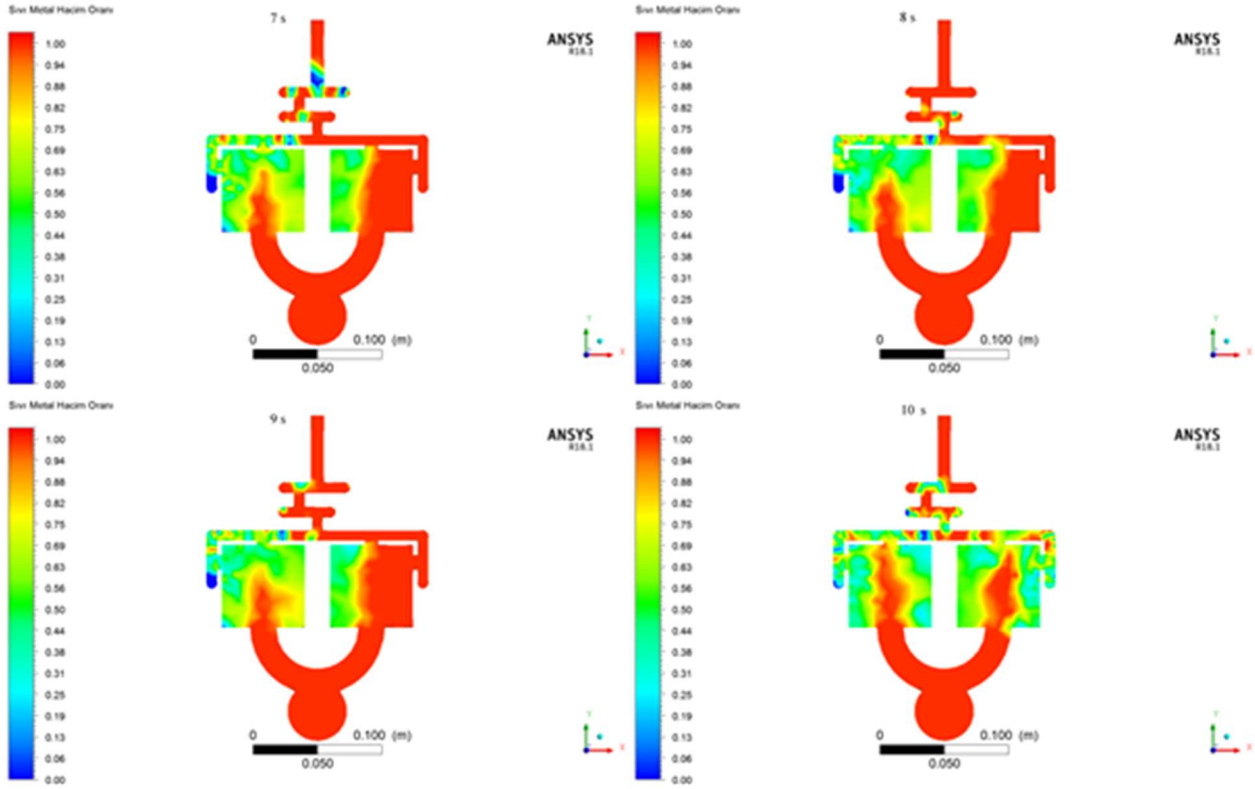
Figure 8. Time-dependent temperature contours for the unique cooling channel

Şekil 8’ den görüleceği gibi, özgün soğutma kanallı kalıpta klasik soğutma kanallı kalıba göre sıcaklık farklılıkları dikkati çekmektedir. Zamana bağlı olarak, soğutmanın yapılmasıyla birlikte sıcaklığın azalmaya başladığı ve homojen dağılım olduğu görülmektedir. Soğutma işleminin başlamasıyla birlikte metal sıcaklığının zamana bağlı olarak, azaldığı, 2. s’den sonra kalıpta zamana bağlı olarak

763– 551 K arasında değiştiği görülmektedir. Proses zamanının her 0.5 s’lik artışıyla, kalıptaki sıcaklık ortalama 30 °C düşmüştür.

Şekil 9’da özgün soğutma kanalı için dökümden sonraki ilk 0.5 – 10 s aralıklarındaki ergiyik metalin sıvı hacim oranının zamana bağlı olarak değişim konturlarının verilmiştir.

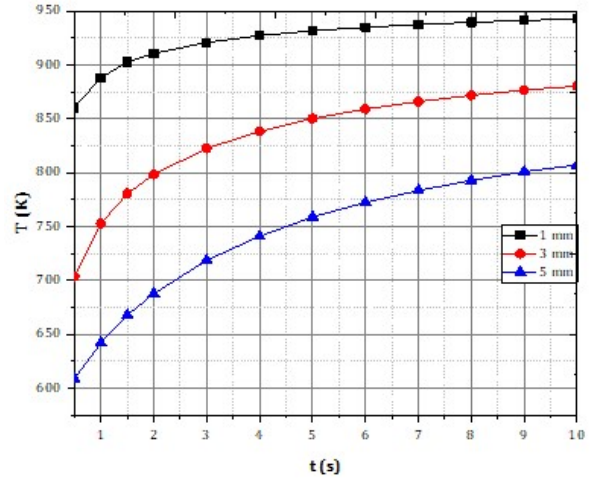




Şekil 9. Özgün soğutma kanalı için zamana bağlı sıvı- hacim oranı konturları
Figure 9. Time-dependent liquid-to-volume ratio contours for a unique cooling channel

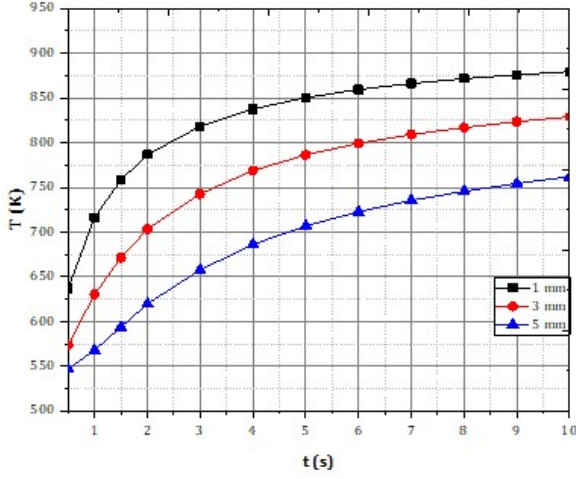
Şekil 9’ dan görüleceği gibi, özgün soğutma kanallı kalıpta klasik soğutma kanallı kalıba göre katılma hızı dikkati çekmektedir. Zamana bağlı olarak, soğutmanın yapılmasıyla birlikte sıcaklığın azalmaya başladığı ve katılmanın daha hızlı olduğu görülmektedir. Soğutma kanallarının etkisiyle en hızlı soğuma ilk 1.5. s içerisinde gerçekleşirken sonraki zaman dilimlerinde soğuma hızı kısmen yavaşlamaktadır. Böylece kalıbı soğutma için harcanan zamanda azalma olduğu gözlemlenmiştir.

Şekil 10’da verilen grafikte klasik soğutma kanallı kalıp sıcaklık dağılımlarının farklı mesafelerdeki karşılaştırılması verilmiştir. Buradaki 1 mm, 3 mm, 5 mm mesafeler biscuit kısmında ergiyük metalin kalıpla temas ettiği noktadan itibaren kalıba doğru olan mesafelerdir.



Şekil 10. Klasik soğutma kanallı kalıbın farklı mesafelerdeki sıcaklık dağılımlarının zamana bağlı karşılaştırılması

Figure 10. Time-dependent comparison of the temperature distributions of the conventional cooling channel mold at different distances

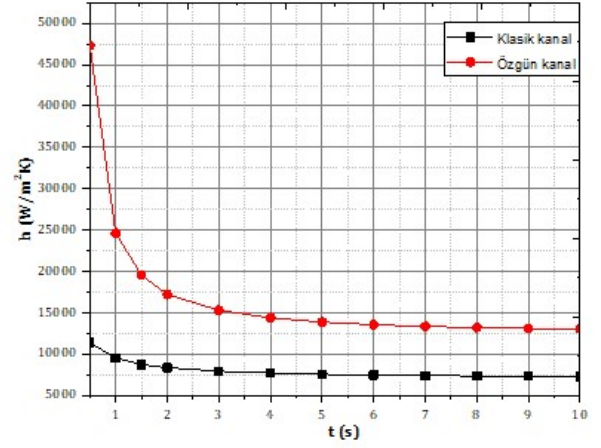


Şekil 11. Özgün soğutma kanallı kalıbın farklı mesafelerdeki sıcaklık dağılımlarının zamana bağlı karşılaştırılması

Figure 11. Time-dependent comparison of temperature distributions at different distances of a unique cooling channel die

Şekil 10'da, klasik soğutma kanallı kalıpta biscuit kısmında ergiyik metalin kalıpla temas ettiği 1 mm mesafedeki noktada sıcaklıklar 943-857 K arasında, 3 mm mesafedeki noktada 871-701 K arasında ve son olarak 5 mm mesafedeki noktada ise 803-611 K arasında değişiklik göstermektedir. Şekil 11'den de görüldüğü üzere; özgün soğutma kanallı kalıpta biscuit kısmında ergiyik metalin kalıpla temas ettiği 1 mm mesafedeki noktada sıcaklıklar 888-632 K arasında, 3 mm mesafedeki noktada 727-575 K arasında ve son olarak 5 mm mesafedeki noktada ise 759-548 K arasında değişiklik göstermektedir. Şekil 10 ve Şekil 11'den de görülebileceği gibi; kalıpların farklı mesafelerdeki kalıp sıcaklıkları arasında farklılıklar olduğu gözlemlenmiştir. Soğutmanın etkisiyle ve arada meydana gelen ısı transferinin daha yüksek olmasıyla özgün soğutma kanallı kalıpta sıcaklıkların daha düşük olduğu görülmektedir. Özgün soğutma kanallı kalıpta klasik soğutma kanallı kalıba göre 1.33 kat daha iyi sıcaklık düşüşü gerçekleşmiştir. Burada daha homojen bir soğutmanın gerçekleştiği katılaştırmanın daha hızlı olduğu düşünülmektedir. Ayrıca ergiyik metalden uzaklaştıkça kalıbın sıcaklığı düşmektedir. Klasik soğutma kanallı kalıpta sıcaklıklar

Şekil 12'de analizlerden elde edilen veriler doğrultusunda hesaplanan zamana bağlı arayüzey ısı transfer katsayıları verilmiştir.



Şekil 12. Zamana bağlı arayüzey ısı transfer katsayılarının karşılaştırılması

Figure 12. Comparison of time dependent interfacial heat transfer coefficients

Şekil 12'de, hesaplanan arayüzey ısı transfer katsayılarının zamanla azaldığı görülmektedir. Grafikten de görüleceği üzere, özgün soğutma kanallı kalıpta arayüzey ısı transfer katsayısının daha iyi olduğu görülmektedir. 0.5-10 s aralığı dikkate alındığında; özgün soğutma kanallı kalıpta ortalama arayüzey ısı transfer katsayısı 18210 W/m²K olduğu ve klasik soğutma kanallı kalıpta ise 8164.4 W/m²K olarak hesaplanmıştır. Özgün soğutma kanallı kalıpta klasik soğutma kanallı kalıba kıyasla 2.23 kat daha iyi ısı transfer katsayısı olduğu hesaplanmıştır.

4. Tartışma ve sonuçlar

4. Discussion and conclusions

Yapılan bu çalışma kapsamında, basınçlı döküm ile H13 çeliğinden yapılacak bir kalıba, Al6061 alaşımından yapılan döküm işlemi, 3D-CAD programı yardımıyla modellenerek katılma süresi, sıcaklık dağılımları ve AITK'sı sonlu elemanlar metoduyla incelenmiştir. Öncelikli olarak klasik soğutma kanalı kalıp tasarımı yapılmıştır. Daha sonra özgün soğutma kanallı kalıp çekirdeği tasarlanmıştır. Bu tasarımlar üzerinde, Ansys-Fluent programı kullanılarak nümerik analiz çalışmaları yapılmıştır. Ansys-Fluent programı kullanılarak yapılan nümerik hesaplamalarda, kalıp içerisinde sirküle edecek soğutucu akışkanın kanal içindeki akış ve ısı davranışları gözlemek amacıyla HAD analizlerinden yararlanılmıştır.

Klasik soğutma kanallı kalıpta, soğutma işleminin başlamasıyla birlikte metal sıcaklığının zamana bağlı olarak, azaldığı, 2. s'den sonra kalıpta zamana bağlı olarak 811- 643 K arasında değiştiği

görülmektedir. Proses zamanının her 0.5 s'lik artışıyla, kalıptaki sıcaklık ortalama 20 °C düşmüştür. Özgün soğutma kanallı kalıpta ise, soğutma işleminin başlamasıyla birlikte metal sıcaklığının zamana bağlı olarak, azaldığı, 2. s'den sonra kalıpta zamana bağlı olarak 763– 551 K arasında değiştiği görülmektedir. Proses zamanının her 0.5 s'lik artışıyla, kalıptaki sıcaklık ortalama 30 °C düşmüştür.

Klasik soğutma kanallı kalıpta biscuit kısmında ergiyik metalin kalıpla temas ettiği 1 mm mesafedeki noktada sıcaklıklar 943-857 K arasında, 3 mm mesafedeki noktada 871-701 K arasında ve son olarak 5 mm mesafedeki noktada ise 803-611 K arasında değişiklik göstermektedir. Özgün soğutma kanallı kalıpta biscuit kısmında ergiyik metalin kalıpla temas ettiği 1 mm mesafedeki noktada sıcaklıklar 888-632 K arasında, 3 mm mesafedeki noktada 727-575 K arasında ve son olarak 5 mm mesafedeki noktada ise 759-548 K arasında değişiklik göstermektedir. Kalıpların farklı mesafelerdeki kalıp sıcaklıkları arasında farklılıklar olduğu gözlemlenmiştir. Soğutmanın etkisiyle ve arada meydana gelen ısı transferinin daha yüksek olmasıyla özgün soğutma kanallı kalıpta sıcaklıkların daha düşük olduğu görülmektedir. Özgün soğutma kanallı kalıpta klasik soğutma kanallı kalıba göre 1.33 kat daha iyi sıcaklık düşüşü gerçekleşmiştir.

0.5-10 s aralığı dikkate alındığında; özgün soğutma kanallı kalıpta ortalama arayüzey ısı transfer katsayısı 18210 W/m²K olduğu ve klasik soğutma kanallı kalıpta ise 8164.4 W/m²K olarak hesaplanmıştır. Özgün soğutma kanallı kalıpta klasik soğutma kanallı kalıba kıyasla 2.23 kat daha iyi ısı transfer katsayısı olduğu hesaplanmıştır.

Bu çalışma sayesinde özgün soğutma kanallı kalıp tasarımı, imalatı ve optimum çalışma şartlarının belirlenmesi konusunda ileride yapılacak uygulamalara katkı sağlayacaktır. Bu çalışmadaki tasarımlar yapılacak olan özgün soğutma kanallı kalıpların yolluk, itici ve soğutma sistemlerinin iyileştirilmesinde yarar sağlayacaktır. Yapılan tasarımların ve analizlerin özgün soğutma kanallı kalıp soğutma performansına katkısı olacaktır. Analizlerin, özgün soğutma kanallı kalıbın imalata geçilmeden önce gerekli revizelerin yapılmasına ve imalat için maliyetin azalmasına yardımcı olması beklenmektedir.

Yazar katkısı

Author contribution

Bütün yazarlar araştırmaya eşit oranda katkıda bulunmuşlardır.

Etik beyanı

Declaration of ethical code

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

Çıkar çatışması beyanı

Conflicts of interest

Bu çalışmadaki yazarların herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Kaynaklar

References

- Akar N., Sahin H.M., Yalçın N. & Kocatepe K. (2008). Experimental study on the effect of liquid metal superheat and casting height on interfacial heat transfer coefficient. *Experimental Heat Transfer*, 21(1),83–98. <https://doi.org/10.1080/08916150701647785>
- Akar N., Boran K. & Hozikliğil B. (2013). Kalıp sıcaklığının döküm parça-kalıp arayüzey ısı transfer katsayısı üzerine etkisi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 28(2), 275-282.
- Arunkumar, S., Rao, K. S., & Kumar, T. P. (2008). Spatial variation of heat flux at the metal–mold interface due to mold filling effects in gravity die-casting. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 51(11-12), 2676-2685. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2007.10.020>
- Bouchard D., Leboeuf S., Nadeau J.P., Guthrie I.L.R. & Mihaiela I. (2009). Dynamic wetting and heat transfer at the initiation of aluminum solidification on copper substrates. *Journal of Materials Science*, 44(8), 1923-1933. <https://doi.org/10.1007/s10853-008-2888-3>
- Chen, Z.W. (2003). Skin solidification during high pressure die casting of Al-11Si-2Cu-1Fe alloy. *Materials Science and Engineering: A*, 348(1-2), 145-153. [https://doi.org/10.1016/S0921-5093\(02\)00747-5](https://doi.org/10.1016/S0921-5093(02)00747-5)

- Christy T.V., Murugan N. & Kumar S. (2010). A comparative study on the microstructures and mechanical properties of Al 6061 alloy and the MMC Al 6061/TiB₂/12p. *Journal of Minerals&Materials Characterization& Engineering*, 9(1), 57-65.
- Coates, B., & Argyropoulos, S. A. (2007). The effects of surface roughness and metal temperature on the heat-transfer coefficient at the metal mold interface. *Metallurgical and Materials Transactions B*, 38(2), 243-255. <https://doi.org/10.1007/s11663-007-9020-y>
- Dong Y., Bu K., Dou Y. & Zhang D. (2011). Determination of interfacial heat-transfer coefficient during investment casting process of single-crystal blades. *Journal of Materials Processing Technology*, 211(12), 2123-2131. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2011.07.012>
- Dour, G., Dargusch, M., Davidson, C. & Nef, A. (2005). Development of a non-intrusive heat transfer coefficient gauge and its application to high pressure die casting effect of the process parameters. *Journal of Materials Processing Technology*, 169(2), 223–233. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2005.03.026>
- Durat M., Nart E., Kayıkcı R. & Özsert İ. (2006). Metal döküm kalıpların sonlu elemanlar yöntemiyle tekrarlı termal analizi. *Timak-Tasarım İmalat Analiz Kongresi*, (ss 549-557). Balıkesir. <http://timak.balikesir.edu.tr/pdf/%20549.pdf>
- Fluent M. (2018). *Chapter 17: Modeling Solidification & Melting; ANSYS, Inc.: Canonsburg, PA, USA*. https://mae.iith.ac.in/ansys/files/scientific/fluent_tut/theoryguide_Solidification%20and%20melting.pdf
- Gafur M.A., Haque M.N. & Prabhu K.N. (2003). Effect of chill thickness and superheat on casting/chill interfacial heat transfer during solidification of commercially pure aluminum. *Journal of Materials Processing Technology*, 133(3), 257-265. [https://doi.org/10.1016/S0924-0136\(02\)00459-4](https://doi.org/10.1016/S0924-0136(02)00459-4)
- Garza H.A. & Miller R.A. (2003). The effects of heat released during fill on the deflections of die casting dies. *Journal of Materials Processing Technology*, 142(3), 648–658. [https://doi.org/10.1016/S0924-0136\(03\)00685-X](https://doi.org/10.1016/S0924-0136(03)00685-X)
- Gozlan E. & Bamberger M. (1987). Heat flow and solidification in a metal mould source. *International Journal of Materials Research*, 78(9), 677-682. <https://doi.org/10.1515/ijmr-1987-780911>
- Hallam C.P. & Griffiths W.D. (2004). A model of the interfacial heat-transfer coefficient for the aluminum gravity die-casting process. *Metallurgical and Materials Transactions B*, 35(4), 721-733. <https://doi.org/10.1007/s11663-004-0012-x>
- Hamasaiid A., Dour G., Loulou T. & Dargusch M.S. (2010). A predictive model for the evolution of the thermal conductance at the casting–die interfaces in high pressure die casting. *International Journal of Thermal Sciences*, 49(2), 365–372. <https://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2009.07.014>
- Ho, K., & Pehlke, R. D. (1985). Metal-mold interfacial heat transfer. *Metallurgical Transactions B*, 16(3), 585-594.
- Ilkhchy, A. F., Jabbari, M., & Davami, P. (2012). Effect of pressure on heat transfer coefficient at the metal/mold interface of A356 aluminum alloy. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 39(5), 705-712. <https://doi.org/10.1016/j.icheatmasstransfer.2012.04.001>
- Ipek O. & Koru M. (2011). Yüksek basınçlı döküm prosesinde kalıp sıcaklığına bağlı olarak döküm-kalıp arayüzeyinde oluşan termal temas direncinin belirlenmesi. *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi*, 31(1), 45-57.
- Looser R., Vivar M. & Everett V. (2014). Spectral characterization and long-term performance analysis of various commercial heat transfer fluids (HTF) as direct-absorption filters for CPV-T beam-splitting applications, *Applied Energy*, 113, 1496–1511. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.09.001>
- Loulou, T., Artyukhin, E. A. & Bardon, J. P. (1999). Estimation of thermal contract resistance during the first stages of metal solidification process: II—experimental setup and results. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 42(12), 2129-2142 [https://doi.org/10.1016/S0017-9310\(98\)00338-X](https://doi.org/10.1016/S0017-9310(98)00338-X)
- Michel F., Louchez P. R. & Samuel F. H. (1995). Heat transfer coefficient during solidification of al-si alloys: effects of mold temperature, coating type and thickness. *Transactions of The American Foundrymen's Society*, 103, 275-283.
- Reddy, A. V. & Beckermann, C. (1993). Measurements of metal-mold interfacial heat transfer coefficients during solidification of Sn and Sn-Pb alloys. *Experimental Heat Transfer an International Journal*, 6(2), 111-129. <https://doi.org/10.1080/08916159308946449>

- Sabau A.S. & Wu Z. (2007). Evaluation of a heat flux sensor for spray cooling for the die casting processes. *Journal of Materials Processing Technology*, 182(1-3), 312-318. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2006.07.039>
- Sahin H.M., Kocatepe K., Kayıkçı R. & Akar N. (2006). Determination of unidirectional heat transfer coefficient during unsteady-state solidification at metal casting chill interface. *Energy Conversion and Management*, 47(1), 19-34. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2005.03.021>
- Santos C.A., Siqueira C.A., Garcia A. & Quaresma J.M.V. and Spim J.A. (2004). Metal/Mold heat transfer coefficients during horizontal and vertical unsteady-state solidification of Al-Cu and Sn-Pb alloys. *Inverse Problems in Science and Engineering*, 12(3), 279-296. <https://doi.org/10.1080/10682760310001598706>
- Silva, J. N., Moutinho, D. J., Moreira, A. L., Ferreira, I. L., & Rocha, O. L. (2011). Determination of heat transfer coefficients at metal–mold interface during horizontal unsteady-state directional solidification of Sn–Pb alloys. *Materials Chemistry and Physics*, 130(1-2), 179-185. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2011.06.032>
- Srinivasan M.N. (1982). Heat transfer coefficients at the casting-mould interface during solidification of flake graphite cast iron in metallic moulds. *Indian Journal of Technology*, 20 (4), 123-129.
- Taha M.A., El-Mahallawy N.A., El-Mestekawi M.T. & Hassan A.A. (2001). Estimation of air gap and heat transfer coefficient at different faces of Al and Al-Si casting solidifying in permanent mould. *Materials Science and Technology*, 17(9), 1093-1101. <https://doi.org/10.1179/026708301101511004>
- Zhang B., Maijer D.M. & Cockcroft S.L. (2007). Development of a 3D thermal model of the low pressure die cast (lpdc) process of Al356 aluminum alloy wheels. *Materials Science and Engineering: A*, 464(1-2), 295-305.

Assessing ursolic acid contents of some commonly consumed herbs grown in Turkey

Türkiye’de yetişen ve yaygın olarak tüketilen bazı bitkilerin ursolik asit içeriklerinin belirlenmesi

Oscar ZANNOU^{1,a}, Burak İPEKÇİ^{1,b}, İlkay KOCA^{1,c}, Halil İbrahim ODABAŞ^{*2,d}

¹Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, 55270, Samsun

²Gümüşhane Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, 29100, Gümüşhane

• Geliş tarihi / Received: 03.05.2021

• Düzeltılarak geliş tarihi / Received in revised form: 25.11.2021

• Kabul tarihi / Accepted: 22.12.2021

Abstract

Ursolic acid is a triterpenoid compound in the plant kingdom and has important biological functions. In this study, ursolic acid contents of nine herbs including *Anethum graveolens* (dill), *Camellia sinensis* L. (green tea), *Lepidium sativum* L. (garden cress), *Ocimum basilicum* L. (sweet basil), *Petroselinum crispum* L. (parsley), *Rosmarinus officinalis* L. (rosemary), *Salvia officinalis* L. (sage), *Thymus vulgaris* L. (thyme) and *Urtica dioica* L. (nettle) were determined by High-Performance Liquid Chromatography (RP-HPLC-UV). Based on the results from the analysis of herbs, ursolic acid contents varied between 0.20% and 7.11%. The ursolic acid content was highest in rosemary and sage (7.11±0.20% and 6.63±0.27%, respectively), while the lowest content of ursolic acid was in nettle (0.20±0.10). It is expected from the results of this work to contribute to the knowledge on the nutritional value of commonly consumed herbs in Turkey and encourage their consumption as functional foods.

Keywords: RP-HPLC-UV, Triterpene, Ursolic acid.

Öz

Ursolik asit, önemli biyolojik fonksiyonlara sahip olan ve bitkiler aleminde bulunan bir triterpenoid bileşiktir. Bu çalışmada, *Anethum graveolens* (dereotu), *Camellia sinensis* L. (yeşil çay), *Lepidium sativum* L. (tere), *Ocimum basilicum* L. (fesleğen), *Petroselinum crispum* L. (maydanoz), *Rosmarinus officinalis* L. (biberiye), *Salvia officinalis* L. (adaçayı), *Thymus vulgaris* L. (kekik) ve *Urtica dioica* L. (ısırgan) i kapsayan 9 bitkinin Yüksek Performanslı Sıvı Kromatografi (RP-HPLC-UV) ile ursolik asit içeriği belirlenmiştir. Bitkilerin ursolik asit içerikleri %0.20 ile %7.11 arasında değişmiştir. En yüksek ursolik asit içeriği biberiye ve adaçayında (sırasıyla %7.11±0.20 ve % 6.63 ±0.27), en düşük ursolik asit içeriği ise ısırganda (%0.20±0.10) bulunmuştur. Bu sonuçlar ile Türkiye’de yaygın olarak tüketilen bitkilerin, besleyici değerleri konusundaki bilgilere katkı sağlanması ve bu bitkilerin fonksiyonel gıda olarak tüketilmelerinin teşvik edilmesi amaçlanmıştır.

Anahtar kelimeler: RP-HPLC-UV, Triterpen, Ursolik asit.

*d Halil İbrahim ODABAŞ; hiodobas@gumushane.edu.tr, Tel: (0506) 545 34 25, orcid.org/0000-0001-7111-3852

a orcid.org/0000-0003-1227-1265

b orcid.org/0000-0003-2793-2273

c orcid.org/0000-0001-6089-8586

1. Introduction

1. Giriş

Pentacyclic triterpenoids are terpenes that have 30 carbons on their skeleton and are found in the food and herbs in form of free acid or aglycones for triterpenoid saponins. A wide range of these compounds have important pharmacological activities. Ursolic acid also known as 3 β -hydroxy-urs-12-en-28-oic-acid (UA) belongs to the ursane family. It is a natural pentacyclic triterpenoid carboxylic acid. UA is naturally found in the leaves and berries of natural medicinal plants and in the protective wax-like coatings of fruits. Recently, many studies have investigated the UA contents of some plants and fruits including. Both *in vitro* and *in vivo* studies have demonstrated that UA has biological functions including hepatoprotective, anti-inflammatory, anti-diabetic, anti-HIV, anti-microbial, anti-obesity, and anti-malarial activity (Cimanga et al., 2006; Ataie-Jafari et al., 2008; Jesus et al., 2015). Furthermore, it was found out that UA had marked anti-tumor effects and exhibited cytotoxic activity towards many cancer cell lines (Kim et al., 2011; Gai et al., 2016).

The UA contents of nine herbs such as *Ocimum basilicum* L., *Lepidium sativum* L., *Anethum graveolens*, *Camellia sinensis* L., *Urtica dioica* L., *Petroselinum crispum* L., *Rosmarinu officinalis* L. and *Salvia officinalis* L. were investigated in the present study. They are commonly consumed as traditional medicines, herbal teas, spices and vegetables. Their utilized parts, common uses, and biological activities are shown in Table 1. *O. basilicum* is cultivated worldwide for essential oil production and consumption for culinary purposes. *L. sativum* is commonly used as a salad ingredient in Anatolia. *A. graveolens* is generally used as a spice and employed in pickles, salads, sauces and soups. *C. sinensis* is one of the most consumed beverages thorough the world and a very important crop for local economy. It prevents catechin oxidation by polyphenoloxidase and provides many benefits to human health (Chan et al., 2011, Di Lorenzo et al., 2013). *U. dioica* is cultivated for

the production of commercial chlorophyll used as a green food colorant. *P. crispum* is an aromatic and medicinal commonly used seasoning and flavoring agent for meat and sausages. *R. officinalis* is commonly used as traditional medicine and flavouring food products in Anatolia. *S. officinalis* is commonly used in culinary and as herbal tea in Anatolia. Likewise, *T. vulgaris* is generally used as a medicinal herb, herbal tea and flavouring agent.

The UA extraction technique is a determinant factor that affect the UA extraction yield. Several methods including maceration, heat reflux extraction, soxhlet, accelerated solvent extraction, microwave-assisted extraction, subcritical water and ultrasound-assisted extraction have been tested for the extraction of pentacyclic triterpenoids (Mlyuka et al., 2016; Bernatoniene et al., 2016). These authors stated that ultrasound-assisted extraction is more efficient method, easy to use, and more economical. The ultrasound-assisted extraction enhances the extraction efficiency thanks to the disruption of cell walls and reduction of particle size, enhancing the mass transfer of the cell contents as the result of cavitation bubble collapse. Furthermore, for the qualitative and quantitative analysis, high performance liquid chromatography (RP-HPLC) was revealed to be the most suitable method for the separation and quantification of UA.

To the best knowledge of the authors, no study has reported the UA content of *A. graveolens*, *C. sinensis*, *L. sativum*, *P. crispum*, *R. officinalis*, *S. officinalis*, *O. basilicum*, *U. dioica* and *T. vulgaris* grown in Turkey. Therefore, the present study aimed to evaluate for the first time the UA contents of Turkish *A. graveolens*, *C. sinensis*, *L. sativum*, *P. crispum*, *R. officinalis*, *S. officinalis*, *O. basilicum*, *U. dioica* and *T. vulgaris*. For this purpose, the ultrasound-assisted extraction was used for UA extraction and RP-HPLC-UV was employed for the qualitative and quantitative evaluations.

Table 1. Utilized parts, popular use and biological activities of herbs used in this study**Tablo 1.** Çalışmada kullanılan bitkilerin yararlanan kısımları, popüler kullanım şekilleri ve biyolojik aktiviteleri.

Binominal name	Common names	Edible parts	Popular use	Biological activities and role in traditional medicine	References
<i>Ocimum basilicum</i> L.	Sweet basil	Fresh leaves Seeds	Vegetable Herbal tea Spice	Treatment of cough, inflammations, constipation, dyspepsia, diarrhea, aches, warts, worms, kidney malfunctions and pains.	Opalchenova and Obreshkova, 2003
<i>Lepidium sativum</i> L.	Garden cress	Fresh leaves Seeds	Vegetable	Treatment of asthma, bronchitis cough, hypertension, and renal disease. Antibacterial, aphrodisiac, diuretic, expectorant, gastrointestinal stimulant, gastroprotective, laxative, stomachic and diuretic agent.	Rehman et al., 2012
<i>Anethum graveolens</i>	Dill	Fresh leaves Seeds Stems	Vegetable	Treatment of stomachache, indigestion, flatulence, gripe, hiccups and colic. Antihyperlipidaemic, antihypercholesterolaemic, anticancer, antidiabetic, antioxidant and diuretic.	Kaur and Arora, 2010
<i>Camellia sinensis</i> L.	Green tea	Dried leaves	Herbal tea	Reduction of the risk of cancer, cardiovascular diseases, ischemic damage and neurodegenerative diseases. Antioxidant, antidiabetic, antibacterial, anti-inflammatory and anti-HIV activities.	Chopade et al., 2008
<i>Urtica dioica</i> L.	Nettle	Fresh leaves	Vegetable Herbal tea	Good for anemia, diabetes, rheumatism, eczema, diarrhea, prostatic hyperplasia. Antimicrobial, antiulcer, analgesic effects.	Akbay et al., 2003; Gülçin et al., 2004
<i>Petroselinum crispum</i> L.	Parsley	Fresh leaves	Vegetable	Uses as a stomachic, carminative, emmenagogue, abortifacient, and diuretic agent.	Kreydiyyeh and Usta, 2002
<i>Rosmarinus officinalis</i> L.	Rosemary	Dried or fresh leaves	Spice	Antibacterial, antioxidant, and antimutagenic effects. Treatment of diabetes, respiratory disorders, stomach problems and inflammatory diseases.	Oluwatuyi et al., 2004; Bakirel et al., 2008
<i>Salvia officinalis</i> L.	Sage	Dried or fresh leaves	Spice Herbal tea	Anti-inflammatory, antidiarrheal, antiseptic, digestive, diuretic, expectorant, hemostatic, laxative, sedative, spasmolytic and hypoglycemic properties.	Gali-Muhtasib, 2006

2. Material and methods

2. Materyal ve metot

2.1. Materials

2.1. Materyaller

The herbs used in this study were shown in Table 1. The herbs were collected from different locations in Turkey. *L. sativum*, *A. graveolens* and *P. crispum* were harvested from Rize province. *O. basilicum*, *C. sinensis*, *U. dioica*, *R. officinalis* *S. officinalis* and *T. vulgaris* samples were collected from Mersin province. The fresh samples were dried in a vacuum oven at 60 °C for 8 hours. All samples were ground into powder with a coffee mill, and stored at +4°C until analyses. All reagents and solvents were analytical grade. UA (98%) was purchased from Sigma-Aldrich Co. (Milwaukee, Wisconsin, USA).

2.2. Methods

2.2. Metotlar

2.2.1. Dry matter content

2.2.1. Kuru madde miktarı

Dry matter content was determined by drying the samples in the oven at 105 °C until to constant weight (AOAC, 2000).

2.2.2. Extraction of ursolic acid

2.2.2. Ursolik asit ekstraksiyonu

The extraction of ursolic acid was carried out adopting the method described in Wójciak-Kosior et al. (2013) with some modifications. Briefly, a portion of the powder (5 g) of the samples was accurately weighed, and placed in a capped glass tube, and then mixed with 100 mL of methanol.

The mixtures were kept for 30 min to allow the solvent to wet the samples and the tubes were subjected to the sonication in an ultrasonic bath (WiseClean WUC-A02H, Daihan Scientific Co., Gangwon-do, Korea) at $48 \pm 2^\circ\text{C}$ for 120 min. The extracts were appropriately diluted and then passed through a $0.45 \mu\text{m}$ membrane filter (Pall Ultipor® N66) for RP-HPLC-UV analysis.

2.2.3. Determination of ursolic acid by RP-HPLC-UV

2.2.3. Ursolik asit miktarının RHPLC-UV ile belirlenmesi

Analysis of UA was done by RP-HPLC (Series 200, PerkinElmer Inc., Massachusetts, USA) equipped with a pump, an autosampler, and a UV-VIS detector. Separation was carried out by using a $150 \times 4.6 \text{ mm}$, $5 \mu\text{m}$ Inertsil® ODS-4 C18 column. RP-HPLC analysis for UA was carried out according to the method described by [Taralkar and Chattopadhyay \(2012\)](#). The mobile phase consisted of a mixture, acetonitrile: methanol (80:20, v/v). The solution was degassed in an ultrasound bath

and filtered under vacuum through a membrane (Immobilon®-P PVDF). The flow was 0.5 mL min^{-1} . The column temperature was maintained at $35 \pm 0.2^\circ\text{C}$. The effluent was measured at a wavelength of 210 nm for the detection of UA. To prepare standard solutions, 10.0 mg of UA standard was accurately weighed and dissolved in methanol (10 mL). Volumes of 0.25, 0.5, 1.0, 2.0, 4.0, 8.0, 10 mL of UA standard solution were placed in 100 mL volumetric flasks and methanol added to a final volume of 100 mL. The solutions were filtered through a $0.45 \mu\text{m}$ membrane filter and analyzed in RP-HPLC. 10 μL of each solution were injected three times. Identification of UA was made by the comparison of the retention times with those of standard (Figure 1). The retention time for UA is $8.43 \text{ min} (\pm 0.2 \text{ min})$. The area under the peak of the UA vs. concentration plot showed a linear fit with a correlation coefficient of 0.999. Quantification was performed on the basis of a linear calibration plot of peak area against concentration. Limit of detection (LOD) and limit of quantification (LOQ) were calculated as 1.667 and 5.003 ppm, respectively.

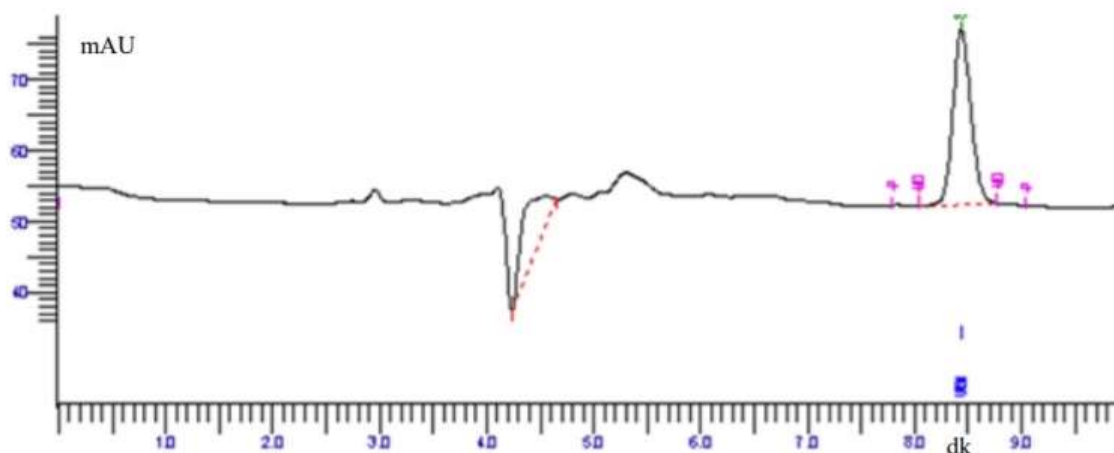


Figure 1. RP-HPLC chromatogram of the standard UA
Şekil 1. UA standardının RP-HPLC kromatogramı

2.2.4. Statistical analysis

2.2.4. İstatistiksel analizler

The results are shown as means \pm standard deviation. Statistical significance ($p < 0.05$) was measured by one-way ANOVA, followed by Duncan's multiple comparison test.

3. Results and discussion

3. Bulgular ve tartışma

The UA contents of the studied herb samples were given in Table 2. The averages of UA contents in the samples were 7.11%, 6.63%, 2.41%, 1.47%,

0.92%, 0.56%, 0.50%, 0.47% and 0.20% dry weight basis for *R. officinalis*, *L. sativum*, *A. graveolens*, *P. crispum*, *O. basilicum*, *L. sativum*, *C. sinensis*, *T. vulgaris* and *U. dioica*, respectively. As can be seen, the UA contents of the samples were ranged between 0.20% and 7.11%. [Wójciak-Kosior et al. \(2013\)](#) reported UA amounts ranged from 39.1 to 67.3 $\mu\text{g/g}$ (from 0.00391 to 0.00673%) in *L. albi flos*, while [Al-Tannak and Novotny \(2020\)](#) found out that the UA content corresponded to 25.57 $\mu\text{g/g}$ (0.002557%), 28.70 $\mu\text{g/g}$ (0.00287%) and 55.10 $\mu\text{g/g}$ (0.00551%) in oregano (Al-Baraka), oregano (Waitro's) and olive leaves, respectively. Likewise, [Rubashvili et al.](#)

(2020) mentioned a UA content of 2.412-4.585 mg/g (0.2412-0.4585%) in apple waste. Meng et al. (2019) applied the single factor experimental design to maximize the extraction of UA from *Paulownia flos*. They reported that the UA content of *Paulownia flos* varied from 0.978 to 1.319 mg/g dry weight corresponding to 0.0978-0.1319% dry weight. The extraction of UA from different parts of *G. hederacea* and *G. hirsuta* yielded 2.73-25.15% and 3.47-26.82%, respectively (Grabowska et al., 2021). When comparing our findings to these previous studies, it can be assumed that although the extraction techniques and solvents are determinant factors for the extraction of UA, the Turkish *R. officinalis*, *L. sativum*, *A. graveolens*, *P. crispum*, *O. basilicum*, *L. sativum*, *C. sinensis*, *T. vulgaris* and *U. dioica* can be considered as rich sources of UA. The

highest value was in found *R. officinalis* (mean 7.11%) followed by the *L. sativum* (mean 6.63%). The lowest amounts of UA are found nettle (mean 0.20%). *R. officinalis* and *L. sativum* can be regarded as rich sources of UA, since they displayed a higher amount of UA and are generally consumed raw in salads. Razboršek et al. (2007) determined the UA contents of 1.89 mg/g and 4.15 mg/g in dry weight in *R. officinalis* and *S. officinalis* was, respectively, while, Jäger et al. (2009) reported a maximum concentration of 2.95% of UA in dry *R. officinalis* leaves. Janicsák et al. (2006) found that the UA content was 3.825% in *S. officinalis*. Comparing the previous findings to our data, it can be assumed that UA contents in *R. officinalis* and *L. sativum* studied in the represent work are at least two-fold higher than those reported previously.

Table 2. Ursolic acid contents of herbs used in this study.

Tablo 2. Çalışmada kullanılan bitkilerin ursolik asit içerikleri.

Common name	Binominal name	Ursolic acid (%)	Mean±std
Dill	<i>Anethum graveolens</i>	0.96-3.43	2.41±0.98b
Garden cress	<i>Lepidium sativum</i> L.	0.35-0.93	0.56±0.23de
Green tea	<i>Camellia sinensis</i> L.	0.47-0.55	0.50±0.04de
Nettle	<i>Urtica dioica</i> L.	0.13-0.37	0.20±0.10e
Parsley	<i>Petroselinum crispum</i> L.	1.26-1.64	1.47±0.18c
Rosemary	<i>Rosmarinus officinalis</i> L.	6.86-7.28	7.11±0.20a
Sage	<i>Salvia officinalis</i> L.	6.26-6.97	6.63±0.27a
Sweetbasil	<i>Ocimum basilicum</i> L.	0.67-1.37	0.92±0.32d
Thyme	<i>Thymus vulgaris</i> L.	0.43-0.54	0.47±0.04de

The different letters in the same column denote the significant differences ($p < 0.05$).

UA contents of *A. graveolens* and *P. crispum* were reported for the first and their values were found lower than those of *R. officinalis* and *L. sativum*. *C. sinensis* and *L. sativum* displayed low UA content of 0.50% and 0.56% dry weight, respectively, and could be considered as poor UA sources. Regarding *O. basilicum*, our result is in accordance with Silva et al. (2008) who have determined 0.27% dry weight of UA in *O. basilicum* and 2.02% dry weight in *O. tenuiflorum*. In contrast, Jäger et al. (2009) have reported a higher value of UA in *T. vulgaris* when compared to our result. The lowest amount of UA found in *U. dioica* is consistent with Shailajan et al. (2014) who have mentioned low UA content ranged from 0.125 and 0.14 mg/g. Similarly, Bourgeois et al. (2016) have applied an optimization design to optimize the extraction conditions of UA from *U. dioica* and determined low amount of UA ranged from 0.99 to 32.41 µg/g dry weight in *U. dioica* having anti-aging and antioxidant activity. These differences may be due

to the extraction methods, analysis methods, geographical origins, growing season, and agricultural practices.

4. Conclusion

4. Sonuç

In this study, UA contents of herbs that are generally used as raw (parsley, dill and cress), herbal tea or spices (rosemary, nettle, sage, thyme, sweet basil and green tea) in Turkey have been determined. The UA content was highest in rosemary and sage (7.11±0.20% and 6.63±0.27%, respectively), while the lowest content of UA was in nettle (0.20±0.10). In general, the UA content of herbs grown in Turkey was higher than that reported by many researchers. It has been shown that ultrasound-assisted extraction is an effective method for the recovery of UA from herbs. UA and its esters are virtually insoluble in water, thus, their bioavailability in the body is limited. Therefore, the

use of these herbs as fresh or spice instead of consuming as herbal tea may help to increase the bioavailability of UA. Further studies should be done on the bioavailability of UA in these herbs.

Author contribution

Yazar katkısı

Oscar Zannou: Writing- Original draft, **Burak İpekci:** Visualization, Investigation, **İlkay Koca:** Conceptualization, Supervision, **Halil İbrahim Odabaş:** Writing- Original draft, Writing-Reviewing and Editing.

Declaration of ethical code

Etik beyanı

The author(s) of this article declares that the materials and methods used in this study do not require ethical committee permission and/or legal-special permission.

Conflicts of interest

Çıkar çatışması beyanı

The authors declare that they have no conflict of interest

References

Kaynaklar

- Akbay, P., Basaran, A.A., Undeger, U. & Basaran, N. (2003). In vitro immunomodulatory activity of flavonoid glycosides from *Urtica dioica* L". *Phytotherapy Research*, 17(1), 34-37. <https://doi.org/10.1002/ptr.1068>
- Al-Tannak, N. F. & Novotny, L. (2020). LC-MS method for the detection and quantification of ursolic acid and uvaol levels in olive leaves and oregano. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 32(8), 600-609. <https://doi.org/10.9755/ejfa.2020.v32.i8.2137>
- AOAC (2000). Official methods of analysis of AOAC International, Gaithersburg, Md., Association of Official Analytical Chemists. <https://doi.org/10.1002/jps.2600700437>
- Ataie-Jafari, A., Hosseini, S., Karimi, F. & Pajouhi, M. (2008). Effects of sour cherry juice on blood glucose and some cardiovascular risk factors improvements in diabetic women: A pilot study. *Nutrition and Food Science*, 38(4), 355-360. <https://doi.org/10.1108/00346650810891414>
- Bakırel, T., Bakırel, U., Keleş, O. Ü., Ülgen, S. G. & Yardibi, H. (2008). In vivo assessment of antidiabetic and antioxidant activities of rosemary (*Rosmarinus officinalis*) in alloxan-diabetic rabbits. *Journal of ethnopharmacology*, 116(1),64-73. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2007.10.039>
- Bernatoniene, J., Cizauskaite, U., Ivanauskas, L., Jakstas, V., Kalveniene, Z. & Kopustinskiene, D. M. (2016). Novel approaches to optimize extraction processes of ursolic, oleanolic and rosmarinic acids from *Rosmarinus officinalis* leaves. *Industrial Crops and Products*, 84, 72-79. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.01.031>
- Bourgeois, C., Leclerc, E.A., Corbin, C., Dossout, J., Serrano, V., Vanier, J-R., Seigneuret, J-M., Auguin, D., Pichon, C., Lainé, E. & Hano, C. (2016). Nettle (*Urtica dioica*) as source of antioxidant and anti-ageing for cosmetic applications. *Comptes rendus Chimie*, 19(9),1090-1100. <https://doi.org/10.1016/j.crci.2016.03.019>
- Chan, E. W. C., Soh, E.Y., Tie, P.P. & Law, Y.P. (2011). Antioxidant and antibacterial properties of green, black, and herbal teas of *Camellia sinensis*. *Pharmacognosy Research*, 3(4), 266-272. <https://doi.org/10.4103/0974-8490.89748>
- Chopade, V., Phatak, A., Upaganlawar, A. & Tankar, A. (2008), Green tea (*Camellia sinensis*): Chemistry, traditional, medicinal uses and its pharmacological activities-a review. *Pharmacognosy Reviews*, 2(3),157-162
- Cimanga, R. K., Tona, G.L., Mesia, G.K., Kambu, O.K., Bakana, D.P., Kalenda, P.D.T., Penge, A.O., Muyembe, J.-J.T., Totté, J., Pieters, L. & Vlietinck, A. J. (2006). Bioassay-Guided isolation of antimalarial triterpenoid acids from the leaves of *Morinda lucida*. *Pharmaceutical Biology*, 44(9), 677-681. <https://doi.org/10.1080/13880200601009123>
- Di Lorenzo, C., Dell'Agli, M., Sangiovanni, E., Dos Santos, A., Uberti, F., Moro, E., Bosisio, E. & Restani, P. (2013). Correlation between catechin content and nf-kb inhibition by infusions of green and black tea. *Plant Foods for Human Nutrition*, 68(2), 149-154. <https://doi.org/10.1007/s11130-013-0354-0>
- Gai, W. T., Yu, D.P., Wang, X.S. & Wang, P.T. (2016). Anti-cancer effect of ursolic acid activates apoptosis through ROCK/PTEN mediated mitochondrial translocation of cofilin-1 in prostate cancer. *Oncology Letters*, 12(4), 2880-2885. <https://doi.org/10.3892/ol.2016.5015>
- Gali-Muhtasib, H. (2006). *Anticancer and medicinal properties of essential oil and extracts of East Mediterranean sage (salvia triloba)*, Mahmud, T. H. K. and Arjumand, A. (Eds.), *Advances in Phytomedicine*, (Vol. 2, pp. 169-180). Elsevier.

- Grabowska, K., Żmudzki, P., Wróbel-Biedrawa, D., & Podolak, I. (2021). Simultaneous quantification of ursolic and oleanolic acids in *Glechoma hederacea* and *Glechoma hirsuta* by UPLC/MS/MS. *Planta Medica*, 87(04), 305–313. <https://doi.org/10.1055/a-1345-9377>
- Gülçin, I., Küfrevioğlu, Ö.İ., Oktay, M. & Büyükkokuroğlu, M.E. (2004). Antioxidant, antimicrobial, antiulcer and analgesic activities of nettle (*Urtica dioica* L.). *Journal of Ethnopharmacology*, 90(2), 205-215. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2003.09.028>
- Jäger, S., Trojan, H., Kopp, T., Laszczyk, M.N. & Scheffler, A. (2009). Pentacyclic triterpene distribution in various plants—rich sources for a new group of multi-potent plant extracts. *Molecules*, 14(6), 2016-2031. <https://doi.org/10.3390/molecules14062016>
- Janicsák, G., Veres, K., Kakasy, A.Z. & Máthé, I. (2006). Study of the oleanolic and ursolic acid contents of some species of the Lamiaceae. *Biochemical Systematics and Ecology*, 34(5), 392-396. <https://doi.org/10.1016/j.bse.2005.12.004>
- Jesus, J.A., Lago, J.H.G., Laurenti, M.D., Yamamoto, E.S. & Passero, L. F. D. (2015). Antimicrobial activity of oleanolic and ursolic acids: An update. *Evidence-based Complementary and Alternative Medicine*, 620472, 1-14. <https://doi.org/10.1155/2015/620472>
- Kaur, G.J., & Arora, D.S. (2010). Bioactive potential of *Anethum graveolens*, *Foeniculum vulgare* and *Trachyspermum ammi* belonging to the family Umbelliferae-Current status. *Journal of Medicinal Plants Research*, 4(2), 087-094. <https://doi.org/10.5897/JMPR09.018>
- Kim, K.H., Seo, H.S., Choi, H.S., Choi, I.H., Shin, Y.C. & Ko, S.G. (2011). Induction of apoptotic cell death by ursolic acid through mitochondrial death pathway and extrinsic death receptor pathway in MDA-MB-231 cells. *Archives of Pharmacal Research*, 34(8), 1363-1372. <https://doi.org/10.1007/s12272-011-0817-5>
- Kreydiyyeh, S.I. & Usta, J. (2002). Diuretic effect and mechanism of action of parsley. *Journal of Ethnopharmacology*, 79(3), 353-357. [https://doi.org/10.1016/S0378-8741\(01\)00408-1](https://doi.org/10.1016/S0378-8741(01)00408-1)
- Meng, X., Liu, D., Yang, M., Shi, Y. & He, H. (2019). Establishment of extraction design space for ursolic acid from *Paulownia Flos* based on the concept of quality by design. *Phytochemical Analysis*, 31(5), 535-544. <https://doi.org/10.1002/pca.2892>
- Mlyuka, E., Zhang, S., Wang, L., Zheng, Z. & Chen, J. (2016). Characteristics of subcritical water extraction and kinetics of pentacyclic triterpenoids from dry loquat (*Eriobotrya japonica*) leaves. *International Journal of Food Engineering*, 12(6), 547-555. <https://doi.org/10.1515/ijfe-2016-0054>
- Oluwatuyi, M., Kaatz, G.W. & Gibbons, S. (2004). Antibacterial and resistance modifying activity of *Rosmarinus officinalis*. *Phytochemistry*, 65(24), 3249-3254. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2004.10.009>
- Opalchenova, G. & Obreshkova, D. (2003). Comparative studies on the activity of basil—an essential oil from *Ocimum basilicum* L.—against multidrug resistant clinical isolates of the genera *Staphylococcus*, *Enterococcus* and *Pseudomonas* by using different test methods. *Journal of Microbiological Methods*, 54(1), 105-110. [https://doi.org/10.1016/S0167-7012\(03\)00012-5](https://doi.org/10.1016/S0167-7012(03)00012-5)
- Razboršek, M.I., Vončina, D.B., Doleček, V. & Vončina, E. (2007). Determination of major phenolic acids, phenolic diterpenes and triterpenes in rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.) by gas chromatography and mass spectrometry. *Acta Chimica Slovenica*, 54(1), 60-67.
- Rehman, N. U., Khan, A. U., Alkharfy, K. M. & Gilani, A. H. (2012). Pharmacological basis for the medicinal use of *Lepidium sativum* in airways disorders. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 596524, 1-8, <https://doi.org/10.1155/2012/596524>
- Rubashvili, I., Tsitsagi, M., Zautashvili, M., Chkhaidze, M., Ebralidze, K. & Tsitsishvili, V. (2020). Extraction and analysis of oleanolic acid and ursolic acid from apple processing waste materials using ultrasound-assisted extraction technique combined with high performance liquid chromatography. *Revue Roumaine de Chimie*, 65(10), 919-928. <https://doi.org/10.33224/rch.2020.65.10.07>
- Silva M.G.V., Vieira Í.G.P., Mendes F.N.P., Albuquerque, I.L., Dos Santos R.N., Silva F.O. & Morais S.M. (2008). Variation of ursolic acid content in eight ocimum species from northeastern Brazil. *Molecules*, 13(10), 2482-2487. <https://doi.org/10.3390/molecules13102482>
- Shailajan, S., Hande, H., Singh D. & Tiwari, B. (2014). Estimation of ursolic acid from *Urtica dioica* L. using validated HPTLC method. *Journal of Applied Pharmaceutical Science*, 4(5), 092-095. <https://doi.org/10.7324/japs.2014.40517>
- Taralkar, S. V. & Chattopadhyay, S. (2012). A HPLC Method for determination of ursolic acid and betulinic acids from their methanolic extracts of

Vitex Negundo Linn. *Journal of analytical and bioanalytical Techniques*, 3(3), 1-6.
<https://doi.org/10.4172/2155-9872.1000134>

Lamii albi flos. Industrial Crops and Products, 44, 373–377. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2012.11.018>

Wójciak-Kosior, M., Sowa, I., Kocjan, R., & Nowak, R. (2013). Effect of different extraction techniques on quantification of oleanolic and ursolic acid in

Bina soğutma kapasitesine etki eden parametrelerin yanıt yüzey yöntemi (YYY) kullanılarak incelenmesi

Investigation of the parameters affecting the building cooling capacity using the response surface method (RSM)

Kadir ÖZBEK*^{1,a}, Ömer ÖZYURT^{1,b}

¹*Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 14030, Bolu*

• Geliş tarihi / Received: 17.07.2021

• Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 12.12.2021

• Kabul tarihi / Accepted: 22.12.2021

Öz

Bu çalışmada Ankara iklim şartlarında yer alan örnek bir yapı için enerji analiz programı kullanılarak, binanın dış duvar yalıtım kalınlığının, cam özelliğinin ve tasarım sıcaklığının binanın soğutma kapasitesi üzerindeki etkileri matematiksel ve istatistiksel olarak incelenmiştir. Değiştirilen bu parametreler ile yıllık soğutma yükleri hesaplanmış ve matematiksel bir model oluşturulmuştur. Analizler Carrier firması tarafından sunulan saatlik analiz programı (Carrier HAP) kullanılarak simüle edilmiştir. Oluşturulan modelin önemi varyans analizi (ANOVA) yapılarak incelenmiştir ve P-değeri 0.05'ten az çıkmıştır. Bu da modelin güvenilir olduğunu göstermektedir. Modelin doğrulaması yapılmış olup, hata oranı -0.27 ile 0.26 arasında değiştiği görülmüştür. Örnek yapı için minimum soğutma kapasitesinin, duvar ısı iletim katsayısının 0.46 ile 1.03 arasında değiştiği, cam ısı iletim katsayısının ise 2.48 ile 3.7 arasında değiştiği durumda elde edileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Anahtar kelimeler: Carrier HAP, Soğutma kapasitesi, Yalıtım kalınlığı, Yanıt Yüzey Yöntemi (YYY)

Abstract

In this study, the effects of the exterior wall insulation thickness, glass feature and design temperature on the cooling capacity of the building were investigated mathematically and statistically by using an energy analysis program for a sample building in Ankara climate conditions. With these changed parameters, annual cooling loads were calculated and a mathematical model was created. Analyzes were simulated using the hourly analysis program (Carrier HAP) offered by the Carrier company. The importance of the created model was examined by performing analysis of variance (ANOVA) and the p-value was less than 0.05. This shows that the model is reliable. The model was validated and the error rate was found to vary between -0.27 and 0.26. It has been concluded that the minimum cooling capacity for the sample structure will be obtained if the wall heat transmission coefficient varies between 0.46 and 1.03, and the glass heat transmission coefficient varies between 2.48 and 3.7.

Keywords: Carrier HAP, Cooling capacity, Insulation thickness, Response Surface Method (RSM)

*^a Kadir ÖZBEK; kadir.ozbek@ibu.edu.tr, Tel: (0374) 254 10 00, orcid.org/0000-0002-5475-8111

^b orcid.org/0000-0001-9148-3463

1. Giriş

1. Introduction

Uluslararası Enerji Ajansının 2018 yılı verilerine göre binalarda kullanılan soğutma sistemleri, binaların toplam elektrik enerji tüketiminin yaklaşık beşte birini; tüm küresel elektrik tüketiminin ise %10'unu oluşturmaktadır (IEA, 2018). Birçok ülkede enerji tüketimlerini azaltmak için bina yönetmelikleri oluşturulmuştur. Enerji tüketiminin azaltılmasına yönelik çalışmalar olmasına rağmen, binaların toplam enerji tüketimleri giderek artış göstermektedir. Bu artış, insanların yaşam standartlarının ve konfor ihtiyaçlarının artmasından kaynaklanmaktadır. Gelişmekte olan ülkelerin büyümesi ile konutlarda soğutma sistemlerinin tesis edilmesi artış göstermekte ve yaygın hale gelmektedir. Ayrıca binalarda uygulanan farklı tasarımlardan dolayı soğutma kapasiteleri, eski yapılara göre artmaktadır (Kharseh ve Al-Khawaja, 2016). Ülkemizde de enerjiye olan talep giderek artış göstermektedir. Bu nedenle son yıllarda binalardaki enerji tüketimlerini azaltmaya yönelik yapılan çalışmalarda artış görülmektedir. Daha önceki yapılan çalışmalar incelendiğinde, bina kabuğunda yapılacak olan iyileştirmeler ile termal yükte önemli bir azalmanın olacağı görülmektedir (Alaidroos ve Krarti, 2015; Aldawi vd., 2013; Huang vd., 1999). Dış kabuk özellikleri ile birlikte farklı parametrelerin soğutma kapasiteleri üzerindeki etkisi, iklim koşullarına ve bina tipine bağlıdır. Aynı zamanda farklı çözümlerinin uygulanabilirliği bölgesel koşullar dikkate alınarak, ekonomik olarak incelenmelidir. Ülkemizde binaların enerji değerlendirilmesi, "enerji kimlik belgesi" ile yapılmaktadır. Ayrıca enerjinin ve enerji kaynaklarının etkin ve verimli bir şekilde kullanılması için Enerji Verimliliği Kanunu (Enerji verimliliği kanunu, 2007) ve Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği (Binalarda enerji performansı yönetmeliği, 2008) geçerlidir. Ülkemizde 1 Ocak 2020 tarihi itibarı ile yeni yapılacak olan binalarda enerji kimlik belgesinin alınması zorunlu hale getirilmiştir. Bu alanda yapılan çalışmaların yaygınlaşması ve teşvik edilmesi ile enerji tasarrufunun daha erişilebilir olacağını öngörmekteyiz. Literatürde binanın enerji tüketimine doğrudan etki eden parametreler ve modellemeler ile ilgili bazı çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

Binanın ısıtma ve soğutma yükleri üzerinde etki eden önemli parametreler, dış kabuk bileşenleri ve sızdırmazlığı, kabuğun toplam ısı transfer katsayıları, cam özellikleri ve dış kabuğun termal kütesidir (Kharseh ve Al-Khawaja, 2016).

Binaların ısıtma ve soğutma yüklerinin büyük bir kısmını duvarlar, çatı ve pencerelerden olan ısı kazanç ve kayıpları oluşturmaktadır (Aldawi vd., 2013; Dabaieh vd., 2015). Dabaieh vd. (2015), bir binanın çatısında pasif bir soğutma sisteminin, toplam soğutma yükü üzerindeki etkisini incelemiştir. Geleneksel izole edilmemiş bir yapı ile karşılaştırıldığında soğutma kapasitelerinde %53'lük bir azalma meydana geleceği sonucuna ulaşmışlardır. Alaidroos ve Krarti (2015), özellikle soğutma sistemlerinin oldukça fazla tercih edildiği sıcak iklim ülkelerinde konutların dış kabuklarının güçlendirilmesi ile enerji tüketimlerinde %40'lık bir azalma olacağı görülmüştür. Suleiman (2011), yaptığı çalışmada dış kabuğun ısı iletkenlik katsayısının değiştirilmesi ile soğutma kapasitelerinde %42'lik bir azalma meydana geleceği sonucuna ulaşmıştır. Bichiou ve Krarti (2011), yapmış oldukları çalışmada bina kabuğunun güçlendirilmesi ile ısıtma ve soğutma yüklerinde azalma meydana gelmesinin yanında, optimum sistemin seçilmesi ile yaşam döngüsü maliyetlerinde %25'lik iyileşme olacağı sonucuna ulaşılmıştır. Aldawi vd. (2013), yapmış oldukları çalışmada iklim bölgesine göre farklı duvar bileşenlerinin kullanılması ile binaların soğutma performanslarında %47'ye varan bir azalma olabileceği sonucuna ulaşmışlardır. Geliş ve Yeşildal (2020), yapmış oldukları çalışmada, Türkiye'de 4 derece gün bölgesindeki farklı duvar yapı elemanları için minimum yalıtım kalınlıklarını belirlemişlerdir. Yapılarda kullanılması gereken optimum yalıtım kalınlığının belirlenmesi ile enerji kayıplarını azaltacağı sonucuna ulaşmışlardır.

Binalar için yapılan farklı güçlendirmelerin termal yükler üzerindeki etkisi iklim koşullarına bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Önerilen güçlendirmenin bölgesel olarak belirlenmesi önem arz etmektedir. Eskin ve Türkmen (2008), yapmış oldukları çalışmada dış duvarlarda yalıtım yapılması ile sıcak ve nemli iklimde %23, soğuk iklimde %30 enerji tasarrufu sağlanacağı sonucuna ulaşmışlardır. Florides vd. (2002), düşük yayınlı camların kullanılması ile soğutma kapasitelerinde %24'e varan azalma meydana geleceği sonucuna ulaşmıştır. Ayrıca son zamanlarda yapılan çalışmalarda binalar için en uygun kabuk bileşenlerinin ve sistemlerin seçilebilmesi için optimizasyon tabanlı yaklaşımlar kullanılmıştır. Binaların şekilleri (Wang vd., 2006; Yi ve Malkawi, 2009), duvar-çatı bileşenleri ve yalıtım seviyeleri (Wang vd., 2005), diğer bina kabuk özellikleri (Wright vd., 2002) için farklı yaklaşımlar önerilmiştir. Wong ve Baldwin (2016), yapmış oldukları çalışmada, örnek bir binanın dış kabuğunun yeşil ile kaplanmasının enerji tüketim

maliyetleri üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Yıllık soğutma kapasitelerinde %76 azalma olacağı sonucuna ulaşmışlardır. [Giovanardi vd. \(2008\)](#), İtalya'da izolasyon kalınlıklarının ısıtma ve soğutma yükleri üzerindeki etkileri incelendiğinde, izolasyonun artışının ısıtma yükleri üzerindeki etkisinin soğutma yüklerine göre daha fazla olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Soğutma yüklerinin azaltılmasında tek başına yalıtım kalınlığının azaltılmasının yetersiz olacağı sonucuna ulaşmışlardır.

Binaların performanslarının değerlendirilmesi, değişkenler ile çıktılar arasında modellerin oluşturulabilmesi için birçok istatistiksel yöntem kullanılmaktadır. Yanıt Yüzey Yöntemi (YYY) bu değerlendirmelerde kullanılan ve değişkenler arasındaki ilişkiyi modelleyen en köklü tekniklerden biridir ([Samruamphianskun vd., 2012](#)). [Mao vd. \(2018\)](#), yapmış oldukları çalışmada farklı istatistiksel yöntemler kullanarak konutların işletme parametrelerinin havalandırma sistemi enerji tüketimindeki etkilerini incelemişlerdir. Çalışmada yapının enerji tüketimlerinin hesaplanması için YYY yöntemi kullanılarak matematiksel bir model oluşturmuşlardır. YYY yönteminin optimum işletme parametrelerinin tahmin edilmesinde daha iyi olduğu sonucuna ulaşmışlardır. [T. Liu ve Lee \(2019\)](#), yapmış oldukları çalışmada YYY yönteminin tasarım parametreleri ve çıktılar arasındaki ilişkiyi kurmada uygun olabileceğini belirtmişlerdir. Yapılan çalışmada YYY kullanarak konut havalandırma sistemleri için matematiksel model geliştirilmiştir. Yapılan diğer bir çalışmada, kullanıcıların termal konforu, üretkenliği ve iç ortam parametreleri arasındaki ilişki YYY kullanılarak belirlenmiştir ([Kaushik vd., 2020](#)). Literatürde YYY kullanılarak yapılan çalışmalar incelendiğinde, birçok çalışmanın bina sistemlerinin tasarım parametreleri ve performansları arasındaki ilişkiyi incelemek üzere yapıldığı görülmüştür. Enerji tüketimlerinin tahmin edilebildiği sınırlı sayıda çalışmanın olduğu görülmüştür. [Kim ve Suh \(2021\)](#), yapmış oldukları çalışmada, konutların tasarım parametreleri ile ısıtma ve soğutma yükleri arasındaki ilişkiyi YYY kullanarak belirlemişlerdir. Binanın ısı yükleri, enerji simülasyon programında basitleştirilmiş geometriler kullanılarak hesaplanmıştır. YYY ile oluşturulan model, farklı şehirlerde yer alan yapılar için uygulanmış ve hata oranı kabul edilebilir sınırlar içerisinde kalmıştır. Oluşturulan modelin konutlarda enerji tüketiminin hesaplanması amacıyla kullanılabileceği sonucuna ulaşmışlardır.

Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde binanın dış kabuk özelliklerinin, cam türlerinin ve tasarım parametrelerinin soğutma kapasiteleri üzerindeki etkisi üzerine birçok çalışma yapıldığı görülmüştür. Fakat binaların soğutma yüklerinin modellendiği sınırlı sayıda çalışmaya rastlanmıştır. Bu çalışmada örnek bir yapı için analiz programı kullanılarak, binanın dış duvar yalıtım kalınlığının, cam özelliğinin ve tasarım sıcaklığının binanın soğutma kapasitesi üzerindeki etkileri matematiksel ve istatistiksel olarak incelenmiştir. Yapılan analizler istatistiksel analiz yöntemlerinden, Yanıt Yüzey Yöntemine (YYY) dayalı olarak elde edilen plana uygun olarak tamamlanmış ve elde edilen matematiksel model, farklı parametreler seçilerek doğrulanmıştır.

2. Materyal ve yöntem

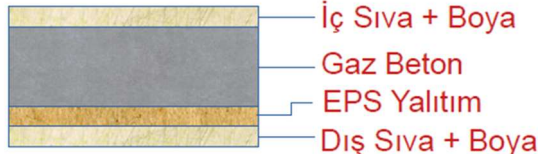
2.1. Material and method

Yapılan çalışmada örnek bir yapı için, belirlenen üç parametrenin (yalıtım kalınlığı, cam özellikleri ve tasarım sıcaklıkları) yapının soğutma kapasitesi üzerindeki etkisi analiz edilmiş ve bir model oluşturulmuştur. Yapının soğutma kapasitesi Carrier firması tarafından sunulan Saatlik Analiz Programı (HAP) kullanılarak yapılmıştır. Çıkan sonuçlar istatistiksel olarak Yanıt Yüzey Yöntemi (YYY) kullanılarak analiz edilmiştir. YYY metodunu kullanarak belirlenen parametrelerin çıktılar üzerindeki etkileri verilebilir ve oluşturulan model ile performans özellikleri arasında korelasyonlar kurulabilir. Yalıtım kalınlığı, cam özelliği ve tasarım sıcaklıkları, bir yapının soğutma kapasitelerini etkileyen önemli parametrelerdendir. Bu nedenle yapılan çalışmada bu üç parametrenin etkileri analiz edilmiş ve matematiksel bir model oluşturulmuştur.

2.1. Örnek yapı

2.1.1. Sample building

Yapılan çalışma 400 m² taban alanına sahip, birbirinin aynısı dört dış duvar ve pencerelerin olduğu ayrık nizam bir bina seçilmiştir. Analizler TS 825 standardında belirtilen 3. Bölgede yer alan Ankara için yapılmıştır. Yapı tek bir ısı bölge olarak ele alınmış ve düz bir çatısı olduğu varsayılmıştır. Binanın duvar kesiti olarak içten dışa doğru sırasıyla iç sıva, gaz beton, yalıtım malzemesi (EPS)- dış sıva olacak şekilde belirlenmiştir. Duvar kesiti Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Duvar kesiti
Figure 1. Wall section

Simüle edilen yapının özellikleri Tablo 1’de verilmiştir. Tabloda yer alan kişi başı taze hava

miktarları konutlar için gerekli olan minimum havalandırma debisi dikkate alınarak belirlenmiştir (Atalay, 2018). Aydınlatma ve ekipmanlardan gelen yükler ise bu tür yapılar için ASHRAE standartları dikkate alınarak belirlenmiştir (Standartds ASHRAE, 2019). Yalıtım malzemesi olarak Türkiye’de yaygın olarak kullanılan EPS için analiz yapılmıştır. Duvar ve cam bileşenlerinin ısı geçirme katsayıları analiz programı kullanılarak hesaplanmıştır. Simüle edilecek olan yapının seçilen duvar ve cam parametrelerin özellikleri Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 1. Örnek yapının özellikleri
Table 1. Sample building properties

Yapı türü	Betonarme	Toplam kapı alanı	3.3 m ²
Bina taban alanı	400 m ²	Taze hava miktarı	2.5 l/s/kişi
Bina hacmi	1200 m ³	Tasarım dış hava sıcaklığı	32.2 °C
Bina yüksekliği	3 m	Aydınlatma yükü	10 W/m ²
Toplam duvar alanı	240 m ²	Ekipmanlardan gelen yük	6 W/m ²
Toplam pencere alanı	40 m ²	Boş olduğu durumdaki iç ortam sıcaklığı	27 °C

Tablo 2. Yapının duvar ve cam parametrelerin özellikleri
Table 2. Properties of the wall and window of sample building

	Duvar özellikleri			Cam özellikleri		
	1 cm EPS	3 cm EPS	5 cm EPS	A tipi cam	B tipi cam	C tipi cam
U (W/m ² K)	1.1	0.7	0.3	2.4	3.4	4,4
			Çerçeve tipi	Aluminyum	Aluminyum	Aluminyum
			Termal boşluk	Var	Var	Yok
			Cam türü	5 mm low-e	6 mm standart	5 mm standart

2.2. Soğutma yükü hesaplamaları

2.2. Cooling load calculations

Soğutma yükü hesaplamaları Carrier Saatlik Analiz Programı kullanılarak yapılmıştır (Carrier Corporation, 2015). Isıtma ve soğutma yük hesaplamaları için ASHRAE standartları birçok yöntem sunmuştur. Carrier HAP programı ise Transfer Fonksiyon yöntemini kullanmaktadır. Transfer Fonksiyonu Yöntemi ile, bir odadaki her bir ısı kazancı bileşeni için ısıtma ve soğutma yükü, ısı kazancı ve zamanın bir fonksiyonu olarak tanımlayan genel bir matematiksel ilişki belirlenir. Bu ilişki daha sonra her saat için yükleri hesaplamak için kullanılır. Matematiksel ilişki, Denklem 1’de verilen Oda Transfer Fonksiyonu Denklemi ile ifade edilir.

$$Q_0 = v_0q_0 + v_1q_1 + v_2q_2 - w_1Q_1 - w_2Q_2 \quad (1)$$

Bu eşitlikte; toplam yük, (Q), alt indisler belirli bir zamanı ifade eder, alt simge (0) geçerli saattir, alt simge (1), 1 saat önceki saattir ve alt simge (2), 2

saat önceki saattir. Isı kazancı, (q), transfer fonksiyonu katsayıları, (v₀, v₁, v₂, w₁, w₂) olarak ifade edilmiştir. Bu katsayıların değerleri her bir ısı kazancı türü ve oda için değişmek ile birlikte her tür ısı kazancını bir yüke dönüştürmede kullanılmaktadır. Oda Transfer Fonksiyonu Denklemi, mevcut saat için yükün (Q) mevcut ve önceki iki saat için ısı kazancının ve yüklerinin bir fonksiyonu olduğunu belirtmektedir.

2.3. Yanıt yüzey yöntemi (YYY)

2.3. Response surface method (RSM)

YYY yöntemi ilk olarak 1951 yılında Box ve Wilson (Box ve Wilson, 1951) tarafından önerilen deneysel bir tasarım yöntemidir. Temsili noktalar üzerinde deneyler ve regresyon yapmak için kullanılır. Ayrıca geniş bir çerçevede faktörler ve sonuçlar arasındaki ilişkiyi belirlemektedir (Cao ve Shen, 2019). YYY analiz edilecek olan sürecin denklemine uygun olan bir regresyon oluşturur ve kontur haritasını çizerek her faktör seviyesine karşılık gelen değeri tahmin eder. Deneysel

koşulların yanıt değerleri, her bir faktöre göre ayrı ayrı belirlenir. Son olarak, sonuçları etkileyen faktörleri ve bunların etkileşimlerini değerlendirmek için deneyler yoluyla değişken bir yüzey modeli kurulur. Geleneksel optimizasyon yöntemleri ile karşılaştırıldığında daha doğru deneysel sonuçlar elde edilmektedir (Yu ve Leng, 2020). Ayrıca oluşturulan modellerin doğrulamalarının yapılabilmesi için çeşitli test yöntemlerinin uygulanması gereklidir. ANOVA analizlerinin yapılması ve sonuçların model denklemleri ile uyum kalitesi yakınsama katsayısı (R^2) kullanılarak ifade edilmiştir (Raymond H. Myers vd., 2016). Araştırmacılar bir modelin doğruluğunu ölçmek için (R^2) değerini kullanırlar. Modelin R_{adj}^2 değeri ise R^2 katsayısının değiştirilmiş halidir. Modele etkisi olmayacağı bilinen faktörlerin eklenmesi R_{adj}^2 değerini azaltmaktadır (Vahedi Torshizi vd., 2020).

YYY genellikle iki aşamaya ayrılabilir. Birinci aşama yanıt yüzey tasarım aşaması olarak ve ikinci aşama ise yanıt yüzey optimizasyon aşaması olarak adlandırılabilir. Yanıt yüzey tasarım aşamasında incelenecek çok sayıda faktör varsa, her bir faktörün önemini belirlemek için tarama deneyleri yapılır ve son olarak daha fazla araştırma için en büyük etkiye sahip olan faktör seçilir. Tarama deneyleri kısmi faktöriyel tasarım deneylerini içerir. İlk aşamanın ana hedefi mevcut deneysel koşullar ile yanıt yüzeyinin arasındaki ilişkiyi incelemektir. Test koşulları optimal konumdan uzak olduğunda, yanıt yüzeyinin optimal konumuna birinci dereceden yaklaşım modeli uygulanmalıdır (Liu vd., 2021).

Test koşulları optimal bölgeye yakın veya bölgede olduğunda ikinci aşamaya geçilir. Yaklaşım için ikinci dereceden bir model kullanılır (Liu vd.,

2021). En yaygın olarak kullanılan model Taylor serisi açılımına dayalı olan polinomdur ve aşağıdaki gibi ifade edilir (Han vd., 2015);

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i X_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} X_i^2 + \sum_{i < j}^k \beta_{ij} X_i X_j \quad (2)$$

Burada, x_i ve x_j dizayn parametreleri, β ayar parametresi ve k parametre sayısıdır. Birçok ikinci dereceden model tasarımı türü vardır bunlar arasından en yaygın olanları merkezi kompozit tasarım (CCD), Box-Behnken tasarımıdır (BBD). Yapılan çalışmada ikinci dereceden model oluşturmada en iyi sonuçları veren istatistiksel tasarım metodu olan (CCD) kullanılmıştır.

3. Bulgular

3. Results

3.1. Yanıt yüzey yöntemi (YYY) bulguları

3.1. Response surface method (RSM) results

Bu bölümde yapıların soğutma yüklerini doğrudan etkileyen üç parametrenin (duvar yalıtımı, cam özeliği ve tasarım sıcaklığı), binanın toplam soğutma yüküne üzerindeki etkileri istatistiksel bir YYY modeli kullanılarak incelenmiştir.

Yanıt yüzey yönteminde yapı için optimal parametreler elde edilir ve bu parametreler arasındaki ilişki incelenir (Geliş ve Akyurek, 2021). Yanıt yüzey yönteminde bu parametreler üç düzeyde seçilmiştir. Tablo 3'te analizlere kullanılmak üzere seçilen parametreler ve seviyeleri verilmiştir. Bu değerler en düşük, orta ve en yüksek değerleri belirtmektedir.

Tablo 3. Araştırmada ele alınan parametreler ve değerleri

Table 3. Parameters and their level values of study

Parametre adı	Sembol	Seviyeler		
		-1	0	1
Duvar ısı iletim katsayısı	x_1	0.3	0.7	1.1
Cam ısı iletim katsayısı	x_2	2.4	3.4	4.4
Dizayn sıcaklığı	x_3	22	23	24

Yukarıdaki tabloda görüldüğü gibi parametreler farklı düzeylerde incelenmiştir. Yanıt yüzey yönteminde bu parametrelere uygun olarak CCD modeli kullanılarak 20 analiz yapılmıştır. Tablo

4'te YYY yöntemi ile oluşturulan kombinasyonlar ve bu kombinasyonların analiz sonuçları verilmiştir. Soğutma yükleri Carrier HAP saatlik analiz programı kullanılarak elde edilmiştir.

Tablo 4. Kombinasyonlar ve hesaplama sonuçları**Table 4.** Combinations and calculation results

Sıra no	Duvar ısı iletim katsayısı (W/m ² .K)	Pencere ısı iletim katsayısı (W/m ² .K)	Tasarım sıcaklığı (°C)	Soğutma yükü (kWh)
1	0.7	3.4	23	48537
2	0.7	3.4	23	48540
3	0.7	3.4	23	48535
4	0.3	2.4	22	49407
5	0.7	3.4	22	49152
6	0.7	4.4	23	48901
7	0.3	4.4	24	48480
8	0.7	3.4	23	48536
9	1.1	2.4	22	49408
10	0.3	4.4	22	49665
11	0.3	3.4	23	48724
12	0.7	3.4	23	48541
13	0.7	2.4	23	48625
14	1.1	4.4	24	48331
15	0.3	2.4	24	48328
16	1.1	2.4	24	48082
17	0.7	3.4	23	48537
18	0.7	3.4	24	47954
19	1.1	3.4	23	48677
20	1.1	4.4	22	49776

Yapıların soğutma yükleri ile belirlenen dizayn parametreleri arasındaki matematiksel ilişkiyi doğrudan veren bir bağıntı bulunmaktadır. YYY kullanılarak bağımsız değişkenler ve sonuçlar arasında matematiksel bir model oluşturmak mümkündür.

Denklem 3'te soğutma kapasitesi için oluşturulmuş ikinci dereceden model verilmiştir. Belirlenen parametrelerin bu sonuçlar üzerindeki etkileri incelenmiş olup, Tablo 5'te istatistiksel analiz sonuçları verilmiştir.

$$\text{Soğutma Kapasitesi} = 67815 + 1938x_1 - 784x_2 - 1013x_3 + 1002.8x_1 * x_1 + 222.95x_2 * x_2 + 12.95x_3 * x_3 + 64.7x_1 * x_2 - 158.4x_1 * x_3 - 28.12x_2 * x_3 \quad (3)$$

Modelin önemi varyans analizi (ANOVA) yapılarak incelenmiştir. Bu çalışmada YYY için güven aralığı %95 olarak seçilmiştir. Tablo 5'e göre, oluşturulan matematiksel modelin F değerinin 2742.46; P-değerinin ise 0.05'ten küçük olduğu görülmektedir. Bu sonuçlar modelin güvenilir olduğunu ve analizlerde kullanılabileceğini belirtmektedir. Tablo 5'te $x_3 * x_3$ 'ün p-değerinin 0.05'ten büyük olduğu için model için anlamlı olmadığı göstermektedir.

Tablo 6'da ise oluşturulan modellerin R² değerleri verilmiştir. Soğutma kapasitesi hesaplamaları için oluşturulan matematiksel modelin R² değeri %99.96 olarak bulunmuştur. Bu da modelin hesaplama kullanımlarında uygun olduğunu göstermektedir. Ayrıca R²_{adj} değeri de diğer bir karşılaştırma metodu olup, 100'e yakın olması matematiksel modelin girdi ve çıktı parametreleri arasındaki ilişkinin iyi olduğunu göstermektedir.

Tablo 5. Soğutma kapasitesi için ANOVA tablosu**Table 5.** ANOVA table for cooling capacity

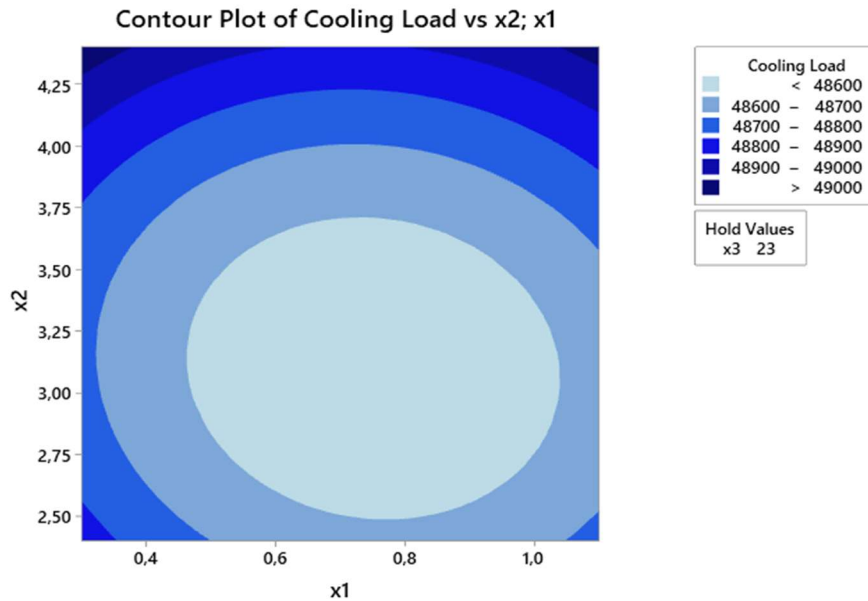
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	9	4732072	525786	2742.46	0.000
Linear	3	4065700	1355233	7068.79	0.000
x ₁	1	10890	10890	56.80	0.000
x ₂	1	169781	169781	885.56	0.000
x ₃	1	3885029	3885029	20264.01	0.000
Square	3	622557	207519	1082.40	0.000
x ₁ *x ₁	1	70801	70801	369.29	0.000
x ₂ *x ₂	1	136699	136699	713.01	0.000
x ₃ *x ₃	1	462	462	2.41	0.152
2-Way Interaction	3	43815	14605	76.18	0.000
x ₁ *x ₂	1	5356	5356	27.94	0.000
x ₁ *x ₃	1	32131	32131	167.59	0.000
x ₂ *x ₃	1	6328	6328	33.01	0.000

Tablo 6. Soğutma kapasitesi için R² değerleri**Table 6.** R² values for cooling capacity

Analiz	S	R ²	R ² _{adj}	R ² (pred)
Soğutma kapasitesi	13.8463	99.96%	99.92%	99.68%

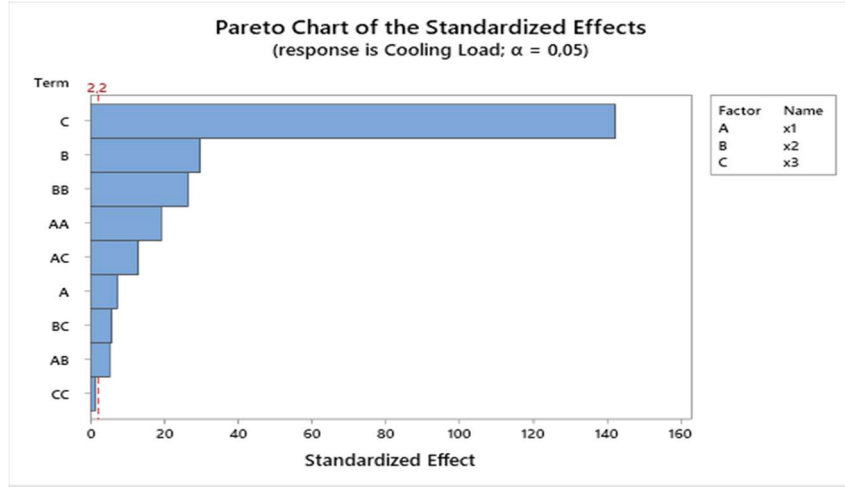
Şekil 2’de yer alan kontur grafiği Minitab 19 uygulaması kullanılarak oluşturulmuştur. Bu şekil analiz programına girilen veriler ve varyans analizinin birlikte değerlendirilmesi ile oluşmaktadır. Bir yapı için optimum sistemlerin ve yapı bileşenlerinin belirlenebilmesi, bu parametrelerin kapasiteler üzerindeki etkilerine bağlıdır. Şekil 2’ye göre yapı için soğutma yüklerinin az olduğu durumlar duvar ve cam ısı

iletim katsayısı değerine göre verilmiştir. Bu tabloya göre örnek yapı için, soğutma kapasitesinin 48600 kWh’den daha az olması, duvar ısı iletim katsayısının 0.46 ile 1.03 arasında değiştiği, cam ısı iletim katsayısının ise 2.48 ile 3.7 arasında değiştiği durumda elde edilebilecektir. Bu şekil kullanılarak yapı için en uygun duvar yalıtım kalınlığı ve cam özelliklerinin seçilmesi mümkün olacaktır.

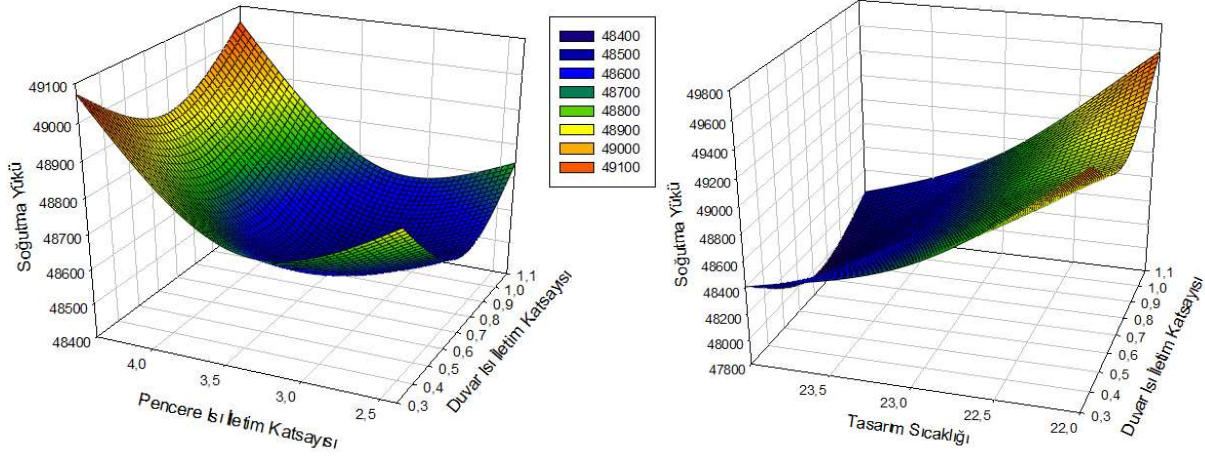
**Şekil 2.** Soğutma kapasitesi için kontur grafiği**Figure 2.** Contour chart for cooling capacity

Şekil 3’de yer alan grafikler Minitab 19 uygulaması kullanılarak oluşturulmuştur. Pareto diyagramı parametrelerin çıktılar üzerindeki önem derecelerini belirlemek için kullanılmaktadır. Pareto diyagramına göre soğutma kapasitesine etkisi en yüksek olan parametre tasarım sıcaklığı olduğu görülmüştür.

Şekil 4’te belirlenen parametrelerin binanın soğutma kapasitesi üzerindeki etkileri 3 boyutlu olarak sunulmuştur. Şekil 4’e göre binanın soğutma yükünün duvar ve pencere ısı iletim katsayısı artışı ile artış gösterdiği; tasarım sıcaklığı artışı ile azaldığı görülmüştür.



Şekil 3. Soğutma kapasitesi için YYY analiz sonuçları
Figure 3. RSM analysis results for cooling capacity



Şekil 4. Parametrelerin soğutma yükleri üzerindeki etki grafikleri
Figure 4. Effects of parameters on cooling loads

3.2. YYY model doğrulaması

3.2. RSM model validation

YYY analizlerinin tamamlanmasının ardından, oluşturulan modelin doğru sonuçlar verdiğini ölçmek için doğrulama analizleri yapılmıştır. YYY ile belirlenen deneylere ek olarak, rastgele parametreler belirlenmiş ve her iki yöntem ile elde edilen sonuçlar Tablo 7’de verilmiştir.

Matematiksel model ve analiz sonuçları doğrultusunda elde edilen soğutma kapasitelerinin aralarındaki hata oranı kabul edilebilir bir aralıkta çıkmıştır. Tablo 7’e göre soğutma kapasitesi hesaplamalarında analiz programı ile model arasındaki hata oranı 0.27 ile 0.26 arasında olduğu görülmüştür. Bu da gösteriyor ki matematiksel model, bağımsız değişkenler ve çıktılar arasındaki ilişkiyi yüksek oranda temsil etmektedir.

Tablo 7. Model hata oranı**Table 7.** Model error rate

Tasarım parametreleri			Soğutma kapasitesi (kWh)		
X ₁	X ₂	X ₃	Analiz sonucu	Model	Hata (%)
0.42	2.4	22	49236	49314	0.15
0.35	3.4	23	48559	48690	0.26
0.71	4.4	24	48281	48151	-0.27

4. Sonuçlar

4. Conclusions

Bu çalışmada örnek bir yapı için soğutma kapasitesi hesap tahmini için istatistiksel bir çalışma yapılmıştır. Yapının soğutma kapasitesine doğrudan etkileyen dış duvar yalıtım kalınlığı, cam özelliği ve tasarım sıcaklığı bağımsız değişkenler olarak seçilmiştir. Bu parametrelerin soğutma kapasiteleri üzerindeki etkileri incelenmiş ve matematiksel bir model oluşturulmuştur. Elde edilen sonuçlar şu şekilde özetlenebilir:

- Soğutma kapasitesi için oluşturulan modelin P-değeri 0.05'ten az çıkmıştır. Bu da oluşturulan modelin güvenilir olduğunu göstermektedir.
- Modelin doğrulaması yapılmış olup, hata oranı 0.27 ile 0.26 arasında değiştiği görülmüştür.
- Modelin R² değeri 100'e yakın çıkmıştır. Bu da oluşturulan modelin hesaplamalarda kullanılmasının uygun olduğunu belirtmektedir.
- Bu sayısal model kullanılarak benzer yapılar için farklı analizlerin yapılması mümkün olacaktır.

Örnek yapı için soğutma kapasitesinin 48600 kWh'den daha az olması, duvar ısı iletim katsayısının 0.46 ile 1.03 arasında değiştiği, cam ısı iletim katsayısının ise 2.48 ile 3.7 arasında değiştiği durumda elde edilebilecektir.

Yazar katkısı

Author contribution

Kadir ÖZBEK, Fikir, literatür taraması, makale yazımı; Ömer ÖZYURT: Analiz ve yorum, eleştirel inceleme

Etik beyanı

Declaration of ethical code

Bu makalenin yazarları, bu çalışmada kullanılan materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve / veya yasal-özel izin gerektirmediğini beyan etmektedir.

Çıkar çatışması beyanı

Conflicts of interest

Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Kaynaklar

References

- Alaidroos, A. & Krarti, M. (2015). Optimal design of residential building envelope systems in the Kingdom of Saudi Arabia. *Energy and Buildings*, 86, 104–117. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.09.083>
- Aldawi, F., Alam, F., Date, A., Alghamdi, M. & Aldhawi, F. (2013). A new house wall system for residential buildings. *Energy and Buildings*, 67, 403–418. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.08.019>
- Atalay, D. (2018). Avrupa ve Amerikan standartlarına göre bina konfor havalandırması sistemlerinde kullanıcılara sağlanması gereken taze hava miktarlarının karşılaştırılması. *TTMD Dergisi*, 115.
- Bichiou, Y. & Krarti, M. (2011). Optimization of envelope and HVAC systems selection for residential buildings. *Energy and Buildings*, 43(12), 3373–3382. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.08.031>
- Binalarda enerji performansı yönetmeliği. (2008). *T.C. Resmî Gazete* (27075, 5 Aralık 2008)
- Box, G. E. P. & Wilson, K. B. (1951). On the Experimental Attainment of Optimum Conditions. *Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Methodological)*, 13(1), 1–38. <https://doi.org/10.1111/j.2517-6161.1951.tb00067.x>
- Cao, Y. & Shen, D. (2019). Contribution of shared bikes to carbon dioxide emission reduction and the economy in Beijing. *Sustainable Cities and Society*, 51. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101749>
- Carrier Corporation. (2015). *Hourly Analysis Program Quick Reference Guide*.

- Dabaieh, M., Wanas, O., Hegazy, M. A. & Johansson, E. (2015). Reducing cooling demands in a hot dry climate: A simulation study for non-insulated passive cool roof thermal performance in residential buildings. *Energy and Buildings*, 89, 142–152. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.12.034>
- Enerji verimliliği kanunu. (2007). *T.C. Resmî Gazete* (26510, 18 Nisan 2007)
- Eskin, N. & Türkmen, H. (2008). Analysis of annual heating and cooling energy requirements for office buildings in different climates in Turkey. *Energy and Buildings*, 40(5), 763–773. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2007.05.008>
- Florides, G. A., Tassou, S. A., Kalogirou, S. A. & Wrobel, L. C. (2002). Measures used to lower building energy consumption and their cost effectiveness. *Applied Energy*, 73(3–4), 299–328. [https://doi.org/10.1016/S0306-2619\(02\)00119-8](https://doi.org/10.1016/S0306-2619(02)00119-8)
- Gelis, K. & Akyurek, E. F. (2021). Entropy generation of different panel radiator types: design of experiments using response surface methodology (RSM). *Journal of Building Engineering*, 41, 102369. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.102369>
- Geliş, K. & Yeşildal, F. (2020). Klasik ve modern yapı elemanları kullanılması durumunda ısı iletim katsayısının değişimi ile minimum yalıtım kalınlığının tayini. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 10, 869–877. <https://doi.org/10.17714/gumusfenbil.725909>
- Giovanardi, A., Troi, A., Sparber, W. & Baggio, P. (2008). Dynamic simulation of a passive house in different locations in Italy. *25th Conference on Passive and Low Energy Architecture (PLEA)* (pp. 1–5). Dublin.
- Gunst, R. F., Myers, R. H. & Montgomery, D. C. (1996). Response surface methodology: process and product optimization using designed experiments. *Technometrics*, 38(3), 285. <https://doi.org/10.2307/1270613>
- Han, H. Z., Li, B. X., Wu, H. & Shao, W. (2015). Multi-objective shape optimization of double pipe heat exchanger with inner corrugated tube using RSM method. *International Journal of Thermal Sciences*, 90, 173–186. <https://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2014.12.010>
- Huang, J., Hanford, J. & Yang, F. (1999). Residential heating and cooling loads component analysis. *Lawrence Berkeley National Laboratory*, 44636.
- IEA. (2018). The future of cooling: opportunities for energy-efficient air conditioning. in *the future of cooling: opportunities for energy-efficient air conditioning*. Erişim adresi www.iea.org/t&c/
- Kaushik, A., Arif, M., Tumula, P. & Ebohon, O. J. (2020). Effect of thermal comfort on occupant productivity in office buildings: response surface analysis. *Building and Environment*, 180, 107021. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.107021>
- Kharseh, M. & Al-Khawaja, M. (2016). Retrofitting measures for reducing buildings cooling requirements in cooling-dominated environment: residential house. *Applied Thermal Engineering*, 98, 352–356. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2015.12.063>
- Kim, D. D. & Suh, H. S. (2021). Heating and cooling energy consumption prediction model for high-rise apartment buildings considering design parameters. *Energy for Sustainable Development*, 61, 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.esd.2021.01.001>
- Liu, T. & Lee, W. L. (2019). Using response surface regression method to evaluate the influence of window types on ventilation performance of Hong Kong residential buildings. *Building and Environment*, 154, 167–181. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.02.043>
- Liu, Y., Wang, X. jia, Zhou, S. & Chen, H. (2021). Enhancing public building energy efficiency using the response surface method: an optimal design approach. *Environmental Impact Assessment Review*, 87. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2020.106548>
- Mao, N., Song, M., Pan, D. & Deng, S. (2018). Comparative studies on using RSM and TOPSIS methods to optimize residential air conditioning systems. *Energy*, 144, 98–109. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.11.160>
- Samruamphianskun, T., Piumsomboon, P. & Chalermisinsuwan, B. (2012). Effect of ring baffle configurations in a circulating fluidized bed riser using CFD simulation and experimental design analysis. *Chemical Engineering Journal*, 210, 237–251. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2012.08.079>
- Standartds, ASHRAE. (2019). *Energy standard for buildings except low-rise residential buildings (ANSI/ASHRAE/IES Standard 90.1-2019)*. Erişim adresi ASHRAE Online
- Suleiman, B. M. (2011). Estimation of u-value of traditional North African houses. *Applied Thermal Engineering*, 31(11–12), 1923–1928. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2011.02.038>

- Vahedi Torshizi, M., Azadbakht, M. & Kashaninejad, M. (2020). Application of response surface method to energy and exergy analyses of the ohmic heating dryer for sour orange juice. *Fuel*, 278. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.118261>
- Wang, W., Rivard, H. & Zmeureanu, R. (2006). Floor shape optimization for green building design. *Advanced Engineering Informatics*, 20(4), 363–378. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2006.07.001>
- Wang, W., Zmeureanu, R. & Rivard, H. (2005). Applying multi-objective genetic algorithms in green building design optimization. *Building and Environment*, 40(11), 1512–1525. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2004.11.017>
- Wong, I. & Baldwin, A. N. (2016). Investigating the potential of applying vertical green walls to high-rise residential buildings for energy-saving in sub-tropical region. *Building and Environment*, Vol. 97, pp. 34–39. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.11.028>
- Wright, J. A., Loosemore, H. A. & Farmani, R. (2002). Optimization of building thermal design and control by multi-criterion genetic algorithm. *Energy and Buildings*, 34(9), 959–972. [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(02\)00071-3](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(02)00071-3)
- Yi, Y. K. & Malkawi, A. M. (2009). Optimizing building form for energy performance based on hierarchical geometry relation. *Automation in Construction*, 18(6), 825–833. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2009.03.006>
- Yu, F. & Leng, J. (2020). Multivariable interactions in simulation-based energy-saving glass roof designs. *Solar Energy*, 201, 760–772. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2020.02.095>

Production of high-transparent MgO films by radio-frequency sputtering method

Yüksek geçirgen MgO filmlerin radyo frekansı saçırma yöntemiyle üretimi

Fatih ŞENASLAN^{*1,a}, Ayhan ÇELİK^{2,b}, Muharrem TAŞDEMİR^{1,c}

¹Gümüşhane University, Engineering and Natural Sciences Faculty, Department of Mechanical Engineering, 29100, Gümüşhane

²Atatürk University, Engineering Faculty, Department of Mechanical Engineering, 25240, Erzurum

• Geliş tarihi / Received: 08.10.2021

• Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 21.12.2021

• Kabul tarihi / Accepted: 01.01.2022

Abstract

Magnesium oxide (MgO) thin films were deposited on silicon and glass substrates by the radio frequency (RF) sputtering method. The MgO films were annealed at 400 °C for 4h. The effect of working pressure on the structure and optical properties of MgO films was investigated. Structural characterization of thin films was determined using the X-ray diffraction (XRD) method. XRD results showed the presence of dominant peaks corresponding to the (200) and (220) lattice planes of MgO. However, peaks corresponding to (111), (311) and (222) lattice planes of the MgO also appeared in the films deposited at low pressure. It was determined that the average crystal size decreased as the working pressure reduced, while the deposition rate increased. SEM analysis showed that the microstructure of the nano-spherical MgO film transformed into a coarse-grained nano-pyramidal shape after annealing. The optical properties of MgO films were investigated by UV-Vis spectroscopy. Accordingly, it was determined that the absorption threshold of the films was around 310 nm wavelength and the optical band gap of the films varied between 4.07 and 4.14 eV. As a result, MgO films with high transmittance reaching an average of 95% in the visible region were obtained.

Keywords: High-transparent films, Magnesium oxide, Optical properties, RF sputtering

Öz

Magnezyum oksit (MgO) ince filmler, radyo frekansı (RF) saçırma yöntemiyle silikon ve cam altlıklar üzerine biriktirildi. MgO filmler 400 °C'de 4 saat tavlandı. MgO filmlerin yapı ve optik özellikleri üzerine çalışma basıncının etkisi araştırıldı. İnce filmlerin yapısal karakterizasyonu, X-ışını kırınımı (XRD) yöntemi kullanılarak belirlendi. XRD sonuçları, MgO'nin (200) ve (220) kafes düzlemlerine karşılık gelen baskın tepe noktalarının varlığını gösterdi. Bununla birlikte, düşük basınçta biriktirilen filmlerde MgO'nin (111), (311) ve (222) kafes düzlemlerine karşılık gelen pikler de ortaya çıktı. Çalışma basıncı azaldıkça ortalama kristal boyutunun azaldığı, biriktirme hızının ise arttığı belirlendi. SEM analizi, MgO filminin nano-küresel mikroyapısının, tavlama sonrası iri taneli bir nano-piramidal şekle dönüştüğünü gösterdi. MgO filmlerinin optik özellikleri Ultraviyole-Görünür spektroskopisi ile incelendi. Buna göre filmlerin absorpsiyon eşliğinin 310 nm dalga boyu civarında olduğu ve filmlerin optik bant aralığının 4,07 ile 4,14 eV arasında değiştiği belirlendi. Sonuç olarak görünür bölgede ortalama %95'e ulaşan yüksek geçirgenliğe sahip MgO filmler elde edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Yüksek-geçirgen filmler, Magnezyum oksit, Optik özellikler, RF saçırma

^{*a} Fatih ŞENASLAN; fsenaslan@gumushane.edu.tr, Tel: (0456) 233 10 00, orcid.org/0000-0003-0498-6332

^b orcid.org/0000-0002-8096-0794

^c orcid.org/0000-0003-3291-108X

1. Introduction

1. Giriş

Magnesium oxide (MgO) is an attractive material for many applications due to its several superior properties such as high electrical resistivity, low thermal conductivity, hyper optical transparency, good chemical inertness and high secondary-electron emission (Caceres et al., 2002). MgO films have an important place especially in the field of electronics. MgO thin films are actively used as a buffer layer for the deposition of high-temperature superconductors and perovskite-type ferroelectric films (Kim et al., 2000; Lee et al., 2003). The purpose of using buffer layers in such applications is to reduce interdiffusion, lattice mismatch and other undesirable reactions (Płóciennik et al., 2016). It is also used as a protective dielectric layer to increase the lifetime of the panel in the plasma display technology (Baba et al., 2000; Eun et al., 2003). In the plasma display panel, a low discharge voltage is required to ensure high electrical efficiency. Therefore, MgO films with high secondary electron emission efficiency are used to reduce the discharge voltage in such devices. Moreover, MgO is considered as an alternative material that can be used instead of the existing dielectric material SiO₂ for capacitor applications. On the other hand, MgO thin film is mostly preferred in optoelectronic applications because of its optical properties such as wide band gap, high transparency and relatively low refractive index (Visweswaran et al., 2020). For this reason, the examination and improvement of the optical properties of transparent oxide films, which have an important position in electronic applications, will allow for the expansion of their usage area.

The MgO thin films have been produced by various mechanisms and methods such as thermal oxidation (Patil & Puri, 2011), electrochemical deposition (Chowdhury & Kumar, 2006), atomic layer deposition (Kim et al., 2013), chemical vapor deposition (Boo et al., 1999), e-beam evaporation (Cho et al., 2010), RF/DC magnetron sputtering (Eun et al., 2003; Lee et al., 2003; Nam & Han 2003), electrostatic spray deposition (Kim et al., 2000), sol-gel (Ho et al., 1997; Bazhan et al., 2013) and successive ionic layer adsorption and reaction (SILAR) (Güney & İskenderoğlu, 2018). Among all these methods, magnetron sputtering is particularly suitable for producing thin films with high homogeneity for electronic applications. The structural and optical properties of thin films can be controlled by changing sputter parameters such as power, working pressure, substrate temperature, pressure, and gaseous environment. In particular,

the RF working pressure plays an important role to improve the crystallinity of MgO films. Therefore, the examination of the working pressure will a great contribution to the expansion of the usage area of MgO materials. Accordingly, in this study, high-transparent MgO thin films were grown on glass and silicon (Si) substrates by the RF magnetron sputtering method. The effect of RF working pressure on MgO thin films was characterized structurally and optically.

2. Material and method

2. Materyal ve metot

MgO thin films were deposited on Corning glass and P-type Si (100) substrates by the radio frequency (RF) sputtering system (Vaksis Handy 3M). The MgO target was used as source material for the deposition of the films. The MgO target was fabricated by pressing MgO powder (99.95% purity) into a disk (50 mm diameter × 3 mm thickness) and sintering at 1450 °C for 2h. (Kurt J. Lesker Company). MgO is a white, odorless and non-toxic material. MgO, which is a highly ionic insulating material, has a sodium chloride (NaCl) type crystal structure with face-centered-cubic (FCC). The P-type Si (100) substrates were purchased from the Maideli Advanced Materials Company Chine, whereas the Corning glass substrates were purchased from the local market. Prior to deposition, all substrates were cleaned with an ultrasonic cleaner in acetone, methanol and deionized water baths, respectively. In addition to this, the Radio Corporation of America (RCA) method consisting of two steps was used to clean the Si (100) substrates. In the first step of the RCA procedure, a solution of NH₄OH:H₂O₂:H₂O was prepared by mixing at a ratio of 1:1:5, respectively. Silicon substrates were kept in this solution at 70 °C for 10 minutes and washed with deionized (DI) water for rinsing. Then these substrates were dipped in HF:H₂O (1:50) solution for 30 s and rinsed in DI water. In the second step, the Si (100) substrates were dipped into HCl:H₂O₂:H₂O (mixing ratio of 1:1:6, respectively) solution at 70 °C for 10 min. Afterwards, they were etched in HF:H₂O (1:50) solution for 30 s. Finally, the Si (100) substrates were rinsed in deionized water and then dried with dry nitrogen gas. The clean samples were put into the sputter system using a holder. The vacuum chamber pressure was reduced to 1×10^{-6} Torr through a turbopump. The substrate temperature was set to 300 °C and the sputter power was kept constant at 100W. The high purity (99.9%) inert argon gas was used during sputtering. The working pressures were adjusted to be 5, 7.5 and 10 mTorr for each deposition

condition. Deposition parameters of MgO thin films grown by the RF sputtering method are given in Table 1. The sputtered films were annealed with a muffle furnace (Carbolite-CWF) at 400 °C for 4 h in air ambient. The annealing furnace was heated to 400 degrees with a ramp rate of 15 °C min⁻¹. After the furnace temperature stabilized, the samples were placed in the furnace and annealed for 4 hours. Then, the furnace was cooled down to room temperature slowly (~5 °C min⁻¹) to prevent crack formation.

The crystal structure of MgO thin films deposited on Si (100) substrates was characterized by the X-ray diffraction method (XRD) using a Panalytical Empyrean X-ray diffractometer with Cu K α ($\lambda = 1.5406 \text{ \AA}$) radiation in a scan ranging from 30° to 90° (2 θ). The thickness of the films was measured from the partially masked region using a profilometer (Kla Tencor Stylus Profiler) to determine the MgO deposition rate. The surface images of the films were examined to observe the microstructural change after annealing by scanning electron microscopy (SEM) using a Zeiss Sigma 300. The optical properties of MgO films deposited on glass substrates were determined using a UV–Vis spectrophotometer (Shimadzu UV- 600 Plus) in the wavelength range of 300–900 nm.

Table 1. Deposition parameters of MgO thin films by the RF sputtering method

Tablo 1. MgO ince filmlerin RF saçırma yöntemiyle biriktirme parametreleri

Parameters	Values
Target	99.95% purity MgO, Ø50 mm, t:3 mm
Distance from substrate to target	65 mm
Substrates material	P-type Silicon (100), Corning glass
Base vacuum pressure	1E-6 Torr
Flow rate of the Ar gas	50 sccm
Working pressure	5 mTorr, 7.5 mTorr and 10 mTorr
Sputtering power	100 W
Substrate temperature	300 °C
The holder rotating speed	3 rpm
Deposition time	2 h

3. Results and discussion

3. Bulgular ve tartışma

The deposition rate was determined by the ratio of the film thickness to the deposition time. The thickness of the films deposited on the Si substrate

was measured using a stylus profilometer. The deposition rate of MgO thin films, which were grown at 5, 7.5 and 10 mTorr pressures for 2 hours, was calculated as 9.16, 7.52 and 5.41 Å/min, respectively. The deposition rate gradually decreased with increasing working pressure. The quantity of Ar gas in the vacuum chamber at high deposition pressures is higher than at low deposition pressure. This situation increases the collision probability of gas atoms with each other. Thus, the energy of Ar atoms bombarding the target surface is reduced, which leads to a decrease in the deposition rate. On the other hand, the mean free path is reduced by rising pressure for MgO. This causes a decrease in the energy of the sputtered atoms and an increased probability of atoms being backscattered, which is another reason for the reduction of the deposition rate.

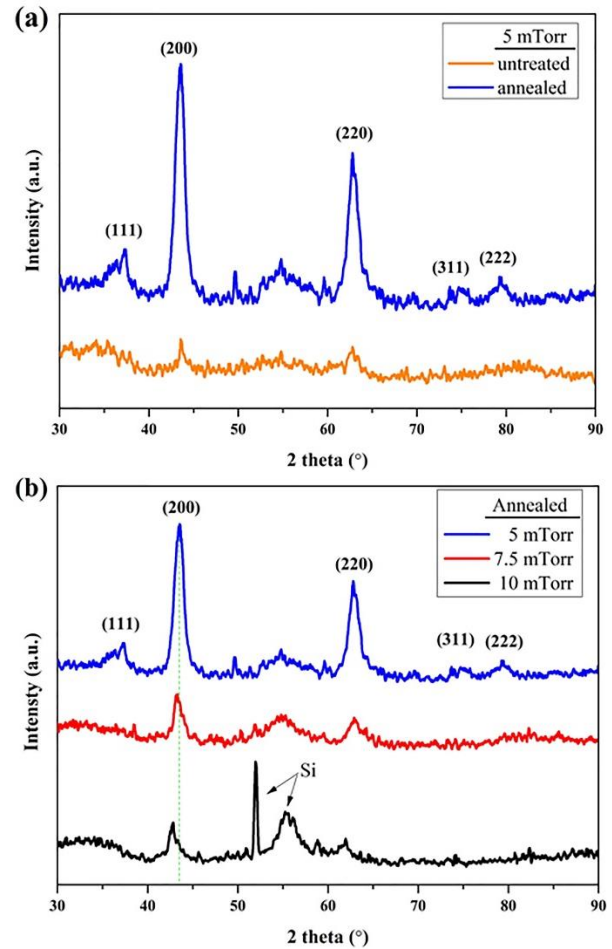


Figure 1. (a) XRD patterns of untreated and annealed MgO thin film deposited at 5 mTorr, (b) XRD patterns of annealed MgO thin films deposited at 5, 7.5 and 10 mTorr.

Şekil 1. (a) 5 mTorr'da biriktirilen işlemsiz ve tavllanmış MgO ince filmin XRD desenleri, (b) 5, 7,5 ve 10 mTorr'da biriktirilen tavllanmış MgO ince filmlerin XRD desenleri.

X-ray diffraction patterns of untreated and annealed MgO thin film deposited at 5 mTorr pressure are given in Figure 1(a). From this figure, it is clearly seen that the peak intensity of the thin film increased after the annealing process. In particular, the increase in the intensity of the (2 0 0) and (2 2 0) MgO diffraction peaks indicates that the annealing process considerably increased the crystallization. Figure 1(b) shows the XRD patterns of the annealed MgO thin films as a function of the working pressure. The XRD patterns revealed the presence of prominent peaks at around 2θ values of 43.5° and 62.8° corresponding to the (200) and (220) lattice planes of the MgO in all deposition conditions. However, three peaks at 2θ value of 37.4°, 73.7° and 79.2° corresponding to (111), (311) and (222) lattice planes of the MgO also appeared in low deposition conditions. Furthermore, the intensity of the diffraction peaks increased with decreasing working pressure for MgO film. This is associated

with an increase in the film thickness as well as an increase in the crystallization rate of the MgO film. The average crystallite size (D) of MgO films corresponding to the (200) plane was calculated from the XRD data by Debye-Scherrer's equation (1) (Güney & İskenderoğlu, 2018). The average crystallite size increased from 7.12 nm to 10.78 nm with increasing working pressure, while FWHM decreased from 1.2 to 0.8. This situation demonstrated that the crystal quality of MgO film increased with increasing working pressure.

$$D = \frac{0.9 \lambda}{\beta \cos \theta_{\beta}} \quad (1)$$

where λ is the X-ray wavelength (λ = 0.15406 nm), the θ is Bragg's angle, β is the half-width at half-maximum (FWHM) in radians of 2θ. Some physical parameters of MgO thin films are summarized in Table 2.

Table 2. The physical properties of MgO films grown at the different working pressure

Tablo 2. Farklı çalışma basınçlarında büyütülen MgO filmlerin fiziksel özellikleri

Working pressure (mTorr)	Orientation (hkl)	Degree (°)	FWHM	Average crystallite size (nm)	Deposition rate (Å /min)
5	200	43.55	1.20	7.12	9.16
7.5	200	43.30	1.16	7.33	7.52
10	200	42.75	0.80	10.78	5.41

Surface images of untreated and annealed samples were examined to observe the microstructural change after the annealing process by SEM. Figure 2 shows the untreated and annealed microstructure of MgO films grown at 5 mTorr pressure. After annealing, as seen in Figure 2(b), the fine-grained

spherical structure turned into a coarse-grained pyramidal structure, which is an indication of increased crystallization. XRD data also confirmed the improvement in crystallization after annealing. This may be due to the nucleation and growth mechanism, which is more activated by annealing.

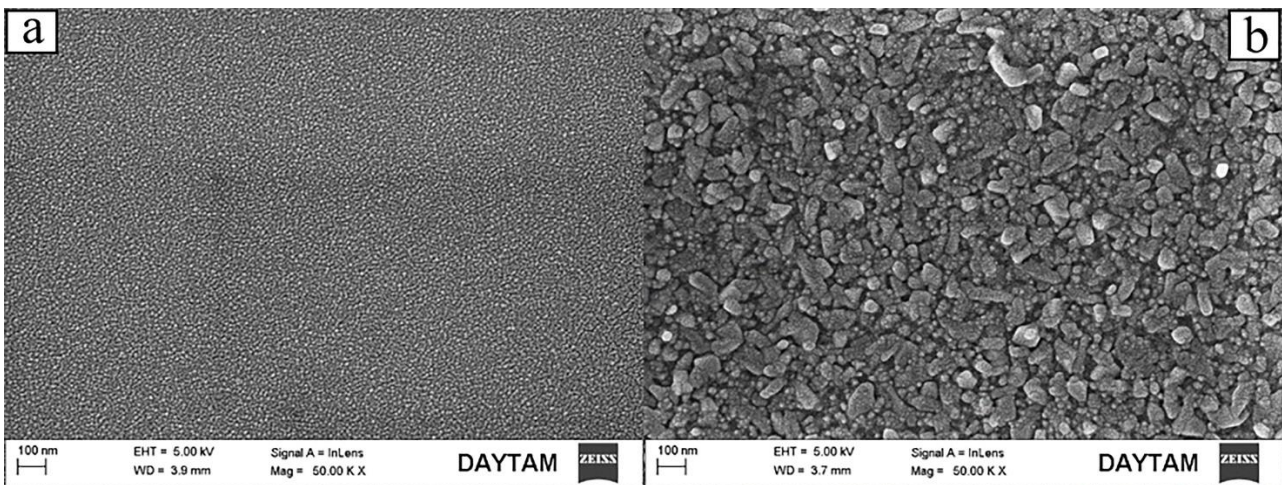


Figure 2. SEM image of the microstructure of (a) untreated and (b) annealed MgO film deposited at 5 mTorr pressure

Şekil 2. 5 mTorr basınçta biriktirilmiş (a) işlemsiz ve (b) tavllanmış MgO filmin mikroyapısının SEM görüntüsü

The working pressure significantly affects the optical properties of the oxide films produced by the sputtering method. The optical properties of annealed MgO films deposited on glass substrates were determined using a UV–Vis spectrophotometer in the wavelength range of 300–900 nm. The absorbance spectra of annealed MgO films grown on glass substrates under different working pressures are given in Figure 3(a). It was determined that the absorbance threshold of MgO films corresponded to a wavelength of about 310 nm. The absorption edges of the films are redshifted with increasing working pressure, as seen in the detail of Figure 3(a). In addition, the highest absorption was obtained from the film grown to 7.5 mTorr pressure. Figure 3(b) shows the transmittance spectra of the films as a function of working pressure. As can be seen from this graph,

it is clear that the films have very high transmittance in the visible region. The optical transmittance of the films increased from 93% to 97% at 600 nm as working pressure increased from 5mTorr to 10mTorr. The optical transmittance characteristic of materials is related to structural properties of the film such as homogeneity, crystal quality, film thickness and lattice defects such as deficiencies or vacancies (Nam & Han, 2003; Ahmed et al., 2016). In this study, the crystal quality increased with increasing working pressure and accordingly the transmittance increased. Moreover, the increase in transparency for high deposition conditions may be attributed to the decrease in film thickness, and also the decrease in native defects such as magnesium vacancies and interstitial oxygen.

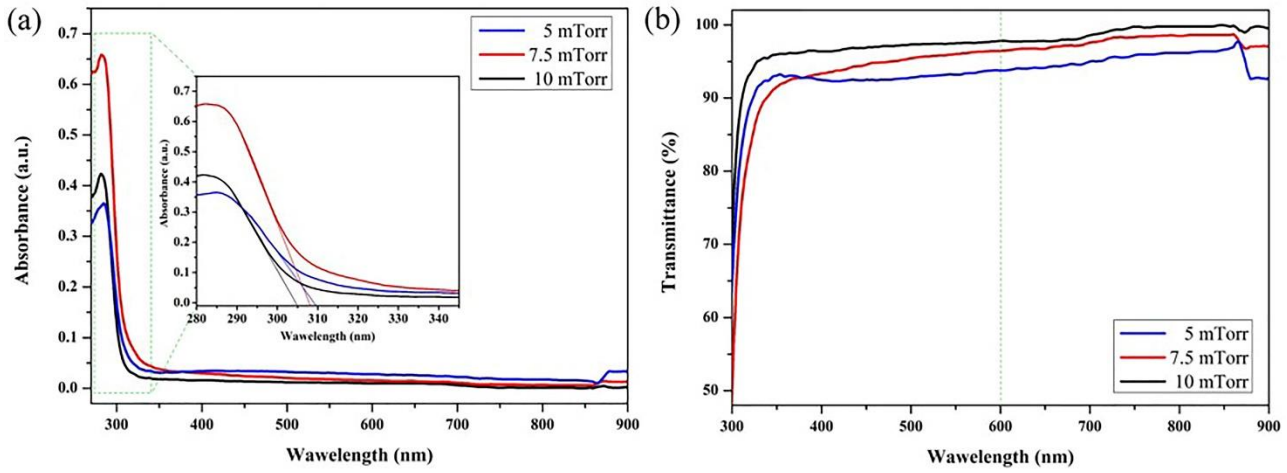


Figure 3. (a) Absorbance spectra and (b) transmittance spectra of annealed MgO films grown on glass substrates under different working pressures

Şekil 3. Farklı çalışma basınçlarında cam substratlar üzerinde büyütülmüş, tavlanmış MgO filmlerin (a) soğurum spektrumları ve (b) geçirgenlik spektrumları

The optical band gap plays an important role in determining the film characteristics of the material in semiconductor technology (Chowdhury & Kumar, 2006; Şenaslan et al., 2021). The optical band gap of semiconductor materials is related to the absorption coefficient (α) which is determined using the following equation (2):

$$\alpha = \frac{\text{Absorbance}}{t} \quad (2)$$

where α is the absorption coefficient, t is film thickness. The optical band gap (allowed direct transition) of the MgO films was calculated from the absorbance data using the Tauc's equation (3):

$$ahv = A(hv - E_g)^{1/2} \quad (3)$$

where A is the band edge constant, $h\nu$ is the photon energy, E_g is the optical bandgap. Figure 4 shows the $(ah\nu)^2$ versus photon energy ($h\nu$) curves of MgO films as a function of working pressure. The optical band gap of the MgO films increased from 4.07 eV to 4.14 eV with increasing working pressure from 5 mTorr to 10 mTorr. The increase in band gap can be attributed to the more homogeneous structure resulting from slow growth at high working pressure. Because, as the defect level in the structure increases, the scattering effect of the light will increase, which causes a decrease in the band gap. The band gap values obtained for MgO films are consistent with the studies in the cited literature (Ahmed et al., 2016; Güney & İskenderoğlu, 2018; Visweswaran et al., 2020; Taşer et al., 2021).

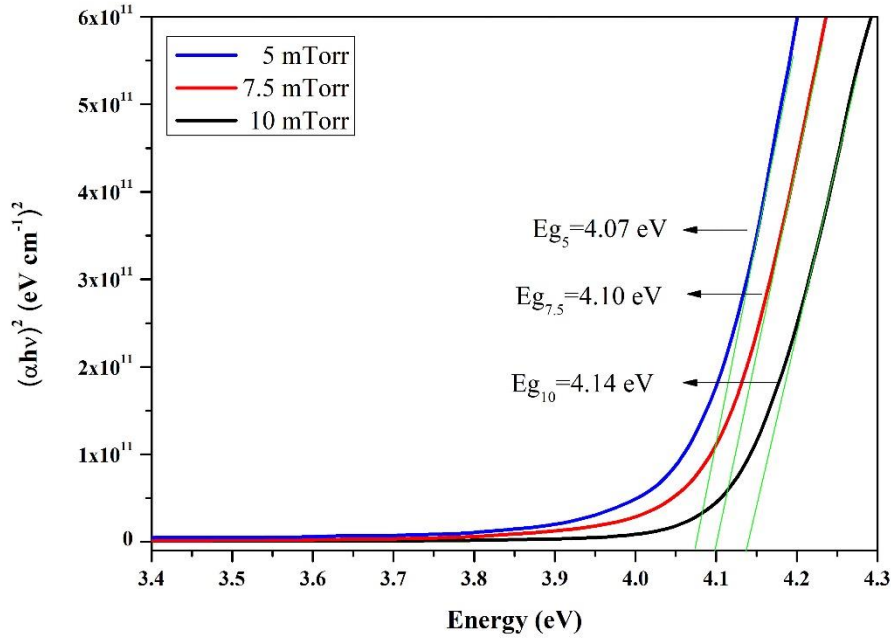


Figure 4. The bandgap energy of annealed MgO films as a function of working pressure

Şekil 4. Çalışma basıncının bir fonksiyonu olarak tavllanmış MgO filmlerin bant aralığı enerjisi.

Acknowledgement

Teşekkürler

The initial version of this article was presented in the International Online Conferences on Engineering and Natural Sciences (IOCENS'21) proceedings held on 05-07 July 2021, in Gümüşhane, TURKEY.

This study was financially supported by Ataturk University, Coordinatorship of Scientific Research Projects (Project Code: 2019-7473), and the experimental studies were carried out within Eastern Anatolia High Technology Application and Research Center (DAYTAM) in Erzurum, TURKEY. In addition, we would like to thank the editor and reviewers for their contributions during the review and evaluation phase of the article.

Author contribution

Yazar katkısı

Fatih ŞENASLAN: Methodology, data analysis, investigation, writing—original draft, visualization.

Ayhan ÇELİK: Conceptualization, project administration, writing—review and editing.

Muharrem TAŞDEMİR: Writing—review and editing.

Declaration of ethical code

Etik beyanı

In this study, we undertake that all the rules that must be followed within the scope of the "Higher Education Institutions Scientific Research and Publication Ethics Directive" have been complied with, and that none of the actions specified under the title of "Actions Contrary to Scientific Research and Publication Ethics" have been carried out.

The authors of this article declare that the materials and methods used in this study do not require ethical committee approval and/or legal-specific permission.

Conflicts of interest

Çıkar çatışması beyanı

The authors declare that there is no conflict of interest.

References

Kaynaklar

Ahmed, K., Rabah, M., Khaled, M., Mohamed, B., & Mokhtar, M. (2016). Optical and structural properties of Mn doped MgO powders synthesized by Sol-gel process. *Optik*, 127(20), 8253-8258.

<https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2016.06.055>

- Baba, S., Mori, I., & Nakano, T. (2000). Precise determination of the refractive index of sputtered MgO thin films in the visible light range. *Vacuum*, 59(2-3), 531-537. [https://doi.org/10.1016/S0042-207X\(00\)00312-2](https://doi.org/10.1016/S0042-207X(00)00312-2)
- Bazhan, Z., Ghodsi, F. E., & Mazloom, J. (2013). Effect of stabilizer on optical and structural properties of MgO thin films prepared by sol-gel method. *Bulletin of Materials Science*, 36(5), 899-905. <https://doi.org/10.1023/A:1008725521769>
- Boo, J. H., Lee, S. B., Yu, K. S., Koh, W., & Kim, Y. (1999). Growth of magnesium oxide thin films using single molecular precursors by metal-organic chemical vapor deposition. *Thin Solid Films*, 341(1-2), 63-67. [https://doi.org/10.1016/S0040-6090\(98\)01524-7](https://doi.org/10.1016/S0040-6090(98)01524-7)
- Caceres, D., Colera, I., Vergara, I., Gonzalez, R., & Roman, E. (2002). Characterization of MgO thin films grown by rf-sputtering. *Vacuum*, 67(3-4), 577-581. [https://doi.org/10.1016/S0042-207X\(02\)00251-8](https://doi.org/10.1016/S0042-207X(02)00251-8)
- Cho, J. M., Lee, K. H., Cheon, C. I., Cho, N. I., & Kim, J. S. (2010). Characterization of the biaxial textures of MgO thin films grown by E-beam evaporation. *Journal of the European Ceramic Society*, 30(2), 481-484. <https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2009.06.015>
- Chowdhury, A., & Kumar, J. (2006). Morphology, surface topography and optical studies on electron beam evaporated MgO thin films. *Bulletin of Materials Science*, 29(5), 513-521. <https://doi.org/10.1007/BF02914083>
- Eun, J. H., Lee, J. H., Kim, S. G., Um, M. Y., Park, S. Y., & Kim, H. J. (2003). The protection of MgO film against hydration by using Al₂O₃ capping layer deposited by magnetron sputtering method. *Thin Solid Films*, 435(1-2), 199-204. [https://doi.org/10.1016/S0040-6090\(03\)00362-6](https://doi.org/10.1016/S0040-6090(03)00362-6)
- Güney, H., & İskenderoğlu, D. (2018). Synthesis of MgO thin films grown by SILAR technique. *Ceramics International*, 44(7), 7788-7793. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2018.01.210>
- Ho, I. C., Xu, Y., & Mackenzie, J. D. (1997). Electrical and optical properties of MgO thin film prepared by sol-gel technique. *Journal of Sol-Gel Science and Technology*, 9(3), 295-301. <https://doi.org/10.1007/BF02437193>
- Kim, E., Han, Y., Kim, W., Choi, K. C., Im, H. G., & Bae, B. S. (2013). Thin film encapsulation for organic light emitting diodes using a multi-barrier composed of MgO prepared by atomic layer deposition and hybrid materials. *Organic Electronics*, 14(7), 1737-1743. <https://doi.org/10.1016/j.orgel.2013.04.011>
- Kim, S. G., Choi, K. H., Eun, J. H., Kim, H. J., & Hwang, C. S. (2000). Effects of additives on properties of MgO thin films by electrostatic spray deposition. *Thin Solid Films*, 377, 694-698. [https://doi.org/10.1016/S0040-6090\(00\)01283-9](https://doi.org/10.1016/S0040-6090(00)01283-9)
- Lee, J. H., Eun, J. H., Park, S. Y., Kim, S. G., & Kim, H. J. (2003). Hydration of rf magnetron sputtered MgO thin films for a protective layer in AC plasma display panel. *Thin Solid Films*, 435(1-2), 95-101. [https://doi.org/10.1016/S0040-6090\(03\)00411-5](https://doi.org/10.1016/S0040-6090(03)00411-5)
- Nam, K. H., & Han, J. G. (2003). Microstructure and optical properties of MgO films synthesized by closed-field unbalanced magnetron sputtering with additional electron emission. *Surface and Coatings Technology*, 171(1-3), 51-58. [https://doi.org/10.1016/S0257-8972\(03\)00235-4](https://doi.org/10.1016/S0257-8972(03)00235-4)
- Patil, S., & Puri, V. (2011). Oxidation temperature dependent properties of MgO thin film on alumina. *Applied surface science*, 258(4), 1535-1540. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2011.09.126>
- Plóciennik, P., Guichaoua, D., Zawadzka, A., Korcala, A., Strzelecki, J., Trzaska, P., & Sahraoui, B. (2016). Optical properties of MgO thin films grown by laser ablation technique. *Optical and Quantum Electronics*, 48(5), 277. <https://doi.org/10.1007/s11082-016-0536-8>
- Şenaslan, F., Taşdemir, M., & Çelik, A. (2021). Effect of working pressure and post-annealing on structural, optical and electrical properties of p-type NiO thin films produced by RF magnetron sputtering technique. *Applied Physics A*, 127(10), 1-9. <https://doi.org/10.1007/s00339-021-04901-2>
- Taşer, A., Güldüren, M. E., & Güney, H. (2021). Cr Dopant Effect on MgO Thin Film Structural, Optical and Morphology Properties. *Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 14(1), 284-291. <https://doi.org/10.18185/erzifbed.788589>
- Visweswaran, S., Venkatachalapathy, R., Haris, M., & Murugesan, R. (2020). Characterization of MgO thin film prepared by spray pyrolysis technique using perfume atomizer. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 31(17), 14838-14850. <https://doi.org/10.1007/s10854-020-04046-7>

Veri zarflama analizi ile sağlık alanında bir performans değerlendirmesi

A performance assessment in the field of health with data envelopment analysis

Pelin KASAP^{*1,a}, Fikretcan GÜÇ^{2,b}

¹ Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, İstatistik Bölümü, Samsun

² Giresun İl Millî Eğitim Müdürlüğü, Teyyaredüzü Ortaokulu, Giresun

• Geliş tarihi / Received: 14.02.2021

• Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 01.12.2021

• Kabul tarihi / Accepted: 01.01.2022

Öz

Veri zarflama analizi, son yıllarda bankacılık, sağlık, eğitim gibi sektörlerde performans değerlendirmesi için yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada Samsun Ondokuz Mayıs Üniversitesi Eğitim ve Araştırma Hastanesi bünyesinde faaliyet gösteren anabilim dallarının etkinlik değerlerinin belirlenmesi amacıyla parametrik olmayan etkinlik analiz metodlarından veri zarflama analizi uygulanmıştır. Analizler girdi ve çıktı yönelimli olmak üzere Charnes-Cooper-Rhodes ve Banker-Charnes-Cooper modelleri ile yapılmıştır. Bu hususta 2018 yılı kapsamında Ocak ve Kasım ayları da dahil olmak üzere 11 ay boyunca hizmet veren aktif ve yatan hastalar için servisleri bulunan polikliniklere sahip 27 anabilim dalı araştırma kapsamına dahil edilmiştir. Mevcut veri seti iki farklı model (Banker-Charnes-Cooper, Charnes-Cooper-Rhodes) ve bu modellere bağlı dört farklı alt model (Girdi yönlü Banker-Charnes-Cooper, çıktı yönlü Banker-Charnes-Cooper, girdi yönlü Charnes-Cooper-Rhodes ve çıktı yönlü Charnes-Cooper-Rhodes) kullanılarak analiz edilmiş olup, anabilim dallarına ait etkinlik değerleri ortaya konulmuştur. Sonuç olarak, incelenen dört modelde de 11 anabilim dalının etkin halde olduğu görülmüştür.

Anahtar kelimeler: BCC modeli, CCR modeli, Veri zarflama analizi

Abstract

Data envelopment analysis has been widely used for performance evaluation in sectors such as banking, health, education in recent years. In this study, data envelopment analysis, one of the non-parametric efficiency analysis methods, has applied in order to determine the efficiency values of the departments operating within Samsun Ondokuz Mayıs University Training and Research Hospital. Analyzes have performed using input and output oriented Charnes-Cooper-Rhodes and Banker-Charnes-Cooper models. In this regard, 27 departments with outpatient clinics with services for active and inpatients, which serve for 11 months, including January and November, have included in the scope of the study. The current data set has analyzed using two different models (Charnes-Cooper-Rhodes and Banker-Charnes-Cooper) and four different sub-models connected to these models (input oriented Banker-Charnes-Cooper, output oriented Banker-Charnes-Cooper, input oriented Charnes-Cooper-Rhodes and output oriented Charnes-Cooper-Rhodes), and the efficiency values of the departments were revealed. As a result, 11 departments are found to be active in all four models examined.

Keywords: BCC model, CCR model, Data envelopment analysis

^{*a} Pelin KASAP; pelin.kasap@omu.edu.tr, Tel: (0362) 312 19 19-5237, orcid.org/0000-0002-1106-710X

^b orcid.org/0000-0001-5303-9425

1. Giriş

1. Introduction

Performans sözcüğünün Fransızca'dan dilimize katılmasıyla farklı tanımlamaları yapılmıştır. Bu tanımlamalardan birinde şu şekilde ifade edilmektedir: İş gören kişinin kendisine belirli sınırlamalar ile ifade edilmiş işi, kendi yetenek ve özellikleri doğrultusunda ortaya çıkartması olarak tanımlanmıştır (Erdoğan, 1991). Bir başka tanımlamada ise, bir işi gerçekleştirecek olan kişi, topluluk veya kurumun o iş ile ilgili hedeflerine yönelik olarak neleri gerçekleştirebildiğinin nicel ve nitel olarak ifadesidir şeklinde tanımlanmıştır (Baş & Artar, 1990). Tanımlamalar ışığında performans, bir işin ulaşılmak istenen sonucunun genel hatlarıyla belirlenerek, belirlenen hedeflere ulaşma durumu olarak ifade edilebilir.

Performans değerlendirme, bir organizasyonun önceden planlanmış hedeflere uygun bir şekilde uygulanması ve istenen hedeflere ulaşma seviyesi olarak tanımlanmıştır (Timur, 2001).

Performans değerlendirmenin organizasyona sağlayacağı kazanımlar aşağıdaki gibi sıralanabilir (Uyargil, 1994; Erdoğan, 1991);

- Performans değerlendirmesi, ortaya konulan iş ve çalışanlar hakkında yönetime önemli bilgiler sağlar. İşin ve kişinin anlaşılmasına olanak tanır.
- Çalışan ve yöneticiler arasında iş ile ilgili beklentiler ve işin sonuçları ile ilgili bir kaliteli bir diyalog süreci kurulduğunda yeni yöntem ve fikirlerin kullanımına olanak sağlar.
- Organizasyonun vizyon ve misyonunun ortaya konulmasını sağlar.
- Organizasyonda faaliyet gösterecek birimlerin belirlenmesine yardımcı olur.
- Yüksek performanslı bireylerin ödüllendirilmesini sağlayacak ve objektifliği

kolaylaştıracaktır. Bunun yanında maaş standardizasyonunu sağlamada da etkin olacaktır.

- Çalışanların terfi işlemleri daha net ve kolay bir hal alacaktır.

Barutçugil (2002) performans değerlendirme sürecinin amaçlarını şu şekilde özetlemiştir; performansı açıklamak, ödüllendirmek, geliştirmek ve bekleneni veremeyen çalışanların kendini geliştirmesini sağlamak, çalışanlar hakkında ve işleri hususunda net ve doğru bilgilere sahip olmak, çalışanlara performansları ile ilgili geri bildirimler sunmak, çalışanların beklentilerine karşılık vererek endişelerini giderip, bilinmezlikleri ortadan kaldırmak, performansı yeterli olmayan çalışanların performanslarını artırıcı hamleleri yaparken, çözüm yollarını çalışanlar ile birlikte belirlemek ve örgütsel problemlerin belirlenmesinde yardımcı olmaktır.

Yaklaşımlara göre değişen performans tanımlarından yola çıkılarak farklı dönemlerde farklı performans boyutları ortaya konulmuştur. Bunlardan en çok karıştırılan ve kullanılan etkinlik, etkililik ve verimlilik kavramlarıdır. Etkinlik, var olan kaynakların en uygun şekilde tüketilerek elde edilebilecek en iyi çıktının ortaya çıkarılmasıdır (Yükçü & Atağan, 2009). Etkililik, bir organizasyonun daha önceden belirlemiş olduğu amaç ve hedeflere ulaşmak için uyguladıkları eylemler sonucunda hedeflerine ne derecede ulaşabildiğinin ölçülmesidir (Bakırer, 2016).

Bir organizasyon etkin iken etkili çalışmayabilir. Yani, bu organizasyon kaynaklarını en iyi şekilde kullanarak çıktı elde etmiş ve etkin olmuş olabilir, ancak bu çıktı önceden planlanan hedefin altında kaldığından dolayı etkili olmayabilir (Yükçü & Atağan, 2009).

Tablo 1. Çeşitli etkinlik ve etkililik birleşim durumları (Yükçü & Atağan, 2009).

Table 1. Various combinations of efficiency and effectiveness (Yükçü & Atağan, 2009).

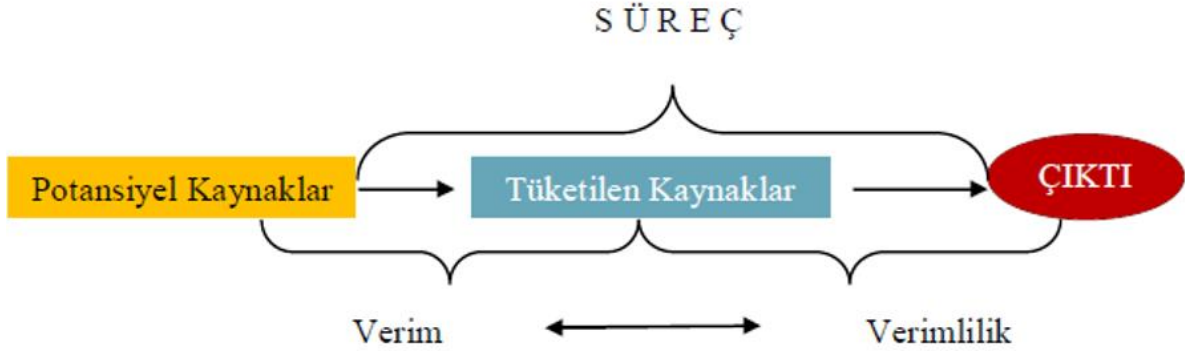
		a) Etkinlik: Kaynak Kullanımı	
		(a = -, b = -)	(a = -, b = +)
b) Etkililik: Hedeflere Ulaşma		Hem etkili değil, hem de etkin değil. Ne hedeflerine ulaşabiliyor ne de kaynakları doğru kullanabiliyor.	Etkili fakat etkin değil. Kaynak kullanımı kötü olmasına rağmen yine de hedeflerine ulaşmış.
	b)	Etkin fakat etkili değil. Hedeflere ulaşamamakla birlikte kaynak kullanımı iyi.	Etkili ve etkin. Hedeflere ulaşıyor, kaynaklar iyi kullanılıyor ve yüksek performans sergileniyor.

Etkililik (hedeflere ulaşma) başarı için ön koşuldur, etkinlik (kaynak kullanımı) ise bu başarıyı güçlendiren bir faktördür. İşletmelerin amacı bütün faaliyetlerinde etkililiği sağlamak, etkili olmayan tüm faaliyetleri etkinliği ne kadar fazla olursa olsun azaltmak veya elemek olmalıdır (Yükçü & Atağan, 2009).

Verimlilik, bir üretim veya hizmet organizasyonunun ürettiği çıktı ile bu çıktıyı

meydana getirmek için harcanan girdi arasındaki ilişkidir (Prokopenko, 1998).

Verim ise bir üretimin gerçekleşmesi sırasında üretim kaynaklarının en uygun şekilde kullanımını gösteren bir performanstır. Bundan dolayı verim, kaynak tüketimi ile ilgilidir (Gülcü vd, 2004). Verim ile verimlilik arasındaki ilişki Şekil 1'de ifade edilmiştir.



Şekil 1. Verim ile verimlilik arasındaki ilişki (Erpolat, 2011)

Figure 1. Relationship between efficiency and productivity (Erpolat, 2011)

Organizasyonların yönetim açısından karşılaştıkları sorunlardan biri de benzer girdileri kullanarak benzer çıktılar üreten işletmelerin karşılaştırılması ve etkinlik durumlarının incelenmesidir. Çeşitli sektörlerdeki işletmelerin (banka, üniversite, otel, kamu kurumu vb.) etkinliklerinin ölçülmesi ve karşılaştırılarak faaliyetlerine yön verilmesi hem işletmeler adına hem de ülke ekonomisi açısından önem taşımaktadır (Ulucan, 2004).

Doğru bir ölçüm olmadan işletmelerin benzerleri içerisinde hangi konumda bulduklarını, üstün ve zayıf yönlerini, neye ve kime göre daha iyi olduklarını belirlemeleri mümkün değildir (Yeşilyurt, 2009).

Performansın ölçümü konusunda farklı yöntemler geçmişten günümüze uygulanmaktadır. Geleneksel ve yeni yaklaşımlar olarak sınıflanan ölçme yöntemleri, geleneksel yaklaşımların büyük bir kısmının oransal yaklaşım üzerinden ilerlemesi ve oransal yaklaşımın da fazla girdili ve fazla çıktılı performans değerlendirmelerinde zorlanması üzerine, yeni yaklaşımların benimsenmesine yol açmıştır. Bu yeni yaklaşımlar ise kendi içerisinde parametrik ve parametrik olmayan ölçüm yöntemleri olarak sınıflanmaktadır. Parametrik yöntemler birden fazla girdinin tek bir çıktı ile ilişkisini incelediği için bu çalışmada çok girdili ve

çok çıktılı verilerin incelenmesinde tercih edilen parametrik olmayan yöntemler uygulanmıştır.

Parametrik olmayan uygulamalar içinde en yaygın olarak kullanılan yaklaşım olan veri zarflama analizinde ise en uygun gözlemlerden oluşan etkinlik sınırı belirlenmektedir. Sonrasında ise tüm birimlerin bu belirlenen etkinlik sınırına olan uzaklıkları analiz edilerek elde edilen sonuçlar yorumlanmaktadır. Elde edilen etkinlik değerleri 1 ise bu birimler etkin olarak ifade edilmekte olup, etkinlik değeri 1'den küçük olanlar ise etkin olmayanlar şeklinde tanımlanmıştır. Etkin olmayan bir etkinlik değeri ile etkin bir birimin değeri (1) arasındaki fark bizlere sözü edilen fark oranında daha az girdi ile elde edilen çıktının yine elde edilmesinin mümkün olacağını söylemektedir (Bektaş, 2007).

Çalışmanın amacı, Samsun Ondokuz Mayıs Üniversitesi Eğitim ve Araştırma Hastanesi bünyesinde faaliyet gösteren anabilim dallarının etkinlik değerlerinin veri zarflama analizi modelleri ile belirlenmesidir.

Bu çalışma dört ana başlıktan oluşmaktadır: İkinci bölümde çalışmada kullanılan yöntem olan veri zarflama analizi ve Banker Charnes Cooper (BCC) ve Charnes Cooper Rhodes (CCR) modelleri teorik olarak kısaca tanıtılmıştır. Üçüncü bölümde BCC

girdi yönlü, BCC çıktı yönlü, CCR girdi yönlü ve CCR çıktı yönlü modelleri için uygulama sonucunda elde edilen bulgulara yer verilmiştir. Tartışma ve sonuç ise dördüncü bölümde yer almaktadır.

2. Materyal ve metot

2. Material and method

2.1. Veri zarflama analizi

2.1. Data envelopment analysis

Veri zarflama analizi (VZA), doğrusal programlama teorisinin ilkelerine dayanan karar verme birimlerinin verimliliğini tahmin etmek için tasarlanmış parametrik olmayan bir yöntemdir (Norman & Stoker, 1991). 1951 yılında ilk kez etkinlik kavramını ortaya atan Koopmans (1951)'in çalışmasından yola çıkan Debreu (1951) ve Farrell (1957) çalışmalarında çok girdili işletmelerin etkinlik ölçümlerini yapmışlardır. Farrell (1957), birden fazla girdisi ve tek çıktısı olan firmaların etkinliklerini analiz etmiştir. Sonrasında ise Carnegie Mellon Üniversitesine bağlı, danışmanlığını William W. Cooper'ın yaptığı Edwardo Rhodes "Şehir ve Kamu" başlıklı doktora tezi ile Amerika Birleşik Devletlerinde "Program Follow Through" 'a katılan ve katılmayan okulların performanslarını karşılaştırarak, eğitim programını değerlendirmeyi amaçlamış ve ilk VZA çalışmasına başlamıştır (Yaylalı vd., 2007; Charnes vd., 1994). Bu çalışmada 70 tane okulun görece teknik verimliliğini analiz etmek adına çoklu girdiler ve çıktılar kullanarak ve fiyatları göz ardı ederek tahmin etme arzusu VZA oransal denklemini doğurmuştur ki bu denklem sonrasında Charnes Cooper Rhodes (CCR) adı altında yaygın biçimde kullanılmaya devam etmektedir (Charnes vd., 1981; Kutlar & Kartal, 2004).

1978 yılında ise Charnes, Cooper ve Rhodes "Measuring The Efficiency of Decision Making Units" başlıklı makalelerini European Journal of Operations Research dergisinde yayımlatarak VZA'ni literatüre kazandırmışlardır. Onlar, VZA'ni ortaya koydukları mal ya da hizmet bakımından benzeri üretimler gerçekleştiren işletmelerin görece etkinliklerinin analiz edilmesi için tasarlanmış parametrik olmayan bir etkinlik ölçütü şeklinde ifade etmişlerdir (Cook & Seiford, 2009). Bu çalışmada Charnes, Cooper ve Rhodes ölçeğe göre sabit getiri durumunu varsaymaktadırlar (Charnes vd., 1978).

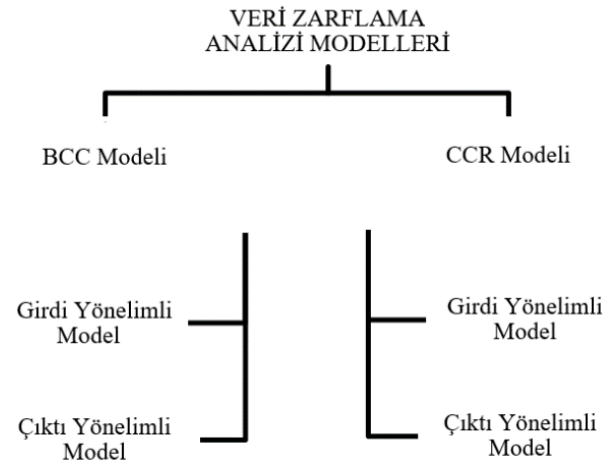
VZA'nin bir süre sabit getiri varsayımı ile etkinlik ölçümünde kullanılmasının ardından yapılan bazı

çalışmalar ile ölçeğe göre getirinin sabit olmadığı durumlarda ölçek ve teknik etkinliklerinin ayrı ayrı ölçülmesini sağlar hale gelen bir VZA yaratılmıştır.

1984 yılında Banker, Charnes ve Cooper'ın ortak çalışmalarında teknik etkinlik ve ölçek etkinliğini belirlemek için ölçeğe göre değişken getiri durumu incelenmiştir. Bu durum da literatüre Banker Charnes Cooper (BCC) modeli olarak geçmiştir (Banker vd., 1984).

BCC modelinin CCR modeline göre kazanımları ise CCR modelinin ölçeğe göre sabit getiri hipotezini esnekleştirerek, çoklu girdi ve çoklu çıktı durumlarında işletmelerin performansını ölçeğe göre artan, azalan veya sabit getiri varsayımı ile analiz edilmesine izin vermesidir (Yolalan, 1993).

VZA'nde kullanılan CCR ve BCC modellerinin her biri girdi ve çıktı yönelimli olarak uygulanabilmektedir. Bu dört farklı model Şekil 2'de gösterildiği gibidir. Bu modeller, uygulandığı çalışmalarda tutarlı analizler yapılmasına imkan sağlamaktadır. Bu sayede farklı uygulama alanlarında kullanılabilir (İleri, 1997).



Şekil 2. VZA modelleri (Atan, 2005).

Figure 2. DEA models (Atan, 2005).

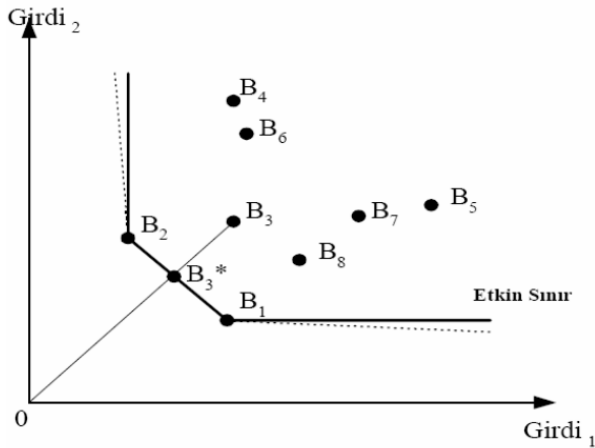
VZA, üretim yaptıkları ürünler açısından veya hizmetleri açısından birbirine benzeyen kurum, kuruluş ya da işletmelerin görece etkinliğinin ölçülmesi amacıyla elde var olan kaynakların nasıl etkin bir biçimde kullanılacağına belirlenmesine yardımcı olur (Yolalan, 1993).

VZA'nin güçlü yönleri şu şekilde sıralanabilir; Parametrik yöntemlerde olduğu gibi girdiler ile çıktılar arasında fonksiyonel bir bağıntıya ihtiyaç duymaz (Depren, 2008). Girdi birimleri ile çıktı birimlerinin aynı tür olması zorunlu değildir. Bu

sayede birimleri aynı olmayan varsayımlar için bir kısıt yoktur (Atan, 2005). VZA elde olan veri setini değerlendirerek etkinliği analiz eder. Evrensel bir yargıda bulunmaz. VZA'nın diğer istatistiksel yöntemlerden üstünlüğü en uygun veri setini bulma gibi bir gayesi olmamasıdır (Dilts vd, 2015).

VZA etkin olmayan karar verme birimlerinin kendilerini güncelleyerek etkin hale gelmeleri adına seçenekler sunar. Karar verici bu seçeneklerden yararlanarak en uygun seçimi yapabilir (Kecek, 2010). Yöneticilerin alakalı tüm girdi ve çıktıları tanımlayarak VZA yöntemini kullanması üretim sürecine daha hakim olmalarını sağlar (Başkaya & Avcı, 2011). Sadece karar verme birimlerinin değil, zaman dilimlerinin de analizinin yapılmasına imkan tanır (Aydagün, 2003).

VZA'da çok önemli bir kavram olan etkin sınır kavramı, analizi yapılan karar verme birimlerinden yola çıkılarak, göreceli olarak etkin birimler tarafından meydana getirilen ve bu sınırın dışında kalan, solda ve altta hiçbir üretim faaliyetinin var olmadığı, parçalı, doğrusal bir set olarak ifade edilmektedir (Bal, 2010). Durumun daha iyi kavranması adına, aşağıdaki grafikte iki girdisi ve bir çıktısı olan iki boyutlu bir etkin sınır verilmiştir.



Şekil 3. İki boyutlu bir etkin sınır eğrisi ve VZA (Güran & Cingi, 2002).

Figure 3. A two-dimensional effective boundary curve and DEA (Güran & Cingi, 2002).

Şekil 3 incelendiğinde, her bir karar verme birimine ait çıktılar için kullanılan toplam girdilerin oranları verilmiştir. Belirlenen etkin sınır kavramı baz alındığında, B1 ve B2 karar verme birimlerinin en az sayıda girdi kullanarak çıktı üretmeyi başarmış oldukları görülmektedir. Bu sebeple etkin karar verme birimi olarak adlandırılabilirler.

Karar verme birimleri ile etkin sınır çizgisi arasındaki mesafe azaldıkça etkin hale gelme durumu ortaya çıkmakla beraber, tam çizginin üzerinde yer aldıklarında ise etkin bir karar verme birimi olmaktadır. Bu sayede etkin ve etkin olmayan karar verme birimleri net bir şekilde ayrılmaktadır. Bu göreceli etkinliğin ölçülmesi durumu VZA'nın en önemli özelliklerinden biridir. Bir veri setinde yer alan karar verme birimlerinin etkinlik değerleri analiz edilirken, sette yer alan en etkin karar verme birimine göre değerlendirme yapılır. Bu duruma göre B3, B4, B5, B6, B7, B8 karar verme birimleri, B1 ve B2 'ye göre karşılaştırıldıklarında etkin birimler değildir. Bu karar verme birimleri referans olarak B1 ve B2 karar verme birimlerini alırlarsa etkin hale gelebilmeleri mümkündür. Örneğin, B3 karar verme biriminin etkin hale gelebileceği nokta B3* ile ifade edilmiştir. Yani girdilerini istenilen şekilde düzenleyerek çıktıyı elde ettiğinde grafikte B3* konumunda yer alacaktır. Bu durumda B1-B2 doğrusu üzerinde etkin hale gelebilecek her karar verme birimi için bir nokta olduğu varsayılmaktadır. Bu da etkin sınırın var olan gözlemleri bir zarf gibi sarması anlamına gelmektedir. Bu sayede VZA olarak isimlendirilmektedir (Güran & Cingi, 2002).

2.2. Modeller

2.2. Modeller

Çalışmada kullanılan BCC girdi yönlü, BCC çıktı yönlü, CCR girdi yönlü ve CCR çıktı yönlü modellerden aşağıda kısaca bahsedilmiştir. Bu modeller için n : karar verme birimi sayısı; s : çıktı sayısı; m : girdi sayısı; u_r : o. karar verme birimi tarafından r . çıktıya verilen ağırlık değeri; v_i : o. karar verme birimi tarafından i . girdiye verilen ağırlık değeri; x_{jo} : o. karar verme biriminin kullanıldığı i . girdi miktarı; y_{ro} : o. karar verme biriminin kullanıldığı r . çıktı miktarı; x_{ij} : j . karar verme biriminin kullanıldığı i . girdi miktarı; y_{rj} : j . karar verme biriminin elde ettiği r . çıktı miktarını göstermektedir (Sathye, 2003).

2.2.1. BCC girdi yönlü model

2.2.1. BCC input oriented model

Girdi yönlü BCC modeli çıktı değerlerini sabitlemek şartıyla girdi miktarının ne kadar azaltılabileceği konusunda hedefler sunan model olarak tanımlanabilir. Girdi yönlü BCC modelinin matematiksel ifadesi;

$$E_0 = \max \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{ro} - u_0}{\sum_{i=1}^m v_i x_{io}}$$

$$\text{Kısıtlar, } \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - u_o}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}} \leq 1 \quad j = 1, 2, \dots, n$$

$$v_i, u_r \geq \varepsilon \quad r = 1, 2, \dots, s \quad i = 1, 2, \dots, m$$

şeklinde. Burada, u_o : o. karar verme birimine ait serbest işaretli değişkenini gösterir (Yun vd, 2004).

2.2.2. BCC çıktı yönlü model

2.2.2. BCC output oriented model

Çıktıya yönelik modeldeki temel amaç eldeki girdi seviyesini aşmadan çıktı miktarını maksimum hale getirmektir. Çıktı yönlü BCC modelinin matematiksel ifadesi;

$$E_o = \min \frac{\sum_{i=1}^m v_i x_{io} - v_o}{\sum_{r=1}^s u_r y_{ro}}$$

$$\text{Kısıtlar, } \frac{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij} - v_o}{\sum_{r=1}^s u_r y_{rj}} \geq 1 \quad j = 1, 2, \dots, n$$

$$v_i, u_r \geq \varepsilon \quad r = 1, 2, \dots, s \quad i = 1, 2, \dots, m$$

şeklinde. Burada v_o : o. karar verme birimine ait serbest işaretli değişkeni gösterir (Chen & Ali, 2002).

2.2.3. CCR girdi yönlü model

2.2.3. CCR input oriented model

Var olan çıktı miktarında bir oynama yapmadan, eldeki çıktı miktarını elde etmek adına, girdilerin ne kadar azaltılması gerektiğini ifade eden modeldir (Matthews & İsmail, 2006). Modelin matematiksel yapısı;

$$E_o = \max \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{ro}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{io}}$$

$$\text{Kısıtlar, } \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{rj}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}} \leq 1 \quad j = 1, 2, \dots, n$$

$$v_i, u_r \geq 0 \quad r = 1, 2, \dots, s \quad i = 1, 2, \dots, m$$

şeklinde (Chen & Ali, 2002).

2.2.4. CCR çıktı yönlü model

2.2.4. CCR output oriented model

Var olan girdi miktarında bir oynama yapmadan, eldeki girdiler ile karar verme birimini etkin hale getirmek için çıktıların hangi oranda artırılması gerektiğini ifade eden modeldir (Matthews & İsmail, 2006). Girdi yönlü VZA'dan farkı ise ağırlıklandırılmış girdiyle, ağırlıklandırılmış çıktının oranını minimize etmeye çalışmasıdır. Modelin matematiksel yapısı;

$$E_o = \min \frac{\sum_{i=1}^m v_i x_{io}}{\sum_{r=1}^s u_r y_{ro}}$$

$$\text{Kısıtlar, } \frac{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}}{\sum_{r=1}^s u_r y_{rj}} \geq 1 \quad j = 1, 2, \dots, n$$

$$v_i, u_r \geq \varepsilon \quad r = 1, 2, \dots, s \quad i = 1, 2, \dots, m$$

şeklinde (Yolalan, 1993).

3. Bulgular

3. Results

Bu çalışmada kullanılan veriler bir Eğitim ve Araştırma Hastanesinden elde edilmiştir. Hastanede aktif çalışan ve yatan hasta servisleri bulunan anabilim dallarının tercih edilmesine önem verilmiştir. Çalışmada analizler 2018 yılında Ocak-Kasım ayları arasındaki 11 aylık hastane kayıtları kullanılarak yapılmıştır. Verilerin etkinlik değerlerinin ölçülmesi ve diğer analizler için MaxDEA 6 paket programından yararlanılmıştır.

Mevcut verilerin etkinlik seviyelerini en uygun biçimde yorumlamak ve değerlendirilmek için analizlerde VZA yönteminin dört farklı modeli uygulanmıştır ve sonuçlar tablolar halinde ifade edilmiştir. Analiz değerleri; tüm anabilim dallarının etkinlik değerlerini, etkin hale gelebilmesi için referans olarak görmesi gereken birimleri ve kullanılan girdi-çıktıların kaç tanesinde ne seviyede güncellemeler yapılırsa ne kadar etkin hale gelebileceği şeklinde bilgi ifadelerini kapsamaktadır. Etkinlik değerlendirmesinde kullanılacak değişkenler Tablo 2'de ve BCC girdi yönlü model uygulanarak elde edilen sonuçlar ise Tablo 3'te ifade edilmiştir.

Tablo 2. Çalışmada kullanılan değişkenler
Table 2. Variables used in the study

Girdiler	Çıktılar (Yıllık)
1) Öğretim Üyesi ve Öğretim Görevlisi Sayısı	1) Günlük Ayakta Muayene Sayısı
2) Asistan Doktor Sayısı	2) Yatan Günlük Hasta Sayısı
3) Hasta Bakıcı Sayısı	3) Ameliyat Sayısı
4) Hemşire Sayısı	

Tablo 3. Anabilim dalları için BCC girdi yönlü model sonuçları
Table 3. BCC input-oriented model results for departments

	Anabilim dalları	Etkinlik skoru	Referans kümesindeki anabilim dalları	Referans alınma frekansı
1)	Acil ve İlk Yardım	1	1(1.00)	7
2)	Anesteziyoloji	0.574729	3(0.92); 4(0.08)	0
3)	Beyin Cerrahi	1	3(1.00)	6
4)	Çocuk Cerrahisi ve Ürolojisi	1	4(1.00)	6
5)	Çocuk Sağlığı ve Hastalıkları	0.968837	1(0.24); 13(0.76)	0
6)	Dermatoloji	1	6(1.00)	8
7)	Enfeksiyon Hastalıkları	0.5	4(0.31);6(0.35); 11(0.14); 26(0.20)	0
8)	Fizik Tedavi ve Rehabilitasyon	0.744492	1(0.03);12(0.33); 26(0.66)	0
9)	Genel Cerrahi	0.5312	3(0.20); 4(0.21); 6(0.08); 12(0.05);13(0.03); 21(0.33); 27(0.10)	0
10)	Göğüs Cerrahi	0.8	11(0.32);21(0.18); 26(0.50)	0
11)	Göğüs Hastalıkları	1	6(0.66); 26(0.34)	2
12)	Göz Hastalıkları	1	12(1.00)	4
13)	İç Hastalıkları	1	13(1.00)	4
14)	Kadın Hastalıkları ve Doğum	0.907163	1(0.01); 3(0.17); 4(0.20); 6(0.06);13(0.12); 21(0.44)	0
15)	Kalp Damar Cerrahi	0.8	4(0.58);21(0.19); 26(0.23)	0
16)	Kardiyoloji	0.700961	1(0.12); 3(0.41); 6(0.46); 13(0.005)	0
17)	Kulak Burun Boğaz	0.900369	1(0.05);3(0.03); 12(0.20);21(0.27); 26(0.45)	0
18)	Nöroloji	0.432695	1(0.16); 3(0.12); 4(0.15); 6(0.22); 26(0.35)	0
19)	Nükleer Tıp	1	19(1.00)	0
20)	Ortopedi ve Travmatoloji	0.625655	1(0.05);6(0.26); 12(0.05);21(0.32); 26(0.32)	0
21)	Plastik Rekonstrüktif ve Estetik Cerrahi	1	21(1.00)	6
22)	Psikiyatri	0.8	6(0.63); 26(0.37)	0
23)	Radyasyon Onkoloji	1	23(1.00)	0
24)	Radyoloji	1	24(1.00)	0
25)	Tıbbi Biyokimya	0.666667	26(1.00)	0
26)	Tıbbi Genetik/Pediyatri	1	26(1.00)	10
27)	Üroloji	1	27(1.00)	1

Tablo 3'e göre analize dahil ettiğimiz 27 anabilim dalından 13'ü BCC girdi yönlü VZA modeline göre etkin durumdadır. Bahsi geçen karar verme birimleri ise Acil ve İlk Yardım, Beyin Cerrahi, Çocuk Cerrahisi ve Ürolojisi, Dermatoloji, Göğüs Hastalıkları, Göz Hastalıkları, İç Hastalıkları, Nükleer Tıp, Plastik Rekonstrüktif ve Estetik Cerrahi, Radyasyon Onkoloji, Radyoloji, Tıbbi Genetik/Pediyatri, Üroloji ana bilim dalı (ABD)'dir.

Acil ve İlk Yardım ABD, etkin durumda bulunmayan ABD'leri aracılığıyla 7 defa referans gösterilmiştir. Benzer şekilde Beyin Cerrahi 6 defa, Çocuk Cerrahisi ve Ürolojisi 6 defa, Dermatoloji 8 defa, Göğüs Hastalıkları 2 defa, Göz Hastalıkları 4 defa, İç Hastalıkları 4 defa, Plastik Rekonstrüktif ve Estetik Cerrahi 6 defa, Tıbbi Genetik/Pediyatri

etkin durumda bulunmayan ABD'leri tarafından 10 defa referans gösterilmiştir. Ayrıca etkin durumdaki ABD'lerinden Göz Hastalıkları, etkin olmayan Fizik Tedavi ve Rehabilitasyon, Genel Cerrahi, Kulak Burun Boğaz ve Ortopedi ve Travmatoloji tarafından referans olarak alınmıştır. Ancak, Nükleer Tıp etkin bir ABD olmasına rağmen hiçbir ABD aracılığıyla referans olarak gösterilmemiştir.

Tablo 3'e göre, etkin olmayan ABD'lerinin hangi etkin karar verme birimleri referans almaları gerektiği söylenebilir. Örneğin, Anesteziyoloji ABD'nin etkinlik skorunun 0,574729 değeri ile etkin olmadığı görülmektedir. Etkin hale gelmesi için Beyin Cerrahisi ve Çocuk Cerrahisi ve Ürolojisi ABD'lerini referans alması

gerekmektedir. Etkinlik değerini arttırabilmek için %92 oranında Beyin Cerrahi, %8 oranında ise Çocuk Cerrahisi ve Ürolojisi ABD'nı örnek alarak verilerini güncellemesi gerekmektedir. Bu sayede etkin bir anabilim dalı haline gelebilir.

Analiz sonucu elde edilen Girdi-Çıktı artık değerleri dikkate alınır, Psikiyatri ABD'nin etkinlik skoru 0,8'dir ve bu skor ile etkin durumda değildir. Etkin bir ABD haline gelebilmek adına 1. girdi olan Öğretim Üyesi ve Öğretim Görevlisi Sayısını %20 oranında düşürmeli, 2.girdi olan

Asistan Dr. Sayısını %75,5 oranında düşürmeli, 3.girdi olan Hasta Bakıcı Sayısını % 52,2 oranında düşürmeli ve 4.girdi olan Hemşire Sayısı Sayısını ise %76,1 oranında düşürmelidir. Bunlara ek olarak 2.çıkıtı olan Yatan Günlük Hasta Sayısını ise %285,7 oranında sayısal olarak yukarı çekebilirse etkin bir anabilim dalına dönüşecektir.

BCC çıktı yönlü model uygulanarak elde edilen anabilim dallarına ait sonuçlar Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. Anabilim dalları için BCC çıktı yönlü model sonuçları

Table 4. BCC output oriented model results for departments

	Anabilim dalları	Etkinlik skoru	Referans kümesindeki anabilim dalları	Referans alınma frekansı
1)	Acil ve İlk Yardım	1	1(1.00)	9
2)	Anesteziyoloji	0.941464	3(1.00)	0
3)	Beyin Cerrahi	1	3(1.00)	9
4)	Çocuk Cerrahisi ve Ürolojisi	1	4(1.00)	4
5)	Çocuk Sağlığı ve Hastalıkları	0.985962	1(0.21); 13(0.79)	0
6)	Dermatoloji	1	6(1.00)	4
7)	Enfeksiyon Hastalıkları	0.436628	3 (0.42); 4(0.07); 6(0.26); 12(0.23); 13(0.02)	0
8)	Fizik Tedavi ve Rehabilitasyon	0.794862	12(0.67); 26(0.33)	0
9)	Genel Cerrahi	0.681916	1(0.05); 3(0.14); 13(0.08); 21(0.73)	0
10)	Göğüs Cerrahi	0.340602	4(0.07); 6(0.34); 12(0.03); 21(0.42); 27(0.14)	0
11)	Göğüs Hastalıkları	0.773476	6(1.00)	0
12)	Göz Hastalıkları	1	12(1.00)	7
13)	İç Hastalıkları	1	13(1.00)	5
14)	Kadın Hastalıkları ve Doğum	0.913257	1(0.002); 3(0.25); 4(0.07); 6(0.04); 13(0.14); 21(0.50)	0
15)	Kalp Damar Cerrahi	0.720569	1(0.02); 3(0.20); 4(0.51); 21(0.28)	0
16)	Kardiyoloji	0.732932	1(0.22); 3(0.73); 13(0.05)	0
17)	Kulak Burun Boğaz	0.927803	1(0.05); 3(0.06); 12(0.28); 21(0.25); 26(0.36)	0
18)	Nöroloji	0.497488	1(0.50); 3(0.21); 12(0.07); 26(0.22)	0
19)	Nükleer Tıp	1	19(1.00)	0
20)	Ortopedi ve Travmatoloji	0.669595	1(0.11); 3(0.15); 12(0.36); 21(0.30); 26(0.08)	0
21)	Plastik Rekonstrüktif ve Estetik Cerrahi	1	21(1.00)	6
22)	Psikiyatri	0.578968	1(0.21); 12(0.13); 26(0.66)	0
23)	Radyasyon Onkolojisi	1	23(1.00)	0
24)	Radyoloji	1	24(1.00)	0
25)	Tıbbi Biyokimya	0.105106	26(1.00)	0
26)	Tıbbi Genetik /Pediatri	1	26(1.00)	6
27)	Üroloji	1	27(1.00)	1

Tablo 4'e göre analize dahil edilen 27 ABD'den 12'si BCC Çıktı yönlü VZA modeline göre etkin durumdadır. Bahsi geçen karar verme birimleri

Göğüs hastalıkları ABD hariç, BCC Girdi yönlü VZA modelindeki ile aynıdır.

Acil ve İlk Yardım ABD, etkin durumda bulunmayan ABD'leri aracılığıyla 9 defa referans

gösterilmiştir. Benzer biçimde Beyin Cerrahi yine 9 defa, Çocuk Cerrahisi ve Ürolojisi 4 defa, Dermatoloji 4 defa, Göz Hastalıkları 7 defa, İç Hastalıkları 5 defa, Plastik Rekonstrüktif ve Estetik Cerrahi 6 defa, Tıbbi Genetik/Pediyatri 6 defa ve Üroloji etkin durumda bulunmayan ABD'leri aracılığıyla 1 defa referans gösterilmiştir.

Ayrıca etkin durumda bulunan ABD'lerinden Tıbbi Genetik/Pediyatri, etkin olmayan Fizik Tedavi ve Rehabilitasyon, Kulak Burun Boğaz, Nöroloji, Ortopedi ve Travmatoloji, Psikiyatri ve Tıbbi Biyokimya tarafından referans olarak alınmıştır. Ancak, Radyoloji etkin bir ABD olmasına rağmen hiçbir ABD aracılığıyla referans olarak gösterilmemiştir.

Analiz sonucu elde edilen Girdi-Çıktı artık değerleri dikkate alındığında, Ortopedi ve Travmatoloji ABD'nin etkinlik skoru 0,669595'tir ve bu skor ile etkin olmadığı görülmektedir. Etkin hale gelebilmesi için 4.girdi olan Hemşire Sayısını %23,3 oranında düşürmeli, 1.çıktı olan Günlük Ayakta Muayene Sayısını %49,3 oranında yükseltmeli, 2.çıktı olan Yatan Günlük Hasta Sayısını % 83,3 oranında yükseltmeli ve son olarak da 3.çıktı olan Ameliyat sayısını % 49,3 oranında yükseltmelidir. İhtiyaç durulan bu değişimler sağlandığı durumda Ortopedi ve Travmatoloji ABD etkin ABD'leri arasına dahil olacaktır.

CCR girdi yönlü model uygulanarak elde edilen anabilim dallarına ait sonuçlar 5'te verilmiştir (Güç & Kasap, 2019; Güç, 2019).

Tablo 5. Anabilim dalları için CCR girdi yönlü model sonuçları
Table 5. CCR input oriented model results for departments

	Anabilim dalları	Etkinlik skoru	Referans kümesindeki anabilim dalları	Referans alınma frekansı
1)	Acil ve İlk Yardım	1	1(1.00)	10
2)	Anesteziyoloji	0.564879	3(0.94)	0
3)	Beyin Cerrahi	1	3(1.00)	5
4)	Çocuk Cerrahisi ve Ürolojisi	1	4(1.00)	6
5)	Çocuk Sağlığı ve Hastalıkları	0.712489	1(1.63); 13(0.25)	0
6)	Dermatoloji	1	6(1.00)	9
7)	Enfeksiyon Hastalıkları	0.379292	4(0.31); 6(0.41); 12(0.02)	0
8)	Fizik Tedavi ve Rehabilitasyon	0.722409	1(0.04); 12(0.23); 26(0.82)	0
9)	Genel Cerrahi	0.492636	1(0.008); 4(0.60); 6(0.49); 21(0.39)	0
10)	Göğüs Cerrahi	0.331126	4(0.04); 6(0.19); 21(0.17); 26(0.004)	0
11)	Göğüs Hastalıkları	0.622501	1(0.07); 3(0.02); 6(0.49)	0
12)	Göz Hastalıkları	1	12 (1.00)	5
13)	İç Hastalıkları	1	13(1.00)	2
14)	Kadın Hastalıkları ve Doğum	0.887799	4(0.37); 6(0.43); 13(0.09); 21(0.46)	0
15)	Kalp Damar Cerrahi	0.701514	1(0.001); 3(0.22); 4(0.12); 21(0.23)	0
16)	Kardiyoloji	0.696393	1(0.12); 3(0.40); 6(0.53)	0
17)	Kulak Burun Boğaz	0.873336	1(0.06); 12(0.09); 21(0.32); 26(0.68)	0
18)	Nöroloji	0.428544	1(0.14); 3(0.18); 6(0.28); 26(0.33)	0
19)	Nükleer Tıp	1	19(1.00)	0
20)	Ortopedi ve Travmatoloji	0.624968	1(0.06); 6(0.25); 12(0.06); 21(0.32); 26(0.31)	0
21)	Plastik Rekonstrüktif ve Estetik Cerrahi	1	21(1.00)	7
22)	Psikiyatri	0.558595	1(0.13); 26(0.53)	0
23)	Radyasyon Onkolojisi	1	23(1.00)	1
24)	Radyoloji	1	24(1.00)	0
25)	Tıbbi Biyokimya	0.07007	26(0.11)	0
26)	Tıbbi Genetik /Pediyatri	1	26(1.00)	6
27)	Üroloji	0.897368	4(0.56); 6(1.02); 12(0.07); 21(0.46)	0

Tablo 5'e göre analize dahil ettiğimiz 27 ABD'nin 11'i CCR Girdi yönlü VZA modeline göre etkin durumdadır. Bahsi geçen karar verme birimleri Üroloji ABD hariç, BCC çıktı yönlü VZA

modelindeki ile aynıdır. CCR girdi yönlü analiz detayları için bkz. (Güç & Kasap, 2019). CCR çıktı yönlü model uygulanarak elde edilen anabilim dallarına ait sonuçlar Tablo 6'da verilmiştir (Güç & Kasap, 2019; Güç, 2019).

Tablo 6. Anabilim dalları için CCR çıktı yönlü model sonuçları
Table 6. CCR output-oriented model results for departments

	Anabilim dalları	Etkinlik skoru	Referans kümesindeki anabilim dalları	Referans alınma frekansı
1)	Acil ve İlk Yardım	1	1(1.00)	10
2)	Anesteziyoloji	0.564879	3(1.66)	0
3)	Beyin Cerrahi	1	3(1.00)	5
4)	Çocuk Cerrahisi ve Ürolojisi	1	4(1.00)	6
5)	Çocuk Sağlığı ve Hastalıkları	0.712489	1(2.29); 13(0.36)	0
6)	Dermatoloji	1	6(1.00)	9
7)	Enfeksiyon Hastalıkları	0.379292	4(0.81); 6(1.08); 12(0.04)	0
8)	Fizik Tedavi ve Rehabilitasyon	0.722409	1(0.06); 12(0.32); 26(1.13)	0
9)	Genel Cerrahi	0.492636	1(0.02); 4(1.20); 6(0.99); 21(0.79)	0
10)	Göğüs Cerrahi	0.331126	4(0.13); 6(0.58); 21(0.52); 23(0.01)	0
11)	Göğüs Hastalıkları	0.622501	1(0.11); 3(0.03); 6(0.79)	0
12)	Göz Hastalıkları	1	12(1.00)	5
13)	İç Hastalıkları	1	13(1.00)	2
14)	Kadın Hastalıkları ve Doğum	0.887799	4(0.41); 6(0.48); 13(0.10); 21(0.51)	0
15)	Kalp Damar Cerrahi	0.701514	1(0.002); 3(0.33); 4(0.18); 21(0.33)	0
16)	Kardiyoloji	0.696393	1(0.17); 3(0.57); 6(0.76)	0
17)	Kulak Burun Boğaz	0.873336	1(0.07); 12(0.10); 21(0.37); 26(0.79)	0
18)	Nöroloji	0.428544	1(0.33); 3(0.41); 6(0.65); 6(0.76)	0
19)	Nükleer Tıp	1	19(1.00)	0
20)	Ortopedi ve Travmatoloji	0.624968	1(0.09); 6(0.40); 12(0.09); 21(0.51); 26(0.50)	0
21)	Plastik Rekonstrüktif ve Estetik Cerrahi	1	21(1.00)	7
22)	Psikiyatri	0.558595	1(0.24); 26(0.96)	0
23)	Radyasyon Onkolojisi	1	23(1.00)	1
24)	Radyoloji	1	24(1.00)	0
25)	Tıbbi Biyokimya	0.07007	26(1.50)	0
26)	Tıbbi Genetik /Pediatri	1	26(1.00)	6
27)	Üroloji	0.897368	4(0.63); 6(1.15); 12(0.08); 21(0.51)	0

Tablo 6'ya göre analize dahil ettiğimiz 27 ABD'den 11'i CCR Çıktı yönlü VZA modeline göre etkin durumdadır. Bahsi geçen karar verme birimleri CCR girdi yönlü VZA modeli ile aynıdır. CCR çıktı yönlü analiz detayları için bkz. (Güç & Kasap, 2019). CCR ve BCC modellerinin tüm alt modelleri için analiz sonucunda elde edilen girdi-

çıktı artık değerleri çalışmanın ekler bölümünde tablolar halinde verilmiştir.

Rastgele seçilmiş herhangi bir karar verme birimi için, *BCC: girdi yönlü BCC modeli etkinlik değeri ve *CCR: girdi yönlü CCR modeli etkinlik değeri olmak üzere *BCC \geq *CCR kısıtı tüm durumlarda gerçekleşir. Çünkü BCC modelindeki

konveks üretim olanakları kümesi, CCR modelindeki üretim olanakları kümesinin bir alt kümesidir. Diğer bir deyişle CCR girdi yönlü model ile etkin bulunan rastgele seçilmiş bir karar verme birimi, mutlaka BCC girdi yönlü modelde de etkin olacaktır. Örneğin; Göğüs Hastalıkları ABD'nin CCR girdi yönlü modele göre etkinlik değeri 0.622501'dir. Yani etkin değildir. Ancak BCC Girdi yönlü model dikkate alındığında Göğüs Hastalıkları ABD'nin etkinlik değerinin 1 olduğunu görülmektedir. Bu da etkin bir karar verme birimi olduğunu göstermektedir ve yukarıda bahsedilen kısıtı sağlamaktadır.

4. Tartışma ve sonuçlar

4. Discussion and conclusions

Bir sektörün değerini veya önemini ortaya koyarken, sektörün üretiminin hangi bandında yer aldığına dikkat edilmelidir. Eğer birimler üretimleri sonucunda bir ürün ortaya koyuyorsa, o sektörün önemini ortaya koydukları ürünün ihtiyaçları gidermesi ya da hayatı kolaylaştırıcı etkileri açısından değerlendirmek mümkün olabilir. Ancak o sektöre bağlı birimler bir hizmet üretiyorsa, o sektörün değerini ürettikleri hizmet kalitesi ve önemi belirler. Bu açıdan bakıldığında ise sağlık sektörü tüm sektörlerin temelini oluşturan insan iş gücünün faaliyetlerini devam ettirebilmesine olanak sağladığı için oldukça önemli bir konumdadır.

Sağlık ünitelerinin etkinliklerinin analizi ve bu analizler ışığında tüm ünitelerden azami verimliliğe ulaşmak amacıyla VZA'ndan faydalanılması gelişim ve değişim süreçlerinin en dikkat edilmesi gereken safhalarından bir tanesidir. VZA ile sektör himayesinde yer alan alt ünitelerin kendi içerisinde ve karşılıklı analizleri ışığında etkin halde bulunan karar verme birimlerinin belirlenmesi ve etkin durumda bulunmayan karar verme birimlerinin ise etkin duruma gelebilmesi için hangi oranla, hangi etkin birimi referans alması gerektiğini ve kendi koşullarını referans aldığı bu etkin olan birime ya da birimlere göre tasarlaması gerektiği sonucunu veren VZA, uygulamada yaygın bir şekilde kullanılan elverişli bir modeldir.

Bu çalışmada incelenen dört modelde de 27 anabilim dalından 11 tanesi etkin haldedir. Bu anabilim dalları Acil ve İlk Yardım, Beyin Cerrahi, Çocuk Cerrahisi ve Ürolojisi, Dermatoloji, Göz Hastalıkları, İç Hastalıkları, Nükleer Tıp, Plastik Rekonstrüktif ve Estetik Cerrahi, Radyasyon Onkoloji, Radyoloji ve Tıbbi Genetik/Pediyatri'dir. Bu sonuç, anabilim dallarının % 40'ının etkin, % 60'ının ise etkin olmayan karar verme

birimlerinden oluştuğunu göstermektedir. Bu bağlamda Eğitim ve Araştırma Hastanesi'nin toplam etkinliğini yükseltmek ve var olandan çok daha işlevsel bir kuruma dönüşmesi sağlamak için etkin durumda bulunmayan birimlerin veri setlerini, referans birimler ışığında güncelleme çalışmalarının ilerleyen süre zarfında uygulaması gerekmektedir. Bununla birlikte kurumsal kalite ve verimliliğini koruyucu ve geliştirici hamleler yapmış olacaktır.

Günümüzde performans, etkinlik ve verimlilik gibi tanımlamalar belirli bir limite sahip olan kaynakların kullanımında her zaman kilit bir rol oynayacaktır. Var olan rekabet, kurumları (karar verme birimleri) kaynaklarını en etkin ve verimli bir şekilde kullanmaya zorlamaktadır (Oruç, 2009).

Araştırma doğrultusunda sonraki dönemlerde etkin olmayan karar verme birimlerinin gerekli referanslar doğrultusunda kendi anabilim dallarında değişime gidip-gitmedikleri veya etkinlik değerlerinde bir artış ya da azalış olup olmadığı tekrar araştırılabilir.

Araştırmada yer alan girdi ve çıktı kümeleri dikkate alınarak, araştırma farklı bir eğitim ve araştırma hastanesinde tekrarlanabilir ve anabilim dalları kıyaslanabilir. Bizim çalışmamızda etkin olan veya olmayan karar verme birimlerinin etkinlik değerleri ile yeni uygulamanın değerleri kıyaslanabilir. Farklı etkinlik skorlarının sebepleri sorgulanabilir, etkinlik skorlarını 1'e çekmek için her iki eğitim ve araştırma hastanesindeki referans kümeleri kıyaslanabilir.

Teşekkür/Katkı Belirtme

Acknowledgement

Bu çalışma yüksek lisans tez çalışmasından türetilmiştir ve herhangi bir proje tarafından maddi olarak desteklenmemiştir. Makalenin inceleme ve değerlendirme aşamasında yapmış oldukları katkılardan dolayı editör ve hakemlere teşekkür ederiz.

Yazar katkısı

Author contribution

Yazarların çalışmaya eşit oranda katkısı bulunmaktadır.

Etik beyanı*Declaration of ethical code*

Bu makalenin yazarları, bu çalışmada kullanılan materyal ve yöntemlerin etik kurul izni gerektirmediğini beyan etmektedir.

Çıkar çatışması beyanı*Conflicts of interest*

Bu makalenin yazarları, aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Kaynaklar*References*

Aydağün, A. (2003). *Veri zarflama analizi*, [Yılsonu Semineri, Milli Savunma Üniversitesi, Hava Harp Okulu, Havacılık ve Uzay Teknolojileri (HUTEN) Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı].

Atan, M. (2005). Üretim ve verimliliği artırma teknikleri. [Gazi Üniversitesi Ekonometri Bölümü Ders Notu] <http://muratatan.info/notes/10.pdf>.

Bakırer, A. (2016). *663 sayılı KHK'nin devlet hastanelerinin verimliliklerine olan etkisinin veri zarflama analizi ile ölçümü* [Yüksek Lisans Tezi, Cumhuriyet Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü].

Bal, V. (2010). *Bilgi sistemlerinin sağlık işletmeleri performansına etkinlerinin veri zarflama analizi ile ölçümü: Türkiye'deki devlet hastanelerinde bir araştırma* [Doktora Tezi, Isparta Süleyman Demirel Üniversitesi].

Banker, R.D., Charnes, A., & Cooper, W.W. (1984). Some models for estimating technical and scale in efficiencies in data envelopment analysis. *Management Science*, 30(9), 1078-1092.

Barutçugil, İ. (2002). *Performans yönetimi*. Kariyer yayıncılık.

Baş, M., & Artar, A. (1990). *İşletmelerde verimlilik denetimi ölçme ve değerlendirme modelleri*. MPM yayınları.

Başkaya, Z., & Avcı, B. (2011). *Veri zarflama analizi*. (1. Baskı), Dora yayınları.

Bektaş, A. (2007). *Ankara'daki özel liselerin etkinliğinin veri zarflama analizi ile ölçümü* [Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi].

Charnes, A., Cooper, W.W., & Rhodes, E. (1981). Evaluating program and managerial efficiency: an application of data envelopment analysis to program follow through. *Management Science*, 27(6), 668-697.

Charnes, A., Cooper, W.W., & Rhodes, E. (1978). Measuring the efficiency of decision making units. *European Journal of Operational Research*, 2(6), 429-444.

Charnes, A., Cooper, W.W., Lewin, A.Y., & Seiford, L.M. (Eds.) (1994). *Data envelopment analysis: Theory, methodology and applications*. Kluwer.

Chen, Y. & Ali, A.I. (2002). Continuous optimization output-input ratio analysis and DEA frontier, *European Journal of Operational Research*. 12(142), 476-479.

Cook, W.D., & Seiford, L.M. (2009). Data envelopment analysis (DEA) – Thirty years on. *European Journal of Operational Research*, 192(1), 1-17.

Debreu, G. (1951). The coefficient of resource utilization. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*. 19(3), 273-292.

Depren, Ö. (2008). *Veri zarflama analizi ve bir uygulama* [Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü].

Dilts, D.M., Zell, A., & Orwoll, E. (2015). A novel approach to measuring efficiency of scientific research projects: data envelopment analysis. *Clinical and Translational Science*, 8(5), 495-501.

Erdoğan, İ. (1991). *İşletmelerde personel seçimi ve başarı değerlendirme teknikleri*, Beta yayınları.

Erpolat, S. (2011). *Veri zarflama analizi*, Evrim yayınevi.

Farrell, M.J. (1957). The measurement of productive efficiency. *Journal of the Royal Statistical Society: Series A (General)*, 120(3), 253-281.

Güç, F. (2019). *Veri zarflama analizi ile performans değerlendirmesi ve sağlık alanında bir uygulama*. [Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstatistik Anabilim Dalı].

Güç, F. & Kasap, P. (2019). CCR modeli ile veri zarflama analizi ve bir uygulama, *2.Uluslararası İstatistik, Matematik ve Analitik Yöntemler Kongresi* (ss.59-68), Güven Plus Grup A.Ş. Yayınları. E-ISBN: 978-605-7594-16-7.

Gülcü, A., Tutar, H., & Yeşilyurt, C. (2004). *Sağlık sektöründe veri zarflama analizi yöntemi ile göreceli verimlilik analizi*. Seçkin Yayıncılık.

Güran, M.C., & Cingi, S. (2002). Devletin ekonomik müdahalelerinin etkinliği. *Akdeniz İİBF Dergisi*, 3, 56-89.

İleri, İ. (1997). *VZA kullanılarak bankacılık sektöründe bir uygulama* [Yayımlanmamış Yüksek Lisans

- Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü].
- Kecek, G. (2010). *Veri zarflama analizi teori ve uygulama örneği* (1. Baskı). Siyasal kitabevi.
- Koopmans, T.C. (1951). An analysis of production as an efficient combination of activities Chapter III. T.C. Koopmans (Ed.) *Activity analysis of production and allocation, Cowles Commission Monograph*. New York: John Wiley and Sons.
- Kutlar, A., & Kartal M. (2004). Cumhuriyet üniversitesinin verimlilik analizi: fakülteler düzeyinde veri zarflama yöntemiyle bir uygulama. *Kocaeli Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi* 8(2), 49-79.
- Matthews, K., & Ismail, M. (2006). Efficiency and productivity growth of domestic and foreign commercial banks in Malaysia. *Cardiff Economics Working Papers*, 20(13)5 – 25.
- Norman, M., & Stoker, B. (1991). *Data envelopment analysis: The assessment of performance*. Wiley.
- Oruç, K.O., Güngör İ., & Demiral, M.F. (2009). Üniversitelerin etkinlik ölçümünde bulanık veri zarflama analizi uygulaması. *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*. 22, 279-294
- Prokopenko, J. (Ed.). (1998). *Management development: A guide for the profession*. International Labour Organization.
- Sathye, M. (2003). Efficiency of banks in a developing economy: The case of India. *European Journal of Operational Research*, 12(148), 662 – 671.
- Timur, H. (2001). Personel başarı değerlendirme ve Türk adli yargı örneği. *Amme İdaresi Dergisi* 7(2), 129 – 137.
- Ulucan, A. (2004). *Yöneylem araştırması işletmecilik uygulamalı bilgisayar destekli uygulama*. Siyasal kitabevi.
- Uyargil, C. (1994). *İşletmelerde performans yönetim sistemi İstanbul*. İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi Yayını.
- Yaylalı, M., Oktay, E., Akan, Y., & Kaynak, S. (2007). Türkiye ve Avrupa Birliğine üye ülkelerin bilgi ekonomisi performanslarının veri zarflama analizi metoduyla karşılaştırılması. *Marmara Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 22(1), 1-25.
- Yeşilyurt, C. (2009). Türkiye'deki iktisat bölümlerinin göreceli performanslarının veri zarflama analizi yöntemiyle ölçülmesi: KPSS 2007 verilerine dayalı bir uygulama. *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 23(4), 135-147.
- Yolalan, R. (1993). *İşletmeler arası göreceli etkinlik ölçümü*, MPM yayımları, No: 483.
- Yun, Y.B., Nakayama, H., & Tanino, T. (2004). Continuous optimization a generalized model for data envelopment analysis. *European Journal of Operational Research*. 25(157), 89 – 91.
- Yükçü, S., & Atağan, G. (2009). Etkinlik, etkililik ve verimlilik kavramlarının yarattığı karışıklık, *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 23(4), 1–12.

EKLER
APPENDICES

Tablo I. Anabilim dalları için BCC girdi yönlü etkinlik değerleri ve girdi-çıktıların artık değerleri
Table I. BCC input-oriented efficiency values and residual values of input-outputs for departments

Anabilim dalları	Etkinlik skoru	Öğretim üyesi ve öğretim görevlisi sayısındaki fazlalık	Asistan Dr. sayısındaki fazlalık	Hasta bakıcı sayısındaki fazlalık	Hemşire sayısı sayısındaki fazlalık	Günlük ayakta muayene sayısındaki azlık	Yatan günlük hasta sayısındaki azlık	Ameliyat sayısındaki azlık
1) Acil ve İlyardıml	1	0	0	0	0	0	0	#
2) Anesteziyoloji	0,574	-42,5	#	-52,5	-51,5	0	413,3	186,9
3) Beyin Cerrahi	1	0	#	0	0	0	0	0
4) Çocuk Cerrahisi ve Ürolojisi	1	0	#	0	0	0	0	0
5) Çocuk Sağlığı ve Hastalıkları	0,968	-3,1	-36,4	-41,4	-21,5	0	24,6	#
6) Dermatoloji	1	0	0	0	0	0	0	#
7) Enfeksiyon Hastalıkları	0,5	-50	-50	-50	-54,6	34,6	0	#
8) Fizik Tedavi ve Rehabilitasyon	0,744	-25,5	-36,2	-25,5	-57,7	0	28	#
9) Genel Cerrahi	0,531	-46,8	-46,8	-46,8	-46,8	0	0	0
10) Göğüs Cerrahi	0,8	-20	-33,3	-47,3	-20	205,1	2,1	0
11) Göğüs Hastalıkları	1	0	-33,8	-67,1	-86,8	16,6	0	#
12) Göz Hastalıkları	1	0	0	0	0	0	0	0
13) İç Hastalıkları	1	0	0	0	0	0	0	#
14) Kadın Hastalıkları ve Doğum	0,907	-9,2	-9,2	-30,2	-9,2	0	0	0
15) Kalp Damar Cerrahi	0,8	-20	-20	-82,4	-65,1	8,3	0,6	0
16) Kardiyoloji	0,71	-29,9	-29,9	-38,6	-58,3	0	0	#
17) Kulak Burun Boğaz	0,9	-9,9	-9,9	-9,9	-50,1	0	35,3	0
18) Nöroloji	0,432	-56,7	-56,7	-56,7	-65,9	0	0	36283,2
19) Nükleer Tıp	1	0	#	#	0	0	0	#
20) Ortopedi ve Travmatoloji	0,625	-37,4	-37,5	-37,4	-60,5	0	0	0
21) Plastik Rekons ve Estetik Cerrahi	1	0	0	0	0	0	0	0
22) Psikiyatri	0,8	-20	-75,5	-52,2	-76,1	0	285,7	#
23) Radyasyon Onkoloji	1	0	0	0	0	0	0	#
24) Radyoloji	1	0	0	#	0	0	0	#
25) Tıbbi Biyokimya	0,666	-33,3	-33,3	-100	#	851,4	#	#
26) Tıbbi Genetik/Pediyatri	1	0	0	#	#	0	0	#
27) Üroloji	1	0	0	0	0	0	0	0

Tablo II. Anabilim dalları için BCC çıktı yönlü etkinlik değerleri ve girdi-çıkıtların artık değerleri
Table II. BCC output-oriented efficiency values and residual values of input-outputs for departments

Anabilim dalları	Etkinlik skoru	Öğretim üyesi ve öğretim görevlisi sayısındaki fazlalık	Asistan Dr. sayısındaki fazlalık	Hasta bakıcı sayısındaki fazlalık	Hemşire sayısı sayısındaki fazlalık	Günlük ayakta muayene sayısındaki azlık	Yatan günlük hasta sayısındaki azlık	Ameliyat sayısındaki azlık
1) Acil ve İlk Yardım	1	0	0	0	0	0	0	#
2) Anesteziyoloji	0,941	-40	#	-50	-50	6,2	428,9	191,5
3) Beyin Cerrahi	1	0	#	0	0	0	0	0
4) Çocuk Cerrahisi ve Ürolojisi	1	0	#	0	0	0	0	0
5) Çocuk Sağlığı ve Hastalıkları	0,985	0	-34,8	-40,3	-18,9	1,4	28,4	#
6) Dermatoloji	1	0	0	0	0	0	0	#
7) Enfeksiyon Hastalıkları	0,436	0	0	0	0	150	129	#
8) Fizik Tedavi ve Rehabilitasyon	0,794	0	0	0	-44,4	25,8	141,5	#
9) Genel Cerrahi	0,681	-46,6	0	-17,5	-17,2	46,6	46,6	46,6
10) Göğüs Cerrahi	0,340	0	0	-22,2	0	252,2	193,5	193,5
11) Göğüs Hastalıkları	0,773	0	-16,6	-50	-80	29,2	52,2	#
12) Göz Hastalıkları	1	0	0	0	0	0	0	0
13) İç Hastalıkları	1	0	0	0	0	0	0	#
14) Kadın Hastalıkları ve Doğum	0,913	0	0	-22,8	0	9,4	9,4	9,4
15) Kalp Damar Cerrahi	0,720	0	0	-67,2	-47,8	38,7	54,9	38,7
16) Kardiyoloji	0,732	-1,3	0	-1,7	-15,7	36,4	36,4	#
17) Kulak Burun Boğaz	0,927	0	0	0	-43	7,7	64,3	7,7
18) Nöroloji	0,497	-45,7	0	0	-30,1	101	101	48461,5
19) Nükleer Tıp	1	0	#	#	0	0	0	#
20) Ortopedi ve Travmatoloji	0,669	0	0	0	-23,3	49,3	83,8	49,3
21) Plastik Rekonstrüktif ve Estetik Cerrahi	1	0	0	0	0	0	0	0
22) Psikiyatri	0,578	0	-55,1	0	-12,2	72,7	364,6	#
23) Radyasyon Onkolojisi	1	0	0	0	0	0	0	#
24) Radyoloji	1	0	0	#	0	0	0	#
25) Tıbbi Biyokimya	0,105	-33,3	-33,3	-100	#	851,4	#	#
26) Tıbbi Genetik/Pediyatri	1	0	0	#	#	0	0	#
27) Üroloji	1	0	0	0	0	0	0	0

Tablo III. Anabilim dalları için CCR girdi-yönlü etkinlik değerleri ve girdi-çıktıların artık değerleri
Table III. CCR input-oriented efficiency values and residual values of input-outputs for departments

Anabilim dalları	Etkinlik skoru	Öğretim üyesi ve öğretim görevlisi sayısındaki fazlalık	Asistan Dr. sayısındaki fazlalık	Hasta bakıcı sayısındaki fazlalık	Hemşire sayısı sayısındaki fazlalık	Günlük ayakta muayene sayısındaki azlık	Yatan günlük hasta sayısındaki azlık	Ameliyat sayısındaki azlık
1) Acil ve İlk Yardım	1	0	0	0	0	0	0	#
2) Anesteziyoloji	0,564	-43,5	#	-52,9	-52,9	0	397,9	174,4
3) Beyin Cerrahi	1	0	#	0	0	0	0	0
4) Çocuk Cerrahisi ve Ürolojisi	1	0	#	0	0	0	0	0
5) Çocuk Sağlığı ve Hastalıkları	0,712	-28,7	-38,9	-28,7	-43	37,5	0	#
6) Dermatoloji	1	0	0	0	0	0	0	#
7) Enfeksiyon Hastalıkları	0,379	-62	-62	-62	-66,6	1,4	0	#
8) Fizik Tedavi ve Rehabilitasyon	0,722	-27,7	-43,1	-27,7	-58,6	0	0	#
9) Genel Cerrahi	0,492	-50,7	-50,7	-51,8	-56,1	0	0	0
10) Göğüs Cerrahi	0,331	-66,8	-66,8	-73	-66,8	26	0	0
11) Göğüs Hastalıkları	0,622	-37,7	-37,7	-54,1	-73,7	0	0	#
12) Göz Hastalıkları	1	0	0	0	0	0	0	0
13) İç Hastalıkları	1	0	0	0	0	0	0	#
14) Kadın Hastalıkları ve Doğum	0,887	-11,2	-11,2	-38,1	-26,7	0	0	0
15) Kalp Damar Cerrahi	0,701	-29,8	-29,8	-76,5	-67	0	0	0
16) Kardiyoloji	0,696	-30,3	-30,3	-40,4	-61,7	0	0	#
17) Kulak Burun Boğaz	0,873	-12,6	-17,9	-12,6	-52,4	0	0	0
18) Nöroloji	0,428	-57,1	-57,1	-57,1	-69,3	0	0	26730,2
19) Nükleer Tıp	1	0	#	#	0	0	0	#
20) Ortopedi ve Travmatoloji	0,624	-37,5	-37,5	-37,5	-60,4	0	0	0
21) Plastik Rekonstrüktif ve Estetik Cerrahi	1	0	0	0	0	0	0	0
22) Psikiyatri	0,558	-44,1	-77,7	-44,1	-50,7	0	80,9	#
23) Radyasyon Onkolojisi	1	0	0	0	0	0	0	#
24) Radyoloji	1	0	0	#	0	0	0	#
25) Tıbbi Biyokimya	0,07	-92,9	-92,9	-100	#	0	#	#
26) Tıbbi Genetik/Pediyatri	1	0	0	#	#	0	0	#
27) Üroloji	0,897	-10,3	-10,2	-10,2	10,2	17,3	0	0

Tablo IV. Anabilim dalları için CCR çıktı yönlü etkinlik değerleri ve girdi-çıktıların artık değerleri
Table IV. CCR output-oriented efficiency values and residual values of input-outputs for departments

Anabilim dalları	Etkinlik skoru	Öğretim üyesi ve öğretim görevlisi sayısındaki fazlalık	Asistan Dr. sayısındaki fazlalık	Hasta bakıcı sayısındaki fazlalık	Hemşire sayısındaki fazlalık	Günlük ayakta muayene sayısındaki azlık	Yatan günlük hasta sayısındaki azlık	Ameliyat sayısındaki azlık
1) Acil ve İlk Yardım	1	0	0	0	0	0	0	#
2) Anesteziyoloji	0,564	0	#	-16,6	-16,6	77	781,5	385,8
3) Beyin Cerrahi	1	0	#	0	0	0	0	0
4) Çocuk Cerrahisi ve Ürolojisi	1	0	#	0	0	0	0	0
5) Çocuk Sağlığı ve Hastalıkları	0,712	0	-14,2	0	-20,1	92,9	40,3	#
6) Dermatoloji	1	0	0	0	0	0	0	#
7) Enfeksiyon Hastalıkları	0,379	0	0	0	-11,9	167,5	163,6	#
8) Fizik Tedavi ve Rehabilitasyon	0,722	0	-21,2	0	-42,7	38,4	38,4	#
9) Genel Cerrahi	0,492	0	0	-2,2	-10,9	102,9	102,9	102,9
10) Göğüs Cerrahi	0,331	0	0	-18,4	0	280,6	202	202
11) Göğüs Hastalıkları	0,622	0	0	-26,3	-57,8	60,6	60,6	#
12) Göz Hastalıkları	1	0	0	0	0	0	0	0
13) İç Hastalıkları	1	0	0	0	0	0	0	#
14) Kadın Hastalıkları ve Doğum	0,887	0	0	-30,2	-17,4	12,6	12,6	12,6
15) Kalp Damar Cerrahi	0,701	0	0	-66,6	-52,9	42	42,5	42,5
16) Kardiyoloji	0,696	0	0	-14,5	-45,9	43,5	43,5	#
17) Kulak Burun Boğaz	0,873	0	-6,8	0	-45,5	14,5	14,5	14,5
18) Nöroloji	0,428	0	0	0	-28,4	133,3	133,3	62507,8
19) Nükleer Tıp	1	0	#	#	0	0	0	#
20) Ortopedi ve Travmatoloji	0,624	0	0	0	-36,7	60	60	60
21) Plastik Rekonstrüktif ve Estetik Cerrahi	1	0	0	0	0	0	0	0
22) Psikiyatri	0,555	0	-60,1	0	-11,7	79	223,9	#
23) Radyasyon Onkolojisi	1	0	0	0	0	0	0	#
24) Radyoloji	1	0	0	#	0	0	0	#
25) Tıbbi Biyokimya	0,07	0	0	-100	#	1327,1	#	#
26) Tıbbi Genetik/Pediyatri	1	0	0	#	#	0	0	#
27) Üroloji	0,897	-0,1	0	0	0	30,7	11,4	11,4

(Not: Ekte verilen tablolarda kullanılan “#” işareti belirtilen yerlerde veri olmadığı için herhangi bir istatistiksel işlem yapılmadığını göstermektedir.)

Batı Karadeniz Havzası yağış değişkenliklerinin entropi tabanlı bir yaklaşımla değerlendirilmesi

Evaluation of precipitation variability in the Western Black Sea Basin with an entropy-based approach

Filiz BARBAROS*^{1,a}

¹Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Tınaztepe Kampüsü, 35390 Buca, İzmir

• Geliş tarihi / Received: 14.09.2021

• Düzeltilecek geliş tarihi / Received in revised form: 19.12.2021

• Kabul tarihi / Accepted: 01.01.2022

Öz

Küresel iklim değişikliğinin meteorolojik koşullar üzerindeki en belirgin etkisi sıcaklık ve yağışlar üzerinedir. Son yıllarda görülme sıklıkları artan gerek taşkın gerekse kuraklık olaylarının canlı hayat üzerindeki olumsuz etkileri, gün geçtikçe belirgin bir şekilde karşımıza çıkmaktadır. Yaşanan tüm doğal afetler iklim değişikliğinin önemini daha çok ortaya koyarken, meteorolojik olayların değerlendirilmesini de daha önemli bir noktaya taşımaktadır. Bu amaçla, Batı Karadeniz Havzasındaki yağış gözlem verileri incelenerek, yağış değişkenliği ve bu değişkenliğe bağlı olası risk bölgeleri tanımlanmış, bölgesel analiz sonucu risk haritaları elde edilmiştir. Bu amaçla, Batı Karadeniz Havzasında bulunan 13 adet meteoroloji istasyonuna ait uzun dönem yağış verileri ele alınarak, gözlenen yağışlardaki değişkenlik *Şiddet Entropisine (ŞE)* dayalı *Şiddet Değişkenliği İndisi (ŞDİ)* ile tanımlanmıştır. Yağışlardaki değişkenlikler indisler ile tanımlandıktan sonra, bu indislere bağlı oluşturulan indis temelli haritalar ile olasılığa bağlı yüksek yağış alabilecek bölgeler belirlenmiştir. Elde edilen entropi tabanlı haritalar, iklim değişikliği ve taşkın riski ile mücadelede karar vericilerin oluşturacakları planlamalar çerçevesinde etkili bir araç olacaktır.

Anahtar kelimeler: Batı Karadeniz Havzası, Değişkenlik, Entropi, Şiddet değişkenlik indisi, Yağış, Türkiye

Abstract

The most obvious effect of global climate change on meteorological conditions is on temperature and precipitation. The negative effects of both flood and drought events are increasing day by day. While all natural disasters reveal the importance of climate change, they also bring the evaluation of meteorological events to a more important point. For this purpose, by examining the precipitation observation data in the Western Black Sea Basin, precipitation variability and possible risk areas related to this variability were defined, and risk maps were obtained as a result of regional analysis. Long term precipitation data of 13 meteorological stations in the Basin were taken into account and the variability in the observed precipitation was defined with the Intensity Variability Index (IVI) based on Intensity Entropy (IE). After the irregularities in precipitation were defined with indices, regions with high probability of precipitation were determined with index-based maps, created based on these indices. The produced entropy-based maps will be an effective tool for the planning of decision makers when faced with climate change and flood risk.

Keywords: West Black Sea Basin, Variability, Entropy, Intensity variability index, Precipitation, Türkiye

*a Filiz BARBAROS; filiz.barbaros@deu.edu.tr, Tel: (0232) 301 70 54, orcid.org/0000-0002-2697-911X

1. Giriş

1. Introduction

Doğal afetler canlıların yaşamında sonuçları ölümlerle sonuçlanabilecek derecede olumsuz etkileri olan olaylardır. Afetlerin taşıdığı tehlikelere karşı önlemler alabilmek için, doğal süreçlerin detaylı bir şekilde izlenmesi ve belirlenmesi gerekir. Araştırmacılar yıllar boyunca bu amaçla meteorolojik olayları çeşitli yöntemlerle değerlendirmişlerdir. Yaşanan tüm doğal afetler son yıllarda etkisi daha belirgin bir şekilde hissedilen iklim değişikliğinin önemini daha çok ortaya koyarken, meteorolojik olayların değerlendirilmesini de daha önemli bir noktaya taşımaktadır. Su kaynaklarının yönetimi çerçevesinde ele alınan en önemli konulardan biri olan hidrolojik süreçlere ait gözlemlerin yapılması ve bu gözlemlerden elde edilen verilerin en etkin yöntemlerle değerlendirilmesi de meteorolojik süreçler hakkında bilgi edinmek için en etkili yöntemlerdir. Su kaynakları sistemlerinin karmaşık ve stokastik bir yapıya sahip olması nedeniyle, baş edilmesi gereken temel sorunlar olarak belirsizlik ve değişkenlik ortaya çıkmaktadır. Dolayısıyla, karar vericiler için çoğunlukla bilgi eksikliği vardır ve bu durumda araştırmacıların çalışma ve deneyimleri çok önemli olmaktadır.

Hidro-meteorolojik değişkenlerin uzun dönem zaman serilerinin incelenmesi, potansiyel su kaynaklarını değerlendirmek ve çevresel değişiklikleri incelemek için hayati öneme sahiptir (Gu vd., 2020). Uzun dönem hidro-meteorolojik değişkenlerin analizi, su kaynakları planlaması ve iklim değişikliği etkileri çalışmalarında önemli bir rol oynamaktadır (Mishra vd., 2009). Genel olarak küresel ısınma, hidrolojik döngüyü yoğunlaştırmakta ve dolayısıyla küresel ortalama yağış, buharlaşma ve yüzey akışını artırmaktadır (Clark vd., 1999).

İklim değişikliğinin ve su kaynakları yönetiminin bölgesel etkilerini değerlendirmek için yağışın alansal ve zamansal özelliklerini ölçmek esastır (Zhang vd., 2016). Yağış rejimlerindeki alansal ve zamansal farklılıkları anlamak, hidrolojik döngünün iklim değişikliğine tepkisini ve bunun bölgesel ve küresel ölçekte su kaynaklarının değişkenliği ve kullanılabilirliği üzerindeki etkisini anlamak için önemlidir (Zhang vd., 2011; Cleridou vd., 2014).

Meteorolojik gözlemler rastgele bir sayı dizisi niteliğindedir. Yönetim kapsamında yer alan araştırmacılar, planlamacılar ve karar vericiler, bu veri dizisinden elde edilebilecek en fazla bilgiyi edinmek üzere çeşitli çalışmalar yürütmektedirler.

Gözlem yapılarak toplanan verilerden bilgi edinmek üzere “bilgi kuramı” ile tanımlanan, “kazanılan bilgi = giderilen belirsizlik” anlamını taşıyan entropi kavramı nesnel bir ölçüt olarak kullanılmaktadır. Entropi, rastgele karakterdeki hidrolojik süreçlerin içerdiği belirsizliğin ölçüsü olarak tanımlanmaktadır (Baran vd., 2017).

Hidrolojik sistemler, çok çeşitli alansal ve zamansal değişim ölçekleriyle çok karmaşıktır. Bu değişkenliği anlamak ve tahmin etmek, gelecekteki değişiklikleri tahmin etmek için kritik öneme sahiptir. Entropi ve ilgili yöntemler, hidrolojik sistemin değişkenliğini anlamada yardımcı olur. İzlenen meteorolojik veriler rastgele olduğundan, periyodik olarak ölçülmeyen değişkenin belirsizliği hakkında bilgi akışı ile ilgili uygulama, ilk olarak Shannon ve Weaver (1949) tarafından tanımlanan entropi teorisi ile mümkün olmuştur. 1989’da Singh, hidrolojik modelleme üzerine entropi teorisini ilk kez uygularken, Harmancıoğlu vd. (1992b), su kaynakları ve hidrolojik modellemede entropiyi kullanmıştır (Harmancıoğlu, 1981; Harmancıoğlu & Alpaslan, 1992; Harmancıoğlu vd., 1992a).

Entropi tabanlı değerlendirmeler, genellikle değişkenliği tanımlayan çeşitli istatistikler arasındaki olasılık dağılımı hakkında en fazla bilgiyi içerir ve yağış dağılımının yıllık, mevsimlik veya aylık gibi birçok ölçekte değerlendirilebilmesini mümkün kılar (Gu vd., 2020). Son yıllarda, bilgi teorisine dayalı yaklaşımlar, hidrometeorolojik verilerdeki değişkenliğin, hidrometrik izleme ağlarının ve yağış rejimlerinin alansal ve zamansal değerlendirilmesi gibi çok uygulamalarda kullanılmıştır (Koutsoyiannis, 2005; Li vd., 2012; Cui & Singh, 2012; Alfonso vd., 2014; Zhang vd., 2016; Cheng vd., 2017; Bacanlı vd., 2017; Okkan & Altun, 2019).

Sunulan çalışmada da adı geçen yöntem, Batı Karadeniz havzasında bulunan 13 meteoroloji gözlem istasyonunda 1975-2012 yılları arasında gözlemi yapılmış yağışlar özelinde uygulanmıştır. Uzun dönem yağış verilerinin alansal ve zamansal değişkenlikleri entropi tabanlı yöntemler ile değerlendirilmiştir.

2. Entropi kavramı

2. Entropy concept

Entropi, termodinamik ve istatistiksel mekaniğin çok önemli bir kavramıdır ve incelenen sistemin türü veya boyutu ne olursa olsun, o sistemden

edinilecek bilgi miktarını en iyi şekilde tanımlar (Wehri, 1978).

Entropi, Shannon (1948) tarafından tanımlanan, bilgi teorisi kullanılarak, kesikli veya sürekli formda verilen bir rastgele değişkenin, bilinen veya hesaplanan olasılık dağılım fonksiyonu veya olasılık yoğunluk fonksiyonu ile belirlenen bir değerdir. Entropi, düzensizlik, kaos veya belirsizliğin bir ölçüsü olarak kabul edilir (Singh, 2014). Bir değişkenin değişkenliğindeki artış, olasılık dağılımının çarpıklığını azaltacak ve dolayısıyla entropi değerinde bir artışa neden olacaktır. Olasılık dağılımının herhangi bir sapma olmaksızın tekdüze olması durumunda entropi maksimum değerini alırken, herhangi bir olasılığa sahip değişkenin belirli bir değeri alması entropi değerinin sıfıra yaklaşmasına yol açar (Singh, 2018). Entropi, süreçlerdeki belirsizliği netleştirmek ve o süreçten alınabilecek en fazla bilgi miktarını belirlemek için uygulanır. Özellikle su kaynakları sistemlerindeki belirsizliğin ölçümü, su arz ve talepleri arasındaki önemli zamansal ve mekânsal uyumsuzlukları belirlemek ve iklim değişikliğinin etkileri ile daha riskli hale gelecek bölgeleri tahmin etmek üzere çeşitli araştırmacılar tarafından yürütülen çalışmalar ile ele alınmıştır (Singh, 1997; Maruyama vd., 2005; Renard vd., 2020; Rehana vd., 2020; Ciriello vd., 2021).

Su kaynakları yönetimi kapsamında, entropi teorisine dayalı yaklaşımlar, çeşitli araştırmacılar tarafından kullanılmıştır. Entropinin, kavramları ve teknikleri açısından geniş bir uygulama alanına sahiptir. Bu nedenle, belirsizlik içeren birçok konu, çevre ve su mühendisliğinde entropi kullanımıyla çözüm bulmuştur (Singh, 2013; Cui vd., 2018).

Tüm uygulandığı alanlarda entropi, belirli bir problemin çözümü için temel değerlendirme aracı olarak kullanılmaktadır. 1990'lardan günümüze, su mühendisliği kapsamında yapılan birçok çalışmada, belirsiz bir durumu çözmek için entropi yaygın bir biçimde kullanılmıştır. Bu nedenle entropi ile belirsizlik değerlendirme yöntemi, çevre ve su kaynaklarında modelleme ve karar verme için etkili araçlardan biridir (Singh, 2000).

3. Değişkenlik ölçütleri

3. Variability criteria

Mishra vd. (2009) yaptığı çalışma ile değişkenliği, alansal ve zamansal olarak tanımlamıştır. Farklı coğrafi konumlarda gözlenen bir özellik için alansal değişkenliğin, farklı değerlerle ifade edildiğini belirtmiştir. Alansal değişkenliğin, herhangi bir yağış istasyonunun bölgedeki toplam

yağışa katkısının dikkate alınması, ya da her bir istasyondaki yağış kayıtlarının içindeki değişkenliğin karşılaştırılması; zamansal değişkenliğin ise farklı zaman aralıklarında gözlenen bir zaman serisinin düzensizliğinin ölçülmesi şeklinde yapılabileceğini ortaya koymuştur.

Bir zaman serisinin değişkenliğini ölçmek için kullanılan tanımlayıcı istatistikler genelde, veri aralığı, ortalama, standart sapma ve değişkenlik katsayısıdır. Değişkenliği tanımlamak için kullanılan en yaygın istatistik gösterge ise bir veri setindeki yayılımı ölçen varyanstır. İstatistikte rastgele bir değişkenin varyansı, olası değerlerinin beklenen değerden (ortalama) olan uzaklığının karesinin ortalaması alınarak tanımlanan istatistiksel dağılımın bir ölçüsüdür (Mishra vd., 2009). Yağış değişkenliğinin analizi için de farklı varyans yöntemleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Sunulan çalışmada ise entropi kavramı, yağışın alansal ve zamansal değişkenliğini belirlemek için kullanılmıştır.

4. Yöntem

4. Method

Bir sistemin belirsizliğinin ölçüsü olan entropi yöntemi, ilgili konular çerçevesinde birçok alanda kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan yöntem, çeşitli araştırmacılar tarafından farklı havzalarda uygulanmış ve uygulanan havzalardaki yağış değişkenliklerinin değerlendirilmesi için etkin bir yöntem olarak örnekler verilmiştir (Huh vd., 2005; Zhang vd., 2016; Cheng vd., 2017; Roushangar vd., 2019; Gu vd., 2020).

Sunulan çalışmada gözlenmiş yağış verileri rastgele değişken olarak kabul edilmiş ve gözlem istasyonlarından alınan uzun dönem yağış verileri entropi yöntemi ile değerlendirmeye alınmıştır.

Bilgi içeriğinin belirlenmesi için kullanılan, marjinal entropi H , sürecin gözlenmesi sonucunda giderilen belirsizlik anlamına gelmektedir. Kesikli bir değişken için entropi, Shannon (1948) tarafından denklem 1 ile tanımlanmıştır.

$$H = - \sum_{k=1}^K p(x_k) \log[p(x_k)] \quad (1)$$

Burada; k , K adet olayın zaman aralığı; x_k , k aralığına karşılık gelen olay ve $p(x_k)$, x_k olayının olasılığıdır.

Mishra vd. (2009)'e göre, marjinal entropi, şiddet entropisi ve paylaştırılmış entropi gibi çeşitli

entropi ölçütleri, değişkenliğin belirlenmesi amacıyla kullanılır. Entropi teorisinin yağışların alansal ve zamansal değişkenliklerinin belirlenmesi amacıyla kullanılması, çeşitli çalışmalarda ele alınmıştır (Zhang vd., 2016; Cheng vd., 2017; Gu vd., 2020). Çalışmalarda, günlük, mevsimlik, aylık ve yıllık gibi farklı zaman ölçeklerinde, aşağıda verilen entropi ölçütleri, değişkenlik indisi hesaplamalarında kullanılır.

Marjinal Entropi (ME): Marjinal Entropi (ME), belirsizliği ölçmek için kullanılan, olasılık dağılımı $p(x)$ olan rastgele bir değişken x 'in ortalama bilgisidir. Hesaplama işlemleri Eşitlik 1 ile ifade edilmektedir.

Şiddet Entropisi (ŞE): Şiddet Entropisi (ŞE) hesaplanırken, herhangi bir yılın i . ayı ($i = 1, 2, 3, \dots, 12$) içindeki yağışlı günlerin (n_i) sayısı ve yıldaki toplam ölçümü olan yağış günleri, N ($N = \sum n_i$) dikkate alınmaktadır (Mishra vd., 2009). Her aydaki yağışlı günlerin olasılıkları $p_i = n_i/N$ olarak, o ay için tek bir meteoroloji istasyonunun Şiddet Entropisi (ŞE) denklem 2 ile ifade edilmektedir (Mishra vd., 2009).

$$SE = - \sum_{i=1}^m (n_i/N) \log_2(n_i/N) \quad (2)$$

Paylaştırılmış Entropi (PE): Paylaştırılmış Entropi (PE), bir yıl boyunca farklı aylar için yağışların dağılım özelliklerini incelemek üzere kullanılmaktadır. i . aydaki yağış miktarının r_i ($i = 1, 2, 3, \dots, 12$) ve on iki aylık toplam yağış miktarının $R = \sum_{i=1}^{12} r_i$ olduğu varsayımı ile, her aydaki yağış günlerinin bir yıldaki toplam gün sayısına oranı $p_i = r_i/R$ olarak ifade edilir. Bir yıl için tek bir meteoroloji istasyonu için PE, denklem 3 ile hesaplanmaktadır (Mishra vd., 2009).

$$PE = - \sum (r_i/R) \log_2(r_i/R) \quad (3)$$

PE değeri, 0 ile $\log_2(12)$ aralığında olup, yağışın on iki aydan sadece birinde meydana geldiği ve yıllık yağış miktarının sırasıyla on iki ay boyunca eşit olarak dağıldığının öngörüldüğü aralıkta hesaplanmaktadır (Mishra vd., 2009).

Entropiye dayalı Değişkenlik: Entropiye dayalı değişkenlik, Değişkenlik İndisi ($D\dot{I}$) ile tanımlanır. $D\dot{I}$, mümkün olan maksimum entropi ($\max H$) ile tekil bir zaman serisinden hesaplanan entropi arasındaki fark olarak, denklem 4 ile hesaplanır.

$$D\dot{I} = \max H - H \quad (4)$$

Değişkenin düzgün dağılıma sahip olması durumunda Eş. (1)'de tanımlanan Shannon entropisi maksimum değerine ulaşır. Bu nedenle, H 'in değişim aralığı $[0, \log N]$ arasında değişir. Burada R , mevcut veri setinde rastgele değişken tarafından alınan en düşük ile en yüksek değer arasındaki farktır ve denklem 5 ile ifade edilir (Xiong vd., 2018; Bozoğlu vd., 2022).

$$\max H = \log (R) \quad (5)$$

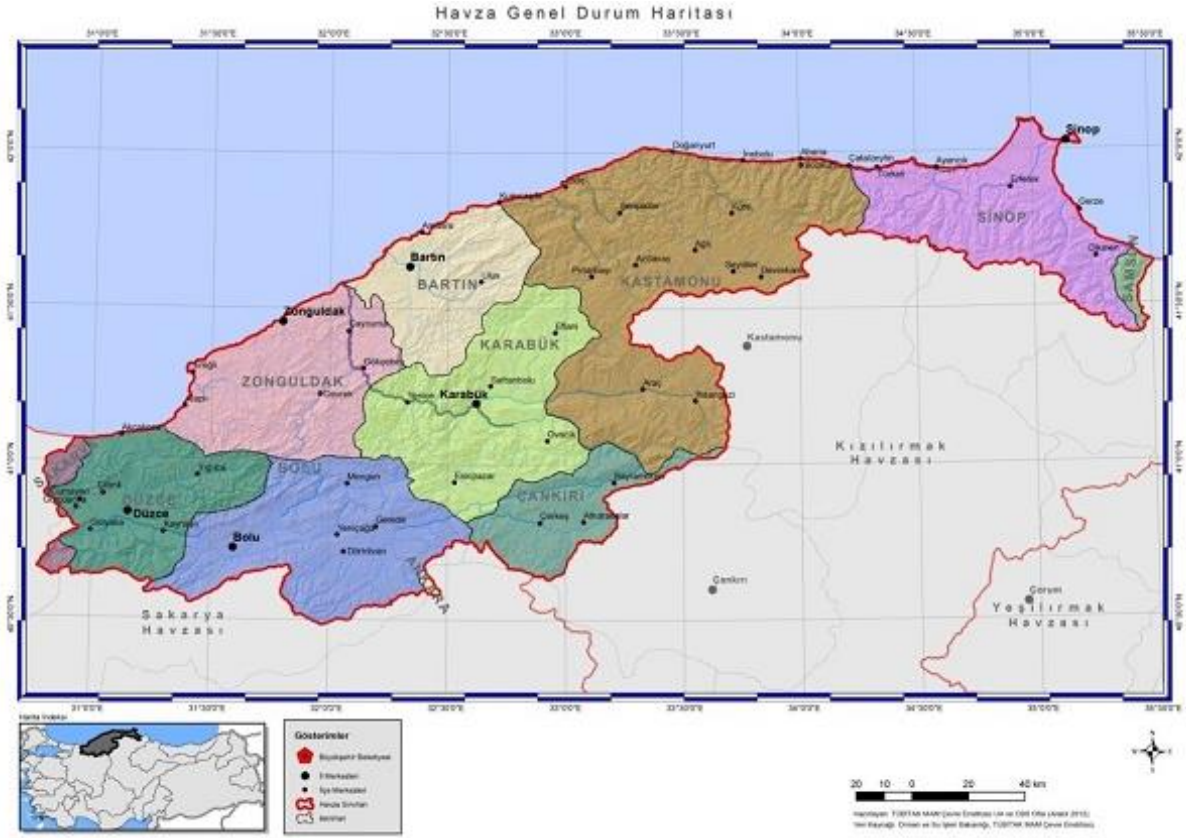
Entropi değerlerinin maksimum entropi değerinden farkı ile hesaplanan $D\dot{I}$, analiz edilen zaman serilerinin değişkenlik özelliklerinin bilgisini taşır. $D\dot{I}$ değeri ne kadar yüksekse, değişkenlik de o kadar yüksek olacaktır. Yıllık, mevsimlik, aylık veya günlük zaman serilerinden hesaplanan entropi değerlerine dayalı olarak belirlenen indisler, o zaman serisinin değişkenliğini belirler. Alansal ve zamansal değişkenlik, hesaplanan bu indislere dayalı olarak karşılaştırılabilir.

$D\dot{I}$, marjinal entropiden hesaplandığında, Marjinal Değişkenlik İndisi ($MD\dot{I}$) olarak bilinir. Benzer şekilde, paylaştırılmış entropiye dayalı Paylaştırılmış Değişkenlik İndisi ($PD\dot{I}$) veya şiddet entropisine dayalı Şiddet Değişkenlik İndisi ($SD\dot{I}$) değerleri hesaplanabilir. Hesaplanan on yıllık paylaştırılmış entropi değerlerinden indisler ise, On yıllık Paylaştırılmış Değişkenlik İndisi ($OPD\dot{I}$) adını alır.

5. Çalışma alanı ve uygulama

5.1. Study area and application

Karadeniz Bölgesinde yer alan Batı Karadeniz Havzası, $40^{\circ} 34' 42'' - 41^{\circ} 27' 52''$ kuzey enlemleri ve $30^{\circ} 52' 33'' - 35^{\circ} 12' 12''$ doğu boylamları arasında yer almaktadır. Havzanın büyük bir bölümü Düzce, Zonguldak, Bartın, Karabük illeri idari sınırları içerisinde olup, kalan diğer bölümü ise Bolu, Çankırı, Kastamonu ve Sinop illerinin sınırları içerisinde yer alır (TÜBİTAK MAM, 2013). 2,892,239 hektarlık havza alanı ile Türkiye yüzölçümünün yaklaşık %3.7'sini kapsayan Batı Karadeniz Havzası 28,855 km^2 yağış alanına sahiptir. Havza genel durum haritası Şekil 1'de verilmiştir. Havzada ortalama yıllık yağış 774.05 mm, yıllık ortalama akım ise 10.8 km^3 'tür. (SYGM, 2019).



Şekil 1. Batı Karadeniz Havzası (TÜBİTAK MAM, 2013)
Figure 1. West Black Sea Basin (TÜBİTAK MAM, 2013)

TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi Çevre ve Temiz Üretim Enstitüsü tarafından 2013 yılında Batı Karadeniz Havzası için hazırlanan “Havza Koruma Eylem Planlarının Hazırlanması Projesi” kapsamında 1975-2010 yılları arasındaki yağış verileri üzerinden, ortalama ve maksimum yağışlar konumları ile birlikte değerlendirilmiş ve taşkın açısından önemli bölgeler belirlenmiştir (TÜBİTAK MAM, 2013). Maksimum yağış değerlerine göre en yüksek yağış 431.5 mm olarak Ağustos ayında Zonguldak istasyonunda, en düşük maksimum yağış değeri ise 62.8 mm ile Şubat ayında Çankırı istasyonunda kaydedilmiştir. Yapılan benzer çalışmalara göre, yıllık alansal ortalama yağış miktarı ve yıllık toplam yağışlar açısından, Batı Karadeniz Havzasına ait değerler Türkiye ortalamasının üzerindedir (Kayhan ve Alan, 2012; Büyükkaracıgan, 2019). İklimi açısından havza değerlendirildiğinde, sahil şeridinden içeriye doğru gidildikçe İç Anadolu iklim şartları görülmektedir. Havzanın kuzeyinde Karadeniz iklimi görülürken, güneye doğru Karadeniz iklimi ile İç Anadolu iklimi arasında geçiş iklimi görülmektedir (SYGM, 2019). T. C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Su Yönetimi Genel Müdürlüğü

tarafından 2016 yılında tamamlanan “İklim Değişikliğinin Su Kaynaklarına Etkisi Projesi” ile sıcaklık ve yağış verileri üzerinden projeksiyonlar yapılarak gelecek senaryoları hakkında öngörüler paylaşılmıştır (SYGM, 2016).

Çeribaşı (2018) tarafından Batı Karadeniz Havzası’nda yapılan bir çalışmada, iklim değişikliğinin etkisiyle yağışlarda olabilecek değişimler incelenmiş, istasyonlar bazında farklı eğilimler tespit edilmiştir. Anılan çalışma bulguları ile sunulan çalışma kapsamında yağış değişkenlikleri için önerilen yöntemin birlikte uygulanması ve değerlendirilmesi, havzada su kaynakları yönetim planlaması için verilecek bütüncül bir karar için alt yapıyı oluşturacaktır (Çeribaşı, 2018).

Çalışma kapsamında, havzada yer alan 13 adet meteoroloji gözlem istasyonuna ait 1975-2012 yıllarına ait yağış verileri incelenmiştir. İstasyonlara ait genel bilgiler Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. İstasyonlara ait genel bilgiler (SYGM, 2019)
Table 1. General information of the stations (SYGM, 2019)

İstasyon No	İstasyon Adı	Enlem	Boylam	Yükseklik (m)
17070	Bolu	40° 44' 39''	31° 36' 08''	740
17646	Çerkeş	40° 48' 53''	32° 52' 59''	1126
17072	Düzce	40° 50' 37''	31° 08' 57''	146
17612	Akçakoca	41° 05' 21''	31° 03' 34''	10
17078	Karabük	41° 11' 38''	32° 37' 25''	259
17022	Zonguldak	41° 26' 57''	31° 48' 00''	135
17618	Devrekani	41° 35' 58''	33° 50' 04''	1050
17020	Bartın	41° 37' 29''	32° 21' 25''	33
17602	Amasra	41° 45' 09''	32° 22' 58''	73
17604	Cide	41° 52' 57''	32° 56' 51''	36
17606	Bozkurt	41° 57' 37''	34° 00' 13''	167
17024	İnebolu	41° 58' 44''	33° 45' 49''	64
17026	Sinop	42° 01' 47''	35° 09' 16''	32

Mevcut uzun dönem yağış verilerinin zamansal ve alansal değerlendirilmesinde Şiddet Entropisi yöntemi uygulanmış; Şiddet Entropisi (ŞE) değerleri denklem 2; Şiddet Değişkenlik İndisleri

(ŞDİ) ise denklem 4 kullanılarak hesaplanmıştır. İstasyonlara ait uzun dönem günlük yağış verileri üzerinden hesaplanan şiddet entropileri ve indis değerleri Tablo 2’de verilmektedir.

Tablo 2. Uzun dönem yağış verilerinden hesaplanan Şiddet Entropisi (ŞE) ve Şiddet Değişkenlik İndisleri (ŞDİ)
Table 2. Intensity Entropy (IE) and Intensity Variability Indices (IVI) calculated from long-term precipitation data

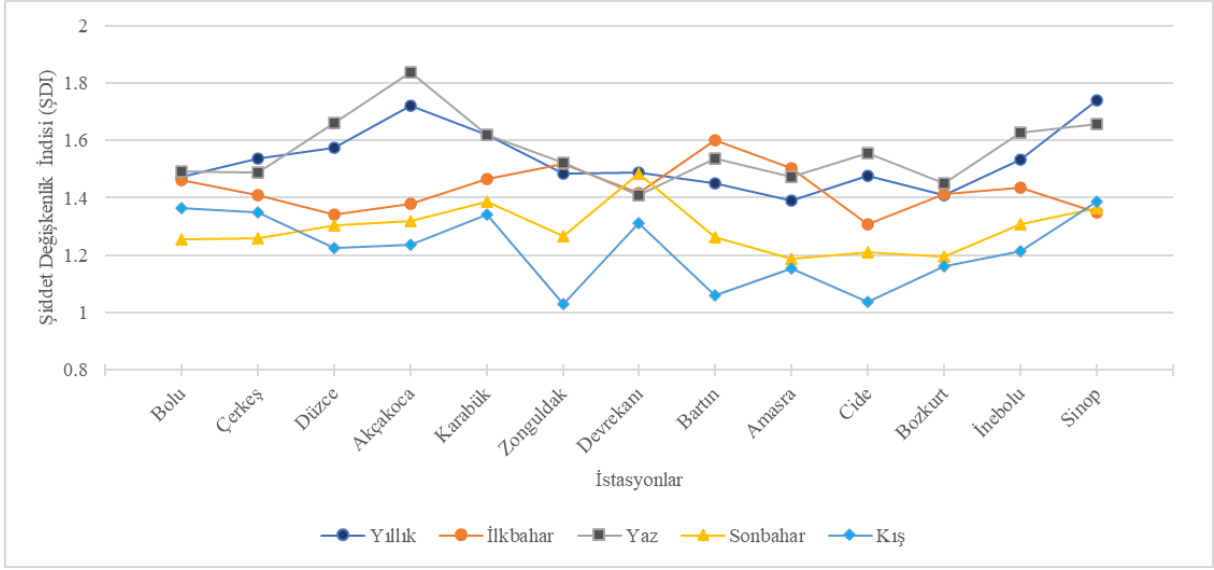
İstasyon No	Şiddet Entropisi (ŞE)	İstasyona ait Maksimum Entropi	Şiddet Değişkenlik İndisi (ŞDİ)
17070	0.2887	1.7597	1.4710
17646	0.1906	1.7259	1.5353
17072	0.4680	2.0426	1.5746
17612	0.6169	2.3367	1.7198
17078	0.2796	1.8976	1.6180
17022	0.6876	2.1700	1.4824
17618	0.2566	1.7451	1.4885
17020	0.5842	2.0358	1.4516
17602	0.5654	1.9552	1.3898
17604	0.6684	2.1461	1.4777
17606	0.6936	2.1014	1.4078
17024	0.5846	2.1173	1.5327
17026	0.3842	2.1245	1.7403

Sunulan çalışmada hesaplamalar, mevcut uzun dönem günlük yağış verileri üzerinden yapıldığı gibi, mevsimsel olarak da detaylandırılmıştır. Değerlendirmelerde, Mart, Nisan, Mayıs ayları ilkbahar; Haziran, Temmuz, Ağustos ayları yaz; Eylül, Ekim, Kasım ayları sonbahar ve Aralık, Ocak, Şubat ayları ise kış mevsimi olarak dikkate alınmıştır.

Farklı meteoroloji istasyonlarındaki uzun dönem ve mevsimlik (ilkbahar, yaz, sonbahar ve kış) yağış zaman serilerinden hesaplanan Şiddet Düzensizlik İndisleri (ŞDİ) Şekil 2’de verilmiştir. Genel olarak, ŞDİ değerlerinin kış mevsiminde diğer mevsimlere göre daha düşük olduğu gözlenmiştir. Kış mevsiminde incelenen yağışların düşük değişkenliğe sahip olduğu görülmüştür. Yaz mevsimi için ise daha yüksek ŞDİ değerleri hesaplanmış; bu durum da yaz aylarında analiz edilen istasyonlardaki yağış değerlerinin yüksek değişkenliklerine işaret etmiştir.

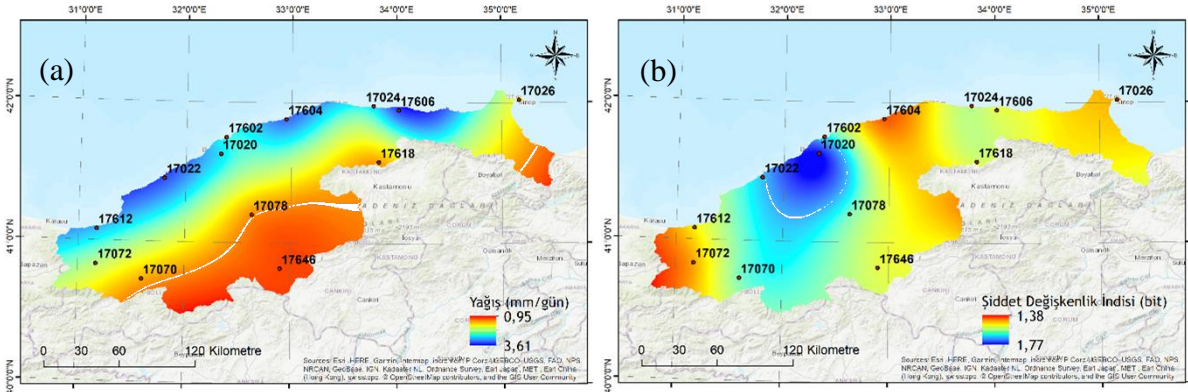
Hesaplanan ŞDİ değerlerinin uzun dönem ölçeğindeki alansal dağılımı, 1975–2012 dönemi için ortalama günlük yağışla karşılaştırılmalı olarak Şekil 3’te verilmiştir. Batı Karadeniz Havzasında yıllık yağışın güneyden kuzeye doğru yaklaşık 1-4 mm/gün aralığında değiştiği görülmektedir. Alansal olarak değerlendirildiğinde, en yoğun değişkenlik görülen alanların, yüksek yağış alan kıyı bölgelerinde olduğu belirlenmiştir. TÜBİTAK MAM tarafından 2013 yılında Batı Karadeniz Havzası için hazırlanan “Havza Koruma Eylem Planlarının Hazırlanması Projesi” çerçevesinde yapılmış çalışma bulgularına paralel olarak, sunulan çalışmada yapılan değerlendirmeler sonucunda da, hesaplanan ŞDİ değerleri açısından yüksek değişkenliğe sahip olan bölgelerin, yağış ortalamasının en fazla olduğu Şekil 3a’da görülen 17020 - Bartın ve 17022 – Zonguldak istasyon bölgeleri olduğu görülmüştür. Dolayısıyla, Batı Karadeniz havzası için Şekil 3b’ye göre, yüksek ŞDİ değerli yüksek değişkenliğe sahip bölgeler,

yağış açısından yüksek değişkenlik özellikleri ile uç değerlerin görülme olasılığı yüksek bölgeler olarak değerlendirilebilir.



Şekil 2. Batı Karadeniz Havzasında yıllık ve farklı mevsimlere ait zaman serileri arasında *Şiddet Değişkenlik İndislerinin (ŞDİ)* karşılaştırılması

Figure 2. Comparison of Intensity Variability Indices (IVI) between annual and seasonal time series in the Western Black Sea Basin

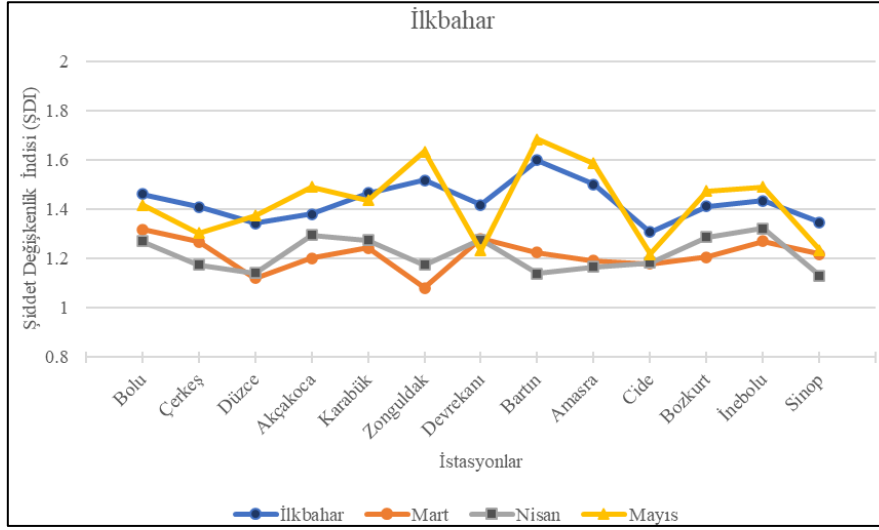


Şekil 3. Batı Karadeniz Havzasında, (a) ortalama günlük yağış ve (b) *Şiddet Entropisine (ŞE)* dayalı uzun dönem günlük zaman serilerinden hesaplanan *Şiddet Değişkenliği İndisi (ŞDİ)* değerlerinin alansal dağılımları

Figure 3. Spatial distributions of (a) average daily precipitation and (b) Intensity Variability Index (IVI) values calculated from long-term daily time series based on Intensity Entropy (IE) in the Western Black Sea Basin

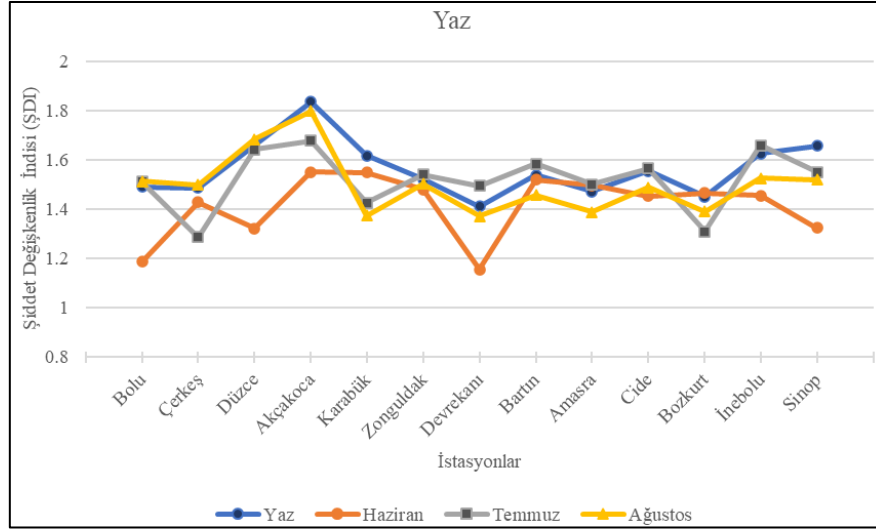
Mishra vd. (2009) yaptığı çalışmada, mevsimsel değişkenlikten hangi ayın sorumlu olduğunu anlamak için o mevsim içindeki ayların değişkenliğinin de incelenmesinin yararlı olacağını ifade etmiştir. Bu amaçla hazırlanan Şekil 4-7 incelendiğinde, her bir ayın entropi tabanlı

değişkenliğinin, ait olduğu mevsimin değeri ile birebir aynı olmadığı görülmektedir. Bu durum, temel olarak yağışın düzensiz doğası ile açıklanabilir.



Şekil 4. Batı Karadeniz Havzasında farklı istasyonlardaki yağış zaman serilerinin *ilkbahar* mevsimine ait *Şiddet Değişkenlik İndisleri (ŞDİ)*

Figure 4. Intensity Variability Indices (IVI) of precipitation time series at different stations in the Western Black Sea Basin for the spring season

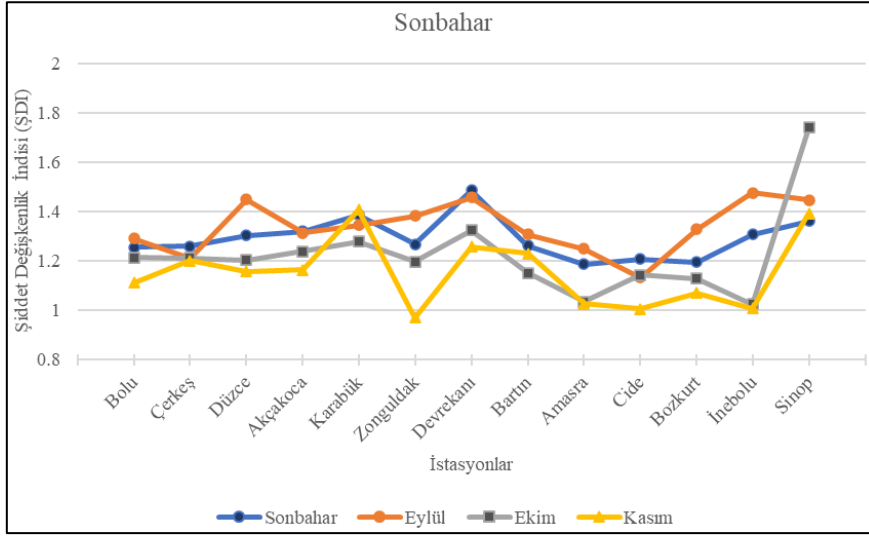


Şekil 5. Batı Karadeniz Havzasında farklı istasyonlardaki yağış zaman serilerinin *yaz* mevsimine ait *Şiddet Değişkenlik İndisleri (ŞDİ)*

Figure 5. Intensity Variability Indices (IVI) of precipitation time series at different stations in the Western Black Sea Basin for the summer season

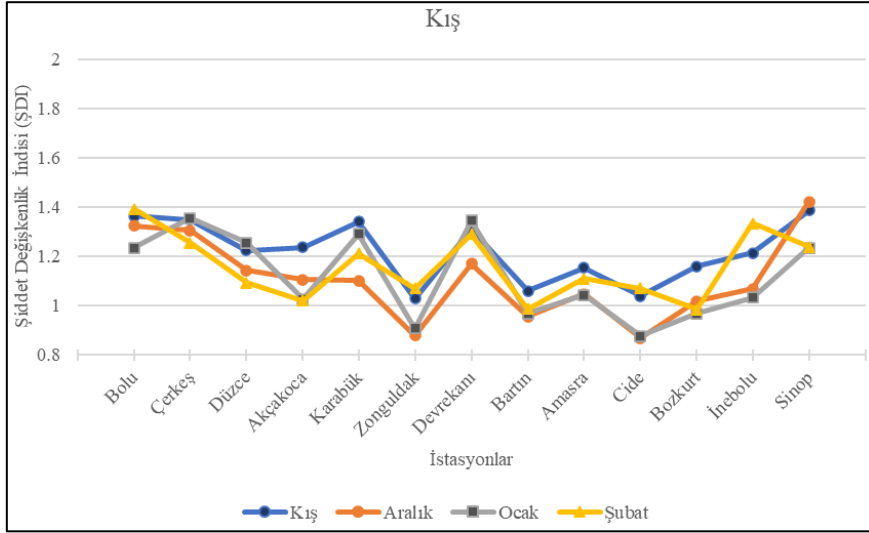
Mevsimplere göre *ŞDİ* grafiklerinin istasyonlar bazında gidişleri değerlendirildiğinde, aylara ait en benzer gidişler kış mevsiminde görülmüştür. Mevsim genel değerlendirmesinde etkin olan aylar ilkbahar, yaz, sonbahar ve kış mevsimleri için, sırasıyla Mayıs, Ağustos, Eylül ve Ocak olarak görülmektedir. Mevsim geneli ile aynı gidişe sahip olduğu görülen bu aylar, aynı zamanda mevsim içindeki en yüksek *ŞDİ* değerlerine sahip olan aylar olarak karşımıza çıkmıştır. Dolayısıyla, Mayıs, Ağustos, Eylül ve Ocak ayları yağış açısından en yüksek değişkenliğe sahip olan aylar olarak değerlendirilebilir.

Uzun dönem mevsimsel yağış verilerine ait *ŞDİ* değerlerinin alansal dağılımı Şekil 8'de gösterilmekte ve her mevsime göre yağış değişkenliğinin etkin olduğu bölgelerin farklı olduğu; Şekil 3b'de verilen yıllık alansal dağılım ile en benzer dağılımın ilkbahar mevsimine ait olduğu gözlenmiştir. Şekil 4-7'de grafik olarak verilen *ŞDİ* değerlerinin Şekil 8'de verilen alansal dağılımı ile o mevsim içindeki yağış açısından en yüksek değişkenliğe sahip bölgeler daha net olarak görülebilmektedir.



Şekil 6. Batı Karadeniz Havzasında farklı istasyonlardaki yağış zaman serilerinin *sonbahar* mevsimine ait *Şiddet Değişkenlik İndisleri (ŞDI)*

Figure 6. Intensity Variability Indices (IVI) of precipitation time series at different stations in the Western Black Sea Basin for the fall season

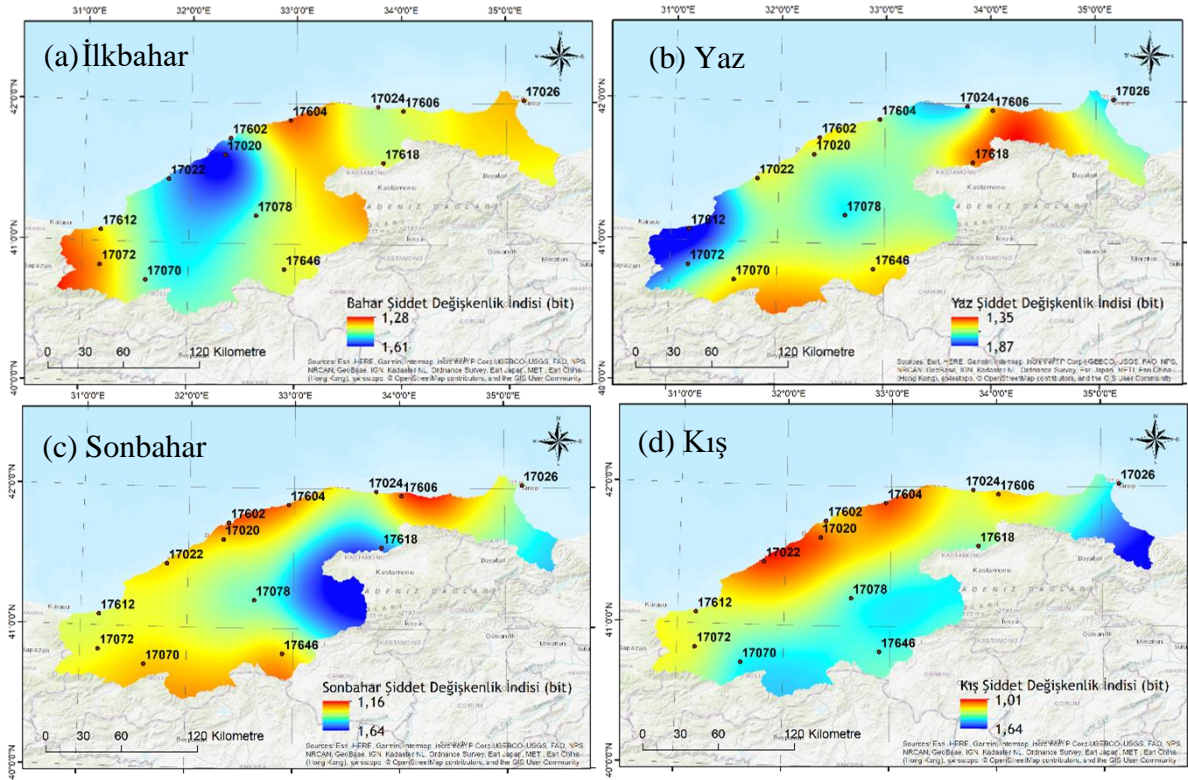


Şekil 7. Batı Karadeniz Havzasında farklı istasyonlardaki yağış zaman serilerinin *kış* mevsimine ait *Şiddet Değişkenlik İndisleri (ŞDI)*

Figure 7. Intensity Variability Indices (IVI) of precipitation time series at different stations in the Western Black Sea Basin for the winter season

Yüksek *ŞDI* değerlerine, dolayısıyla yüksek değişkenliklere karşılık gelen bölgeler Şekil 8'de mavi renk ile gösterilen alanlardır. Mevsimlere göre yüksek değişkenlik gösteren bölgelerin farklı, ancak sonbahar hariç, kıyı bölgeler olduğu görülmektedir. İlkbaharda 17020 - Bartın ve 17022 - Zonguldak; yaz mevsiminde 17612 - Akçakoca ve 17072 - Düzce; sonbaharda 17618 - Devrekani; kış mevsiminde ise 17026 - Sinop istasyonlarının bulunduğu bölgelerin yağış açısından yüksek

değişkenliğe sahip olduğu görülmüştür. Bu bölgeler değerlendirildiğinde, yıl genelinde en fazla değişkenliğin 17612 - Akçakoca ve 17072 - Düzce'de olduğu belirlenmiştir. Elde edilen bu sonuç yine TÜBİTAK MAM raporu ile paralellik göstermekte ve havza genelinde maksimum yağış ortalamalarının 17612 - Akçakoca istasyonunda ve Ağustos ayında görüldüğü net bir şekilde ifade edilebilmektedir.



Şekil 8. Batı Karadeniz Havzasında yağış zaman serilerinin *Şiddet Değişkenlik İndislerinin (ŞDİ)* alansal dağılımı; (a) ilkbahar; (b) yaz; (c) sonbahar ve (d) kış

Figure 8. Spatial distribution of Intensity Variability Indices (IVI) of precipitation time series in the Western Black Sea Basin; (a) spring; (b) summer; (c) fall ve (d) winter

6. Sonuçlar

6. Conclusions

Su kaynaklarının etkin yönetiminde ve iklim değişikliğinin etkileri ile mücadelede, özellikle meteorolojik olayların etkili bir şekilde değerlendirilmesi ve olaylardan yeterli bilgi edinilmesi gelecek planlamalarında büyük önem taşımaktadır. Bu noktadan hareketle, yağış verilerinin alansal ve zamansal özelliklerini belirlemek amacıyla yağışın ölçülmesi esastır. Yağış rejimlerindeki alansal ve zamansal değişiklikleri belirlemek ve etkilerini ortaya koymak, yaşanabilecek afetlere hazırlıklı olmak adına da büyük önem taşır.

Sunulan çalışma çerçevesinde, yağışın alansal ve zamansal değişkenliğini belirlemek için entropi yöntemi kullanılmıştır. Batı Karadeniz havzasında bulunan 13 meteoroloji gözlem istasyonunda, 1975-2012 yılları arasında gözlemi yapılmış yağışlar, entropi yöntemi ile değerlendirilmiş ve uzun dönem yağış verilerinin alansal ve zamansal değişiklikleri belirlenmiştir. Mevcut uzun dönem yağış verilerinin değişiklikleri zamansal ve alansal olarak *Şiddet Entropisi (ŞE)*'ne bağlı olarak *Şiddet Değişkenlik İndisleri (ŞDİ)* ile hesaplanmıştır.

Hesaplanan indisler ile yağışlardaki değişiklikler hakkında bilgi edinilmesi, istasyon ölçümlerindeki noktasal bilginin değerlendirilmesi, bilgi kaybı olmadan mevcut tüm gözlem verisinin değerlendirmesi mümkündür. Çalışmada kullanılan yöntem ile, hesaplanan entropi değerleri kullanılarak, istasyon bazında noktasal çaptan, havza genelinde risk haritalarının oluşturulması için bölgesel çapta bir analize geçilmiştir. Yapılan değerlendirmeler sonucunda, Batı Karadeniz bölgesi için indislere bağlı oluşturulan indis temelli haritalar yoluyla hem gözlem süresinin tümünde hem de mevsimsel olarak bölünmüş dönemlerde bölgesel riskler görselleştirilmiştir.

Elde edilen risk haritaları, yağışa bağlı risklerin Batı Karadeniz Havzasında 17612 – Akçakoca ve 17072 – Düzce istasyonlarının olduğu alanlarda ve havza genelinde maksimum yağış ortalamalarının 17612 – Akçakoca istasyonunda ve Ağustos ayında görüldüğü belirlenmiştir. Bu bilgiler yardımıyla, belirlenen bölgelere özel yüksek yağış değişkenliğine sahip alanlar belirlenebilmekte ve afet riski taşıyan bölgelerde zamanında önlem alınmasını mümkün kılmaktadır. Bölgedeki yağış değişkenliği profili, bir bütün olarak nehir havzaları için mevcut ve gelecekteki yönetim kararlarının alınmasında ve değerlendirme aşamalarında etkin

rol oynayacaktır. Elde edilen entropi tabanlı haritalar, iklim değişikliği ve taşkın riski ile mücadelede araştırmacılar ve karar vericilerin oluşturacakları planlamalar çerçevesinde etkili bir araç olacaktır.

Teşekkür

Acknowledgement

Makalenin inceleme ve değerlendirme aşamasında yapmış oldukları katkılardan dolayı ilgili editör ve hakemlere teşekkür ederim.

Etik beyanı

Declaration of ethical code

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

Ayrıca makalenin yazarı, bu çalışmada kullanılan materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel izin gerektirmediğini beyan etmektedir.

Çıkar çatışması beyanı

Conflicts of interest

Yazar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Kaynaklar

References

- Alfonso, L., Ridolfi, E., Gaytan-Aguilar, S., Napolitano, F., & Russo, F. (2014). Ensemble entropy for monitoring network design. *Entropy*, 16(3), 1365–1375. <https://doi.org/10.3390/e16031365>
- Bacanlı, U. G., Baran, T., & Dikbaş, F. (2017). Paylaştırılmış entropi kavramının kuraklık ölçütü olarak kullanılabilirliği. *Pamukkale Üniversitesi. Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 23(3), 232-237. <https://doi.org/10.5505/pajes.2016.80664>
- Baran, T., Harmancıoğlu, N. B., Cetinkaya, C. P., & Barbaros, F. (2017). An Extension to the Revised Approach in the Assessment of Informational Entropy. *Entropy*, 19(12), 634. <https://doi.org/10.3390/e19120634>
- Bozoglu, O., Baran, T., & Barbaros, F. (2022). Entropy Based Regional Precipitation Prediction in the Case of Gediz River Basin. *Teknik Dergi*. <https://doi.org/10.18400/tekderg.724164>

Büyükkaracıoğlu, N. (2019). *Hidrolojik Verilerin Değişkenlik Analizi ve Uygulamaları*, İKSAD yayınevi, ISBN: 978-625-7029-03-2, 118 s.

Çeribaşı, G. (2018). Batı Karadeniz Havzasının Yağış Verilerinin Yenilikçi Şen Yöntemi ile Analizi, *Academic Platform - Journal of Engineering and Science*, 6(3), 168-173. <https://doi.org/10.21541/apjes.431965>

Cheng, L., Niu, J., & Liao, D. (2017). Entropy-Based Investigation on the Precipitation Variability over the Hexi Corridor in China. *Entropy*, 19(12), 660. <https://doi.org/10.3390/e19120660>

Ciriello, V., Lee, J., & Tartakovsky, D. M. (2021). Advances in uncertainty quantification for water resources applications. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 35, 955–957. <https://doi.org/10.1007/s00477-021-01998-y>

Clark, P. U., Alley, R. B., & Pollard, D. (1999). Northern hemisphere ice-sheet influences on global climate change. *Science*, 286(5442), 1104–1111. <https://doi.org/10.1126/science.286.5442.1104>

Cleridou, N., Benas, N., Matsoukas, C., Croke, B., & Vardavas, I. (2014). Water resources of Cyprus under changing climatic conditions: modelling approach, validation and limitations. *Environ. Model. Softw.* 60, 202–218. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2014.06.008>

Cui, H., & Singh, V. P. (2012). On the cumulative distribution function for entropy-based hydrologic modeling. *Transactions of the ASABE*. 55(2), 429-438. <https://doi.org/10.13031/2013.41384>

Cui, H., Sivakumar, B., & Singh, V. P. (2018). Entropy Applications in Environmental and Water Engineering, *Entropy*, 20, 598, <https://doi.org/10.3390/e20080598>

Gu, H., Yu, Z., Li, G., Luo, J., Ju, Q., Huang, Y., & Fu, X. (2020). Entropy-Based Research on Precipitation Variability in the Source Region of China's Yellow River. *Water*, 12, 2486. <https://doi.org/10.3390/w12092486>

Harmancıoğlu, N. B. (1981). Measuring the information content of hydrological processes by the entropy concept. *Journal of Civil Engineering*, 13-38, Faculty of Engineering, Special Issue for the Centennial of Atatürk's Birth, Ege University, Izmir, Turkey.

Harmancıoğlu, N. B., & Alpaslan, N. (1992). Water quality monitoring network design: A problem of multiobjective decision making. *Water Resources Bulletin*, 28(1), 179–192.

- Harmancioglu, N. B., Alpaslan, N., & Singh, V. P. (1992a). Application of the entropy concept in design of water quality monitoring networks. Singh, V. P. and Fiorentino, M. (Ed.), *Entropy and Energy Dissipation in Water Resources*. (s. 283-302.). Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- Harmancioglu, N. B., Singh, V. P., & Alpaslan, N. (1992b). Versatile uses of the entropy concept in water resources. Singh, V. P. and Fiorentino, M. (Ed.), *Entropy and Energy Dissipation in Water Resources*. (s. 91-117.). Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- Huh, S., Dickey, D. A., Meador, M. R., & Ruhl, K. E. (2005). Temporal analysis of the frequency and duration of low and high streamflow: years of record needed to characterize streamflow variability. *Journal of Hydrology*, 310(1-4), 78–94.
- Kayhan, M., & Alan, İ. (2012). *Türkiye Alansal Yağış Analizi 1971-2010, Coğrafi Bilgi Sistemleri ile Havza Bazında Alansal Yağış Analizi*. Meteoroloji Genel Müdürlüğü. Erişim adresi <https://www.mgm.gov.tr/FILES/genel/kitaplar/alansalyagisanaliz.pdf>
- Koutsoyiannis D. (2005). Uncertainty, entropy, scaling and hydrological stochastics. 1. Marginal distributional properties of hydrological processes and state scaling. *Hydrological Sciences Journal*, 50(3), 381–404. <https://doi.org/10.1623/hysj.50.3.381.65031>
- Li, C., Singh, V. P., & Mishra, A. K. (2012). Entropy theory-based criterion for hydrometric network evaluation and design: maximum information minimum redundancy. *Water Resources Research*, 48, W05521. <https://doi.org/10.1029/2011WR011251>
- Maruyama, T., Kawachi, T., & Singh, V. P. (2005). Entropy-based assessment and clustering of potential water resources availability. *Journal of Hydrology*, 309(1–4), 104–113, <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2004.11.020>
- Mishra, A. K., Özger, M., & Singh, V. P. (2009). An entropy-based investigation into the variability of precipitation. *Journal of Hydrology*, 370(1–4), 139-154, ISSN 0022-1694. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2009.03.006>
- Okkan, U., & Altun, H. (2019). Susurluk Havzası Akımlarının Hidrolojik Kuraklık Analizinde Standardize Akım İndeksi ve Paylaştırılmış Entropi Yöntemlerinin Kıyaslanması. 4th *International Symposium on Innovative Approaches in Engineering and Natural Sciences, SETSCI Conference Proceedings*, 4 (6), 329-335. <https://doi.org/10.36287/setsci.4.6.084>
- Rehana, S., Rajulapati, C. R., Ghosh, S., Karmakar, S., & Mujumdar, P. (2020). Uncertainty Quantification in Water Resource Systems Modeling: Case Studies from India. *Water*, 12, 1793; <https://doi.org/10.3390/w12061793>
- Renard, P., Delay, F., Tartakovsky, D. M., & Vesselinov, V. V. (2020). *Parameter Estimation and Uncertainty Quantification in Water Resources Modeling*. Lausanne: Frontiers Media SA. <https://doi.org/10.3389/978-2-88963-674-7>
- Roushangar, K., Alizadeh, F., Adamowski, J., & Saghebian, S. M. (2019). Exploring the multiscale changeability of precipitation using the entropy concept and self-organizing maps. *Journal of Water and Climate Change*, 11(3), 655–676. <https://doi.org/10.2166/wcc.2019.097>
- Shannon C.E. (1948). Mathematical Theory of Information. *The Mathematical Theory of Information*, 27, 170–180, the University of Illinois Press: Urbana, IL, USA.
- Shannon, C. E., & Weaver, W. (1949). *The mathematical theory of communication*. Urbana, Illinois: University of Illinois Press.
- Singh, V. P. (1989). Hydrologic modelling using entropy. *Journal of the Institution of Civil Engineers*, 70, 55-60.
- Singh, V. P. (1997). The use of entropy in hydrology and water resources. *Hydrol. Process.* [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-1085\(199705\)11:6<587:AID-HYP479>3.0.CO;2-P](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-1085(199705)11:6<587:AID-HYP479>3.0.CO;2-P)
- Singh, V. P. (2000). The Entropy theory as tool for modeling and decision making in environmental and water resources. *Water SA*, 26,1, ISSN: 0378-4738
- Singh, V. P. (2013). *Entropy theory and its application in environmental and water engineering*. Wiley – Blackwell, USA. <https://doi.org/10.1002/9781118428306>
- Singh, V. P. (2014). *Entropy theory in hydrologic science and engineering*, McGraw-Hill Education, ISBN: 9780071835466
- Singh V. P. (2018). Systems of frequency distributions for water and environmental engineering. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 506, 50-74, ISSN 0378-4371. <https://doi.org/10.1016/j.physa.2018.03.038>, 2018.
- SYGM (2016) *İklim Değişikliğinin Su Kaynaklarına Etkisi Projesi*. Tarım Orman Bakanlığı, Su Yönetimi Genel Müdürlüğü. Erişim adresi <https://www.tarimorman.gov.tr/SYGM/Belgeler/iklim%20de%20C4%9Fi%20C5%9Fikli%20C4%9Fin>

in%20su%20kaynaklar%C4%B1na%20etkisi/Iklim_Nihai_Rapor_Bat%C4%B1_Karadeniz_Ek_15_REV_nihai.pdf

SYGM (2019). *Bati Karadeniz Havzası Taşkın Yönetim Planı*. Tarım Orman Bakanlığı, Su Yönetimi Genel Müdürlüğü. Erişim adresi http://taskinyonetimi.tarimorman.gov.tr/_engine//_engine/file.axd?file=/Dokumanlar/Havzalar/bati_karadeniz/bati_karadeniz_typ.pdf

TÜBİTAK MAM (2013) *Havza Koruma Eylem Planlarının Hazırlanması Projesi Bati Karadeniz Havzası*. TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi. Çevre ve Temiz Üretim Enstitüsü, Proje Kodu: 5118601, Proje Nihai Raporu. Erişim adresi https://www.tarimorman.gov.tr/SYGM/Belgeler/havza%20koruma%20eylem%20planlar%C4%B1/Bat%C4%B1%20Karadeniz_web_rev3.pdf

Wehri, A. (1978). General properties of entropy, *Reviews of Modern Physics*, 50(2), 221-260. <https://doi.org/10.1103/RevModPhys.50.221>

Xiong, F., Guo, S., Chen, L., Chang, F., Zhong, Y., & Liu, P. (2018). Identification of flood seasonality using an entropy-based method. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 32(1-4). <https://doi.org/10.1007/s00477-018-1614-1>

Zhang, Q., Singh, V. P., Sun, P., Chen, X., Zhang, Z., & Li, J. (2011). Precipitation and streamflow changes in China: changing patterns, causes and implications. *Journal of Hydrology*, 410(3-4), 204–216. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2011.09.017>

Zhang, Q., Zheng, Y., Singh, V. P., Xiao, M., & Liu, L. (2016). Entropy-based spatiotemporal patterns of precipitation regimes in the Huai River basin, China, *International Journal of Climatology*, 36, 2335–2344. <https://doi.org/10.1002/joc.4498>

Çarpan jetle ısı transferinde geometrik parametrelerin sayısal optimizasyonu: Yanıt yüzey yöntemi

Numerical optimization of geometric parameters in impinging jet heat transfer: Response surface methodology

Ahmet Numan ÖZAKIN^{1,a}, Faruk YEŞİLDAL^{*1,b}

¹Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 25240, Erzurum

• Geliş tarihi / Received: 20.11.2021

• Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 23.12.2021

• Kabul tarihi / Accepted: 01.01.2022

Öz

Bu çalışmada çarpan jet ile soğutmada parametrelerin etkisini belirlemek için Yanıt Yüzey Yöntemi (YYY) ile sayısal optimizasyon yapılmıştır. Nozul sayısı, kanat uzunluğu, kanat geometrisi ve nozul-yüzey mesafesi (H) faktörlerinin etkisi araştırılmıştır. Yanıt değişkeni olarak sıcaklık farkı alınmıştır. Sonuçta en etkin parametre kanat uzunluğu olarak elde edilmiştir. Optimum sonuçlar; nozul sayısı için 5, kanat uzunluğu için 1.5 cm, kanat geometrisi olarak silindir ve H için 2 cm olarak elde edilmiştir. Ayrıca, yanıt değişkeni olan sıcaklık farkı için bir matematiksel model geliştirilmiştir.

Anahtar kelimeler: Çarpan jet, Hesaplamalı akışkanlar dinamiği, Yanıt yüzey yöntemi

Abstract

In this study, numerical optimization was carried out with the Response Surface Method (RSM) to determine the effect of parameters in impinging jet cooling. The effects of nozzle number, fin height, fin geometry and nozzle to surface distance (H) were investigated. The temperature difference was taken as the response variable. As a result, the most effective parameter was obtained as the fin height. Optimal results; 5 for the number of nozzles, 1.5 cm for the fin height, the cylinder fin geometry and 2 cm for H distance. In addition, a mathematical model has been developed for the temperature difference determined as the response variable.

Keywords: Impinging jet, Computational fluid dynamic, Response surface method

^a Faruk YEŞİLDAL; fyesildal@atauni.edu.tr, Tel: (0442) 231 45 01, orcid.org/0000-0002-7307-3556

^b orcid.org/0000-0002-2083-8703

1. Giriş

1. Introduction

Isıyı hedef yüzeyden etkili bir şekilde uzaklaştırmak için çarpan jetler sıklıkla uygulanan bir termal yönetim tekniğidir. Küçük bir alanda çok yüksek ısı akısının üretildiği cihazların sıcaklığını kontrol etmek için kullanılan bir yöntemdir. Çarpan jetler, pasif kendinden uyarımlı jetler, aktif uyarıcı jetler ve hibrit uyarımlı jetler gibi farklı tekniklerle elde edilebilir. Kendinden tahrikli jetlerin aktif yöntemleri dairesel, dönen ve süpüren jetleri içerirken, pasif olanlar darbeleri ve sentetik jetleri içerir (Maghrabie, 2021). Çarpan jet teknikleri, gaz türbini kanatlarının soğutulması (Al-Hadhrami vd., 2011), farklı metallere ısı işleme, dokunun dondurulması için kriyocerrahi, cam (Monnoyer &Lochegnies, 2008) ve metal işleme, tekstil ve kağıt kurutma, elektronik elemanların ve merkezi işlemci ünitesinin soğutulması, güneş enerjisi ve fotovoltaik sistemlerin soğutulması dahil olmak üzere çeşitli mühendislik uygulamaları için uygun hale getiren yüksek oranda ısı transferi sağlamak için kullanılabilir (Maghrabie, 2021). Endüstriyel uygulamalarda, çarpan jetler kullanılarak ısı ve kütle transferi önemli ölçüde artırılabilir.

Çarpan jet ile ısı transferi; jet geometrisi, yönlendirme, nozul-yüzey mesafesi, kanatçık geometrisi, nozul dizilişi, jet çıkışının sınırlandırılması, nozul içine yerleştirilen türbülötörler gibi geometrik parametrelerin yanında debi, hız ve basınç gibi operasyonel parametrelere de bağlıdır.

Mikroçiplerin çarpan jet ile soğutulmasına yönelik nümerik bir çalışma yürüten araştırmacılar, üç tarafı kapalı ve bir tarafı açık dikdörtgen kesitli kanallardaki sur ve dikdörtgen desende 1000 W/m^2 sabit ısı akılı bakır plakalı yüzeyleri tek bir hava jeti akışı ile soğutmuşlardır (Karabulut & Alnak, 2020). Sonuçta $Re=4000$ ve $H/D_n=4$ için dikdörtgen desenli yüzeylerde sur desenli yüzeylere göre %31.45 daha yüksek ortalama Nu sayısı elde ettiler.

Düşük Reynolds Sayısı rejiminde (< 1000) çoklu çarpan jet sisteminin ısı transferi ve basınç özelliklerinin incelendiği çalışmada, 841 çarpan jetten oluşan bir sıralı konfigürasyonda, farklı jet-plaka mesafeleri ve Reynolds sayılarında çalışmalar yürütülmüştür. Deneysel araştırmayı, jet çarpmasının fiziğini ve böyle bir sistem içindeki bitişik jetler arasındaki etkileşimi incelemek için sayısal bir araştırma ile de desteklenmiştir. CFD simülasyonlarının, ısı transfer katsayısını yaklaşık

%10 ve basınç düşüşünü yaklaşık %20 oranında fazla tahmin ettiği belirtilmiştir (Rao vd., 2009).

Başka bir çalışmada (Buzzard vd., 2017) özel pürüzlülük modellerinin çarpan jet dizisi soğutmasının etkinliğini ve yüzey ısı transferini artırma seviyelerini iyileştirmek için hedef yüzeyler üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bunun için çarpan jetle soğutma artırımı için yüzey pürüzlülüğünün çeşitli boyutları, dağılımları, şekilleri ve modelleri kullanılmıştır. Farklı Re sayılarında (900, 1500, 5000 ve 11000) deneyleri dikdörtgen şeklinde farklı boyutlarda pürüzlülükler için yürütülmüştür. Lokal ve genel çarpan jet performanslarının, pürüzlülük elemanlarının modeline, dağılımına, düzenine, yüksekliğine ve ayrıca jet Reynolds sayısına bağlı olduğu belirtilmiştir. Sonuçta hem laminer hem de türbülanslı jet Reynolds sayıları için, dikdörtgen küçük pürüzlülük durumlarında genellikle artan küçük pürüzlülük yüksekliği ile çizgi ortalamalı ve uzamsal ortalamalı Nusselt sayısında bir artış gösterdiği belirtilmiştir.

Jet geometrisinin etkisinin incelendiği başka bir çalışmada yazarlar (Caliskan vd., 2014) ısı transfer karakteristiklerini deneysel ve teorik olarak incelemişlerdir. Eliptik ve dikdörtgen çarpan jet dizilerini incelediler. Hız ölçümlerini Laser-Doppler Anemometresi ile, sıcaklık ölçümlerini ise kızılötesi kamera ile aldılar. Deneyleri farklı en/boy oranları (0.5, 1, 2), nozul-yüzey mesafeleri (2...10) ve Re sayılarında (2000...10000) yürüttüler. Çarpma bölgesinde Nusselt sayılarını eliptik jetler için dairesel jetten daha yüksek elde ettiler. Bunun büyük sürüklenme hızından ve eliptik jetin büyük ölçekli uyumlu yapısından kaynaklanabileceğini iddia ettiler. En iyi ısı transfer performansını eliptik jet düzenlemeleri ile elde ettiler. Ortalama Nusselt sayısı korelasyonlarını eliptik ve dikdörtgen jet geometrileri için elde ettiler. Ayrıca simülasyonla tüm jet geometrileri için hız dağılımlarını elde ettiler. Eksenel, radyal hız dağılımları ve türbülans kinetik enerjisi dağılımlarını hesapladılar. Sonuçları Nu-x/d grafikleri halinde sundular.

Türbülans, jetten jete ve jetten duvara etkileşimler, bu etkileşimlerin ısı ve kütle transferleri üzerindeki dolaylı etkileri nedeniyle dönel akışların dinamikleri bazı avantajları ve dezavantajları ile farklıdır. Bu konuda birçok araştırma yapılmıştır.

Düz ve girdap jetlerin kademeli bir kombinasyonunun incelendiği bu çalışmada araştırmacılar (Wannassi & Monnoyer, 2015) akış ayrıntılarına erişmek ve karmaşık akış yapılarının yanı sıra soğutma havasının yaşadığı besleme ve

egzoz fazları arasındaki güçlü bağlantıyı göstermek için akış ve ısı transfer özelliklerini rapor ettiler. Girdap çoklu jetlerin termo-akışkan dinamiğinin anlaşılmasına olanak sağlamak için, belirli bir jet-jet mesafesi, $s/D = 5$ ve nozul-plaka mesafesi $H/D = 4$ için sayısal ve deneysel çalışma yürüttüler. Jetleri kademeli bir dizi olarak düzenlediler. Girdap jet düzenliğini kanatçık tipi bir jeneratörden elde ettiler. Farklı kanat yönleri ile farklı girdap yoğunluklarına sahip jetler elde ettiler. Dönel çarpan jetlerle elde edilen sonuçları aynı deneysel koşullarda dairesel çarpan jetlerle karşılaştırdılar. Hem sayısal hem de deneysel analiz ile hücre topolojisini ve çarpma ortaya çıkan akışı gösterdiler. Her jetin, çarpma plakası üzerinde bağımsız bir soğutma alanına sahip olduğu sonucuna vardılar. Isı transfer hızının ve homojenliğin dönme üzerindeki bağımlılığını da açıkladılar. Sonuçta girdap hareketinin karıştırmayı nozul çıkışından kısa bir mesafede etkileyebileceğini, ancak yoğunluğunu hızla kaybettiğini ve bunun da duvar girişimine katkıyı sınırladığını belirttiler. Nuntadusit ve arkadaşları (Nuntadusit vd., 2012) 3×3 sıralı düzenlemeye sahip birden çok dönel çarpan jetin (M-SIJ) yüzeyler üzerindeki akış ve ısı transfer özelliklerini rapor ettiler. Deneyleri $L/D = 4$ sabit nozul yüzey mesafesinde ve farklı nozullar arası mesafelerde ($S/D=2, 4, 6, 8$) yürüttüler. Nozullarda girdap sayısı 0.4 olan bükülmüş bantlardan oluşan dönel jetler kullandılar. Sonuçları $Nu-S/D$ ve $Nu-X/D$ grafikleri halinde sundular. Sonuçta maksimum Nu sayısını $S/D=4$ için elde ettiler. Bu çalışmada yazarlar (Ianiro & Cardone, 2012) sarmal sayısının, çarpan helezonik girdap hava jetinin düz bir levha üzerindeki duvar ısı transferi dağılımı üzerindeki etkisini deneysel olarak analiz ettiler. Sıcaklık ölçümlerini sabit Re sayısında (28000) 5 farklı girdap sayısı (0, 0.2, 0.4, 0.6 ve 0.8) ve 5 farklı nozul-plaka mesafesi (2,4,6,8 ve 10) için termal kamera (FLIR SC6000 LW) ve ısıtılmış ince folyo yüzeyden aldılar. Dönel çarpan jetlerle elde edilen sonuçları, aynı test koşullarında dairesel bir çarpma jeti ile elde edilenlerle karşılaştırdılar. Isı transfer hızının ve homojenliğinin girdap sayısına bağımlılığını da açıkladılar. Sonuçta çok kanallı jetin, dairesel çarpma jetine göre ısı transferinde genel bir artışa neden olduğunu, girdap hareketinin hızı azalttığını ve ısı transferinin homojenliğini arttırdığını belirttiler. Dönel çarpan jetlerle ilgili bir başka çalışmada araştırmacılar araştırmacılar (Ahmed vd., 2015), dönmenin sıkıştırılmaz, türbülanslı, dönen bir çarpan hava jeti için çarpma yüzey basıncı üzerindeki etkilerini deneysel olarak araştırdılar. Hız bileşenlerini ölçmek için hotwire anemometresi kullandılar. Çarpma yüzeyindeki statik basınçları ölçmek için çarpma plakasına

gömme montajlı basınç musluklarına sahip bir dijital mikromanometre (TSI, model: 5815) kullandılar. Girdap sayısının (S), nozul-plaka mesafesinin (H) ve Reynolds sayısının (Re) basınç dağılımına etkisini incelediler. Herhangi bir S için, basınç dağılımının düşük girdap sayıları için ($S = 0.3$ 'e kadar) Re 'den bağımsız olduğunu gösterdiler.

Bu çalışmada (Yakut vd., 2016) OHS-2 olarak adlandırılan altıgen kanatlı soğutucunun çarpan hava jeti ısı ve akış özelliklerini deneysel olarak belirlediler. Ansys-Fluent ile sayısal olarak analiz ettiler. Nozul çapı, iki farklı Y/d mesafesi, 6 farklı akış hızı ve 3 farklı kanat yüksekliği için altıgen kanatçıklarda deneysel ve sayısal çalışma yürüttüler. Sonuçları $Nu-Re$ ve $C_{p,x,y}-l/(l_0/2)$ varyasyonları halinde sundular ve karşılaştırdılar. En yüksek Nusselt sayısını ve en yüksek basınç katsayısını 100 mm kanat yüksekliği ve $Y/d = 1$ için elde ettiler. Son olarak, çarpan jet ısı transferinin deneysel ve sayısal sonuçlarından ısı transferi korelasyonları ürettiler.

Bir dizi çarpan jet üzerinde yürütülen sayısal çalışmada araştırmacılar (Penumadu & Rao, 2017) Reynolds ortalamalı Navier-Stokes (RANS), kararsız Reynolds ortalamalı Navier-Stokes (URANS) ve çoklu çarpan jet dizisinde akış fiziğinin daha iyi anlaşılması için Büyük Eddy Simülasyonu (LES) yaklaşımlarını kullandılar. Simülasyonlar sonucunda, sistemdeki büyük basınç kaybının, meme girişindeki büzülme etkisinden ve viskoz kayıplardan kaynaklandığını gösterdiler.

Bir başka sayısal çalışmada araştırmacılar (Ortega-Casanova & Granados-Ortiz, 2014) çarpan jetler ve uniform olmayan ısıtılmış plakalar arasındaki ısı transferini plakalar boyunca yüzey değişimlerinin (çukurlar ve tümsekler) etkisi altında iyileştirip iyileştiremeyeceğini analiz ettiler. Jet çıkışından bilinen bir H mesafesinde bulunan düz olmayan bir plaka üzerine iki farklı tipte eksenel simetrik türbülanslı jet çarpmasının sayısal simülasyonlarını yaptılar. Çalışmayı farklı plakalar, nozul-yüzey mesafeleri ve Reynolds sayılarında yürüttüler. Tüm plakada ısı transferinin artırılması gerektiğinde, toplam ısı transfer katsayısının düz bir plakanınkinden daha büyük veya en azından onunki kadar yüksek olduğunu ve çarpma plakalarının kullanılması gerektiğini tavsiye ettiler.

Bu çalışmada Diop ve arkadaşları verimli bir soğutma sağlamak için uygun hızda ve yeterli çarpma mesafelerinde hava jet akışı ile ısı transferini geliştirmeyi amaçladılar. Çalışmada H/D mesafesinin ve hızın farklı değerleri için

deneyleri yürüttüler. Yüksek hızlı kamera ile akışı görüntülediler. Sonuçta, $X/D = 4, 7$ ve 9 çarpma mesafelerinde, 15 m/s hızında diğer değerlere göre en yüksek ısı transfer katsayısının elde edildiğini

gösterdiler (Diop vd., 2021). Tablo 1’de çarpan jet çalışmaları ve incelenen parametreler detaylı olarak sunulmuştur.

Tablo 1. Çarpan jet ile ilgili bazı çalışmalar
Table 1. Some studies in impinging jet

İncelenen parametreler	Geometri	Bulgular	Yazar
- Nozul-yüzey mesafesi - Jet genişliği - Reynolds sayısı	Düz plaka	Durma noktası civarında maksimum Nusselt sayıları elde edilmiştir.	(Ashforth-Frost vd., 1997)
- Jet en boy oranı - Reynolds sayısı - Nozul-yüzey mesafesi	Eliptik-Dikdörtgen	Çarpma bölgelerindeki eliptik jetler için Nusselt sayılarını dairesel jetlerden daha büyük elde ettiler.	(Caliskan vd., 2014)
- H/W oranı - Jet hızının salınım genliği ve frekansı	Paralel sonsuz levha	Levhalar arası mesafenin artmasıyla, durma noktası Nusselt sayısının azaldığını, ancak H/W oranının 2’den büyük değerlerinde Nusselt sayısındaki değişimin çok az olduğunu gösterdiler.	(Demircan & Türkoğlu, 2010)
- Reynolds sayısı - Salınım genliği - Salınım frekansı	Paralel sonsuz levha	Artan Reynolds sayısı ile levha üzerindeki ısı transferinde artış gözlemlenildi. Bunun yanında salınım frekansı ve genliğinin artması ile durma noktası Nusselt sayısının arttığını belirttiler.	(Demircan & Türkoğlu, 2007)
- Reynolds sayısı - H/D_h oranı - Akış yönlendiriciler	Silindirik, kare ve üçgen	Çarpan jet ile farklı geometride akış yönlendiricilerin birlikte kullanıldığı durumda ısı transferinde akış yönlendirici kullanılmaması durumuna göre %28’e kadar bir artış olduğunu gösterdiler.	(Kilic & Baskaya, 2017)
- h/d oranı - Reynolds sayısı - Türbülans şiddeti - Re sayısı - Jet dönme yoğunluğu - Türbülans şiddeti - Jet yüzey mesafesi	Cr-Ni paslanmaz sac kanal ısıtılmış katı yüzey	Durma noktası Nusselt sayısı ile ortalama Nusselt sayısı arasındaki farkın düşük olduğunu belirttiler. Boyutsuz parametrelerin bir fonksiyonu olarak hem ortalama Nusselt sayısı hem de durma noktası Nusselt sayısı için sayısal çalışmada korelasyon elde etmişlerdir.	(Çelik & Haydar, 2010) (Ortega-Casanova, 2012)

Çarpan jetlerle ilgili birçok optimizasyon çalışması vardır. Araştırmacılar (Barbosa vd., 2021) yürüttükleri parametrik çalışmada bir yüzeye çarpan çoklu hava jetleri üzerinde deneysel bir çalışma yapmak için Taguchi yöntemine dayalı bir Varyans Analizi (ANOVA) uyguladılar. Çalışmada jet-jet aralığı (S), jet deseni, nozul-plaka mesafesi (H), Reynolds sayısı ve hedef plaka geometrisi parametrelerini incelediler. Deneyleri hedef plaka sabit ve hareketli iken yaptılar ve her iki durumda elde edilen sonuçları karşılaştırdılar. Sonuçlar, çoklu çarpan jet konfigürasyonunda ısı transferinin, kademeli bir konfigürasyon için $S = 3D$, $H = 2D$ ve hem sabit hem de hareketli plakalar için daha yüksek bir Reynolds sayısı ile arttığını gösterdiler. Farklı bir kurutma optimizasyon çalışmasında araştırmacılar (Wang vd., 2016) bir hava jetli darbeli kurutucuda (AJID) soya küspesinin (Okara) kurutma sürecini optimize etmek için Yanıt Yüzey metodolojisini ve sentetik değerlendirme yöntemini uyguladılar.

Optimizasyonda işlem faktörleri olarak hava sıcaklığı ($50-70$ °C), hava hızı ($1.3-2.3$ m/s) ve numune yükleme yoğunluğunu ($3-4$ kg/m²) dikkate aldılar. Kurutma hızı, renk, tripsin inhibitör aktivitesi, soya izoflavon içeriği ve antioksidan aktiviteyi kalite parametreleri olarak değerlendirdiler. Bu sayısal optimizasyon çalışmasında araştırmacılar (Lam & Prakash, 2017) farklı Reynolds sayısı (Re), Hız Oranı (VR) ve Kanal Yüksekliği (H/L) değerleri için bir dizi hava jeti ile çarpmalı soğutma sisteminde akışkan akışı, ısı transferi ve entropi üretimini incelediler. Jet (hem birincil hem de ikincil) ve ortam sıvısının arayüzü boyunca, kesme kuvvetlerinin kararsızlaştırıcı etkisinin, momentum difüzyonunun dengeleyici etkisinin üstesinden geldiğini gözlemlediler. Son olarak, çarpan jet soğutma sisteminin optimum konfigürasyonlarını elde etmek için Çok Amaçlı Genetik Algoritma (MOGA) uyguladılar. Yüzey ortalamalı Nusselt sayısını (\overline{Nu}_{ov}) ve küresel toplam entropi üretimini

($S_{tot,\Omega}$) performans parametresi olarak belirlediler. Araştırmacılar (Yildizeli & Cadirci, 2020) pnömatik taşıma sistemlerinde çoklu çarpan jet parametrelerinin optimizasyonu için genetik algoritma ile sayısal bir çalışma yürütmüşlerdir. Optimizasyon sürecinin, temassız taşıma sisteminin genel performansını iyileştirmek için yararlı bir araç olduğunu belirttiler.

Çoklu çarpan jet, soğutma ve ısıtma performansını etkileyen çeşitli operasyonel ve geometrik parametreleri içeren karmaşık bir ısı transfer sürecidir. Bu çalışmada çarpan hava jeti ile ısı transferini etkilediği bilinen bazı önemli parametrelerin tekli, üçlü ve beşli çarpan jet nozul konfigürasyonları; farklı kanatçık yüksekliklerinde kare, silindir ve altıgen profilli kanatçıklı yüzeyler için optimizasyonu amaçlanmıştır. Bunun için Yanıt Yüzey Yöntemi ile Yüz Merkezli Merkezi Kompozit Tasarım yöntemi uygulanmıştır. Minitab 18 Programı ile oluşturulan 31 farklı analiz Fluent ile sayısal olarak yapılmıştır.

1.1. Yanıt yüzey yöntemi (YYY) ve deney planı

1.1.1. Response surface methodology and experimental plan

YYY, tüm bağımsız değişkenleri bütünleştiren ve sonunda bir çıktının teorik değerini verebilecek bir denklem kümesi bulmak için deneyden gelen veri girişini kullanan uygun deney tasarımı geliştirir. Çıktılar, iyi tasarlanmış regresyon deneyleri ve matematiksel modelden elde edilen sonuçlar ile elde edilir (Gelis & Akyurek, 2021).

YYY, incelenen ilgili alanın hesaplama sonuçlarında parametrelerin optimal durumunu elde etmek için kullanılır ve ayrıca belirtilen parametreler arasındaki etkileşimi de içerir. Bu parametreler üç seviyede seçilir. Tablo 2'de nümerik analizi yapılacak parametreler ve seviyeleri verilmiştir. Çalışmada silindir, altıgen ve kare olmak üzere üç farklı kanat geometrisi; 0,5, 1 ve 1,5 cm kanat uzunluğu; 1,3 ve 5 nozul sayısı ile 2,4 ve 6 H mesafesi belirlenmiştir.

Tablo 1. Parametreler ve seviyeleri
Table 2. Parameters and their levels

Parametre	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3
Nozul sayısı	1	3	5
Kanat uzunluğu (cm)	0.5	1	1.5
Kanat geometrisi	Silindir	Altıgen	Kare
H mesafesi (cm)	2	4	6

Tablo 2 de görüldüğü gibi her bir parametre 3 farklı düzeyde incelenmiştir. Konvansiyonel deney tasarım yöntemlerinden tam faktöriyel tasarım ile $4^3 = 64$ analiz yapmak yerine, parametreler arasındaki kompozit etkilerin de incelenebildiği Merkezi Kompozit Tasarım (CCD) kullanılarak sadece 31 analiz yapılmıştır (Tablo 3). Sıralı deneyler gerektiğinde Merkezi Kompozit Tasarım'ın kullanımını yararlıdır.

Operasyonel ve geometrik faktörlerin optimizasyonu ile ısı transferini maksimize etmek için RSM'yi kullandık. Bu çalışmada çeşitli deneysel faktörlerin sıcaklık farkı üzerine etkisi değerlendirilmiştir. Sıcaklık farkı kararlı halde yüzey sıcaklığı ile akışkan sıcaklığı arasındaki farktır.

CFD analizlerinden elde edilen sıcaklık farkı verileri, deney planında Minitab 18 programında analiz edilmiştir. İkinci dereceden yanıt yüzeyi (YY) modeli Tablo 3'te çizelgelenen deney tasarımının her faktör düzeyindeki kombinasyonu için ölçülen yoğunluk (yanıt) için varyans analizi (ANOVA) kullanılarak değerlendirilmiştir.

1.2. HAD prosedürü

1.2.1. CFD procedure

Farklı parametrelerin (nozul sayısı, kanatçık uzunluğu, kanatçık geometrisi ve nozul-yüzey mesafesi) ısı transfer karakteristiklerine olan etkisini incelemek amacıyla yapılan sayısal çözümlerinde hava sıcaklığı sabit 293.15 K ve hızı ise farklı nozul geometrilerinde eşit debi sağlamak amacıyla nozul girişinde sabit 10 m/s olarak tanımlanmıştır. Soğutulması gereken eleman olarak 40x40x3 mm boyutlarına sahip alüminyum levha kullanılmıştır. Alüminyum levha üzerine 5 mm, 10 mm ve 15 mm yüksekliklere sahip kare, altıgen ve silindirik kanatçıklar yerleştirilmiştir. Kanatçıklar levha üzerinde eşit sayıda 25'er adet ve farklı kanatçık geometrileri için eşit yüzey alanı oluşturacak şekilde 5 mm, 10 mm ve 15 mm yüksekliklere sahip ve sırasıyla 2600 mm², 3600 mm² ve 4600 mm² olarak belirlenmiştir. HAD analizleri için oluşturulan kontrol hacimleri Şekil 1'de görülmektedir.

Tablo 3. YYY deney planı
Table 3. RSM experimental layout

Deney No	Parametreler			Tepki Değişkeni	
	Nozul sayısı	Kanat uzunluğu	Kanat geometrisi	H mesafesi ΔT	
1	1	1.5	Kare	4	6.76
2	1	1	Altıgen	3	8.35
3	5	0.5	Kare	2	8.49
4	1	1.5	Kare	2	7.31
5	1	1.5	Silindir	2	6.44
6	3	1	Altıgen	3	8.15
7	5	1.5	Silindir	4	7.49
8	3	1	Altıgen	3	8.15
9	3	1	Silindir	3	6.78
10	5	0.5	Silindir	2	7.80
11	1	1.5	Silindir	4	6.81
12	3	1	Altıgen	4	8.64
13	1	0.5	Silindir	2	6.60
14	5	1.5	Kare	2	2.80
15	3	1	Altıgen	3	8.15
16	5	1	Altıgen	3	8.55
17	5	0.5	Silindir	4	9.28
18	3	1.5	Altıgen	3	7.75
19	5	1.5	Kare	4	8.38
20	3	1	Altıgen	3	8.15
21	3	0.5	Altıgen	3	9.48
22	5	1.5	Silindir	2	6.66
23	5	0.5	Kare	4	11.34
24	3	1	Altıgen	3	8.15
25	5	1	Altıgen	3	8.15
26	1	0.5	Kare	4	10.10
27	3	1	Altıgen	2	7.67
28	3	1	Altıgen	3	8.15
29	3	1	Kare	3	8.42
30	1	0.5	Kare	2	9.37
31	1	0.5	Silindir	4	6.76

Kontrol hacimleri oluşturularak gereken tanımlamalar yapıldıktan sonra ilgili kontrol hacimleri için mesh hücreleri oluşturulmuştur. Çalışmada öncelikle 500.000 civarında mesh yapısı oluşturularak “Orthogonal Quality” %90 civarına ulaştığı noktada tekli, üçlü ve beşli nozullara sahip kontrol hacimleri için sırasıyla 950.000, 1.000.000 ve 1.055.000 civarında mesh oluşturulmuştur. Ulaşılan bu mesh sayılarından sonra mesh geometrilerinin belirli kısımlarda küçültülerek mesh sayısında yapılabilecek artışın sonuçlarda değişikliğe sebep olmadığı görülmüştür. Şekil 2’de oluşturulan mesh yapısı görülmektedir.

Bu çalışmada alüminyum levhanın alt kısmından sürekli 1000 W/m² ısı akısı tanımlanarak ve türbülans modeli olarak “k-ε RNG” modeli ile “Enhanced Wall Functions” şartları kullanılmıştır. HAD analizleri aşağıda maddeler halinde belirtilen kabuller ve sınır şartlarında gerçekleştirilmiştir.

- Akışkan olarak özellikleri zaman ve konumla değişmeyen (Ma<0,3) hava kullanılmıştır.

- Kontrol hacmine giren ve çıkan hava debisi süreklidir.
- Kontrol hacmi kararlıdır.
- Yer çekimi göz ardı edilmiştir.

Yukarıda belirtilen kabullerle birlikte HAD analizlerinde aşağıda verilen korunum denklemleri kullanılmıştır. Süreklilik denklemi;

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial \rho u}{\partial x} + \frac{\partial \rho v}{\partial y} + \frac{\partial \rho w}{\partial z} = 0 \quad (1)$$

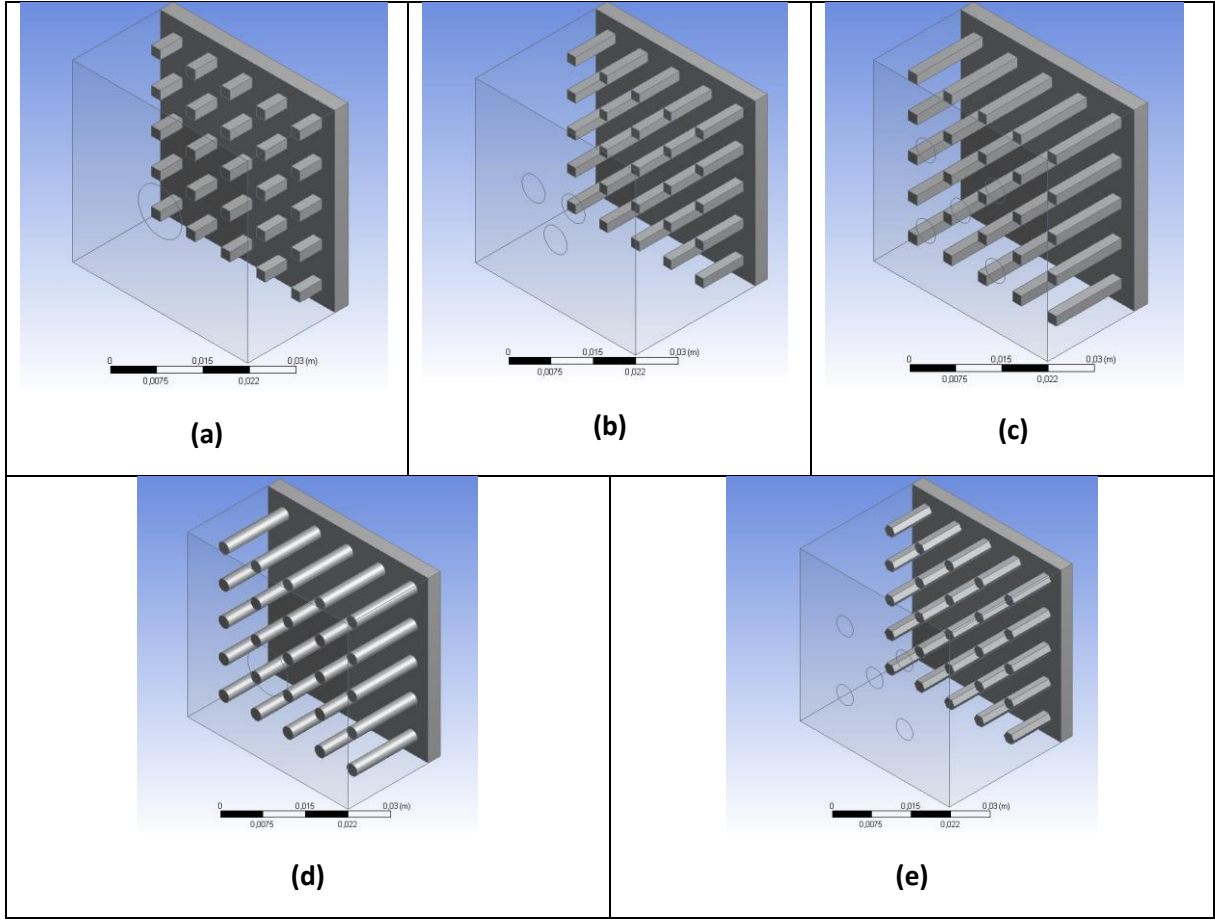
Momentumun korunumu denklemi;

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \vec{v} \cdot (\rho \vec{v}) = \frac{\partial \rho}{\partial t} + \vec{v} \cdot \vec{\nabla} \rho + \rho \vec{v} \cdot \vec{v} = 0 \quad (2)$$

enerji denklemi;

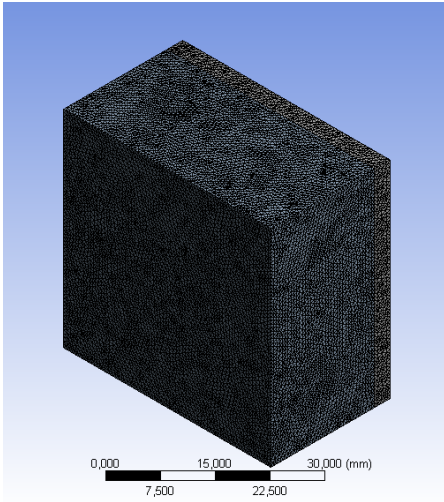
$$\rho c_v \frac{dT}{dt} = k \nabla^2 T + \Phi \quad (3)$$

şeklinde ifade edilebilir.



Şekil 1. Farklı geometriler ve nozul sayıları için kontrol hacimleri (a) tekli nozul-kare, (b) üçlü nozul-kare, (c) beşli nozul-kare, (d) tekli nozul-silindirik, (e) beşli nozul-altıgen

Figure 1. Control volumes for different geometries and number of nozzles (a) single nozzle-square, (b) triple nozzle-square, (c) quintuple nozzle-square, (d) single nozzle-cylindrical, (e) quintuple nozzle-hexagonal



Şekil 2. İlgili kontrol hacimleri için oluşturulan mesh görünümü

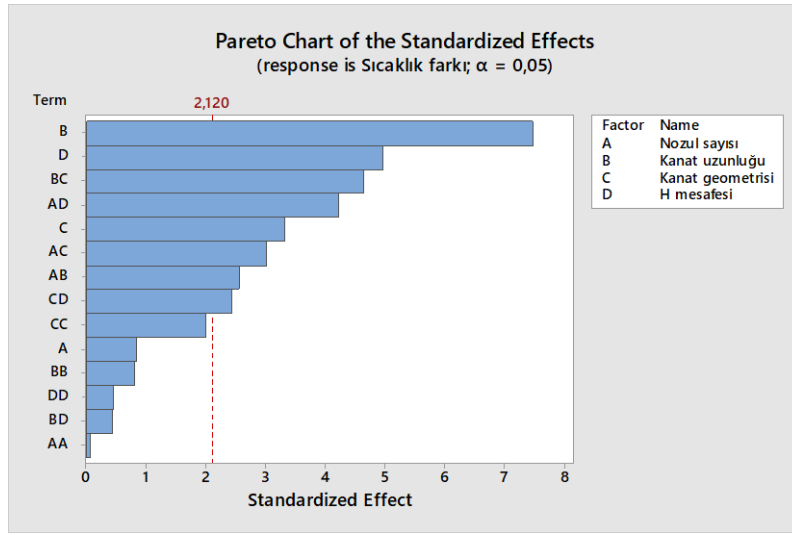
Figure 2. Mesh view generated for control volumes

2. Bulgular ve tartışma

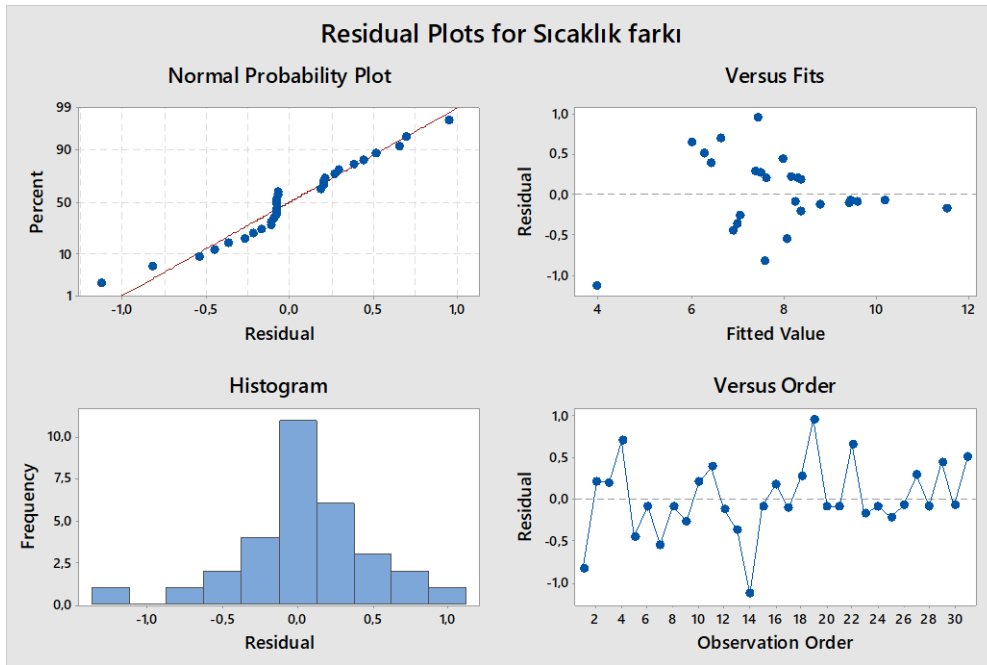
2. Results and discussion

Pareto grafiği (Şekil 3) etkilerin göreceli büyüklüğünü ve ana, kare ve etkileşim etkilerinin istatistiksel önemini karşılaştırmak için kullanılır. Etkiler, azalan mutlak değer sırasına göre çizilir. Grafikteki referans çizgisi, hangi etkilerin önemli olduğunu gösterir. Bu referans çizgisinin ötesine geçen herhangi bir etki istatistiksel olarak önemlidir.

Şekil 3'teki Pareto grafiği sonuçlarına göre, sırasıyla; kanat uzunluğu (B), H mesafesi (D), kanat uzunluğu ve kanat geometrisinin bileşik etkisi (BC), nozul sayısı ve H mesafesinin bileşik etkisi (AD), kanat geometrisi (C), nozul sayısı ve kanat geometrisinin bileşik etkisi (AC), nozul sayısı ve kanat uzunluğunun bileşik etkisi (AB) ve kanat geometrisi ve H mesafesinin bileşik etkisinin (CD) istatistiksel olarak anlamlı olduğu görülmektedir. Kanat uzunluğunun en büyük etkiye sahip olduğu, kanat geometrisi ve H mesafesinin ise en düşük etkiye sahip olduğu görülmektedir.



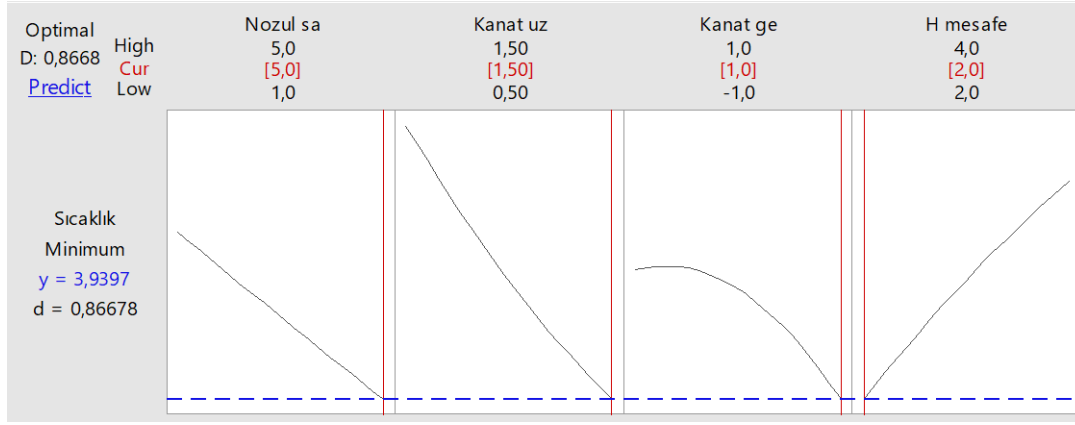
Şekil 3. Pareto grafiği
Figure 3. Pareto chart



Şekil 4. Kalıntı grafiği
Figure 4. Residual plots

Normal olasılık grafiğindeki ortogonal çizgi, modelden alınan değerlerin ve sayısal analiz sonuçlarının örtüştüğü noktaları temsil eder. Bu çizgiden uzaklaşmak, model ile sayısal analiz arasında bir fark olduğu anlamına gelir. Minimum sıcaklık farkı için oluşturulan modelin verdiği sonuçlar ile sayısal analiz sonuçlarının iyi bir uyum içinde olduğu görülmektedir (Şekil 4). Kalıntılara karşı gözlem sırasını gösteren grafiğe göre, deney planında 31 deney için model ile deney arasındaki

farkı gösteren artık değerler gösterilmiştir. Pozitif bir artık değer, model tarafından verilen değer deneyde elde edilen değerden daha küçük olduğunu gösterir. Artık değer negatifse, modele göre değer ve sayısal analiz değerinin birbirine yakın olduğu anlamına gelir. Grafikten görüldüğü gibi artıkların pozitif veya negatif olması modelin parametrelerle ilişkisinin güçlü olduğunu ve sayısal analiz değerlerinin birbirine yakın olduğunu göstermektedir.



Şekil 5. Optimizasyon grafiği
Figure 5. Optimization plot

Çalışmada dikkate alınan üç faktöre dayalı olarak optimize edilmiş sıcaklık farkını belirlemek için model D-optimalite kriterini kullanmıştır. Şekil 5'te gösterildiği gibi, 3.9397 °C'lik bir sıcaklık farkı ile en yüksek optimizasyon sonucu olarak 0.8669'lık bir D-optimalitesi elde edilmiştir. Optimum değerler ise Tablo 4'te verilmiştir. D değeri, maksimum hedef fonksiyon değeri anlamına gelir. Hedef fonksiyonunun optimum değerinin modelden elde edilebilecek maksimum değere oranını temsil eder. Ayrıca Şekil 5, parametreler ile optimal olarak hesaplanan değerlerin kesişimini göstermektedir (Yesildal vd., 2021).

Tablo 4. Optimum değerler
Table 4. Optimum values

Parametre	Optimum değer
Nozul sayısı (N)	5
Kanat uzunluğu (h_k)	1,5 cm
Kanat geometrisi (KG)	Silindir
H mesafesi	2 cm

RSM kullanılarak deneysel parametrelerin amaç fonksiyonu üzerindeki etkileri belirlenebilir ve elde edilen matematiksel model aracılığıyla performans özellikleri arasında ilişkiler kurulabilir. Analiz sonucunda bir matematiksel model elde edilmiştir. Daha önce nozul sayısı (N), kanat uzunluğu (h_k), kanat geometrisi (KG) ve H sıcaklık farkını etkileyen parametreler olarak belirlenmişti. Yanıt

modeli oluşturmak için gerekli veriler Yüz Merkezli Merkezi Kompozit Tasarım (CCD) ile elde edilmiş ve sistemden alınan doğrulama test verileri RSM ile elde edilen matematiksel model kullanılarak karşılaştırılmıştır. Aşağıdaki denklem (Denklem 4), sıcaklık farkı (ΔT) için geliştirilmiş ikinci dereceden polinom modelini göstermektedir.

$$\Delta T = 9.86 - 0.53N - 3.67h_k + 1.429KG + 0.62H + 0.0046N * N + 1.17h_k * h_k - 0.722KG * KG - 0.166H * H - 0.379N * h_k - 0.2238N * KG + 0.3128N * h_k - 1.375h_k * KG + 0.126h_k * H + 0.36KG * H$$

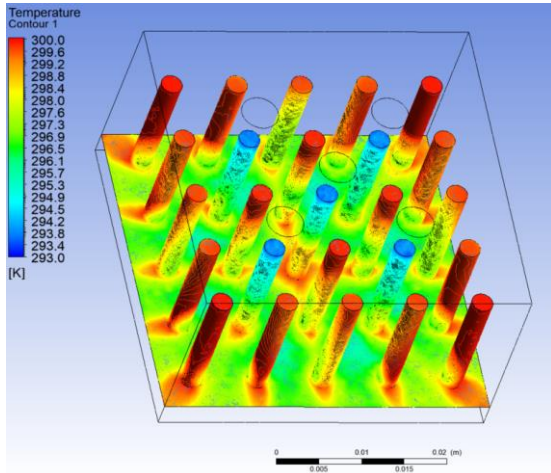
(4)

Bir Yanıt Yüzey modeli, incelenen parametreler ile yanıt değişkeni arasındaki işlevsel ilişkiyi tanımlar ve yeterince iyi tanımlayamadığında bir uyumsuzluk meydana gelebilir. Uyumsuzluk testi, seçilen modelin gözlemlenen verileri açıklamak için yeterli olup olmadığını belirlemek için tasarlanmıştır. Oluşturulan model ile deneysel verilerin etkileşimini belirlemek için P değeri önem düzeyi ile karşılaştırılır. Bu çalışmada, $\alpha = 0,05$ anlamlılık düzeyi tercih edilmiştir. Model için 0,05'ten küçük ilişkili P değerleri model terimlerinin istatistiksel olarak anlamlı olduğunu, 0,05'ten büyük P değerleri ise model terimlerinin önemsiz etkileri olduğunu gösterir. Tepki değişkenimiz sıcaklık farkı için ANOVA tablosu Tablo 5'te gösterilmiştir.

Tablo 5. Tepki değişkeni (ΔT) için ANOVA tablosu
Table 5. ANOVA table for response variable (ΔT)

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	14	57.0489	4.0749	11.62	0.000
Linear	4	32.3694	8.0924	23.07	0.000
A	1	0.2488	0.2488	0.71	0.412
B	1	19.6460	19.6460	56.02	0.000
C	1	3.8716	3.8716	11.04	0.004
D	1	8.6030	8.6030	24.53	0.000
Square	4	3.1145	0.7786	2.22	0.113
A*A	1	0.0012	0.0012	0.00	0.955
B*B	1	0.2301	0.2301	0.66	0.430
C*C	1	1.3972	1.3972	3.98	0.063
D*D	1	0.0736	0.0736	0.21	0.653
2-Way Interaction	6	21.4737	3.5789	10.20	0.000
A*B	1	2.2945	2.2945	6.54	0.021
A*C	1	3.2068	3.2068	9.14	0.008
A*D	1	6.2638	6.2638	17.86	0.001
B*C	1	7.5666	7.5666	21.57	0.000
B*D	1	0.0634	0.0634	0.18	0.676
C*D	1	2.0786	2.0786	5.93	0.027
Error	16	5.6116	0.3507		
Lack-of-Fit	10	5.5320	0.5532	41.70	0.000
Pure Error	6	0.0796	0.0133		
Total	30	62.6606			

Yanıt yüzey yöntemi ile elde edilen optimum soğutma parametreleri kullanılarak HAD analizlerinde elde edilen görüntüler Şekil 5, Şekil 6 ve Şekil 7 ile verilmiştir.

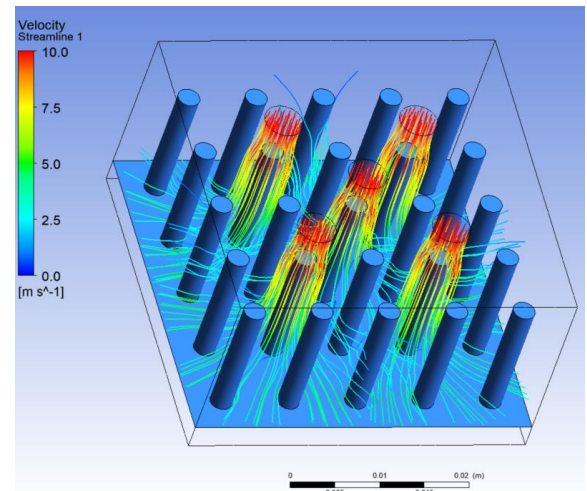


Şekil 6. Optimum parametreler kullanılarak elde edilen sıcaklık dağılımı

Figure 6. Temperature distribution obtained using optimum parameters

Şekil 6 incelendiğinde nozulların hemen alt kısmında kalan kanatçıkların diğer kanatçıklara kıyasla daha fazla sıcaklık gradyeni oluşturduğu görülmektedir. Akışın tek bir nozul yerine eşdeğer beş eş nozuldan verilmesi soğutma performansını artırmaktadır. Soğutulan alüminyum levha üzerindeki sıcaklık dağılımı incelendiğinde ise

kanatçıklar sebebiyle akışın ulaşamayıp ölü nokta oluşturduğu kısımlarda sıcaklık daha yüksek seviyelere ulaşmıştır. Bu durum Şekil 6 incelendiğinde daha net bir şekilde görülmektedir. Şekil 6'da kanatçıkların oluşturduğu ölü bölgeler Şekil 5'te daha yüksek sıcaklık olarak ortaya çıkmıştır. Benzer şekilde geometride orta kısımda bulunan nozulun altındaki kanatçık etrafında diğer kanatçıklara nispeten daha yüksek sıcaklık görülmektedir. Bu gradyen oluşumunun sebebi diğer dört nozulun sebep olduğu akışın ortadaki nozul ile karışarak olumsuz etki göstermesidir.



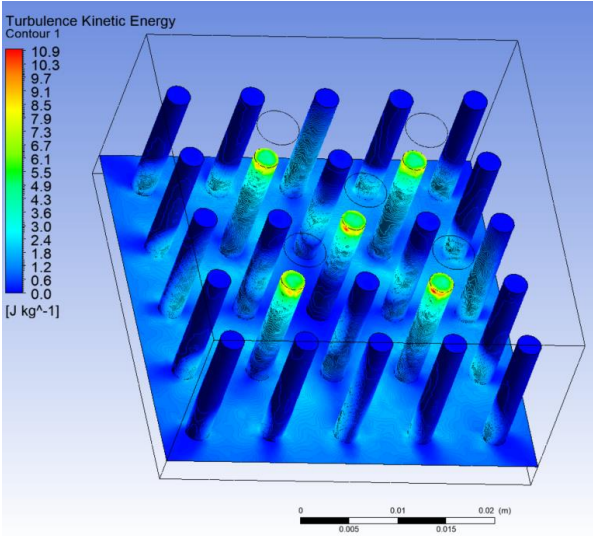
Şekil 7. Optimum parametreler kullanılarak elde edilen akım iplikçikleri

Figure 7. Streamlines obtained using optimum parameters

Türbülans kinetik enerjisi, türbülanslı akıştaki girdaplarla ilişkili birim kütle başına ortalama kinetik enerjidir. Hızın farklı yönlerde oluşturduğu dalgalanmalarla karakterize edilen bu enerji sayısal analizlerde k-ε türbülans modeline göre hesaplanmıştır. Türbülans kinetik enerjisi (TKE) üç koordinattaki hız bileşenlerinin varyanslarının toplamının yarısıdır.

$$TKE = \frac{1}{2} [\overline{(u')^2} + \overline{(v')^2} + \overline{(w')^2}] \quad (5)$$

Şekil 8'de görülen türbülans kinetik enerji gradyeni incelendiğinde nozulların hemen altlarında bulunan kanatçıklar üzerinde daha fazla bir kinetik enerji değişimi görülmektedir. Bu kinetik enerji gradyenleri ortadaki nozulun çarptığı kanatçığın ve diğer kanatçıkların belirli kısımlarında daha fazladır. Bu kinetik enerji gradyen yığılmasının sebebi nozulların birbirlerini etkilemesidir. Bahsi geçen enerji yığılmasının önüne geçebilmek için nozullar birbirlerinden daha uzak olarak konumlandırılabilir. Ancak bu durumun ısı transfer karakteristiğine nasıl bir etki oluşturacağını belirlemek için farklı deneyler yapılması gerekmektedir.



Şekil 8. Optimum parametreler kullanılarak elde edilen Türbülans Kinetik Enerji gradyeni
Figure 8. Turbulent kinetic energy gradient obtained using optimum parameters

3. Tartışma ve sonuçlar

3. Discussion and conclusions

Bu çalışmada çarpan jet ile metal soğutmada etkin parametrelerin optimum değerlerini belirlemek ve matematiksel model oluşturmak için Yanıt Yüzey Yöntemi (YYY) kullanılmıştır. Hedef fonksiyon olarak (yanıt değişkeni) sıcaklık farkı alınmıştır.

Sonuçta en etkin parametre kanat uzunluğu olarak elde edilmiştir. Kanat geometrisi ve H mesafesinin bileşik etkisinin (CD) minimum etkiye sahip olduğu sonucuna varılmıştır. Optimum sonuçlar; 5 nozul sayısı, 1.5 cm kanat uzunluğu, silindir kanat geometrisi ve 2 cm H mesafesi olarak elde edilmiştir. İlâveten bağımsız parametrelerle temsil edilen matematiksel bir model sunulmuştur.

Yazar katkısı

Author contribution

Bu çalışmada, birinci yazar Ahmet Numan Özakın HAD modellemesi, analizi ve yorumlarını yapmıştır. İkinci yazar Faruk Yeşildal ise Yanıt yüzey yöntemi ve optimizasyon analizi ve grafiklerin yorumlanması ile ağırlıklı olarak ilgilenmiştir. Yazarlar makalenin diğer kısımlarına da eşit katkı sunmuşlardır.

Etik beyanı

Declaration of ethical code

Bu makalenin yazarları, bu çalışmada kullanılan materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve / veya yasal-özel izin gerektirmediğini beyan etmektedir.

Çıkar çatışması beyanı

Conflicts of interest

Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Kaynaklar

References

- Ahmed, Z. U., Al-Abdeli, Y. M., & Guzzomi, F. G. (2015). Impingement pressure characteristics of swirling and non-swirling turbulent jets. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 68, 722-732. <https://doi.org/10.1016/j.expthermflusci.2015.07.017>
- Al-Hadhrani, L. M., Shaahid, S., & Al-Mubarak, A. A. (2011). Jet impingement cooling in gas turbines for improving thermal efficiency and power density. *Advances in Gas Turbine Technology*, 191-210. <https://doi.org/10.5772/22020>
- Ashforth-Frost, S., Jambunathan, K., & Whitney, C. (1997). Velocity and turbulence characteristics of a semiconfined orthogonally impinging slot jet. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 14(1), 60-67. [https://doi.org/10.1016/S0894-1777\(96\)00112-4](https://doi.org/10.1016/S0894-1777(96)00112-4)
- Barbosa, F. V., Sousa, S. D., Teixeira, S. F., & Teixeira, J. C. (2021). Application of taguchi method for the analysis of a multiple air jet impingement system with and without target plate motion.

- International Journal of Heat and Mass Transfer*, 176, 121504. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2021.121504>
- Buzzard, W. C., Ren, Z., Ligrani, P. M., Nakamata, C., & Ueguchi, S. (2017). Influences of target surface small-scale rectangle roughness on impingement jet array heat transfer. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 110, 805-816. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2017.03.061>
- Caliskan, S., Baskaya, S., & Calisir, T. (2014). Experimental and numerical investigation of geometry effects on multiple impinging air jets. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 75, 685-703. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2014.04.005>
- Çelik, N., & Haydar, E. (2010). Çarpan dairesel bir jette çarpma bölgesi türbülans şiddetinin ısı transferine etkisi. *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi*, 30(1), 91-98.
- Demircan, T., & Türkoğlu, H. (2007). Bir yüzeye çarpan osilasyonlu iki boyutlu dikdörtgen hava jetinin sayısal olarak incelenmesi. *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi*, 27(1), 39-50.
- Demircan, T., & Türkoğlu, H. (2010). Çarpan osilasyonlu jetlerde osilasyon karakteristiklerinin ve çarpma mesafesinin akış ve ısı transferine etkilerinin sayısal olarak incelenmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 25(4).
- Diop, S. N., Dieng, B., & Senaha, I. (2021). A study on heat transfer characteristics by impinging jet with several velocities distribution. *Case Studies in Thermal Engineering*, 101111. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2021.101111>
- Gelis, K., & Akyurek, E. F. (2021). Entropy generation of different panel radiator types: Design of experiments using response surface methodology (RSM). *Journal of Building Engineering*, 41, 102369. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.102369>
- Ianiro, A., & Cardone, G. (2012). Heat transfer rate and uniformity in multichannel swirling impinging jets. *Applied Thermal Engineering*, 49, 89-98. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2011.10.018>
- Karabulut, K., & Alnak, D. E. (2020). Değişik şekilde tasarlanan ısıtılmış yüzeylerin hava jeti çarpmalı soğutulmasının araştırılması. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 26(1), 88-98. <https://doi.org/10.5505/pajes.2019.58812>
- Kilic, M., & Baskaya, S. (2017). Farklı geometride akış yönlendiriciler ve çarpan jet kullanarak yüksek ısı akılı bir yüzeyden olan ısı transferinin iyileştirilmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 25(4), 693-707.
- Lam, P. A. K., & Prakash, K. A. (2017). A numerical investigation and design optimization of impingement cooling system with an array of air jets. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 108, 880-900. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2016.12.017>
- Maghrabie, H. M. (2021). Heat transfer intensification of jet impingement using exciting jets-A comprehensive review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 139, 110684. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110684>
- Monnoyer, F., & Lochegnies, D. (2008). Heat transfer and flow characteristics of the cooling system of an industrial glass tempering unit. *Applied Thermal Engineering*, 28(17-18), 2167-2177. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2007.12.014>
- Nuntadusit, C., Wae-Hayee, M., Bunyajitradulya, A., & Eiamsa-Ard, S. (2012). Heat transfer enhancement by multiple swirling impinging jets with twisted-tape swirl generators. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 39(1), 102-107. <https://doi.org/10.1016/j.icheatmasstransfer.2011.10.003>
- Ortega-Casanova, J. (2012). CFD and correlations of the heat transfer from a wall at constant temperature to an impinging swirling jet. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 55(21-22), 5836-5845. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2012.05.079>
- Ortega-Casanova, J., & Granados-Ortiz, F. (2014). Numerical simulation of the heat transfer from a heated plate with surface variations to an impinging jet. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 76, 128-143. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2014.04.022>
- Penumadu, P. S., & Rao, A. G. (2017). Numerical investigations of heat transfer and pressure drop characteristics in multiple jet impingement system. *Applied Thermal Engineering*, 110, 1511-1524. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2016.09.057>
- Rao, G. A., Levy, Y., & Kitron-Belinkov, M. (2009). Heat transfer characteristics of a multiple jet impingement system. In 48th Israeli Aerospace Conference (pp. 5-7), Tel-Aviv.

- Wang, G., Deng, Y., Xu, X., He, X., Zhao, Y., Zou, Y., . . . Yue, J. (2016). Optimization of air jet impingement drying of okara using response surface methodology. *Food control*, 59, 743-749. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2015.06.047>
- Wannassi, M., & Monnoyer, F. (2015). Fluid flow and convective heat transfer of combined swirling and straight impinging jet arrays. *Applied Thermal Engineering*, 78, 62-73. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2014.12.043>
- Yakut, R., Yakut, K., Yeşildal, F., & Karabey, A. (2016). Experimental and numerical investigations of impingement air jet for a heat sink. *Procedia Engineering*, 157, 3-12. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.08.331>
- Yesildal, F., Ozakin, A. N., & Yakut, K. (2021). Optimization of operational parameters for a photovoltaic panel cooled by spray cooling. *Engineering Science and Technology, an International Journal*. <https://doi.org/10.1016/j.jestch.2021.04.002>
- Yildizeli, A., & Cadirci, S. (2020). Multi-objective optimization of multiple impinging jet system through genetic algorithm. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 158, 119978. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2020.119978>

Türkiye Covid-19 günlük hasta sayısındaki değişimin sınıflandırılmasına yönelik tahmininin destek vektör makineleri ve k-en yakın komşu algoritmaları ile gerçekleştirilmesi

Classification in the change of estimated number of Covid-19 daily cases by using support vector machine and k-nearest neighbor algorithm

Enes FİLİZ*^{1,a}

¹Fırat Üniversitesi, Fen Fakültesi, İstatistik Bölümü, 23000, Elazığ

• Geliş tarihi / Received: 06.03.2021

• Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 25.12.2021

• Kabul tarihi / Accepted: 01.01.2022

Öz

Covid-19 virüsü hayatımıza girdiği Aralık 2019'dan bu yana etkinliğini kaybetmeden tüm dünyayı etkilemeye devam etmektedir. Dünya sağlık örgütünün önerileri, ülkelerin kendi bünyelerinde aldıkları tedbirler ve aşı çalışmaları virüsün üstesinden gelmek için büyük önem arz etmektedir. Bu bağlamda birçok bilimsel çalışma virüsün geleceği için değerli bilgiler ortaya koymuştur. Çalışmada Türkiye Covid-19 günlük hasta sayısındaki değişimin sınıflandırılmasına yönelik tahminler destek vektör makinesi ve k-en yakın komşu algoritmaları ile yapılmıştır. Günlük hasta sayısının sınıflandırılmasının tahmininde etkin rol oynayan öznitelikler 'pozitif çıkma oranı', 'filyasyon oranı', 'işyerleri hareketliliği' ve 'parklardaki hareketlilik' olarak belirlenmiştir. Bu etkin öznitelikler yardımıyla yapılan günlük hasta sayısının sınıflandırılması tahmininde de k-en yakın komşu algoritmasının (%84.7) en başarılı algoritma olduğu gözlemlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Covid-19, Hasta sayısı, Makine öğrenmesi, Öznitelik seçimi, Sınıflandırma

Abstract

Since December 2019, the Covid-19 virus affected our lives and continues to affect the whole world significantly. The investigation of the indicators of the Covid-19 virus and vaccination studies are of great interest to overcome the Covid-19 pandemic based on the World health organization recommendations. In this context, many scientific studies have revealed valuable information for the future of the virus. In this study, estimation of the Covid-19 cases and Classification of changes in the daily number of cases in Turkey was carried out by using support vector machine and k-nearest neighbor algorithms. The indicators that play a critical role in the estimation of the daily patient number classification have been determined as "positivity rate", "fillation rate", "workplace mobility" and "mobility in parks". It has been observed that the k-nearest neighbor algorithm (84.7%) is the most successful algorithm in the estimation of the daily number of cases when considering the highlighted features.

Keywords: Covid-19, Daily case, Machine learning, Feature selection, Classification

*^a Enes FİLİZ; efiliz@firat.edu.tr, Tel: (0424) 237 00 00, orcid.org/ 0000-0002-8006-9467

1. Giriş

1. Introduction

Koronavirüs ailesinin bir üyesi olarak 2019 yılı Aralık ayında Çin'in Wuhan eyaletinden hayatımıza giren Covid-19 virüsü Dünya Sağlık örgütü tarafından 11 Mart 2020 tarihinde salgın olarak ilan edilmiştir. Bu virüs geçen süre zarfına rağmen etkinliğini kaybetmeden insan hayatına hasar vermeye devam etmektedir. Son hızla süren aşı ve ilaç çalışmaları, en kısa sürede Covid-19 virüsünün üstesinden gelmeyi amaçlamaktadır. Bilimin ışığı ile bu virüsün yenileceği aşikârdır. Elde edilen başarılı denemeler insanlığın umudunu arttırmaktadır. Şu anda Covid-19 virüsüne karşı net bir çözüm olmamasına rağmen en önemli korunma yolu ülkelerin kendi durumları için aldıkları tedbirlere uymak, temizliğe dikkat etmek ve insan hareketliliğini en aza indirmektir. Bu doğrultuda bilimsel çalışmalar ön plana çıkmaktadır. Ülkelerin ve Dünya Sağlık Örgütünün ortaya koyduğu tablolardan yola çıkarak önemli bilgiye ulaşmak, analizler yapmak çözüme ulaşmada yardımcı olacaktır. Makine öğrenmesi yöntemleri de veriden anlamlı bilgiyi ortaya çıkarmak için kullanılan yöntemlerden biridir. Makine öğrenmesi, veri madenciliğinde kullanılan yöntemlerden birisidir. Büyük verilerden anlamlı bilgiler ortaya çıkarmak için kullanılan makine öğrenmesi algoritmaları, klasik istatistiksel yöntemlerden farklı olarak varsayım istemediğinden tercih edilmektedir. Makine öğrenmesi algoritmaları kümeleme, sınıflandırma ve tahmin çalışmalarında tatminkâr sonuçlar vermektedir. Ayrıca bünyesinde barındırdığı öznelik seçim algoritmaları ile sınıflandırma başarısı için etkin değişkenleri belirlemeye yardımcı olmaktadır. Makine öğrenmesi algoritmaları sağlık, ekonomi ve birçok alanda uygulanabilirliği ile ön plana çıkmaktadır. İçinde bulunduğumuz salgın dönemi dolayısıyla ülkelerin sağlık sistemleri, alınan tedbirler ve bu durumlara yönelik ortaya çıkan sonuçlar ile ilgili yapılan çalışmalar salgının geçmişi, bugünü ve geleceği açısından büyük önem arz etmektedir.

Literatürde Covid-19 salgının başladığı ilk günden itibaren veriler analiz edilmeye başlanmış ve salgının gidişatı ile ilgili önemli sonuçlar elde edilmiştir. Ülkemizde ve Dünya genelinde birçok Covid-19 çalışması yapılmıştır. Bu çalışmalar genellikle epidemik modeller ve istatistiksel modeller üzerine olmuştur. [De Felice ve Polimeni \(2020\)](#), çalışmalarında Covid-19 araştırma eğilimlerini belirlemek için makine öğrenmesi yardımıyla bibliyometri analizi yapmışlardır. [Kushwaha vd., \(2020\)](#) Covid-19 salgınında makine öğrenmesi ile ilgili makaleleri incelemişler ve bu

salgın krizini çözmek için makine öğrenmesinin önemini araştırmışlardır. Ülkemizde yapılan bir istatistiksel çalışmada ise [Ayaz \(2021\)](#) makine öğrenimi algoritmalarını kullanarak pozitif hastaların tespit edilebilmesi için tam kan sayımı sonuçlarından yararlanmışlardır. Hatalığın daha önceden tespit edilebilmesi için tam kan sayım sonuçlarının kullanılabilmesini makine öğrenmesi algoritmaları ile göstermiştir. [Ulaş \(2021\)](#) virüsün yaklaşık üreme hızı tahmin ederek, belirli bir tarih aralığında bu virüsten kaç kişiyi etkilebileceğini ve bu kişilerden ne kadarının aktif vaka olabileceğini tahmin etmiştir. [Punn vd. \(2020\)](#) Covid-19'un uluslararası toplumun refahı ile ilgili gelecekteki durumunu tahmin etmek için makine öğrenmesi ve derin öğrenme yöntemlerini kullanmışlardır. [Barstugan vd. \(2020\)](#) Covid-19'un erken teşhisindeki önemini belirlemek için farklı sınıflandırma kriterleri yardımıyla destek vektör makinelere performansını incelemişlerdir. [Ardabili vd. \(2020\)](#) Covid-19'un ülkeler arasındaki çeşitliliği de göz önünde bulundurarak salgını modellemek için makine öğrenmesinin uygun bir yöntem olduğunu belirtmişlerdir. [Yadav vd. \(2020\)](#) çalışmalarında Covid-19 salgınına yönelik belirledikleri 5 farklı durumu analiz etmek için destek vektör makineleri regresyon yönteminden yararlanmışlardır. Benzer şekilde [Malki vd. \(2020\)](#) farklı hava şartları faktörleri ile Covid-19'un yayılımı arasındaki ilişkiyi incelemek için makine öğrenmesi regresyon modellerini incelemişlerdir. Bazı çalışmalarda Covid-19'un epidemik gelişimin sınıflandırılması ve tahmini için makine öğrenmesi algoritmaları kullanılmıştır ([Fanelli & Piazza, 2020](#); [Wang vd., 2020](#)). Literatürde makine öğrenmesi yardımıyla Covid-19 salgınının tarama, izleme, tahmin gibi durumları için kullanıldığı incelenmiştir ([Lalmuanawma vd., 2020](#); [Tuli vd., 2020](#)).

Türkiye Cumhuriyeti Sağlık Bakanlığı'nın açıkladığı günlük koronavirüs bilgileri ([T.C. Sağlık Bakanlığı Web Sayfası](#)) ve Google Covid-19 Topluluk Hareketliliği Raporları ([Google Haberler Web Sayfası-Google Covid-19 Community Mobility Reports](#)) tarafından açıklanan insanların hareketliliğine dair veriler kullanılarak Türkiye'deki günlük hasta sayısındaki değişimlerin sınıflandırılmasının tahminini yapılacaktır. Çalışmadaki ilk amaç bu veri seti yardımıyla Türkiye'deki Covid-19 günlük hasta sayılarının değişimlerinin sınıflandırılmasının tahmin başarısında destek vektör makinesi puk çekirdeği (DVM-puk) ve k en yakın komşu (knn) algoritmasının performanslarının belirlenmesidir. İkinci olarak günlük hasta sayısının tahmininin sınıflandırma başarısında etkin rol oynayan

değişkenleri ortaya çıkararak algoritmaların sınıflandırma başarılarında değişiklik olup olmadığını incelemektedir.

2. Materyal ve metod

2. Material and method

2.1. Veri seti

2.1. Data set

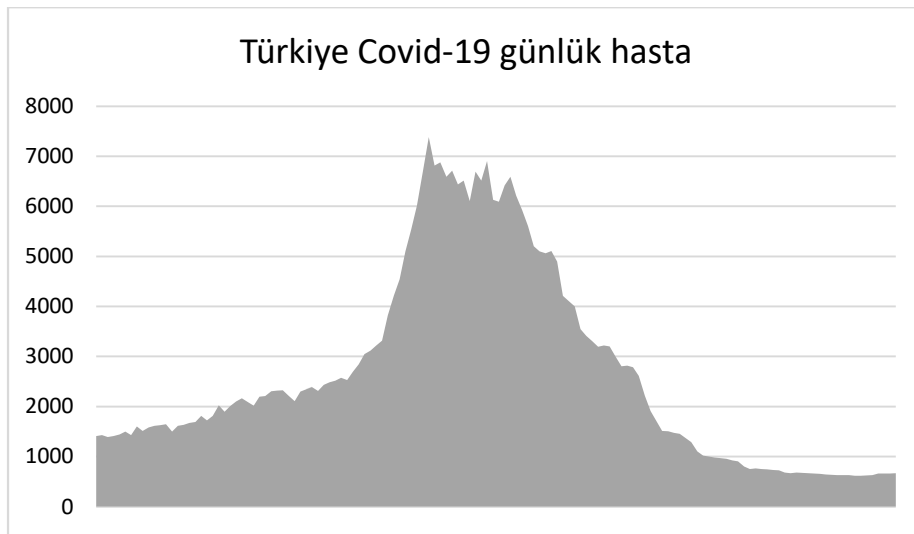
Çalışmada Türkiye Cumhuriyeti Sağlık Bakanlığı'nın açıkladığı günlük koronavirüs bilgileri ve Google Covid-19 Topluluk Hareketliliği Raporları tarafından açıklanan insanların hareketliliğine dair 28.09.2020 – 12.02.2021 tarihleri arasındaki veriler kullanılmıştır. Türkiye’de Covid-19’a bağlı günlük hasta sayısı bağımlı değişken olarak belirlenmiştir. Bağımsız değişkenler olarak, zatürre oranı, ağır hasta sayısı, günlük vefat sayısı, günlük test sayısı, günlük iyileşen hasta sayısı, yatak doluluk oranı,

erişkin yoğun bakım doluluk oranı, ventilatör doluluk oranı, ortalama temaslı tespit süresi, fiyasyon oranı, yapılan test sayısına göre pozitif çıkma oranından yararlanılmıştır. Ayrıca Google Covid-19 Topluluk Hareketliliği Raporları tarafından Türkiye için belirlenen insanların hareketliliği ile ilgili perakende ve rekreasyon (cafe, restoran, avm, müze, sinema vb.), market ve eczane (market, eczane, gıda deposu, pazar vb.), parklar (milli parklar, halk plajları, yat limanları, plazalar, halka açık parklar vb.), toplu taşıma istasyonları (metro, otobüs, tren istasyonları vb.), işyerleri ve konutlar değişkenleri belirlenen referans değerine göre çalışmaya dahil edilmiştir. Referans değeri ise Google Covid-19 Topluluk Hareketliliği Raporları tarafından 3 Ocak 2020 ile 6 Şubat 2020 tarihleri arasındaki 5 haftalık döneme ait ortanca değer olarak belirlenmiştir. Çalışmada kullanılan değişkenler Tablo 1’de verilmiştir. Ayrıca belirlenen tarihler arasındaki günlük hasta sayısındaki değişim Şekil 1’de gösterilmiştir.

Tablo 1. Çalışmada kullanılan değişkenler

Table 1. Variables used in the study

Bağımlı değişken	Bağımsız değişkenler
<ul style="list-style-type: none"> Günlük hasta sayısı 	<ul style="list-style-type: none"> Zatürre oranı Ağır hasta sayısı Günlük vefat sayısı Günlük test sayısı Günlük iyileşen hasta sayısı Yatak doluluk oranı Erişkin yoğun bakım doluluk oranı Ventilatör doluluk oranı Ortalama temaslı tespit süresi
	<ul style="list-style-type: none"> Filyasyon oranı Pozitif çıkma oranı Perakende ve rekreasyon Market ve eczane Parklar Toplu taşıma istasyonları İşyerleri Konutlar



Şekil 1. Türkiye Covid-19 28.09.2020-12.02.2021 arasında günlük hasta sayıları grafiği

Figure 1. The number of Daily Covid-19 patients between 28th September 2020 and 12th January 2021 in Turkey

2.2. Sınıflandırma algoritmaları

2.2. Classification algorithms

Çalışmada Türkiye Cumhuriyeti Sağlık Bakanlığı'nın açıkladığı günlük koronavirüs bilgileri ve Google Covid-19 Topluluk Hareketliliği Raporları tarafından açıklanan insanların hareketliliğine dair veriler kullanılarak Türkiye'deki günlük hasta sayısının değişiminin sınıflandırılmasının tahmini yapılacaktır. Bunun için literatürde sıklıkla kullanılan makine öğrenmesi algoritmalarından DVM-puk ve knn algoritması kullanılacaktır. Belirlenen algoritmalar ile ilgili açıklamalar aşağıda verilmiştir.

DVM-puk, veri madenciliği ve makine öğrenmesi algoritmaları arasında yer alan önemli bir yöntemdir. İlk olarak Cortez ve Vapnik tarafından geliştirilen destek vektör makineleri verileri iki kategoriye ayırmak için n boyutlu bir hiperdüzlem oluşturarak işlem yapmaktadır (Cortes & Vapnik, 1995; Haykin, 1999). Denetimli bir öğrenme olan bu algortmada veriler doğrusal ayrılmışsa doğrusal destek vektör makineleri, doğrusal olarak ayrılmamışsa doğrusal olmayan destek vektör makineleri kullanılmaktadır (Shahiri vd., 2015; Alpaydın, 2004). Doğrusal olmayan destek vektör makineleri kullanımında farklı çekirdek fonksiyonlarından yararlanılmaktadır. Kullanılan çekirdek fonksiyonu seçimine göre farklı sonuçlar elde edilmektedir (Shawe-Taylor vd., 1998). Çalışmada Pearson VII fonksiyon tabanlı evrensel (DVM-puk) çekirdek fonksiyonu kullanılacaktır. Literatür incelendiğinde DVM-puk çekirdek fonksiyonun diğer çekirdek fonksiyonlarına göre daha başarılı sonuçlar verdiği ortaya konulmuştur (Kavzoğlu & Çölkesen, 2010; Abakar & Yu, 2014; Tuncer & Bolat). Ayrıca, DVM-puk çekirdeği, boyutlar arasında esnek bir geçişe sahiptir ve bu nedenle genel bir çekirdek fonksiyonu olarak kullanmak mümkün olmaktadır (Abakar & Yu, 2014). Bu durumlar göz önünde bulundurularak çalışmada DVM-puk çekirdek fonksiyonu tercih edilmiştir. DVM-puk çekirdek fonksiyonunun genel formülü aşağıdaki gibidir.

$$\frac{1}{1 + \left(\frac{2 * \sqrt{\|x-y\|^2} \sqrt{2 \left(\frac{1}{\omega} \right) - 1}}{\sigma} \right)^{2\omega}} \quad (1)$$

knn algoritması, bir veri setinde en yakın komşuları bulmayı amaçlar ve bu komşuları bulmak için farklı uzaklık ölçüleri kullanarak analiz yapar. Algoritmanın performansı bu uzaklık ölçülerine ve k parametresi ile ilgilidir (Liv d.,

2003; Xia vd, 2015). Sınıflandırma, tahmin etme gibi analizlerde kullanılmaktadır. Kullanımı kolay, sınıflandırma performansı yüksek ve popüler bir algortmadır. Sınıflandırma algoritmalarının performanslarının karşılaştırılmasında ön plana çıkmaktadır (Horton & Nakai, 1997; Zhang vd., 2017). Bu durumlar göz önünde bulundurularak çalışmada knn algoritması tercih edilmiştir. Genel formülü aşağıdaki gibidir;

$$y(x_i) = \begin{cases} \infty & , \quad \text{eğer } d(x_i, q) = 0 \text{ ise} \\ \frac{1}{d(x_i, q)} & , \quad \text{aksi takdirde} \end{cases} \quad (2)$$

Denklem de, x_i uzaydan alınan rasgele bir $x \in X$ örneğini, d komşular arasındaki uzaklığı, q ise komşu ile sınıfı belirlenmek istenen nokta arasındaki mesafenin tersini göstermektedir (Mitchell, 1997).

2.3. Öznitelik seçimi

2.3. Feature selection

Çalışmanın amacına yönelik olarak yapılacak işlemlerden biriside öznitelik seçimidir. Öznitelik seçimi, algoritmaların sınıflandırma başarısında etkin rol oynayan özniteliklerin belirlenmesidir. Bu yöntem ile daha az sayıda öznitelik yardımıyla sınıflandırma başarısından ödün vermemek amaçlanmaktadır. Yapılan öznitelik seçimi, zaman tasarrufu ve işlem kolaylığı sağlamaktadır. Analizlerde Türkiye Covid-19 günlük hasta sayısındaki değişimin sınıflandırılmasının tahmininde etkin rol oynayan öznitelikler belirlenecektir. Bu öznitelikleri belirlemek için ReliefF öznitelik seçim algoritması kullanılacaktır. Geniş bir kullanım alanı olan, başarılı bir öznitelik seçim algoritmasıdır (Kononenko vd., 1997). Bu durum göz önünde bulundurularak çalışmada ReliefF öznitelik seçim algoritması tercih edilmiştir.

ReliefF öznitelik seçim algoritması, Kira ve Rendell (Kira & Rendell, 1992) tarafından formüle edilen bu öznitelik seçim algoritması özniteliklerin aralarında bağımlılık olup olmadığını incelemektedir (Urbanowicz vd., 2018). Özniteliklerin ait olduğu ve ağırlıklarının belirlenmediği sınıflardaki en yakın örnekleri karşılaştırır. ReliefF öznitelik seçim algoritması ilk olarak ikili sınıf problemleri için kullanılmış daha sonrasında ise çoklu sınıf problemleri için uygulanmıştır. Ayrıca bu öznitelik seçim algoritması Relief istatistik modelinin temelinde dayanmaktadır (Kononenko, 1994). ReliefF öznitelik seçim algoritmasının formülü aşağıdaki gibidir;

$$S_i = \frac{\sum_{j=1}^m -fark(x_{ij}, en\ yakın\ aynı_{ij}) + fark(x_{ij}, en\ yakın\ farklı_{ij})}{m} \quad (3)$$

Denklemden m , verideki tüm örnek sayısını; $fark(x_{ij}, en\ yakın\ farklı_{ij})$ değeri, j . örnekteki i . değer farklı sınıfa mensup en yakın örneğe olan mesafesini, $fark(x_{ij}, en\ yakın\ aynı_{ij})$ değeri, j . örnekteki i . özneliğin aynı sınıfa mensup en yakın örneğe olan mesafesini belirtmektedir (Gümüüşçü vd., 2016).

2.4. Sınıflandırma performans kriterleri

2.4. Classification performance criteria

Çalışmanın amacına yönelik olarak Türkiye Covid-19 günlük hasta sayısının değişiminin sınıflandırılmasının tahmininde kullanılacak algoritmaların performanslarının belirlenmesi için bazı sınıflandırma kriterlerinden yararlanılacaktır. Doğruluk (Acc), kappa istatistiği (κ), hassasiyet, ortalama mutlak hata (Mean absolute error - Mae), Matthews korelasyon katsayısı (Mcc) kriterleri kullanılacaktır.

Acc, sınıflandırma performansının ölçümünde önemli rol oynamaktadır. Doğru sınıflandırılmış tüm örneklerin toplam örnek sayısına oranı ile bulunmaktadır. Algoritmaların sınıflandırma performansında etkin rol oynayan bir diğer değer olan kappa değeri, 1'e ne kadar yakınsa o kadar iyi sonuç vermektedir. Algoritmalar karşılaştırılırken kappa değeri yüksek olan algoritmanın daha başarılı sınıflandırma yaptığı söylenmektedir. Hassasiyet değeri ise doğru sınıflandırılmış pozitif örneklerin sayısının, toplam pozitif örneklerin sayısına oranı ile bulunmaktadır. Hassasiyet değeri yüksek olan algoritma sınıflandırmada daha iyi sonuç vermektedir. Mae, tahmin edilenler ile gözlenen değerler arasındaki farkı göstermektedir. Bu değer hangi algoritmada daha düşüğe o algoritmanın sınıflandırmada daha iyi performans gösterdiği söylenmektedir (Willmott & Matsuura, 2005). Mcc kriteri, -1 ile 1 arasında değer alan sınıflandırma performanslarının ölçümünde başarılı sonuçlar veren bir korelasyon katsayısıdır. Algoritmalar arasında Mcc kriteri yüksek olan daha başarılı sınıflandırma performansı göstermektedir (Kılıç-Depren vd., 2017).

Makine öğrenmesi algoritmaları uygulamasında önemli noktalardan birisi de eğitim ve test verilerinin belirlenmesidir. Veri seti öncelikle eğitim ve test veri seti olarak iki gruba ayrılarak işlem yapılır. k -katlı çapraz doğrulama yönteminde veri setini k eşit parçaya bölünür. Bunların $k-1$ tanesi eğitim veri seti, diğer kısmı ise test verisi olarak belirlenir. Aynı ayrı her bir parça, test

kümesi olarak alınarak işlem k kez tekrarlanır. Tüm sonuçların ortalaması hesaplanarak sınıflandırma değerleri belirlenmiş olur. Çalışmada 10-katlı çapraz doğrulama uygulanmıştır (Filiz & Öz, 2019).

2.5. Uygulama

2.5. Application

Türkiye Cumhuriyeti Sağlık Bakanlığı'nın açıkladığı günlük koronavirüs bilgileri ve Google Covid-19 Topluluk Hareketliliği Raporları tarafından açıklanan insanların hareketliliğine dair verilerden yararlanılacaktır. Veri setini zaman serisinden kurtarmak ve denetimli öğrenme haline getirmek için günlük hasta sayısı değişkenine 1 gün sonrasına denk gelecek şekilde kaydırma işlemi uygulanmıştır (Kemalbay & Alkış, 2020; Bontempi vd., 2012). Çalışmada bağımsız değişkenlerden günlük ağır hasta sayısı, günlük test sayısı, günlük iyileşen hasta sayısı, günlük vefat sayısı, pozitif çıkma oranı, perakende ve rekreasyon, market ve eczane, parklar, toplu taşıma istasyonları, işyerleri ve konutlar günlük değişimleri göz önünde bulundurularak bir önceki güne göre artış göstermişse 1 azalış göstermişse 0 olarak kodlanmıştır. Ayrıca bağımlı değişken günlük hasta sayısı da günlük değişimler göz önünde bulundurularak bir önceki güne göre artış göstermişse 1 azalış göstermişse 0 olarak işleme dahi edilmiştir. Bu değişkenler dışındaki kalan değişkenler haftalık açıklandığından haftalık değerleri kullanılmıştır. Türkiye Covid-19 günlük hasta sayısındaki değişimin sınıflandırılmasının tahmininde DVM-puk ve knn algoritması kullanılacaktır. Bu algoritmalar arasından en başarılı tahmin sınıflandırmasını yapan algoritma belirlenecektir. Ardından reliefF öznelik seçim algoritması kullanılarak Türkiye Covid-19 günlük hasta sayısındaki değişimin sınıflandırılmasının tahmininde etkin öznelikler bulunacaktır. Bulunan öznelikler yardımıyla Türkiye günlük hasta sayısındaki değişimin sınıflandırılmasının tahmin başarısında düşüş olup olmadığı incelenecektir. Analizler makine öğrenmesi ve öznelik seçim algoritmalarını bünyesinde bulunduran weka programı ile yapılacaktır.

3. Analiz sonuçları

3. Results

Çalışmanın amacı doğrultusunda Türkiye Covid-19 günlük hasta sayısındaki değişimin sınıflandırılmasının tahmininde DVM-puk ve knn

algoritması kullanılmıştır. Bu iki makine öğrenmesi algoritması arasından hangi algoritmanın daha başarılı tahmin sınıflandırması yaptığı sınıflandırma kriterleri yardımıyla incelenmiştir. Ayrıca reliefF öznelik seçim algoritması kullanılarak günlük hasta sayısındaki

değişimin sınıflandırılmasının tahmininde hangi özneliklerin etkin rol oynadığı belirlenmiştir.

Türkiye Covid-19 günlük hasta sayısındaki değişimin sınıflandırılmasının tahmininde tüm değişkenler kullanılarak elde edilen sonuçlar Tablo 2’de gösterilmiştir.

Tablo 2. Tüm değişkenler kullanılarak algoritmaların sınıflandırma tahmininde başarı performansları
Table 2. Classification success rate of algorithms in estimation by using all variables

	Acc	Kappa	Hassasiyet	Mae	Mcc
<i>DVM-puk</i>	0.6930	0.3785	0.693	0.3066	0.3800
<i>knn</i>	0.6350	0.2619	0.634	0.3669	0.2620

Tablo 2 incelendiğinde Türkiye Covid-19 günlük hasta sayısındaki değişimin sınıflandırılmasının tahmininde DVM-puk (0.6930) algoritmasının başarılı sonuç verdiği belirlenmiştir. Bu sonucu kappa (0.3485), hassasiyet (0.693), mae (0.3066) ve mcc (0.3800) kriterlerinin desteklediği görülmüştür.

Türkiye Covid-19 günlük hasta sayısındaki değişimin sınıflandırılmasının tahmininde hangi öznelikleri etkin rol oynadığını belirlemek için reliefF öznelik seçim algoritması yardımıyla analizler yapılmış ve etkin rol oynayan öznelikler ile önem düzeyleri Tablo 3’te verilmiştir.

Tablo 3. ReliefF öznelik seçim algoritması ile elde edilen tahminlerin sınıflandırılmasına etkin rol oynayan öznelikler ve önem düzeyleri
Table 3. The features and significance levels that play a critical role in the classification of the predictions obtained by the ReliefF feature selection algorithm

Öznelikler	Önem düzeyleri
<i>Pozitif çıkma oranı</i>	0.10657
<i>Filyasyon oranı</i>	0.09197
<i>İşyerleri hareketliliği</i>	0.07226
<i>Parklardaki hareketlilik</i>	0.06058

Tablo 3’te görüldüğü gibi Türkiye Covid-19 günlük hasta sayısındaki değişimin sınıflandırılmasının tahmininde 4 özneliğin etkin rol oynadığı belirlenmiştir. Bu öznelikler arasından en etkin olan öznelik olarak pozitif çıkma oranı (0.10657) belirlenmiştir. Filyasyon oranı (0.09197), işyerleri hareketliliği (0.07226) ve parklardaki hareketlilik (0.06058) özneliklerinin

pozitif çıkma oranına yakın sonuçlar verdiği görülmüştür.

Belirlenen 4 etkin öznelik yardımıyla DVM-puk ve knn algoritması için Türkiye Covid-19 günlük hasta sayısındaki değişimin sınıflandırılmasının tahmin işlemi yinelenmiş ve sonuçlar Tablo 4’te gösterilmiştir.

Tablo 4. ReliefF öznelik seçim algoritması ile elde edilen öznelikler yardımıyla algoritmaların tahminde sınıflandırma performansları

Table 4. Classification performances of algorithms by using features that obtained from ReliefF feature selection algorithm

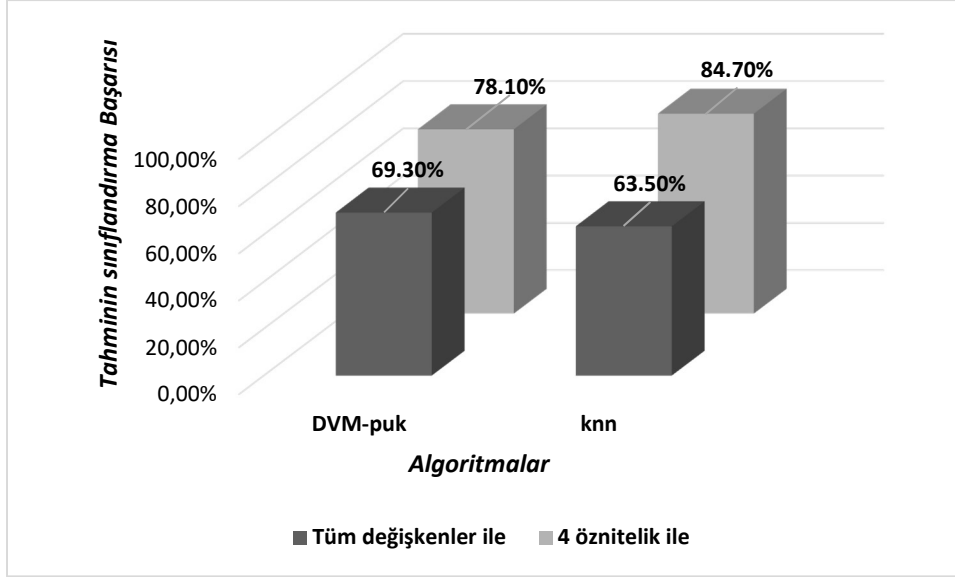
	Acc	Kappa	Hassasiyet	Mae	Mcc
<i>DVM-puk</i>	0.7810	0.5550	0.7830	0.2190	0.5590
<i>knn</i>	0.8470	0.6896	0.8480	0.2182	0.6920

Tablo 4 incelendiğinde reliefF öznelik seçim algoritması yardımıyla belirlenen 4 etkin öznelik ile yapılan Türkiye Covid-19 günlük hasta sayısındaki değişimin sınıflandırılmasının

tahmininde knn (0.8470) en başarılı algoritma olarak belirlenmiştir. Bu sonucu kappa (0.6896), hassasiyet (0.8480), mae (0.2182) ve mcc (0.6920) kriterleri desteklemektedir.

Çalışmada hem tüm değişkenler hem de reliefF öznitelik seçim algoritması ile Türkiye Covid-19 günlük hasta sayısındaki değişimin sınıflandırılmasının tahmini yapılmıştır. Bunun

için iki farklı makine öğrenmesi algoritması kullanılmıştır. Genel karşılaştırma Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. Tüm değişkenler ve etkin öznitelikler kullanılarak elde edilen algoritmaların tahminde sınıflandırma performanslarının karşılaştırılması

Figure 2. Comparison of classification performances of algorithms obtained by using all variables and active features.

4. Tartışma ve değerlendirme

4. Discussion and conclusion

Çalışmanın amacı doğrultusunda Türkiye Covid-19 günlük hasta sayısındaki değişimin sınıflandırılmasının tahmininde DVM-puk ve knn algoritmasının performansı sınıflandırma kriterleri çerçevesinde incelenmiştir. Bunun yanında reliefF öznitelik seçim algoritması yardımıyla Türkiye Covid-19 günlük hasta sayısındaki değişimin sınıflandırılmasının tahmininde etkin rol oynayan öznitelikler belirlenmiştir. Bu belirlenen etkin öznitelikler yardımıyla sınıflandırma algoritmalarının performansları yeniden incelenerek tahminde sınıflandırma başarılarında bir değişim olup olmadığı araştırılmıştır.

Uygulama aşamasında ilk olarak, Türkiye Covid-19 günlük hasta sayısındaki değişimin sınıflandırılmasının tahmini probleminde tüm değişkenler kullanılarak yapılan analizler sonucunda DVM-puk %69.3 oranında başarı göstermiştir. Günlük hasta sayısındaki değişimi etkileyen öznitelikler bilindiğinde Türkiye Covid-19 günlük hasta sayısındaki değişimin sınıflandırılmasının tahmini %69.3 oranında doğru olarak yapılabileceğini söylemek mümkündür.

Çalışmadaki Covid-19 hastalığının günlük hasta sayısındaki değişimi, gelişimi ve çözümü için önemli noktalardan biri de öznitelik seçimidir. Makine öğrenmesi algoritmaları bünyesinde bulunan ReliefF öznitelik seçim algoritması kullanılarak Türkiye Covid-19 günlük hasta sayısındaki değişimin sınıflandırılmasının tahmininde başarıdan ödün vermeden daha az değişkenle başarı elde etmek amaçlanmıştır. Bu çerçevede ‘pozitif çıkma oranı’, ‘filyasyon oranı’, ‘işyerleri hareketliliği’ ve ‘parklardaki hareketlilik’ öznitelikleri etkin öznitelikler olarak belirlenmiştir. Covid-19 virüsü insandan insana ve temas ile bulaşabilen bir virüsdür. Bu duruma bağlı olarak insanların işyerlerindeki ve parklardaki hareketliliğinin Covid-19 hasta sayısı üzerine etkisi olduğu bu çalışmada belirlenmiştir. [Afacan & Avcı \(2020\)](#), yaptıkları çalışmada insanların işleri ile ilgili yüz yüze görüşmelerden ziyade interaktif olarak görüşmeler yapılabileceğini söylemişlerdir. Benzer şekilde yapılan bir çalışma da Covid-19 salgınının insan hareketliliğinin belirlenen tedbirler kapsamında, günlük hareketliliklerinin de sınırlandırılması meydana getirdiği belirtilmiştir ([Sirkeci vd., 2020](#)). Türkiye’de Covid-19 salgınının başladığı ilk günden itibaren gerek işyerlerinde seyreltme veya uzaktan çalışma gerekse belli yaş altında ya da üstünde kişilere getirilen kısıtlamalar (parklar vs.) çalışmada

belirlenen etkin özneliklerin destekleyicisi niteliğindedir. Bir diğer etkin öznelik olarak belirlenen filyasyon oranı, temaslı kişilerin belirlenip; çevre ile ilişkileri kesilen kişilerin oranı olarak söylenebilir. Literatür de incelenen çalışmalarda filyasyonun ve temaslı kişilerin belirlenmesinin öneminden bahsedilmiştir (Demirtas & Tekiner, 2020; Durusoy vd., 2020; Şimşek vd., 2020). Kişilerin yapılan Covid-19 testleri sonrasında pozitif çıkma oranları da etkin değişkenlerden biri olarak bulunmuştur. Bu durumda yapılan test sayısı sonucu pozitif çıkan kişilerin günlük hasta sayısı için önemli bir gösterge olduğu ortaya konmuştur.

Relief öznelik seçimi ile elde edilen etkin özneliklerin belirlenmesi, Türkiye için Covid-19 salgınının gelişimi için önemli noktaları işaret etmektedir. Bu özneliklere karşı gerekli tedbirler alınarak günlük hasta sayısındaki değişimin durumu ile ilgili bilgilere ulaşılabilir. Türkiye Covid-19 günlük hasta sayısındaki değişimin sınıflandırılmasının tahmininde etkin rol oynayan 4 öznelik belirlenmiş ve bu etkin 4 öznelik yardımıyla yapılan analizlere göre %84.7 ile knn algoritmasının en başarılı algoritma olduğu görülmüştür. Günlük hasta sayısındaki değişimin sınıflandırılmasının tahmininde etkin rol oynayan 4 özneliğin bilinmesi durumunda %84.7 oranında Türkiye Covid-19 günlük hasta sayısındaki değişimin sınıflandırılmasının tahmini doğru olarak yapılabilecektir. Ayrıca çalışmada kullanılan iki algoritmada etkin 4 öznelik yardımıyla daha başarılı sonuçlar verdiği belirlenmiştir.

Tüm dünyada etkisini sürdüren Covid-19 salgını için yapılan çalışmada bu salgına yönelik önemli sonuçlar elde edilmiştir. Son yıllarda popüler hale gelen makine öğrenmesi algoritmaları bu çalışma için de başarılı bilgiler elde edilmesine yardımcı olmuştur. Ayrıca yapılan öznelik seçimi ile daha az öznelik ile daha yüksek başarı elde edilebileceği gösterilmiştir. Türkiye Covid-19 günlük hasta sayısındaki değişimin sınıflandırılmasının tahmininde tüm değişkenleri kullanmak yerine etkin 4 özneliğin kullanılmasının daha uygun olacağı ortaya konulmuştur.

Çalışmada bazı sınırlamalar vardır. Türkiye Covid-19 günlük hasta sayısındaki değişimin sınıflandırılmasının tahmininde Türkiye Cumhuriyeti Sağlık Bakanlığı'nın açıkladığı günlük Covid-19 bilgileri ve Google Covid-19 Topluluk Hareketliliği Raporları tarafından açıklanan insanların hareketliliğine dair veriler

kullanılmıştır. 28.09.2020 – 12.02.2021 tarihleri arasındaki verilerden yararlanılmıştır. Etkin öznelikler yalnızca Türkiye için belirlenmiştir.

Yazar katkısı

Author contribution

Enes FİLİZ çalışmayı gerçekleştirmiştir.

Etik beyanı

Declaration of ethical code

Bu makalenin yazarları, bu çalışmada kullanılan materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve / veya yasal-özel izin gerektirmediğini beyan etmektedir.

Çıkar çatışması beyanı

Conflicts of interest

Herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Kaynaklar

References

- Abakar, K. A. A., & Yu, C. (2014). Performance of SVM based on PUK kernel in comparison to SVM based on RBF kernel in prediction of yarn tenacity. *Indian Journal of Fibre and Textile Research*, 39, 55-59.
- Afacan, E., & Avcı, N. (2020). Koronavirüs (Covid-19) Örneği Üzerinden Salgın Hastalıklara Sosyolojik Bir Bakış. *Avrasya Sosyal ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi*, 7(5), 1-14.
- Alpaydın, E. (2004). *Introduction to machine learning*.
- Ardabili, S. F., Mosavi, A., Ghamisi, P., Ferdinand, F., Varkonyi-Koczy, A. R., Reuter, U., & Atkinson, P. M. (2020). Covid-19 outbreak prediction with machine learning. *Algorithms*, 13(10), 249. <https://doi.org/10.3390/a13100249>
- Ayaz, M. (2021). *Makine öğrenmesi algoritmaları ile covid-19 hastalarının belirlenmesi* [Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü].
- Barstugan, M., Ozkaya, U., & Ozturk, S. (2020). Coronavirus (covid-19) classification using ct images by machine learning methods. *arXiv preprint arXiv:2003.09424*.
- Bontempi, G., Taieb, S. B., & Le Borgne, Y. A. (2012, July). Machine learning strategies for time series forecasting. In *European business intelligence summer school* (ss. 62-77). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Cortes, C., & Vapnik, V. (1995). Support-vector networks. *Machine learning*, 20(3), 273-297. <https://doi.org/10.1007/BF00994018>

- De Felice, F., & Polimeni, A. (2020). Coronavirus Disease (COVID-19): A Machine learning bibliometric analysis. *In vivo*, 34(3 suppl), 1613-1617. <https://doi.org/10.21873/invivo.11951>
- Demirtas, T., & Tekiner, H. (2020). Filiation: a historical term the COVID-19 outbreak recalled in Turkey. *Erciyes Medical Journal*, 42(3), 354-359.
- Depren, S. K., Aşkın, Ö. E., & Öz, E. (2017). Identifying the classification performances of educational data mining methods: a case study for TIMSS. *Educational Sciences: Theory & Practice*, 17(5), 1605-1623. <https://doi.org/10.12738/estp.2017.5.0634>
- Durusoy, R., Teneler, A. A., Geçim, C., Özbay, N. F., Küçük, E. F., Şimşek, S., & Ersel, M. (2020). Ege Üniversitesi Tıp Fakültesi Hastanesi'nde COVID-19 vakalarının sürveyansı, fiyasyonu ve temashlarının belirlenmesi. *Turkish Journal of Public Health*, 18(COVID-19 Special), 25-39. <https://doi.org/10.20518/tjph.771286>
- Fanelli, D., & Piazza, F. (2020). Analysis and forecast of COVID-19 spreading in China, Italy and France. *Chaos, Solitons & Fractals*, 134, 109761. <https://doi.org/10.1016/j.chaos.2020.109761>
- Filiz, E., & Öz, E. (2019). Finding The Best Algorithms And Effective Factors In Classification Of Turkish Science Student Success. *Journal of Baltic Science Education*, 18(2), 239. <https://doi.org/10.33225/jbse/19.18.239>
- Google Web Sayfası - Google Covid-19 Topluluk Hareketliliği Raporları, <https://www.google.com/covid19/mobility/> (Erişim tarihi: 16.02.2021).
- Gümüşçü, A., AydıleK, İ.B., & Taşaltın, R. (2016). Mikro-dizilim Veri Sınıflandırmasında Öznitelik Seçme Algoritmalarının Karşılaştırılması. *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 1(1), 1-7.
- Haykin, S. (1999). *Neural Networks: A comprehensive Foundation*.
- Horton, P., & Nakai, K. (1997, June). Better Prediction of Protein Cellular Localization Sites with the k Nearest Neighbors Classifier. *In Ismb*, 5, 147-152.
- Kavzoğlu, T., & Çölkesen, İ. (2010). Destek vektör makineleri ile uydu görüntülerinin sınıflandırılmasında kernel fonksiyonlarının etkilerinin incelenmesi. *Harita Dergisi*, 144(7), 73-82.
- Kemalbay G., & Alkiş B. N. (2020). Borsa endeks hareket yönünün çoklu lojistik regresyon ve k-en yakın komşu algoritması ile tahmini. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 26 (8). <https://doi.org/10.5505/pajes.2020.57383>
- Kira, K., & Rendell, L. A. (1992). A practical approach to feature selection. *In Machine learning proceedings*, (ss. 249-256). Morgan Kaufmann. <https://doi.org/10.1016/B978-1-55860-247-2.50037-1>
- Kononenko, I. (1994, April). Estimating attributes: Analysis and extensions of RELIEF. *In European conference on machine learning*, (ss. 171-182). Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/3-540-57868-4_57
- Kononenko, I., Šimec, E., & Robnik-Šikonja, M. (1997). Overcoming the myopia of inductive learning algorithms with RELIEFF. *Applied Intelligence*, 7(1), 39-55. <https://doi.org/10.1023/A:1008280620621>
- Kushwaha, S., Bahl, S., Bagha, A. K., Parmar, K. S., Javaid, M., Haleem, A., & Singh, R. P. (2020). Significant applications of machine learning for COVID-19 pandemic. *Journal of Industrial Integration and Management*, 5(4). <https://doi.org/10.1142/S2424862220500268>
- Lalmuanawma, S., Hussain, J., & Chhakhuak, L. (2020). Applications of machine learning and artificial intelligence for Covid-19 (SARS-CoV-2) pandemic: A review. *Chaos, Solitons & Fractals*, 110059. <https://doi.org/10.1016/j.chaos.2020.110059>
- Li, B., Yu, S., & Lu, Q. (2003). An improved k-nearest neighbor algorithm for text categorization. *Proceedings of the 20th International Conference on Computer Processing of Oriental Languages*. <https://arxiv.org/ftp/cs/papers/0306/0306099.pdf>
- Malki, Z., Atlam, E. S., Hassanien, A. E., Dagnew, G., Elhosseini, M. A., & Gad, I. (2020). Association between weather data and COVID-19 pandemic predicting mortality rate: Machine learning approaches. *Chaos, Solitons & Fractals*, 138, 110137. <https://doi.org/10.1016/j.chaos.2020.110137>
- Mitchell, T. M. (1997). *Machine Learning*. Burr Ridge, IL: McGraw Hill, 45(37), 870-877.
- Punn, N. S., Sonbhadra, S. K., & Agarwal, S. (2020). COVID-19 epidemic analysis using machine learning and deep learning algorithms. *MedRxiv*. <https://doi.org/10.1101/2020.04.08.20057679>
- Shahiri, A.M., & Husain, W. (2015). A review on predicting student's performance using data mining techniques. *Procedia Computer*

- Science*, 72, 414-422.
https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.12.157
- Shawe-Taylor, J., Bartlett, P. L., Williamson, R.C., & Anthony, M. (1998). Structural risk minimization over data-dependent hierarchies. *IEEE transactions on Information Theory*, 44(5), 1926-1940.
https://doi.org/10.1109/18.705570
- Şimşek, A. Ç., Kara, A., Baran-Aksakal, F. N., Gülüm, M., Ilter, B., Ender, L., & Demirkasimoğlu, M. (2020). Contact tracing management of the COVID-19 pandemic. *Türk Hijyen ve Deneysel Biyoloji Dergisi*, 269.
https://doi.org/10.5505/TurkHijyen.2020.80688
- Sirkeci, I., Özerim, M. G., & Bilecen, T. (2020). Editörden: kovid-19'un uluslararası hareketlilik ve göçmenliğe ilişkin etkisi üzerine. *Göç Dergisi*, 7(1), 1-8.
https://doi.org/10.33182/gd.v7i1.688
- T.C. Sağlık Bakanlığı Web Sayfası, https://covid19.saglik.gov.tr/ (Erişim tarihi: 15.02.2021).
- Tuli, S., Tuli, S., Tuli, R., & Gill, S. S. (2020). Predicting the growth and trend of COVID-19 pandemic using machine learning and cloud computing. *Internet of Things*, 11, 100222.
https://doi.org/10.1016/j.iot.2020.100222
- Tuncer, E., & Bolat, E. D. Destek Vektör Makinaları ile EEG Sinyallerinden Epileptik Nöbet Sınıflandırması. *Politeknik Dergisi*, 1-1.
https://doi.org/10.2339/politeknik.672077
- Ulaş, E. (2021). Prediction of COVID-19 Pandemic Before The Latest Restrictions in Turkey by Using SIR Model. *Suleyman Demirel University Journal of Science*, 16(1), 77-85.
https://doi.org/10.29233/sdufeffd.852222
- Urbanowicz, R. J., Meeker, M., La Cava, W., Olson, R. S., & Moore, J. H. (2018). Relief-based feature selection: Introduction and review. *Journal of biomedical informatics*, 85, 189-203.
https://doi.org/10.1016/j.jbi.2018.07.014
- Wang, P., Zheng, X., Li, J., & Zhu, B. (2020). Prediction of epidemic trends in COVID-19 with logistic model and machine learning technics. *Chaos, Solitons & Fractals*, 139, 110058.
https://doi.org/10.1016/j.chaos.2020.110058
- Willmott, C. J., & Matsuura, K. (2005). Advantages of the mean absolute error (MAE) over the root mean square error (RMSE) in assessing average model performance. *Climate research*, 30(1), 79-82. https://doi.org/10.3354/cr030079
- Xia, S., Xiong, Z., Luo, Y., Dong, L., & Zhang, G. (2015). Location difference of multiple distances based k-nearest neighbors algorithm. *Knowledge-Based Systems*, 90, 99-110.
https://doi.org/10.1016/j.knosys.2015.09.028
- Yadav, M., Perumal, M., & Srinivas, M. (2020). Analysis on novel coronavirus (COVID-19) using machine learning methods. *Chaos, Solitons & Fractals*, 139, 110050.
https://doi.org/10.1016/j.chaos.2020.110050
- Zhang, S., Li, X., Zong, M., Zhu, X., & Wang, R. (2017). Efficient kNN classification with different numbers of nearest neighbors. *IEEE transactions on neural networks and learning systems*, 29(5), 1774-1785.
https://doi.org/10.1109/TNNLS.2017.2673241

Exterior modüller üzerinde ters türevler hakkında bir not

A note about anti-derivations on the Exterior modules

Ali KARAKUŞ*^{1,a}

¹Kilis 7 Aralık Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Matematik Bölümü, 79000, Kilis

• Geliş tarihi / Received: 30.03.2021

• Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 21.12.2021

• Kabul tarihi / Accepted: 01.01.2022

Öz

Modüller Değişmeli Cebir’de üzerinde çokça çalışılan bir konudur. Bu modüllerin en bilinen türleri Exterior Modüller ve Simetrik Modüllerdir. Bu çalışmada, karakteristiği sıfır olan herhangi bir R halkası üzerindeki sonlu üretilmiş Exterior modüllerin ters türevleri ve bu modüllerin bazı özellikleri incelenecektir. Ayrıca, aynı R halkası üzerindeki Exterior modülün kararlı alt modülleri incelenmiştir. Bu kararlı alt modül yapılarının ters türevleri hakkında elde edilen bazı sonuçlar verilmiştir.

Anahtar kelimeler: Exterior modül, Halka, Modül, Ters türev

Abstract

Modules are a subject that has been worked on in Commutative Algebra. The most known types of these modules are the Exterior Modules and Symmetrical modules. This study will examine the inverse derivatives of finite produced Exterior modules on any R-ring with zero characteristics and some of the features of these modules. In addition, the stable submodules of the Exterior module on the same R-ring have been examined. Some results are given on the inverse derivatives of these stable submodule structures.

Keywords: Exterior module, Ring, Module, Anti-derivation

*^a Ali KARAKUŞ; alikarakus@kilis.edu.tr, Tel: (0536) 575 96 41, orcid.org/0000-0002-8483-0137

1. Giriş

1. Introduction

Exterior modül, bir modülden türetilen modüllerin en ilginç ve kullanışlılarından biridir. Aynı zamanda, determinantlar teorisi ile yakın bağlantıları olan bir değişmeli cebir türüdür. Değişmeli Cebir, özellikle ideal ve modül yapılarının ve bunlara benzeyen yapıların özelliklerini inceleyen bir alandır.

Bir halka ve onun ideali ile ilgili pek çok çalışma yapılmış ve halen de yapılmaya devam ediliyor. Özellikle polinom halkaları, bunların idealleri ile ilgili birçok çalışma yapılmaktadır. Bunlarda biri de polinom halkaları üzerinde tanımlanmış Gröbner tabanlardır. Matematikte ve daha özel olarak bilgisayar cebirinde, cebirsel geometride ve değişmeli cebirde, bir Gröbner tabanı, bir K halkası üzerinde bir polinom halkasında $K[x_1, x_2, \dots, x_n]$ bir idealin özel bir tür oluşturma kümesidir. Gröbner tabanı, idealin ve ilişkili cebirsel çeşitliliğin, boyut ve sonlu olduğunda sıfır sayısı gibi birçok önemli özelliğinin kolayca çıkarılmasına izin verir. Bu konu ile ilgili çalışmalara (Çagman, 2017, Polat & Çagman, 2021) kaynakları örnek olarak verilebilir. Bu çalışmalar herhangi bir halka ve onun ideali üzerindeki uygulamaların yine bir halka üzerinde tanımlanan modül yapılarında da karşımıza çıkabileceğini gösterir. Bu sebeple bu çalışmada bir değişmeli halka üzerinde tanımlanan özel bir modül yapısı olan Exterior modülün bazı sonuçları verilmiştir.

Değişmeli Cebirde, bir halka üzerindeki modül kavramı tanımlanan alandaki vektör uzayının genelleştirilmiş bir gösterimidir. Exterior modül ise elemanları üzerinde Exterior (dış, wedge) çarpım tanımlanan bir yapıdır. Bunlarla ilgili çalışmalara (Baer, 1952; Hoffman & Kunze, 1961; Kuiper, 1961) kaynaklarında detaylı olarak yer verilmiştir.

Modüller üzerinde tanımlanan türev kavramı ilk olarak (Grothendieck, 1967) de karşımıza çıkmaktadır. Daha sonra (Osborn, 1968; Matsumura, 1986) da modüller üzerinde türev kavramı daha geniş bir şekilde incelenmiştir. Ayrıca 1996 yılında R. Hart, k bir değişmeli halka ve R bir değişmeli k -cebir iken modüllerin yüksek mertebeden türevlerini incelemiştir (Hart, 1996). Ayrıca (Karakuş, 2021) yine Exterior ve Simetrik Modüllerin türevleri ile ilgili bazı sonuçlar elde etmiştir. Bu çalışmada, Exterior modül yapıları

üzerinde tanımlanan ters türevler ve bunların bazı özellikleri incelenecektir.

2. Materyal ve metot

2. Material and method

Bir R -modül üzerinde tanımlanan Exterior modül, değişmeli cebir alanında diferansiyel formlar üzerinde tanımlanan modüllerin bir direkt toplamıdır. Bu Exterior modül üzerinde tanımlanan işlem, diferansiyel formlar üzerinde tanımlanan işlemdir. Bir R -modül üzerindeki Exterior modül, $r_1, r_2, r_3, r_4, r_5, r_6 \in R$ ve \wedge simgesi de Exterior çarpım ya da wedge çarpım olmak üzere, $r_1, r_2 \wedge r_3, r_4 \wedge r_5 \wedge r_6$ şeklindeki formlar tarafından oluşturulur. Bu elemanların lineer kombinasyonlarından oluşan diferansiyel formlar Exterior modülün elemanlarıdır. Bir R -modül üzerinde tanımlanan Exterior modül, aynı zamanda bölüm Exterior modülü olarak ta ifade edilir.

İki değişkenli bir fonksiyon, eğer tüm değişkenlerine göre lineer ise bu fonksiyona bilinear fonksiyon denir. Buna en basit örnek olarak $f(x, y) = xy$ fonksiyonu verilebilir. Daha kapsamlı olarak yazmak gerekirse, bir V vektör uzayı üzerindeki bilinear fonksiyon $B: V \times V \rightarrow F$ dönüşümü ile birlikte aşağıdaki şartları sağlayan bir fonksiyondur:

- i-) $B(v, w) = -B(w, v)$
- ii-) $B(\theta_1 v_1 + \theta_2 v_2, w) = \theta_1 B(v_1, w) + \theta_2 B(v_2, w)$.

Yukarıda da belirttiğimiz gibi, herhangi bir R halkası üzerinde tanımlanan modül yapısının türev ve ters türevleri Değişmeli Cebir alanında üzerine çokça çalışılan bir konudur. Bu noktada ilk olarak bu modül yapıları üzerinde tanımlanmış olan türev ve ters türev kavramlarını incelemek faydalı olacaktır. R bir halka ve her $x, y \in R$ olmak üzere, R halkası üzerinde $\delta(xy) = x\delta(y) + \delta(x)y$ ile tanımlı $\delta: R \rightarrow R$ dönüşümüne bir türev denir (Bracic, 2001). Benzer şekilde bir R -modül üzerinde ters türev ve özellikleri de (Bland, 2005; Rim, 1987) da incelenmiştir. Bu çalışma boyunca R ile, karakteristiği 0 olan ve sonlu üretilmiş bir halka kastedilecektir.

E ve \hat{E} , karakteristiği sıfır olan bir R halkası üzerinde sonlu üretilmiş iki R -modül ve $\beta: E \times \hat{E} \rightarrow R$ bir bilinear fonksiyon olsun. E nin p . Exterior kuvveti E^p ile gösterilir. Herhangi bir $e' \in E'$ için tek bir $i_p(e')$: $E^p \rightarrow E^{p-1}$ lineer dönüşümü vardır öyle ki herhangi $x_j \in E, j = 1, 2, \dots, p$ için

$$i_p(e')x_1 \wedge x_2 \wedge \dots \wedge x_p = \sum_{k=1}^p \varepsilon_k x_1 \wedge x_2 \wedge \dots \wedge x_{k-1} \wedge x_{k+1} \wedge \dots \wedge x_p, x \geq 1 \quad (1)$$

$$i_0(e') = 0 \tag{2}$$

eşitlikleri geçerlidir. Burada $E^0 = E^{-1} = R$ dir. (1) numaralı denklemdeki ε_k ifadesi

$$\varepsilon_k = (-1)^{k+1} \beta(e', x_k) \tag{3}$$

olarak yazılır.

$$A(E) = \sum_{p=0} E^p \tag{4}$$

E, R-modülü üzerindeki Exterior modül ve

$$i(e') = \sum_{p=0} i_p(e') \tag{5}$$

ise dönüşümlerin direkt toplamları olsun. O zaman $i(e')$, Exterior modül için bir anti (ters) türevidir. Herhangi bir $e' \in E'$ için eğer

$$i(e')A \subseteq A \tag{6}$$

ise R üzerindeki $A(E)$ nin A alt modülüne kararlı alt modül denir.

3.Bulgular

3.Results

Bu kısımda öncelikle Teorem 3.1 ve Teorem 3.2 verilecek olup, Teorem 3.1'in ispatı verildikten sonra Teorem 3.2 in ispatına geçilecektir.

Teorem 3.1: F, E nin bir alt modülü ve $q > 1$ olmak üzere $v_q \in E^q$ olsun. Eğer $v_q \in F^q$ ise bir $F_1 \subseteq F$ alt modülü ve $e'_1, e'_2, \dots, e'_{q-1} \in E'$ elemanları vardır öyle ki

$$E = F + F_1 \tag{7}$$

$$\left(\prod_{j=1}^{q-1} i(e'_j)\right)v_q \tag{8}$$

elemanları F_1 de sıfırdan farklı elemanlardır. Bu teorem $A(E)$ nin kararlı alt modüllerinin aşağıda verilecek olan karakterizasyonlarının bir sonucudur.

Teorem 3.2: Eğer A, R üzerinde $A(E)$ nin bir alt modülü ise A kararlıdır ancak ve ancak $F \subseteq E$ olacak şekilde tek bir alt modül vardır öyle ki

$$A = A(F) \tag{9}$$

dir.

$Q_{q,n}(G_{q,n})$, $1,2,3, \dots, n$ arasından seçilen tamsayıların q uzunluğundaki kesin olarak artan ya

da kesin olarak azalmayan $\binom{n}{q} \binom{n+q-1}{q}$ dizilerini kümesi olsun. Ve bu kümeyi de Δ ile gösterelim. Ayrıca f_1, f_2, \dots, f_n de E nin herhangi elemanları olsunlar. Bazı $\alpha = (\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_q) \in \Delta$ için

$$f_\alpha = f_{\alpha_1} \wedge f_{\alpha_2} \wedge \dots \wedge f_{\alpha_q} \tag{10}$$

eşitliğini yazabiliriz. E nin q. Exterior türevi için $\Delta = Q_{q,n}$ alalım. Biliyoruz ki, $\{f_\alpha, \alpha \in \Delta\}$ kümesi E^q nun bir tabanıdır ve dolayısıyla herhangi $v_q \in E^q$ için

$$v_q = \sum_{\alpha \in \Delta} a_\alpha f_\alpha, a_\alpha \in R \tag{11}$$

yazılabilir. Bu noktadan itibaren Teorem 3.1 in ispatına geçebiliriz.

İspat: F nin eleman sayısını $s(F) = t$ ile gösterelim. $f_1, f_2, \dots, f_t, f_{t+1}, \dots, f_n \in E$ elemanları arasından öyle elemanlar vardır ki $f_1, f_2, \dots, f_t \in F$ dir. Eğer Teorem 3.1'deki gibi $0 \neq v_q \in E^q$ ise tüm $a_\alpha = 0$ olmamak şartıyla, v_q elemanı (11) denklemindeki gibi düşünülebilir. $v_q \notin F^q$ olduğundan bir $\gamma \in \Delta$ vardır öyle ki $a_\gamma \neq 0, \gamma_q > t$ ve $\gamma \in \{t+1, t+2, \dots, n\}$ dir. Diğer taraftan, $\alpha \in \Delta$ ve $\alpha \in \{1,2, \dots, t\}$ olmak üzere $v_q, f_\alpha \in F^q$ elemanlarının bir lineer kombinasyonu olarak yazılabilir.

$f'_1, f'_2, \dots, f'_n \in E$ olmak üzere

$$\beta(f'_j, f'_i) = \delta_{ij}; i, j = 1,2, \dots, n \text{ ve } e'_i = f'_{\gamma_i}; i = 1,2, \dots, q-1 \text{ olsun.}$$

Ayrıca

$$\tau = i(e'_1) \wedge i(e'_2) \wedge \dots \wedge i(e'_{q-1}) = \prod_{t=1}^{q-1} i(f'_{\gamma_t})$$

şeklinde tanımlayalım.

İddiamız, $\{\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_{q-1}\} \subseteq \alpha$ iken $\tau(f_\alpha) = 0$ olduğudur. (1) eşitliğinden, f_α üzerinde

$$i(f'_j) f_\alpha = i(f'_j) f_{\alpha_1} \wedge f_{\alpha_2} \wedge \dots \wedge f_{\alpha_q} = \sum_{k=1}^q \varepsilon_k f_{\alpha_1} \wedge f_{\alpha_2} \wedge \dots \wedge f_{\alpha_{k-1}} \wedge f_{\alpha_{k+1}} \wedge \dots \wedge f_{\alpha_q}$$

yazılır. Burada $\varepsilon_k = \pm \beta(f'_j, f_{\alpha_k}) = \pm \delta_{j\alpha_k}$ dir. Çünkü, eğer $j \notin \alpha$ ise

$$i(f'_j) f_\alpha = 0 \tag{12}$$

dir. Eğer $j \in \alpha$ ise $\omega = (\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_{q-1})$ olmak üzere

$$i(f'_j)f_\alpha = c_\alpha f_{\omega_1} \wedge f_{\omega_2} \wedge \dots \wedge f_{\omega_{q-1}} \quad (13)$$

eşitliği elde edilir. R, karakteristiği sıfır olan sonlu üretilmiş bir R-modül olduğundan c_α hiçbir zaman sıfır olamaz ve $f_{\omega_1} \wedge f_{\omega_2} \wedge \dots \wedge f_{\omega_{q-1}} \in E^{q-1}$ olur. Dolayısıyla $f_{\omega_1} \wedge f_{\omega_2} \wedge \dots \wedge f_{\omega_{q-1}}$ de hiçbir zaman sıfır olamaz. Dolayısıyla (12) ve (13) eşitliklerinden görülebileceği üzere, $\{\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_{q-1}\} \subseteq \alpha$ iken $\tau(f_\alpha) = 0$ olur. Aynı zamanda yukarıdaki iddiadan da biliyoruz ki eğer $\{\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_{q-1}\} \subseteq \alpha$ ise, o zaman

$$\tau(f_\alpha) = d_\alpha f_{r_\alpha} \quad (14)$$

dır. Burada $d_\alpha = \pm 1$ dolayısıyla da her durumda sıfırdan farklıdır. Ayrıca, burada şunu da hatırlatmak gerekirse, $\{\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_{q-1}\}$ kümesini α ya tamamlayan tamsayı için tek bir seçenek vardır. Dolayısıyla $\tau(f_\alpha)$ ve $\tau(f_\mu)$ elemanları için eğer α ve μ , Δ da farklı elemanlar ise $r_\alpha \neq r_\mu$ dir.

$\underline{\Delta} = \{\alpha \in \Delta : \{\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_{q-1}\} \subseteq \alpha\}$ alırsak

$$\tau(v_q) = \sum_{\alpha \in \underline{\Delta}} a_\alpha \tau(f_\alpha) = \sum_{\alpha \in \underline{\Delta}} a_\alpha d_\alpha f_{r_\alpha} \quad (15)$$

eşitliğini elde ederiz. Ayrıca (15) eşitliği F de sıfırdan farklı bir eleman olduğu için, $r_\gamma > t$ ve $a_\alpha d_\alpha \neq 0$ dir. Bu yüzden $f_1, f_2, \dots, f_t, \tau(v_q)$ lineer bağımsız elemanların kümesidir ve $f_1, f_2, \dots, f_t, \tau(v_q), g_{t+2}, \dots, g_n$ şeklindeki bir baza tamamlanabilir. Böylelikle Teorem 3.1 ispatlanmış olur.

Şimdi Teorem 3.2'yi ispatlayabiliriz:

İspat: $v_i \in E^i, 0 \leq i \leq q$ ve $v_q \neq 0$ olmak üzere, $0 \neq v = v_0 + v_1 + \dots + v_q \in A$ olsun. Eğer $q = 0$ ise $v = v_0$, A kümesinde R nin sıfırdan farklı bir elemanıdır. Dolayısıyla da $R \subseteq A$ dir. Eğer $q = 1$ ise, $v'_1 \in E'$ elemanı $\beta(v'_1, v_1) = 1$ şartını sağlar. Bu yüzden de $i(v'_1) = 1$ olur. Eğer $q = 1$ ise,

$v_1 = v - v_0 \in A$ ve dolayısıyla da $F = A \cap E \neq 0$ elde edilir. Kabul edelim ki $q > 1$ ve bazı $a_\gamma \neq 0$ için v_q elemanı (11) eşitliğindeki gibi olsun. τ , Teorem 3.1 in ispatında tanımlandığı için

$$\begin{aligned} i(f'_{\gamma_q})\tau(v_q) &= i(f'_{\gamma_q}) \sum_{\alpha \in \underline{\Delta}} a_\alpha d_\alpha f_{r_\alpha} \\ &= \sum_{\alpha \in \underline{\Delta}} a_\alpha d_\alpha i(f'_{\gamma_q}) f_{r_\alpha} \\ &= \sum_{\alpha \in \underline{\Delta}} a_\alpha d_\alpha f_{r_\alpha \wedge \gamma_q} \end{aligned} \quad (16)$$

yazılır. Fakat burada $r_\gamma = \gamma_q, a_\alpha d_\alpha \neq 0$ ve $\alpha \neq \gamma$ için $r_\alpha = \gamma_\alpha$ dir. Dolayısıyla (16) dan

$i(f'_{\gamma_q})\tau(v_q) = a_\gamma d_\gamma \in R$ olur. Eğer $p < q$ ise $i(f'_{\gamma_q})\tau(v_q) = 0$ ve dolayısıyla da $i(f'_{\gamma_q})\tau(v) = a_\gamma d_\gamma$ olur. Eğer $p < q - 1$ ise $\tau(v_p) = 0$ ve $\tau(v_{p-1}) \in R \subseteq A$ ile $\tau(v_q)$ sıfırdan farklıdır. Bundan dolayı

$$\tau(v) = \tau(v_{q-1}) + \tau(v_q) \quad (17)$$

olup A nın kararlı oluşundan $\tau(v) \in A$ olur. Bu ise bize $\tau(v_q) = \tau(v) - \tau(v_{q-1})$ olduğunu gösterir. Yani $R \subsetneq A$ ise $F = A \cap E \neq 0$ olduğunu ispatlamış olduk. Dolayısıyla $A(F) \subsetneq A$ dir. Eğer $A(F) \neq A$ olsaydı, $v_i \in E^i, 0 \leq i \leq p$ olmak üzere $\omega = v_0 + v_1 + \dots + v_p \in A - A(F)$ olurdu.

$v = \omega - (v_{q+1} + v_{q+2} + \dots + v_p) \in A - A(F)$ olsun. Eğer $v \in A(F)$ olsaydı,

$v_{q+1} + v_{q+2} + \dots + v_p \in A(F)$ olduğundan $\omega \in A(F)$ olacaktı. Teorem 3.1 den, $e'_j \in E^i$

$j = 1, 2, \dots, q - 1$ ve herhangi bir F_1 alt modülü için $E = F + F_1$ dir öyle ki

$$0 \neq \tau(v_q) \in F_1 \quad (18)$$

dir. Aynı zamanda $\tau(v) = \tau(v_{q-1}) + \tau(v_q)$ ve $\tau(v_q) = \tau(v) - \tau(v_{q-1})$ dir. $\tau(v_{q-1}) \in R \subsetneq A$ ve A nın kararlılığından dolayı $\tau(v) \in A$ elde edilir. Yani $\tau(v_q) \in A$ bulunmuş olur. Fakat (18) den dolayı $0 \neq \tau(v_q) \in A \cap E \cap F_1 = F \cap F_1 = 0$ olur ki bu ise bir çelişkidir. Ve bu çelişki ile ispat tamamlanmış olur.

4. Tartışma ve sonuç

4. Discussion and conclusion

Exterior türev konusu sadece Matematiksel Fizik için değil aynı zamanda Değişmeli Cebir için de önemli bir konudur. Çünkü bir modül yapısının hem Exterior modül hem Simetrik modül olarak farklı varyasyonları vardır. Dolayısıyla modül yapıları üzerinde tanımlanan anti(ters) türev kavramı, Cebir alanında da önemli bir çalışma alanı olarak karşımıza çıkmaktadır. Sonlu üretilmiş bir R halkası üzerindeki Exterior modüllerin ters türevleri üzerinde çalışmak, araştırmacılara hem Matematiksel Fizik hem de Değişmeli Cebir alanında farklı bakış açıları kazandırır. Bu çalışmada herhangi bir R halkası üzerinde tanımlanan bir R-modül M nin ters türevleri ve modüllerin yarı kararlı olma durumunu inceledik.

Yazar katkısı*Author contribution*

Bu çalışma tek yazarlı olup, her aşamasında yazar kendisi yer almıştır.

Etik beyanı*Declaration of ethical code*

Bu makalenin yazar(lar)ı, bu çalışmada kullanılan materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve / veya yasal-özel izin gerektirmediğini beyan etmektedir.

Çıkar çatışması beyanı*Conflicts of interest*

Yazar(lar), herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Kaynaklar*References*

- Baer, R. (1952). *Linear algebra & Projective geometry*. (1st ed.). New York: Academic Press Inc.
- Bland, P.E. (2005). Higher derivations on rings & Modules. *International Journal of Mathematics and Mathematical Sciences*, 263497, <https://doi.org/10.1155/IJMMS.2005.2373>.
- Bracic, J. (2001). Representations & Derivations of modules. *Irish Mathematical Society Bulletin*, 47(2001), 27-39.
- Çagman, A. (2017). Explicit Gröbner basis of the ideal of vanishing polynomials over Z_2xZ_2 .

Karaelmas Fen Mühendislik Dergisi, 7(2), 349-351.

- Grothendieck, A. (1967). *Elements de geometrie algebrique. publications mathematicae*. (Vol. 4). I.H.E.S: Paris.
- Hart, R. (1996). Higher derivations & Universal differentials operators. *Journal of Algebra*, 0253, 184, 175-181. <https://doi.org/10.1006/jabr.1996.0253>.
- Hoffman, K., & Kunze, R. (1961). *Linear algebra*. (2nd ed.). Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice-Hall Inc.
- Karakuş, A. (2021). An approximation to second exterior derivation of high order universal modules, *Algebra Letters*, 1(2021), 1-13.
- Kuiper, N. (1961). *Linear algebra & Geometry*. (1st ed.). North-Holland Publishing Company.
- Matsumura, H. (1986). *Commutative ring theory*. (1st ed.). Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Osborn, H. (1968). Module of differentials II. *Mathematische Annalen*, 175, 146-158.
- Polat, K., & Çagman, A. (2021). Polcag spaces: I. group-like structures. *Thai Journal of Mathematics*, 19(1), 87-92.
- Rim, S.H. (1987). Extensions of high anti-derivations to modules of quotients. *Journal of the Korean Mathematical Society*, 24(1), 25-31.

YAZAR REHBERİ

1. KAPSAM ve GENEL BİLGİ

Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi (GUFBD), Gümüşhane Üniversitesi'nin yayın organıdır. Dergi kapsamında bütün Fen, Teknoloji, Mühendislik, Tarım ve Mimarlık Alanlarında daha önce başka yerlerde yayınlanmamış, özgün, araştırma makaleleri, derlemeler ve editöre mektuplar yayınlanır (Anket çalışmaları dergimizin konu kapsamına uygun değildir).

Dergi bilimsel ve hakemli bir dergi olup, Ocak, Nisan, Temmuz ve Ekim aylarında olmak üzere yılda dört kez çevrimiçi ortamda yayımlanır.

Derginin amacı araştırma ve geliştirme faaliyetlerinin bilimsel yayına dönüştürülmesi, ulusal ve uluslararası indekslere girerek evrensel bilime katkı sağlamaktır.

2. YAYIN DİLİ ve ANLATIM

Dergide yayınlanacak tüm yazılar için yayın dili Türkçe ve İngilizce'dir. Anahtar kelimeler alfabetik sıralamaya uygun olarak verilir. İngilizce anahtar kelimeler (Keywords) ise yine bu sıralama dikkate alınarak yazılır.

Makale içerisinde yazar tarafından gerçekleştirilen çalışmalara yönelik (Deneysel çalışmalar, analizler vb) anlatımlarda üçüncü şahıs kullanılmaya özen gösterilmelidir.

3. ELEKTRONİK ORTAMDA BAŞVURU

Dergi ile ilgili tüm yazışmalarda DergiPark tarafından sağlanan arayüz kullanılmalıdır. Dergi yazım kurallarına uygun olarak hazırlanmış makaleler, basılı kopyaya gerek olmaksızın, Ulakbim Dergipark üzerinden <https://dergipark.org.tr/tr/pub/gumusfenbil/> adresi kullanılarak gönderilmelidir. Dergiye makale göndermek isteyen yazarların yazım kuralları ile birlikte "Gönderi Kontrol Listesi"ndeki her maddeyi de kontrol etmeleri gerekmektedir. Makaledeki bilgilerin doğruluğunun sorumluluğu yazar(lar)a aittir.

Yayınlanacak makalelerde, araştırma ve yayın etiğine uygunluk esastır. "Makale Gönderimi ve Telif Hakkı Devir Formu" doldurulup bütün yazarlar tarafından imzalanmalıdır. Yayın ile ilgili işlemler bu formun tesliminden sonra başlar. Bu formun farklı kopyaları başka şehirlerde yaşayan yazar(lar) tarafından ayrı ayrı imzalanıp gönderilebilir. Dergi ana sayfasında yer alan "Etik İlkeler ve Yayın Politikası" yazarlar tarafından önemle dikkate alınmalıdır.

Hayvanların veya zararlı maddelerin kullanıldığı araştırmalarda "Etik Kurul İzin Belgesi"nin makaleye eklenmesi gerekir. İnsanların denek olarak kullanıldığı araştırma sonuçlarını içeren makalelerde yazar(lar), "insan denemeleri üzerinde yetkili kurul" etik standartlarına ve gözden geçirilmiş Helsinki bildirgesi 1983'e uygunluğunu belgelemeleri gerekir.

4. DEĞERLENDİRME SÜRECİ

Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi'ne iletilen yazılar öncelikle dergi baş editörünün yönlendireceği alan editörü tarafından konu başlığı ve anahtar kelimelere dayanılarak biçimsel açıdan değerlendirilir. Ön kontrol aşamasında öncelikle intihal tespit yazılımları kullanılarak benzerlik raporları oluşturulur. Aday yayının benzerlik raporu toplamda %20 den az olmalı ve tek bir kaynaktan ise %4 oranından fazla olmamalıdır. Daha sonra incelenecek yayının dergi formatına uygun olup olmadığına karar verilir. "Makale Gönderimi ve Telif Hakkı Devir Formu" olmayan veya eksik olan aday yayınlar ile benzerlik oranı sınırlarını aşan aday yayınlar ön incelemeye alınmaz. Ön inceleme aşamasını geçen yazılar dergi baş editörü tarafından inceleme sürecinin gerçekleştirilmesi için ilgili alan editörüne yönlendirilir.

Alan editörü bilimsel içerik bakımından değerlendirilmek üzere aday yayını, konusuna uygun olarak en az üç hakeme yönlendirir. Hakem seçiminde öncelikle konu ile ilgili dergi yayın danışma kurulu üyelerinden ya da alanında uzman başka bir bilim insanından yararlanılır. Hakemler değerlendirmeleri sonucunda, uygun, düzeltilerek yayınlanabilir, düzeltildikten sonra tekrar görmek isterim, istediğim düzeltmelerin kontrolünü derginin uzman bilimsel ekibi tarafından yapılması uygundur veya yayınlanamaz şeklinde kararları verebilirler.

Düzeltilme istenen yazılarla ilgili olarak yazar gerekli düzeltmeleri yapar. Ayrıca katılmadığı hususlarla ilgili olarak gerekçeli yazısını dergiye gönderir.

Hakem kurulu tarafından farklı türde değerlendirilen yazılar için alan editörü kendi görüşünü de ekleyerek değerlendirmenin sonuçlandırılması için baş editöre iletir. Değerlendirmede son karar baş editöre aittir. Baş editör gerekli görürse yeni bir hakem tayin eder veya yazı ile ilgili kararını sonuçlandırır.

Tüm değerlendirmeler sonucunda kabul ya da red kararı gerekçeleri ile birlikte DergiPark üzerinden yazışmadan sorumlu yazara iletir.

Değerlendirme sonucu kabul kararı verilecek makaleler yazım ve dil editörüne yönlendirilerek ilgili makalenin yazım ve dil yönünden incelemesi ile dergi yazım kuralları açısından uygunluğu sağlanır. Kabul edilen makaleler dergi sekreteryası tarafından esasa bağlı kalınarak yayına uygun formata dönüştürülür.

Dergide yayımlanan makaleler başka hiç bir yerde yayımlanamaz veya bildiri olarak sunulamaz. Kısmen veya tamamen yayımlanan makaleler kaynak gösterilmeden hiçbir yerde kullanılamaz. Dergiye gönderilen makalelerin içerikleri özgün, daha önce herhangi bir yerde yayımlanmamış veya yayımlanmak üzere gönderilmemiş olmalıdır. Değerlendirmeye sunulacak çalışmaların bir başka dergiye gönderilmediği veya basılmadığı ön yazı ile belirtilmelidir.

Makale basım için kabul edilmezse “Makale Gönderimi ve Telif Hakkı Devir Formu” nun yasal bir önemi kalmaz ve hükümsüz olarak kabul edilir. Bu formun imzalanması ile yazarlar, makalenin “Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi” dergisi ve web sayfasında yayınlamasına ilaveten makalenin tamamı veya bir kısmının yasal olarak çoğaltılması ve dağıtılması hakkını Gümüşhane Üniversitesi’ne devrederek, kendi haklarından feragat etmektedirler.

5. MAKALE TÜRLERİ

Dergide yayınlanan farklı yayın formatları ile ilgili bilgiler ve yazı türlerine göre yazarların dikkat etmeleri gereken hususlar şu şekildedir:

5.1 Araştırma Makaleleri: Türkçe Başlık, İngilizce Başlık, Yazarlar, Adresler, Türkçe Öz, Türkçe Anahtar Kelimeler, İngilizce Öz, İngilizce Anahtar Kelimeler, Giriş, Amaç, Gereç ve Yöntem, Bulgular, Tartışma ve Sonuçlar, gerekli ise Etik konular, Katkı Belirtme ve Teşekkür, Kaynaklar, Şekil ve Tablolarla ilgili açıklamalar içermelidir. Makale konunun uzmanları tarafından tekrarlanabilecek şekilde yeterli bilgiyi içermelidir. Bu tür makalelerde ana metin 3500-4000 kelime arası olmalı, kaynak sayısı 40’ı aşmamalıdır.

5.2 Derlemeler: Yazar(lar)ın uzmanlık alanında yapılmış eski araştırmaların derlenip eleştirel bir şekilde yorumlanıp ortaya yeni bir görüş ileri süren çalışmaları kapsmalıdır. Bu tür makale öneren yazar(lar)ın en az 10 SCI-Expanded makalesi bulunmalı ve bunların en az 5 tanesi derleme yaptığı alanda olmalıdır. Derlemeler, Türkçe Başlık, İngilizce Başlık, Yazarlar, Adresler, Türkçe Öz, Türkçe Anahtar Kelimeler, İngilizce Öz, İngilizce Anahtar Kelimeler, Giriş, Ana Bölümler, Alt Bölümler, Sonuç, Katkı Belirtme ve Teşekkür, Kaynaklar, Şekil ve Tablolarla ilgili açıklamalar içermelidir. Ana metin en fazla 5000 kelime olup kaynak sayısında bir kısıtlama yoktur. Bu tür çalışmalar literatürle ilgili geniş bir tartışma ortaya koymalı ve kaynak sayısı en az 40 olmalıdır.

5.3 Editöre Mektup: Dergide yayınlanmış makaleler hakkında veya ilgili diğer konularda soru sormak, görüş bildirmek isteyenlerin yazıları bu türde değerlendirilir. Bu tür yazılarda kapsam ve etik kavramlar göz önünde bulundurulur. Ana metin en fazla 1000 kelime olup kaynak sayısı 10’u geçmemelidir.

6. MAKALENİN HAZIRLANMASI

Dergiye değerlendirilmek üzere yayın gönderecek yazarların GUFBD makale şablonu dosyasını dikkate alarak yayınlarını hazırlamaları ve gerekli olan diğer belgelerle birlikte sisteme yüklemeleri gerekmektedir.

